

HEGESZTŐ

MESTERVIZSGÁRA FELKÉSZÍTŐ

OKTATÁSI JEGYZET

Budapest, 2021

**SZERZŐ:
BENUS FERENC**

**LEKTORÁLTA:
RAJNÁK LÁSZLÓ**

Kiadja:

Magyar Kereskedelmi és Iparkamara

A jegyzet az Innovációs és Technológiai Minisztérium, illetve a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Hivatal támogatásával a Nemzeti Foglalkoztatási Alap képzési alaprésze terhére nyújtott forrás felhasználásával jött létre.

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS.....	5
1. ANYAGOK ÉS VISELKEDÉSÜK HEGESZTÉS SORÁN.....	6
1.1. Acélok csoportosítása és nemzetközi jelölési rendszerük.....	6
1.1.1. Az acélok csoportosítása és jelölési rendszere.....	7
1.1.2. Az acél ötvözőelemei és hatása a hegeszthetőségre.....	10
1.2. Hegesztési feszültségek.....	12
1.3. Az előmelegítés és a hegesztés előtti- és utáni hőkezelés.....	13
1.3.1. Az előmelegítés célja.....	13
1.3.2. Hegesztést követő hőkezelés célja.....	13
1.4. A hőhatásövezet, szemcseméret és a szövetszerkezet változásának hatása a kristályosodásra.....	16
1.4.1. Hegesztett kötés hőhatásövezetének szövetszerkezete.....	16
1.5. Karbonegyenérték számítás.....	17
1.5.1. Az acélok edződési hajlama.....	17
1.5.2. Karbonegyenérték.....	18
1.6. A hegeszthetőség.....	18
1.7. Egy és többrétegű hegesztés.....	18
2. HEGESZTÉSI ELJÁRÁSOK.....	19
2.1. A WPS tartalma, felépítése és használatának ismerete.....	19
2.2. Oxigén-acetilén lánghegesztés, lángforrasztás technológiája és berendezései.....	21
2.2.1. Gázhegesztés fogalma. A gázhegesztés történeti áttekintése az eljárás elvi alapja.....	21
2.2.2. Hegesztőgázok.....	22
2.2.3. Hegesztőláng típusok.....	25
2.2.4. Lánghegesztő felszerelés részei, kezelése és tárolása.....	27
2.2.5. Hegesztési technikák, jobbra és balra hegesztés.....	38
2.3. Forrasztás.....	42
2.3.1. Forrasztási eljárások csoportosítása.....	42
2.3.2. Forrasztóanyagok.....	46
2.4. Villamos ívhegesztési eljárások és berendezései.....	50
2.4.1. Ömlesztő hegesztési eljárások.....	51
2.4.2. Sajtoló hegesztési eljárások.....	55
2.5. Az ívhegesztés áramforrásai.....	59

2.5.1. A bekapcsolási idő fogalma és értelmezése.....	59
2.5.2. Kézi ívhegesztés bevont elektródával.....	60
2.5.3. Volfrámelektrodás semleges védőgázos ívhegesztés.....	67
2.5.4. Fogyóelektrodás, védőgázos (MÍG/MAG hegesztés).....	73
2.6. Vágási technológiák és berendezései.....	84
2.6.1. Lángvágó eljárások.....	85
2.6.2. Lángvágó berendezések.....	87
2.6.3. Fémek lángvágásának minőségi követelményei.....	90
2.6.4. Plazmaívvágás.....	91
2.7. Egészségvédelem és biztonságtechnika.....	93
2.7.1. A munkahelyek szellőztetése.....	93
2.8. Környezetvédelem.....	94
3. GYÁRTÁS ÉS GYÁRTÁSTERVEZÉS.....	95
3.1. Minőségbiztosítás, minőség-ellenőrzés célja.....	95
3.1.1. Fémek ömlesztőhegesztésének minőségi követelményei.....	95
3.1.2. A pWPS, WPS, WPQR és a hegesztőminősítés EN ISO szabványai.....	98
3.1.3. Fémhegesztők minősítése.....	100
3.2. Hegesztett szerkezetek gyártása során fellépő hegesztési feszültségek.....	102
3.2.1. A hegesztett szerkezetek gyártása során a hegesztési feszültségre és deformációkra ható főbb tényezők.....	102
3.3. Roncsolásos és roncsolás mentes vizsgálatok módszerei, alkalmazásuk.....	104
3.3.1. Roncsolásos vizsgálatok.....	104
3.3.2. Roncsolásmentes vizsgálatok.....	109
3.4. Technológiai vizsgálatok.....	113
4. MÉRETEZÉS ÉS TERVEZÉS.....	114
4.1 Hegesztett kötés fogalma, kötéstípusok.....	114
4.2. Hegesztési rajzjel.....	117
4.3. Állandó és változó terhelések.....	120
4.4. Csőelágazásos kötések típusai.....	122
4.5. Nyomástartó Berendezés.....	122
ÁBRAJEGYZÉK.....	124
IRODALOMJEGYZÉK.....	127

Bevezetés

Tisztelt Mester jelöltek!

A jövő szakembereinek fontos feladata, hogy alaposan megismerkedjenek az általános és a szakmai műveltség elemeivel, összefüggéseivel és a folyamatos megújítás, valamint a kreativitás lehetőségeivel. Így a korszerű technológiai módszerekkel és azokkal a berendezésekkel is, amelyekkel a különböző hegesztési feladatok megvalósíthatók.

A **Hegesztőmester** c. jegyzet a fémhegesztő eljárások közül a bevont elektródás ívhegesztéssel, a fogyóelektródás semleges és aktív védőgázos ívhegesztéssel, a volfrám elektródás semleges védőgázos ívhegesztéssel, valamint a gázhegesztéssel foglalkozik, ill. röviden bemutat egyéb ömlesztő és sajtoló hegesztőeljárásokat, módszereket, továbbá az anyagok és viselkedésük hegesztés során, a hegesztés minőségi követelményeit és a hegesztett kötések méretezését és tervezését.

A hegesztő szakma gyakorlata mindig újabb és újabb követelmények elé állítja a hegesztőket. A hegesztőszakma elsajátítása és folyamatos művelése komoly erőfeszítéseket kíván. Az elvárásoknak csak az tud megfelelni, aki alaposan és rendszeresen készül, aki elméleti és gyakorlati ismereteit napra készen tartja.

Nem titkolt cél a hegesztő szakma megszerettetése. A hegesztés „MŰVÉSZET”.

A jól képzett hegesztőkre mindig nagy szükség lesz.

Ennek jegyében és szellemében készítettem el a szakmai jegyzetet.

Bízva abban, hogy sikerült a jegyzet tartalmával, szerkezetével és formai kivitelével szakmai tudásotok megfelelő gyarapításához hozzájárulni.

Sikeres és eredményes tanulást és szakmai sikereket kíván minden kedves Olvasójának a szerző.

1. Anyagok és viselkedésük hegesztés során

1.1. Acélok csoportosítása és nemzetközi jelölési rendszerük

Kód	Megnevezés
1	Reh≤460 MPa ; C ≤0,25% acélok
1.1	Reh≤275 MPa
1.2	275 < Reh ≤ 360 MPa
1.3	Normalizált finomszemcsés, Reh >360 MPa
1.4	Légköri korrózónak ellenálló, egyes elemek < 1%
2	Termomech. hengerelt, finomszemcsés acélok, Reh > 360 MPa
2.1	360 < Reh ≤ 460 MPa
2.2	Reh > 460 MPa
3	Nemesített és kiválósan keményedő acélok Reh > 360 MPa (kivéve a korrózióállókat)
3.1	360 < Reh ≤ 690 MPa
3.2	Reh > 690 MPa
3.3	Kiválósan keményedő acélok a korrózióállóak kivételével
4	Acélok
4.1	Cr ≤ 0,3% , Ni ≤ 0,7%
4.2	Cr ≤ 0,7% , Ni ≤ 1,5%
5	Acélok
5.1	0,75% ≤ Cr ≤ 1,5% and Mo ≤ 0,7 %
5.2	1,5 % < Cr ≤ 3,5% and 0,7% < Mo ≤ 1,2%
5.3	3,5 % < Cr ≤ 7,0% and 0,4% < Mo ≤ 0,7%
5.4	7,0 % < Cr ≤ 10,0% and 0,7% < Mo ≤ 1,2%
6	Acélok
6.1	0,30% ≤ Cr ≤ 0,75%, Mo ≤0,7% and V ≤ 0,35%
6.2	0,75% < Cr ≤3,5%, 0,7% < Mo ≤ 1,2% and V ≤ 0,35%
6.3	3,5% < Cr ≤ 7,0%, Mo ≤ 0,7% and 0,45% ≤ V ≤0,55%
6.4	7,0% < Cr ≤ 12,5 % , 0,7% < Mo ≤ 1,20 and V ≤ 0,35 %
7	Acélok
7.1	Ferrites korrózióálló acélok
7.2	Martenzites korrózióálló acélok
7.3	Kiválósan keményedő korrózióálló acélok
8	Acélok
8.1	Auszenites korrózióálló acélok Cr ≤ 19%
8.2	Auszenites korrózióálló acélok Cr > 19%
8.3	Auszenites mangán korrózióálló acélok 4,0% < Mn ≤ 12,0%
9	Acélok
9.1	Nikkel ötvözésű acélok Ni ≤ 3,0%
9.2	Nikkel ötvözésű acélok 3,0% < Ni ≤ 8,0%
9.3	Nikkel ötvözésű acélok 8,0% < Ni ≤ 10,0%
10	Acélok

10.1	Auszténit-ferrites (duplex) korrózióálló acélok $Cr \leq 24\%$
10.2	Auszténit-ferrites (duplex) korrózióálló acélok $Cr > 24\%$
11	Az 1...10 csoportba nem tartozó acélok $0,25 < C \leq 0,5\%$ tartalommal
11.1	$0,25\% < C \leq 0,35\%$
11.2	$0,35\% < C \leq 0,5\%$

1. táblázat: Acélok csoportosítása és nemzetközi jelölési rendszerük¹

1.1.1. Az acélok csoportosítása és jelölési rendszere

Az acél vasból, szénből és egyéb anyagokból (ötvözők, szennyezők) álló kohászati termék, igen sok fajtája létezik. Az acélok felhasználás szempontjából fontos tulajdonságai a vegyi összetételből és a készítés módjától függően igen széles skálán változik.

Az MSZ EN 10020 tartalmazza az acélok csoportosítását. Eszerint az acélok lehetnek

- ötvöztelen acélok
- korrózióálló acélok és
- egyéb acélok.

Ötvöztelen az acél, ha kielégíti az alábbiakat (a fontosabb fémek feltüntetésével): $C \leq 2,14\%$, $Mn \leq 1,65\%$, $Si \leq 0,50\%$, $Cu \leq 0,40\%$, $Cr \leq 0,30\%$, $Ni \leq 0,3\%$, $Mo \leq 0,08\%$, $V \leq 0,10\%$, $W \leq 0,10\%$, $Al \leq 0,10\%$

Ötvözött az acél, ha a $C \leq 2,14\%$, és az ötvözők meghaladják az előbbi értékeket.

Az acélglyártás során az acélban lévő **kísérő elemek** (Si, Mn, Al), az oxigént megkötik (dezoxidálják).

A **szilícium** (Si) az ércből és az adalékokból kerül az acélba. A szilícium (köznapi néven kova) olvadáspontja 1414 °C . Nagy az affinitása (kémhatása) az oxigénhez (dezoxidáló elem).

A **mangán** (Mn) szintén az ércből jut az alapanyagba, de gyakran adagolnak mangánt az acél oxigén, ill. kéntartalma csökkentése céljából. Olvadáspontja 1246 °C . Az acél kéntartalmát megkötí, szemcsefinomító hatású, ezáltal növeli az acél szilárdságát, javítja a hegeszthetőséget. Mennyisége az ötvöztelen szerkezeti acélban max. $1,65\%$.

Az acél **szennyező elemei** a kén és a foszfor:

A **kén** (S) szulfidtartalmú ércből, ill. koszból kerül az acélba. Nemfémes elem, olvadáspontja 115 °C . A vasban csak kismértékben oldódik, általában vas-szulfid formájában van jelen. A vas-szulfid meleg alakításkor 900 °C körül vöröstörékenységet, 1200 °C fölött melegtörékenységet okozhat.

A **foszfor** (P) szintén az ércből és az adalékokból kerül az acélba. Szilárd, nemfémes elem, olvadáspontja $44,2\text{ °C}$.

Így megkülönböztetünk:

- pozitív, ill.

¹ CR ISO 15608:2000 szabvány, Hegesztés. A fémek csoportosítási rendszerének irányelvei.

- negatív kísérőelemeket.

Az acél pozitív kísérőelemei

Elem	Rövid kémiai jele	Hatása
Mangán	Mn	Csökkenti a kén káros határait Mint ötvözőelem, növeli a szakítószilárdságot
Szilícium	Si	A gázokat megköti (pl. oxigén) Csökkenti a dúulásokat
Alumínium	Al	A gázokat megköti (pl. oxigén) Csökkenti a dúulásokat

2. táblázat: Az acél pozitív kísérőelemei²

Az acél negatív (nem kívánatos) kísérőelemei

Elem	Rövid kémiai jele	Hatása
Kén	S	Csökkenti a melegalakíthatóságot Elősegíti az acél vöröstörekenységét Dúulásokat idéz elő
Foszfor	P	Csökkenti az acél hidegalakíthatóságát Elridegíti az acélt Dúulásokat idéz elő
Nitrogén	N	Növeli az acél elridegedési hajlamát (öregedés), különösen csillapítatlan acél esetén
Hidrogén	H	Hidrogén-elridegedést idéz elő (halszemképződés)

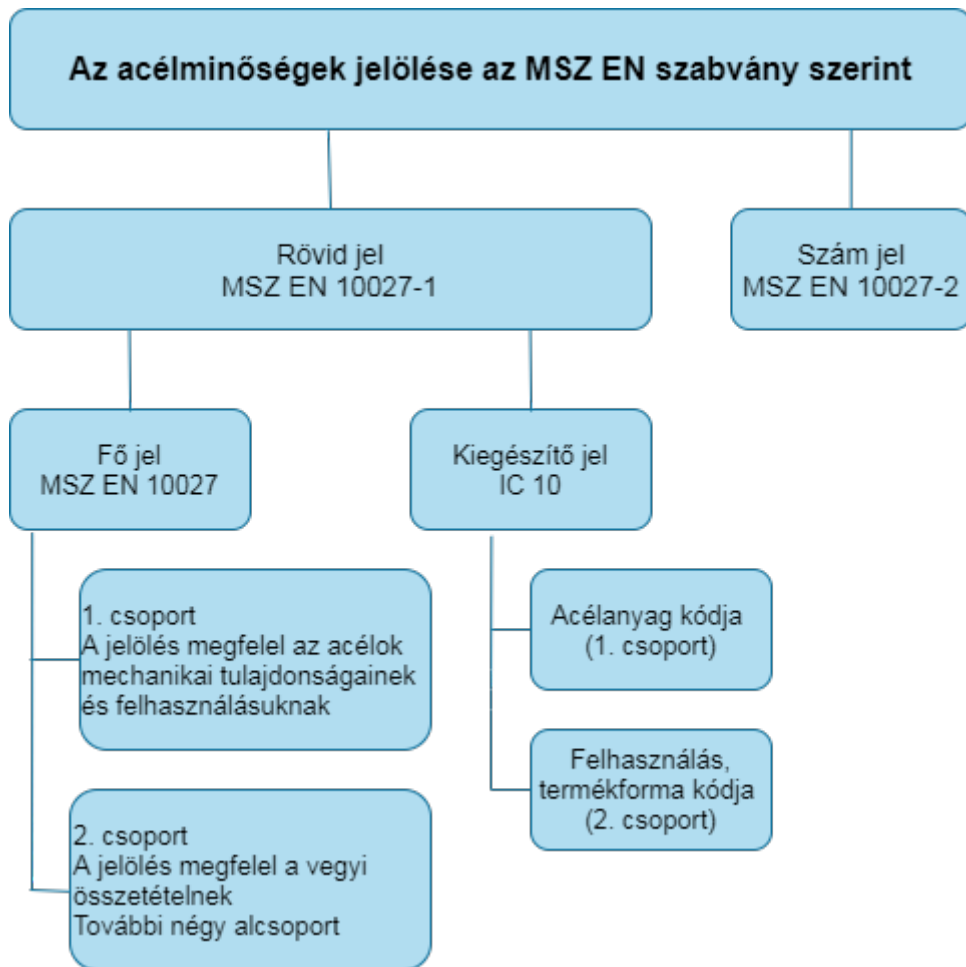
3 táblázat: Az acél negatív kísérőelemei³

Acél jelölési rendszere

Az **acéljelölési rendszereket** tartalmazó európai szabvány, az új jelölési rendszere **rövid jelből** és **számjelből**, a rövid jel **fő jelből** és **kiegészítő jelből** áll. A **fő jel** utalhat a felhasználásra, a mechanikai (vagy fizikai) tulajdonságokra, vagy a vegyi összetételre. A kiegészítő jel vonatkozhat pl. a szívóssági viselkedésre (átmeneti hőmérséklet, ütőmunka), az acél gyártási állapotára, (pl. normalizált), hőkezelésre (pl. nemesített), az acéltermékre (pl. lemeztermék, csővezeték) stb.

² Saját forrás.

³ Saját forrás.



1. ábra Az acélok jelölési rendszere⁴

Az acélok jelölése mechanikai tulajdonságaik és felhasználásuk szerint

A kód tartalmazza a vezérjeleket, amelyet egy szám követ.

A **vezérjelek** az acél felhasználási területére vonatkoznak, amelyek a következők:

- S – szerkezeti acélok
- P – acélok nyomástartó felhasználására
- L – acélok csővezetékekhez
- E – gépacélok

Ebben a csoportban a vezérjelet követő szám a legkisebb anyagvastagságra vonatkozó legkisebb folyáshatár értéke N/mm^2 -ben, amely lehet felső vagy alsó folyáshatár (R_{eH} vagy R_{eL}), vagy terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatár (R_p), vagy névleges folyáshatár (R_t). Ezeket az előírásokat a termékszabványok tartalmazzák.

- B – betonacélok az utána lévő szám a jellemző folyáshatár értéke
- Y – acélok előfeszített betonszerkezetekhez az utána lévő szám a szakítószilárdság alsó értéke N/mm^2 -ben
- R – sínacélok az utána lévő szám a szakítószilárdság alsó értéke N/mm^2 -ben

⁴ Saját forrás.

- H – hidegen hengerelt lapos acéltermékek nagy szilárdságú acélból hideghúzásra; az ezt követő szám az előírástól függően vagy a folyáshatárt, vagy a szakítószilárdságot jelenti N/mm²-ben
- D – lapos termékek hidegalakításra
- T – ónozott termékek
- M – elektrotechnikai acél

A **kiegészítő jelek** két részből állhatnak.

A jel vonatkozhat az acél egyéb mechanikai tulajdonságára (pl. ütőmunka értéke: J÷27J K÷40J L÷60J), és az utána lévő jel a vizsgálati hőmérsékletet jelzi (+20°C-tól -60°C-ig)

Továbbá utal a szállítási állapotra, pl.

- M - termomechanikusan hengerelt
- N – normalizált vagy szabályos hőmérsékleten hengerelt
- Q – nemesített

Ütőmunka			Vizsgálati hőmérséklet
27J	40J	60J	°C
JR	KR	LR	+20
JO	KO	LO	0
J2	K2	L2	-20
J3	K3	L3	-30
J4	K4	L4	-40
J5	K5	L5	-50
J6	K6	L6	-60

4. táblázat: Az ütőmunka és a vizsgálati hőmérséklet jelölése⁵

Példa:

Az MSZ EN 10027-1 szerint a min. $R_{ch}=355$ N/mm² folyáshatárú, 0°C-on szavatolt ütőmunkájú, normalizált szerkezeti acél jele: S355J0.

Az S betű (szerkezeti acél) a felhasználási területet jelzi, a 355 a legkisebb szelvényvastagságra vonatkoztatott minimális folyáshatár (R_{eH}), J 27 J ütőmunka szavatolást 0 °C-on.

Negatív hőmérsékleten szavatolt ütőmunka esetén a hőmérsékletet számok jelzik, pl. J2 jelölésnél -20 °C-on.

1.1.2. Az acél ötvözőelemei és hatása a hegeszthetőségre

A **karbon** az acél természetes ötvözőeleme, már kis mennyiségben is megváltoztatja az acél tulajdonságát, növeli a folyáshatárt, csökkenti a szívósságot, növeli az edzhetőséget. **0,22 % C-** tartalomig általában az acélok jól hegeszthetők, fölötte már csak bizonyos feltételek mellett (pl. előmelegítés).

Annak érdekében, hogy adott anyagtulajdonságokat szavatolni lehessen, az acélt célirányos elemekkel, úgynevezett ötvözőelemekkel ötvözik.

Ötvözőelemek

⁵Benus F.: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft. Visonta, 2013, 12. o.

Ötvözőelem	Rövid kémiai jele	Alkalmazási terület	A hegesztésre gyakorolt hatása
Szén	C	Ötvözetlen acél	A C% növelésével a hegeszthetőség csökken
Mangán	Mn	Nagy-szilárdságú acél	Javítja a hegeszthetőséget
Króm	Cr	Melegszilárd acélok	A króm növeli az edződési hajlamot
Molibdén	Mo	Korrózióálló acélok	A molibdén javítja a hegeszthetőséget
Króm	Cr		A króm növeli az edződési hajlamot
Nikkel	Ni		A nikkel nem befolyásolja a hegeszthetőséget
Molibdén	Mo		A molibdén javítja a hegeszthetőséget
Nikkel	Ni	Hidegszívós acélok	A nikkel nem befolyásolja a hegeszthetőséget
Mangán	Mn		A mangán javítja a hegeszthetőséget

5. táblázat: Az ötvözőelemek hegesztésre gyakorolt hatása⁶

Az ötvözők hatása az anyagtulajdonságokra

A szilárdsági tulajdonságok növelése, mint pl. a keménység és edzhetőség, az alakíthatóság és a szívósság csökkentése, kedvezőbb átedzhetőség és átneemesíthetőség a kritikus lehülési sebesség csökkentése által, jobb melegszilárdság és tartószilárdság, korrózió- és hőállóság növelése.

Az acélok ötvöző elemei befolyásolják:

- az acél A3 kritikus hőmérsékletét,
- az acél kritikus lehülési sebességét, valamint
- vegyületeket (pl. karbidokat, nitrideket) képeznek az alapfémmel, ill. egymással.

Melegszilárd acélok

Melegszilárd acélokat magas hőmérsékleten és nagy nyomáson üzemelő berendezésekhez használunk, vannak gyengén és erősen ötvözött melegszilárd acélok. Az erősen ötvözöttek magasabb hőmérsékleten üzemelhetnek, mint a gyengén ötvözöttek. Jellemző ötvözőjük a Cr és Mo. A Cr-Mo ötvözésű melegszilárd acélokat hegesztéskor elő kell melegíteni 200-350°C-ra, és ezt a hőmérsékletet a hegesztés alatt is fenn kell tartani. Hegesztés után hőkezelní kell a következők szerint: hevítés 650-750°C-ra, hön tartás 1-4 órán át, hütés kemencében, vagy nyugodt levegőn.

Alumínium és ötvözetei

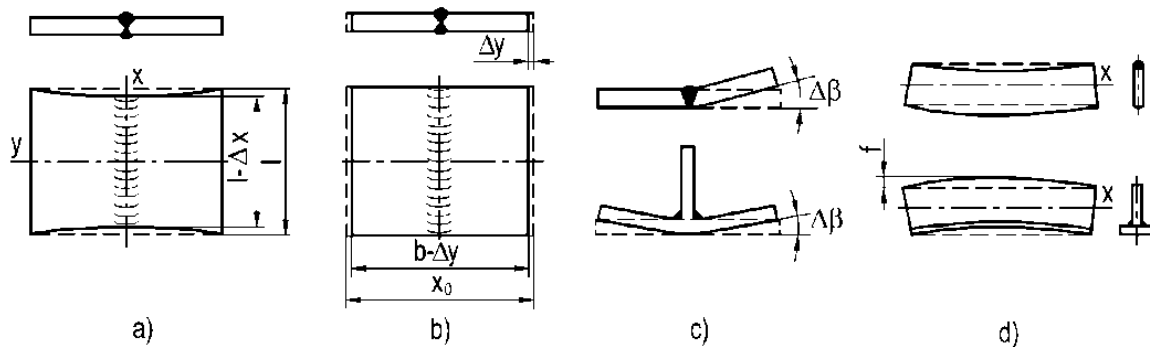
Az alumínium hegeszthetősége az ötvözők mennyiségétől függ. Az ötvözetlen alumínium jól hegeszthető. Az alumínium hegesztésekor figyelembe kell venni, hogy **az olvadáspontja kicsi (650°C), felületét nagy olvadáspontú (2053 °C) oxidréteg borítja**, hűtágulási tényezője az acélok kétszerese és a hegesztési folyamat nem jár elszíneződéssel.

1.2. Hegesztési feszültségek

⁶ Saját forrás.

A hegesztési varratokban ébredő feszültségek kialakulásának oka, folyamata

A hőenergiával készített hegesztett kötésekben és környezetükben a hőhatás miatt alakváltozás lép fel, és az anyagban visszamaradó, ún. **belső feszültségek** keletkeznek, főleg, ha a munkadarab alakváltozása akadályba ütközik. Hegesztéskor az anyagot megömlesztjük. Az ömlesztéshez használt hő egy része a munkadarabban szétterjed és felhevíti az anyagot. A kötés és környezetében úgynevezett hőhatásövezet keletkezik. A hőhatásövezetben szövetszerkezeti változások és hőtágulási jelenségek következnek be. A hő hatására az anyag tágul, sőt megömlik, de a táguló anyagrészt körbeveszi az anyag fel nem hevített nagyobbik része, akadályozva az alakváltozást. A hőforrás mozgásával azonban a hőátadás következtében rögtön megkezdődik a hűlés. A kitágult anyag kezd összehúzódni, de a zömítődött anyag az eredeti méretét már nem tudja elérni. A hűlés folytatódik, de a két anyagrészt már a hegesztési varrat kapcsolja össze, gátolva a szabad alakváltozást. Így a zsugorodási, hűlési folyamatot mindig belső feszültség kialakulása kíséri. A hőközlésen túl az anyag minőségétől, hőfizikai jellemzőitől is függ a zsugorodás és a belső feszültségek kialakulása. A hegesztett szerkezetek alakváltozására és belső feszültségére figyelni kell ugyanis a belső feszültség értéke elérheti az anyag folyáshatárát, és ridegtörést is okozhat.



2. ábra Hegesztett kötések alakváltozásai⁷

a) hosszirányú zsugorodás; b) keresztirányú zsugorodás; c) szögzsugorodás; d) görbületes (excentrikus) hossz

Nincs maradó alakváltozás, ha szerkezeti elem szabadon tágulhat és zsugorodhat.

Ha a tágulás akadályozott, és a szabad zsugorodás nem, akkor rövidülés következik be, s nem maradnak vissza feszültségek.

Ha azonban mind a tágulás, mind pedig a zsugorodás gátolt, akkor maradó alakváltozás jön létre és belső feszültségek ébrednek.

A **hegesztési zsugorodások** (alakváltozások, vetemedések) mértéke több tényező együttes hatásától függ, ezek:

- a varrat keresztmetszete
- a varrat alakja
- a varrat elrendezése
- a hegesztési munkarend elemei (előmelegítés, hőbevitel, sorrend)

A hosszirányú zsugorodás

⁷Dr. Gremperger Géza: Hegesztési Zsebkönyv, Cokom Mérnökiroda Kft. Miskolc, 2010, 463. o.

A varrat tengelyében, hosszirányban létrejövő méretcsökkenés. Nagysága 1 m varrathosszra viszonyítva 0,2-2mm, általában 0,5-1mm.

A keresztirányú zsugorodás

A varrat tengelyére merőleges elmozdulásokat értjük, amelyek következtében az összehegesztendő elemek közelebb kerülnek egymáshoz. Mértéke több tényezőtől függ, általában 1-4mm. A zsugorodás annál nagyobb, minél nagyobb az illesztési hézag. Ha a hézag nulla, akkor keresztirányú zsugorodás nem tud létrejönni. Sarokvarratok keresztirányú zsugorodása a tompavarratokhoz képest lényegesen kisebb, általában 1 mm alatt marad.

Szögzsugorodás

Nagysága függ az alkalmazott hegesztési eljárástól (fajlagos hőbevitel), a hegesztendő munkadarab vastagságától, az élkiképzéstől, a hegesztési rétegek (sorok) számától, a munkadarab befogási módjától. Tompavarratok esetén a szögzsugorodás értéke 0-10 fok, sarokvarratoknál 1-3 fok.

Görbület

Akkor keletkezik, ha a zsugorodás iránya nem esik a hegesztett szerkezet vagy szerkezeti elem semleges tengelyébe.

1.3. Az előmelegítés és a hegesztés előtti- és utáni hőkezelés

1.3.1. Az előmelegítés célja

Az előmelegítés célja a lehülési sebesség csökkentése. Az acélok előmelegítésének hőmérsékletét a CE (szénegyenérték) határozza meg. Az előmelegítés során mind a hőmérséklet, mind a bevitt hőmennyiség fontos.

Az előmelegítés mértéke attól is függ, hogy hol és mekkora környezeti hőmérsékleten tárolják az anyagot, és milyenek a hegesztési körülmények, +5°C alatti környezeti hőmérséklet esetén már elő kell melegíteni a munkadarabot. Általában minél nagyobb az acél széntartalma és vastagsága, annál inkább szükség van előmelegítésre.

Az előmelegítés végezhető előmelegítő paplannal, lánghegesztő berendezéssel, illetve egyéb speciális készülékekkel.

1.3.2. Hegesztést követő hőkezelés célja

Az acélok mechanikai, fizikai és kémiai tulajdonságai nagymértékben függenek az acél szövetszerkezetétől. A szövetszerkezetet alakítással vagy pedig hőhatással lehet erőteljesen megváltoztatni.

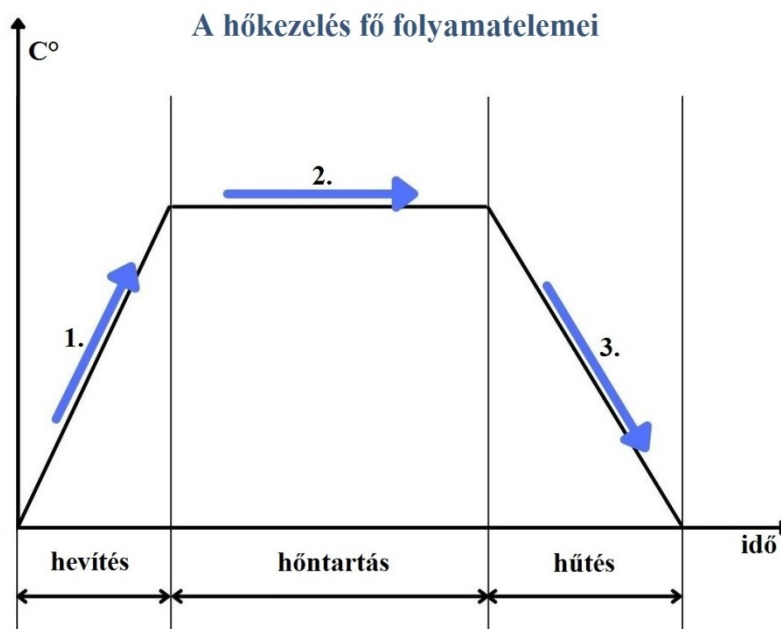
A hőkezelés célja az, hogy egy meghatározott alkalmazáshoz kedvezőbb és a feltételeknek legjobban megfelelő tulajdonságokat érjenek el.

Egy hőkezelés mindig az alábbi folyamatokból áll:

- felhevítés
- hõn-tartás
- lehûtés

A feszültségcsökkentõ hőkezelés célja

A feszültségcsökkentő hőkezelés célja, hogy a visszamaradó feszültségek értéke csökkenjen és a lassú hűtés során újabb feszültségek ne alakuljanak ki. A felhevítés és a lehűlés is lassú. Vigyázzunk, mert ha a hőciklus nem egyenletes, akkor eredménytelen marad az eljárás, ill. újabb belső feszültségek keletkeznek!



3. ábra: A hőkezelés fő folyamatalemei⁸

A feszültségcsökkentő hőkezelés végrehajtása

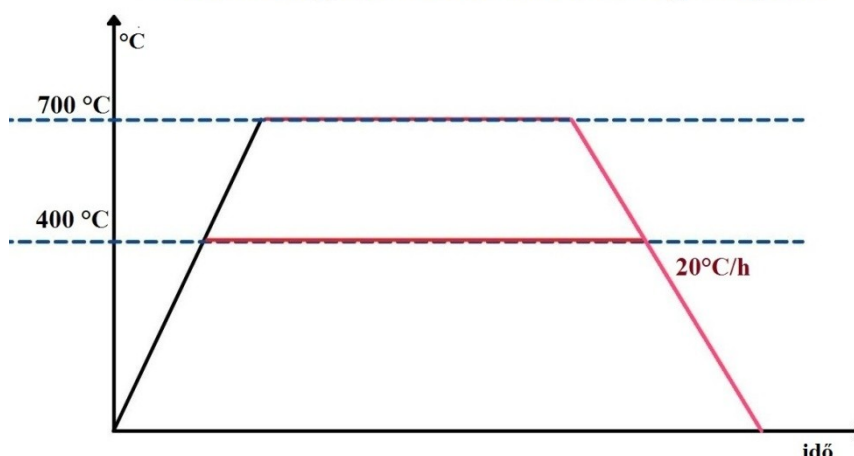
A felhevítés sebessége a munkadarabok falvastagságainak arányától is függ. Ha a munkadarabot alkotó elemek vastagsága igen széles határok között változik, akkor olyan mértékű felhevítést kell választani, hogy a legvékonyabb és a legvastagabb elem hőmérséklete között ne legyen 20-25 °C-nál nagyobb különbség. A kritikus szerkezeti elemek hőmérsékletét rendszeresen ellenőrizni kell.

A legtöbb szerkezeti acél feszültségoldásra használt felhevítési hőmérséklete: 590-600 °C, a hőntartási idő kb. 1 óra 25 mm falvastagságonként.

Gyengén ötvözött acélok (0,5-2,25% Cr és 1% Mo) hevítési hőmérséklete 670-700 °C, a hőntartás kb. 1 óra. Erősen ötvözött acélok hőntartási ideje meglehetősen hosszabb.

⁸ Saját forrás

A feszültségcsökkentő hőkezelés végrehajtása



4. ábra: A feszültségcsökkentő hőkezelés végrehajtása⁹

A legtöbb fém esetében a kis hőmérsékletű feszültségcsökkentő hőkezelés nem javítja sem a varratfémekben, sem a hőhatásövezetben a fémtani tulajdonságokat, és nem használható olyan hőkezelés helyett, amellyel az anyag képlékenységét és szívósságát akarjuk javítani.

Normalizálás

A normalizáló hőkezelés célja és végrehajtása

A normalizálást a durvaszemcsés, egyenlőtlen szövetszerkezet javítására használjuk. Finomabb szemcsés, egyenletes szövetszerkezetet lehet vele létrehozni. 850-930 °C hőmérsékletre kell felmelegíteni és 30-60 percig hőn tartani, majd lehűteni.

Edzés

Az acél edzése

Az **acél edzése** az edződési hőmérsékletre való felmelegítésből és az azt követő gyors, hirtelen lehűtésből áll.

Felhevítés az edzési hőmérsékletre

- < 0,8 % C-tartalmú acéloknál A3 + kb. 30-50°C
- > 0,8 % C-tartalmú acéloknál A1 felett

Lehűtés vízben, vagy olajban szénacéloknál, ötvözött acéloknál olajban, sófürdőben, vagy levegőn.

Fontosabb edzési eljárások az alábbiak:

- Átedzés
- Kéregedzés
- Betétedzés

Megeresztés

Megeresztésnek azt a folyamatot nevezzük, amely során az edzett munkadarabot meghatározott hőmérsékletre (megeresztési hőmérséklet) hevítik, majd lassan lehűtik.

Növekvő megeresztési hőmérséklettel az edzett acél keménysége, szakítószilárdsága és folyáshatára csökken, miközben nyújthatósága és ütészilárdsága nő.

⁹ Saját forrás

Megeresztés végrehajtása: Felhevítés az edzési hőmérsékletre (A3 vagy A1-re) majd innen gyors lehűtés (edzés).

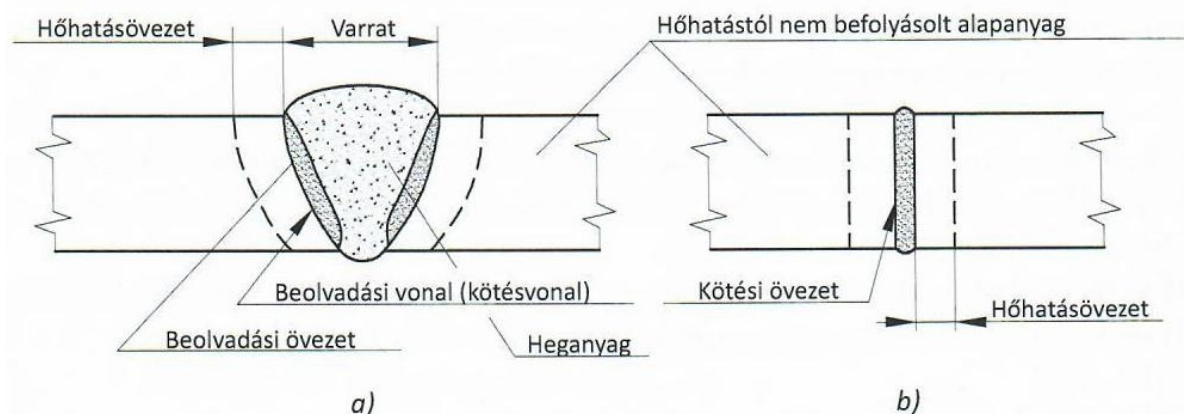
A megeresztés hőmérséklete az ún. „kemény megeresztéskor” 400-500°C, „lágymegeresztéskor” 500-600°C. A megeresztés után a lehűlés általában lassú.

