



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet

Forgácsoló üzem gyártási folyamatainak támogatása hegesztési eljárásokkal



OE-BGK
2022.

Kiss Bálint 
T009451/FI12904/B



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kiss Bálint

Szaktervezési száma: SZD22052513065041

Törzskönyvi száma: T009451/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Forgácsoló üzem gyártási folyamatainak támogatása hegesztési eljárásokkal

A dolgozat címe angolul: Supporting the production processes of a machining plant with welding processes

A feladat részletezése:

1. Készítsen szakirodalmi összeállítást az ipari gyakorlatban alkalmazott fontosabb hegesztési eljárásokról és azok berendezéseiről!
2. Mutassa be a rendelkezésre álló gyártási környezetet (technológiák, gépek, gyártmányok, anyagok)!
3. A választott gyártmány(ok) kapcsán elemezze a felmerülhető forgácsolási és hegesztési problémákat!
4. Tegyen javaslatokat a problémák kezelésére és értékelje a tapasztalatait!

Intézményi konzulens neve: Dr. Bagyinszki Gyula

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 21.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom.

belső konzulens
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott **Kiss Bálint** [REDACTED] hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022. december 15.

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Fontosabb hegesztési eljárások és berendezéseik bemutatása	4
2.1. Bevont elektródás ívhegesztés és berendezései	4
2.2. Fedett ívű hegesztés és berendezései	10
2.3. Huzalelektródás, védőgázos ívhegesztés és berendezései	13
2.3.1. Huzalelektródás, védőgázos ívhegesztés berendezései	17
2.4. Volfrámelektródás, semleges védőgázos ívhegesztés	20
2.5. Ellenállás hegesztés	23
2.5.1. Ellenállás ponthegesztés és berendezései	23
3. A rendelkezésre álló gyártási környezet (technológiák, gyártmányok, anyagok) bemutatása	25
3.1. A gyártási környezet	25
3.1.1. Forgácsolóüzem gépeinek bemutatása.....	27
3.1.2. A lemezüzem gépeinek bemutatása	28
3.1.3. Csaphegesztés bemutatása:	30
3.2. Forgácsolandó és hegesztendő anyagok tulajdonságai:	31
3.2.1. Szerkezeti acélok:	31
3.2.2. Korrózióálló acélok.....	31
4. A választott gyártmányok kapcsán felmerülő forgácsolási és hegesztési problémák bemutatása	35
4.1. Huzalelektródás védőgázos ívhegesztéssel gyártott alkatrész	35
4.2. Forgácsolással előkészített zártszelvények és készre forgácsolt elemek összehegesztése TIG eljárással.	37

4.3. Erősen ötvözött korrózióálló acél gépelemek hegesztése TIG-eljárással	39
5. Tapasztalatok értékelése és javaslatok a problémák kezelésére	49
Felhasznált irodalom.....	53

1. Bevezetés

Szakdolgozatom tárgya a fémipar mindenkor legelterjedtebb hegesztő eljárásainak bemutatása kiválasztott gyártmányokon keresztül, olyan módon, hogy az valamilyen forgácsolási elő- vagy utómegmunkálással kapcsolatos legyen. Azok minden problematikáját hűen visszaadja, esetlegesen megoldását méltán bemutassa.

Az első részben kifejtem a legelterjedtebb ívhegesztési eljárásokat, mint a bevont elektródás-; a fedőporos-; a huzalelektródás-; a volfrámelektródás védőgázos ívhegesztést; illetve bemutatom az ellenállás hegesztésen alapuló ponthegesztési eljárást is. Kitérek az eljárások berendezéseire, azok előnyeire és hátrányaira egyaránt, az iparban betöltött szerepük alkalmazhatóságuk alapfeltételeivel egyetemben.

A szakdolgozatom második részében egy forgácsoló- és lemezmegmunkáló üzem gyártási környezetét mutatom be. A rendelkezésre álló gépállomány leírásával, a leggyakrabban használt és megmunkált anyagok ismertetésével és az ezekből kialakított – szakdolgozatom alapját képező – gyártmányok bemutatásával folytatom. A forgácsolási eljárások során leginkább a hegesztett alkatrészek megmunkálásához szükséges gépek bemutatására helyezem a hangsúlyt, bemutatva azok megmunkálási tartományait és technológiai lehetőségeiket.

A választott gyártmányok kapcsán felmerülő forgácsolási, de főként hegesztési problémák bemutatása által szándékomban áll olyan helyzetek feltérképezése a szakdolgozat harmadik részében, melyek technológiai megoldások szempontjából nehézkesebbek. Ideértve az anyagminőségek különbözőségéből fakadó, hol a forgácsolásnak kedvezőbb, hol az adott hegesztési eljáráshoz jobban illeszkedő jellemzők kiemelését és azok tapasztalati úton is bizonyított bemutatását.

A munkám befejezéseként az összegyűjtött gyártmányok megmunkálási problémáinak megoldására teszek javaslatot, legyen az csupán egy műveleti elem megváltoztatása vagy akár egy új technológia bevezetése. A problémák megoldását az

előzetes tervezés figyelembevételével és a gyártás megkönnyítésére irányuló ötletekkel egészítem ki, lehetőség szerint a költséghatékonyság jegyében.

2. Fontosabb hegesztési eljárások és berendezéseik bemutatása

A hegesztési eljárások közül a legelterjedtebbek az ívhegesztési eljárások, közülük is a huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés a legszélesebb körben elterjedt.

Az ívhegesztéshez szükséges hőmennyiséget a folyamat során hegesztőív szolgáltatja. A hegesztőív kizárólag olyan halmazállapotú fémek között jön létre, melyek szilárdak vagy cseppfolyósak. Ekkor lényegében egy hosszabb ideig tartó villamos kisülés keletkezik a hegesztő gáz védelmében, amelyet egy adott áramsűrűség és katódosítás jellemez. Több fajta ív égési lehetőség van: lehetséges ívégés védőgáz(ak) védelmében, mely(ek)nél különbséget teszünk semleges és aktív védőgáz védelem között. Semleges védőgáz védelemre kézenfekvő példa az argon gáz használata. Aktív védőgázos eljárásnál pedig a CO_2 vagy valamilyen keverékgázok szolgálnak védelemmel. [\[1\]](#)

Alapesetben a gázok nem képesek az elektromos áram vezetésére, de ionizált állapotban igen, ekkor keletkezik a villamos ív.

2.1. Bevont elektrodás ívhegesztés és berendezései

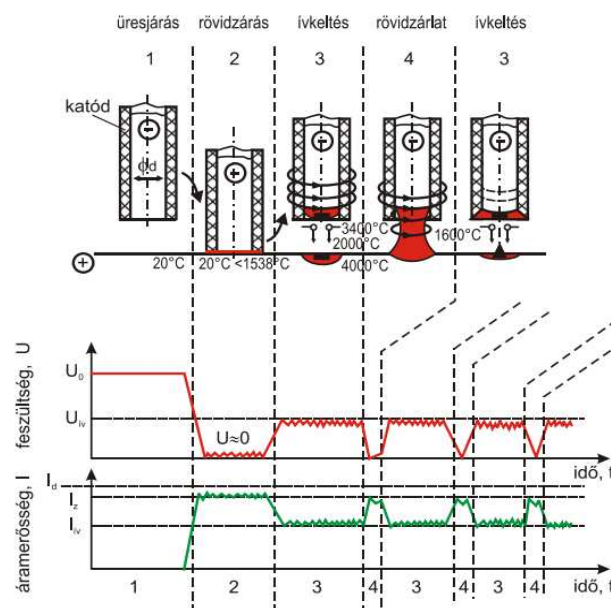
Ezen eljárás során a hegesztési ív, amely a munkadarab és a bevont elektróda között jön létre, vékony sávban megolvasztja az összehegesztésre szánt darabokat és az elektródát, így létrehozva a hegesztési ömledéket. Az ömledék dermedése után létrejön a két anyag közötti fémes kapcsolat.

A hegesztő áramforrás bekapcsolása után, de még a hegesztési megkezdése előtt, a pólusai között egy úgynevezett üresjáratú feszültség mérhető. Minden áramforrásnak másfajta üresjáratú feszültsége van, minél nagyobb az üresjáratú feszültség annál könnyebb lesz az ívgyújtás, ez általában 45...80V közé esik.

Az ívgyújtás folyamata során megfigyelhető (1. ábra), hogy a még hideg munkadarabokon rövidzárás által jön létre az elsődleges ívgyújtás. Ennek a részfolyamatnak az eredménye, hogy a felizzott anyagon megy végbe az ívkeltés.

Az első szakasz során az elektróda végét valamilyen módszerrel (pl.: koppintásos) a munkadarab felületéhez érintjük, így az ívtalppont felizzását követően hőfejlődés keletkezik, és a megolvadó fémrészen áthaladva záródik az áramkör. A hőmérséklet növekedésével az olvadt fémrész megnyúlik, majd egy pillanatnyi rövidzárlatot követően elszakad, ekkor újra kialakul az ív.

Egy olyan áramkörben, ahol állandósult a feszültség értéke és nincs induktivitás, körülbelül 1,5-szer nagyobb üresjáratú feszültség elegendő, hogy a másodlagos ívgyújtás végbe menjen. Az ív stabilizációja után az elektróda körül keletkezett mágneses tér segíti az elektróda végén keletkezett olvadékcsepp leválását.[\[3\]](#)



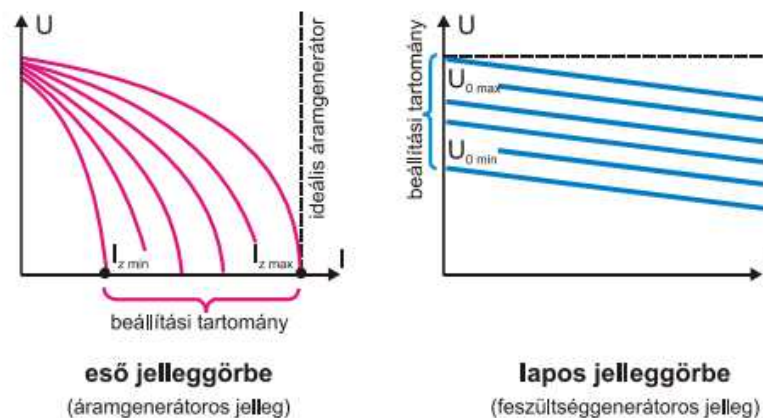
1. ábra Bevont elektródás ívhegesztés ömlesztő folyamata egyenes polaritás esetén [\[2\]](#)

A bevont elektródás ívhegesztéshez használt berendezések hegesztő-áramforrásai előállított áram szerint lehetnek egyen- vagy váltakozó áramúak, illetve mindkettőre is alkalmasak. Az egyenáramú berendezések egyaránt működtethetők villamoshálózatról

és azt nem igénylő energiaforrásról is, például belső égésű motorral meghajtott aggregátról.

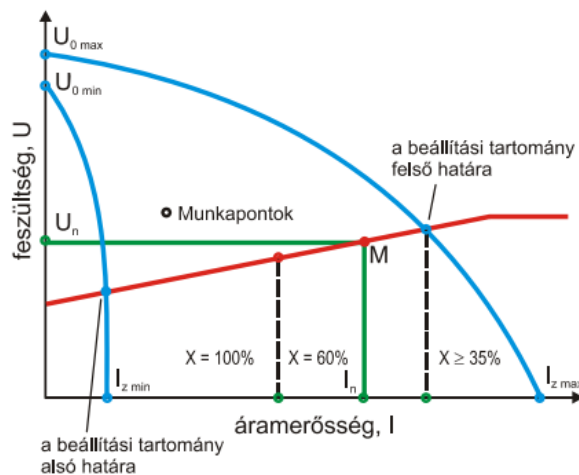
Minden áramforrást az áramerősség és feszültség kapcsolatát leíró statikus jelleggörbével tudunk jellemezni (2.ábra). Ebből következtethetünk arra, hogy bekapcsolt állapotban milyen feszültség és áramerősség értékek szerepelhetnek adott beállítás esetén a hegesztőáramkörben.

Leggyakrabban a görbék jellege meredeken eső vagy közel vízszintes, lapos. Előbbi görbe áramgenerátorok jellegzetessége, az utóbbi feszültséggenerátoros berendezéseké. Ezek az értékek függenek az adott berendezés beállításaitól, típusától, kialakításától. Az üresjáratú feszültség értékek a függőleges tengellyel való metszéspontnál jelennek meg.



2. ábra Ívhegesztő áramforrások statikus jelleggörbéje [2]

A rövid zárlatos fémátviteli technológiák jelleggörbéje a vízszintes tengelyt metszve az állandósult zárlati áram értékét mutatja meg. Ahogy a 3. ábra is mutatja, a statikus jelleggörbe és az ív jelleggörbe munkapont megnevezésű metszéspontokat hoz létre. Az ív hosszának megváltoztatásával a munkapont eltolódhat, valamint más értéket vehet fel, ha a jelleggörbe változik.



3. ábra Ívhegesztő áramköri munkapontok [2]

A bekapcsolási idő (X) a hegesztési idő és a ciklusidő hányadosa %-ban kifejezve. A ciklusidő a hegesztési idő és a szünetidő összegéből adódik, szabványosan 10 perc. A bekapcsolási idő adott áramerősség mellett, 10 percen belül a túlmelegedés nélküli időbeni terhelhetőséget mutatja meg %-ban.

$$X = \frac{\text{hegesztési idő}}{\text{Ciklusidő}} 100\%$$

Legfőbb információt akkor kapjuk, ha ezt az összefüggést nem az X érték és idő kapcsolatában vizsgáljuk, hanem az X és áramerősség vonzatában érték-párokat tekintünk. Általánosságban ezek 35%, 60% és 100%-os érték-pár jelölésként vannak feltüntetve az áramforrásokon.

A felhasználó számára a bekapcsolási idő (X) értéke az alkalmazásra kiválasztott technológiától és a feladat milyenségétől függ. Míg egy fedett ívű hegesztés során 70 és 95% között, addig fűzővarratok bevont elektródás hegesztésénél csupán 3 és 10% érték között mozog a szükséges bekapcsolási idő.

Hétköznapi felhasználók számára kialakított áramforrások bekapcsolási ideje nem a fentebb említett elv alapján kerül feltüntetésre, hanem a hőkapcsoló működéséig leolvasztható elektródák darabszámát adják meg. Ezeknél az áramforrásoknál a

maximum áramerősség 160A és az üresjáratú feszültség sem nagyobb 46 V_{eff}-nál. Ezeket az információkat tartalmazó adattáblákat minden áramforráson fel kell tüntetni.