Megeresztés utáni folyamat hatására a martenzitben lévő tútelített karbon kiválik és egy finomeloszlású karbidos szövetszerkezet jön létre, a tús martenzit feloldódik.

1.4. A hőhatásövezet, szemcseméret és a szövetszerkezet változásának hatása a kristályosodásra

1.4.1. Hegesztett kötés hőhatásövezetének szövetszerkezete

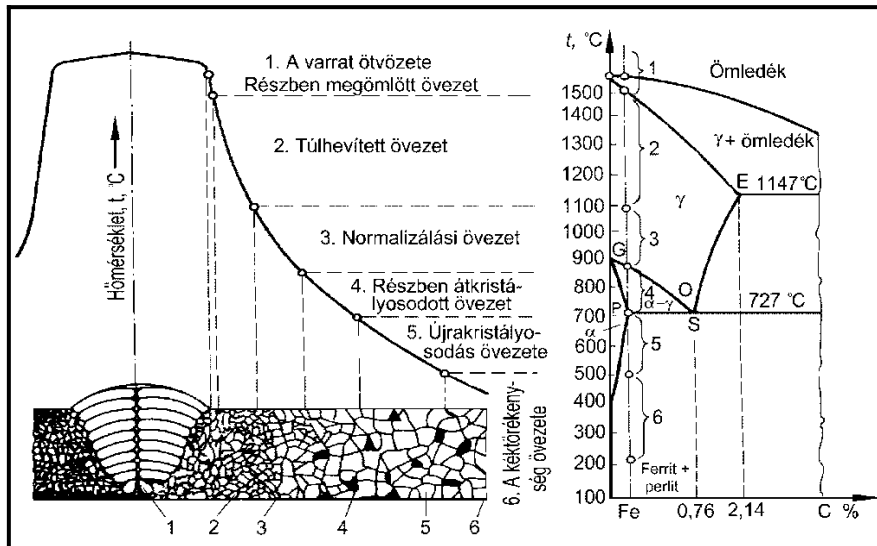
Hegesztés az anyagok oldhatatlan egyesítése hőhatással vagy erőhatással, illetve hő és erő együttes hatásával hozaganyaggal, vagy anélkül. A folyamat során az összekötendő anyagok vagy megömlenek (ömlesztő eljárások), vagy erő hatására képlékeny (és néhány eljárásnál megömlött) állapot során alakul ki kohéziós kapcsolat (sajtoló eljárások). Ömlesztő hegesztéskor a két vagy több összekötendő elem között jön létre a hegesztett kötés, ami alapanyagokból, a hő által felhevített, de nem megömlött hőhatásövezetektől és a megömlött, majd megdermedt varratból áll.



5. ábra: Vízszintes helyzetű tompakötés és részei¹⁰
a) ömlesztő hegesztéskor; b) sajtoló hegesztéskor

A kis C tartalmú acél hegesztésekor kialakuló hőhatásövezet a 6. ábrán látható.

¹⁰ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó Budapest, 2014, 10. o.



6. ábra: Kis C tartalmú acél hegesztésekor kialakuló hőhatásövezet¹¹

1. *Részben megömlött övezet*: edződésre hajlamos acéloknál, különösen hidrogén jelenlétében a varratfelülettel párhuzamos repedések várható helye. A hőmérséklet az olvadáspont közeléig.
2. *Túlhevített övezet*, más néven szemcsedurvulási zóna: nagy szemcséket tartalmaz. Előfordulhat kismértékű szilárdságcsökkenés, felkeményedés és nagymértékű szívósságcsökkenés fordulhat elő. A hőmérséklet az olvadási hőmérséklet és 1100 °C között van.
3. *Normalizálási övezet*: a szemcseszerkezet finom, ami szilárdságnövekedéssel és jó ütőmunka eredménnyel jár. A hőmérséklet 900-1100 °C között van.
4. *Részben átkristályosodott övezet*: változó szemcseméret jellemzi, a mechanikai jellemzők kismértékben romlanak. A hőmérséklet 700-900 °C között van.
5. *Újrakristályosodás övezete*: itt ha felkeményedett részt hegesztettünk akkor az kilágyul. A hőmérséklet 450-700 °C között van.
6. *Kéktörékenységi övezete*: kedvezőtlen esetben jelentős szívósságcsökkenés illetve repedés lehetséges itt. Inkább a régebbi rossz minőségű, sok nitrogént tartalmazó acélokra jellemző. A hőmérséklet 100-450 °C között van.

1.5. Karbonegyenérték számítás

1.5.1. Az acélok edződési hajlama

A kis karbontartalmú ($C < 0,2\%$), minimális ötvöző tartalmú ferrit-perlites szerkezetű acélok általában feltétel nélkül hegeszthetők, nem kell felkeményedéstől félni.

Ha a $C > 0,25\%$, akkor normál hegesztési feltételek esetén is célszerű előmelegítést alkalmazni, hogy ezáltal a hővezetés, illetve lehűlés (keménység) csökkenjen.

Ha az acél a C-on kívül más ötvözőket is tartalmaz, akkor figyelembe kell venni az ötvözőelemek edződési hajlamot befolyásoló hatását. Különösen a Mn, a Cr és a Mo csökkenti a kritikus lehűlési sebességet, és így növeli az edződési (repedés) veszélyt.

¹¹ Dr Kovács Mihály: Hegesztési Zsebkönyv. Cokom Mérnökiroda Kft. Miskolc, 2010, 10. o.

1.5.2. Karbonegyenérték

Az acélok előmelegítésének célja a lehülési sebesség csökkentése. Az acélok előmelegítésének hőmérsékletét a CE (szénegyenérték) határozza meg. Az előmelegítési hőmérséklet megállapításához ismerni kell a **karbonegyenértéket** (CE), amely az IIW (International Institute of Welding) szerinti összefüggésből határozható meg.

Karbonegyenérték képlete:

$$C_e = \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+i}{15} \%$$

A CE összefüggés ötvöztelen acélokra, finomszemcsés acélokra és gyengén ötvözött acélokra használható. Az előmelegítés során mind a hőmérséklet, mind a bevitt hőmennyiség fontos.

Az előmelegítés mértéke attól is függ, hogy hol és mekkora környezeti hőmérsékleten tárolják az anyagot, és milyenek a hegesztési körülmények. +5 C környezeti hőmérséklet esetén már elő kell melegíteni a munkadarabot. Általában minél nagyobb az acél széntartalma és vastagsága, annál inkább szükség van előmelegítésre.

Karbonegyenérték, CE, %	Előmelegítési hőmérséklet, t _o , °C
≤ 0,45	<100
0,45-0,60	100-250
>0,6	250-350

6. táblázat: A karbonegyenérték és az előmelegítési hőmérséklet kapcsolata¹²

1.6. A hegeszthetőség

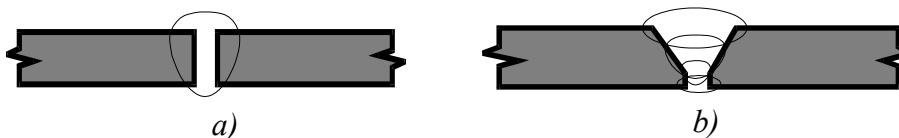
A **hegeszthetőség** a fémek hegesztés-technológiától függő alkalmassága olyan hegesztett kötés létrehozására, amely helyi tulajdonságai és a hegesztett szerkezetre (szerkezeti elemre) gyakorolt hatása szempontjából megfelel az előírt követelményeknek. A hegeszthetőség komplex anyagi tulajdonság, ezért csak a szerkezettel, a hegesztéstechnológiával és az igénybevétellel való kölcsönhatásként értelmezhető.

1.7. Egy és többrétegű hegesztés

Varrattal összefüggő fogalmak.

A hegesztési varrat lehet egysoros, vagy több egymás mellé lerakott varratsorból álló többsoros varrat.

Az egymás fölötti varratsorok varratrétegeket alkotnak, így egy varrat lehet **egy vagy több rétegű**. A többrétegű varratok között megkülönböztetünk **gyökvarratot, töltővarratot, és fedő, vagy korona varratot**.



7. ábra: Varrattípusok¹³
a) egyrétegű varrat, b) többrétegű varrat

¹²Benus F.: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft. Visonta, 2013, 13.o.

¹³Benus F.: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft. Visonta, 2013, 17.o.

2. Hegesztési eljárások

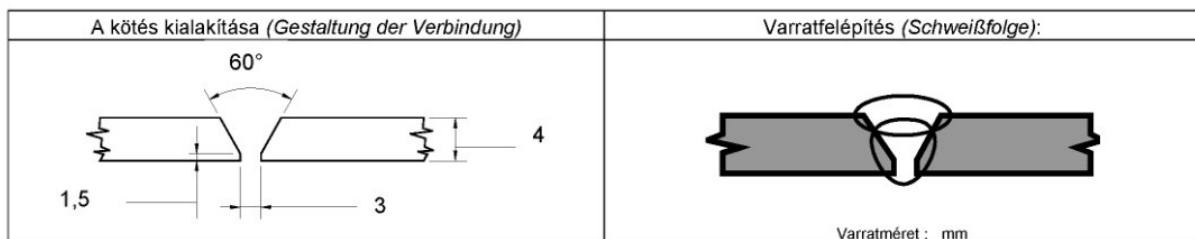
2.1. A WPS tartalma, felépítése és használatának ismerete

A gyártói hegesztői utasítás (WPS) tartalmazza a szerkezeti elem hegesztéssel összefüggő feladatait. . A WPS javasolt formáját az MSZ EN ISO 15609-1 tartalmazza, amelynek alkalmazása nem kötelező, bármilyen, a tartalmi követelményeknek megfelelő WPS használható, beleértve az üzemi gyártásban már korábban használt lapokat is. A WPS elkészítése a hegesztési felelős feladata.. Ezt nem kézikönyvek, prospektusok adatai, hanem, a saját üzemi körülmények között sikeresen kivitelezett és pozitív eredménnyel bevizsgált próbadarabokon szerzett tapasztalat alapján kell elkészíteni.

GYÁRTÓI HEGESZTÉSI UTASÍTÁS (WPS)
(az EN ISO 15609-1 szerint)
Einzelheiten zur Prüfung der Schweißnaht

Az üzemi helye (Ort): **xxx**
A hegesztési utasítás száma (Schweißverfahren des Herstellers): **xxx**
Beütőszám (Beleg-Nr.): **xxx**
WPQR-szám (WPQR-Nr.): **xxx**
Gyártó (Hersteller): **xxx**
A hegesztő neve (Name des Schweißers): **xxx**
Hegesztési eljárás (Schweißprozeß): **141**
Kötéstípus (Nahtart): **BW**
A varrat előkészítés adatai (vázlat)*/Einzelheiten der Fugenvorbereitung (Zeichnung)*:

A minősítő személy vagy testület (Prüfer oder Prüfstelle): **xxx**
Az előkészítés és tisztítás módszere (Art der Vorbereitung und Reinigung): Forgácsolás, kőszőrülés és drókfés tisztítás
Alapanyag megnevezése (Spezifikation des Grundwerkstoffs): **P355 NL1**
Próbadarab vastagsága /Werkstückdicke/(mm): **4**
Külső átmérő /Außendurchmesser/(mm): **57**
Hegesztési helyzet (Schweißposition): **PH**



Varratsor Schweiß- raupe	Hegesztési eljárás Prozeß	A hozaganyag mérete Durchmesser des Zusatz- werkstoffes	Hegesztési áramerősség A	Hegesztési feszültség Spannung V	Az áram neme és polaritása Stromart/ Polung	Huzalelőtolási sebesség Drahtvorschub	Hegesztési sebesség Vorschubge- schwindigkeit *	Hőbevitel Wärmesin- bringung
1	141	Ø2,4	70-80	12-13	egyen/-			
2	141	Ø2,4	70-80	12-13	egyen/-			

A hozaganyag besorolása és elnevezése (Zusatzwerkstoff Einteilung und Markenname): **EN ISO 636-A W46 5 W2Si**
Esetleges különleges szárítás (Sondervorschriften für Trocknung):
Védőgáz vagy fedőpor (Schutzgas/Schweißpulver)
-Hegfűrdővédelem (Schutzgas): **EN ISO 14175 I 1**
-Megtámasztás (Wurzelschutz):
A gáz átáramló mennyisége (Gasdurchflußmenge)
-Védőgáz (Schutzgas): **7-8 lit/perc**
-Varratfűrdő megtámasztás (Wurzelschutz):
A wolfrámelektroda típusa és mérete (Wolfrámelektrodenart / Durchmesser): **Ø2,4**
A gyökkifaragás részletei (Einzelheiten über Ausfugen / Schweißbadsicherung):
Előmelegítési hőmérséklet (Vorwärmtemperatur):
Közbenő hőmérséklet (Zwischenlagentemperatur):

Hegesztés utáni hőkezelés és/vagy öregítés (Wärmenachbehandlung und/oder Aushärten):
Idő, hőmérséklet, módszer (Zeit, Temperatur, Verfahren):
Felmelegítési és lehűlési sebesség (Erwärmungs- und Abkühlungsrate)*:
Egyéb információk (Weitere Informationen)*:
P.l.: Elektrodalengetés (a v.sor szélessége) /z.B.: Pendeln (maximale Raupenbreite)/
Ívelőmozgás: amplitúdó, frekvencia, idő (Pendeln: Ampl., Freq., Verweilzeit):
Az impulzushegesztés adatai (Einzelheiten für das Pulsschweißen):
Az érintkezőcső távolsága (Kontaktdüsenabstand):
A plazmaheg. adatai (Einzelheiten für das Plasmaschweißen):
Az égő dőlésszöge (Brennerstellwinkel):

Hersteller

Prüfer oder Prüfstelle

.....
Name, Datum und Unterschrift

.....
Name, Datum und Unterschrift

* Falls gefordert

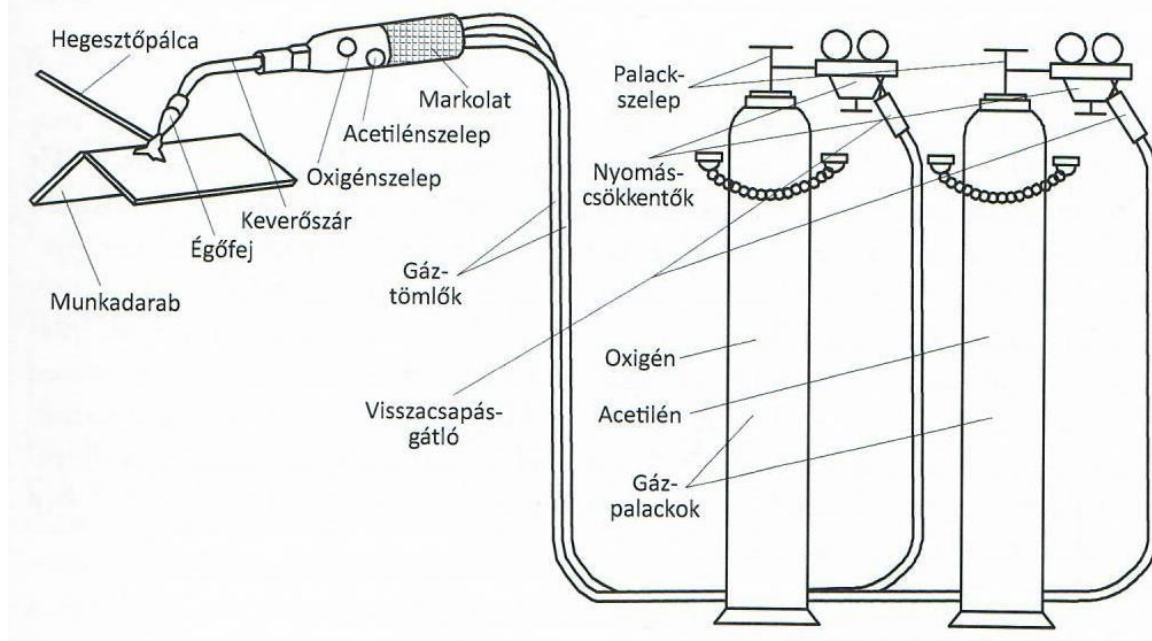
8. ábra: Gyártói hegesztési utasítás (WPS) felépítése acélok ívhegesztésére¹⁴

¹⁴Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor, Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 88.o.

2.2. Oxigén-acetilén lánghegesztés, lángforrasztás technológiája és berendezései

2.2.1. Gázhegesztés fogalma. A gázhegesztés történeti áttekintése az eljárás elvi alapja

A **gázhegesztés** éghetőgáz és oxigén elégetésekor nyert termikus hő általi ömlesztő hegesztés. Az éghetőgáz általában acetilén, mivel az éghetőgázok közül ennek a legnagyobb a lánghőmérséklete, az égési sebessége és a lángteljesítménye. A 9. ábra a gázhegesztés elvét szemlélteti.



9. ábra: A gázhegesztés elve¹⁵

A mai értelemben alkalmazott gázhegesztés csak 1903-ban vált ismertté, amikor a francia Edmond *Fouché* kifejlesztette és szabadalmaztatta az első acetilén-oxigénnel működő injektoros gázhegesztő pisztolyt. A szabadalom előzménye a XIX. század első felére nyúlik vissza. Az időben a vegyipar gyorsuló fejlődése mind nagyobb mennyiségű kénsav (H_2SO_4) előállítását tette szükségessé. A kénsavgyártáshoz szükséges ólomkamrás berendezéseket eleinte ónnal lágyforrasztották. A francia E. Desbassayns de Richemont 1838-ban kifejlesztett egy hordozható készüléket, melynek alsó tartályában elhelyezett cinkforgácsra egy felső tartályból kénsavat csepegtetett, aminek következtében hidrogén fejlődött. A hidrogén és az odavezetett levegő egyesülésekor meggyújtott láng alkalmas volt ömlesztésre. Az eljárásához nem volt szükség hozaganyagra, ezért azt „soudure autogène” elnevezéssel illette. A soudure szó a latin solidare (egyesíteni, kötni), az autogeneos szó pedig görög-latin szóból (auto = önállóan, önmagától, generale = létesítés) származik. Autogén hegesztés tehát minden olyan kötési eljárás, amelynél fémeket külön hozaganyag nélkül, azok megömlesztésével egyesítenek (így pl. a peremvarratok hozaganyag nélküli AVI hegesztése is autogén hegesztés).

Acetilént először a német Friedrich Wöhler állított elő 1862-ben. Az acetilén nagyipari módszerrel való előállításához kőszénre és kalcium-karbidra (CaC_2) volt szükség. Az amerikai T. L. Willson 1892-ben elektromos ívkemencében hevített kőszénre és mészkövet, az így keletkezett kalcium-karbid mellett kellemetlen, szúrós szagú telítetlen szénhidrogéngáz, azaz acetilén fejlődött, melyet főként világítógáz céljára használtak. Az első acetilénfejlesztő berendezést a német Adolf Messer szabadalmaztatta 1897-ben, illetve ugyanebben az évben a francia

¹⁵ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor, Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 39.o.

Claude és Hess felismerte, hogy az acetón jól oldja az acetilént. Az első gázhegesztéssel foglalkozó szakkönyvet Theodor Kautny mérnök írta, melyet 1909-ben Halléban adták ki „Az autogénhegesztés kézikönyve” címmel. Bár akkor még magyar nyelvű gázhegesztési szakkönyv nem állt rendelkezésre, a budapesti Magyar Királyi Allami Felsőipariskola már 1907-ben indított gázhegesztő tanfolyamot. Az intézmény kémiai technológia tanára, majd 1907-től igazgatója, Petrik Lajos, a budapesti Iparművészeti Múzeum főgondnoka, királyi tanácsos a gázhegesztés ipariskolai alkalmazásának alapelvei kidolgozásában végzett tevékenységével jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy 1907-1913 között a Magyar Királyi Technológiai Iparműzeum fémipari szakmájában 749 főt (!) képeztek ki 46 tanfolyam során. A tanfolyami hallgatók számára Vittál I. Gyula: Az autogénhegesztés és vágás című, 1912-ben megjelent könyve állt rendelkezésre.

2.2.2. Hegesztőgázok

Hegesztőgáz minden olyan gáz, amit fémek ömlesztő hegesztéshez használnak a kötés kialakításához. A hegesztőgáz lehet *éghető*, ill. *nem éghető gáz*.

Éghetőgázok

Az **éghetőgázok** oxigén jelenlétében elégnék és szolgáltatják a hegesztéshez szükséges hőt. A gázhegesztéshez alkalmazott éghetőgázok főbb jellemzőit a 7. táblázat foglalja össze.

Éghető gáz	Sűrűség *, ρkg/m ³	Fűtőérték, kJ/m ³	Max. láng hőmérséklet oxigénnel, °C	Gyulladási hőmérséklet levegőben, °C	Robbanási határ levegőben, %	Égési sebesség oxigénben, m/s	Primer lángteljesítmény, kW/cm ²
Acetilén (C₂H₂)	1,17	57800	3180	335	3-82	13,5	44,8
Hidrogén (H₂)	0,09	10800	2525	585	4,0-75	8,9	14,9
Propán (C₃H₈)	1,83	93000	2850	510	2,1-9,5	3,7	10,4
Metán (CH₄)	0,67	36000	2770	645	4,0-17	3,3	13

*a levegő sűrűsége ρ= 1,21 kg/m³

7. táblázat: Gázhegesztéskor alkalmazott éghetőgázok főbb jellemzői¹⁶

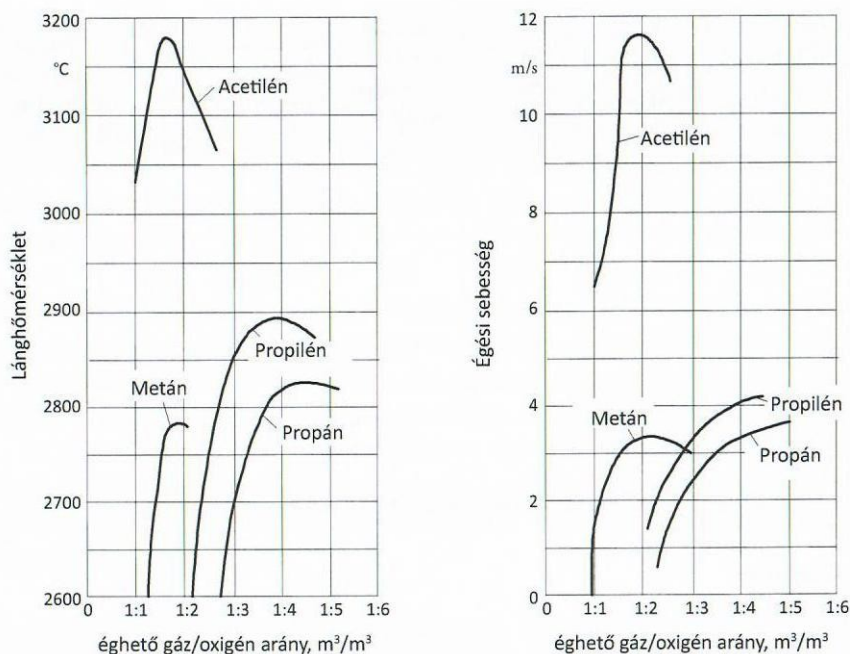
Acetilén

Az acetilén színtelen, nem mérgező, szennyezői miatt jellegzetes szagú, a levegőnél könnyebb (ρ = 1,17 kg/m³) éghető, telítetlen szénhidrogén gáz, szerkezeti képlete C₂H₂. A telített szénhidrogénú etánból (C₂H₆) 2 hidrogén molekula elvételekor telítetlen etilént (C₂H₄) nyerhető. További 2 hidrogén elvételével adódik az acetilén, amelynél 2 négy vegyértékű szénatom egymáshoz kapcsolódik, és 2 egy vegyértékű hidrogén pedig a szénhez (H–C≡C–H). Mivel az acetilén esetében a telített etánhoz képest hiányzik 4 hidrogén, ezért rendkívül labilis, nagy nyomáson, 300°C fölött 11-szeres térfogat növekedés és hőfejlődés mellett könnyen szétesik alkotóira (C₂H₂ → 2C + H₂ +hő). Ezért a gáz nyomása a használata során nem haladhatja meg

¹⁶ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 41.o.

a 0,15 MPa (1,5 bar) értéket. Az acetilén-levegő gázkeverék 3-82 % között, az acetilén-oxigén gázkeverék 2,5-93 % között robbanásveszélyes. Az acetilént korábban acetilén fejlesztőkben állították elő kalcium-karbid (CaC_2) és víz reakciója során. Mivel a karbidgyártás a nagy energiaigénye miatt igen költséges, ezért ipari méretekben ma már az acetilént metánból (CH_4) állítják elő (a $2 \text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3 \text{H}_2$ kémiai folyamat szerint).

A semleges lángnál beállított acetilén-oxigén gázkeverék adja a legnagyobb láng hőmérsékletű lángot (3180°C), a legnagyobb égési sebességet (oxigénben $13,5 \text{ m/s}$) és lángteljesítményt ($44,8 \text{ kW/cm}^2$). A 10. ábra néhány éghetőgáz láng hőmérsékletét és égési sebességét mutatja a keverési arány függvényében. Látható, hogy az acetilén-oxigén láng hőmérséklet $200\text{-}300^\circ\text{C}$ -kal, az égési sebesség pedig 50 %-kal nagyobb a többi éghetőgázénál.



10. ábra: Főbb éghetőgázok láng hőmérséklete és égési sebessége¹⁷

A lángteljesítmény egységnyi idő alatt (pl. 1 s alatt), egységnyi felülettel (pl. 1 cm^2) felülettel közölt hőmennyiség, kW/cm^2 -ben ($1 \text{ kW/cm}^2 = 1 \text{ kJ/cm}^2 \cdot \text{s}$). Az acetilénnél az első (primer) égési fokozatban felszabaduló hőenergiával és lángterjedési sebességgel elérhető fajlagos hőmennyiség a primer lángteljesítmény (az éghetőgázok fűtőértéke az autogénteknikában nem mérhető). A második égési fokozatban felszabaduló hőmennyiség a szórt lángba (seprűbe) kerül és nem hasznosítható.

Hidrogén

A hidrogén íztelen, nem mérgező, erősen redukáló, a levegőnél könnyebb ($\rho=0,09 \text{ kg/m}^3$), kis primer lángteljesítményű ($14,9 \text{ kW/cm}^2$) éghetőgáz, melyet vízgázból állítanak elő. Ha izzó kokszelegyen vízgőzt fúvatnak át, akkor az izzó koks megbonthatja a vízgőzt, hidrogénre és szén-monoxidra redukálja a $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$ egyenlet szerint. A vízgázból a szén-monoxidot elnyeletik, és az így nyert hidrogént palackba sűrítik. Egy 40 literes palackban, 15 MPa (150 bar) nyomáson $40 \cdot 150 = 6000$ liter, azaz 6 m^3 hidrogén tárolható. A hidrogén-levegő gyulladási hőmérséklete (585°C) nagyobb az acetilén-oxigén gázkeveréknél. A hidrogén-oxigén gázkeverék égése az acetilénnél kisebb láng hőmérsékletű (max. 2525°C) „hideg” lángot képez, ezért a gáz főként kis olvadáspontú, kis hőteljesítményt igénylő fémek (pl. vékony

¹⁷ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 42.o.

acéllemez, ólom, alumínium) hegesztésére használható. Keskeny, szűrő lángja azonban alkalmasá teszi 100 mm-nél vastagabb acéllemezek lángvágására is.

Propán

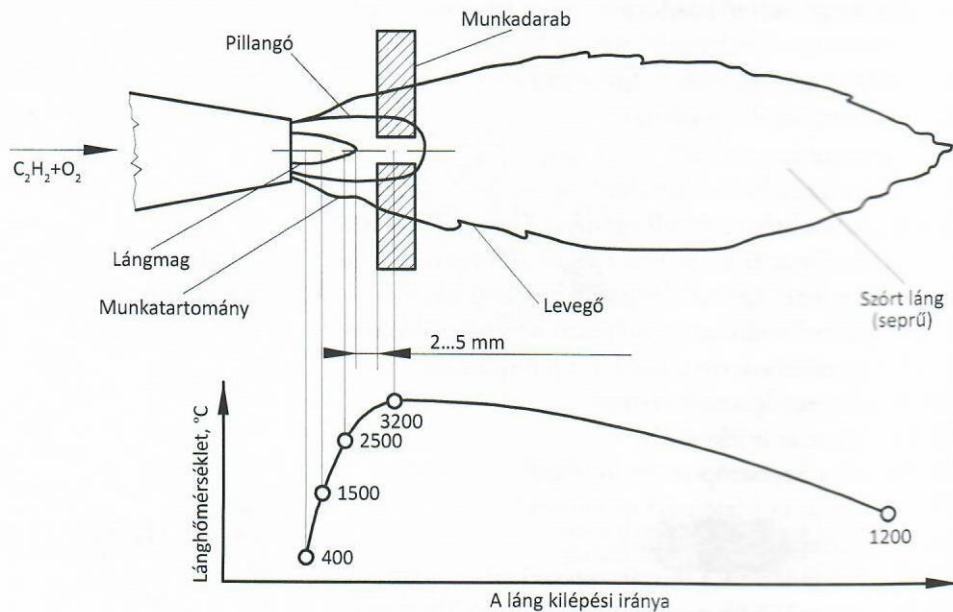
A propán (PB-gáz, C_3H_8) nem mérgező, a levegőnél nehezebb ($\rho=1,83 \text{ kg/m}^3$) éghetőgáz. A nagyobb sűrűségű gáz ellenőrizetlen körülmények között mélyedésekben, talajszinten összegyűlhet, és robbanóképes propán-levegő gázkeverék alakulhat ki, vagy pedig a levegő kiszorítása miatt fulladásveszély állhat elő. A propán levegővel 2,1-9,5%, oxigénnel 1,5-55% között alkot robbanóképes gázkeveréket. A propán fűtőértéke nagyobb, mint az acetiléné, égési sebessége azonban kicsi, emiatt mérsékelt a primer lángteljesítménye ($10,4 \text{ kW/cm}^2$). A propán-levegő gyulladási hőmérséklete (510°C) nagyobb az acetilén-oxigén gázkeveréknél. A propán alkalmas kis olvadáspontú fémek és vékony acéllemezek ($s \leq 2 \text{ mm}$) összekötésére, ill. lángvágáshoz használható.

Oxigén

Az oxigén színtelen, szagtalan, íztelen, a levegőnél kissé nehezebb ($\rho=1,43 \text{ kg/m}^3$), nagy reakcióképességű éghető, az égést tápláló gáz. Neve az oxigenium (savképző) szóból származik. Az oxigént iparilag a levegőből, a levegő alkotóinak (21 % oxigén, 78 % nitrogén, kb. 1 % nemesgáz) szétválasztásával, a levegő cseppfolyósítása, majd szakaszos lepárlása útján állítják elő. A megtisztított levegőt kb. 20 MPa (200 bar) nyomásra sűrítik, majd ezután lehűtik. A nyomás csökkentésekor keletkező hőelvonás a gázt lehűti és cseppfolyósítja (-183°C), majd a cseppfolyósított levegő oxigén és nitrogén tartalmát szétválasztják. Nagy oxigén felhasználáskor a cseppfolyós oxigént 10-25 m^3 űrtartalmú, kettős falú, szigetelt fémedényben szállítják, ill. tárolják. A cseppfolyós oxigén csak elgázosítás után használható, ehhez ún. hidegelgázosítót használnak. Egy liter cseppfolyós oxigén 15°C -on 0,1 MPa nyomáson 863 l gázne-mű oxigénné alakul át hőfelvétel közben.

2.2.3. Hegesztőláng típusok

Az acetilén-oxigén láng szerkezetét a 11. ábra mutatja. A láng kémiai jellegét és láng hőmérsékletét befolyásolja az acetilén : oxigén aránya. Acetilén-oxigén aránya 1:1–1:1,1



11. ábra: A semleges hegesztőláng és szerkezete¹⁸

Acetilén-oxigén láng esetén a láng lehet (12. ábra):

- semleges,
- redukáló (acetiléndús),
- oxidáló hatású.

Semleges a láng, ha a két gáz aránya kb. 1:1-1:1,1. Ekkor a láng három, jól elkülöníthető részből, a lángmagból, a pillangóból és a seprüből áll.

A *lángmag* a hegesztőláng kékes fényű, élesen kirajzolódó kúpos felülettel határolt része. Az égőfejből nagy sebességgel kilépő lángkúp-köpenyben az acetilén felbomlik alkotóira, azaz szénre (C) és hidrogénre (H₂).

A *pillangóban* a szén és az oxigén szén-monoxiddá egyesül. A tökéletlen égés ($2C+2H_2+2O_2 \rightarrow 4CO+2H_2$) következtében ez az övezet redukáló hatású. A hegesztendő elemek a lángmag végétől 2–5 mm-re legyenek, ekkor kellőképpen védi az ömledéket a CO+H₂ gázkeverék a levegőben lévő oxigén káros hatásától, és itt lesz a lánghőmérséklet a legnagyobb ($\approx 3200^\circ\text{C}$). A lánghőmérséklet csökken, ha az éghetőgáz : oxigén aránya eltér az 1:1 értéktől.

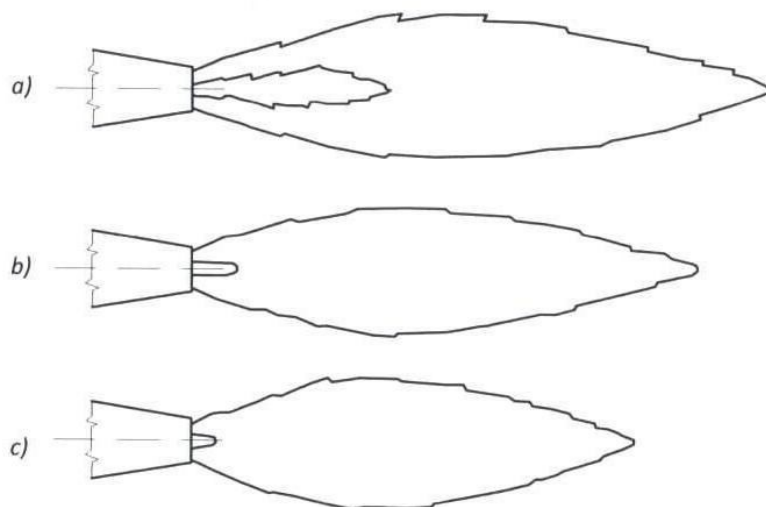
Az acetilén : oxigén tökéletes elége a *seprűben* (szórt lángban) megy végbe, ekkor a két gáz szén-dioxiddá és vízgőzzé ég el ($4CO+2H_2+3O_2=4CO_2+2H_2O$). 1 m³ acetilén tökéletes elégéséhez 2,5 m³ oxigénre van szükség. Semleges láng esetén tehát 1 m³ acetilén 1 m³ oxigént a gázpalackból, 1,5 m³ oxigént a levegőből használ fel. Ez utóbbi megfelel 7,3 m³ levegő oxigéntartalmának, ezért zárt térben végzett hegesztéskor gondoskodni kell a levegő pótlásáról megfelelő szellőztetés útján.

Semleges lánggal kell hegeszteni

- az ötvöztelen acélokat
- a gyengén ötvözött acélokat

¹⁸Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 58.o.

- az acélöntvényeket,
- a melegszilárd acélokat,
- a vörösrezt.



12. ábra: Lángtípusok

a) redukáló (acetilén dús); b) semleges (normál); c) oxidáló (oxigén dús)¹⁹

Acetilénfelesleg esetén (**acetiléndús, vagy redukáló láng**) eltűnik a lángmag és szabálytalan körvonalú, lobogó, sárgászöld színű hosszú láng jön létre.

Ilyen lánggal hegeszthetők

- az öntöttvasak,
- a nagy karbon tartalmú szerszámacélok.

Ötvözetlen acélok hegesztésére nem ajánlott, mivel az ömledék karbonfelvétele növelheti az edződési veszélyt.

Oxigénfelesleg esetén (**oxigéndús láng**) a hegyes és kékes színű, erősen sziszegő hangú lángmag kedvezőtlen hatású, mivel a fémet oxidálja. Ezt a lángot csak a sárgaréz (réz-cink ötvözet) gázhegesztésekor használják a cink kigőzölgésének csökkentése céljából.

Mindhárom lángnál be lehet állítani *lág*y, illetve *kemény* lángot anélkül, hogy az acetilén : oxigén arányát megváltoztatnánk. Az égőfejből kilépő semleges gázkeverék kiáramlási sebessége 110–130 m/s. Az ennél kisebb sebességgel kilépő lángot *lág*y lángnak, a nagyobb sebességgel kilépőt *kemény* lángnak nevezik. Hegesztéskor tehát a keverőszár alsó tartományában dolgozva a láng *lág*y, a felső tartományában a láng *kemény* lesz.

¹⁹Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 59.o.

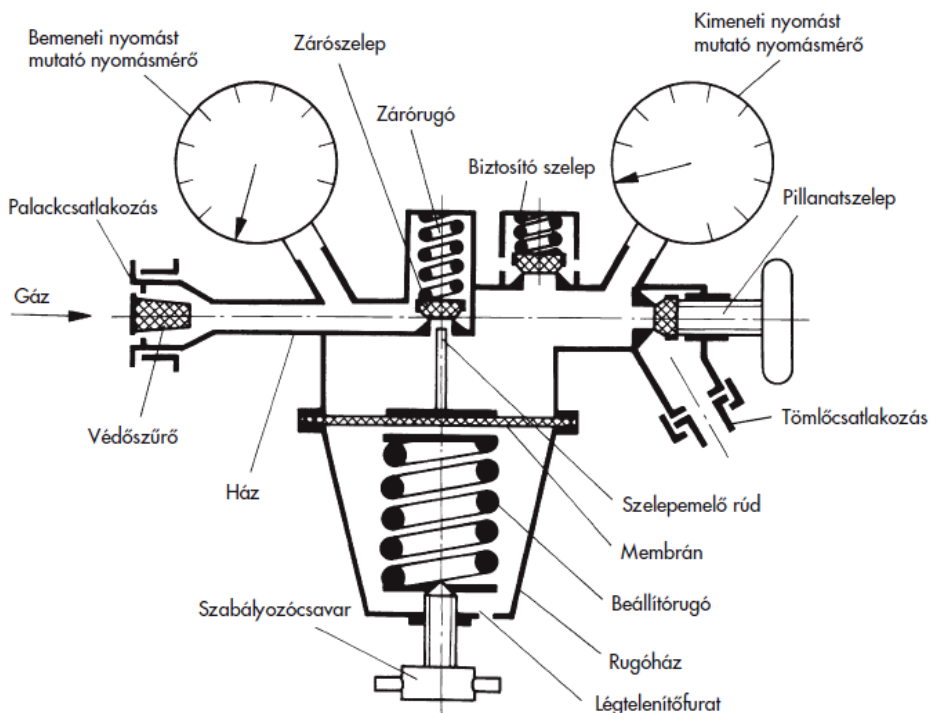
2.2.4. Lánghegesztő felszerelés részei, kezelése és tárolása

Lánghegesztő berendezés

A gázhegesztő berendezés (vagy felszerelés) gázhegesztő készülékből és a gázvezetékből áll. A készülékek fogalmába tartoznak a berendezés meghatározott funkcióra készült elemei (gázpalack, nyomáscsökkentő, hegesztőpisztoly, biztonsági eszközök stb.). A gázvezeték a berendezés készülékeit összekötő vezetékek (tömlők és csővezetékek), valamint ezek összekapcsolására alkalmas csatlakozó és toldó elemek.

Nyomáscsökkentő

A hegesztő nyomáscsökkentő (reduktor) feladata a palackban, ill. csővezetékben lévő nagyobb (bemeneti) nyomás üzemi (kimeneti) nyomásra csökkentése, annak állandó értéken tartása változó gázelvétel esetén is, a egyenletes gázelvétel biztosítása, a palack lángvisszacsapástól vagy nyomásvisszahatástól való védelme. A palackszelepre az acetilén nyomáscsökkentőt kengyellel, az oxigén nyomáscsökkentőt jobbmenetes, $\frac{3}{4}$ "-os (21,8 mm átmérőjű, 14 menet/1" menetemelkedésű) Whitworth-menetű anyával, a hidrogén és minden más éghetőgázét (az acetilén kivételével) balmenetes, az előzővel megegyező átmérőjű és menetemelkedésű anyával rögzítik. Nagyobb vagy tartós gázelvételkor a nyomáscsökkentő befagyhat, ebben az esetben csak meleg vízzel vagy meleg levegővel szabad a nyomáscsökkentőt felmelegíteni. A nyomáscsökkentő lehet egyfokozatú vagy kétfokozatú. A 13. ábra egyfokozatú nyomáscsökkentő metszetét és főbb elemeit mutatja.



13. ábra: Egyfokozatú hegesztő nyomáscsökkentő²⁰

A nyomáscsökkentő tulajdonképpen membránszabályozású szelep. A gázpalack szelepének nyitása után a gáz a nyomáscsökkentő nagynyomású (bemeneti nyomású) terébe áramlik, miközben a beállítórugó feszültségmentes (kicsavart) állapota esetén nincs gázkiáramlás. Ekkor

²⁰Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 48.o.

a bemeneti nyomásmérő a palackban lévő gáz nyomását mutatja. Gázélvétel esetén először a szabályozócsavarral be kell állítani a kívánt kimeneti (üzemi) gáz nyomását. Ekkor a rugó a rugalmas membránt, ezen keresztül a zárószelepet megemeli és a gáz a kisnyomású térbe áramlik, majd a kieresztőszelep (pillanatszelep) nyitáskor a tömlőbe, ill. pisztolyba jut.

A nyomáscsökkentő házán vagy a rugófedélen a következőket kell feltüntetni:

- a gyártó, ill. forgalmazó cég neve vagy jele,
- a nyomáscsökkentő osztályba sorolása,
- az alkalmazható gáz típusa (ill. rövid jele),
- a legnagyobb bemeneti nyomás értéke.

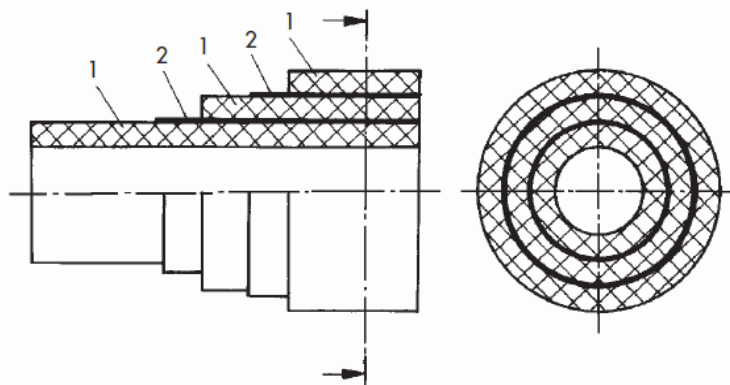
A kétfokozatú nyomáscsökkentőnél két nyomásszabályozó van egybe építve egy közös házban. Az egyik nyomáscsökkentő a gázpalackhoz csatlakozik és adott értékre csökkentett nyomásra van beállítva (pl. oxigénpalacknál 15 bar nyomásra). A másik nyomáscsökkentő ezt a nyomást csökkenti a hegesztéshez (vagy vágáshoz) szükséges értékre. Így az üzemi nyomás hosszú időn át állandó értéken tartható, a nyomás finomabban szabályozható.

A nyomáscsökkentő gázpalackra való felszerelésének sorrendje a következő:

- a gázpalack védőkupakjának eltávolítása, a szelep zárt állapotának ellenőrzése, majd a záróanya eltávolítása,
- a gázpalack szelep kifúvatása, annak $\frac{1}{4}$ fordulattal való óvatos megnyitásával, (a kiömlőnyílástól oldalt elhelyezkedve),
- a csatlakozóanya és a tömítőgyűrű ellenőrzése (száraz fiber gyűrű alkalmazható, bőr, olajos kóc stb. nem),
- a szabályozócsavar kitekert, a pillanatszelep zárt állapotának ellenőrzése,
- a hollandi anya, ill. a kengyeles szorító gázpalackhoz való csatlakoztatása,
- a lángvisszacsapás-gátló nyomáscsökkentőhöz való csatlakoztatása, a gumitömlő és a hegesztőpisztoly felszerelése,
- a palackok szelepeinek óvatos kinyitása, a bemenő nyomású manométeren a palacknyomás, továbbá a csatlakozások tömítettségének ellenőrzése.

Gumitömlők és tömlőcsatlakozók

A gumitömlő az igénybevétel és a tartósság figyelembe vételével keresztszövéses szintetikus textilfonattal készül. Az oxigéntömlő három soros, az acetiléntömlő két soros, ez utóbbit mutatja a 14. ábra.



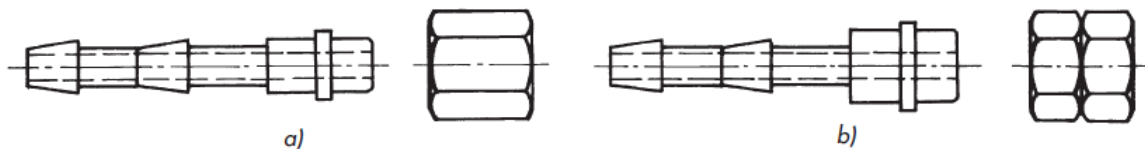
14. ábra: A gumitömlő szerkezete²¹
1: gumitömlő; 2: vászonbetét

²¹Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 50.o.

Az oxigénhez 10 m hosszú $\varnothing 11 \times 4$ mm, az acetilénhez $\varnothing 14 \times 6,3$ mm méretű gumitömlőt használnak. A szokásos névleges (belső) átmérők: 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10 mm. Az oxigéntömlő színjelölése kék, az acetiléntömlőé piros.

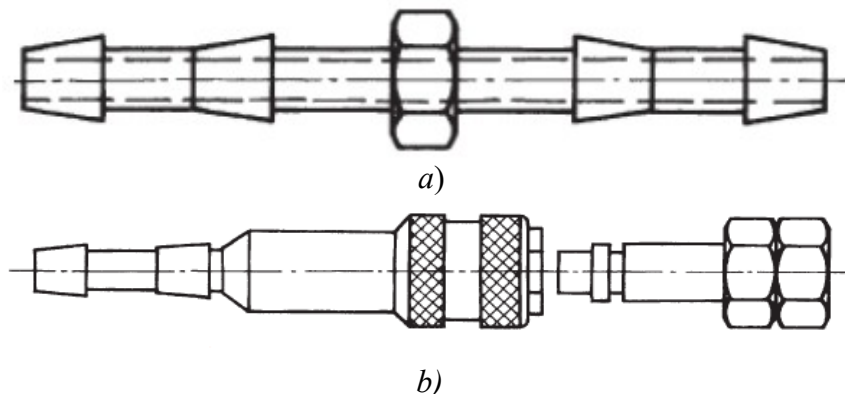
A tömlő külső felületén 1 méterenként tartósan és jól láthatóan a következőket kell feltüntetni:

- az európai szabványra való utalás,
- a legnagyobb üzemi nyomás MPa-ban és zárójelben bar-ban,
- a tömlő névleges (belső) átmérője mm-ben,
- a gyártó és szállító márkaneve,
- a gyártás dátuma.



15. ábra: Egyoldali tömlőcsatlakozó és hollandi anya²²
a) oxigénhez; b) acetilénhez

A gumitömlőt a pisztolyhoz csak szabványos tömlőcsatlakozóval szabad csatlakoztatni. Ennek anyaga maximum 70 % rézet tartalmazó sárgaréz (réz-cink ötvözet) lehet. A 15. ábra egyoldali, a 16. ábra kettős, ill. önműködően záró csatlakozótoldatot szemléltet. A tömlőcsatlakozó 3/8"-os balmenetes hollandi anya palástján lévő V alakú bemetszés az acetilén miatt szükséges, elkerülendő az oxigén hollandival való összecserélést (utóbbin nincs bemetszés).



16. ábra: Csatlakozó toldatok²³
a) kettős toldat, b) önműködően záró csatlakozótoldat

A tömlők összekötésére, pl. a tömlő meghosszabbításakor vagy javításakor kettős tömlőcsatlakozó toldatot vagy kettős menetes csatlakozót kell alkalmazni. A csatlakozóvégnek igazodnia kell a tömlő méretéhez. A tömlő a csatlakozóvégre megbízhatóan tömlőbilinccsel erősíthető fel, dróttal vagy egyéb más módon tilos rögzíteni!

A tömlők összeköthetők oldható (önműködően záródó) csatlakozó toldattal is. Ezt a tömlők nyomáscsökkentőre vagy hegesztőpisztolyra való felszerelésére, ill. összekötésre használják. Ez az önzáró elem lehetővé teszi a nyomás alatti csatlakoztatást is. A csatlakozót testen a következőket kell feltüntetni:

- a vonatkozó szabvány jele,

²²Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 50.o.

²³Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 51.o.

- a csatlakozó toldat típusa (pl. O oxigénhez, F éghetőgázokhoz),
- a gyártó neve vagy jele,
- az áramlási irányt mutató nyíl.

Kisnyomású injektoros hegesztőpisztoly

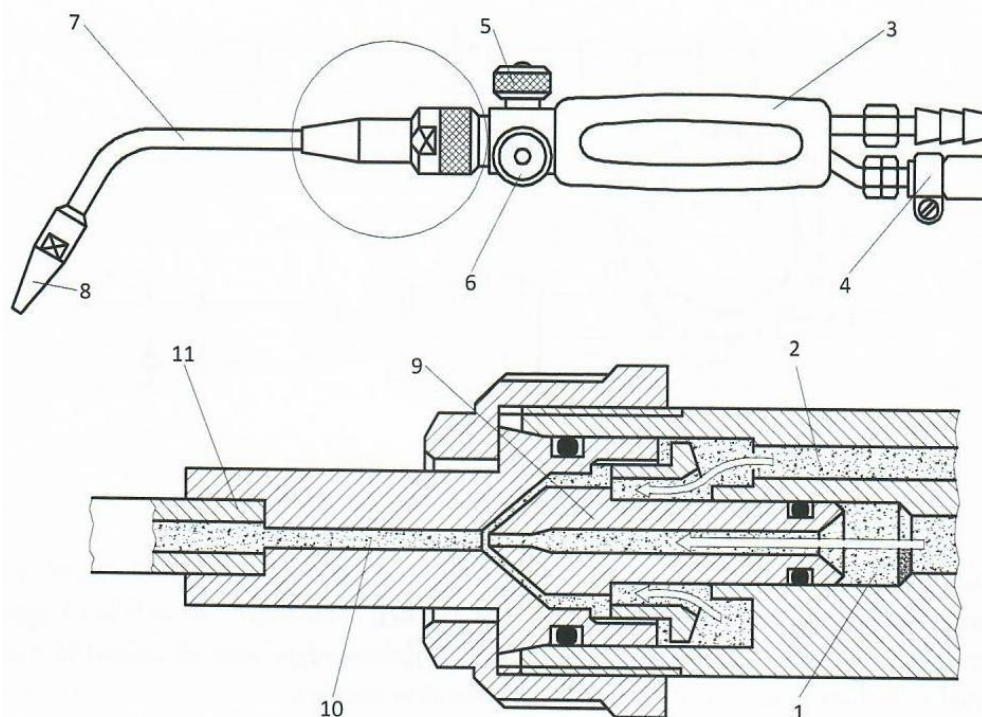
A hegesztőpisztoly feladata az éghetőgáz és az oxigén összekeverése, a gázkeverék égőfejbe való vezetése.

A kisnyomású (szívó vagy injektoros) hegesztőpisztolyba az acetilént a nagyobb nyomású oxigén szívóhatásával kell bejuttatni, ha a gáznyomás nem elég ahhoz, hogy a pisztolyba elégséges gáz jusson. Az égőfej nyílásánál a gázkiáramlás sebességének nagyobbak kell lenniük az égési sebességénél, mert különben az égés visszafelé terjed a pisztolyba. Ennek elkerülésére injektoros hegesztőpisztolyt használnak.

A hegesztőpisztoly részei (17. ábra):

- a markolat,
- a keverőszár és
- az égőfej.

A markolaton található a gázszabályozó szelepek, amelyekkel a gázok mennyisége és keverési aránya beállítható. A markolathoz oldható tömlőcsatlakozóval csatlakozik az oxigén és az acetilén tömlő.



17. ábra: Kisnyomású injektoros hegesztőpisztoly²⁴

1: oxigén; 2: acetilén; 3: fogantyú; 4: csatlakozó bilincs; 5: oxigénszelep; 6: acetilénszelep;
7: szárcső; 8: égőfej; 9: nyomófűvóka, 10: keverőfűvóka; 11: kúpos keverőcső

Az injektoros keverőszárban az éghetőgáz és az oxigén úgy keveredik, hogy a nagyobb nyomású oxigén az injektor keverőfűvókéjában átáramolva nyomáscsökkenést hoz létre a kúpos ke-

²⁴Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 52.o.

verőcsőben és beszívja az éghetőgázt. Az áramlás irányában csökkenő keresztmetszetű csőszakaszt konfúznak, a bővülő csőszakaszt diffúznak nevezik. A pisztoly konfúzor részében a nagyobb nyomású (0,18-0,25 MPa túlnyomású) oxigén felgyorsul és magával ragadja a kisebb nyomású (0,03-0,08 MPa túlnyomású) acetilént. A gázok a diffúzorban összekeverednek és sebességük lelassul. Semleges lángnál a kiáramlási sebesség 110-130 m/s, miközben az égési sebesség acetilén-oxigén gázkeveréknél 13,5 m/s. A gázkiáramlási sebesség a keverőszár cseréjével szabályozható anélkül, hogy az acetilén-oxigén arányát változtatnák. Ha a gázok égőfejből való kiáramlási sebessége túl nagy (túl sok acetilén és oxigén), akkor a láng „elrepül”, ha pedig túl kicsi, akkor a láng visszajuthat a keverőszárba (visszaégés). A keverőszár rézből készül, hogy jól vezesse a hőt, gyorsan lehűljön, és ne melegítse fel a benne áramló gázkeveréket a gyulladási hőmérsékletre (acetilén-levegő keverék esetében 335°C). A keverőszár azért készülhet vörösrézről, mivel abban nem acetilén, hanem acetilén-oxigén gázkeverék áramlik.

A 7. táblázat a keverőszárak számozását és az adott keverőszárral hegeszthető ötvöztelen acéllemez vastagságát, a gázokkal összefüggő adatokat, ill. a tisztítóú méreteit mutatja.

A keverőszár száma	Acéllemez, vastagság, s, mm	Oxigénnyomás, MPa	Acetilénnyomás, MPa	Acetilén fogyasztás, l/h	Oxigén fogyasztás, l/h	Tű Ø acetilén, mm	Tű Ø oxigén, mm
0	0,2–0,5	0,25	0,03-0,08	35	40±5	0,5	0,7
1	0,5–1			75	80±10	0,7	1,0
2	1–2			150	160±15	1,0	1,2
3	2–4			300	315±30	1,0	1,5
4	4–6			500	550±50	1,5	2,0
5	6–9			750	800±80	2,0	2,0
6	9–14			1150	1250±125	2,4	2,4

8. táblázat: Keverőszárak számozása és a javasolt hegesztési adatok²⁵

Ha a keverőszár furata eltömődött, akkor azt a furatnak megfelelő átmérőjű (0,5-2,4 mm) lágy tűvel kell tisztítani, ugyanis a szennyeződés a lángmagot szabálytalanná teszi, a láng pontos beállítását nehezíti.

A keverőszáron az alábbiakat kell tartósan feltüntetni:

- a gyártó neve vagy jele,
- a keverőrendszer jele injektoros vagy szívópisztoly (visszáramlással szembeni biztonság miatt),
- a keverőszár száma,
- az éghetőgáz típusa A,
- a hegeszthető acéllemez vastagság 0,5-1 mm,
- az oxigénnyomás S 2,5 bar.

A keverőszár szívóhatását *szívópróbával* lehet ellenőrizni. Ehhez először az oxigénpalackot kell kinyitni, majd be kell állítani az oxigén nyomását. Az acetilén palackot zárva kell tartani, az acetiléntömlőt pedig le kell szerelni a pisztoly markolatáról. A pisztoly az acetilén és az oxigén szelepének nyitáskor a markolat acetilén-csatlakozójánál határozott szívóhatást kell észlelni. Ha ez nem jelentkezik, vagy a gáz visszaáramlik, akkor hibás a hegesztőpisztoly.

²⁵Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 53.o.

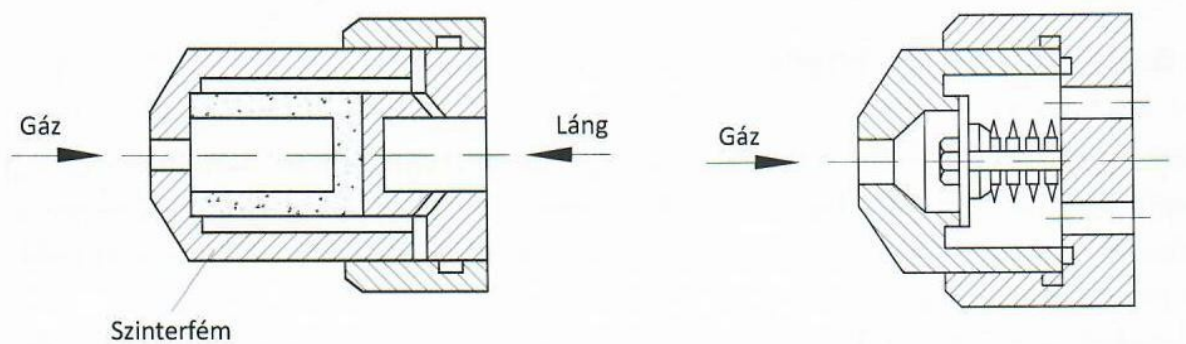
Biztonsági eszközök

A hegesztőpisztoly helytelen használata, vagy nem megfelelő karbantartása esetén a láng a pisztolytól a palackig visszajuthat, minek következtében elég lehet a nyomáscsökkentő, vagy a nyomásmérő, megrepedhet a gumiömlő, megsérülhet a pisztoly, vagy felrobbanhat a gázpalack. Miután a táblázat szerinti üzemzavarok nem zárhatók ki teljesen, ezért a hegesztő-berendezéseket megfelelő biztonsági eszközökkel kell felszerelni a Hegesztési Biztonsági Szabályzat (HBSz) szerint. A palackkötegre, palacktelepre és az egyedi palackokra külön előírások is érvényesek.

Az acetilén palackköteg, ill. palacktelep minden egyes gázelvételi helyét fel kell szerelni olyan biztonsági eszközzel, ami megakadályozza

- a láng visszajutását az égőfejből a gázvezetékbe,
- az oxigén visszajutását az acetilén vezetékbe,
- az acetilén után áramlását lángvisszacsapáskor.

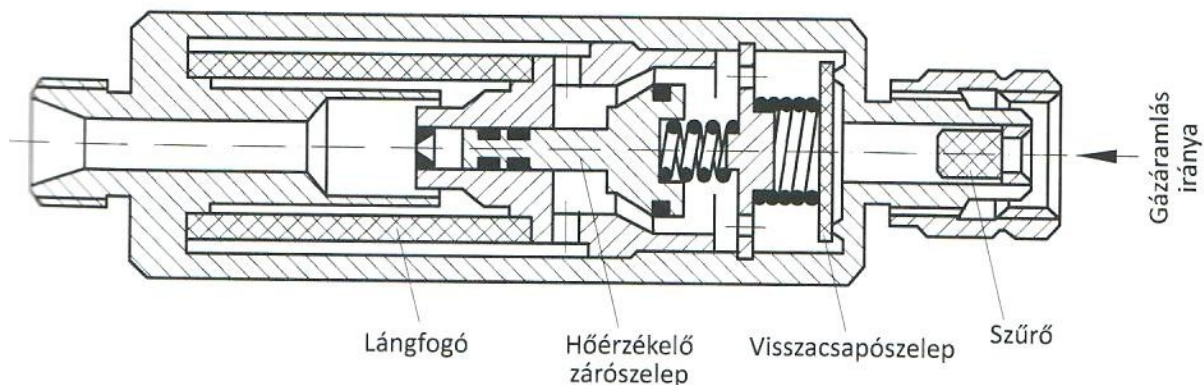
A *lángfogó* zsugorított, porózus fémszűrő (szinterfém), ami megakadályozza a láng továbbterjedését az elhelyezése mögötti vezeték szakaszon (18. a) ábra).



18. ábra: a) Lángfogó, b) Visszacsapó szelep²⁶

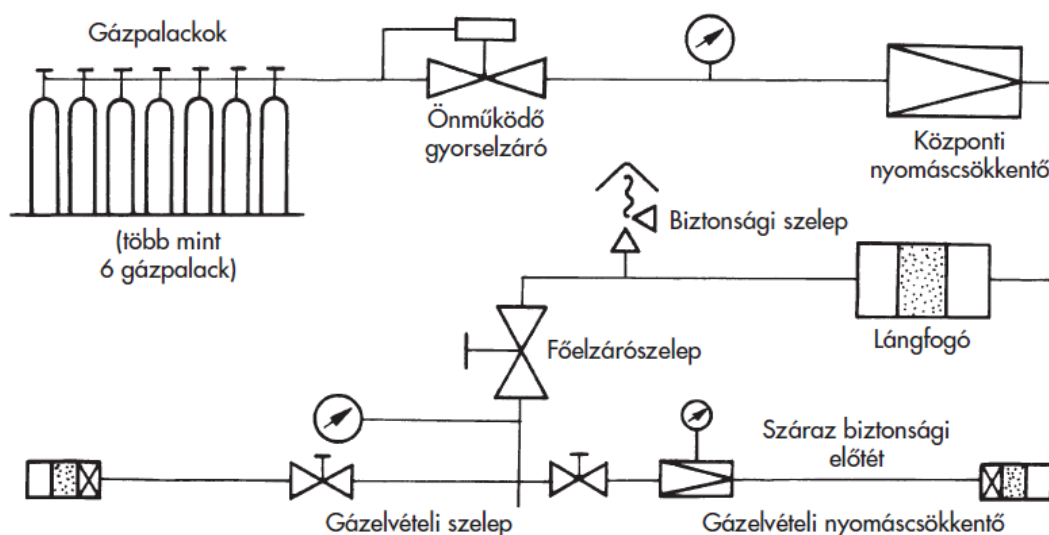
A *visszacsapó szelep* rugóterhelésű membránszelep, ami a hirtelen fellépő gázvisszacsapást akadályozza meg. (18. b) ábra). A szelepet a gázáram tartja nyitott állapotban. Záródik a szelep, ha a gázáramlási iránnyal ellentétes irányú áramlás jönne létre. Az autogéntechnikában elterjedt biztonsági eszköz a *lángvisszacsapás-gátló patron*, amelyben egybe van építve a lángfogó és a visszacsapó szelep. A 19. ábrán látható patron emellett még tartalmaz egy hőérzékelő zárószelepet is.

²⁶Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 54.o.



19. ábra: Lángvisszacsapás-gátló patron²⁷

A több mint 6 db gázpalackot tartalmazó *palacktelepet*, ill. *palackköteget* kiegészítő biztonsági eszközökkel kell felszerelni (20. ábra) így lángfogót közvetlenül a nyomáscsökkentő mögött, továbbá önműködő gyorselzárót a központi nyomáscsökkentő előtt. A legfeljebb 6 darab palackot tartalmazó palacktelep-rendszert, ahol folyamatos a gázelvétel, kézzel működtethető gyorselzáróval (golyóscsappal) kell felszerelni.

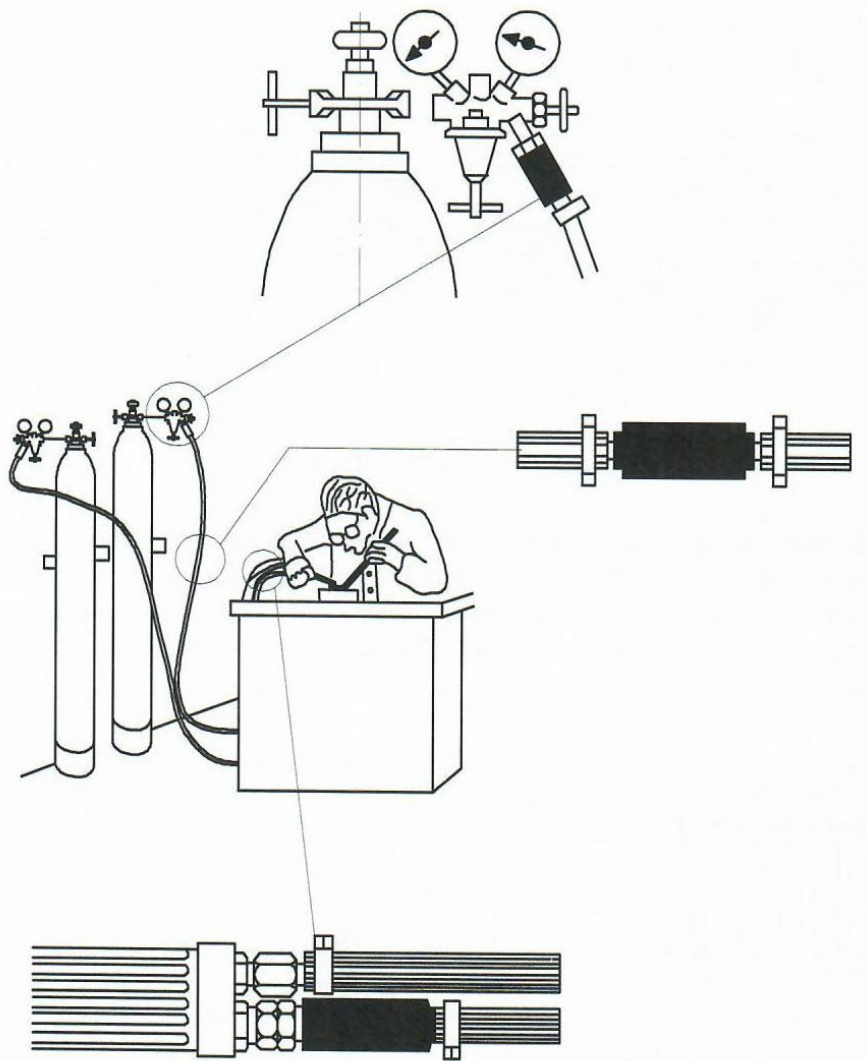


20. ábra: Palacktelep biztonságtechnikai felszerelése²⁸

Egyedi palackvédelemre akkor van szükség, ha az acetilénpalackról csak egy hegesztőpisztolyt üzemeltetnek. A lángvisszacsapás-gátló patron felszerelhető a nyomáscsökkentő előtt, az acetiléntömlőbe, ill. a pisztoly markolatára a 21. ábra szerint.

²⁷Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 55.o.

²⁸Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 55.o.



21. ábra: Egyedi palackvédelmi változatok²⁹

A markolatra való felszerelés előnye, hogy a tömlő és a nyomáscsökkentő védett, van idő a gázpalack elzárására, de hátránya, hogy növeli a pisztoly súlyát, és a védelem a hegesztő kezénél megy végbe. A tömlőbe szerelt patron előnye, hogy toldásra is alkalmazható, a tömlő egy része és a nyomáscsökkentő védett. Hátránya, hogy a tömlő az esetleges sérülésnek jobban ki van téve, továbbá nehezebb a tömlő csévézése. A nyomáscsökkentőre felszerelt patron védi a nyomáscsökkentőt, és felszerelhető robusztusabb méretű eszköz is, hátránya, hogy nem védi a tömlőt, és nincs idő a palack gyors elzárására.

Gázpalackok szerkezete, kezelése és tárolása

A *gázpalack* alulról mélydomború fenékkal ellátott, felül nyakszerűen kialakított fémből készült, henger alakú, elzáró szeleppel ellátott nyomástartó edény, ami sűrített, nyomás alatt cseppfolyósított vagy nyomás alatt oldott gáz tárolására és szállítására szolgál. A sűrített ipari gázok és gázkeverékek, valamint a szén-dioxid számára használt korszerű palackok jó minőségű, általában króm-molibdén ötvöztetésű acélból, vagy különleges alumíniumötvözetből (például nemesített Al-Mg-Si) varratmentes kivitelben készülnek. Az egyes gáztípusokat tartalmazó palackokat egyedi színjelzéssel látják el a gázpalackok megkülönböztetése, ill. a bennük

²⁹Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 56.o.

tárolt gáz felismerése céljából. A színjelölést a palack vállán kell elhelyezni. Az ipari oxigén palackja fehér színű. Az acetilén esetében a hagyományos, D3 porozitású töltőmasszát tartalmazó palack gesztenyebarna, a nagy porozitású masszát tartalmazó acetilénpalack színe sárga, a vállá gesztenyebarna.

A színjelölés általános alapszabálya az elsődleges veszélytényezőt (mérgező, korrozív, éghető, oxidáló, semleges) veszi figyelembe. A szabvány szerinti új színjelölések a legtöbb gáz vagy gázkeverék esetében eltérnek a régítől. A szabvány szerinti színjelölés kizárólag a gázpalack vállrészére vonatkozik, a palackköpeny (hengeres palástrész) színére vonatkozó mindennemű előírás/szabályozás nélkül. A gázpalackokat a nemzetközi szabvány három részből álló jelölésrendszerével kell ellátni:

- gyártói és üzemeltetési bélyegzésekből (keményfém eszközzel való beütéssel, gravírozással, öntéssel, vagy más hasonló módszerrel),
- veszélyesség azonosító címkékből a gázpalack és tartalma meghatározásának megkönnyítésére, a legfontosabb veszélyekre való figyelmeztetésre,
- színjelölésből a palack töltetének azonosítására, ha a címke nem olvasható.

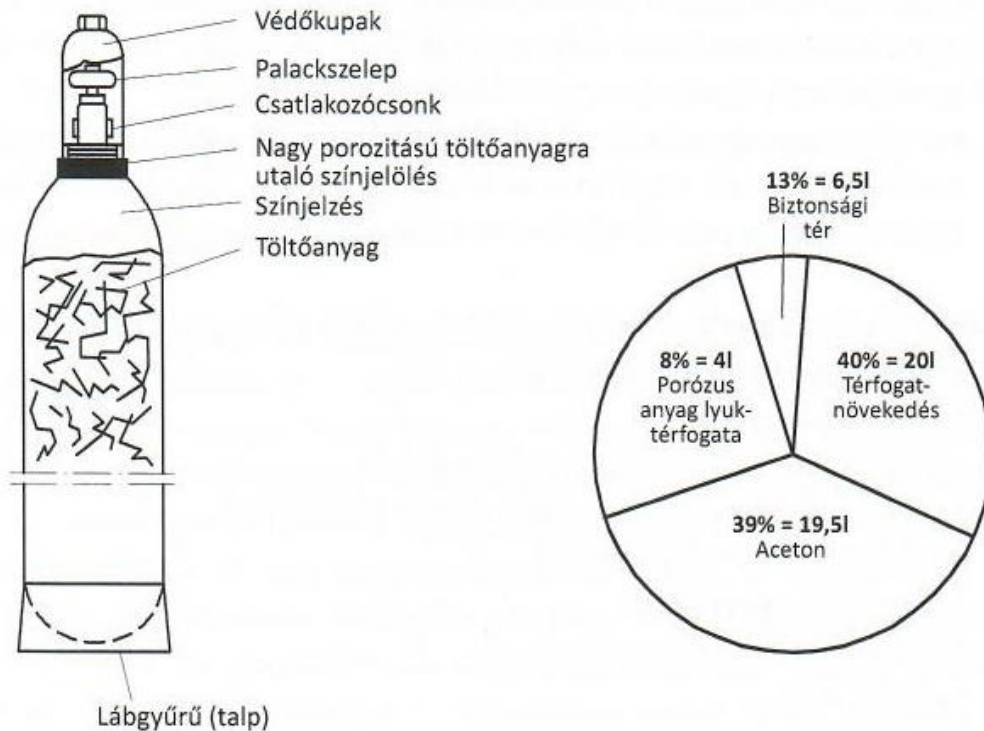
Fentiekén kívül még a következő beütött adatok találhatóak a palack vállrészén:

- maximális töltési nyomás (bar),
- tulajdonos neve,
- nyomáspróba-szakértő (kazánbiztos) jele,
- gyártási (első használatbavételi) dátum (év/hónap),
- szilárdsági jellemző (N/mm^2),
- hőkezelési ismertetőjel,
- geometriai űrtartalom (liter),
- gyártási szám,
- a gyártó jele.

Az acetilén tárolása gázpalackban

A hegesztéshez szükséges acetilént 10, 14, 20, 27, 40 és 50 literes palackokba töltik. Megrendelni a töltet tömege alapján lehetséges. Az acetilént nem lehet úgy palackba sűríteni és tárolni, mint a legtöbb ipari gázt. Az acetilénpalackot porózus anyag (massza) tölti ki. Ebbe a porózus masszába töltik a folyékony acetont (di-metil-ke-ton) vagy di-metil-formamidet, ami szivacszerűen felszívja a folyadékot és csökkenti a robbanásveszélyt 0,15 MPa túlnyomás fölé. Az acetonban oldott, porózus masszában elnyelt acetilént *disszugáznak* nevezik (a francia *dissous*=oldott szó alapján). A hagyományos, úgynevezett D3 típusú, heterogén töltőmassza (faszén, azbeszt, kovaföld, cement) pórusszerkezete következtében alakul ki a szárítási folyamat után a 75 % körüli porozitás. A nagyporozitású (92%) masszák esetében általában a palackokba töltött vizes szilícium-dioxid és kalcium-hidroxid keveréket kb. 12 bar vízgőznyomáson és 180°C hőmérsékleten reagáltatják. Így kristályszerkezeti vizet tartalmazó, szilárd kalcium-szilikát képződik, amelyből a vízmolekulákat hevítéssel eltávolítva, azok helyén mikroméretű pórusok és kapillárisok alakulnak. Előnye a nagyobb porozitás, és így a nagyobb acetilénkapacitás. A szűkebb pórusok miatt viszont a palackból az acetilén nehezebben távozik, így csak kisebb gázelvételi sebességgel dolgozhatunk anélkül, hogy a gáznyomás lecsökkenne. A nagyporozitású masszákban aceton is könnyebben távozik folyadék alakjában, különösen a külső hőmérséklet emelkedésével, ha a gázelvételt a megengedettnél jobban növelelt. Ilyenkor a gázutánpótlás lecsökken, és a felhasználó nyomáscsökkentőjén leesik a nyomás. A reduktorba került folyadék további zavarokat okozhat, nyomásingadozás formájában.

A zavart meg lehet megszüntetni a palackszelep rövid idejű zárásával, és nyitás után az elvétel sebesség maximumérték alá csökkentésével.



22. ábra: Az acetilénpalack szerkezete és térfogataránya 50 l űrtartalmú palackban³⁰

Az acetilénnel szabályosan töltött, névleges acetontartalmú disszupalack tömegeloszlását egy 10 kg-os, 50 literes gázpalack (Pd 50) példáján mutatja a 22. ábra. Az acetilénpalackot nem nyomásra, hanem tömegre töltik, így a gáztöltet mennyiségét a szén-dioxidhoz hasonlóan csak tömegméréssel lehet megállapítani és kg-ban megadni, de itt az acetone oldószer tömegét is belemérik.