Az n_c az áramforrás hideg (cold) állapotában, a hőkioldó bekapcsolásáig leolvasztható elektródák számát mutatja meg, míg n_h az áramforrás meleg (hot) állapota után a hőkioldó újbóli bekapcsolásáig eltelt idő alatt leolvasztott elektródák számát mutatja meg.[\[2\]](#)

Minden hegesztő áramforrásnak rendelkeznie kell egy üzemeltetési útmutatóval, amiről a legfőbb információk elérhetőek a felhasználók számára. Az áramforrás felületén letörölhetetlenül elhelyezett adattáblán fel kell tüntetni minden jellemzőt a berendezéssel kapcsolatban.

Az adattábla tartalma rendkívül sok tényezőtől függ. A berendezés típusán és a hegesztési eljárásán túl információt kaphatunk az alkalmazott áram neméről és polaritásáról, a berendezés hűtési módjáról és további villamos jellemzőkről. További információk az áramforrásokról:

- általános leírás, jelölések, grafikus rajzjelek jelentése,
- tápellátás és áramforrás megfelelő üzemeltetéséhez szükséges adatok,
- burkolat védettségi fokozatával kapcsolatos korlátozás,
- hegesztőáramforrás karbantartási útmutatója,
- kapcsolási rajz és alkatrész jegyzék.

A hegesztési feladatok ellátására többféle berendezés és áramforrás áll rendelkezésünkre (4. ábra). A következőkben bemutatásra kerülnek a teljesség igénye nélkül a legfontosabbak és a legszélesebb körben elterjedtek.

A hegesztőtranszformátorok váltakozó áramú hegesztést tesznek lehetővé olyan módon, hogy a folyamathoz szükséges meredeken eső jelleggörbét a szekunder áramkör reaktanciáját növelve érik el. A primer és a szekunder tekercs egy-egy különálló vasoszlopon van, így alakulhat ki egy negyed ellipszis alakú jelleggörbe. Ezt a jelleggörbét a megfelelő formára úgy tudjuk változtatni, hogy a tekercs menetszámát fokozatkapcsolóval változtatjuk a kívánt formáig.

A transzformátorok szabályozása többféleképpen lehetséges. Egyik ilyen mód, amikor a primer és szekunder tekercs között egy úgynevezett járom vasmag kézi vagy villamos mozgatásával változtatjuk a szórási utak mágneses ellenállását. Egy másik járható úton fojtótekercset iktatunk az áramkörbe és ennek mentén végzünk jelleggörbe-változtatásokat. Ekkor a szekunder áramkörbe helyezett vasmagos fojtótekercset szabályozása induktivitási légréssel megoldott. [5]

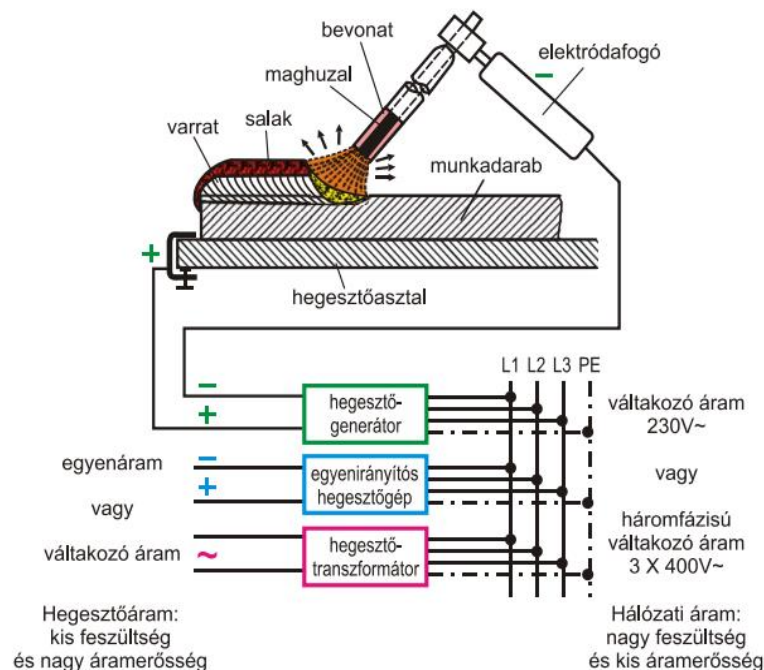
A mechanikus állítási lehetőségek kiváltásaképpen fejlesztett szabályozási forma a transzduktoros. Ebben az esetben nincsenek mechanikus mozgó alkatrészek, hiszen a transzduktor ferromágneses zárt vasmagokból és rájuk csévált tekercsekből áll, így megoldott a vezérlőkörös szabályozás lehetősége is. A tekercs menetszámának változtatásával érhetünk el jelleggörbe módosulatokat.

A hegesztő-egyenirányítók szabályozását félszabályozó háromfázisú híd végzi. Ez az áramforrás háromfázisú transzformátorból, egyenirányító egységből és a vezérlőkörből áll. A teljesen nyitott tirisztorok esetén tapasztalhatjuk a legnagyobb teljesítményt. Terheléskor a tirisztorokat vezérlő elektronika összehasonlítja az előre programozott értéket az áramkörbe érkező árammal és ennek függvényében állítja a tirisztorok gyújtási szögét. Ennél a megoldásnál a hegesztőnek nincsen lehetősége a folyamat közben változtatásokra, előbb kell beállítania a szükséges jelleggörbét. A változtatás lehetősége a korszerűbb gépek megjelenésével oldódott meg, így már 1%-os pontossággal állandó értéken lehet tartani a beállított és a mért értéket.

A frekvencia-átalakítás (inverteres) áramforrás lüktetőfeszültséget hoz létre olyan módon, hogy a hálózati feszültséget diódás egyenirányító egyenirányítása után a frekvenciaváltó középfrekvenciás értéket (20...100kHz) generál. Az így kialakított feszültséget kis értékre csökkenti egy középfrekvenciás transzformátor. Az egyenfeszültséget, ami a hegesztéshez szükséges, a transzformátorhoz csatlakozó diódás egyenirányító és egy fojtótekercs szolgáltatják. A hagyományos áramforrásokhoz mérten a rendszer hatásfoka jobb, hiába a többszöri energiaátalakítás. [6]

A hegesztőgenerátorok újabban a környezetvédelmi és ergonómiai irányelvek, valamint gazdaságossági okok miatt egyre inkább kiszorulnak az alkalmazási

területekről. Ennél a megoldásnál a jelleggörbét a kefehíd elforgatása, szórópólusos megoldás vagy akár keresztmezős kialakítással tudjuk előállítani.



4. ábra Bevont elektródás ívhegesztő áramforrások [2]

A bevont elektródás hegesztési berendezések elengedhetetlen tartozékai az elektroda fogó, mely az elektroda tartására, illetve stabilizálására szolgál és a hegesztővezeték (hegesztőkábel) ami az áramot vezeti az áramforrástól egészen a keletkezett ívig és vissza. Az áram-visszavezető (test) kábel a földvezeték szorítóhoz csatlakozik.

2.2. Fedett ívű hegesztés és berendezései

A fedett ívű hegesztés egy olyan eljárás, amely során ömlesztő hegesztést végzünk a leolvadó huzalelektroda és a munkadarab között keletkezett ívvel, fedőpor védelme alatt. Ez az eljárás teljesen egészében gépesített eljárás, mivel nem csak a huzaladagolás, de a varratirányú előrehaladás is így módon megoldott. A hozaganyag végéhez vezetett árammal, ami lehet egyen- vagy váltakozó is, végezzük a hegesztést. A bevont elektródás eljáráshoz képest 6...10-szer akkora áramerősség is elérhető.

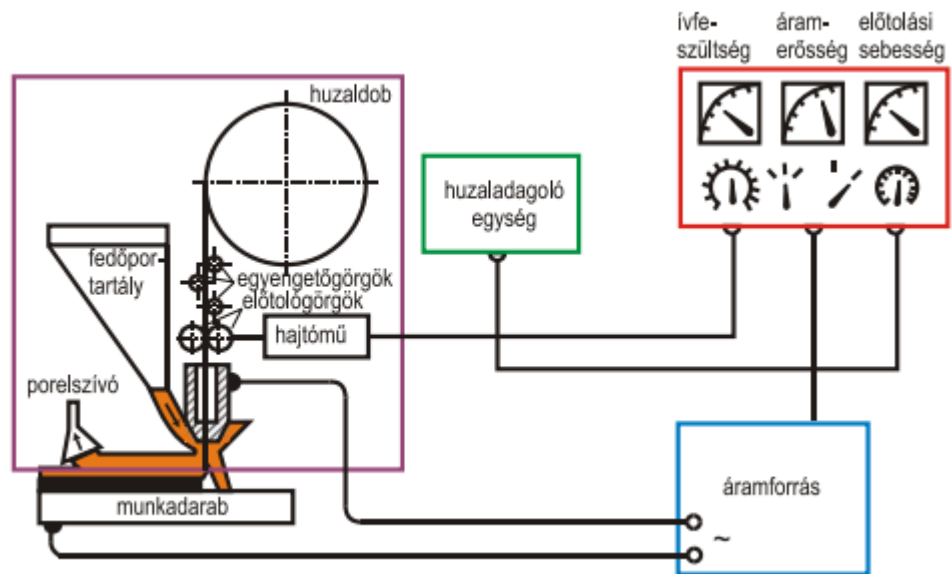
Az egyes változatoknál (5. ábra) észrevehetőek lényeges leolvadási teljesítmény különbségek az áramerősség értékét alapul véve. Más-más változatnak más-más előnyei lesznek.

A több huzalelektrodás változat kisebb vetemedést biztosít annak köszönhetően, hogy a hegesztési és a leolvasztási sebesség is külön állítható. További előnye, hogy jó résáthidaló képesség jellemzi, és nem szükséges az előmelegítés sem az eljárás előtt.

A szalagelektrodás fedett ívű hegesztés során nem csupán egy, de több ív is éghet egyszerre. A folyamat során meghatározott frekvenciával és amplitúdóval vándorolnak a szalag élén. A varratszélesség ekkor majdnem azonos a szalagszélességgel.

FEDETT ÍVŰ HEGESZTÉS	
jel	Eljárásváltozat
121	huzalelektrodás
122	szalagelektrodás
123	több huzalelektrodás
124	fémporadagolásos
125	porbeles huzalelektrodás

5. ábra Fedett ívű hegesztési változatok és MSZ ÉN ISO 4063 szerinti jelölések



6. ábra Fedett ívű hegesztő-berendezés részei [2]

A fedett ívű hegesztő-berendezés (6. ábra) áramforrásból, huzalelőtoló egységből, poradagolóból, vezérlőegységből és hegesztőkocsiból, illetve -állványból áll. Ennél az eljárásnál is alkalmazhatunk mind egyen- mind váltakozó áramú áramforrást. Az előbbi közelítőleg állandó feszültségű vízszintes, az utóbbi közelítőleg állandó áramerősségű eső jellegű görbét mutat.

Az állandó feszültségű hegesztő egyenirányítók általában kétféle transzformátorral szereltek:

- többfokozatú transzformátorral, ill. egyenirányítóval
- vagy teljesítmény elektronikával felszerelt transzformátorral.

Ezeknél a berendezéseknél a nehézkes ívgyújtás okozta hegesztési instabilitás miatt nem használunk állandó feszültségű áramforrást váltakozó árammal. Az állandó feszültségű áramforrások belső szabályozásúak, tehát a hegesztő áram változását használják szabályozóként.

Állandó hegesztőáramot adó áramforrások esetében, külső szabályozás használata során a ΔU feszültségváltozás szabályozza az állandó ívhosszt, melyet a huzalelőtolás sebesség változtatásával érünk el. Ezt az eljárást alkalmazzuk váltakozó áramú és nagy

áramerősségű, valamint több rétegű hegesztések elkészítésére vastag anyagoknál. Lehetséges elektronikus módon feszültség érzékelő és ellenállást szabályozó jeltől vevő szabályozási mód használata is.[\[1\]\[2\]\[4\]](#)

2.3. Huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés és berendezései

A védőgázos ívhegesztés során a villamos ív a folyamatosan előtolt huzalelektroda és a munkadarab között jön létre. Ezen folyamat során keletkezett hő alakítja ki a hegfürdőt. A levegő káros hatásától a nagy hőmérsékletre hevült anyagokat védőgáz óvja.

Az eljárás csoportosítása (7. ábra) a védőgáz és az alkalmazott hozaganyag szerint történik. Semleges védőgázos eljárásnak tekintjük, amikor a nagy hőmérsékletre hevült fém és a védőgáz közös jelenléte reakciómentes. Amennyiben ezek a reakciók zajlanak, abban az esetben aktív védőgázos eljárásról beszélhetünk.

jel	ELJÁRÁS
13	Huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés
131	Tömör huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (MIG-hegesztés tömör huzalelektrodával)
132	Porbeles huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (MIG-hegesztés porbeles huzalelektrodával)
133	Fémpor töltetű huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (MIG-hegesztés fémpor töltetű huzalelektrodával)
135	Tömör huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (MAG-hegesztés porbeles huzalelektrodával)
136	Porbeles huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (MIG-hegesztés porbeles huzalelektrodával)
138	Fémpor töltetű huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (MAG-hegesztés fémpor töltetű huzalelektrodával)

7. ábra Huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés változatai

A huzalelektrodás, védőgázos eljáráshoz nagy teljesítményű áramforrás szükségeltetik, ahol az áramforrás negatív pólusa a munkadarabhoz csatlakozik, a pozitív a hozaganyaghoz. Az áramforrás és a munkapont beállításának két lehetséges módja van: vagy a jelleggörbét állítjuk, vagy a huzalelőtolás mértékét változtatjuk. Utóbbival az ívhossz is változik. Ez azért fontos, mert amennyiben az ív rövid, rövidzárlatos anyagátmenet keletkezhet, ami a hegesztési folyamat zavarát okozhatja. Az ív ezen eljárás során fontos szerepet tölt be a hozaganyag leolvasztásában és annak hegfürdőbe kerülésében, valamint a varratalak kialakításában.

Az áramerősséghez arányosan kell növelni vagy csökkenteni a feszültséget az áramforrás jelleggörbéjének eltolásával és figyelembe kell venni a védőgáz összetételét. Időben állandó vagy időben változó egyenáramot alkalmazunk, mely során a munkadarab a negatív pólus, a hozaganyag a pozitív pólushoz csatlakozik.