Palack-méret, liter	Masszaporozitás, %	Acetilén töltet, kg	Külső átmérő, mm	Hosszúság, mm	Tára tömeg, kg
Pd 10	≥92	1,8	140	980	23
Pd 14	≥75	2,0	140	1150	35
Pd 20	≥92	4,0	204	865	42
Pd 27	≥75	4,0	204	1220	55
Pd 40	≥75	6,0	204	1630	74
	≥92	7,5	204	1630	74
Pd 50	≥92	10,0	229	1640	77

9. táblázat: Az acetilénpalackok szokásos adatai és töltési adagjai³¹

P = Palack, d = disszu, 50 = üres palack űrtartama literben

Egy liter vegytiszta acetone 15°C-on, 1,5 bar nyomáson kb. 24 l acetilént képes elnyelni. Ha egy 50 l térfogatú palackba 10 kg acetilént töltenek, az elméletileg 8,5 m³ acetilénnek felel meg. A szabályosan megtöltött teli acetilénpalackban állapotban, 15°C-on 18±1 bar nyomás

³⁰Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 46.o.

³¹Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 47.o.

mérhető, ami a hőmérséklet változással arányosan nő vagy csökken. 15°C-on 19 bar nyomáson 20 l acetontöltéskor a számítható gázmennyiség $19 \cdot 20 \cdot 24 = 9120$ liter, azaz $9,12 \text{ m}^3$.

A gázt a palackból kúpos menetű, palackvállba behajtható *palackszelepen* keresztül lehet ki-venni. A palacktest anyaga ipari gázok esetében általában sárgaréz, a tömítőgyűrűk anyaga pedig teflon, vagy olyan minőségű műgumi, ami égéstechnikai tulajdonságai alapján nagy-nomású oxigénben is biztonságos. Az acetilénpalack szelepe csak 70%-nál kisebb réztartal-mú sárgarézből (réz és cink ötvözetéből) készülhet, mivel az acetilén a színrézzel robbanóké-pes réz-acetát vegyületet képez, de a szelep anyaga lehet acél is. Az acetilén kivételével a me-netes csatlakozások az éghetőgázok esetén balmenetűek, a semleges és oxidáló gázok eseté-ben pedig jobbmenetűek.

Az oxigén tárolása gázpalackban

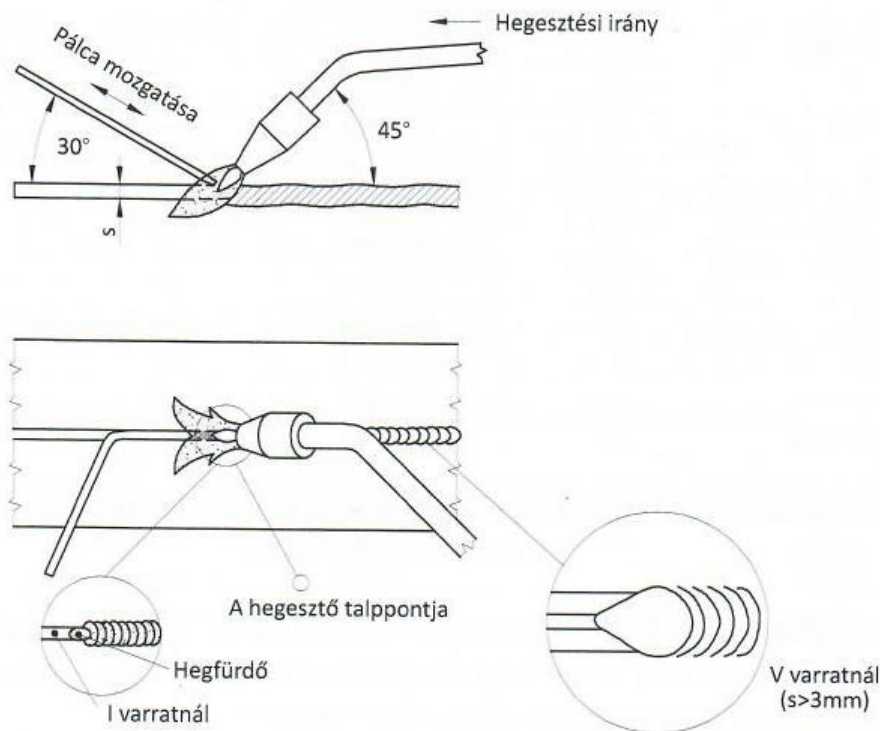
Az ipari célra használatos oxigént 10, 14; 27; 40; és 50 literes palackba töltik. A 40 literesben a töltési nyomás 15 MPa (150 bar), az 50 literesben 20 MPa (200 bar). Eszerint a teli palackba 6000 l (6 m^3), ill. 10000 l (10 m^3), gázt sűrítenek.

2.2.5. Hegesztési technikák, jobbra és balra hegesztés

A pálcá és a pisztoly helyzete, vezetése

A hegesztés végezhető hegesztőpálca nélkül (pl. peremvarrat, I varrat) vagy pálcával. Az ömlesztés szempontjából fontos, hogy adott hegesztési helyzetben milyen szöget zár be a pisztoly és a pálcá a hegesztendő elemekkel. Ha a pisztoly (és a láng) a hegesztetlen alapanyag felé mutat, akkor ezt *balra hegesztésnek*, ha az ömledék felé mutat, akkor *jobbra hegesztésnek* hívják.

A 23. ábra: **balra hegesztési** műveletet mutat vízszintes helyzetű lemezhegesztésre.



23. ábra: Lemezek balra hegesztése vízszintes helyzetben³²

Acélok balra hegesztéskor a pisztoly a varrat síkjához képest 45°-os, a pálcá 30°-os szöget zárjon be. Ha a pálcát a hegesztő *mártogató* mozgással adagolja, akkor a pisztoly egyenes vonalú mozgással haladjon előre. Ekkor a hegesztő a pálcá végét a láng közelében előmelegített állapotban tartja, addig, amíg a láng az alapanyagot meg nem ömleszti. Ezután a pálcát tengelyirányban elmozdítva a lángmag elé téve megvárja a pálcá végének lecsöppenését, majd tengelyirányban kihúzza az alapanyag megömlését. Ezen műveletek folyamatos ismétlésével alakul ki az ömledék, ill. a varrat. Gondot jelenthet a pálcá lángból való kihúzása esetén az izzó pálcavég oxidációja, ami a varratban gáziparazitást idézhet elő. A mártogató mozgást acélok esetében általában 3 mm vastagságig alkalmazzák.

3 mm vastagság fölött az összekötendő elemeket le kell V alakban, 50-60°-os szögben élezni. 3 mm fölött a pálcá és a pisztoly ellentétes irányú *ívelő mozgást* végez. Ekkor a pálcá nem árnyékolja le a lángot és ezáltal az élek is tökéletesen összehesztethetők lesznek. A láng az előtte lévő pálcát állandóan megkerüli, és így az alsó élek felhevítése is megfelelő lesz. A pálc-

³²Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 62.o.

cavég lecsöppenése a pálca és a pisztoly találkozásakor következnek be. Ez a technika alkalmas 3 mm-nél kisebb anyagvastagságok összehegesztésére is.

A balra hegesztés előnyei:

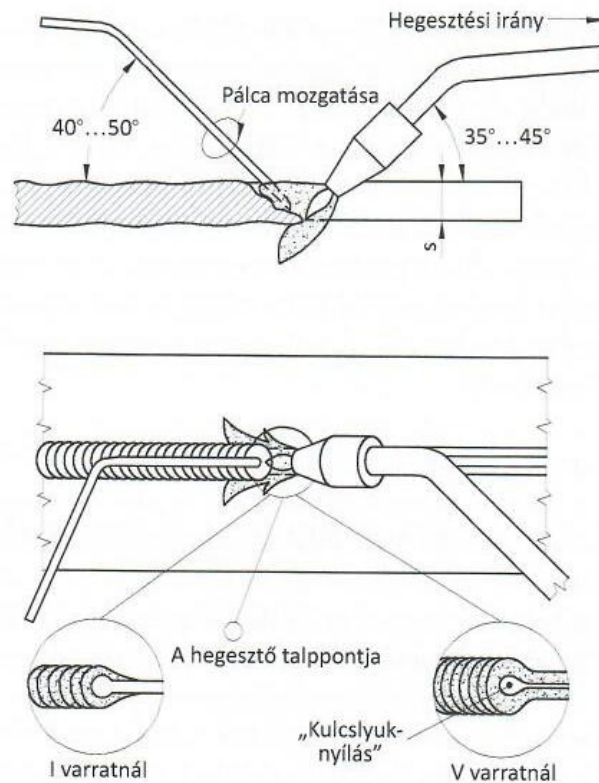
- sima, vagy csak enyhén pikkelyes varratfelület,
- kisebb hőbevitel,
- vékony falvastagságok (3 mm alatt) összekötésére alkalmas.

A balra hegesztés hátrányai:

- nagyobb hővesztés,
- enyhén előrefutó hegfürdő,
- nagyobb mértékű deformáció,
- a gyök megfelelő átolvasztása hegesztés közben nem érzékelhető, mivel a láng az alapanyagra irányul,
- a láng nem védi az ömledéket a levegő alkotóitól, így az elkészült varrat porózusabb lehet.

A balra hegesztés alkalmazási területe: $s \leq 4$ mm vastagságú ötvöztelen vagy gyengén ötvözött acél, acélöntvény, öntöttvas, alumínium és ötvözetei, réz és ötvözetei.

Jobbra hegesztéskor a láng a hegfürdő felé irányul, ezáltal melegen tartja az ömledéket (24. ábra). A láng védi az ömledéket a levegőtől, csökkenti az ömledék lehülését és edződésre hajlamos acélok esetén az edződési veszélyt. Acélok jobbra hegesztésekor a pisztoly a varrat síkjához képest bezárt szöge $35\text{--}45^\circ$ -os, a pálca $40\text{--}50^\circ$ -os szöget zárjon be. Alumínium, réz és ötvözetek hegesztésekor a pisztoly szöge $45\text{--}90^\circ$, a pálca szöge $15\text{--}30^\circ$ legyen.



24. ábra: Lemezek jobbra hegesztése vízszintes helyzetben s anyagvastagság³³

³³ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 64.o.

Kisebb falvastagságoknál (4-5 mm) a hajlásszög nagyobb, vastagabb elemeknél ($s > 8$ mm) kisebb (45°). A lángmag vége az anyagvastagság harmadáig nyúljon a varratvályatba, ezáltal az élek nagyobb biztonsággal ömleszthetők át. Mivel a láng az ömledékre irányul, a túl kemény láng az ömledéket szétfújhatja. Az élek megömlését egy *kulcslyukhoz hasonlító nyílás* mutatja, melynek fenntartása szavatolhatja a gyökhiba mentes varrat elkészítését. A láng fúvóhatása az ömledék egy részét az így kialakult nyílásba fújja. A pisztoly egyenes vonalú mozgással halad előre, miközben a pálca körkörös mozgást végez. A pálca így állandóan keveri az ömledéket, aminek az az előnye, hogy gázok és a salak az ömledék felszínére kikeverhetők.

A jobbra hegesztés előnyei:

- kisebb lehülési sebesség (edződési veszély csökkenése),
- kisebb hőbevitel miatt kisebb mértékű vetemedés,
- a kulcslyuk hatás révén biztosabb gyökátolvasás,
- az ömledéket a láng jobban védi a levegőtől,
- egy lépésben nagyobb keresztmetszet átolvasztása.

A jobbra hegesztés hátrányai:

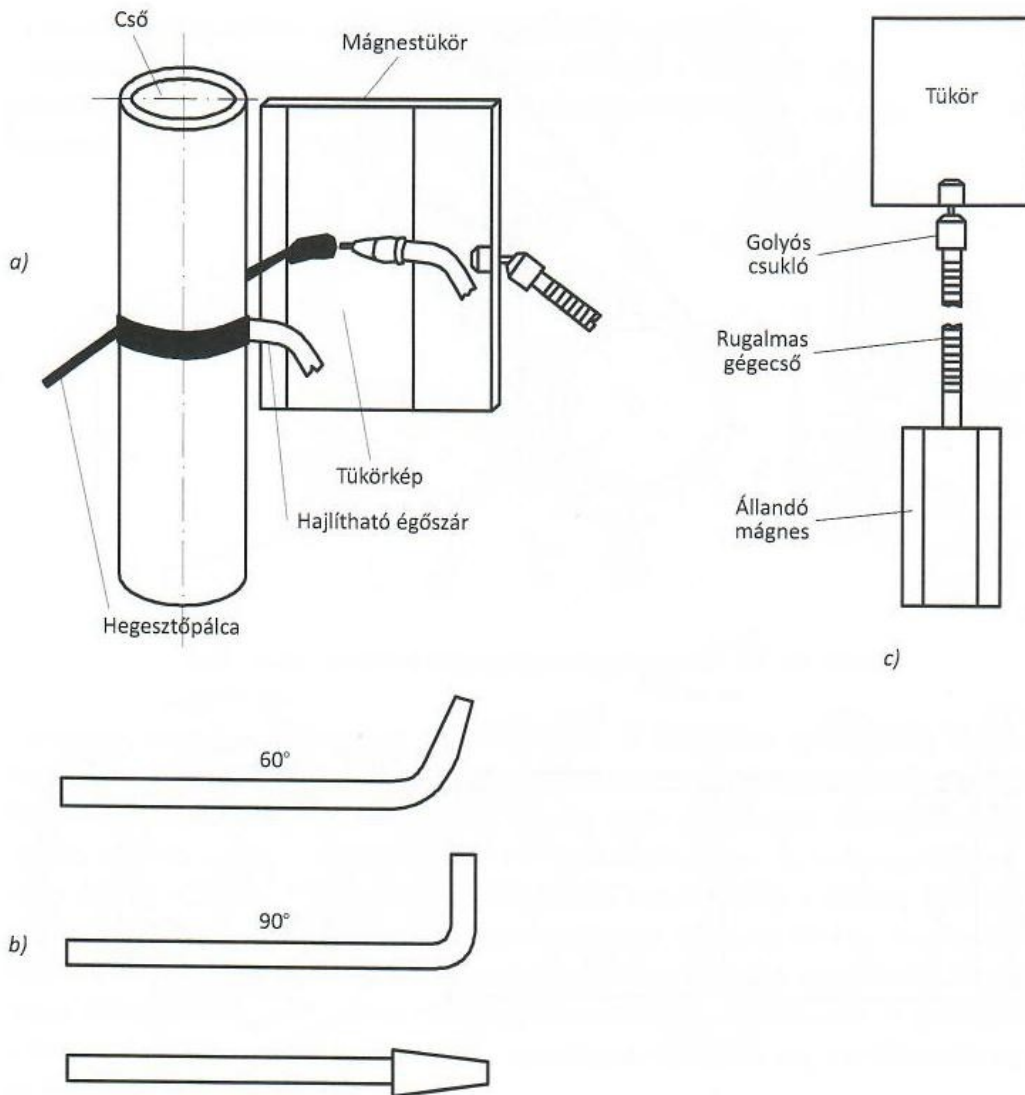
- 3 mm anyagvastagságnál nehézkes az alkalmazása,
- durvább pikkelyes felület.

Az anyagvastagság ismeretében közelítőleg meghatározható az óránkénti acetilén és oxigén fogyasztás. A *fajlagos lángerősség* az időegység alatt (óra), anyagvastagságonkénti (mm) literben elfogyasztott acetiléngáz mennyiség. Acélok balra hegesztésekor ennek értéke közelítőleg $100 \text{ l}/(\text{mm}\cdot\text{h})$, jobbra hegesztéskor kb. $125 \text{ l}/(\text{mm}\cdot\text{h})$. Semleges láng esetén az oxigénfogyasztás kb. 10 %-kal több mint az acetilénfogyasztás. Vörösréz hegesztésekor a fajlagos lángerősség értéke kb. $200 \text{ l}/(\text{mm}\cdot\text{h})$ legyen. 10 kg-os töltetű palacknál hosszabb idejű hegesztés esetén a gázelvétel ne haladja meg az 500 l/h , rövid idejű, szakaszos elvétel esetén az 1000 l/h értéket, mivel nagyobb gázelvételkor a gáz az acetont magával ragadhatja.

Különleges hegesztési módok

Tükörhegesztést végzünk, ha a műveletet *közvetlenül* nem lehet megfigyelni. Alkalmazása igen nagy gyakorlatot kíván, mivel a tükröben valamennyi elmozdulás ellentétes módon jelenik meg

Feltétele: a tükröt úgy kell elhelyezni, hogy nagy legyen a látómező. A hegesztőnek a tükröre koncentrálni kell dolgoznia, semmi sem vonhatja el a figyelmét a tükrőről.



25.ábra: Tükörhegesztés³⁴

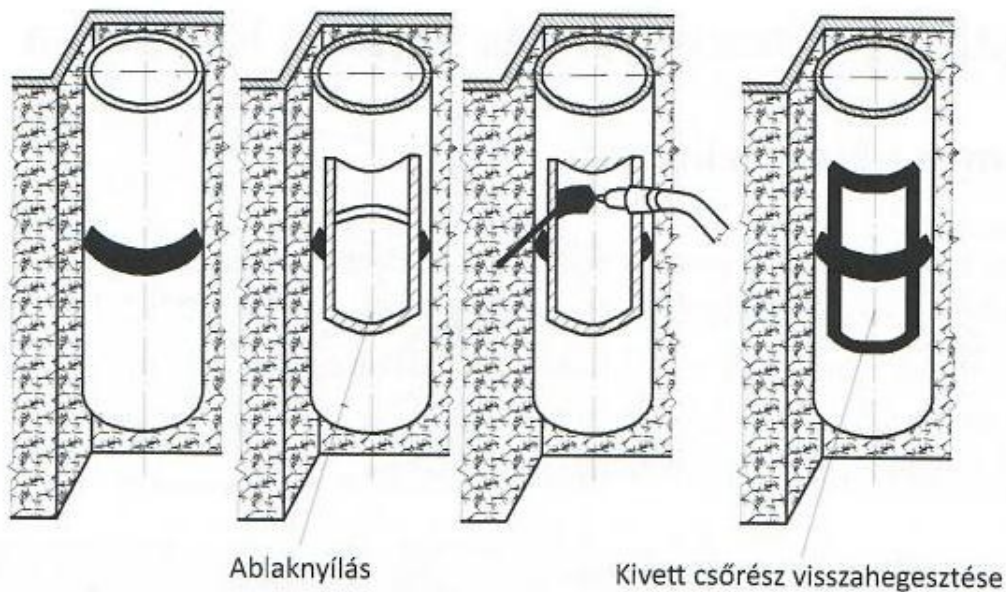
a) tükörhegesztés művelete; b) hajlítható égőszárak; c) mágnestükör

Az ablakhegesztést akkor alkalmazzuk, ha a cső és a fal között a távolság túl kicsi ahhoz, hogy tükörhegesztést végezzünk. Ilyen esetben a csőben nyílást (ablak) vágunk, s így a hozzá nem férhető varrat *belülről* elkészíthető.

Az ablakhegesztés műveletsora:

1. A cső hozzáférhető oldalán elvégezzük a hegesztést minél nagyobb hosszúságban.
2. Bejelöljük és kivágjuk az ablakot a szükséges varrathossz szerint.
3. Egy pálcát az ablakhoz hegesztünk, hogy ne essen be a csőbe.
4. Elkészítjük a kívülről hozzá nem férhető varratot.
5. Az ablakot megfelelő élelőkészítés után visszahelyezzük és behegesztjük.

³⁴ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 70.o



26. ábra: Ablakhegesztés fázisai ³⁵

2.3. Forrasztás

A **forrasztás** két fém adhéziós és/vagy diffúziós (nem kohéziós) kötése olyan, az alapfém(ek)et nedvesítő hozaganyag (forrasz) által, melynek az olvadáspontja kisebb mint az összeforrasztandó fémeké. A forrasztáshoz szükséges hőenergiát gázégőben éghetőgáz levegővel (oxigénnel vagy sűrített levegő-áramban) való elégetésével nyerik. Az éghetőgáz lehet propán, bután, földgáz, hidrogén vagy acetilén. Az eljárás során folyósítószer és/vagy védőatmoszférát (védőgáz vagy vákuum) lehet alkalmazni.

2.3.1. Forrasztási eljárások csoportosítása

A forrasztási eljárások (számjele 9) felosztásának leggyakoribb szempontja:

- a forrasztás hőmérséklete,
- a rés alakja és mérete,
- a forrasz adagolásának módja,
- a hevítés módja.

A **forrasztás hőmérséklete** szerint a forrasztás lehet

- **lágyszerű forrasztás** (számjele 94), ahol a forraszanyag olvadáspontja kisebb 450 °C-nál,
- **kemény forrasztás** (számjele 91), ahol a forraszanyag olvadáspontja 450-900 °C között van,
- **forrasztóhegesztés** (számjele 97), ahol a forraszanyag olvadáspontja nagyobb, mint 900 °C (másképpen nagyhőmérsékletű forrasztás).

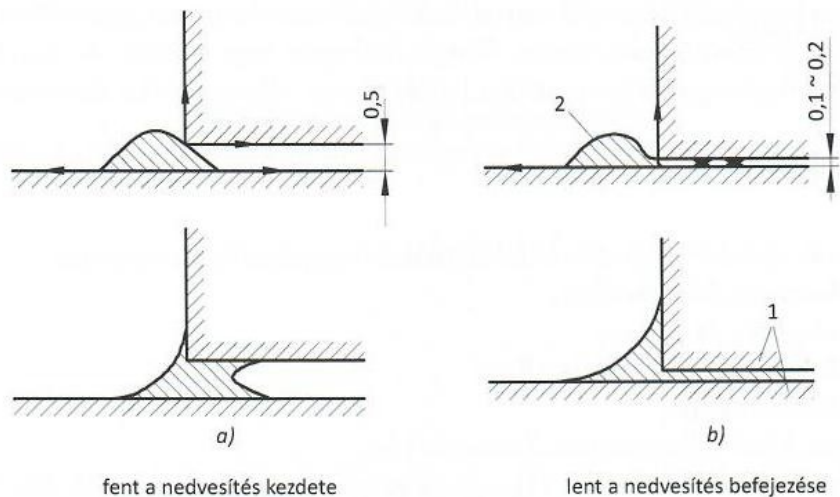
A **kötés alakja és a rés mérete** szerint megkülönböztetnek

- **kapilláris forrasztást** és
- **résforrasztást**.

³⁵ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 71.o

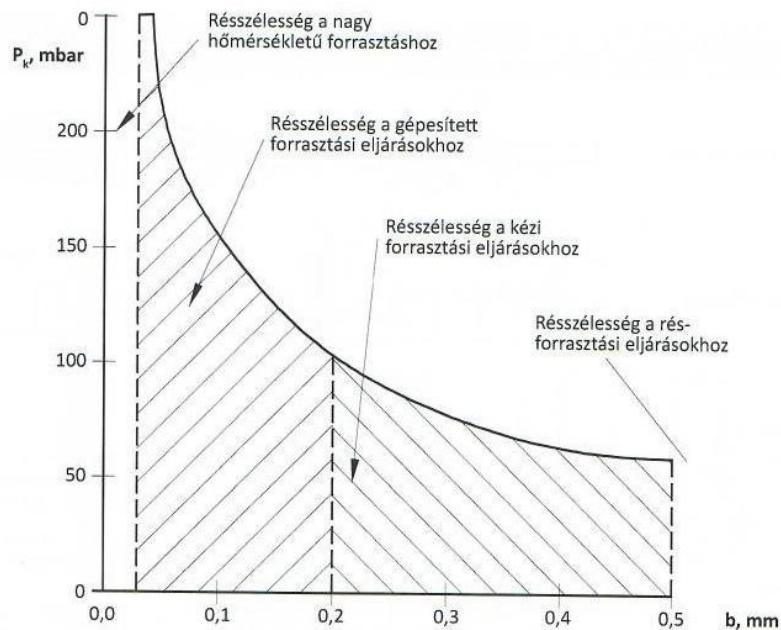
A forrasztás módja, az alkatrész geometriájának megválasztása és a kötés kialakítása kölcsönhatásban áll egymással.

Kapillárforrasztáskor az összekötendő felületek távolsága nem haladhatja meg a 0,5 mm-t. A rés alakja, mérete és a nem kellően tiszta felület csökkenti a kapilláris hatást, és a forrasz a forrasztási rést csak részben tölti ki (27.a. ábra). Az összekötendő fémek felületének tisztának kell lennie. Ezért a felületek előkészítésére nagy figyelmet kell fordítani! Ez elsősorban mechanikai vagy kémiai úton oldható meg, másrészt a forrasztási folyamat alatt a folyósítószerrel szavatolható.



27. ábra: Kapilláris hatás nagy (a), ill. kis (b) résnél
1: munkadarabok; 2: forrasz³⁶

Ha a résszélesség kisebb, mint 0,5 mm, akkor a megolvadt forrasz a kapilláris nyomás (hajszálcsővesség elv alapján) következtében kitölti a rendelkezésére álló forrasztási rést (27.b ábra). A résszélesség és a kapilláris nyomás (mbar-ban) közötti összefüggést mutatja a 28. ábra.

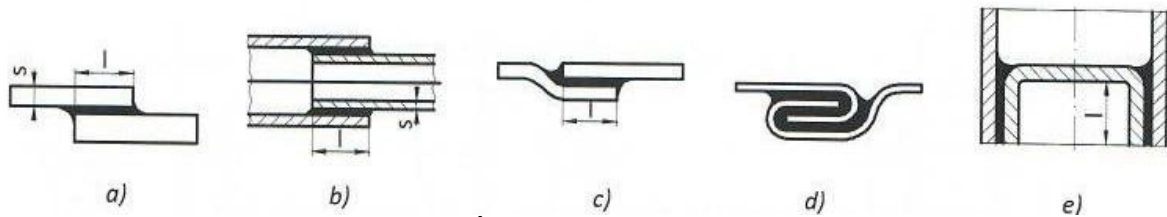


28. ábra: A kapilláris nyomás és a résszélesség kapcsolata³⁷

³⁶Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 114.o.

³⁷Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 115.o.

A kötés lehet átlapolt, korcolt, egyenes, T kötés stb., mint azt a 29. ábra mutatja. Átlapolt kötésnél az átlapolás mértéke a forrasztandó elemek 5-6-szorosa legyen.



29. ábra: Átlapolt kötések forrasztáshoz

a) átlapolt kötés, $a=(3-6)s$, b) csőkötés; c) vékony lemezek átlapolt kötése, $a \leq 5-6 \text{ mm}$, d) korcolt kötés; e) tartályfenék beforrasztása³⁸

A kisebb réshossz lágyforrasztáskor nem alkalmazandó, keményforrasztáskor lehetőség megfelelő kötést létrehozni. A kötésszilárdsága szempontjából fontos, hogy a minél hosszabb felületen érintkezzenek a forrasztandó felületek egymással. Ezt mutatja a 30. ábra, ahol különböző kötéstípusok lehetséges változatait mutatja, különösen olyan esetekre, amikor nagyobb szilárdságú kötés elérése a cél.

forrasztási hely jellege	kisebb forrasztási réshossz	növelt forrasztási réshossz	szilárdság járulékos megnövelése
egyenes lemezkötés			
lemezek T-kötése			
kerek rúd kötése sík falba			
cső kötése			
alkalmasság lágyforrasztásra	nem alkalmazható	jól alkalmazható	nagyon jól alkalmazható
alkalmasság keményforrasztásra	lehetséges	nagyon jól alkalmazható	szükségtelen

30. ábra: Forrasztási kötéstípusok és alkalmazhatóságuk³⁹

A **résforrasztással** egymástól 0,5 mm-nél nagyobb távolságra lévő felületek köthetők össze, továbbá V és X kötések is elkészíthetők.

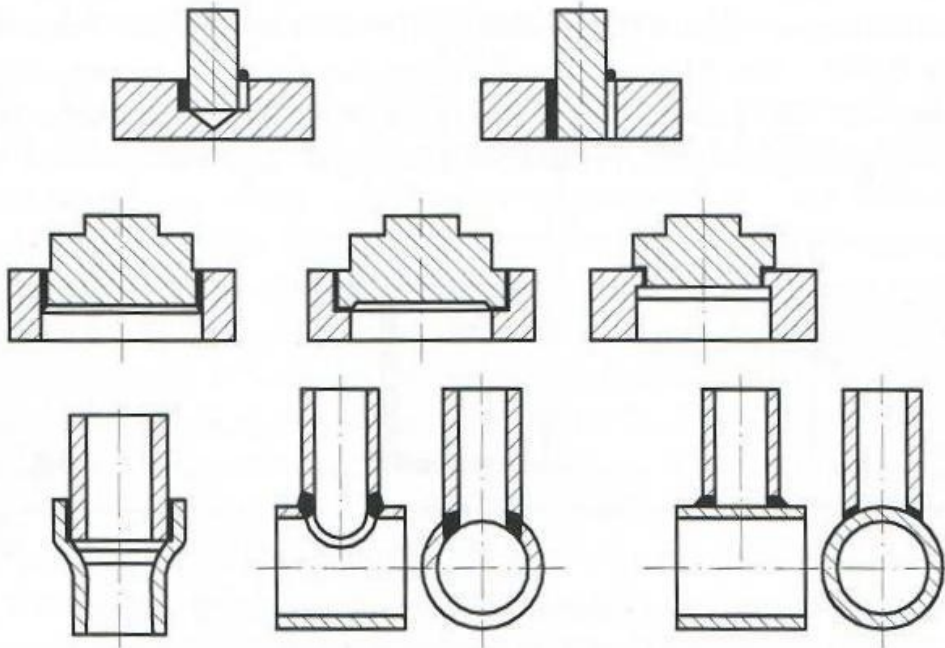
³⁸Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 115.o.

³⁹Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 116.o.

A résforrasztás előfeltételei:

- a rés szélességét a forrasz típusától függően kell megválasztani. A rés a teljes felületen egyenlő szélességű legyen. A rés méretére gyakorlati adatokat általában a forraszanyagokat gyártó cégek adnak saját anyagaikra vonatkozóan.
- kerülni kell a rés hirtelen keresztmetszet-változását, és a nagy forrasztási felületeket.
- lehetővé kell tenni a folyósítószer kijutását a kötésből,
- eltérő összetételű anyagok kötések tekintetbe kell venni azok eltérő hőtágulását.

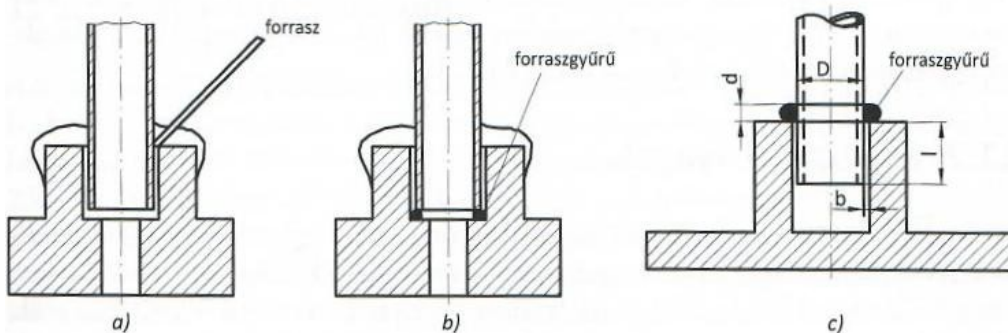
A 31. ábra példákat mutat be résforrasztási kötésekre.



31. ábra: Példák résforrasztásra⁴⁰

A **forrasz adagolásának módja** szerint a kötések létrehozhatók

- a forrasztás *közben adagolt* forraszsal, vagy
- a kötés helyére előre elhelyezett (rá-, ill. behelyezett) forraszsal (32. ábra).



32. ábra: A forrasz adagolásának módjai

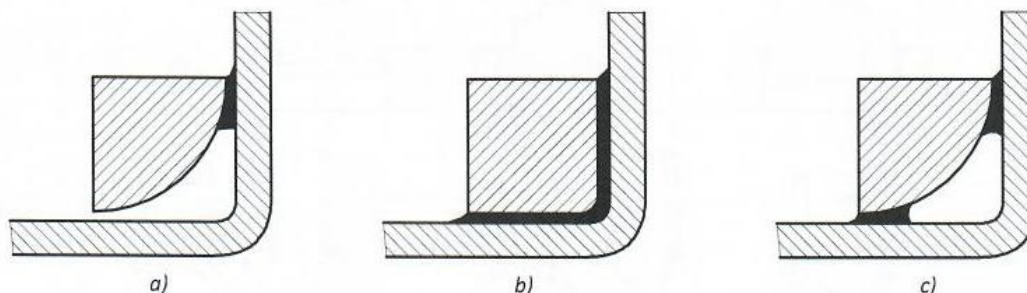
a) kézzel adagolt; b) behelyezett forraszgyűrű; c) ráhelyezett forraszgyűrű⁴¹

A forrasztás művelete közben adagolt forrasz esetén először a munkadarabokat hevítik fel, és aztán a forrasztó a munkadarabhoz érintve olvasztják le. A forrasztó megfelelő hőmérsékletre felhevített munkadarabba érintkezve megolvad, és a kapilláris hatás révén a forrasztási résbe befolyik.

⁴⁰Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 117.o.

⁴¹Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 117.o.

Az *előre elhelyezett* forrasz alkalmazása esetén a folyósítószer és a kimért forrasz mennyiséget a résben, vagy annak közelében helyezik el, és a munkadarabbal együtt hevítik fel a forrasztási hőmérsékletre (33. ábra) A forrasz megolvadása után a kapilláris hatás révén kitölti a rést. Alkalmazásának előnye, hogy a forrasz mennyiségét a művelet megkezdése előtt pontosan meg lehet határozni, a kötés kialakítása nem függ a forrasztást végző ügyességétől, és elmarad az utólagos megmunkálás.



33. ábra: *Előre elhelyezett forrasszal végzett forrasztás*⁴²
a) hibás; b) és c) helyes megoldás

A **hevítés módja** szerint megkülönböztetnek

- közvetlen (direkt), illetve
- közvetett (indirekt) melegítést.

A forrasz csak egyenletesen és megfelelően felhevített munkadarabon nedvesít és köt kifogástalanul. Közvetlen melegítéskor a forrasz és a munkadarab egyidejűleg hevül fel. A közvetett melegítéskor előnyös, hogy először a munkadarabot hevíti fel, majd a forrasz hővezetés útján hevül fel. A felhevítés végezhető felhevített szilárd testtel (pl. pákával), felhevített folyadékkal (pl. sófürdőben), gázlánggal, elektromos árammal (pl. kemencében), sugárforrás útján (pl. elektronsugárral, lézersugárral), elektromos ívvel (pl. ívforrasztóhegesztés).

2.3.2. Forrasztóanyagok

Forrasztáskor tehát az egyesítendő fémek nem ömlenek meg, ezáltal nem következnek be a forrasz és az alapanyagok összeolvadása sem. Az olvadt forrasznak az összeillesztett munkadarabok közötti részbe kell behatolnia, amelyet a forrasztáskor általában szükséges *folyósítószer*, valamint a *forrasz* nedvesítési és szétterülési folyamatai segítenek. A jól terülő forraszoknak egyben *nedvesítő* és kapilláris tulajdonságai is vannak. A forrasztás előfeltétele a nedvesítés és a megömlesztett forraszalapanyag felületen való szétterülése.

A forrasztási hőmérsékletet nemcsak a forrasz olvadási tulajdonságai, hanem a *folyósítószer* összetétele is meghatározza. A folyósítószer fő feladata a felületen levő oxidok oldása és eltávolítása, valamint az újraoxidáció megakadályozása, elősegítve az alapfém nedvesítését és a forrasz szétterülését. Használatának alapfeltétele, hogy olvadáspontja kisebb legyen mint a vele együtt alkalmazott forraszé. A folyósítószer a forrasztási helyre önmagában felhordva, a forraszanyag nyílásába helyezve, vagy a forraszporral keverve kerülhet. A folyósítószer lehet folyadék, paszta, vagy por állapotú. A forraszt gyakran bevonják a folyósítószerral, vagy pedig egy cső alakú forraszanyagban helyezik el. Kémiai hatásukat tekintve lehetnek korrozív vagy nemkorrozív hatásúak.

⁴²Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 118.o.

Folyósítószerként többnyire boraxot ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) használnak, aminek maradékát a munka befejezése után szappanos, vagy szódás ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) vízzel le kell mosni, nehogy később a felületeket megtámadja. A bórax különösen azért jó, mert a nagy forrasztási hőmérséklet következtében jelentős mennyiségű oxidot el tud salakosítani, a forrasztási felületeket nem kell olyan "gondosan" megtisztítani, mint lágyforrasztás esetén. Ezek a szerek ugyanis csak meghatározott hőmérséklet-tartományban hatékonyak. A hatékonysági tartomány határait alsó és felső határhőmérsékletnek nevezik. Ezek alsó értékének legalább 50°C -kal a forrasztás hőmérséklete alatt kell lennie a biztos tisztítási folyamat eléréséhez. A forrasz munkahőmérséklete a munkadarab legkisebb felületi hőmérséklete, amelynél a forrasz nedvesít és megfolyik. A munkahőmérséklet a forrasz pépszerű vagy folyékony tartományába esik. Ez alatt nincs semmiféle kapcsolat az alapanyag és a forrasz között, akkor is, ha a folyósítószer már folyékony állapotú. Ezért a forrasztási helyet és a forraszt is fel kell hevíteni a munkahőmérsékletre. A maximális forrasztási hőmérsékletet nem szabad túllépni sem a forrasznak, sem a folyósítószernek, sem pedig a munkadarabnak, mert akkor a kötés károsodik.

Lágyforrasztó anyagok

A *lágyforrasztók* elsősorban ón (Sn), ólom (Pb), cink (Zn) vagy kadmium (Cd) alapú ötvözetek. A réz, vas, illetve más, nagyobb sűrűségű fémek forrasztására általában ón-ólom (10–65% Pb) ötvözeteket alkalmaznak. Az ötvözetlen ón olvadáspontja 232°C , az ötvözetlen ólomé 327°C . 61,9 óntartalmú Sn-Pb ötvözet olvadáspontja a legkisebb (183°C). Még ennél is kisebb olvadáspontú ötvözet ón-ólom-bizmut (Bi), melynek olvadáspontja 96°C . Nagyobb mechanikai igénybevételnek kitett forrasztáshoz antimonnal (Sb) ötvözött ón-ólom forraszt használnak. Ugyancsak kis olvadáspontú a 15% cink -75% ólom -10% kadmium összetételű forrasz (a kadmium ötvözés a cink viszonylag nagy olvadáspontját csökkenti). A cink alapú lágyforrasztókat könnyűfémek forrasztására alkalmazzák.

A forrasz típusa	Munka hőmérséklet, $^\circ\text{C}$	Alkalmazási terület
Sn97Cu3	230-250	élelmiszeripar, épületgépészet,
Sn97Ag3	220-240	hőcserélők, hőcserélők, rézcsövek
Sn95Sb5	230-240	klíma- és hűtéstechnika -200°C -ig

10. táblázat: Lágyforrasztók⁴³

A lágyforrasztás **folyósítószer**einek savak vagy olyan anyagok, amelyekből hevítéskor savak szabadulnak fel. Ilyen pl. a sósav vizes, cink-kloridos oldata. Gyakran használt folyósítószer a tejsav, a foszforsav és az olajsav.

A lágyforrasztó paszta alkalmazása (por alakú lágyforrasz és folyósítószer keveréke) egyszerűsíti a folyósítószer helyes adagolását és a paszta színváltozása (szürkétől ezüstig, a forrasz olvadása) jelzi a felhasználónak a helyes üzemi hőmérsékletet.

A lágyforrasztó pasztát a folyósítószerhez hasonlóan vékonyan kell felvinni a külső forrasztási végre (és nem az idomba). A hőmérséklet elérése után a pasztához forraszanyagot kell még adagolni azonos összetételben, mint a pasztában lévő forrasz, annak érdekében, hogy a kapilláris hézagban biztosítani lehessen a megfelelő töltöttséget. A lágyforrasztó paszták por alakú lágyforrasz összetevőt, folyósítószer, valamint kötőanyagot tartalmaznak, így egy krémszerű paszta keletkezik, ami legalább 60%-ban tartalmaz forraszanyagot.

A lágyforrasztás folyamata

⁴³Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 119.o.

Lágyforrasztáshoz ritkábban alkalmaznak acetilén-oxigén gázkeverékkel működő és pontszerű szűrő lángot adó készüléket, helyette egy lágyabb, kisebb teljesítményű lángot adó propán, propán-bután éghetőgázzal és a levegőből vett oxigénnel működő eszközt használnak.

A lágyforrasztás munkafázisai a következők:

- a forrasztási hely gondos megtisztítása,
- az előírt forrasztási rés beállítása után a darab rögzítése,
- a folyósítószer forrasztási helyre való felvitele,
- a forrasztási hely munkahőmérsékletre való felhevítése (50-70°C-kal a forrasz olvadáspontja fölé),
- a forrasz forrasztási helyhez vezetése és megolvasztása addig, amíg teljesen kitölti a rést,
- a folyósítószer maradványainak eltávolítása.

A lágyforrasztásos kötéseknel minden esetben folyósítószert kell alkalmazni. Kerülni kell a forrasztás során a folyósítószer túlhevítését, mert hatását elveszti. Fontos, hogy a folyósítószer vékonyan kerüljön a cső, vagy idom forrasztási felületére annak érdekében, hogy csak a műszakilag elkerülhetetlen mennyiségű hidegvízben oldódó folyósítószer kerüljön a vezeték belső felületére. Legjobb az, ha a folyósítószert a cső külső felületére viszik fel, mert a felesleges mennyiséget az idom felhelyezése a csőn kívülre juttatja, melyet öblítéssel el kell távolítani. A külső felületekről a folyósítószer maradványát optikai okokból kell a forrasztás után eltávolítani, a zöld korróziós termékek képződésének elkerülésére miatt. Lágyforrasztásos folyósítószer esetén ezt egy puha nedves ronggyal lehet eltávolítani.

Keményforrasztás lánggal

A keményforrasztás főbb alkalmazási területei: építőipari munkák, járműgyártás, finommechanika, vákuumtechnika, repülőgépgyártás stb. Keményforrasztáskor a forraszanyag olvadáspontja 450-900 °C, a munkahőmérséklet 670-730°C között van.

Keményforrasztó anyagok

A *keményforrasztók* elsődlegesen réz-, ezüst-, vagy aranyötvözetek. Az aranyforrasztókat főként az ékszeriparban vagy ritkán a műszeripar területén alkalmazzák, rendszerint Au-Ag-Cu ötvözetek formájában. Az ipari gyakorlatban a rézbázisú keményforrasztók széles körben elterjedtek. Legkisebb olvadási hőközű a 42% Cu-58% Zn tartalmú sárgarézt, de nagy a jelentősége a réz-foszfors ötvözeteknek is. Ez a forrasz nem használható vas vagy nikkelbázisú ötvözetekhez, mivel rideg foszfid vegyületek képződhetnek. A rézalapú ötvözetek mellett széles körben alkalmazzák az ezüstforrasztókat, melyekben az Ag legalább 12%. A két leggyakoribb ötvözet típus az Ag-Cu-Zn, illetve az Ag-Cu-P. A nagyobb üzemi hőmérsékletre alkalmas forraszanyagok nikkel-, mangán-, illetve ezüst alapúak, vagy palládium-, illetve aranytartamúak. E forrasztókat hőcserélők, gázturbinák, valamint nagynyomású tartályok előállításához alkalmazzák. Keményforrasztáskor legtöbb esetben az alapanyag és a forraszanyag reakciója is létrejön, mely egyes kristályképződéssel, illetve a szemcsehatár mentén diffúzióval járhat.

A keményforrasztás *folyósítószerei* általában egyszerű vagy összetett fluoridok, valamint bórvegyületek. Nem szükséges folyósítószer a réz-foszfors ötvözetű (7-8% P) forrasztással végzett forrasztáskor.

Forrasz	Kémiai összetétel, %	Olvadási
---------	----------------------	----------

típusa	Cu	Ag	Zn	Sn	P	tartomány, °C
CuP6	maradék	—	—	—	5,9-6,5	710-890
Ag ₂ P	maradék	1,5-2,5	—	—	5,9-6,7	645-825
Ag ₃₄ Sn	35-37	33-35	maradék	2,5-3,5	—	630-730
Ag ₄₅ Sn	26-28	44-46	maradék	2,5-3,5	—	640-680
Ag ₄₄	29-31	43-45	maradék	—	—	675-735

11. táblázat: Keményforraszok⁴⁴

Gázvezetékeknél, olajvezetéknél, 110°C hőmérséklet feletti fűtésnél, vagy felületfűtésnél csak keményforrasztást szabad végezni. A keményforrasztásos összekötéseket ivóvízes rendszerekben csak 28 mm-nél nagyobb csőméret esetén lehet alkalmazni (nem kötelező).

A keményforrasztás folyamata

A gázhegesztéshez hasonlóan a forrasztáshoz szükséges energiát gázégőben levegővel (oxigénnel vagy sűrítettlevegőben) elégetett hevítőgáz (földgáz, propán, bután, hidrogén vagy acetilén) elégetésével nyerik.

⁴⁴ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 121.o.

2.4. Villamos ívhegesztési eljárások és berendezései

A hegesztési eljárásokat az **MSZ EN ISO 4063** szabvány osztályba sorolta és megkülönböztetésükre kódszámmal jelölte meg. Az ipari gyakorlatban elterjed fontosabb **ömlesztő hegesztési eljárásokat** a 12. táblázat, a **sajtoló hegesztési eljárásokat** 13. táblázat mutatja.

Megnevezés	Számjele
Kézi ívhegesztés	111
Önvédő,porbeles huzalelektrodás ívhegesztés	114
Tömör huzalelektrodás, fedett ívű hegesztés	121
Porbeles huzalelektrodás, fedett ívű hegesztés	125
Tömör huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (MIG)	131
Tömör huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (MAG)	135
Porbeles huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (MAG)	136
Fémportöltetű huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (MAG)	138
Tömör huzallal/pálcával végzett, semleges védőgázos ívhegesztés (TIG)	141
Hozaganyag nélküli, semleges védőgázos ívhegesztés (TIG)	142
Porbeles huzallal/pálcával végzett, semleges védőgázos ívhegesztés (TIG)	143
Tömör huzallal/pálcával végzett, volfrámelektrodás, redukáló gázos ívhegesztés (TIG)	145
Plazmaívhegesztés	15
Elektronsugaras hegesztés	51
Lézersugaras hegesztés	52
Csapegesztés	78

12. táblázat: Ömlesztő hegesztési eljárások és számjelük⁴⁵

Megnevezés	Számjele
Ellenállás-ponthegesztés	21
Vonalhegesztés	22
Dudorhegesztés	23
Leolvasztó tompahegesztés	24
Zömítő tompahegesztés	25
Dörzshegesztés	42
Sajtoló gázhegesztés	47

13. táblázat: Sajtoló hegesztési eljárások és számjelük⁴⁶

Az ipari gyakorlatban leginkább elterjedt ömlesztő, ill. sajtoló hegesztési eljárások növekvő számjelük alapján kerülnek röviden ismertetésre.

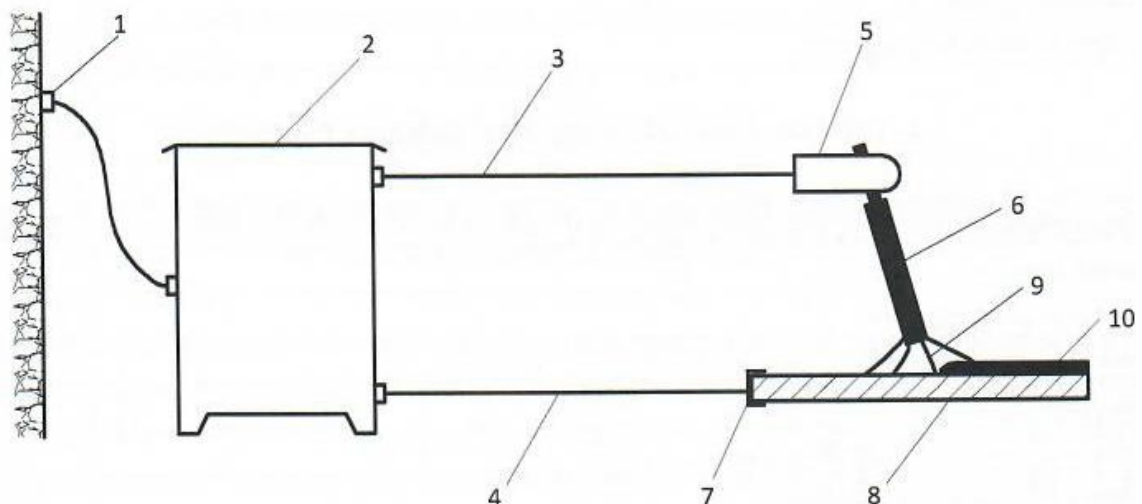
⁴⁵ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 11.o.

⁴⁶ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 11.o.

2.4.1. Ömlesztő hegesztési eljárások

Bevont elektródás ívhegesztés

A *bevont elektródás ívhegesztés* (számjele 111) egy bevont elektróda és a munkadarabok között, egyen- vagy váltakozó áram által keltett villamos ívvel (hegesztőívvvel) végzett ömlesztő hegesztési eljárás. Az ív fémek ömlesztő kötésére való alkalmasságát 1881-ben az orosz N.N. Benardosz szabadalmaztatta, mely eljárásnál az ív egy nem leolvadó szénelektróda és a munkadarab között képződött. 1885-ben az ugyancsak orosz Ny. G. Szlavjanov a csupasz elektródás ívhegesztést szabadalmaztatta, ahol a hozaganyag bevont nélküli, áram által átjárt pálca volt. A svéd Oscar Kjellberg 1907-ben a bevont elektródát szabadalmaztatta hegesztés céljára. 1931-ben alkalmaztak először rutilos (titán-dioxidos), majd 1940-től mészbázikus bevonatú elektródát, melyekre a bevonatot bemártás után vitték fel a maghuzalra, szemben a mai korszerű sajtoló eljárással. Hazánkban a bevont elektródás ívhegesztést 1930-tól alkalmazzák. A győri ún. Hosszúhíd helyére 1933-34-ben gyártott 53 m fesztávolságú Rába-hídat, ami Európa legnagyobb fesztávolságú hegesztett rácsos hídja volt. A Magyar Waggon és Gépgyár Részvénytársaság készítette el a rimamurányi-salgótarjáni Vasmű Részvénytársaság Rimagil elektródáival. Ugyancsak Rimagil elektródákkal hegesztette a Ganz-Danubius Részvénytársaság Hajógyára a 470 tonnás hordképességű „Budapest” névre keresztelt első Duna-tengerjáró hajót, melyet 1934. augusztus 14-én bocsátottak vízre. A 34. ábra a bevont elektródás ívhegesztés elvét mutatja.



34. ábra: A bevont elektródás ívhegesztés elve⁴⁷

1: hálózati csatlakozó; 2: áramforrás; 3: áram(munka)kábel; 4: áram-visszavezető (test) kábel; 5: elektródafogó; 6: bevont elektróda; 7: testkábel-csatlakozó; 8: munkadarab; 9: hegesztőív;

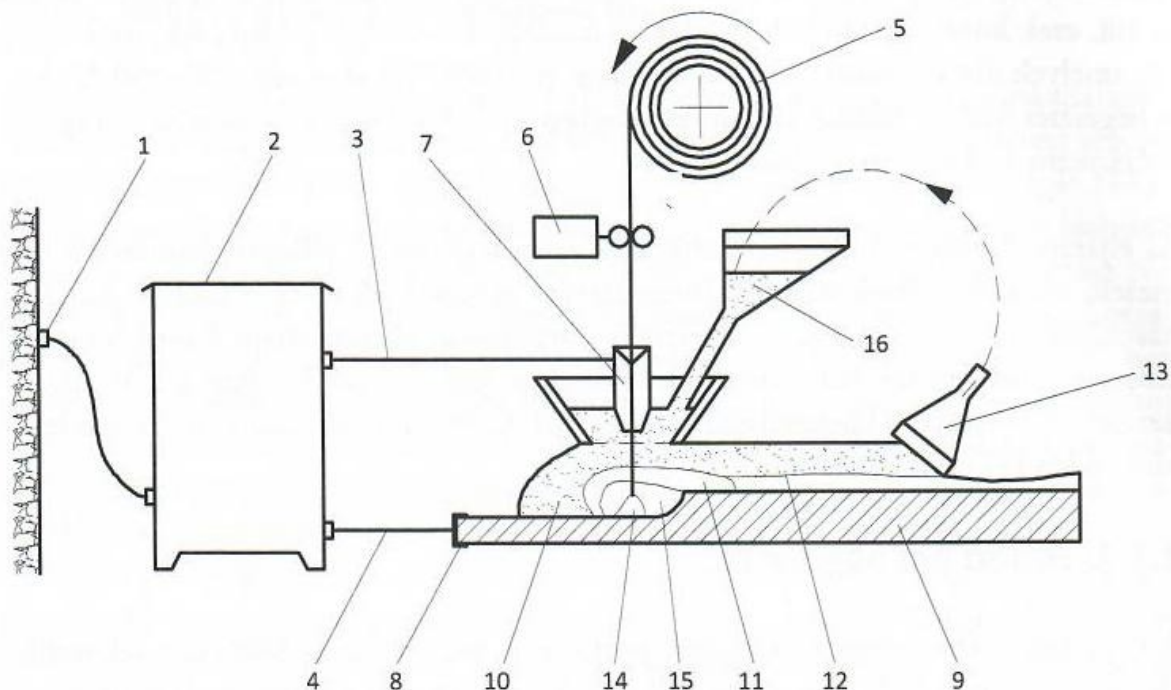
A hegesztéshez szükséges elektromos áramot (50-350 A) egyenirányító vagy transzformátor (illetve elektromos áramtól távoli helyeken generátor) szolgáltatja, miközben az ívfeszültség 15-40 V közötti értékű. A 2-5 mm közötti átmérőjű, 250-450 mm hosszú elektróda és a bevonat az ívben megömlik, illetve gázzá alakul át és ellát olyan folyamatokat, mint az ívstabilitás, védőgázképzés, salakképzés, dezoxidálás, ötvözés. Az ipari gyakorlatban főként a bázikus, a rutilos és a cellulóz bevonatú (ill. ezek kombinációja) elektródák használatosak. A salak többalkotós oxidokból áll, melyek olvadáspontja a vas olvadáspontja (1536°C) alatt van 200-350°C-kal. A hegesztés során – feladattól, anyagvastagságtól, technológiai adatoktól stb. függően – óránként 1-3 kg anyag ömleszthető le. Az eljárást általában 3 mm-nél vastagabb,

⁴⁷ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 12.o.

tetszőleges alakú félkészgyártmányok (lemezek, idomok, csövek stb.) kötőhegesztésére, továbbá javító és felrakó hegesztésre használják minden hegesztési helyzetben. Általánosan alkalmazható fémszerkezetek, csőszerkezetek gyártásakor, csővezeték építésekor, gépszerkezetek, nyomástartó berendezések készítéséhez. Hegeszthető fémek: acélok, öntöttvasak, könnyű- és színesfémek.

Fedett ívű hegesztés

A *fedett ívű hegesztés* (számjele 12) leolvadó fémelektroda (huzal- vagy szalagelektroda) és a munkadarabok között egyen- vagy váltakozó árammal keltett, fedőpor védelme alatt égő ívvel végzett ömlesztő hegesztés (35. ábra). Az eljárás teljesen gépesített, mivel a varratirányú haladás is gépesített. A hegesztőfejet kocsira szerelik, de szerelhető konzolra vagy gépállványra is. A hegesztés végezhető egy vagy több huzallal, az áramerősség-tartomány 300-1200 A, az ívfeszültség 25-40 V, az óráként leolvasztható fémmennyiség < 15 kg. Az eljárást főként vastagabb, hosszú tompa- és sarokvarratok készítésére, vagy felrakásra használják, ahol a mély beolvadás, a nagy leolvadási sebesség, a szép varratfelület létrehozása a cél. Többnyire vízszintes és vályúhelyzetben, ritkábban haránthelyzetben alkalmazzák ötvöztelen és ötvözött acélok vastagabb szelvényeinek összekötésére különböző iparágakban, mint pl. az acélszerkezet-gyártás, tartály- és készülékgyártás, hajóépítés stb.



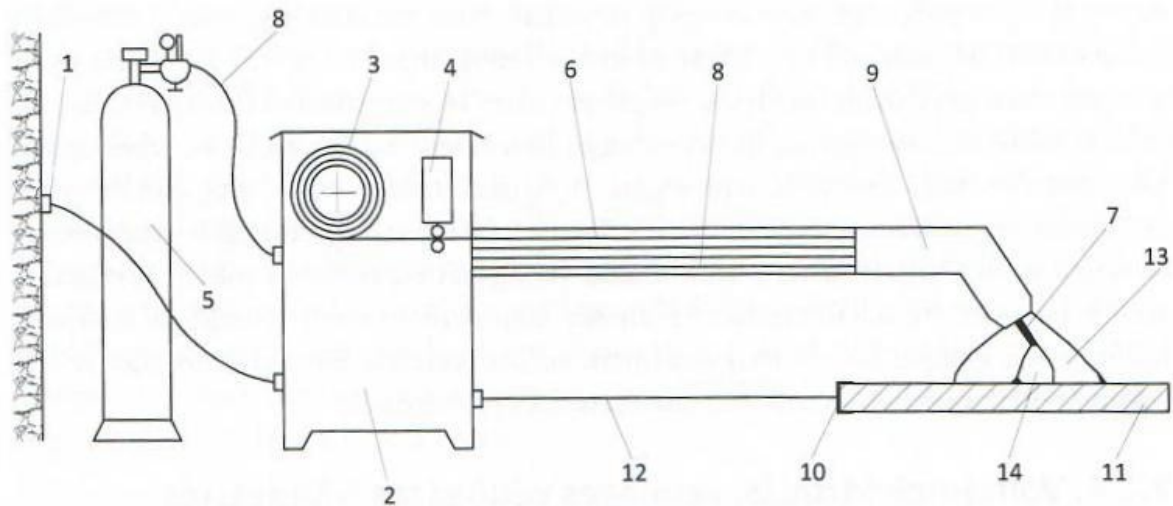
35. ábra: A fedett ívű hegesztés elve⁴⁸

1: hálózati csatlakozó; 2: áramforrás; 3: áram(munka)kábel; 4: áram-visszavezető (test) kábel; 5: huzalelektroda; 6: huzaladagoló; 7: áramátadó; 8: testkábel-csatlakozó; 9: munkadarab; 10: fedőpor; 11: megömlött salak; 12: megdermedt salak; 13: fedőpor-szívó; 14: hegesztőív

⁴⁸ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 14.o.

Huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés

A *fogyóelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztést* először 1948-ban az USA-ban alkalmazták, és **MIG eljárásnak** (angolul **Metal Inert Gas**) rövidítettek. 1953-ban a Szovjetunióban a semleges, de drága argon, ill. hélium gáz helyett aktív szén-dioxidot alkalmaztak, az eljárás rövid neve **MAG hegesztés** (angolul **Metal Active Gas**) lett. A hegesztés egyenárammal (többnyire fordított polaritással) megy végbe, így a hegesztő-áramforrás egyenáramú berendezés. A hozaganyag dobra csévélte, tömör vagy porbeles huzalt, melyet egyenáramú huzaladagoló berendezés juttat a hegesztőpisztolyon keresztül egyenletes sebességgel a hegesztés helyéhez. Mivel a huzalon - hasonlóan a bevont elektródához - áram megy át, ezért a leolvadó hozaganyag huzalelektroda.



36. ábra: A huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés elve ⁴⁹

1: hálózati csatlakozó; 2: áramforrás; 3: huzaldob; 4: huzaladagoló; 5: védőgázpalack nyomás- és gázátfolyás-mérővel; 6: áram(munka)kábel; 7: huzalelektroda; 8: védőgáz tömlő; 9: hegesztőpisztoly; 10: testkábel-csatlakozó; 11: munkadarab; 12: áram-visszavezető (test) kábel; 13: védőgázburok; 14: hegesztőív

Ha a védőgáz egyatomos semleges (nemes) gáz, akkor az nem lép reakcióba a folyékony fémmel, és ezért az eljárást **huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztésnek** nevezik. Argon védőgáz esetén az eljárás neve **fogyóelektrodás, argon védőgázos ívhegesztés** (röviden **AFI eljárás**, számjele 131). A védőgáz tisztasága, a gázfúvókából kiáramló mennyisége befolyásolja a hegesztési varrat minőségét. Ha a védőgáz oxidáló hatású gáz, akkor az eljárást **fogyóelektrodás, aktív védőgázos, szén-dioxid védőgáz esetén huzalelektrodás, CO₂-védőgázos ívhegesztésnek nevezik** (számjele 135). A CO-hegesztés hibás elnevezés, mivel a gázpalack nem szén-monoxidot, hanem folyékony szén-dioxidot tartalmaz. A szén-dioxid felbomlik ugyan az ív hőmérsékletén a $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}_2$ reakció szerint, és a védőgáz a CO lesz (gázhegesztéskor pl. redukáló hatású $\text{CO} + \text{H}_2$ égéstermék képződik a lángmagban). Gyakran hegesztenek két- vagy három komponensű gázkeverékkel (pl. 82% Ar+12% CO₂), kihasználva a keveréket alkotó gázok kedvező hatásait (pl. a szén-dioxid esetén mélyebb beolvadás). A fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztés a bevont elektródás kézi ívhegesztésnél nagyobb leolvadási teljesítményű, gazdaságosabb ömlesztő hegesztési eljárás. Jól gépesíthető, és emiatt alkalmas gépesített, ill. automatizált eljárásokhoz (pl. robothegesztés). Manuális (kézi) változatában a hegesztő felkészültségétől, szaktudásától függően lehet hibamentes kötést elkészíteni. A he-

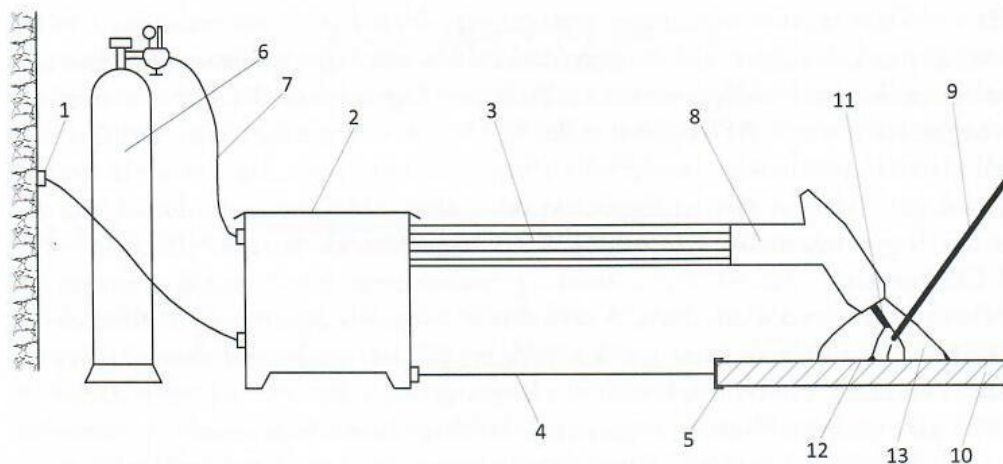
⁴⁹Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 15.o.

geszthető anyagvastagság 0,6-40 mm, az áramerősség-tartomány 40-400 A, az ívfeszültség 16-30 V, a huzalelőtolási sebesség 2-20 m/min, a leolvasztható fémmennyiség 2-8 kg/h.

Az eljárás igen széles szelvényvastagság-tartományban, minden hegesztési helyzetben használható. Az oldalszél és a huzat zavarja a védőgázburkot, ezért a hegesztés ilyen környezetben csak óvintézkedések megtétele után végezhető. Az eljárás kiválóan alkalmas töltő- és takaró-sorok, illetve rétegek készítésére, a nagy előtolási sebességnek köszönhetően nagy leolvadási sebességgel. A *fogyóelektródás, argon védőgázos ívhegesztést* elsősorban könnyű- és színes-fémek összekötésére, az argon-oxigén *gázkeveréket* ötvözött acélok hegesztésére, a CO₂-védőgázos ívhegesztést pedig főként ötvözetlen acélok hegesztésére alkalmazzák. Az eljárást majdnem minden iparágban elterjedt, különösen a gépiparban, járműgyártásban, acélszerkezetek, nyomástartó edények és vegyipari berendezések gyártásánál, csővezetékek építésénél stb.

Volfrámelektródás, semleges védőgázos ívhegesztés

A *volfrámelektródás, semleges védőgázos ívhegesztés* (számjele 141) szintén az USA-ból indult el 1936-ban argoníves hegesztés néven. Az eljárás Európában az 50-es évek elejétől terjedt el. Az eljárás rövidítése az angolszász országokban **TIG hegesztés** (a Tungsten Inert Gas elnevezés alapján, ahol a tungsten a volfrám angol neve), német nyelvterületen pedig a **WIG hegesztés** (Wolfram Inert Gas rövidítése). A 37. ábra mutatja az eljárás elvét.



37. ábra: A volfrámelektródás, semleges védőgázos ívhegesztés elve⁵⁰

1: hálózati csatlakozó; 2: áramforrás; 3: áramkábel (hegesztőkábel); 4: áram-visszavezető (test) kábel; 5: testkábel-csatlakozó; 6: védőgázpalack nyomás- és gázátfolyás-mérővel; 7: védőgáz tömlő; 8: hegesztőpisztoly; 9: hegesztőpálca; 10: munkadarab; 11: volfrámelektróda; 12: hegesztőív, 13: védőgázburkok;

A kötés létesítéséhez szükséges hő nagy olvadáspontú (3360°C), nem leolvadó ötvözetlen vagy gyengén ötvözött (cériummal, lantánnal stb.) volfrámelektróda és a munkadarab között, semleges védőgáz védelme alatt keltett egyen- vagy váltakozó áramú ív adja. Ez a semleges védőgáz lehet argon, hélium vagy ezek keveréke. Semleges a gáz akkor, ha nem lép reakcióba a hegesztés során a folyékony fémmel. Ha a gáz argon, akkor az eljárás neve **volfrámelektródás, argon védőgázos ívhegesztés** (magyar rövidítése **AWI hegesztés**, amelyben a W betű a volfrám vegyjelére utal, ugyanis a V betű a vanádium vegyjele). Az argont többnyire 40 literes acélpalackokba 150 vagy 200 bar nyomáson töltik, és így a teli gázpalack 6 vagy 10 köbméter gázt tartalmazhat. Hegesztéskor a gázfogyasztás - a hegesztési feladattól függően - 6-

⁵⁰ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 16.o.

12 l/min. A hegesztés végezhető hozaganyag nélkül vagy hozaganyaggal (pálca, huzal). A hozaganyag nélküli volfrámelektrodás semleges védőgázos ívhegesztési eljárás (számjele 142) voltaképpen autogén hegesztés, hasonlóan a pálca nélküli gázhegesztéshez. A hegesztőív ilyen esetben vékony lemezek, kis falvastagságú csövek, peremvarratok összeolvasztásával hozza létre a kötést. Vastagabb lemezek, vastagabb falú csövek tompa- vagy sarokvarratos kötéseihez hozaganyagot kell használni. Ha a hozaganyag pálca, akkor a gázhegesztéshez a hegesztőnek mindkét kezére szükség van, tehát a termelékenység kicsi. Ha használnak hegesztőhuzalt (tömör vagy porbelest), akkor a huzalt a huzaldobról huzagadagoló továbbítja a pisztolyba. Az AVI eljárás szinte valamennyi hegeszthető anyagminőség egyesítésére alkalmas. 3 mm fölött célszerű a munkadarab éleit leélezni. A levegő alkotóival szemben érzékeny fémeknél (pl. titán) a levegő kizárása érdekében kiegészítő gázvédelem alkalmazása indokolt korona- és gyökoldalon egyaránt. Az áramerősség-tartomány 10-400 A, az ívfeszültség 12-18 V, a leolvasható fémmennyiség 2,5-3,3 kg/h. Vastagabb elemeknél az AVI hegesztést gyakran csak a gyök készítésére alkalmazzák, majd a többi varratréteget nagyobb leolvadási teljesítményű (pl. 131-es) eljárással készítik.

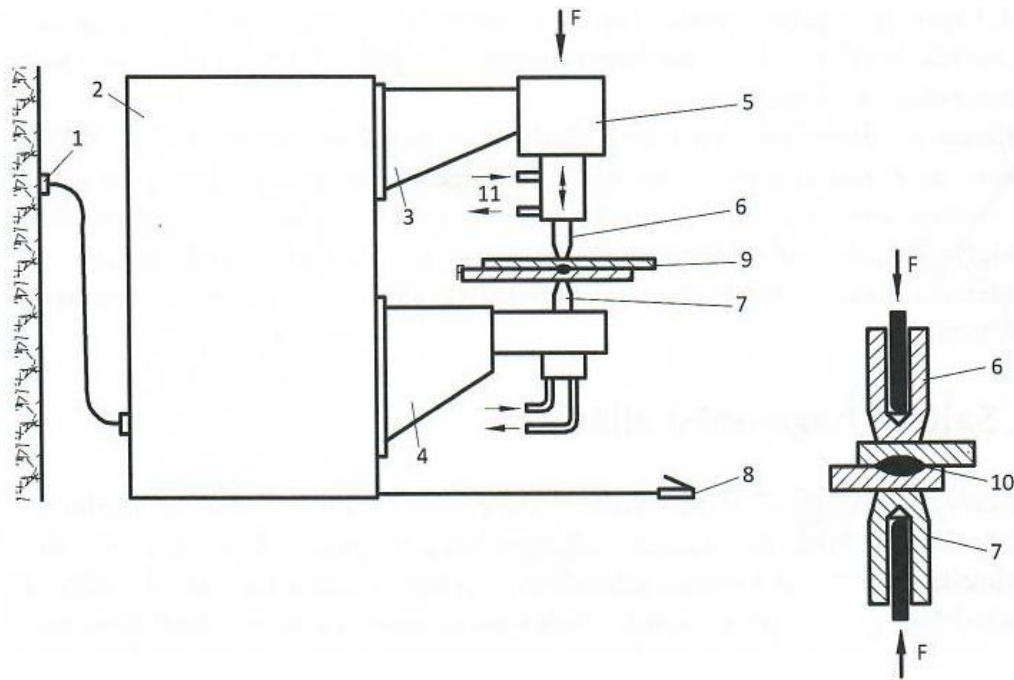
Az eljárást majdnem minden iparág alkalmazza, de különösen az erősen ötvözött acélokat, alumíniumot, rezet, titánt stb. feldolgozó iparágak, mint pl. a vegyipari készülékek, atomenergetikai berendezések, finommechanikai alkatrészek gyártása, repülőgépgyártás stb. a felhasználók. Hegeszthető anyagok: acélok, öntöttvasak, könnyű- és színesfémek, nikkel és ötvözetei, titán és ötvözetei stb. Hegeszthető anyagvastagság 0,5-4 mm.

2.4.2. Sajtoló hegesztési eljárások

A *sajtoló hegesztés* során a kohéziós kötés hő- és erőhatás együttes alkalmazásával jön létre. A kötés létesítéséhez szükséges hő a munkadarabon átvezetett, illetve indukált áramnak az átmeneti ellenálláson, valamint a munkadarabban fejlődött ellenálláshő adja.

Ellenállás-ponthegesztés

Az amerikai Elihu Thomson 1877-ben jött arra rá, hogy két, egymással érintkező két fémen áthaladó áram a fémek közötti ellenálláson hő (**ellenálláshőt**, másképpen Joule-hőt) fejleszt, ami képes a két fémet pontszerű területen megömleszteni. Az eljárást 1898 óta alkalmazzák, akkoriban főként konyhai eszközök gyártásához. A **ellenállás-ponthegesztés** (számjele 21) valójában csak 1933-tól terjedt el a kissorozat-gyártásban (elektromos érintkezők, relék, lámpacsatlakozók), továbbá a karosszéria, a háztartási eszközök gyártásában. Az ellenállás-ponthegesztés elvét a 38. ábra mutatja. Az egyen- vagy váltakozó áramot előállító áramforrás a hálózati áramot 4-60 kA-re növeli, amelyet rézelektrodák vezetnek a hegesztendő munkadarabokhoz. A ponthegesztő berendezések fontos része a jó villamos és hővezetésű, nagyobb hőmérsékleten is megfelelő szilárdságú rézötvözetből készült elektróda, melynek feladata a koncentrált áramátadás és a nyomás közvetítése. Az elektródák mozgatása és a megfelelő nyomóerő (0,6-25 kN) kifejtése a mechanikus elven kívül megvalósulhat pneumatikus, vagy hidropneumatikus úton. A nagy áram rendkívüli rövid idő alatt (3-200 periódus) megömleszti a lemezek közötti érintkezési helyet és kialakul a lencse alakú pontvarrat (50 hertzes váltakozó áramnál az egy periódus a másodperc 50-ed része). A ponthegesztő gépek lehetnek helyhez kötött, illetve hordozható berendezések. A ponthegesztés általában 0,05-6 mm vastagságú, többnyire lemezek átlapoló kötésére alkalmas eljárás.