Anyagátvitel szempontjából két alapesetet különböztetünk meg:

- A hozaganyag végén lévő olvadék a cseppenként zárlatmentesen hegfürdőbe szakad. (Free flight metal transfer)
- Az olvadt hozaganyag leszakadó vége érintkezik a hegfürdővel, ekkor a zárlatos anyagátvitel eredményeként a fémhíd fröcskölve szétrobban, majd az ív újra gyullad.

A huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztéskor csepp alakú olvadék a hozaganyagból akkor tud keletkezni, ha az olvadékot a hozaganyagnál tartani igyekvő erőnél a leválasztásra törekvő tengelyirányú erők eredője nagyobb lesz. A cseppleválás folyamata során, alacsony áramerősségnél érdemi szerepe a súlyerőnek van. A kutatási adatok azt mutatják, hogy ebből kifolyólag a fej feletti hegesztések során kizárólag zárlatos anyagátvitellel lehet hegeszteni megközelítőleg 300A áramerősségig, afelett lehetséges lehet a zárlatmentes anyagátvitel is.[\[7\]](#)

Több tényező együttes jelenléte alakítja ki az anyagátviteli módot. Az áramnem, az áramerősség és az ívfeszültség befolyásolja az ívatmoszféra összetételét. Ezeket a tényezőket a hegesztő berendezésünk statikus és dinamikus beállításával tudjuk

definiálni. Végül a maga a hegesztési helyzet és a használt hozaganyag átmérője is hozzájárul egy jól kialakítható anyagátviteli módozathoz.

Az áramerősséget és a feszültséget könnyen változtathatjuk hegesztő berendezésünkön keresztül. Az ívfeszültség a hegesztés során folyamatos változásban van, illetve szoros kapcsolatban áll az ív hosszával. Ha az ívhossz rövid, úgy az ívfeszültség is kicsi lesz. Az ívhossz nem csupán a huzalelőtolás beállításától függ, hanem attól is, hogy a hegfürdőbe folyamatosan leolvadó huzalanyag mekkora átmérőben cseppen le. Ez a periodikusan keletkező leolvadás hozza létre azt a rövidzárlati áramerősséget a huzalanyag vége és a hegfürdő között, ami a hegesztő berendezés dinamikus tulajdonságai alapján egy maximális értéket ér el.

Amennyiben az ívhossz megnyújtására képesek vagyunk, abban az esetben az ívfeszültség növekedésével ki tudjuk zárni a rövidzárlati lehetőségeket, lényegében rövidzárlat mentessé alakíthatjuk a folyamatot.

Az ívfeszültség és ívhossz kapcsolata leírja a zártatos hegesztési folyamatokat. Ugyanígy összefüggés vonható a cseppek átmérője és az áramerősség között. Az alacsony áramú, ám hozzávetőlegesen nagy ívhosszúságú íveknél az anyagátvitel során nagy cseppek keletkeznek. Ez főként azért alakul így, mert a kis áramerősség elektromágneses tere gyenge, így a huzal végén létrejövő olvadt fém további fenntapadása nagyobb cseppek létrejöttét vonja magával. A túlhevült állapotú cseppekben fémgőz buborékok keletkeznek. Ezek az olvadékcseppek leválásakor expandálnak, majd lecsapódnak. Az ívtérben ekkor, bár csak rövid ideig, nyomásváltozást okoz, ami képes eltéríteni az ívtengelyétől az ívcseppeket. Ekkor a hegesztés során nagyméretű fröccsenések keletkeznek, amik nem csak a hegesztés minőségét befolyásolják, de a hegesztett alkatrész felületén is képesek megtapadni. Az áramerősség növelésével gyorsítható a cseppek leszakadási üteme.

Az áramerősség növelésével megváltoztatható a nagycseppek, a hozaganyag átmérőjénél többszörös méretű cseppek formája, zárlatmentes anyagátvitel esetén. Az ezen ponton lévő áramerősséget kritikus áramerősségnek nevezzük. Vízszintes hegesztés

során ez a kritikus állapot 310-330A-es tartományban alakul ki, amikor is a nagycseppek tized akkora aprócseppes állapotot vesznek fel.

Egy-egy hegesztési folyamat során nem csupán egy védőgáz használatával érhetjük el a kívánt tulajdonságokat. Sok esetben több gáz keverése jelenti a megoldást. Ezen keverékek lehetnek semleges, illetve oxidáló hatású védőgázkeverékek. Az utóbbi védőgáz keverék acélok huzalelektrodás ívhegesztésénél alkalmazott. Ugyanis más anyagoknál, mint például az alumínium-, titán-, magnézium és ötvözeteik hegesztése során az olvadékban redukálhatatlan fémoxigének keletkeznek, így semleges gázokra van szükségünk. A semleges védőgázok gázkeverékei héliumból és argonból állnak.

Oxidáló hatású védőgázkeverékek az argonhoz keverve különböző százalékarányban oxigént tartalmaznak, melyek jelenléte a hegfürdő hidrogéntartalmát csökkenti. Az oxigén 1-2%-os jelenléte már pozitívan befolyásolja a repedésképződést és esetleges porozitási problémákat, amelyeket a hidrogén nem kívánatos jelenléte okoz a hegfürdőben és környezetében.

A fémolvadék felületi feszültsége is befolyásolható olyan argon gázkeverékkel, amelyhez 2-5%-ban oxigént kevertek. Ez a jelenség két igen fontos dologra hat ki. Egyfelől a kisebb cseppek válnak le huzal leolvadáskor, másfelől a hegesztési varrat alakjellemzőire gyakorolt hatása, ideértve a varratdudor méretét, a szegélykiolvadás lehetőségét, a varratfelszín pikkelymentes kialakulását. A 15-25% szén-dioxid keverése argonhoz lényegében ugyanazt éri el, mintha 3-5% oxigént adnánk az argonhoz. Ezzel a keverékkel eredményesen hegeszthetünk vékonyabb lemezeket, nem tartva a szabálytalan varrat átolvadástól. Vastagabb anyagok hegesztésekor pedig a hegesztési sebesség növelésével tudjuk a hasznunkra fordítani a jobb hővezetési adottságokat.

További gázkeverési lehetőségként érdemes megemlíteni, amikor az argon-oxigén mellé szén-dioxidot adunk a gázkeverékhez. Közel azonos jellemzők mellett hegeszthetünk ezzel a keverékkel, mint ha pusztán argon-szén-dioxid keveréket használnánk. Ám a keveréket kis karbontartalmú korrózióálló acéloknál nem ildomos használni, hiszen a jelenlévő szén-dioxid disszociációja zajlik le az ívoszlopban, ami a varrat szemcsehatár korróziós károsodását idézheti elő.

2.3.1. Huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés berendezései

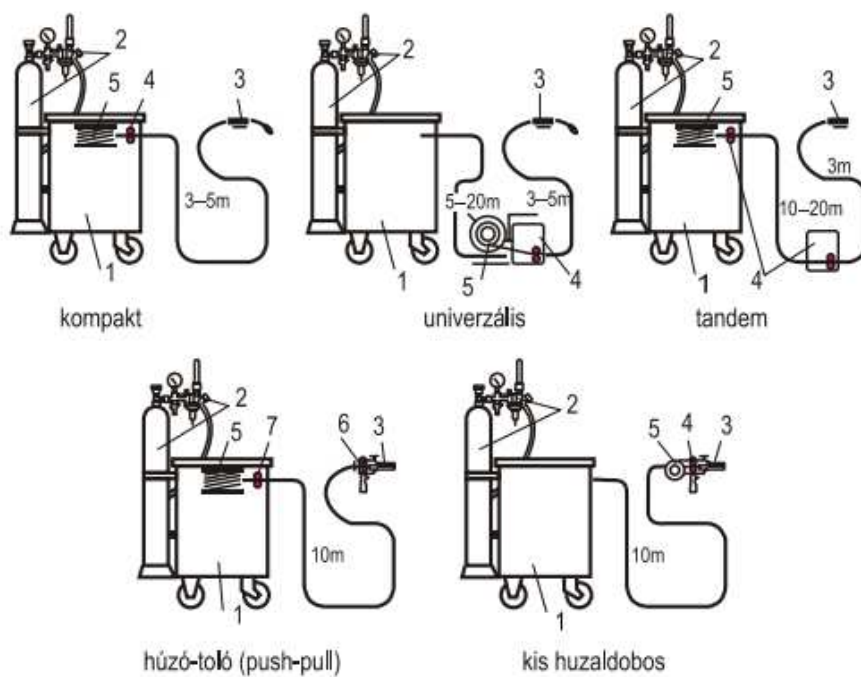
A huzalelőtoló berendezés elhelyezkedése alapján elég egyszerűen csoportosíthatóak a huzalelektrodás ívhegesztő gépek. Mint az 1. táblázat is rámutat a főbb különbségek a hegesztőt végző személy és az áramforrás távolságán alapulnak.

	huzal átmérő	hegesztő- tömlő hossza	huzalelőtoló áramforrás távolság	huzaldob helyzete
Kompakt	0,8-1,2 mm	3-5 m	hegesztőtömlő hossza	áramforrás és huzaldob együtt
Univerzális	0,8-2,4 mm	3 m	tetszőleges távolság	huzalelőtoló berendezés külön
Tandem	0,8-2,4 mm	3 m	tetszőleges távolság	áramforrás és huzaldob együtt
Húzó-toló	0,6-2,4 mm	10 m	hegesztőtömlő hossza	áramforrás és huzaldob együtt
Kis huzaldobos	0,6 mm	10 m	hegesztőtömlő hossza	pisztolyon

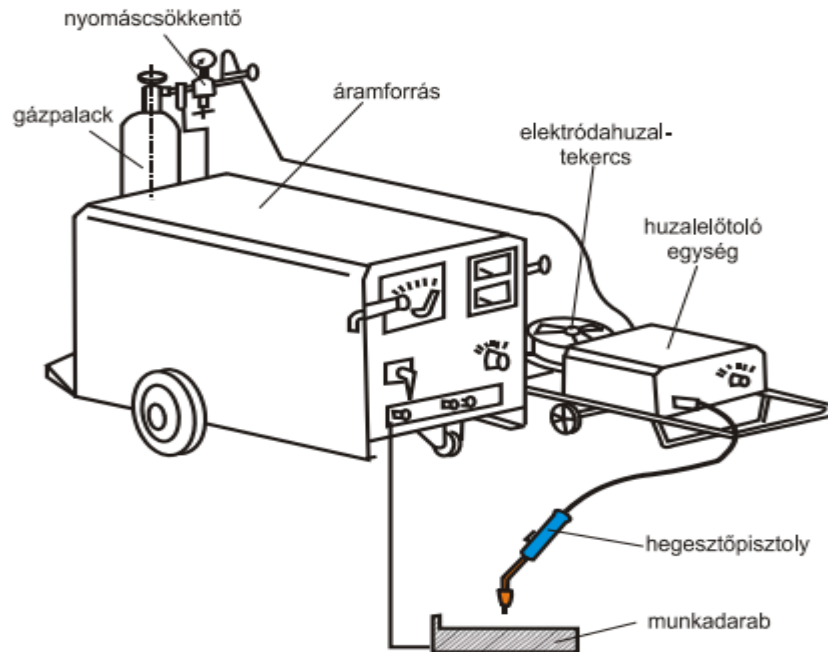
1. táblázat: A huzalelőtoló berendezések jellemzői

Ezen belül lehetséges, hogy a huzalelőtoló az áramforrással közös egységben, azon kívül, vagy esetlegesen a hegesztőpisztolyra szerelve legyen (8. ábra). Általánosságban elmondható, hogy a jobb hatásfok és a nagyobb teljesítmények kiaknázása eredményeképpen megjelentek egyirányítós transzformátorral szerelt

hegesztő berendezések. Ezek a berendezések képesek a huzalanyag leolvadása közben keletkező rövidzárlatokat az áramkör karakterisztikájával összehangolni egy állítható fojtótekercs segítségével. Így alakulhatott ki a rövidzárlatos hegesztés lehetősége is.

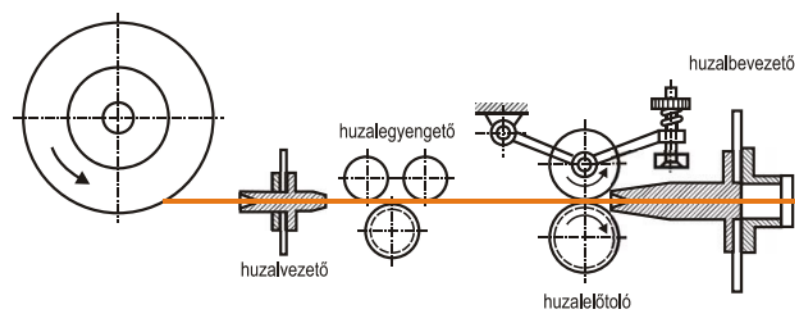


8. ábra Huzalelektrodás védőgázos berendezések fajtái [2]



9. ábra Huzalelektrodás védőgázos ívhegesztő berendezés főbb részei [2]

A berendezés főbb részei (9. ábra) közül fontos kiemelni a huzalelőtoló egységet (10. ábra), amely a huzal egyenletes adagolását végzi megtörés mentesen. A huzaladagolás sebessége és a huzalbeolvadás együttesen eredményezik a helyes egyensúlyt a hegesztési folyamatban.



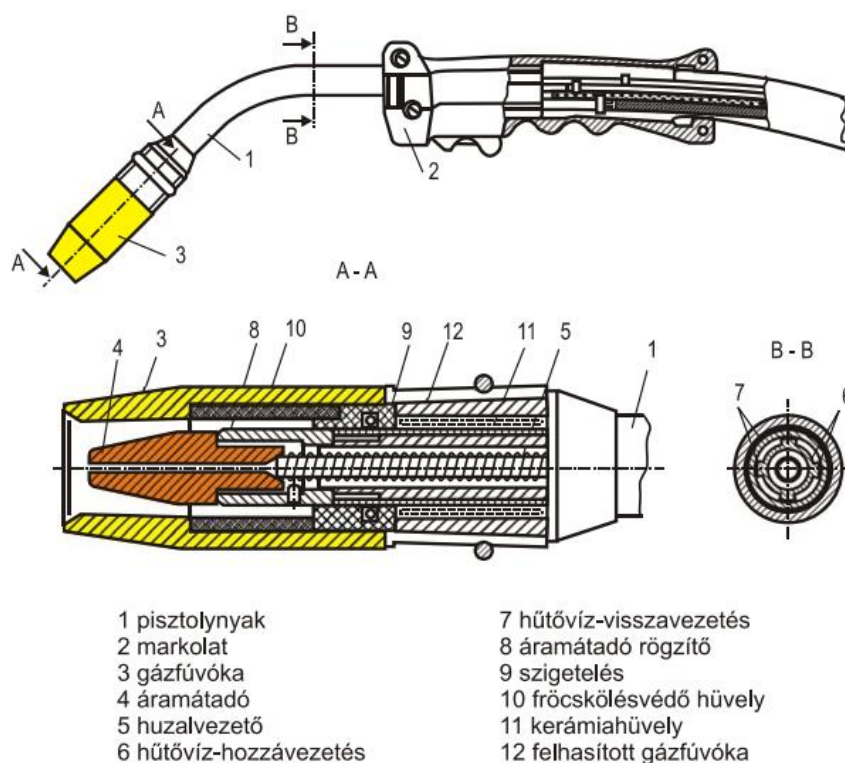
10. ábra Huzalelőtoló egység részei [2]

A hegesztőpisztolyok lehetnek levegő- vagy akár vízhűtésesek is. Hogy melyikre van szüksége egy hegesztőberendezésnek azt általában az áramerősség maximálisan elérhető értékéhez szokás igazítani:

- a léghűtéses vagy gázhűtéses pisztoly kb. 250 A-ig,

- a vízűtéses, kézzel vezetett pisztoly kb. 500 A-ig,
- a vízűtéses gépi hegesztőpisztoly kb. 800 A-ig használható.

Általánosságban elmondható, hogy egy hegesztőpisztolynak (11. ábra) könnyűnek is kell lennie, hogy egy hosszabb varrat kialakítása közben se akadályozza a túlzott terhelés a hegesztőt.



11. ábra Huzalelektrodás hegesztőpisztoly felépítése [2]

A huzalelektrodás, védőgázos hegesztés jól gépesíthető, nagy a termelékenységi mutatója, nagyon sok területen képes kiváltani a körülményesebb bevont elektrodás ívhegesztést. Az egyik legelterjedtebb eljárás az ismert ömlesztő hegesztési eljárások közül.

2.4. Volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés

A nem fogyóelektrodás védőgázos ívhegesztés során a volfrámelektroda az áramforrás egyik pólusára a munkadarab a másik pólusára van kötve. A volfrámelektroda és a munkadarab között keletkezett ívvel hegesztünk hozaganyag adagolásával vagy

anélkül. A volfrámelektroda gyakran tartalmaz valamilyen oxidadalékot az elektronkibocsátás fokozására. Általában a tórium- (ThO_2), cirkónium- (ZrO_2), lantán- (LaO_2 , La_2O_3) vagy cériumoxidot (CeO_2) alkalmazása a legelterjedtebb. Alumínium hegesztéshez kiválóan alkalmas az oxidadalék nélküli tiszta volfrámelektroda, bár a gazdaságosság és a sokrétű jellemzőik miatt nagytöbbségében már az oxidadalékos elektródák térnyerése realizálódik.

Ez az eljárás is igen jól gépesíthető, mivel mind az ívet fenntartó hegesztőfej gépi irányítása, mind a hozaganyag esetleges adagolása megoldható.

Védőgáza lehet az argon és hélium vagy ezek keveréke. A védőgáz megválasztása a munkadarab anyagminőségétől függ. Az argon gáz (I1) legalább 99,99%-os tisztasága szükséges a hegesztéshez. Olyan esetekben, ahol a munkadarab oxigén affinitása megköveteli nagyobb tisztaságú, 99,997%-os argon gáz használata javasolt. Ilyen körülmények adódhatnak titán, magnézium vagy alumínium munkadarab hegesztésekor. Ekkor megoldást képezhet az is, ha néhány százalék hidrogén adalék van keverve a védőgázba. [1]

A könnyű- és színesfémek hegesztésekor sokszor alkalmaznak argon-hélium (I3) keveréket, mely a szélesebb beolvadást hivatott segíteni. Bizonyos esetekben akár a tiszta hélium (I2) alkalmazása sem ördögtől való. (2.táblázat) Hélium alkalmazása elsősorban magas minőségi elvárások mellett hegesztett alumínium ötvözeteknél nyújt nagy segítséget, mind a varrat beolvadási mélysége, mind a varrat tisztaságának fenntartása terén.

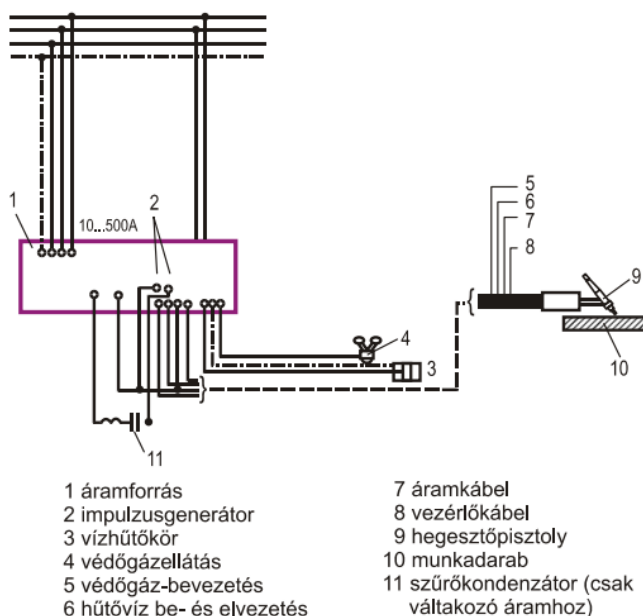
Megnevezés	ISO 14175	Összetétel % (V/V)		
		Ar	He	N2
Argon	I1	100		-
Hélium	I2		100	-
Argon-Hélium	I3	15	85	-

2. táblázat Védőgázok jelölése és összetétele

A volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztő gép (12. ábra) áramforrása statikus jelleggörbéjű. A bevont elektrodás ívhegesztéshez hasonlóan egyszerű transzformátorok,

tirisztoros egyenirányítók vagy inverteres áramforrások is lehetnek. A különbséget a nagyobb bekapcsolási idő igénye és a védőgáz elő- és utóáramlási lehetőségei képezik.

Ezen eljárás során egyen- és váltakozóáram is egyaránt használható, ezt az igényt kielégítve jelentek meg olyan berendezések és gépek, amelyeket egyszerűen átkapcsolva tudunk választani a kívánt áramnemek közül. Külön kiemelendő, hogy kisebb áramerősség tartományban zajló hegesztési munkák elvégzésére is alkalmas, ezért transzformátor vagy egyenirányító segítségével szabályozható kell, hogy legyen.



12. ábra TIG berendezés vázlata [2]

Az TIG-hegesztés szerszáma lényegében a hegesztőpisztoly, melynek feladata az ív létrehozásán és fenntartásán valamelyest túlmutat. A pisztoly további feladatai közé tartozik a védelemhez és szabályozáshoz tartozó alkatrészek befoglalása, valamint a szükséges elektronika, a gáz és a pisztoly hűtését szolgáló levegő vagy hűtőfolyadék áramlásának biztosítása. Nagyjából 150 A-ig elégséges a pisztoly védőgázzal való hűtése, e fölött kizárólag hűtőfolyadék használata javasolt, amivel akár 600 A-rel terhelhető pisztolyok is hűthetőek.

Jel	Megnevezés
14	Volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztés (TIG-hegesztés)
141	Tömör huzallal / pálcával végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (tömör hozaganyagos TIG-hegesztés)
142	Hozaganyag nélküli, volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (hozaganyag nélküli TIG-hegesztés)
143	Porbeles huzallal / pálcával végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (porbeles hozaganyagos TIG-hegesztés)
145	Tömör huzallal / pálcával végzett volfrámelektrodás, redukáló védőgázos ívhegesztés (tömör hozaganyagos, redukáló védőgázos TIG-hegesztés)
146	Porbeles huzallal / pálcával végzett volfrámelektrodás, redukáló védőgázos ívhegesztés (porbeles hozaganyagos, redukáló védőgázos TIG-hegesztés)
147	Volfrámelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (TAG-hegesztés)

13. ábra TIG eljárásváltozatok

2.5. Ellenállás hegesztés

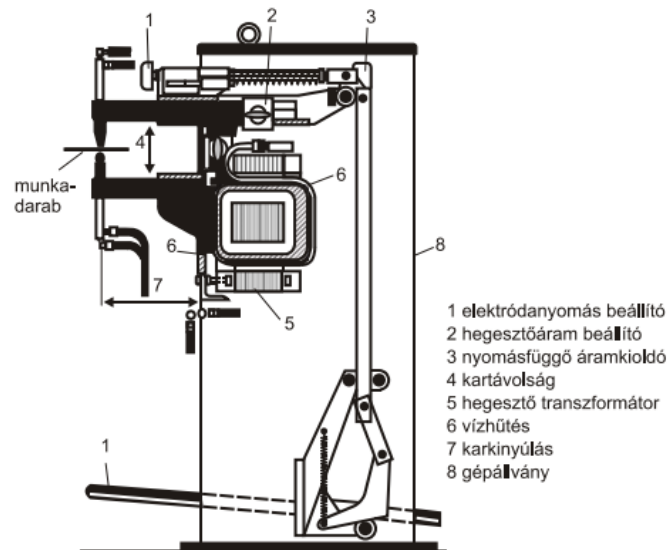
Ellenállás-hegesztéskor hő- és erőhatás együttes alkalmazásával jön létre a kötés. Ez azt jelenti, hogy a munkadarabon átvezetett áram, és a munkadarabon és az átmeneti ellenálláson fejlődött hő adja a kötéshez szükséges hőmennyiséget.

2.5.1. Ellenállás ponthegeesztés és berendezései

Ellenállás ponthegeesztés során egyen- vagy váltóáram használata közben pontszerű varrat jön létre a ponthegeesztő elektródák között, külső erőhatás kifejtése által. Hozzávetőlegesen az elektródacsúcsok adják a varratszélességet.

A ponthegeesztés során a berendezés transzformátora a hálózati áramot 10...50kA-ra növeli, melyet elektródák vezetnek a munkadarabhoz, ahol egy nagyon rövid idő elteltével a munkadarab megömlik és kialakul a lencse alakú pontvarrat.

A berendezések lehetnek helyhez kötöttek (14. ábra) avagy hordozható gépek, melyek főleg a karosszéria javítási munkálatok során tesznek nagy szolgálatot a felhasználóknak.



14. ábra Helyhez kötött ellenállás ponthegesztő berendezés részei [2]

Ponthegeztés során különböző hegesztési ciklusok állíthatóak annak függvényében milyen anyagminőségű, vastagságú anyagot hegesztünk, és milyen kötés kialakításban tervezzük elvégezni. A ciklust jellemzi az áramerősség, a nyomóerő és a hegesztési idő.

3. A rendelkezésre álló gyártási környezet (technológiák, gyártmányok, anyagok) bemutatása

3.1. A gyártási környezet

A gyártási környezet két főbb területre osztható fel megmunkálás szempontjából. Az egyik a forgácsolóüzem, melynek feladatai elvégzésére különböző célgépek, mint szalagfűrész, hidraulikus kispres, oszlopos fúrók, és megmunkálóközpontok, mint CNC vezérelt maró és eszterga gépek állnak rendelkezésre.

A gyártástervezés során kiemelt szerep jut az alapanyagellátás megszervezésére, legyen szó partnerek által beszállított előgyártmányokról, vagy az üzem területén feldolgozott féltermékekről. Leggyakoribb előgyártmányok rúd- vagy idomszelvények darabolásából és vastag lemezek víz- vagy lézersugaras vágásából keletkeznek. [

A forgácsolóüzembe kerülő anyagok minőségei rendkívül változatosak. Az általánosabb szerkezeti acélok; korrózió- és saválló acélok; alumínium, illetve réz és ezek ötvözetek mind-mind alapanyagok lehetnek egy alkatrésznek. Az anyagok sokfélesége miatt változatos megmunkálási technológiák használata célszerű. A megmunkálás megkönnyítésére speciális ötvözeteket is választhatunk. Például foszforral és kénnel ötvözött korrózióálló acélok forgácsa nem folyamatos képet mutat, a forgácsképződés során darabokra törik.

Alumínium alkatrészek tervezése során a későbbi felületkezelési eljárásokat is figyelembe kell venni a forgácsolási jellemzők mellett. Különböző ötvözők jelenléte és arányaik más-más mértékben befolyásolhatják a felületkezelés eredményeit. Az ötvözők a szilárdsági paramétereket kedvezően, az elektromos vezetőképességét csökkentve befolyásolják. Forgácsolhatósági szempontból a réz, cink és magnézium ötvözők javítják, míg a mangán és különösen a szilícium nagy arányú jelenléte rontja a folyamatot. A legtöbb esetben használt alumíniumötvözetek a következők: AlMgSi1 (jól hajlítható és forgácsolható, hegesztésre alkalmas); AlZn4,5Mg1 (Nagyobb szilárdsági jellemzőkkel bír. Szerszámválasztáskor ezt mindenképpen figyelembe kell venni. Kiválóan hegeszthető.)

Mint minden forgácsoló, illetve megmunkáló üzem esetén, amely a precíz és gyors gyártás mellett a gazdaságosságot is szem előtt tartja, itt is elmondható általánosságban, hogy a legkisebb anyagvesztésre törekednek minden alkatrész gyártása során. A gyártástervezés folyamata során a helyes technológiák kiválasztása, a műveletek helyes és egymásból logikusan következő sorrendiségének felállítása, az előgyártmányok megfelelő méretének megválasztása, mind-mind hozzájárul, hogy a két üzem tevékenyen tudjon egymással összedolgozni.

A megmunkálóközpontok fő megmunkálási folyamata a marás, illetve a fűrés. A rendelkezésre álló géppark főleg 3 tengelyes megmunkálást tesz lehetővé, az anyagok sokszori forgatásával és újbóli megfogatásával. Ez a körülményesség leginkább az egyedi gyártásból adódó folyamatos átállások, és a rendkívül gyakran jelentkező 1-1 darabot igénylő kutatást és fejlesztést kiszolgáló darabok legyártása miatt jelentkezik. A gépidőt szignifikánsan csökkenti a gépek mechanikus karos, esernyőtáras szerszámváltása, mely a lentebbi gépek esetébe 30 darab szerszám tárolását teszik lehetővé.

Alak- és helyzetpontossága a megmunkált daraboknak függ a megmunkálás módjától és jellegétől. Beszélhetünk homlok- és palástmarásról, melyek folyamán nagyolhatunk és simíthatunk.[\[6\]](#) Ez különösen az utólagos megmunkálások során fontos. Esetünkben sokszor elektropolírozásra kerülnek a gyártmányok, melyek előkészülete során kerülendő a durvább felületi érdesség.