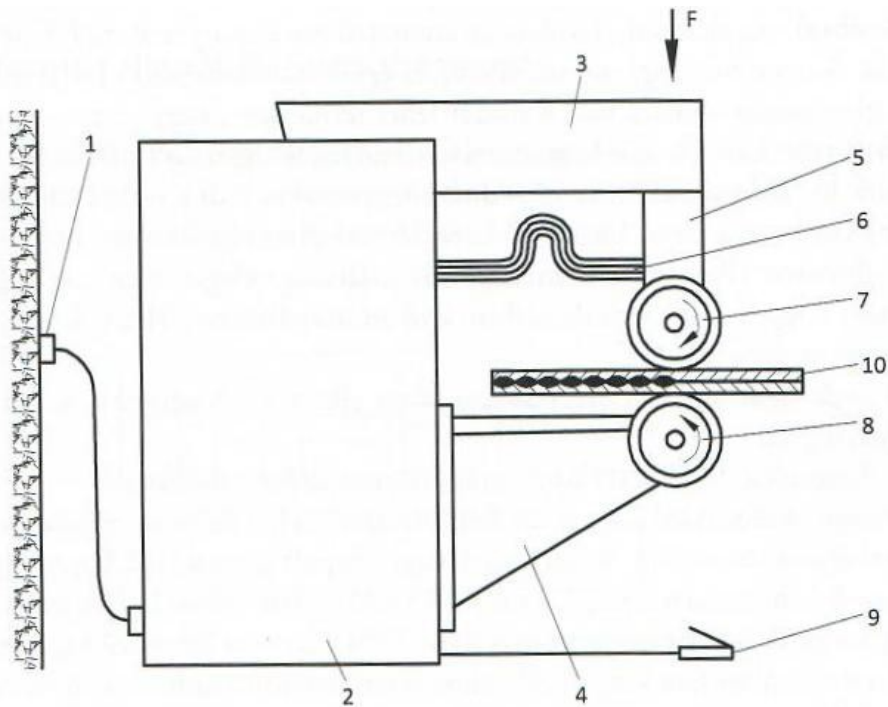
38. ábra: Az ellenállás-ponthegesztés elve⁵¹

1: hálózati csatlakozó; 2: gépállvány az áramforrással; 3: felső kar; 4: alsó kar;
 5: nyomáskifejtő elem; 6: felső elektróda; 7: alsó elektróda; 8: lábkapcsoló;
 9: munkadarab; 10: hegpont; 11: hűtővíz; F: nyomóerő

Vonalhegesztés

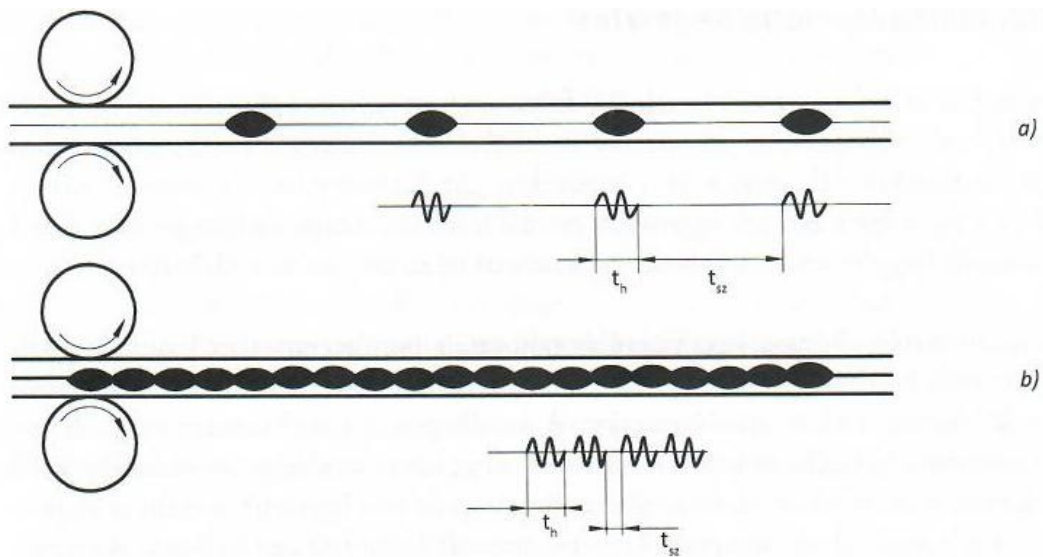
Az ellenállás-vonalhegesztés (számjele 22) folyamatosan egymás után lerakott, többnyire átfedő pontokból elkészített pontvarratokból áll (38. ábra). A szekunder áramot forgó tárcsa-elektrodák vezeték a lemezek. Az áramimpulzusok időbeni eltolódásától függ, hogy a pontok egymástól távolabb helyezkednek-e el, vagy olyan közel egymáshoz, hogy egymást átfedve folyamatos vonalvarrat jön létre (39. ábra). A vonalhegesztési ciklusok legegyszerűbb változata a ponthegesztéshez hasonló egyedi pontvarratok készítése. Vonalhegesztő gépen azonban gyakrabban készítenek érintkező pontos, illetve légmentesen záró tömítő varratokat. A vonalhegesztés munkarendjét meghatározza az áramerősség értéke és időbeni változása, a hegesztés sebessége, az elektródagörgők kialakítása és a nyomóerő értéke, illetve áramimpulzusos hegesztés esetén az impulzus- és a szünetidő. A vonalhegesztés berendezései általában helyhez kötöttek. A görgők helyzete szerint lehet kereszt- vagy hosszvarrat-hegesztő gép. Az elektródagörgők, illetve tartók cseréjével univerzális berendezések is kialakíthatók. Acélok folyamatos árammal végzett vonalhegesztésekor az áramerősség 8-22 kA, a nyomóerő 2-10 kN, a hegesztési sebesség 1-12 m/min értékek között változhat. A hegeszthető anyagvastagság acélok esetében 0,5-5 mm. A vonalhegesztés egyik alapvető hátránya, hogy megbízható kötés egyszerű technológiával csak átlapolt vagy peremezett lemezekon készíthető.

⁵¹ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 18.o.



39. ábra: A vonalhegesztés elve⁵²

1: hálózati csatlakozó; 2: gépállvány az áramforrással; 3: felső kar; 4: alsó kar;
5: nyomáskifejtő elem; 6: áramvezető; 7: felső tárcsaelektroda; 8: alsó tárcsaelektroda;
9: lábkapcsoló; 10: munkadarab; F: nyomóerő



40. ábra: Vonallhegesztett varratok⁵³

a) egyedi pontok; b) érintkező pontok (vonallvarrat), t_h : hegesztési (impulzus) idő;
b) t_{sz} : szünetidő

⁵² Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 19.o.

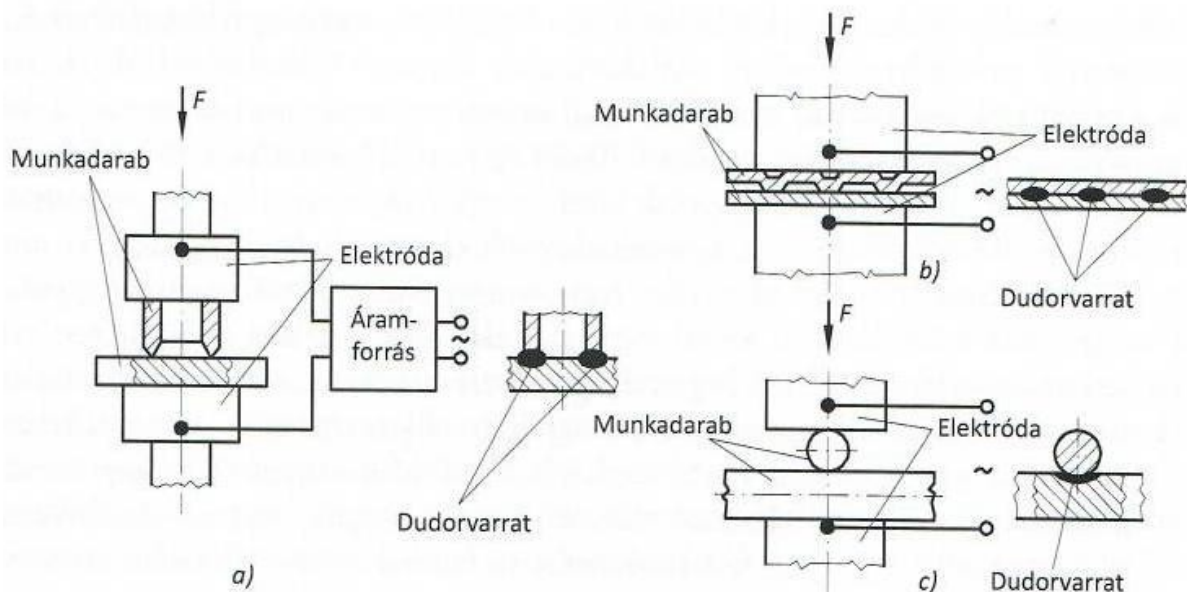
⁵³ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 20.o.

Dudorhegesztés

A *dudorhegesztés* (számjele 23) a ponthegesztésből származtatott sajtoló eljárás (40. ábra). Az elektróda feladata az áramátadásra és a nyomóerő kifejtésére korlátozódik. A nyomóerő egy pontra, illetve az egyik munkadarabon kialakított dudor által meghatározott vonalra hat. A dudor lehet természetes vagy mesterséges. *Természetes dudor* jön létre pl. kör keresztmetszetű anyagok egymásra merőleges tengelyű kötéseinek kialakításakor. *Mesterséges dudorhegesztés*hez a dudorokat sajtolással vagy forgácsolással hozzák létre. Megfelelő kötés létesítéséhez az szükséges, hogy

- a dudorok elhelyezése és mechanikai szilárdsága elegendően nagy legyen ahhoz, hogy a velük érintkezésben levő munkadarabon felhevüljenek anélkül, hogy megolvadnának,
- a dudorokat úgy kell megtervezni, hogy elkészítésük egyszerű, alakjuk szabályos legyen,
- a dudorok a hegesztési ciklus során hidegen deformálódjanak.

A pontszerű érintkezésen átfolyó áram (4-15 kA) az érintkezési helyet felhevíti, részben megömleszt. Az elektródayomás (0,6-7 kN) hatására létrejövő képlékeny alakváltozás a megömlött fém kinyomódásához vezet, a létrejön a kohéziós kötés. A hegesztési idő általában 6-60 periódus.



41. ábra: A dudorhegesztés elve⁵⁴

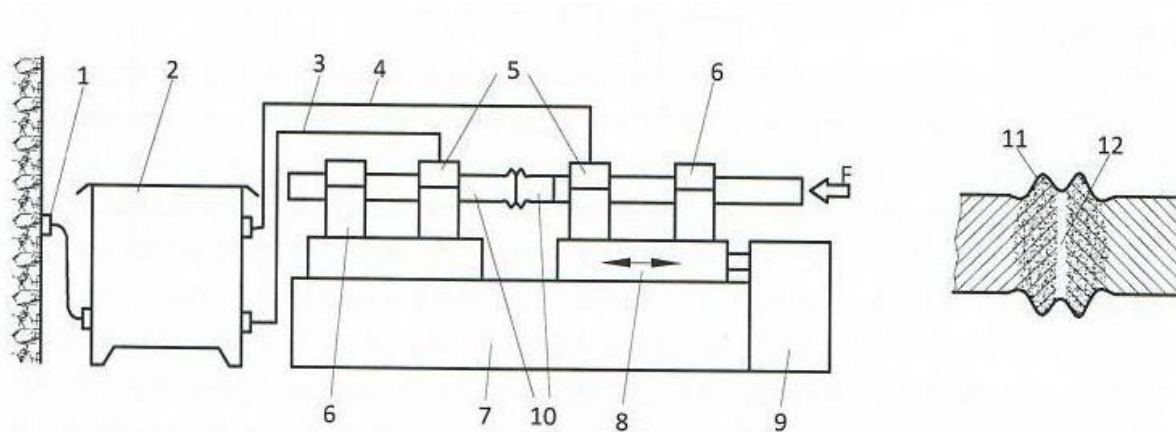
- a) mesterséges, gyűrű alakú dudor; b) mesterséges lemezdudor;
c) egymásra merőleges két rúd közötti természetes dudor; F: nyomóerő

Dudorhegesztéskor legtöbb esetben elegendő egyszerű hegesztési ciklust beállítani. Edződésre hajlamos acélok hegesztésekor áramimpulzusos, elő- és utóhevítő ciklusos munkarendet kell beállítani.

⁵⁴Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 21.o.

Zömítő tompahegesztés

A zömítő tompahegesztés (számjele 25) hozaganyag nélküli, nyomás alatt végzett sajtolóhegesztés, ahol a munkadarabok érintkezési helyén a hegesztéshez szükséges hő az áthaladó áram ellenállás hőjéből keletkezik (41. ábra).



42. ábra: A zömítő tompahegesztés elve⁵⁵

1: hálózati csatlakozó; 2: áramforrás; 3: és 4: áramkábel; 5: áramátadó befogópofa;
6: árammentes befogópofa; 7: gépállvány; 8: mozgó szán; 9: zömítő berendezés;
10: munkadarab; 11: sorja; 12: nagyhőmérsékletű zóna, F: zömítőerő

A hegesztendő munkadarabokat külön-külön fogják be a szorítópofákba, melyeket az áramforrás szekunder pólusához csatlakoztatják. Így azok közreműködnek az áram és a zömítő erő átadásában. A munkadarab keresztmetszetére vonatkoztatott áramerősség, azaz az áramsűrűség acéloknál $70-90 \text{ A/mm}^2$ ($10-40 \text{ kA}$), a zömítő nyomás $10-30 \text{ N/mm}^2$. Miután a befogópofák közül az egyik rögzített, a másik mozgatható, a pofák szorítóereje meggátolja a munkadarabok elmozdulását, elcsúszását. A tompahegesztő gépek vezérlése lehet kézi vagy automatikus. A kézi vezérlésű gépeken a mozgó szán működtethető kézzel vagy gépi előtolással. A kézi működtetést csak kis keresztmetszetű alkatrészek hegesztéséhez alkalmazzák. Az automatikus vezérlésű berendezések vezérlőelemei mechanikus vagy hidraulikus egységek. A tompahegesztés huzalok, csövek, rudak, alakos idomok stb. homlokfelület-menti összehegesztésére alkalmas eljárás. A megfelelő varrat elkészítéséhez szükséges, hogy az összekötendő felületek fémtiszták legyenek, ellenkező esetben a felületi szennyeződések a varratban maradnak.

2.5. Az ívhegesztés áramforrásai

2.5.1. A bekapcsolási idő fogalma és értelmezése

A bekapcsolási idő (X) az áramforrás terhelhetőségének jellemző adata. A bekapcsolási idő (b_i) a hegesztési idő és a ciklusidő hányadosa %-ban kifejezve, ahol a ciklusidő a hegesztési időből és a hegesztéssel szorosan összefüggő szünetidőből tevődik össze.

A ciklus idő szabvány szerinti értéke **10 min**. A bekapcsolási idő az a %-ban megadott időtartam, ameddig a hegesztőgép egy 10 perces időtartamon belül a megadott kimenő teljesítménnyel túlmelegedés nélkül terhelhető.

⁵⁵ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 21.o.

A bekapcsolási időt % - os formában adják meg. Pl. 40%-65%-100%

Az ipari ívhegesztő áramforrások terhelhetőségének jellemzésére vezették be az **X bekapcsolási idő** fogalmát, amely a hegesztési idő és a ciklusidő hányadosa % - ban kifejezve:

$$X = \frac{\text{hegesztési idő}}{\text{10 perces ciklusidő}} * 100$$

Ha pl. egy áramforrás adattábláján az X=60%-hoz 200 van megadva, akkor ez azt jelenti, hogy 10 perc időtartamon belül 6 percig lehet 200 amperrel hegeszteni anélkül, hogy az áramforrást túlterheljék.

Gyártó, forgalmazó vagy importáló neve, címe		Védjegy				
Típus TRM 501		Gyártási szám				
		EN 60 974-1				
		60 A / 22,4 V – 500 A / 40 V				
		~ 50 Hz	X	35 %	60 %	100 %
		U ₀ V	I ₂	500 A	380 A	300 A
		70...78	U ₂	40 V	35 V	32 V
		cos φ 0,84 (150 A)				
		U ₁ V	I ₁			
		220		64 A	113 A	87 A
Hűtés: AF		380		95 A	65 A	50 A
I. CL. H		50 Hz	S ₁	36,1 kVA	24,7 kVA	19 kVA
Q 9,2 kVAr		IP 22				

43. ábra: Adattábla a hegesztő berendezésre vonatkozó jellemző adatokkal⁵⁶

2.5.2. Kézi ívhegesztés bevont elektródával

A bevont elektródás ívhegesztéshez szükséges energiát áramforrás szolgáltatja, amely lehet egyenirányító, transzformátor vagy generátor. A hegesztés végezhető egyenárammal vagy váltakozó árammal. Egyenáramú hegesztéskor az elektróda csatlakozhat az áramforrás negatív pólusához (egyenes polaritás) vagy pozitív pólushoz (fordított polaritás). A hegesztőív bevont elektróda és a munkadarab között ég, megömlesztve a hegesztő alapanyagot és leolvasztva az elektródát. A bevonatból képződött gázok védőhatása alatt az elektródáról leváló fémcseppek képzik megdermedés után a hegyvarratot.

Az eljárás hátrányai:

- az elektródacsere miatt megszakított hegesztés (varratkezdés és befejezés potenciális hibaforrás)
- sok mellékidő (elektródacsere, salakolás, fröcskölési nyomok eltávolítása)
- egészségre ártalmas gázok fejlődése miatt elszívás szükséges
- a legjobb kötésminőséget adó elektródákat felhasználás előtt szárítani kell
- nehezen gépesíthető

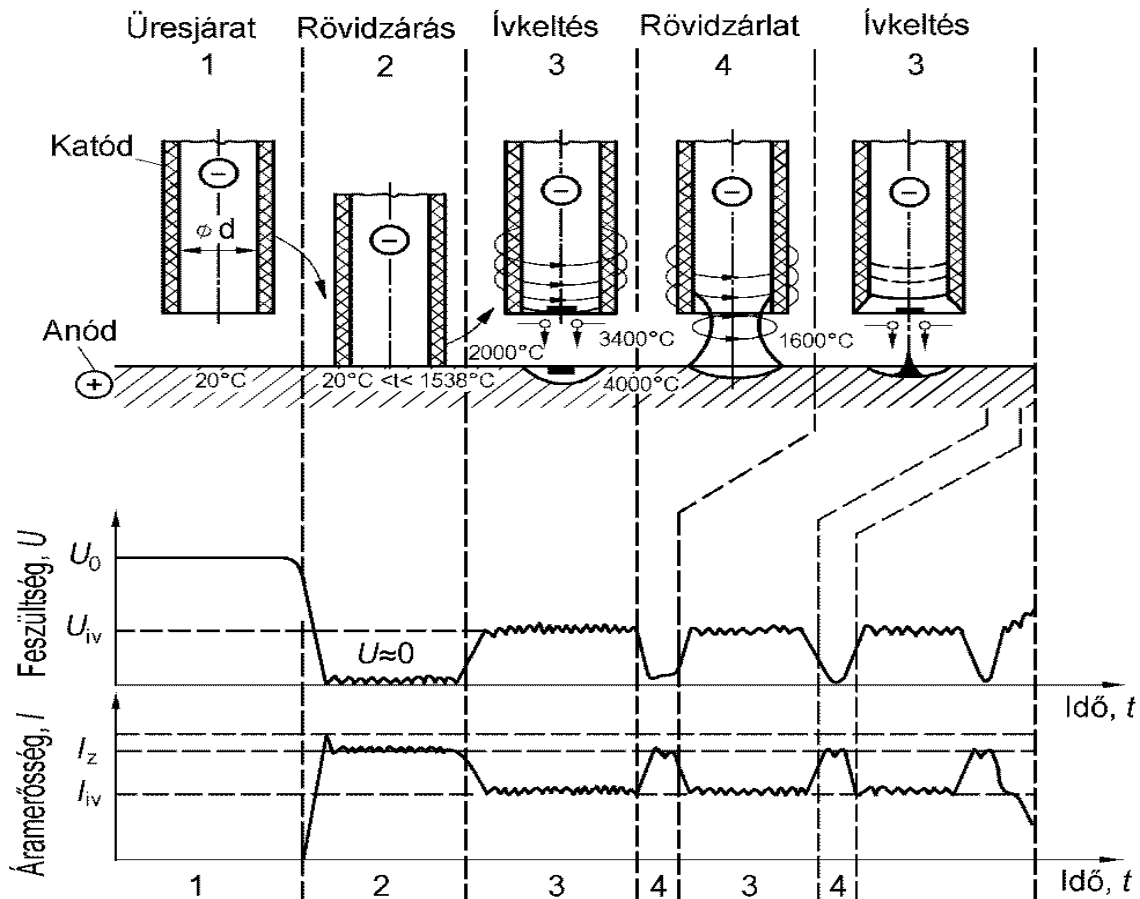
Alkalmazási területei: szinte minden acél és nem vasfém hegesztésére alkalmas. Az ötvöztelen és ötvözött szerkezeti acélok, melegsziárd és hidegálló acélok, az erősen ötvözött külön-

⁵⁶ Saját forrás

leges acélok és néhány, jobb minőségű öntöttvas egyaránt hegeszthető. Nikkel, réz és alumínium ötvözetek is hegeszthetők vele, de az AVI elterjedésével ez a terület visszaszorult. Jellemző alkalmazási területe a csövezeték helyszíni varratainak készítése. Falvastagság tekintetében sincs korlátja, kis falvastagságnál nem kifizetődő használni.

A bevont elektródás ívhegesztés ömlesztő folyamata egyenes polaritás esetén

A bevont elektróda és a munkadarab között létrehozott villamos ív keskeny sávban megolvastja az összehegesztendő darabokat és az elektródát, létrehozza a hegesztési ömledéket, amely a dermedést követően fémes kapcsolatot létesít a két anyag között.



44. ábra: A bevont elektródás ívhegesztés ömlesztő folyamata egyenes polaritás esetén⁵⁷

U_0 üresjárási feszültség; I_z állandósult zárlati áram :

U_{iv} munkafeszültség; I_{iv} hegesztőáram

Üresjáratban a bekapcsolt hegesztő-áramforrás pólusai között az üresjárat feszültség mérhető, amelynek értéke áramforrásonként változik, általában 45-80 V. Nagyobb üresjárat feszültséggel könnyebb az ív gyújtása. Áramütés szempontjából veszélyes helyeken (pl. tartály belsejében) csak olyan egyenáramú áramforrás használható, amelynek üresjárat feszültsége legfeljebb 50 V.

Az ívgyújtás két, egymástól jól elkülöníthető szakaszra bontható:

- az elsődleges ívgyújtás a hideg munkadarabokon rövidzárlás útján végbemenő gyújtási folyamat;

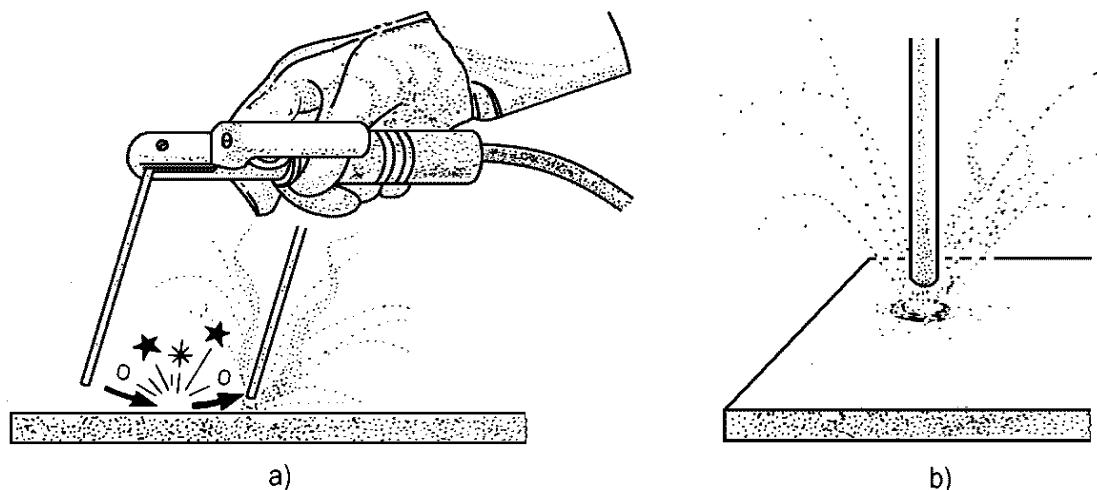
⁵⁷ Dr. Kovács Mihály: Hegesztés. Tankönyvmester, Budapest, 2008, 60.o.

- a másodlagos ívgyújtás a rövidzárlattal leolvadt csepp leválását követő izzó anyagon végzett ívgyújtás, az ívkeltés.

Elsődleges ívgyújtáskor az elektróda végét gyufagyújtásos vagy koppantásos módszerrel (45. ábra) a munkadarab felületéhez érintik, az ív talppontja felizzik, koncentrált hőfejlődés jön létre, s egy kis térfogatú olvadt fémrészen keresztül záródik az áramkör. Az elektróda emeléseivel ez a fémrész meggyúlik, majd a hőmérséklet növekedésével (és más erőhatások révén) elszakad, s kialakul az ív. Az ív hossza általában megegyezik az elektróda átmérőjével.

Az ívgyújtás módja:

- gyufagyújtás,
- koppantásos



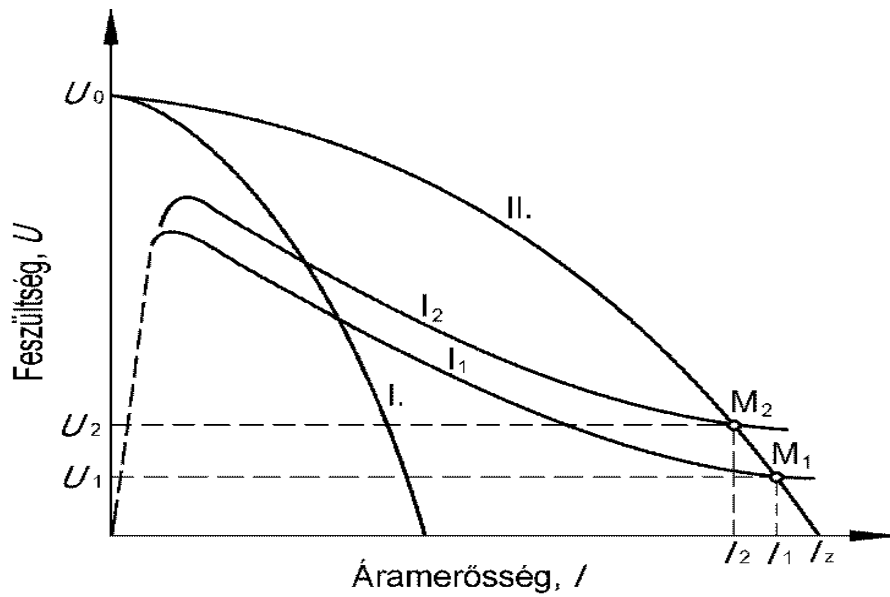
45. ábra: Az ívgyújtás módja⁵⁸
a) gyufagyújtás, b) koppantásos

A bevont elektródás ívhegesztés berendezései és eszközei

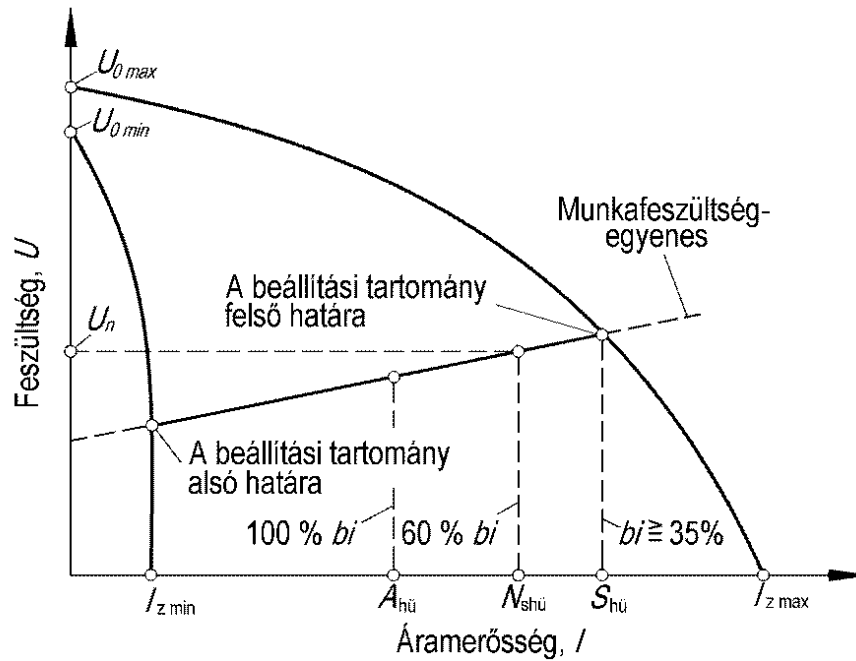
A hegesztő-áramforrások az előállított áram neme szerint lehetnek egyen- vagy váltakozó áramúak, ill. mindkettőt egyesítő berendezések. Az egyenáramú berendezések működtethetők villamos hálózatról vagy hálózatot nem igénylő energiaforrással (pl. belső égésű motorral). A hálózatról működő egyen áramot szolgáltató áramforrások az egyenirányítók, ill. az átalakítók (generátorok). Aszerint, hogy az áramforrás hány munkahelyet táplál, lehet egy, ill. több munkahelyes berendezés.

Az áramforrás tulajdonságát jellemzi a statikus (külső, terhelési) jelleggörbe, amely az áramerősség és a feszültség kapcsolatát írja le. A 46. ábra meredeken eső I. és II. statikus jelleggörbét szemléltet, feltüntetve a hegesztőív 11, ill. 12 statikus jelleggörbét is. A jelleggörbe alakja a berendezés típusától, kialakításától stb. függően változik. A rövidzárlatos fémátviteli technológiák jelleggörbéje az ábra szerinti, ahol a metszéspont a vízszintes tengellyel az állandósult I_z zárlati áram értékét adja meg. Az áramforrás és a hegesztőív statikus jelleggörbéjének metszés pontja a munkapont (M_1 ill. M_2). A munkapont az ív hosszának változtatásával az M_1 -ből az M_2 pontba tolódhat el, ill. a jelleggörbe módosítása esetén más értékeket vehet fel. Az ív statikus jelleggörbét helyettesítő szabványos munkafeszültség egyenesével ábrázolt áramforrás jelleggörbéje a 46 ábrán látható.

⁵⁸ Dr Kovács Mihály: Hegesztési Zsebkönyv. Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2010, 138.o.



46. ábra: Az áramforrás és az ív statikus jelleggörbéi⁵⁹
 $I_1 < I_2$



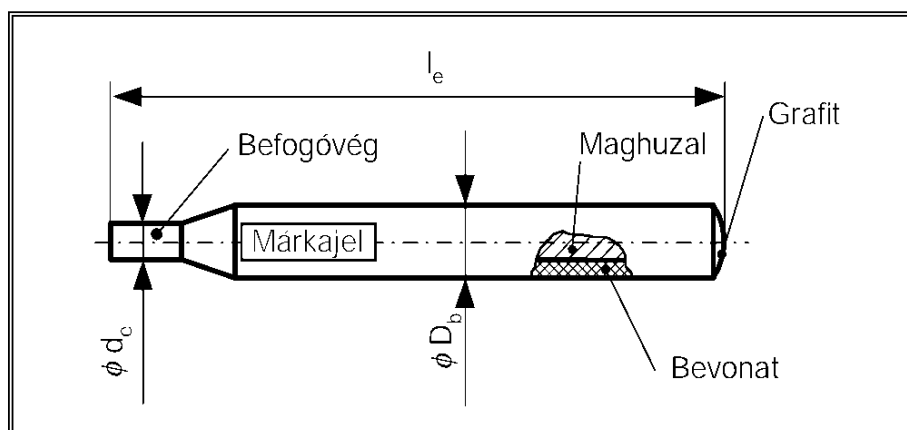
47. ábra: Meredeken eső jelleggörbéjű áramforrás és jellemzői a szabványos munkafeszültség egyenesével⁶⁰

Az áramforrás a hegesztő berendezés központi eleme. Fő funkciója, hogy a megfelelő áramerősséget és feszültséget biztosítson a stabil ív fenntartásához.

A bevontelektródás kézi ívhegesztéshez alkalmazott elektróda bevonatának feladatai és a bevonattal szemben támasztott követelmények

⁵⁹ Dr Kovács Mihály: Hegesztési Zsebkönyv. Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2010, 139.o.

⁶⁰ Dr Kovács Mihály: Hegesztési Zsebkönyv. Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2010, 140.o.



48. ábra: Bevontelektroda részei⁶¹

Bevontelektrodák csoportosítása a bevonat típusa szerint:

- A savas
- B bázikus
- C cellulóz
- R rutilos
 - RR rutil-rutilos (vastag rutilos bevonat)
 - RA rutil-savas
 - RB rutil-bázikus
 - RC rutil-cellulóz

Bázikus, rutilos és cellulóz elektrodák leolvadási jellemzői

Bázikus elektrodák

A bázikus, vagy másképpen mészbázikus, illetve alacsony hidrogéntartalmú elektrodákat a bázikus salakukról nevezték el. A bevonat fő alkotója a mészkő (CaCO_3) és a folyópát (CaF_2). Rutilt (TiO_2)-t nem, vagy csak a térbeli hegesztési tulajdonság javítására korlátozott mennyiségben tartalmaznak. A savas SiO_2 tartalma csak a kötőanyagra szorítkozik. A bázikus bevonatok csak karbonát gázképzőt tartalmaznak. Az alacsony H tartalom (*LH=Low Hydrogen*) garantálása érdekében a cellulózt, vagy vizet megkötni képes földpátokat nem, vagy csak néhány százalékban tartalmazhat. A bevonatot alacsony nedvszívó képességű szerkezetével a nedvességfelvétel korlátozható. Metallurgiai célokra a bevonat megfelelő mennyiségű dezoxidant, kén- és foszformegkötő reagenst tartalmaz, de a nitrogén elleni védelme nem megfelelő.

A bázikus elektrodákat kiváló mechanikai és átlagos hegesztési tulajdonságok jellemzik, melyek a következők:

- megfelelő szárítással a hegesztési ömledék hidrogéntartalma 5 ml/100g fém értékre, vagy ez alá csökkenthető,
- kiválóak a mechanikai jellemzői (átmeneti hőmérséklet, szívósság, nyúlás, szilárdság, repedésellenállás),
- az ömledék alacsony O, S és P tartalmú, rövid ívvel a N tartalom is megfelelő értéken tartható,

⁶¹ Saját forrás

- gázképző reakciók a varrat védelmére
- rutillal és K vízüveggel AC-re is alkalmas, egyébként a helyes polaritás mindig egyen-
áram +,
- a folyópát a salakot híg folyóssá teszi, amelyben a salakzárványok (bekevert salak és reak-
ciótermékek) könnyen a felszínre úsznak,
- nagy cseppes leolvadás,
- rossz résáthidaló képesség miatt igényes illesztést igényel,
- rövid ívhosszal kell leolvasztani, mivel védelme csak közepes hatékonyságú,
- a hegesztendő felület tisztaságára érzékeny,
- Fe poros változata vályúhelyzetben nagy leolvasztási teljesítményre képes,
- az ömledék szakítószilárdsága Cr-mal vagy Mo-nel 900 MPa-ig növelhető.

Rutilos elektródák

A rutilos bevonatok névadója a TiO_2 tartalmú rutil ásvány, amelynek különleges tulajdonsága, hogy mind folyékony, mind szilárd állapotban jól vezeti a villamos áramot.

Az elektródabevonat ebből a komponensből 30-55 %-ot, tartalmaz. A további alkotók: 20% SiO_2 , 0-10 % $CaCO_3$, 5-10 % $FeMn$, 2-12 % cellulóz és 5-15 % vízüveg.

A rutilos elektródák salakja a sok TiO_2 és SiO_2 miatt erősen savas jellegű, ezért a savas szennyezők (S, P) eltávolítása rossz hatásfokú. A varrat hidrogéntartalma 15-25 ml/100g, ez a bevonat (egyébként nem szokásos) kiszáritásával sem mérsékelhető.

Az első anyagcsoporthoz tartozó ötvözetlen vagy gyengén ötvözött acélokhoz gyártott elektródák ömledékének folyáshatára 400-460 MPa, szakítószilárdsága 500-550 MPa, nyúlása legalább 25 %, átmeneti hőmérséklete $-20^\circ C$.

A rutilos elektródák nagyon kedvező hegesztési tulajdonságokkal rendelkeznek.

Egyenáram egyenes polaritás, vagy váltakozó áram használata egyaránt lehetséges. Az elektróda a bázikusnál finomabb, a savas bevonatú elektródáknál nagyobb cseppekben olvad le, beolvadási mélysége az egyenáram - polaritás miatt kisebb, mint a bázikus bevonatú elektródáké. Az ív könnyen gyullad és a rutil áramvezető képessége miatt az ívújragyújtás előtt sem kell salakolni. A sűrű salakú rutilos elektróda résáthidaló képessége kiváló, az él előkészítésre és az illesztés pontosságára csak közepesen érzékeny. A függőlegesen lefelé (PG- PJ) pozíciót kivéve minden térbeli helyzetben egyaránt jól használható. Salakja a varratfelszínről könnyen eltávolítható. Az elektróda íve nagyon rugalmas, az ívhosszváltozásra kevésbé érzékeny, ezért a gyakorlatlan hegesztők is sikeresen használhatják.

Több fajtájuk kiváló barkácsolóelektróda, mivel az alacsony üresjárású feszültséget adó olcsó transzformátorokkal is jól leolvaszthatók.

A rutilos elektródákkal készült varratok felülete sima, szabályosan pikkelyezett, esztétikus megjelenésű, a sarokvarrat a bázikus elektródára jellemzőnél kevésbé domború, közel síkalkakú. A DC- polaritásból adódóan a varrat beolvadási mélysége kisebb, a varratdudor nagyobb. A varratszél és az alapanyag átmenete folytonos (a varratszél hajlásszöge nagy), ami a hegesztett kötésnek az ismételt igénybevételekkel szemben kiváló ellenállást biztosít.

Kedvező hegesztési jellemzői miatt a kombinált bevonatok (rutil-savas, rutil-bázikus, rutil-cellulóz) bázis összetevője. Vastagbevonatú (RR jelű) változata a térbeli hegesztési képesség feladása árán nagy leolvasztási teljesítményt (akár 8 kg/h) tesz lehetővé.

Cellulóz elektródák

Az ötvözetlen cellulózozó elektródákat 1935 körül az Egyesült Államokban fejlesztették ki, csőhegesztési célokra. A cellulóz elektródák bevonatának névadó komponense a 10-50 % cel-

lulóz (faliszt, recirkulált papír), amit 20-30 % rutil, 5-10 % ferromangán, 15-30 % szilícium-dioxid (kvarc), 0-15 % karbonát és káli- vagy nátronvízűveg egészít ki. A hegesztési veszteségek kompenzálására az egyenáramú elektródák bevonatába kismennyiségű (5-10 %) vasport is adagolnak.

Az elektródák nátron-vízűveggel egyenáramú hegesztésre (DC+), káli-vízűveggel egyen- és váltakozóáramra (AC) egyaránt alkalmasak. A gyártók az egyenáramú elektródák gyökvarratához gyakran a kisebb beolvadási mélységet eredményező egyenes polaritást (DC-) javasolják. A cellulóz elektródáknál az alacsony hidrogéntartalmú szervesen kötőanyagok (vízűvegek) mellett vagy helyett hidrogénforrásként szereplő természetes és szintetikus kötőanyagok (szénhidrogénszármazékok) is alkalmazhatók (mivel az ömledék hidrogéntartalma nincs korlátozva).

A cellulóz elektródák mechanikai jellemzőiket tekintve a rutilos és bázikus elektródák között helyezkednek el. Az EN 499 szerinti E 38 3 C 2 1 alaptípus 390 MPa-os folyáshatárral, 470-550 MPa szakítószilárdsággal, legalább 22 %-os nyúlással és biztonságosan -20 °C-os átmeneti hőmérséklettel rendelkezik. Ötvözéssel növelt szilárdság és -40 °C-os átmeneti hőmérséklet érhető el. A mechanikai jellemzőket a fő alkalmazási terület igényeit követve a csőszilárdsági osztályokhoz és a környezeti hőmérsékletminimumhoz igazítják. A cellulóz bevonatú elektródák varrata nem olyan sima, mint a savas vagy rutilos elektródáké.