A gyártási környezet másik nagy területe a lemezüzem, ahol a lemezalapú előgyártmányok lézervágás során alakulnak ki. Itt nagyrészt gépburkolati elemek gyártása folyik, valamint a forgácsoló üzemben megmunkált alkatrészek szükségszerű összehegesztése. A kiinduló művelet minden esetben megegyezik. Ezután mind az igényességi szempontok, mind a későbbi megmunkálások során bekövetkező sérülések elkerülése végett, ha azt a tervrajz nem tiltja, az alkatrészek sorjázásra kerülnek. Ezt követően a megfelelő munkaállomáson nyerik el előírt paramétereiket, legyen az hajlítás, menetelés, süllyesztés, sajtolás, hegesztés vagy csiszolás.

A lemezüzemben finom- és vastaglemezek alakítása és megmunkálása folyik. Túlnyomórészt alumínium, korrózió- és saválló lemez alkatrészek lézersugaras vágása után a burkolatot hegesztik, ha szükséges felületkezelésre küldik tovább.

3.1.1. Forgácsolóüzem gépeinek bemutatása

A forgácsolóüzem megmunkálóközpontjai főleg vertikális megmunkálásra alkalmas 3 és 5 tengelyes marógépek. Az üzem területén a DMG Mori, Fehlmann által gyártott CNC-vezérelt maró, illetve Emco márka fémjelezte esztergagépeken történik a gyártás. A marógépek vezérléseiről általánosságban elmondható, hogy Heidenhain 620-as vagy Siemens vezérlések, az alkatrészek legyártásához szükséges programokat CAD-CAM szakemberek programozzák.

- DMG DMC Deckel Maho 635 V.

Az asztalrögzítési felülete 790x560 mm, amihez egy x irányban 635 mm, y irányban 510 mm és z irányban 460mm megmunkálási tartomány tartozik. A főorsó maximális fordulatszáma 18000 fordulat/perc. Belső hűtéssel és forgácsszállító szalaggal ellátott.

- DMG Mori CMX 800 V

Az asztalrögzítési felület 1100x560mm, amihez egy x irányban 800 mm, y irányban 560 és z irányban 510 mm megmunkálási tartomány tartozik. A főorsó maximális fordulatszáma 12000 fordulat/perc. Belső hűtéssel és forgácsszállító szalaggal ellátott, 30 szerszám befogási lehetősége jellemzi.

- DMG Mori CMX 1100 V

Asztalrögzítési felülete 1400x560 mm, megmunkálási tartománya x irányban 1100 mm, y irányban 560 mm és z irányban 510 mm. A főorsó maximális fordulatszáma 12000 fordulat/perc. Belső hűtéssel és forgácsszállító szalaggal ellátott. 30 szerszám befogási lehetőséggel rendelkezik. A megmunkálóközpont képes akár egy 1000 kg-os

gyártmány megmunkálásra, de főként a hosszabb mozgási tartománya miatt, a hosszabb gyártmányok gyártását végzik rajta.

- Fehlmann PICOMAX 75

5 tengelyes megmunkálóközpont, amelyen bonyolultabb alkatrészek magas minőségű gyártása folyik a lehető legkevesebb befogást használva. Maximális főorsó fordulatszáma 20000 fordulat/perc. Mozgás tartománya x-y irányban 600x400 mm, mely egy 610 mm-es magassági megmunkálási lehetőséggel egészül ki.

- EMCO Maxxturn 25 automata eszterga tulajdonságai a következők:

Maximálisan 114 mm átmérőjű anyagot esztergálhatunk, melynek a hossza 315 mm lehet. A főorsó 0-8000 fordulat/perc tartományban képes a megmunkálási sebességet biztosítani. A meghajtott szerszámállások száma 6, amelyek 4 Nm maximális nyomaték mellett 0-6000 fordulatszámra képesek percenként.

3.1.2. A lemezüzem gépeinek bemutatása

A lemezüzemben célgépek találhatóak, melyek a következők: élhajlítógép, PEMserter (kézi adagolást igénylő pneumatikus sajtológép), egy oszlopos fúró, csaphegesztő berendezés, illetve TIG és MIG-hegesztőgépek.

A lemezüzem alkatrészeinek kivágását és sok esetben a forgácsoló üzem előgyártmányainak kivágását is egy AMADA 3015 AJ lézervágó gép végzi, a gyártástervezés által előzetesen létrehozott és ütemezett táblatervek alapján.

Alumínium és rézötvözetek, szerkezeti acél és korrózióálló anyagok vágása zajlik a megfelelő vágási technológiák biztosítása mellett. A nagy oxidfelvevő-képességű anyagok vágása során, mint például a vas vagy a titán, a vágórésbe juttatott oxigén a fém elégetését és a keletkezett salakanyagok kifűjtását is elvégzi. Ez az eljárás nagy sebességű vágást tesz lehetővé.

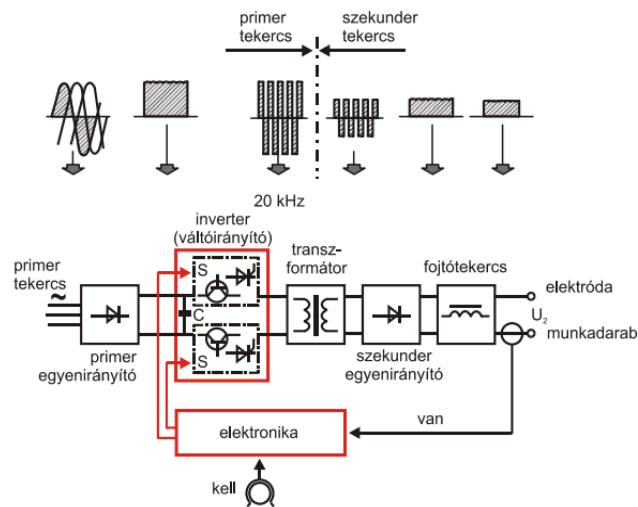
A korrózióálló, alumínium és rézötvözet lemezek vágása során egy nem reakcióképes gázsugár fújja ki a vágórésen keresztül elgőzölögtetett anyagot, esetünkben ez a gáz a nitrogén.

Az alkatrészek hegesztésére szolgáló gépek működése inverter technológián alapul (15. ábra). A frekvenciaátalakítós áramforrás rendkívül megkönnyíti és sokkal kezelhetőbbé teszi a hegesztők számára a munkavégzést. A hegesztőberendezések kisebbek, precízebbek, sokkal szélesebb körű beállítási lehetőséget engednek.

Az áramforrásban a frekvenciaváltás úgy zajlik le, hogy a felvett váltakozó hálózati feszültség először egy diódás egyenirányításon esik át. Az így keletkezett egyenáramú feszültséget a tirisztorokból vagy tranzisztorokból álló inverter alakítja olyan középfrekvenciás váltakozó feszültséggé, ahol az impulzusok pozitív és negatív félperiódusok szélessége változtatható.

A váltakozó áramú hegesztések során a jellegzetes sípoló hang elkerülhető a 20 kHz-nél magasabb tartományokban. Alapvetően az egyenáram nem transzformálható, ezért az egyenfeszültség szaggatására van szükség, tehát váltakozóvá alakítására. Az így keletkezett feszültséget úgy, ahogy a hálózati frekvenciájú hegesztőtranszformátoroknál, itt is egy transzformátor csökkenti a kívánt értékre, de az inverteres hegesztőgépeknél ez már lényegesen kisebb, ugyanis a frekvencia növelésével csökken a szükséges vasmag keresztmetszet. A hegesztéshez szükséges egyenfeszültséget úgy kapjuk meg, hogy a transzformátor szekunder tekercsén megjelenő feszültséget ismét egyenirányítjuk, és a már egyenirányított feszültséget egy simító fojtótekercs állítja a szükséges egyenletes értékre.

Az inverterek használatáról általánosságban elmondható, hogy kisebb, kompaktabb kialakításuk miatt egy hordozhatóbb konstrukcióról beszélhetünk. A kisebb és modernebb kialakítás alacsonyabb energiafogyasztást, és kiváló, akár 90%-os hatásfokot is nyújthat. Az energiafogyasztás kisebb mértéke miatt sokkal könnyebb a hálózati csatlakozások kiépítése. Egyszerűen elvégezhető és sokszínű beállítási lehetőségek áll rendelkezésünkre.[\[1\]](#)[\[4\]](#)[\[5\]](#)

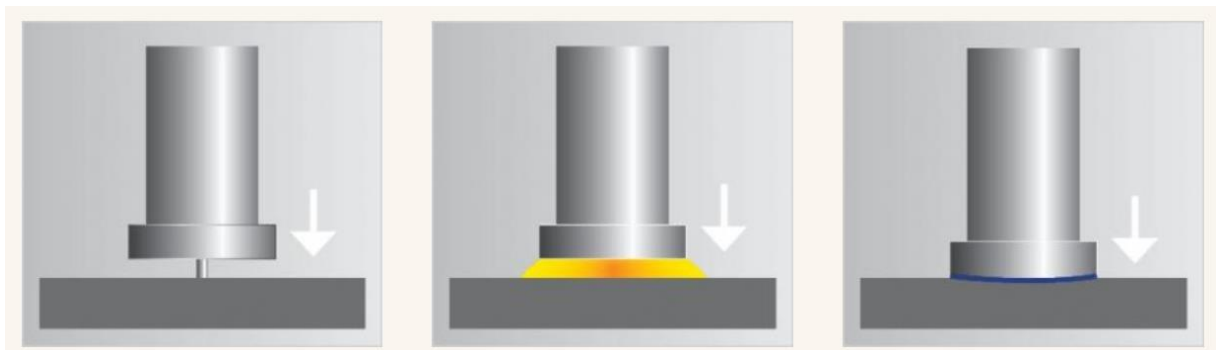


15. ábra Inverteres hegesztőgép felépítése [2]

3.1.3. Csaphegesztés bemutatása:

A lemezüzem területén működtetett csaphegesztő berendezés ez kondenzátorkisütéses gyújtócsúcsos csaphegesztőberendezés. Ez egy olyan elven működő eljárás, mely esetünkben érintkezéses, egyéb esetben lehetne hézaggal működő is.

0,5-3 mm vastagságú lemezek csaphegesztésére használható eljárás (16. ábra), mely során egy kondenzátoregységben tárolt energia gyújtja az ívet és végzi el a hegesztést 0,001-0,003 s alatt. Az ív az alapanyag és a csap végén kialakított apró csúcson keresztül jön létre.



16. ábra Csaphegesztés folyamata

Maximális beolvadási mélysége 0,1 mm, ami a csap teljes véglap keresztmetszetén létrejön.

3.2. Forgácsolandó és hegesztendő anyagok tulajdonságai:

3.2.1. Szerkezeti acélok:

Mind a forgácsoló- mind a lemezüzemben leggyakrabban S355J2-es melegen hengerelt ötvöztelen szerkezeti acélt használnak. Anyagösszetétele a következő:

C	Si	Mn	P	S	Cu	N
≤0,17%	≤0,3%	≤1,4%	≤0,035%	≤0,035%	≤0,55%	≤0,012%

Az S jelzésű szerkezeti acélokról általánosságban elmondható, hogy legfeljebb 0,2% karbontartalmuk van. Az ide tartozó nagyobb szilárdságú acélok Si tartalma maximálisan 0,55% lehet, a kisebbek kizárólag nyomokban tartalmazzák. A folyáshatár szoros összefüggésben van a Mn-tartalommal, ami maximálisan 1,4-1,6% lehet. Minekután a C-tartalom az edződési alsó határ alatt van (0,2% C-tartalom), és a felső értékekkel, a

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15} = 0,17 + \frac{1,4}{6} + \frac{0,55}{15} = 0,44\%$$

képlettel számolt karbonegyenérték 0,44%, így a hegesztéskor azon repedési veszélyekkel nem kell számolni, amik a gyorsabb lehűlés okán keletkezhetnének. A beedződés elkerülése végett ezeknek a szerkezeti acéloknak a forgácsolási jellemzői sem változnak meg hegesztés után. Nem feltétlenül kell speciális keményfém marókat használni a forgácsolási feladatokhoz, mint azt tennénk egy olyan esetben, amikor a hegesztéssel járó hőbevitel az anyagok beedződésével járna. [\[8\]\[9\]\[10\]](#)

3.2.2. Korrózióálló acélok

A mérnöki tervezés során, amennyiben lehetőség nyílik a használatukra, általánosságban elmondható, hogy olyan korrózióálló acélt választanak, ami mind forgácsolási, mind hegesztési szempontok alapján a legegyszerűbb és gyorsabb gyártást teszi lehetővé.

Ezen fentebb említett tulajdonságoknak eleget téve króm-nikkel acélok használata terjedt el az üzem területén. A króm-nikkel acélokra jellemző nagyobb lineáris hőtágulási együttható ellenére, a hővezetési tényező kisebb, mint a felsorolásban első helyen szerepelő szerkezeti acélnak.

A leggyakrabban használt X5CrNi18-10, 1.4301 (KO-33) jelű, szövetszerkezeti szempontból ausztenites kategóriába sorolható korrózióálló acél összetétele a következő:

C	Cr	Ni	Mo	egyéb
0,07%	17,0-19,0%	8,00-10,5%	-	-

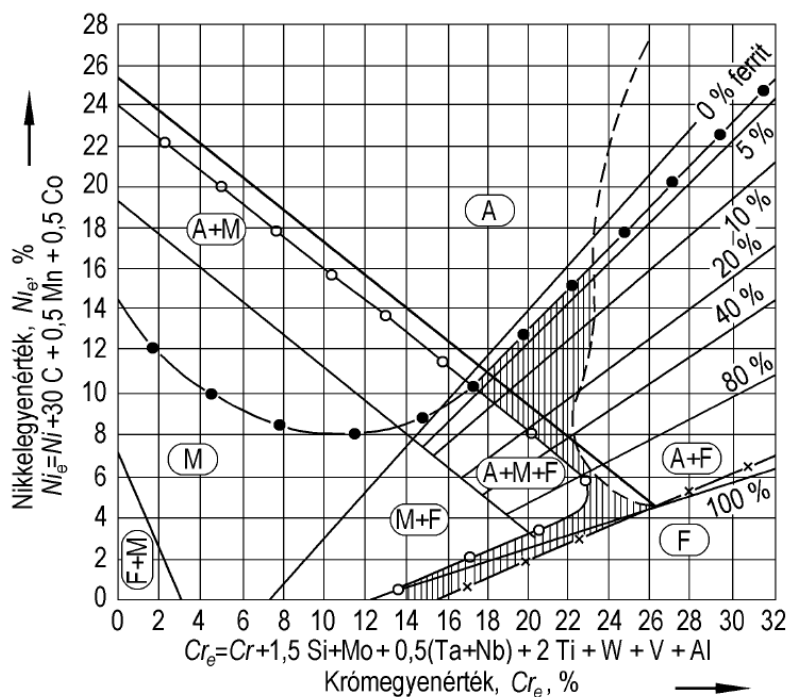
Körülbelül 6 mm anyagvastagság felett nem célszerű a hegesztési, hiszen kristályközi korróziós hajlamot okoz. A kristályközi típus során a korrózió a szemcsehatárfelületeken halad, behatol a fém belsőbb részeibe, így a szemcsék közötti összefüggés meglazul és a mechanikai tulajdonságok hirtelen romlása figyelhető meg.[\[5\]](#) Amennyiben ettől nagyobb anyagvastagságú termékek hegesztése a tervezett, úgy mindenképpen ausztenitesítő és gyorsan hűtő hőkezelést kell beiktatni hegesztés után. Megoldás lehet egy erősebben ötvözött korrózióálló acél, például: X6CrNiTi18-10 használata; ahol 25 mm szelvényvastagságig nem igényel az acél előmelegítést sem a hegesztési folyamatok előtt.