A cellulóz elektródák valamennyi hegesztési helyzetben jól alkalmazhatók, de fő jellegzetességük a függőlegesen lefelé irányuló hegesztésre való alkalmasság (PG pozíció). A felülről lefelé való hegesztés előnye, hogy nagyobb hegesztési sebesség érhető el, mint PF pozícióban, vagyis alulról felfelé végzendő hegesztéskor. Ezt az elektróda kistömegű, gyorsan dermedő, könnyen leváló salakja teszi lehetővé. A gyorsan dermedő salak egyben a résáthidalóképességet is javítja, de a felülről lefelé végzett hegesztéshez a gyors haladás miatt pontos illesztés szükséges.

A salaktulajdonságok és a nagyobb hegesztési sebességre való alkalmasság lehetővé teszi, hogy a térbeli helyzetekben a többi bevonathoz képest eggyel nagyobb elektródaátmérőt alkalmazhassunk. A cellulóz elektródák a hidrogén elégésének exoterm reakciója és a sok védőgáz fűvóhatása miatt növelt hegesztési sebességet és nagyobb beolvadási mélységet produkálnak. Ezért velük nagy hegesztési teljesítmény érhető el. Cellulóz bevonattal pl. egy-egy körvarrat a rutilos vagy bázikus bevonatú elektródákhoz viszonyítva 15-50 %-kal rövidebb idő alatt készíthető el (a nagyobb szám nagyobb csőátmérőhöz tartozik).

A cellulózbevonatú elektródák fröcskölési vesztesége jelentős, a szétrepülő cseppek ellen szükséges esetekben mechanikus takarással vagy összeolvadást gátló bevonatokkal lehet védekezni.

A védőgáz exoterm oxidációs reakció mellett képződik, ezért az elektróda sok füsttel olvad le.

A sok füst miatt a cellulózbevonatú elektródák elsősorban szabadtéri helyszíneken végzett hegesztésre alkalmasak. Fő alkalmazási területük a szabadtéri csővezetékek és szerelvényeinek hegesztése, ha a szerkezetekkel szembeni követelmények egyébként ezzel a bevonattípussal kielégíthetők.

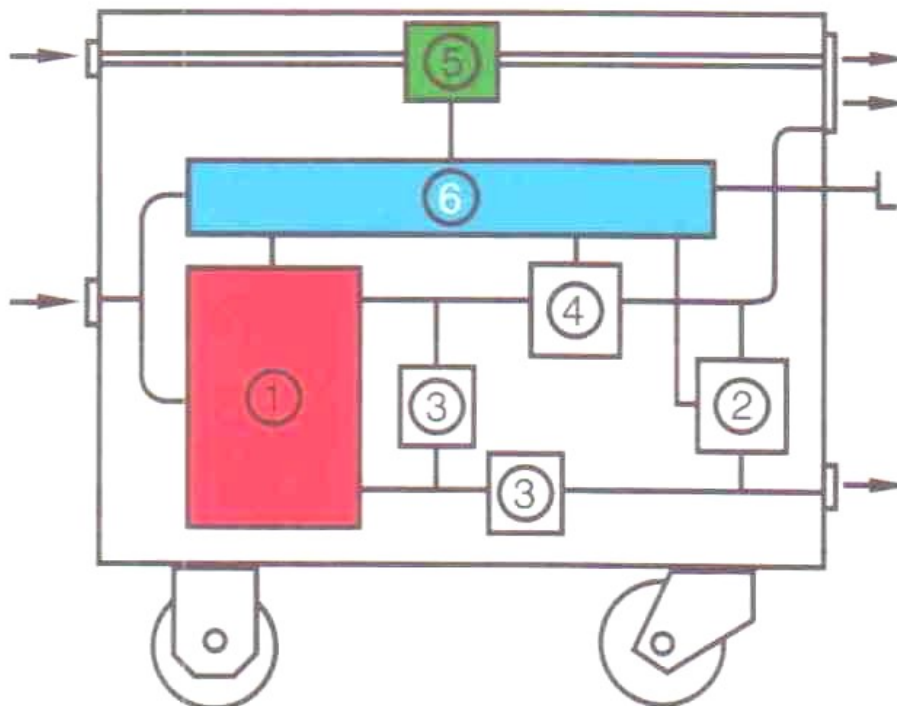
A cellulóz elektródák varratának magasabb hidrogéntartalmából ($H=30-200 \text{ ml/ } 100 \text{ g fém}$) származó hátrányokat jól kéntelenítő és foszfortalanító bázikus salakkal és enyhe ötvözéssel törekednek kiegyenlíteni. A szokásos ötvözőelemek a Mo és a Ni.

2.5.3. Volfrámelektrodás semleges védőgázos ívhegesztés

A volfrámelektrodás semleges védőgázos ívhegesztő áramforrással szemben támasztott követelmények

A korszerű áramforrás egyenirányító, vagy inverter típusú. Az áramforrás egyenáramú (DC) és váltóáramú (AC) üzemre egyaránt alkalmas. A csak egyenáramú gépekkel alumínium és hasonlóan stabil oxidokkal borított felületű fémek és ötvözeteik nem hegeszthetők. A korszerű áramforrások fokozat nélküli beállítását és a hegesztési adatok előzetes beprogramozását teszik lehetővé, továbbá alkalmasak az impulzushegesztésre.

A védőgázos ívhegesztő áramforrás típusai, főbb technológiai jellemzői, az inverteres áramforrás működési elve



49. ábra: Ívhegesztő transzformátor felépítése⁶²

1. **Transzformátor** (egy-, vagy háromfázisú): a hálózati áram átalakítása hegesztő árammá. A hálózati feszültség csökkentése az üresjárat, illetve a hegesztési feszültségre.
2. **Impulzusgenerátor**: nagyfrekvenciás, nagyfeszültségű impulzusokat állít elő az érintésmentes ívgyújtáshoz.
3. **Védőfójtás és védőkondenzátor**: védi a transzformátort a nagyfeszültségű impulzusoktól, ami különben a transzformátor tekercseit károsítaná.
4. **Szűrőkondenzátor**: kiegyenlíteni a hegesztéskor keletkező eltolt félhullámokat (egyenirányító hatás)
5. **Védőgáz mágnesszelep**: a védőgáz – hozzávezetés elektromágneses nyitása és zárása

⁶² Benus Ferenc: Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft, Visonta, 2011, 20.o.

6. **Vezérlőberendezés:** a hegesztőáram be és kikapcsolása. Az áramerősség beállítása. A védőgáz mágnes –szelepének vezérlése elő – és után áramlási idővel. Szűrőkondenzátor beállítása. Egyéb vezérlési feladatok

Hegesztőgenerátorok: forgó, egyenáramú áramforrás. A hegesztőáramot váltakozó áramú motor által hajtott egyenáramú generátor (dinamó) szolgáltatja.

Előnyei:

- Jók az ívgyújtási és hegesztési tulajdonságai
- Kis áramerősség tartományban jól szabályozható
- Hálózati ingadozásokra kevésbé érzékeny

Hátrányai:

- Az üresjárat teljessítményfelvétele nagy
- A hatásfoka rossz
- Szénkefék gyorsan kopnak
- Zajos, túlterhelésre érzékeny

Egyenirányítós áramforrás: áll háromfázisú transzformátorból, egyenirányító egységből és vezérlőegységből.

Előnyei:

- Jó a hatásfoka (60-80%)
- Kicsi az üresjárat teljessítményfelvétele
- Szimmetrikus a hálózatterhelése

Hátrányai:

- Porra érzékeny
- Feszültségingadozásra érzékeny
- Nagy karbantartási költség

Inverteres áramforrás: működési elve, hogy a váltakozó áramot egyenirányítja és kellően simítja a hálózati egyenirányító modul. Az inverter az egyenáramot a hálózatinál lényegesen nagyobb frekvenciájú váltakozó árammá alakítja, amit a transzformátor alakít át a megfelelő szintre. A legkorszerűbb áramforrás.

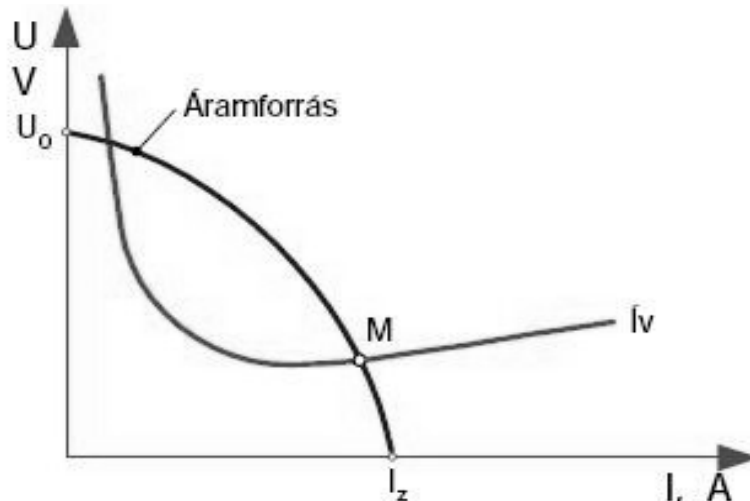
A nagyfrekvenciás ívstabilizátor és a szűrőkondenzátor feladata, működése

A nagyfrekvenciás ívstabilizátor (NF stabilizátor), ill. impulzusgenerátor az AVI-eljáráshoz az ívgyújtás megkönnyítésére beépített berendezés. Az *NF stabilizátor* használata esetén költséges zavaraszűrő rendszert kell beépíteni a környező tv-, ill. rádióvétel zavarásának kiszűrésére. Ezt a hátrányt küszöböli ki a nagyfrekvenciás *impulzusgenerátor*, ill. gyújtóberendezés, amely 50 Hz vagy valamivel nagyobb frekvenciájú impulzust állít elő több ezer voltos feszültséggel.

A szűrőkondenzátor feladata kiegyenlíteni a hegesztéskor keletkező eltolt félhullámokat (egyenirányító hatás)

Az áramforrás eső jelleggörbéjének jellemzői, a munkapont fogalma

A hegesztő áramforrás tulajdonságát jellemzi a statikus jelleggörbe, amely az áramerősség és a feszültség kapcsolatát írja le. Az ábra meredeken eső statikus jelleggörbét szemléltet, feltüntetve a hegesztőív statikus jelleggörbét is. Az áramforrás és a hegesztőív statikus jelleggörbéjének metszéspontja a munkapont.



50. ábra: Az AVI áramforrás és az ív karakterisztikája⁶³

Az ábrán lévő **M** pont jelenti a munkapontot, ahol az ív és az áramforrás karakterisztikája találkozik. Csak ebben a pontban lehetséges hegesztés.

Az AVI- hegesztőáramkör jellemzői, a folyamatos ívű AWI- hegesztés áramlefutása

Az AVI hegesztőáramkör egyedi jellemzője, hogy az ív egy nem olvadó volfrámelektrod és a munkadarab között jön létre. Folyamatos ívű hegesztés esetén ismerünk **2 ütemű és 4 ütemű** áramlefutást. A pisztoly kétütemű kapcsológombjának lenyomásával nyit a védőgáz szelep, és a nagyfrekvenciás ívgyújtás a munkadarab érintése nélkül megtörténik. Az ív mindaddig ég, amíg a gomb benyomott állapotban van. A gomb elengedésével az áramellátás megszűnik, a védőgáz megadott érték szerint még utánáramlik.

Négyütemű kapcsoláskor a gomb benyomásával nyit a mágnesszelep, és megtörténik nagyfrekvenciás ívgyújtás, elengedéskor folyik az áramforráson beállított hegesztőáram. A gomb másodszeri benyomásával az áram lecsökken a beállított minimális értékre. Az áramlefutás ideje szintén előre beállítható. A gomb másodszeri elengedése kikapcsolja az áramot, és a védőgáz a beállított idő értéknek megfelelően utánáramlik.

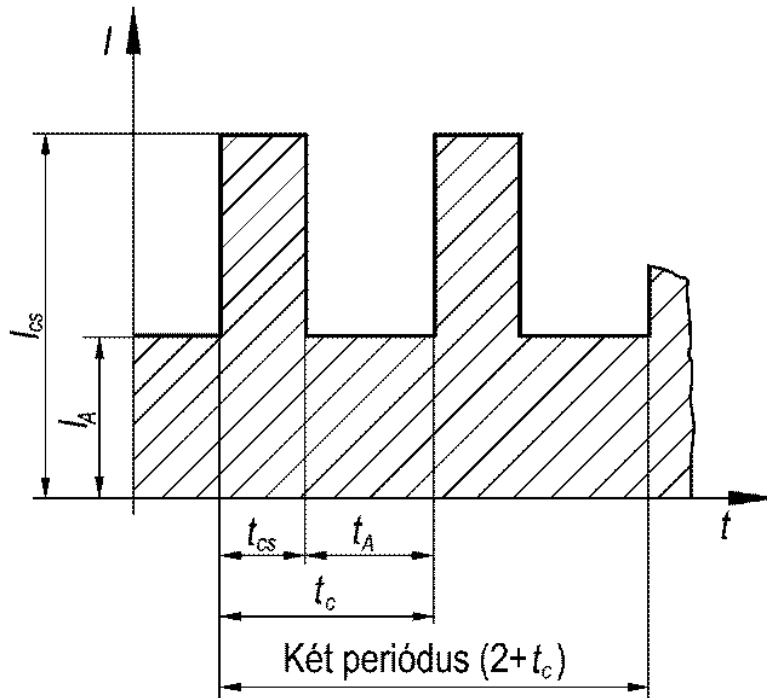
A lüktetőívű AWI-hegesztés elve, a hőbevitel változása, a hegesztés áramlefutása

Az impulzusos AWI-eljárás alapelve, hogy a hegesztőáram nem állandó, hanem előre beállított, meghatározott frekvenciával lüktet. A hegesztőáram polaritás váltás nélkül egy viszonylag kis alap – és egy nagy impulzusáram között változik szabályos ismétlődéssel. A különbség a frekvenciában van. A lüktetőíves hegesztéskor a frekvencia sokkal kisebb, általában 0,2... 2 Hz.

Az AWI eljárásnál az áram időbeni változásának a célja a hegfürdő szabályozása. Az eljárás előnye, hogy a hegfürdő jobban kezelhető kényszerhelyzetben, és vékony szelvények hegesztésekor könnyebb a hegesztés. A volfrámelektroda az áramimpulzusok ideje alatt

⁶³ Benus Ferenc: Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft, Visonta, 2011, 18.o.

jobban terhelhető, mivel az impulzusok közti szünetben van ideje lehűlni, ezért mélyebb beolvadás érhető el, mint állandó áramú hegesztéskor, továbbá a szövetszerkezet is kedvezőbben alakul.



51. ábra: Áram le- és felfutás négyzetes áramimpulzus esetén⁶⁴

I_{cs} csúcsáram; I_A alapáram; t_{cs} csúcsáram idő; t_A alapáram idő; t_e a ciklus időtartama; I_f impulzusfrekvencia; $f=1/t_e$

Az impulzusos AWI-eljárás előnye, hogy a hegfürdő jobban kezelhető, kényszerhelyzetben könnyebb a hegesztés, a volfrám elektróda az áramimpulzusok ideje alatt jobban terhelhető, mivel az impulzusok közti szünetben van ideje lehűlni, mélyebb beolvadás érhető el és a szövetszerkezet kedvezőbben alakul.

A **volfrámelektroda** a hegesztőív létrehozásakor anódként, vagy katódként szereplő, bevonat nélküli volfrámpálca, amelyben egyes esetekben oxidadalékok vannak az elektron kibocsátás fokozására.

A volfrámelektrodák 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,4; 3,2; 4,0; 6,4 és 10 mm átmérővel készülnek.

Az elektrodák hossza: 50; 70; 150 és 175 mm.

A Volfrámelektroda adott feladathoz való kiválasztásának szempontjai

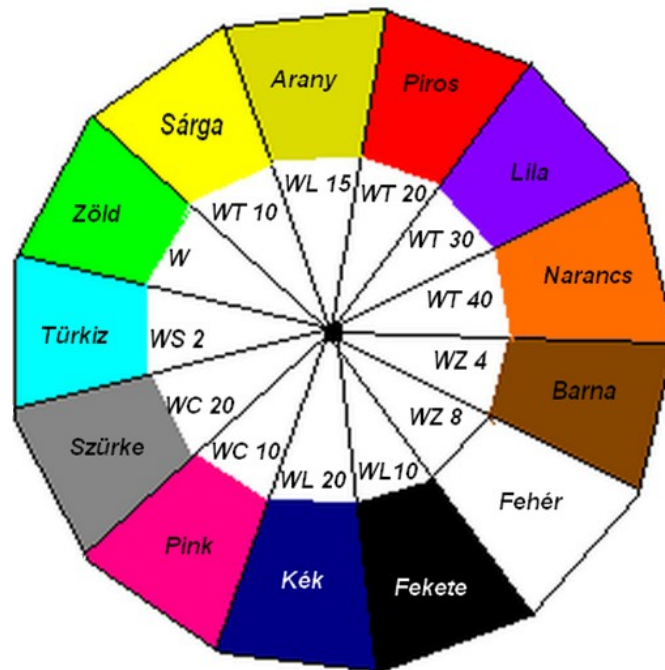
Az elektrodát és a megolvadt fémeket semleges védőgáz védi a levegő hatásaitól. Ennél a hegesztési eljárásnál tehát a volfrámelektroda igen fontos szerepet játszik. Ennek kiválasztása nagy jelentőséggel bír, ennek ellenére Magyarországon általában csak három típust preferálnak a hegesztő szakemberek.

Ezek a zöld végű tiszta volfrámelektroda (W), a piros végű tórium-oxiddal ötvözött (1,8-2,2%) (WT20) volfrámelektroda és ritkán az arany végű lantán-oxiddal ötvözött (1,2-1,8%) (WL15) volfrámelektroda.

Tapasztalataink alapján elmondhatjuk, hogy iparunk 90%-ban ezeket a volfrám-elektrodákat alkalmazza, miközben a világon 13 típust gyártanak.

⁶⁴ Benus Ferenc: Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft, Visonta, 2011, 19.o.

A következő táblázat az összes volfrámelektroda típust ábrázolja ötvözésük és felhasználhatóságuk alapján.



52. ábra: Volfrámelektrodák színjelölése⁶⁵

Színjelölés	Megnevezés	Ötvözőelemek	Felhasználhatóság
zöld	W	99,5% tiszta volfrám	csak alumínium (AC)
barna	WZ4	0,3-0,5% cirkonium-oxid	ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok valamint ausztenites acélok (DC)
fehér	WZ8	0,7-0,9% cirkonium-oxid	
sárga	WT10	0,9-1,2% tórium-oxid	
piros	WT20	1,8-2,2% tórium-oxid	ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok, ausztenites acélok, alumínium (AC/DC)
lila	WT30	2,8-3,2% tórium-oxid	
narancs	WT40	3,8-4,2% tórium-oxid	
fekete	WL10	0,9-1,2% lantán-oxid	
arany	WL15	1,2-1,8% lantán-oxid	
kék	WL20	1,8-2,2% lantán-oxid	
pink	WC10	0,8-1,2% cérium-oxid	

14. táblázat: Volfrámelektrodák színjelölése és felhasználhatósága⁶⁶

Az AWI hegesztőpisztoly feladatai, biztonságos kezelésének előírásai

A hegesztőpisztoly feladata az ív létrehozásához, fenntartásához szabályozásához és védelméhez szükséges alkatrészek befoglalása és a szükséges elektromos, gáz illetve hűtővízáramlás biztosítása. A pisztolyokat a rajtuk átfolyó áram hevíti, ezért hűtésükről gondoskodni kell, így lehetnek léghűtésesek vagy vízhűtésesek.

Az AWI hegesztéshez alkalmazott argon védőgáz előállítása, tulajdonságai, szabványos nemzetközi jelölése

⁶⁵ Benus Ferenc: Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft, Visonta, 2011, 4.o.

⁶⁶ Benus Ferenc: Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft, Visonta, 2011, 4.o.

A levegő nitrogén és oxigén keveréke (99%). A fennmaradó 1%-ot argon, szén-dioxid és más nemesgázok alkotják. Az oxigént, a nitrogént, az argont, illetve a többi nemesgázt, tehát a neon, xenont, héliumot és kriptont mélyhőmérsékletű levegő szétválasztással nyerjük ki a levegőből.

Az argon a levegőnél nehezebb, színtelen, szagtalan nemesgáz, vegyjele: *Ar* (inert). Az argon nem mérgező.

Az argon védőgázokat a tisztaságuk alapján jelöljük pl: 99,995 % argon tartalom jele 4.5, azaz 4 db 9-es és egy 5-ös a végén.

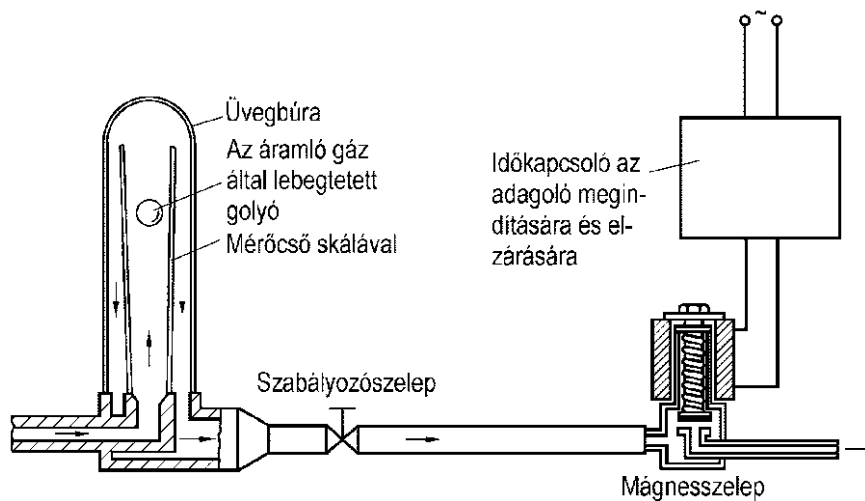
Nemzetközi jelölése az MSZ EN ISO 14 175 szabvány szerint I 1

A védőgázpalackban lévő gáz mennyiségének meghatározása: A meghatározáshoz szükség van a palack térfogatára és nyomására. Például: 40 literes palack 150 bar nyomáson van tárolva akkor $40 \cdot 150 = 6000$ liter gáz van benne.

A gázélvétel módja, a nyomáscsökkentő típusai, a rotaméter működése

A gázélvétel a nyomáscsökkentőn (reduktoron) keresztül történik. A nyomáscsökkentő feladata, hogy a palackban, illetve csővezetékben lévő túlnyomást nyomást az üzemi nyomásra csökkentse, azt állandó értéken tartsa, és lehetővé tegye a folyamatos gázélvételt.

A **rotaméter** az a mérőműszer, ami az átáramlott gáz mennyiségét méri, átfolyásmérőnek is nevezik.

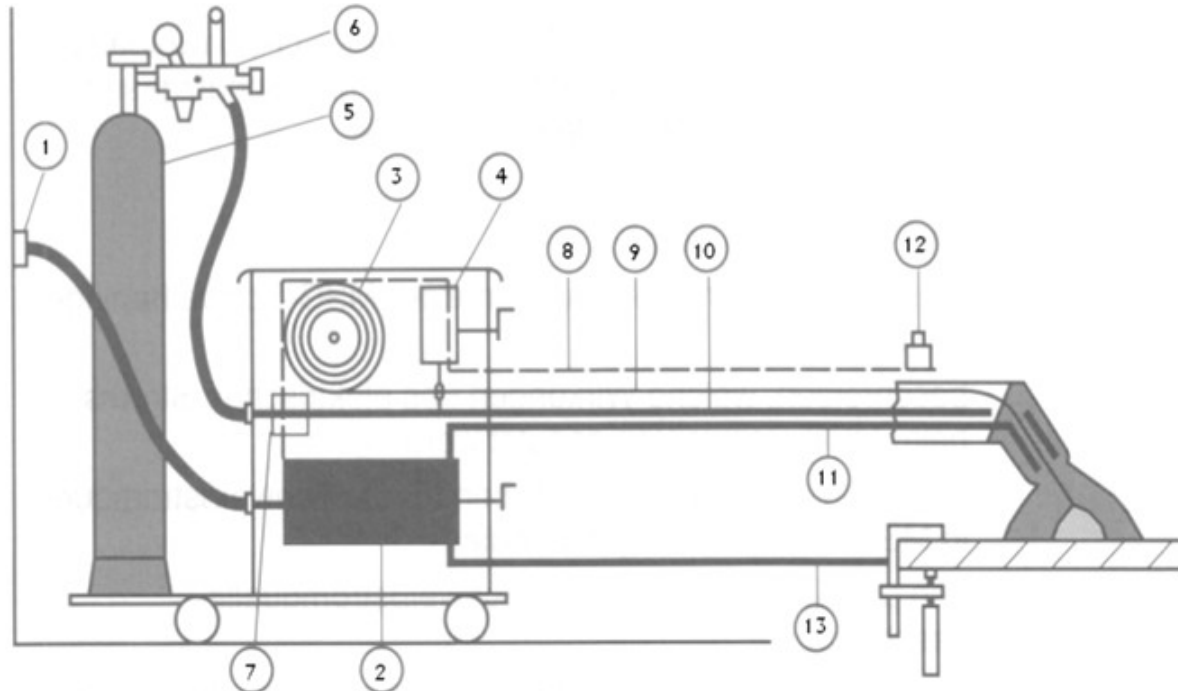


53. ábra: Átfolyás mérő⁶⁷

⁶⁷ Benus Ferenc: Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft, Visonta, 2011, 10.o.

2.5.4. Fogyóelektródás, védőgázos (MÍG/MAG hegesztés)

A védőgázos ívhegesztő berendezés felépítése, szerkezeti részei, működési elve, a hegesztőáramkör jellemzői



54. ábra: A védőgázos ívhegesztő berendezés felépítése⁶⁸

1. Hálózati csatlakozó; 2. Hegesztő egyenirányító; Hegesztőhuzal; 3. Huzaldob;
4. Huzalelőtoló berendezés; Védőgáz: 5. Védőgázpalack, 6. Nyomáscsökkentő,
7. Védőgáz-mágnesszelep Tömlőköteg: 8. Vezérlőkábel, 9. Spirál, 10. Védőgáztömlő,
11. Áramvezető kábel, 12. Hegesztőpisztoly, 13. Test kábel

A védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztés nyíltívű hegesztés. Az ív egy gázburokban ég. Ez a gázburok védi meg a hegfürdőt a légkör kedvezőtlen hatásaitól. A hegesztőanyag felcsévélte hegesztőhuzal, amelynek a beállított sebességű előtolását egy huzalelőtoló egység biztosítja. A huzalt a hegesztőfejjel vezetjük a hegesztés helyére. A huzalt a huzalelőtoló egység csévéli le a huzaltároló dobáról és tolja a hegesztőfejen keresztül a hegesztés helyére. A hegesztőfej pisztolyalakú, amely a hegesztő kezébe jól beleillik. A hegesztőfejhez csatlakozik a gázvezeték, a vezérlőkábel, a huzalvezető és az áramvezeték, valamint benne van az áramhozzávető kontaktus is. Nagyobb hegesztési teljesítmények esetében a hegesztőfejet vízzel kell hűteni, ezt a hegesztőfejbe vezetett hűtővízzel lehet megoldani, amihez egy külön keringető rendszert alkalmaznak.

A védőgáz a fűvókán keresztül áramlik ki és körülfogja az ívet, valamint a hegfürdőt. Az alkalmazott védőgáz argon, hélium, oxigén és széndioxid keverékéből állhat.

A védőgázos, fogyóelektródás hegesztéseknél általában egyenáramot és fordított polaritást használnak (az elektródahuzal pozitív), mivel ezzel az áram nemmel és polaritással a legkisebb a fröcskölés, stabil az ív, és egyenletes az anyagátmenet. A védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztés az alkalmazott gáz fajtájától függően lehet:

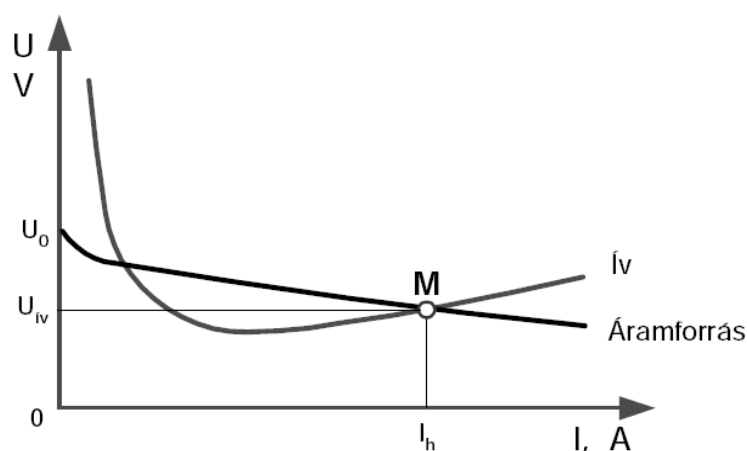
⁶⁸ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 15.o.

- semleges védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztés,
- aktív védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztés,
- keverék védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztés.

Aktív védőgázos hegesztésnél a hegfürdő védelmét a széndioxid biztosítja. Az aktív jelző az elnevezésben arra utal, hogy az ív nagy hőmérsékletén a széndioxid elbomlik szénmonoxidra és oxigénre. Az atomos állapotú oxigén az olvadt fémekben oldódik. Az oldott oxigén az acélt ridegíti, ezért azt dezoxidens ötvözőkkel, vegyületek formájában kell megkötni. A varratba bekerült oxigént a hegesztőhuzal ötvözői dezoxidálják, s így az oldott oxigén mangánoxid, szilíciumdioxid, vagy titándioxid formájában már nem jelent veszélyt a hegesztési varrat szilárdságára és ütőmunkájára, azaz a varrat szívós marad.

Az áramforrás lapos jelleggörbéjének jellemzői, a munkapont beállítása

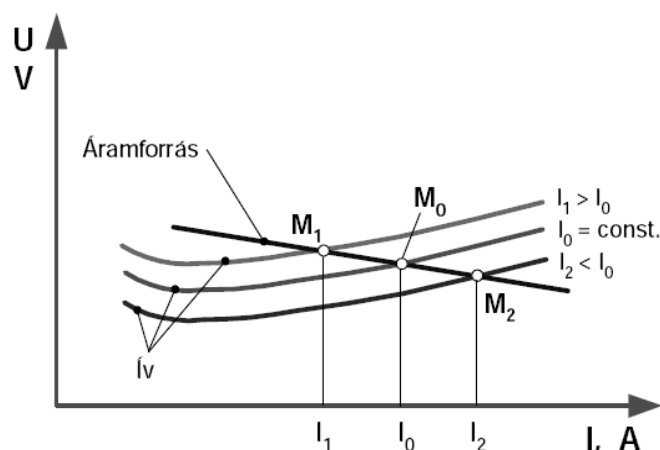
Az áramforrás jelleggörbéje közel vízszintes, azaz feszültségtartó, belső szabályozásra alkalmas feltételeket biztosít.



55. ábra: Az áramforrás és az ív jelleggörbéje⁶⁹

A hegesztés csak az ív jelleggörbéje és az áramforrás jelleggörbéjének metszéspontjában jöhet létre, ott is csak akkor, ha megfelelő áramerősség áll rendelkezésre.

Belső szabályozás



56. ábra: Belső szabályozás⁷⁰

A belső szabályozás az ábra segítségével érthető meg. A belső szabályozás állandó sebességű huzalelőtolással működik. A nagyobb ívhosszhoz kisebb munkaponti áram tartozik, tehát

⁶⁹ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 16.o.

⁷⁰ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 17.o.

amikor az ívhossz véletlen megnövekedése következik be akkor az áramerősség csökkenésével lassul a leolvadás, ezzel az ívhossz csökken tehát az eredeti állapot áll vissza. Az ívhossz véletlen csökkenésekor ellenkező folyamat játszódik le: megnő a munkaponti áramerősség, gyorsul az elektróda leolvadása, emiatt az ívhossz megnő, így visszaáll az eredeti állapotba.

A védőgázos ívhegesztő áramforrás típusai, főbb technológiai jellemzői

Felépítés szerint:

- Kompakt, zárt rendszerű, huzalelőtollóval egybeépített áramforrás 0,8-1,2 mm átmérőjű huzallal, legfeljebb 3-5 m hosszú hegesztőtömlővel.
- Univerzális, különálló huzalelőtolló berendezéssel szerelt áramforrás 0,8-2,4 mm huzalátmérővel. A huzalelőtolló és az áramforrás között tetszőleges a távolság, a huzalelőtolló és a pisztoly között 3 m.

Típusok:

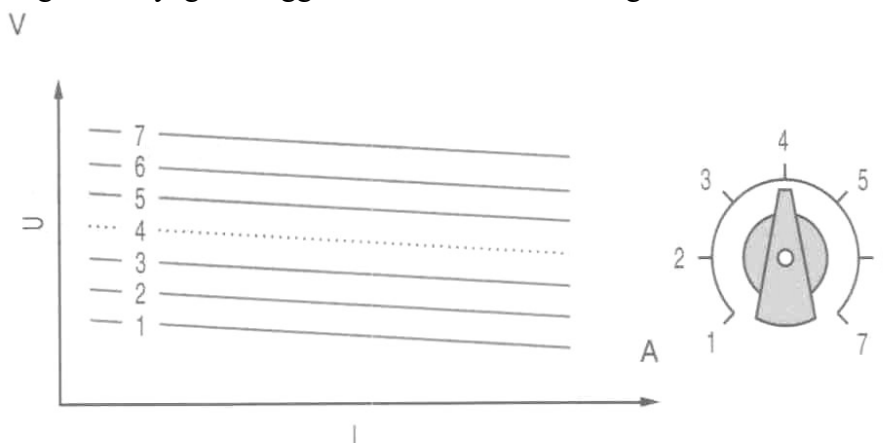
- Egyenirányító (hagyományos kialakítású)
- Átalakítók (inverter, elektronikus szabályozású)

A villamos ív keletkezésének folyamata, az egyenáramú hegesztőív jellemzői, az ív statikus jelleggörbéje

Az ívhegesztés során a szükséges hőmennyiséget a hegesztőív szolgáltatja. A hegesztőív szilárd vagy cseppfolyós halmazállapotú fémek között, gázközegben végbemenő hosszantartó villamos kisülés.

A gázok normál állapotban nem vezetnek a villamos áramot, ionizált állapotban azonban vezetővé válnak, és villamos ív keletkezik. Az ív gyújtása rövidzárlattal történik. Az érintkezési felületek, mint a legnagyobb ellenállási helyek, erősen felmelegednek, a levegő pedig ionizálódik, a semleges atomok negatív töltésű elektronokra és pozitív töltésű ionokra esnek szét.

A felizzott elektróda szintén elektronokat bocsát ki. A negatív elektronok az elektromos erőter hatására felgyorsulva igen nagy sebességgel haladnak a pozitív sarok felé. A lényegesen kisebb sebességű, de anyagi tömeggel rendelkező ionok a negatív sarok felé haladnak.

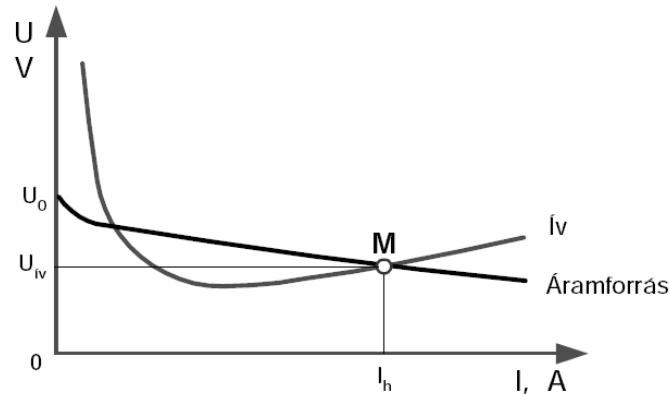


57. ábra: Statikus jelleggörbe⁷¹

A statikus jelleggörbe egyenes, amely az áramforrás által előállított, összetartozó feszültség-áramerősség értékeket mutatja. A különböző összetartozó értékek az ábrán látható vonalseregnek felelnek meg.

⁷¹ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 23.o.

A villamos ív statikus jelleggörbéjének és az áramforrás jelleggörbéjének kapcsolata, a munkapont és a polaritás fogalma



58. ábra: Az áramforrás és az ív jelleggörbéje⁷²

A **munkapont** az a pont ahol az ív és az áramforrás találkozik. Ebben a pontban lehetséges csak a hegesztés. A kis áramerősségnél lévő találkozási pont azért nem lehet munkapont, mert az áramerősség túl kevés a hegesztéshez.

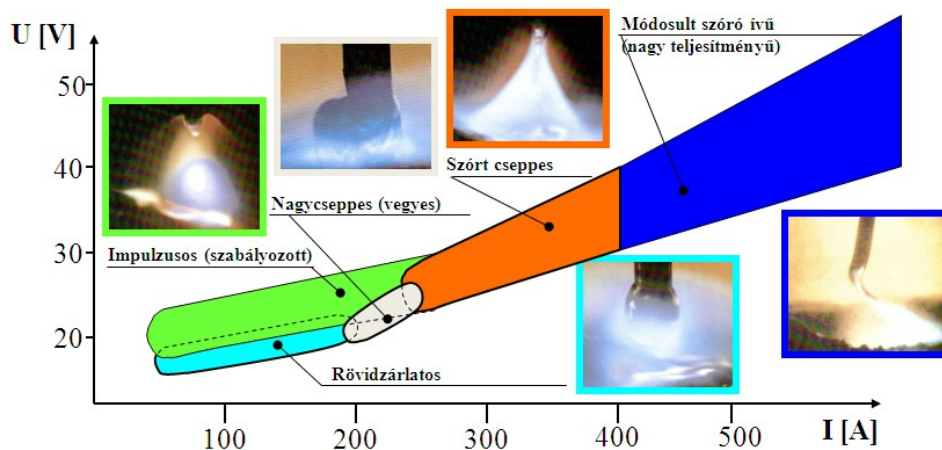
Polaritás: azt mutatja meg, hogy az elektróda illetve a munkadarab van e pozitív, illetve a negatív oldalon. Ha az elektróda van a negatív oldalon, akkor egyenes polaritás (DCEN), ha a negatív oldalon, akkor fordított polaritás (DCEP).