Az ausztenites Cr-Ni acélok hegesztése során a repedésveszélytől és felkeményedéstől nem kell tartani, hiszen igen jó alakíthatósági és nagy nyúlási ($A_5 > 40\%$) tulajdonságai miatt ezek elkerülhetővé válnak.

Sajnálatosan a hővezetőképessége egy ausztenites Cr-Ni acélnak elég kicsi, ám nagy a hőtágulása, így hegesztéskor nagyobb elhúzóadásokra lehet számítani. Az elhúzóadások elkerülhetőek megfelelően jól átgondolt és túlméretezett illesztési résekkel, míg a gyorsabb melegedési folyamatok csillapíthatóak valamilyen hűtési eljárással, például: rézalátétek, vagy valamilyen hűtőközeg használatával.

Érdemes a Cr- és Ni- egyenértékek figyelembevételével a Schaeffler-diagramról (17. ábra) leolvasni, hogy milyen lehetséges veszélyek állhatnak fent a választott

korrózióálló acélunk hegesztése során. Ideértve a szemcsedurvulási-; a melegrepedési-; a hidegrepedési-; illetve σ -fázis kiválási veszélyeket.



Schaeffler-diagram

—x— szemcsedurvulási veszély, $t > 1150\text{ °C}$; — — σ -fázis kiválási veszély, $t = 500\text{...}900\text{ °C}$ között;
 ● — ● melegrepedési veszély, $t > 1250\text{ °C}$; o — o hidegrepedési veszély, $t = 400\text{ °C}$ körül.

17. ábra Schaeffler-diagram [1]

Forgácsolhatósági szempontból tekintve az ausztenites korrózióálló acélokra, ami a hegesztés során a hasznunkra válhat, az forgácsolás során hátráltathat minket. A nagyobb ötvöztartalom miatt ($\text{Ni}=10\%$, $\text{Cr}=18\%$) sokkal nagyobb lesz a felkeményedési hajlam, és nagyobb a deformáció lehetősége is. Ebből következően a forgácsoló szerszámmra tapadó anyagok negatívan befolyásolják a forgácsképződést. Ausztenites korrózióálló acélok esetén a forgácsképződés folytonos. A nagyobb nyúlást figyelembe véve alkalmazhatunk irányított forgácsmanipulációt, hogy a keletkező forgácsot törve és további folyamatot nem akadályozva távolítsuk el. A forgácsmanipulációt több tulajdonság együttese alakítja, ideértve a szerszám felületkezelését, a geometriai viszonyokat, a képződő forgács felületi érdességét és a hűtő-kenő folyadék helyes megválasztását.[11][12][13]

A kisebb hővezetőképesség a szerszámunk éltartalmát befolyásolja, hiszen általa megnövekszik a forgácsoló él hőterhelése. Kijelenthető, hogy forgácsolás során a hűtés-kenés elkerülhetetlen, sőt intenzívebben kell hűteni. A forgácsolás után az alkatrészből fel nem itatott, el nem távolított hűtőfolyadék a hegesztési hibák rejtett kiinduló pontja lehet, ezért minden esetben az alkatrészek teljes felületi tisztítása javallott.

A forgácsoláshoz olyan szerszámokat kell választani, ami illeszkedik a megmunkálandó anyag forgácsolhatósági jellemzőihez és gazdaságossági szempontoknak is megfelel. Keményfém forgácsolószerszámok használata nagy szabadságot ad a gyártástervezés során. Sokszínű sortiment áll rendelkezésünkre, hogy a feladathoz a legmegfelelőbb szerszámot választhassuk. A forgácsolási sebesség (v_c) és fogásmélység (a_p) adataiból kalkulálható egy várható éltartam, segítségével optimalizálhatóak a megmunkálási idők. [\[14\]](#)

4. A választott gyártmányok kapcsán felmerülő forgácsolási és hegesztési problémák bemutatása

Sokféleképpen lehet egy forgácsolóüzem hasznára egy vagy akár több hegesztési eljárás, a megfontolt és helyes kiválasztás után. A gyártási egyszerűsítések, a gazdasági szempontok, egy feladathoz fellelhető források, mind anyagi mind humán erőforrást tekintve.

Egy választott eljárással forgácsolt alkatrész alaki sajátosságait, a lehető leggazdaságosabb anyag felhasználtságát, a műveletek idejét és az alkatrész kész méreteinek kialakításához szükséges legjobb technológiák előnyeit és hátrányait mind-mind figyelembe kell venni ahhoz, hogy egy magas minőségű és helyes gyártás mehessen végbe.

Számos lehetőség áll előttünk, ha hegesztéssel szeretnénk kiváltani bizonyos munkafolyamatokat, amik kizárólag forgácsolással nagy anyagvesztéssel és költséggel jelentenének. Csövek, rudak, széles skálán elérhető szelvények és zárt szelvények hegeszthetők össze; vastagabb alaplemezekre illeszkedő csatlakozó elemek, elő-, vagy utólagos megmunkálással helyes kombinációt alkothatnak. A szakdolgozatom következő része az imént említett lehetőségek közül mutat be néhány példát a gyártási műveletek helyes megválasztására és a felmerülő problémák megoldására.

4.1. Huzalelektródás védőgázos ívhegesztéssel gyártott alkatrész

A szakdolgozatom egyetlen MIG-hegesztéssel összeállított hegesztett szerkezete egy mérőműszer alapját képezi. Részei fűrészszel darabolt, majd marással hossz megmunkált és furatolt, illetve menetelt zárt szelvények. Az alaplap és a fedőlap egy-egy 25mm vastag szerkezeti acél. Az előgyártmánya vastaglemezből vízsugárral vágott. A vízsugárral vágott alkatrészek ugyan vetemedhetnek a felszabaduló feszültségek miatt, de utómegmunkálásuk könnyebb, a lángvágástól vagy plazmavágástól eltérően nem kell akkora fokú anyagfelkeményedéssel számolnunk.

Az alaplap és fedőlap közti párhuzamosságot utólagos megmunkálás során alakítják ki. Mivel a készre hegesztés után a befoglaló méretek túlságosan nagyok az

üzem területén rendelkezésünkre álló gépek megmunkálási tartományához képest, így egy kooperációs partner portálmaróján kapja meg végleges magassági méreteit az összeállítás. Az előre kialakított menetek burkolatok leendő szerelését, a furatok pedig a mérőgép helyhez kötését hivatottak segíteni.

Ezen alkatrész hegesztése során az előírt varrat méretek miatt, az előzetes tervezés alkalmával, a termelékenység és a varrat kialakítás minőségi követelményeinek szem előtt tartásával a választás a huzalelektrodás védőgázos ívhegesztéses eljárásra esett. A rendelkezésre álló technológiák közül a legalkalmasabb a feladat elvégzésére. Hiszen termelékenysége és a fennálló anyagvastagság különbségekből adódó hibalehetőségek ezen eljárással koordinálhatók a leghatékonyabban.

A hegesztés során túlnyomó többségben egysoros sarokvarratokat (18. ábra) alakítunk ki. Előkészítés szempontjából fontos a varrattól 50 mm távolságban mindennemű szennyeződést eltávolítani, lehetőség szerint mechanikus úton a felületet felcsiszolni, hogy a hegesztéshez megfelelő körülményeket biztosítsunk. A hegesztendő anyagok ömledékébe keveredő, majd az ív keltette hő hatására szublimáló, de az ömledéket elhagyni nem képes szennyeződések a megszilárduló varratkeresztmetszetben visszamaradnak.



18. ábra Huzalelektrodás védőgázos ívhegesztéssel hegesztett sarokvarrat

Az alkatrészek pozícionálását előre kialakított furatokkal, és a zártszelvényekbe hegesztett menetes betéteken keresztül csavarkötésekkel biztosítjuk (19. ábra) a fűzővarratok kialakításáig. Ezt követően a csavarkötések oldhatóak. A betétek egy fajta mankóként szolgálnak a hegesztés során, hiszen az anyagvastagság kiegyenlítésekképpen is funkcionálnak pozícionálás után. A betét keresztmetszete és a zártszelvények falvastagsága együttesen egy határozottabb hegesztési tervet bocsájt előre. Nem kell attól tartanunk, hogy a zártszelvények túlzott átolvadása, esetenként átszakadása miatt a varrat szilárdsági jellemzői nem alakulnának ki mindkét hegesztendő anyag felé megfelelően.



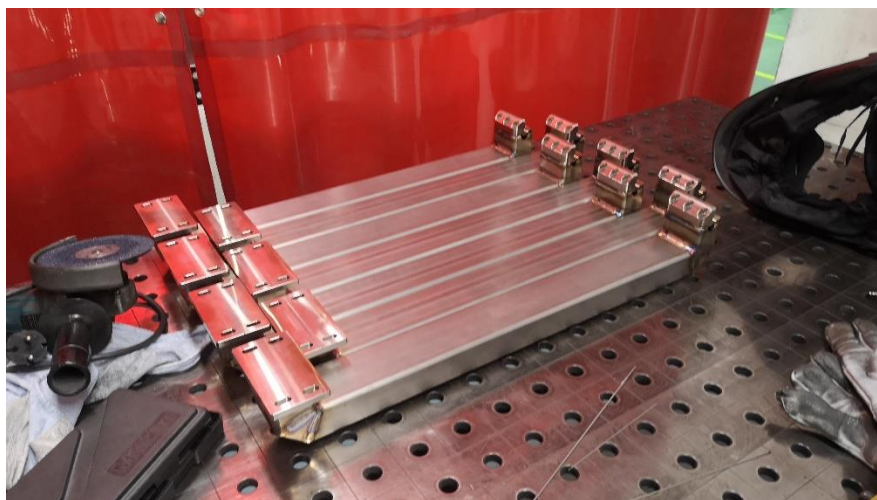
19. ábra Készre hegesztett gépállvány

4.2. Forgácsolással előkészített zártszelvények és készre forgácsolt elemek összehegesztése TIG eljárással.

Korrózióálló acél 80x40x3-as zártszelvény méretre darabolva a könyök elemekkel együtt; készre forgácsolt csatlakozó elemek mindkét végre a hegesztendő darabok. Anyagminőség a forgácsolt alkatrészeknél és a zártszelvénynél is megegyezik 1.4401 (K033).

A gyökök leélezése elkerülhetetlen a tompavarratok előkészítése során. Így minden zártszelvény csatlakozási pontnál fél anyagvastagságnak megfelelő 30-40°-os leélezés van előírva. A sarokvarratok leélezést nem igényelnek. A megkívánt felületi tisztaság elérése – amennyiben szükséges – valamely tisztító folyadék használatával történik, bármilyen mechanikus eltávolítás tiltott a későbbi fontos külalaki elvárások miatt.

Alapvető problémát okozhat a hegesztés során a vastagabb forgácsolt elemek összehegesztése a vékonyabb falvastagságú zártszelvény elemekkel (20. ábra). A megfelelő fűzővarratok elhelyezése után először a zártszelvény részegységek tompavarrat hegesztésére kerül sor, ezáltal kialakul az alsó „U” alakú alap. A tartóelem baloldalára hegesztett ovális furatokat tartalmazó vastaglemez 8 mm vastag. A tervrajz körbe sarokvarratot kér 5 mm varratmagassággal.



20. ábra Korrózióálló acél konstrukció készre hegesztve

Jelentkező probléma lehet a vastaglemez felhegesztése során, hogy a lemez minden oldalán a túlnyúló anyagrészek a bevitt hő hatására vetemednek, a hegesztés irányába meghajlanak.[\[15\]](#) A elkerülésére több lehetséges megoldás áll rendelkezésünkre. Talán a legegyszerűbb megoldás, ha páronként összezsavazozva egymásnak ellentart a két felfogató lap a hegesztésük során. A körülményes összeszerelési idő a teljes műveletidőt nagyon megnöveli, így a legkézenfekvőbb megoldás nem feltétlen a legjobb. A modernebb hegesztőberendezések beállításait

kihasználva, impulzust hegesztést is alkalmazhatunk. Az előírt varratok nem túl hosszúak, könnyen hozzáférhető helyen helyezkednek el. Az impulzus hegesztés során a hegesztő berendezés egy előre beállított alap áramerősség és egy lüktető áramerősség érték között pulzál. Az alapáram által ugyan megkezdődik az olvadákképződés mindkét hegesztő anyag esetében, így kialakul a hegfürdő, de a hozaganyag folyamatos adagolása mellett csak az lüktető áramerősség során érhetjük el a kívánt beolvadási mélységet (21. ábra). Ezáltal a hőbevitel csökkenthető, a lemezek vetemedésének mértéke befolyásolható.



21. ábra Korrózióálló acél tompa- és sarokvarratai 2.

A következő termék minden részében tartalmaz forgácsolt elemeket. Elő- és utómegmunkálás során is végzünk rajta marási műveleteket. Bizonyos megmunkálási fázisok befejezésével, elektropolírozás után folytatjuk csak a hegesztést, hogy a belső járatok felületi érdessége megfeleljen az előírtaknak.

4.3. Erősen ötvözött korrózióálló acél gépelemek hegesztése TIG-eljárással

A felhasznált anyagok felsorolásakor kitértem a különböző ötvözetű korrózióálló acélok hegesztési és forgácsolási problémáira. A lentebb tárgyalt alkatrész különböző falvastagságú erősen ötvözött Cr-Ni acél, 1.4404 / KO38LC. Forgácsolás szempontjából lényegesen szívósabb anyag a KO33 acélhoz képest, a technológiai paraméterek beállított

értékei hozzávetőlegesen 20%-kal csökkentettek. Ennek ellenére a fúró és alakos szerszámok korábbi kopása várható. Hiszen az anyagminőségre jellemző rossz hőtágulási paraméterek okozta felkeményedésekre lehet számítani a forgácsolás során.

Hegesztési szempontból szerencsésebb, hiszen molibdénnel ötvözött, így nagy hőmérsékleten jelentkező ferritképződés a szilárdságot növeli. További előnye, hogy ezt az acél minőséget sem kell 25 mm anyagvastagságig előmelegíteni, így az előkészítésre szánt műveletidő jelentősen lerövidül.

Az összeállítás alapja egy téglatest tömbből, marással kialakított, kibontásokat, átmenő furatokat tartalmazó alkatrész (22. ábra). A forgácsolás szempontjából már a megmunkálás kezdeti szakaszán akadályba ütközhetünk. Az előgyártmány befoglaló méretei vízsugaras vágás által kialakítottak. Az előgyártmány bemérésekor észlelhető egyenetlenségi különbségek miatt óvatos első tisztázó fogásvétel javasolt, hogy a hirtelen fogásmélység változás miatt a szerszám túlzott igénybevételét elkerüljük.



22. ábra Hegesztett V-varrat

Fontos szempont a hegesztés megkezdése előtt, hogy előzetesen csak is olyan méretek kerüljenek kialakításra, amelyek a hegesztéshez szükséges, tervrajzok által előírt pozícionálásokhoz feltétlenül szükségesek. A korrózióálló acélokra jellemző nagyobb hőtágulási együttható ismertéből következtethetünk arra, hogy a hegesztési folyamatok

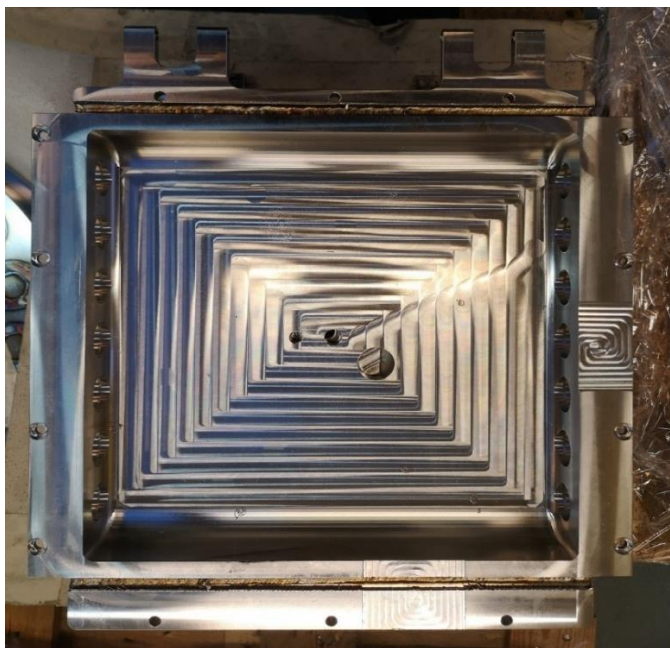
olyan nem kívánt elváltozásokat okozhatnak, amelyek későbbi javítása esetlegesen nem fér bele az előírt tűrési tartományokba, és az alkatrész legrosszabb esetben selejt termékként végezheti. A hegesztési ráhagyások ismeretében, az előkészítést követően a karimák pontos pozícionálása, majd fűzővarratokkal felhegesztése a későbbi munkavégzést könnyítheti és rövidítheti meg.

Két oldalára karima elemeket hegesztünk. Az előírt leélezések kialakításra kerültek a marási folyamatok során. A következő lépés a két oldalú V varratok és fedővarrat hegesztése az alkatrész mindkét oldalán. Fontos szempont a bevitt hőmennyiség kontrollálása. Éppen ezért a varratok kialakítása szakaszosan történik, előírt lépések alapján. Egy karima egyik oldali V varrata után nem hegesztjük meg a másik oldalt. Kizárólag azután, hogy az anyag szobahőmérsékletre visszahűlt. Ugyan a korrózióálló acélok hővezető képessége miatt könnyebben jelentkezhetnek lokálisan túlmelegedési pontok, ahol az anyagok nem szándékolt szerkezeti átalakulása mehet végbe. Ezt a jelenséget hivatott csökkenteni a hegesztő berendezés, a hegesztési sebesség átgondolt beállítása, és a keletkező hő irányított elvezetése a hőhatás övezetből. Ezáltal csökkenthetjük a lehetséges vetemedésekből adódó eltéréseket, megkönnyítve az ezt követő síkmarási műveletet.

Lényeges szempont, hogy nem csak a hegesztési eljárások során beszélhetünk az alkatrész méret-, alak-, és helyzethibáit befolyásoló hőbehatásokról, hanem forgácsolás során is, köszönhetően a korrózióálló acélokra jellemző, rosszabb hővezetőképességnek. Lehetőség szerint keményfém marók használata ajánlott a hegesztéshez közel eső területeken. Általánosabb felhasználásra szánt gyorsacél szerszámok nem feltétlenül alkalmatlanok, de a megnövekedett megmunkálási idő, ami a csökkentett technológiai és rosszabb forgácsolási paramétereknek köszönhető, gazdaságossági szempontból nem kecsegtető.

A marási folyamatok befejeztével nagyon fontos, hogy a hűtő-kenő folyadék a legkisebb mértékben maradjon vissza a felületeken. Sok esetben amikor ez nem történik meg, és az előírt elektropolírozási felületkezelésre nincsen egyből lehetőség, a hűtő-kenő folyadékkal szennyezett felületek barnulása észlelhető (23. ábra). Ez a későbbi elektropolírozás során sem javítható, és ha mindenképpen szükséges, akkor

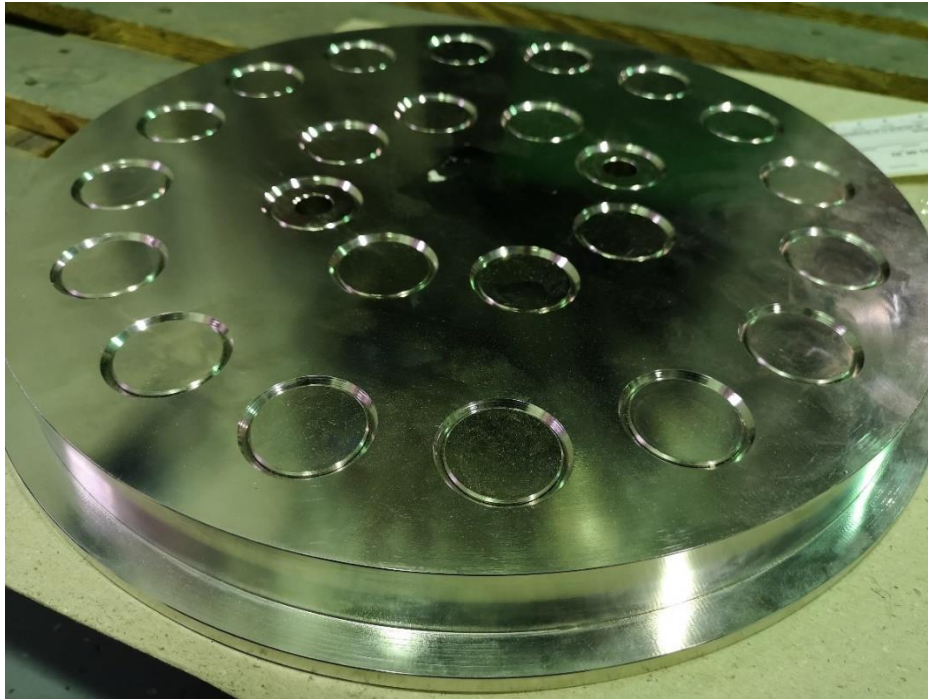
utómegmunkálással, a felület újra simításával lehetséges az eltüntetés. Ilyenkor a szennyeződés mértékétől és elhelyezkedésétől függően ezt mérlegelni kell, s a kész termék külalaki elvárásait befolyásoló tényezőként kell tekintenünk az elszíneződést.



23. ábra Hegesztés után megmunkált alkatrész

A következő gyártmány anyagminőségi szempontból azonos az előzővel, ám mind forgácsolási, mind hegesztési szempontból másfajta problémát vet fel. Az alkatrész külseje egy vízsugaras vágás által kialakított körvágat (24. ábra), melyet a későbbi megmunkálások során esztergálnak, majd egy marógép segítségével alakítják ki rajta az átmenő furatokat a kívánt élettörésekkel, melyek a későbbi hegesztési varratok gyökei lesznek.

A hegesztés megkezdése előtt ugyancsak fontos a tiszta felület és az elégséges illesztés oldalirányban és a pontos illesztés hosszirányban a két alkatrész között. Az összehegesztendő csapok és a fedőlap egysíkba leszorítása kardinális fontosságú a későbbi folyamatokra nézve. Amennyiben a fedőlap és a csapok nem esnek egy síkba, a hegesztés elvégzése után a lemunkálás során felléphet az a probléma, hogy egyes varratok esetében túlmunkáljuk, bizonyos varratok esetén pedig éppen csak érintjük a felületet. Igaz ez egy szélsőséges példa, de mindenképpen fontos kiemelni, hogy az alkatrészek rossz pozícionálása milyen problémákat vethet fel.



24. ábra Illeszkedések ellenőrzése

Az alkatrész hegesztési varratainak sorrendiségét célszerű előre átgondolni. Hibaforrás lehet, hogy a fűzővarratok hegesztését kívülről befelé haladva végezzük. Így a fedőlapot érő hő még egy elégséges leszorítás esetén is az alkatrész belső részét kiemelheti, felületi egyenetlenséget okozva.

A fűzővarratok és a későbbi hegesztések is TIG-hegesztéssel történnek (25. ábra), hiszen magas minőségű tiszta varratok az elvártak. Hegesztés során ügyelni kell a megfelelő hozaganyag adagolásra. Illesztési hibán kívül a tompavarratok hegesztése során hiba lehet az elégtelen beolvadási mélység vagy összeolvadási hiány; kialakulhat a szélkiolvadás a túl magas áramerősség vagy a helytelen hegesztőpisztoly-tartásból fakadóan szakaszosan vagy folyamatosan; a korona oldali anyaghiány a hozaganyag elégtelen adagolásából; vagy éppen probléma lehet forgácsolás szempontjából a túl sok hozaganyag alkalmazása.

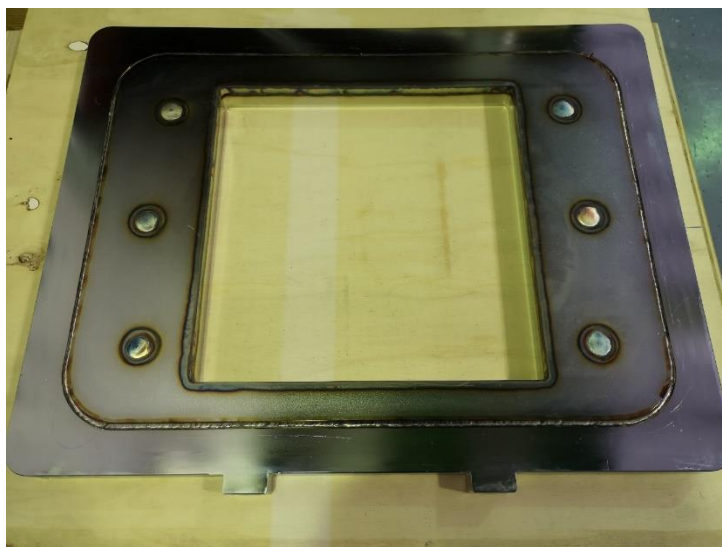


25. ábra Utómegmunkálásra készre hegesztett alkatrész

Esetünkben a fentebb felsorolt hibákon kívül magas prioritást élvez a hegesztési hőbevitelből adódó vetemedése a fedőlapnak. A tervrajzi tűrések betartásához a pontos munkavégzés során mérlegelni kell, hogy mennyi időt hagyunk az alkatrész hőmérsékletének csökkentésére egyes varratok kialakítása között. Mivel a varratok korona oldala a végmegmunkálás során síkba lesz munkálva, majd elektropolír felületkezelést kap, nem tekinthetünk el az összeadódó gépidőktől. A hegesztési varratok előírászerű kialakítása a végmegmunkálás idejét csökkenti, ettől bármilyen eltérés pedig értelemszerűen növeli. Az alakhelytelen, korona oldali hiány marás után mindenképpen felrakó hegesztéssel pótlendő. Így máris egy előre nem tervezett folyamatot kell beiktatni. A javítás során felesleges hőbevitellel terheljük az alkatrészeket, további síklapúsági, párhuzamossági problémák kiinduló pontja lehet.

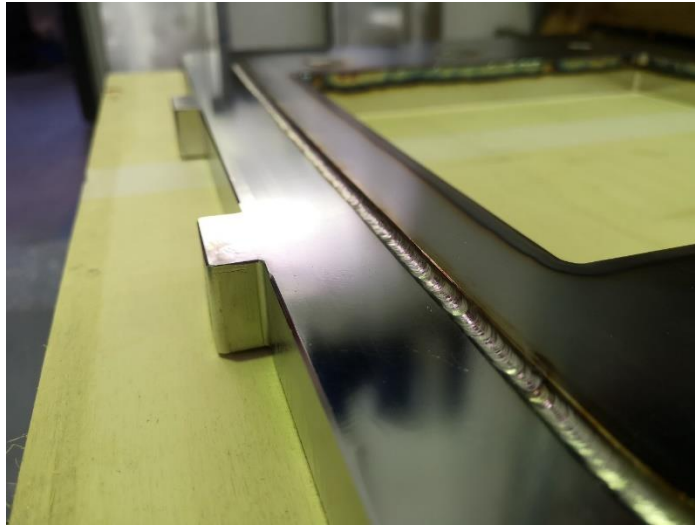
A következő alkatrész megmunkálása és hegesztése során is hasonló problémákkal találkozhatunk. Anyagminőségben megegyezik az előzővel, szintén 1.4401-es erősen ötvözött króm-nikkel korrózióálló acélból készült minden eleme. A forgácsolási és hegesztési eljárások problémáinak sokfélesége ebben az esetben is megmutatkozik. A vízsugaras vágással majd marással kialakított alsó egység egy kétoldali kibontást tartalmaz (26. ábra), melyet elfedünk egy lézervágott 4 mm vastagságú lemezvágattal.

A hegesztés során hosszú sarok- és tompa-, illetve hat horonyvarratot kell kialakítani. A szükséges előkészületek, leélezések marógépen kialakítottak. A varrat hosszúságok és a fedőlap vékonysága arra figyelmeztet minket, hogy nem hagyhatjuk figyelmen kívül a hőbehatás keltette vetemedési problémákat. Szükségszerűen minden lehetséges, praktikus műveletet úgy kell kialakítani, hogy a lehető legkönnyebben és leggyorsabban lehessen utómegmunkálni az arra tervezett felületelemeket.



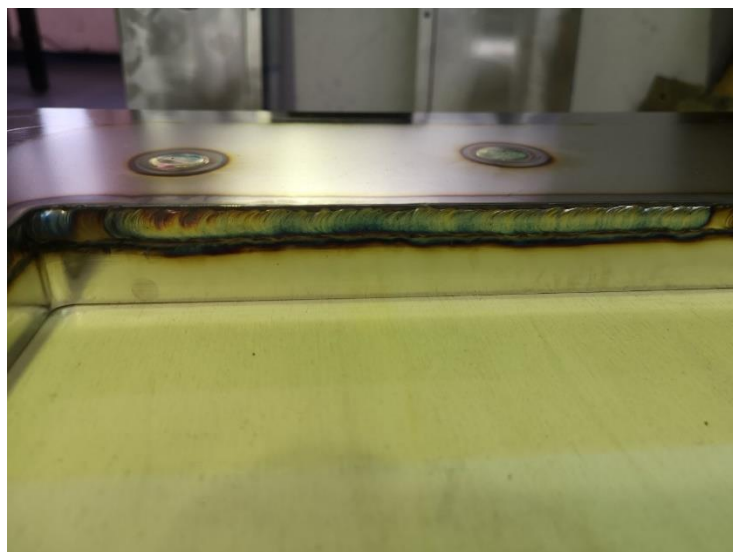
26. ábra Hegesztett konstrukció

Az alkatrészek pozícinolása a belső élek ütköztetésével elég egyszerűen kivitelezhető, hegesztő asztalon a lefogatása stabilan, elmozdulást gátolva történik (27. ábra). A felület kémiai úton mindennemű szennyeződéstől megtisztított előkészítése után a fűző varratokat TIG-eljárással, kevés hozaganyag adagolással kialakítjuk. Hozzávetőlegesen 50 milliméterenként 10 mm hosszú fűzővarratokat hegesztünk ebben az esetben. Fontos megemlíteni, hogy a fűzővarratok sorrendje belülről kifelé kell, hogy történjen. Az alkatrészek a kibontás belső oldalához vannak ütköztetve, tehát elsődleges célunk, hogy azon a felületen minél pontosabb illesztés keletkezzen, hogy a végmegmunkálás során minél kevesebb forgácsolást kelljen ütemezni.



27. ábra Szakaszosan hegesztett sarokvarrat

A fűzővarratok felhegesztése után a horonyvarratok hegesztése (28. ábra) történik, minél gyorsabban, a lehetőségekhez mérten minél kevesebb korona oldali kitülemkedéssel, a gyorsabb utómegmunkálás jegyében. Az ezt követő belső kibontáson körbehaladó V-tompavarratok hegesztésénél már szakasosan alakítjuk ki a varratokat. Körülbelül 50 mm varrat hegesztése után átellenesen folytatjuk a hegesztést, ügyelve arra, hogy a varrat végek a lehető legtisztábbak legyenek. Amennyiben szemrevételezés során úgy tapasztaljuk, hogy a varrat befejezések szennyezettek, vagy repedés látszódik rajuk, abban az esetben a varratvégek visszamunkálása mindenképpen javallott.



28. ábra Horony- és tompavarratok lemunkálás előtt

Végig ügyelnünk kell rá, hogy a lehető legkisebb legyen a bevitt hőmennyiség. Az alkatrész túlmelegedését elkerülendő mindenképpen kis szünetekkel, az alkatrész visszahűlését megvárva kell folytatnunk a következő varrattal. Az egymásra húzott varratoknál figyelni kell, hogy egy következő varrat mindig az előző végén kezdődjön kellőképpen átolvasztva a varratvégeket. Ezen folyamat betartásával homogén beolvadási mélység alakítható ki a szakaszos hegesztési mód ellenére is.

Másféle problémák adódhatnak, amikor egy előre esztergált menetes tengelyt kell egy alaplemezhez hegeszteni merevítőlemezekkel együtt (29. ábra). Ebben az esetben is fontos szerep jut a helyes illesztéseken kívül a hegesztési sorrend betartásának. Elsődleges szempont a minőségi varratok kialakításán kívül, hogy ne eredményezze a hegesztésből származó hőbevitel a menetes tengely radiális elhajlását. A lassú hegesztési sebesség és a túlzott áramerősség külön-külön is képes az oldalirányú kihajlást okozni, de együttesen a hatásuk selejt alkatrész gyártását vetíti előre. A tengelyre előre, esztergálás során elkészített menetek megnehezítik bármilyen utólagos egyengetés folyamatát. Ezért kiemelten fontos az előírászerű, a művelettervekben meghatározott hegesztési specifikációk betartása. Másodlagos, de kétségkívül fontos szempont, hogy az alaplemez vetemedését minimálisra csökkentsük.



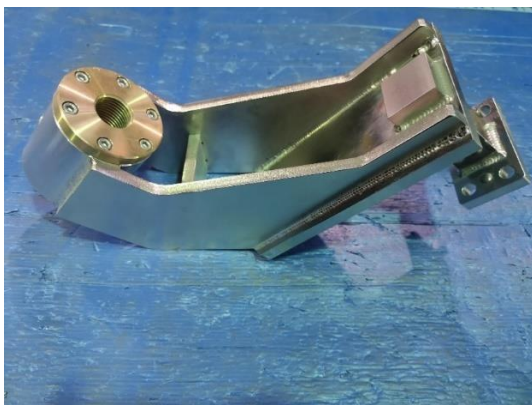
29. ábra Hegesztett tengely

Az alaplemezen elhelyezkedő furatok a szerelési csavarkötések elhelyezésére szolgálnak. Az alkatrész vetemedése ugyan a szerelést is megnehezíti, de a tengely későbbi pozícióját befolyásolja a legjobban. A vetemedés kialakulásáért leginkább a merevítő elemek hegesztése felel. Ezt a vetemedést hivatott elkerülni, ha az alkatrészeket páronként hegesztjük. Ekkor csavarkötésekkel összeszorítva a két alaplemezt nem, vagy elhanyagolható mértékben vetemednek csak a lemezek. Utólagos egyengetésre nincs szükség, így az alkatrész szerelhető lesz.

Az előzőekben elemzett alkatrész ellendarabja egy szintén hegesztéssel összeállított, többféleképpen megmunkált szerelt egység (30. ábra). Az előző hegesztett alkatrészekhez hasonlóan ez is előre többféleképpen kialakított alkatrészekből áll. Többféle lézervágott, forgácsolt alkatrészből, illetve egy utólag szerelt réz menetes perselyből áll a konstrukció.

A felmerülő problémák többségét korábban már elemeztem és bemutattam. Ezen alkatrész hegesztése során is nyilvánvalóan ügyelni kell minden előírt gépbeállítási értékre és a lehető legkisebb hőbevitel okozta vetemedést annulálni igyekszünk. Az alapanyag a szintén általánosabb jellegű, jól hegeszthető és forgácsolási sajátosságokkal rendelkező 1.4301 anyagszámú korrózióálló acél.

A csavarkötéssel szerelt réz persely utólag kerül megmunkálásra egy automata esztergán. A persely ellendarabját a külső méretre készre, a belső méretét tekintve nagyolva, egy biztonsági ráhagyással ellátva készítik, hogy a hegesztés után az esetleges torzulások miatt még megfelelő méretre lehessen forgácsolni.



30. ábra Hegesztett konstrukció 2.

5. Tapasztalatok értékelése és javaslatok a problémák kezelésére

A fentebb bemutatott és megvizsgált gyártmányok gyártása során széles skálán találkozhattunk megoldandó problémákkal. A megmunkálási folyamatok alkalmával alapvető problémaként vetül elénk a választott gyártmányok anyagminősége. Roppant nehéz az előzetes mérnöki munka során olyan anyagot választani, ami minden munkaállomáson ugyanolyan egyszerűen és gond nélkül alakítható és megmunkálható. Kiemelve ezek közül a hegesztési és forgácsolási eljárásokat.

Fontos szempont továbbá a gyártási folyamatok költséghatékonysága, az anyagkiválasztástól az utolsó művelet befejezéséig. Kiemelt fontosságú feladat, hogy egy alkatrészt milyen kiinduló előgyártmányból alakítunk ki. A fentebb bemutatott gyártmányok között is találkozhatunk többel, ahol a költségcsökkentés jegyében akkora vízszintes vágatokkal dolgozunk, amelyeknek kisebb az utólagos forgácsolási költsége, mint hogy egy vastaglemezből telibe forgácsoljuk az alkatrészt. A befoglaló méretek alakíthatósága a tervezés folyamán elég nagy szabadságot ad, hogy akár két különböző anyagvastagságú alkatrész összehegesztése által alakuljon ki a kívánt, eredetileg egy vastaglemezből kialakított alkatrész. A költségek csökkentése mellett sok esetben a járulékos idők csökkenését (gépek és/vagy üzemek közti könnyebb anyagmozgatás, kevesebb művelet, csökkentett megmunkálási idő) is el tudjuk érni egy ilyen átgondolt tervezéssel.

A műveleti sorrend újragondolása is sok esetben megoldás lehet. A fentebb bemutatott menetes tengely hegesztése során a hőhatások okozta vetemedések, kihajlások utólagos javítása nehézkes, sokszor nem is kivitelezhető. A hegesztést követő egyengetés kizárhatóvá válik, ha a menetet utólag alakítjuk ki a tengelyen. Ekkor egy ráhagyással előkészített tengelyt hegesztenénk az alaplemezekre, melynek az ezt követő esztergálása már nem okozhat a gyártásban fennakadást. Kellő ráhagyással a radiális elhajlás sem lehet probléma.

A rendelkezésünkre álló technológiai feltételek lehetőségeihez mérten a legjobb eljárást kell választanunk az adott feladathoz. A nagyobb hőterhelés elkerülése végett a

finomabb, jobb minőségű hegesztési munkákhoz TIG-hegesztés használatát javaslom. A robosztus összeállítások kialakítására az ehhez jobban illeszkedő MIG-MAG eljárások alkalmazhatók. Az utóbbi esetben mindenképpen védeni kell a felületeket az esetleges fröccsenések okozta felületi hibák, sérülések elkerülése végett. Az így elkerülhető, feleslegesen javításra szánt idők a határidők pontos teljesítését vetítik előre.

Evaluation of experiences and suggestions for dealing with problems

During the production of the components presented and examined above, we encountered a wide range of problems to be solved. Through the machining processes, the material quality of the selected products presents itself as a fundamental problem. During the preliminary engineering work, it is very difficult to choose a material that can be shaped and processed easily and carefree at all workstations. Welding and cutting processes are being highlighted among these.

Another important aspect is the cost-effectiveness of the production processes, from the selection of materials to the completion of the last operation. It is a task of paramount importance that what kind of billet is used for a component. Among the products presented above, we can also find several, where, in the name of cost reduction, we work with large water jet cuts, which have lower subsequent cutting costs than cutting the part completely from a thick plate. The flexibility of the enclosing dimensions gives enough freedom during the planning process to create the desired part, originally made of a thick plate, even by welding together two parts with different material thicknesses. In addition to reducing costs, in many cases we can also achieve time reduction (easier material movement between machines or even plants, fewer operations, reduced processing time) with such a well-thought-out design.

Rethinking the sequence of operations can also be a solution in many cases. During the welding of the threaded shaft shown above, the subsequent repairs of warps and deflections caused by thermal effects are difficult and often impossible. We can avoid straightening after welding if the welding precedes threading. Then we would weld a shaft prepared with an allowance to the base plates, the subsequent turning of which would no longer cause interruptions in production. With sufficient allowance radial deflection should not be a problem either.

We have to choose the best procedure for the given task according to the possibilities of the technological conditions available to us. In order to avoid a higher heat load, I recommend using TIG welding for finer, higher-quality welding works. To create robust assemblies the MIG-MAG processes are more suitable, In the latter case the

surfaces must be protected in order to avoid surface defects and damage caused by possible splashes. The unnecessary repair time that can be avoided in this way predicts the accurate fulfillment of deadlines.

Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Gáti József: Hegesztési zsebkönyv, COKOM Mérnökiroda Kft. Miskolc 2013 (59-72; 137-282; 315-326 oldal)
- [2] Bagyinszki Gyula, Bitay Enikő: Hegesztéstechnika II. Berendezések és mérések, Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár 2010 (66-91.oldal)
- [3] Dr. Gáti József, Dr. Kovács Mihály: Ívhegesztés 6.kiadás, Műszaki kiadó, Budapest 2011 (25-29;52-65. oldal)
- [4] Dr. Baránszky-Jób Imre: Hegesztési kézikönyv, Műszaki könyvkiadó, Budapest 1985
- [5] Sindo Kou, Welding Metallurgy, Second Edition, Wiley Interscience, A John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2003 (97-121oldal.)
- [6] Jian-Min Wang, Sen-Tung Wu, A novel inverter for arc welding machines, Ministry of Science and Technology, Taiwan 2014
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6883202>
- [7] Dr. Szunyogh László: Hegesztés és rokontechnológiák, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest 2007 (119-196.oldal)
- [8] Dr. Sipos Sándor, Dr. Palásti-Kovács Béla, Horváth Richárd, Forgácsoló technológiák és szerszámai, ÓE-BGK 3057, Budapest 2015 (60-65;324-327 oldal)
- [9] 2012G.V. Akimov: Fémek korróziójának elmélete és vizsgálatának módszerei, Nehézipari könyv- és folyóiratkiadó vállalat, 1951 Moszkva (10-12 oldal)
- [10] Dr. Verő József: Fémtan, Tankönyvkiadó, Budapest, 1969 (495-498.oldal)
- [11] Ambrusné Dr. Alady Márta, Dr. Árva János, Dr. Nagy P. Sándor: Forgácsoló eljárások, Műszaki Kiadó, Budapest
- [12] Czéh Mihály, Hervay Péter, Dr. Nagy P. Sándor: Megmunkálógépek, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1999
- [13] Dr. Bali János: Forgácsolás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985 (56-64.oldal)
- [14] Frischherz, Dax, Gundelfinger, Häffner, Itschner, Kotsch, Staniczek: Fémtechnológiai táblázatok, B+V Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest, 1997
- [15] Pan Michaleris, Minimization of welding distortion and buckling, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2011