A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés ömlesztő folyamata, a varrat kialakulása, cseppátmeneti formák

Védőgázos ívhegesztéskor egy vagy több, az elektróda és a munkadarab - vagy két elektróda között - égő hegesztőív hatására alakul ki a hegfürdő. A hegesztőívet, a hegfürdőt és az elektródát a levegő káros hatásától védőgáz óvja.

Az anyagátmenet a védőgáztól és a hegesztési jellemzőktől függően többféle lehet.

Anyagátmenetek



59. ábra: Anyagátmenetek⁷³

Az impulzus ívű anyagátmeneti tartomány gyakorlatilag a rövidzárlatos és a nagyecseppes tartományok helyett nyújt választási lehetőséget.

⁷² Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 23.o.

⁷³ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 41.o.

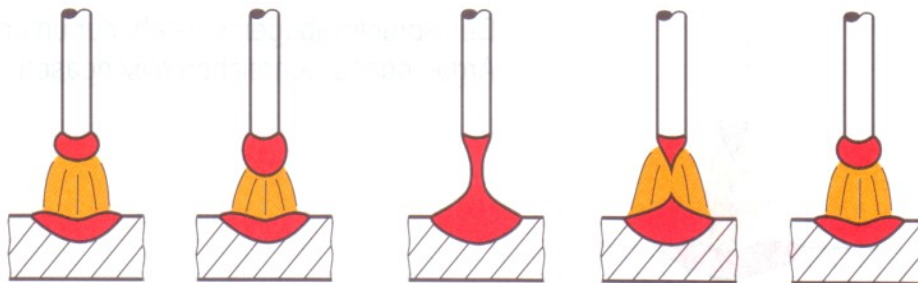
Impulzus hegesztés esetén magasabb feszültség szükséges, mint rövidzárlatos anyagátmenet esetén.

A módosult szóró ívű tartomány két részre osztható: forgó ívű és moderált szóró ívű.

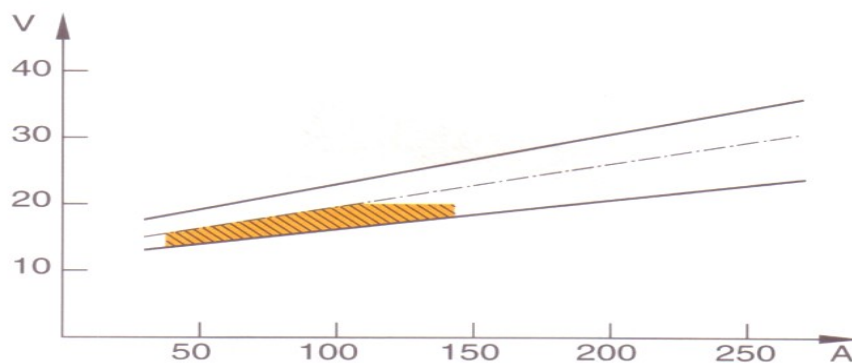
Fogyóelektródás ívhegesztésnél alkalmazott ívfajták és cseppátmenetek

Rövid ív jellemzői:

- Rövidzárlatos cseppátmenet
- Sűrűn folyó hegfürdő
- Másodpercenként kb. 70-120 cseppleválás
- Anyagátmenete egyenletesen finomcseppes csak rövidzárlásban.
- Beállítási tartománya kis feszültség-kis áramerősség
- Alkalmazása vékonylemezek gyökvarratok és vízszintestől eltérő helyzetekben PE-PF-PG-PC



60. ábra: Rövidzárlatos cseppátmenet⁷⁴



61. ábra: Rövid ív beállítási tartománya⁷⁵

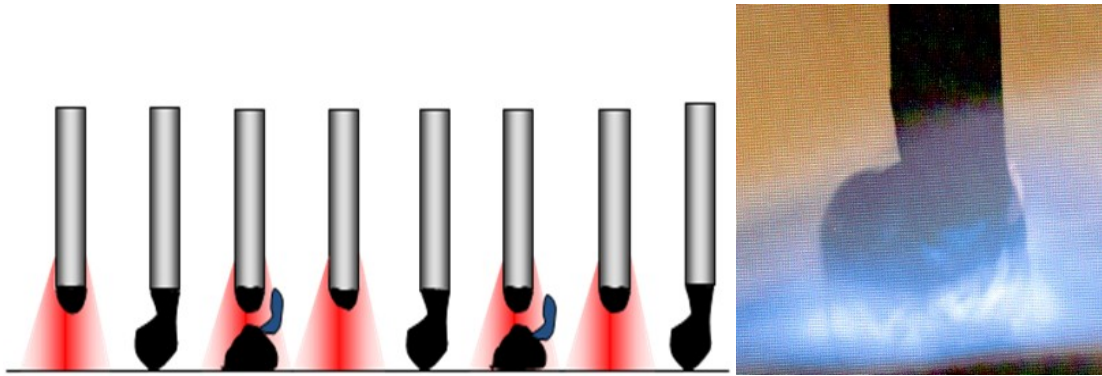
Nagycseppes anyagátmenet jellemzői:

- Nagycseppes anyagátmenetnél a csepp mérete nagyobb, mint a huzal átmérője
- Rövidzárlatok és ívek sorozata váltja egymást
- A nagyszámú és nagy átmérőjű fröcskölés elkerülhetetlen
- Az ívnek elegendő hosszúnak kell lennie, hogy biztosítsa a nagyméretű csepp leválását
- Magasabb feszültség mégsem ajánlatos, mert az kötéshibát, elégtelen beolvadást és szélbeégést okozhat

A veszélyek miatt a nagycseppes anyagátmenetet érdemes elkerülni!

⁷⁴ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 42.o.

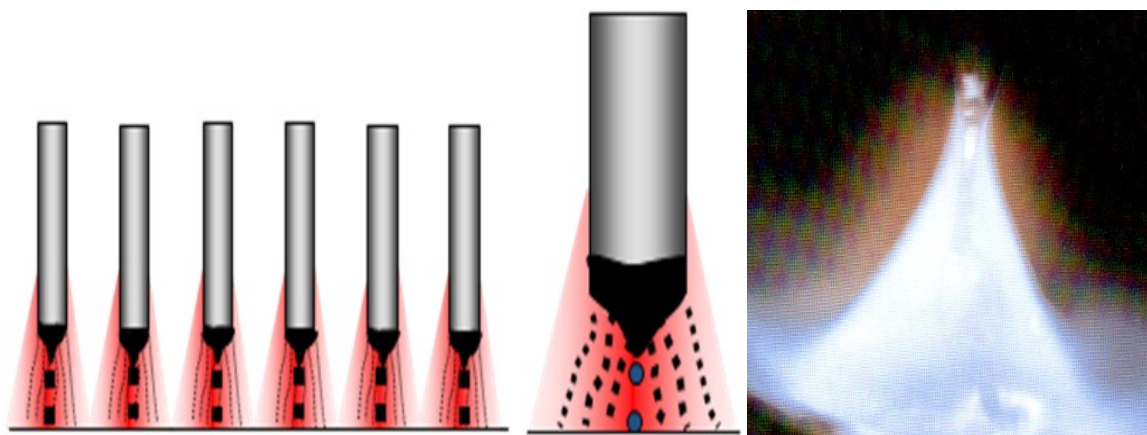
⁷⁵ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 21.o.



62. ábra: Nagycseppes anyagátmenet⁷⁶

Szórt cseppes anyagátmenet:

- Rövidzárlat nélküli, permetszerű anyagátmenet (másodpercenként cseppek százai)
- Az ív stabil, fröcskölés szegény és termelékeny hegesztést eredményez
- A kritikus áramerősség (áramsűrűség) felett alakul ki
- Argonbázisú gáz szükséges a kialakulásához
- A nagy áramerősség miatt vékony lemezek esetén nem alkalmazható
- Alumínium esetén jó az oxidbontás
- Vályú helyzetű varratok esetén kiváló



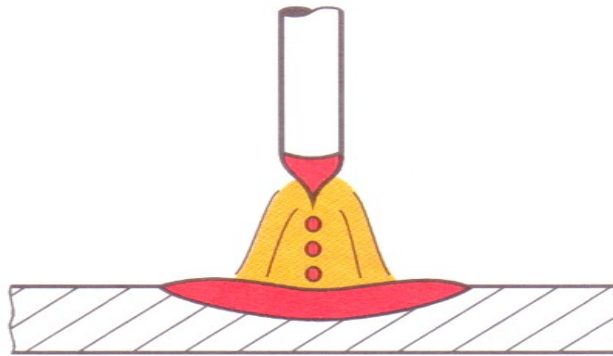
63. ábra: Szórt cseppes anyagátmenet⁷⁷

Szóróív jellemzői

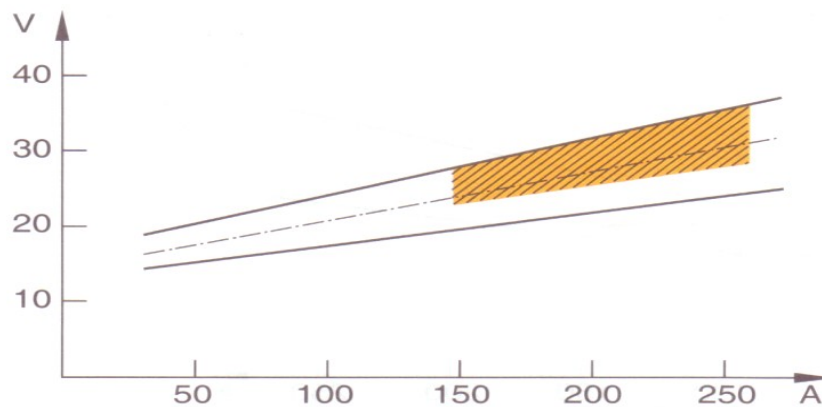
- Rövidzárlat mentes
- A hegfürdő híg folyós
- Másodpercenként kb 100-300 cseppeválás
- Szóróív csak argon, vagy argonbázisú keverékgáz esetén alakul ki.
- Nagy feszültség, nagy áramerősség

⁷⁶ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 41.o.

⁷⁷ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 42.o.



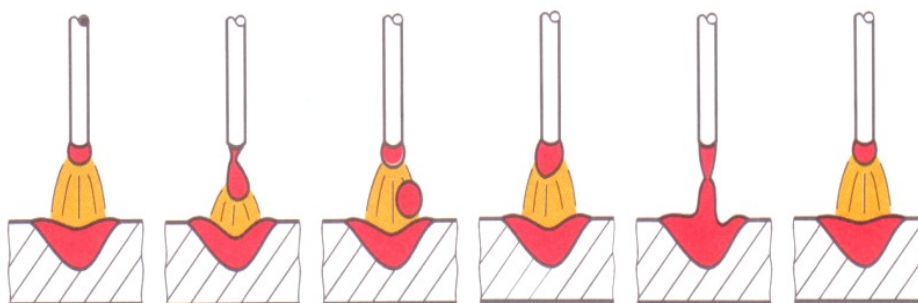
64. ábra: Szoróív⁷⁸



65. ábra: Szoróív beállítási tartománya⁷⁹

Hosszúív jellemzői:

- Cseppátmenet durvacseppes, nem rövidzárlatos
- A hegfürdő hígfolyós
- Másodpercenként kb.100-150 cseppleválás
- Beállítási tartománya 20 V és 150 A felett

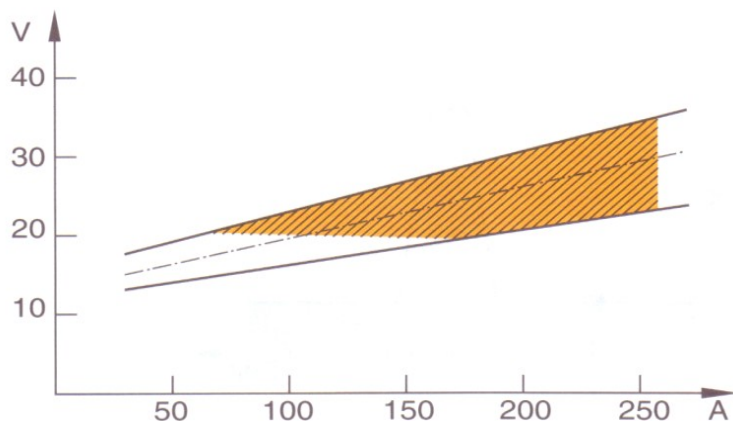


66. ábra: Hosszúív jellemzői⁸⁰

⁷⁸ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 42.o.

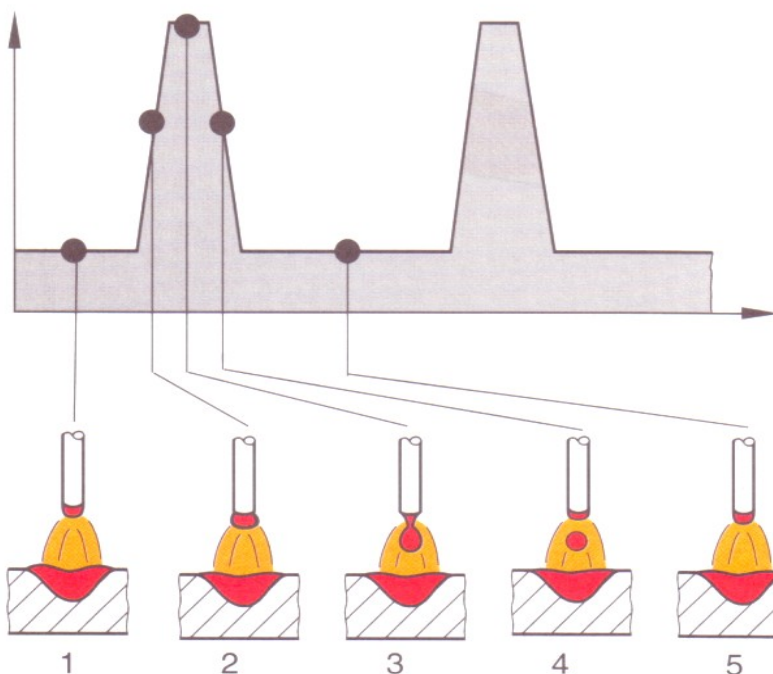
⁷⁹ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 42.o.

⁸⁰ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 42.o.



67. ábra: Hosszúív beállítási tartománya⁸¹

Lüktetőívű hegesztés



68. ábra: Lüktetőívű hegesztés folyamata⁸²

Az ív kis alapáramon ég, a huzal megolvad. Az impulzusáram értékére növekvő áram megnöveli a huzal végén lévő cseppet, egyidejűleg növekszik a csepp nyakát beszűkítő, cseppleválast elősegítő hatás (pinch-hatás). A csepp a huzal végéről leválik rövidzárlat nélkül. Az áramerősség lecsökken az alapáram értékére. Az ív alapáramon ég a következő áramimpulzusig, ami a huzal újabb megolvadását indítja el, de nem vezet a csepp leválásához

Impulzusos (lüktető) ívvel az áramimpulzusok periodikusságának beállításával irányított cseppátmenet jön létre. Az alapáram megakadályozza az ömledék és az elektródavég megdermedését, míg erősebb áramimpulzus hatására egy vagy több cseppben megy át az anyag. Helyes munkarendi adatok megválasztása esetén egy csepp-egy impulzus állapot alakul ki. Semleges vagy nagy százalék argont tartalmazó védőgáz használata szükséges.

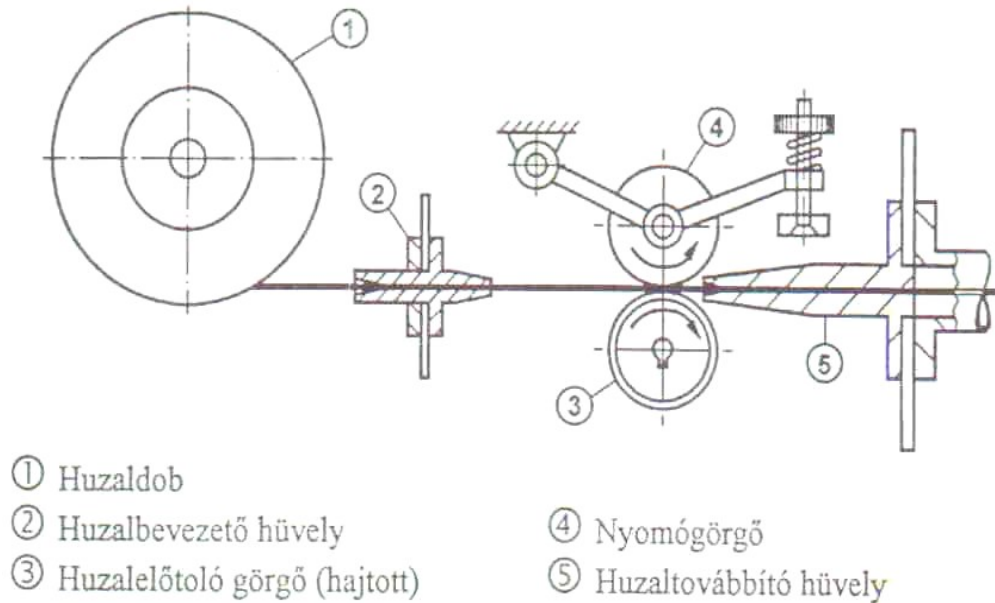
⁸¹ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 42.o.

⁸² Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 43.o.

A huzalelőtoló berendezés feladatai

A huzalelőtoló berendezés feladata az, hogy a huzalt egyenletesen, kihajlás nélkül továbbítsa egy előre beállított sebességgel. A huzal nem csúszhat meg, illetve nem sérülhet meg az előtolás következtében.

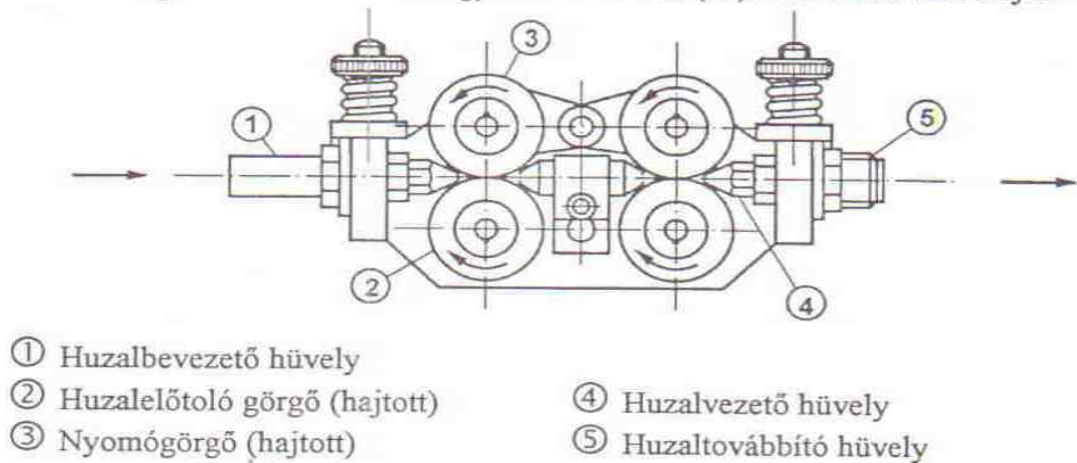
Kétegörgős hajtás



69. ábra: Kétegörgős hajtású huzalelőtoló⁸³

Négygörgős hajtás

Ezt főként porbeles huzalok és lágy tömörhuzalok (Al) előtolására használják.



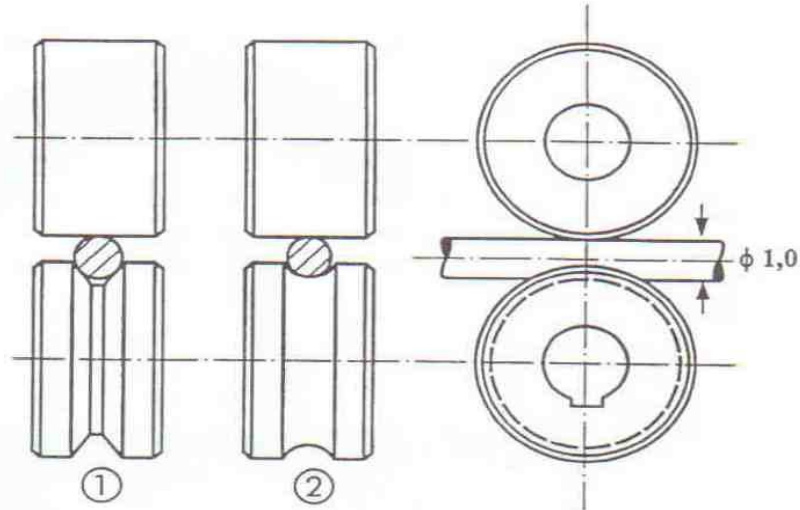
70. ábra: Négygörgős hajtású huzalelőtoló⁸⁴

⁸³ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 5.o.

⁸⁴ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 5.o.

Előtoló görgők

- ① Ékhornyos görgők acélhuzalok előtolásához
- ② Körhornyos görgők alumínium huzalok előtolásához



71. ábra: Előtoló görgők⁸⁵

A hegesztőpisztoly feladatai, felépítése, működése, szerelhető alkatrészei

A hegesztőpisztoly feladata a huzal vezetése illetve a védőgáz vezetése a varrathoz. A hegesztőpisztoly lehet léghűtéses és vízhűtéses. A vízhűtéses pisztolyok a kézi vagy a gépi hegesztési eljárás pisztolyai.

Alkalmazási területük:

- léghűtéses vagy gázhűtéses pisztoly kb. 250 A-ig,
- vízhűtéses, kézzel vezetett pisztoly kb. 500 A-ig,

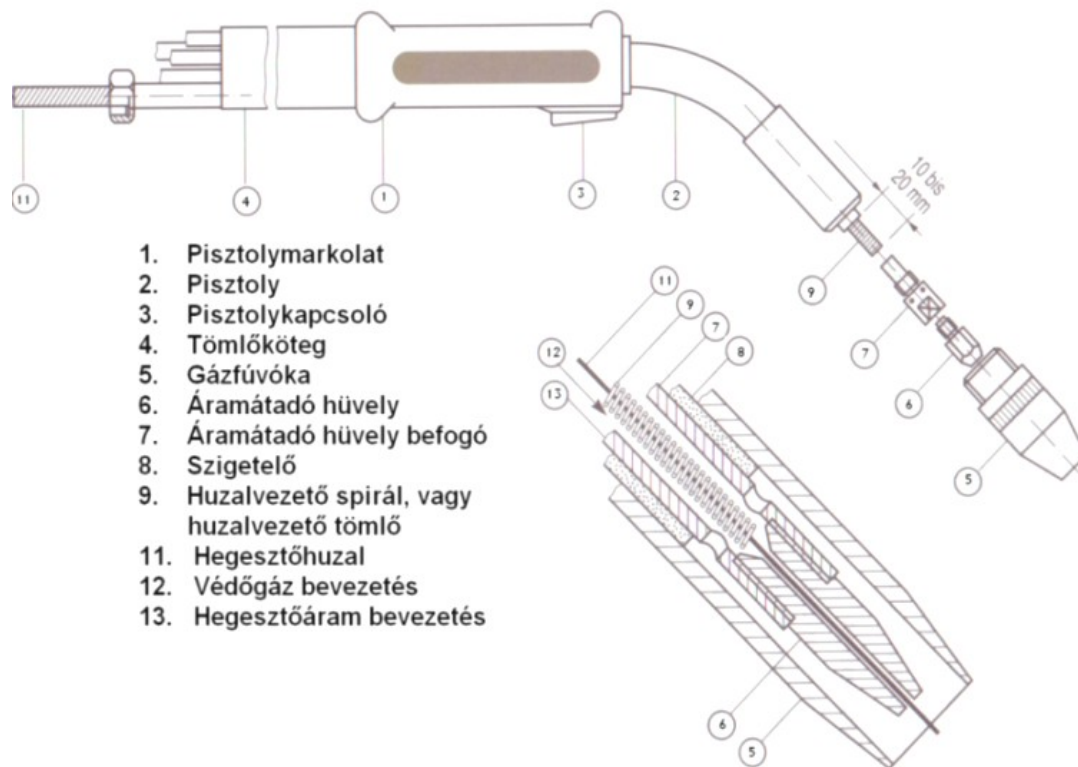
A jó hegesztőpisztolynak a lehető legkönnyebbnek kell lennie. Hosszú varratok hegesztésekor nehéz fizikai munkát jelent a hegesztőpisztoly megfelelő szögben tartása és vezetése.

A pisztoly kiválasztásának szempontjai:

- feleljen meg a legnagyobb hegesztőáramnak,
- a védőgáz és a vízhűtés megfelelő szigetelése legyen kifogástalan,
- a gyakran kopó alkatrészek könnyen cserélhetők és olcsók legyenek,
- a hegesztőtömlő legyen hajlékony és könnyű.
- Szerelhető alkatrészei: áramátadó hüvely, gázterelő fúvóka.

⁸⁵ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 5.o.

A kábelköteg felépítése, csatlakozásai, hibalehetősége






72. ábra: Kábelköteg felépítése ⁸⁶

A tömlőköteg tartalmazza az áramvezető sodrott rézkábelt, a hűtővíz tömlőket, a védőgáz tömlőt, a vezérlőkábeleket és a huzalvezető tömlőt. Hibalehetőségek: a köteg szakadása, sérülése.

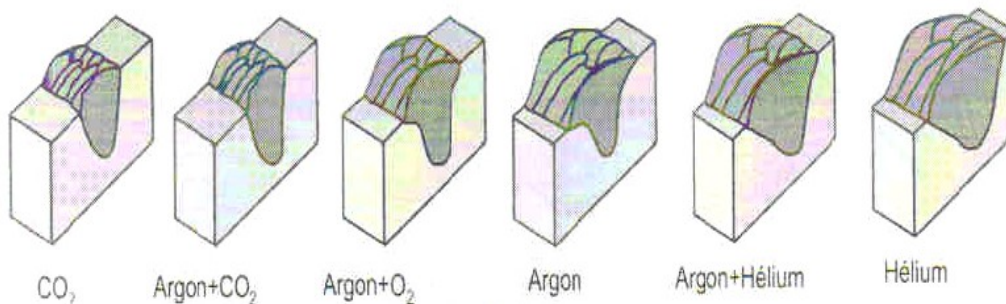
Az áramerősség, a feszültség, a hegesztési sebesség és a védőgáz hatása a varrat alakjára fogyóelektródás védőgázos ívhegesztéskor

Az áramerősség növelésével nő a beolvadás, a feszültség növelésével szélesebb lesz a varrat, míg a hegesztési sebesség növelésével keskenyedik a varrat.

⁸⁶ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 32.o.

	Védőgáz típusa		
	Ar+ 18% CO ₂	Ar+ 8% O ₂	100 % CO ₂
Beolvadási mélység			
Varrat felület	finom rajzolatú	igen finom rajzolatú	durván pikkelyes
Salakképződés	csekély	közepes	sok
Fröcskölés	csekély	igen csekély	többszörös
Porozitás képződés	csekély	közepes	igen csekély
Kialakuló ívfajtákra	rövid ív hosszú ív szórtív lúktetőív	rövid ív hosszú ív szórtív lúktetőív	rövidív hosszúív

15. táblázat: A védőgáz hatása a beolvadási mélységre ötvözetlen acélok fogyóelektródás, aktív védőgázos ívhegesztésekor.⁸⁷



73. ábra: A védőgáz hatása a beolvadási mélységre.⁸⁸

2.6. Vágási technológiák és berendezései

A **vágás** olyan anyagsztválasztó eljárás, amellyel meghatározott pontosságú, alakhűségű és felületi minőségű félkész vagy késztermék állítható elő. Termikus minden olyan vágás, amelynek alkalmazása során az anyagot jelentős hőhatás éri és a folyamat anyagsztválasztással jár. A **termikus vágáskor** (számjele 8) végbemenő fizikai jelenségeket és a vágóeljárásokat is három fő csoportba lehet sorolni:

- **égető vágás**, ahol az anyag a vágási részben csaknem teljes vastagságában *elég* és a keletkező égéstermék nagy sebességű oxigénsugár kifűjja,
- **ömlesztő vágás**, ahol az anyag a vágási részben csaknem teljes vastagságában *megömlik* és az ömledéket nagy hőmérsékletű és sebességű gázsugár kifűjja;
- **gőzölögtető vágás**, ahol az anyag a vágási részben *elgőzölög* és a fémgőzt gázsugár kifűjja.

2.6.1. Lángvágó eljárások

⁸⁷ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 56.o.

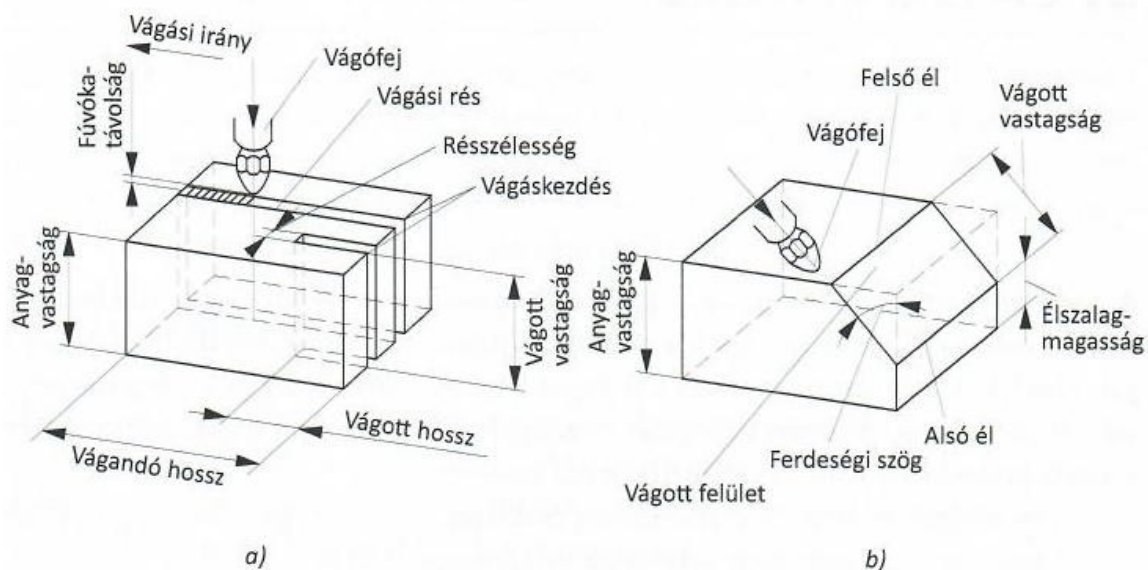
⁸⁸ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft.,2013, 56.o.

Az **ömlesztő lángvágást**: Stone angol technikus már 1805-ben feltalálta, a széngázzal és oxigénnel, ill. oxigénfelesleggel működő kezdetleges berendezésével. Mai értelemben vett vágást nem tudott végezni. Thomas Fletcher angol mérnök 1888-ban kifejlesztett vágópisztolyával akart egy elszánt betörő ömlesztő vágási kísérletet végezni Hannoverben, 1890 karácsony éj-jelén, az alsószászországi tartományi bank pánccszekrényén. Az illető a bank fölött szállodai szobájából a földem megbontásával jutott a kettősfalú vasajtóval védett, 7 millió márkát tartalmazó pánccszekrényhez. A vágáshoz megcsapolta a szobai világítógáz vezetékét, oxigént pedig kisebb palackokban, egy bőröndben vitt magával. Pechére a külső vasajtó megolvasztása után elfogyott az oxigén, így vágási kísérlete eredménytelen maradt. Nem úgy 1901-ben Londonban, ahol egy postahivatalban már sikeres vágási műveletet hajtottak végre.

A felhasznált hőforrás alapján a gyakorlatban előforduló fontosabb vágóeljárások a lángvágás, az ívvágás, a plazmavágás és a lézersugaras vágás.

A lángvágó eljárások közül az acetilén-oxigén gázzal működő égetővágás és a poradagolós lángvágás kerül ismertetésre.

A lángvágással összefüggő fontosabb fogalmakat a 74. ábra mutatja.



74. ábra: A lángvágással összefüggő fogalmak értelmezése
a) merőleges vágás; b) ferde vágás (élelkészítés)⁸⁹

Égető lángvágáskor (számjele 81) a vágandó fémét éghetőgáz és oxigén keverékével képzett lánggal a gyulladási hőmérsékletre helyileg felmelegítik, majd oxigénsugárban elégetik és az égéstermék a vágási résből kifúvatják. A láng csak a felületet hevíti, a mélyebben fekvő részeket a fém égéshője, kismértékben a salak hője és a hevítőláng melegíti. *Gyulladási hőmérsékletnek* nevezik azt a legkisebb hőmérsékletet, amikor az oxigénnel való egyesülés, azaz az elégés önmagától bekövetkezik. Az *égési hőmérséklet* a gyulladási hőmérsékletnél nagyobb, ezen a hőmérsékleten az elégés (kémiai reakció során) fejlődő hő által az oxidáció önmagától tovább folytatódik. A lángvágási fázisoknak egymással összhangban kell lenniük, mert ellenkező esetben a vágás lehetetlen lenne. Így nem lehet vágni, ha az elégés csak a fém olvadt állapotában következne be, vagy ha a keletkező salak a vágási résben szilárd állapotú maradna és így az oxigénsugár nem tudná a salakot a résből kifújni.

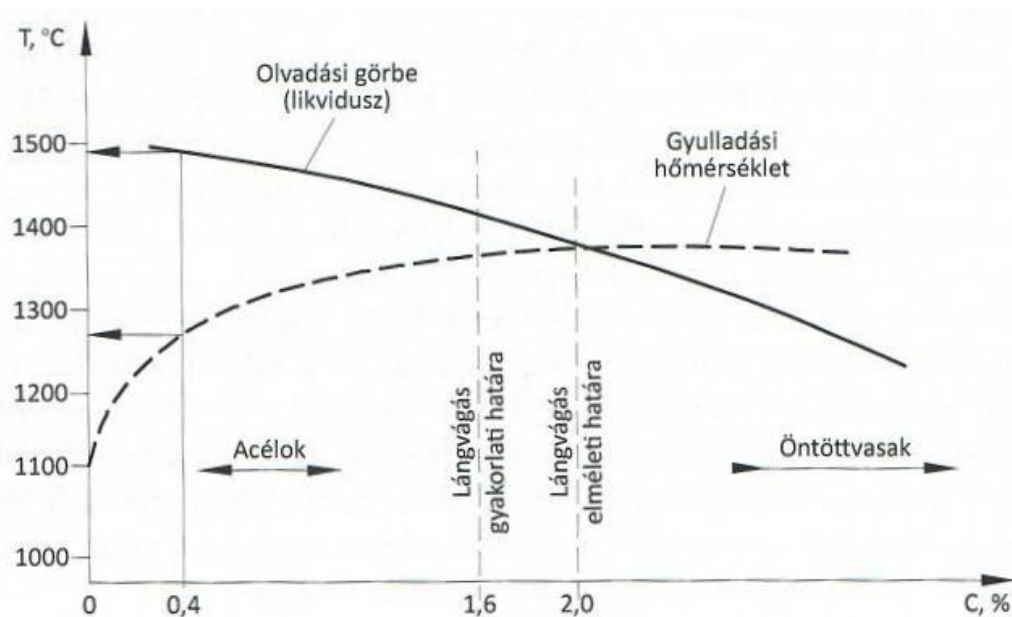
Fémek lángvágásának feltétele, hogy a fém

- oxigénben elégethető legyen,

⁸⁹ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 100.o.

- gyulladási hőmérséklete a fém olvadáspontja alatt legyen,
- oxidjának (oxidjainak) olvadáspontja a fém olvadáspontjánál kisebb legyen,
- a fém reakcióhője (égési melege) lehetőleg nagy, hővezető képessége kicsi legyen,
- az égéstermékek hígfolyósak, könnyen eltávolíthatóak legyenek.

A vas-szén ötvözetek közül az ötvözetlen acél (ill. acélöntvény) feltétel nélkül vágható, ha a széntartalma < 0,4%-nál. A 75. ábra a Fe-Fe₃C kétalkotós egyensúlyi diagramjában mutatja az olvadáspont C-tartalom függvényében való csökkenését, ill. a gyulladási hőmérséklet növekedését. 0,25 % C-tartalomig az olvadáspont kb. 1500°C, a gyulladási hőmérséklet 1270°C. Ha a C-tartalom nagyobb, mint 0,4%, akkor – gyors lehűlés esetén – a vágott felület repedési hajlama növekszik, a felület felkeményedhet, ezért a vágandó acélt elő kell melegíteni. Az ötvözetlen acélok előmelegítés mellett gyakorlatilag kb. 1,6 % C-ig vághatóak, de ez függ a munkadarab vastagságától is. A lángvágathóság elméleti hőmérséklet határa az olvadáspont és a gyulladási hőmérséklet metszéspontja, azaz 1375°C.



75. ábra: Ötvözetlen acél, ill. acélöntvény lángvágathósága a széntartalom függvényében⁹⁰

Az acél oxigénben elégethető, ez a kémiai folyamat hőtermeléssel jár. A vágás szempontjából fontos, hogy a vas-oxid (FeO) olvadáspontja (1370°C) kisebb, mint a fém olvadáspontja. Az ötvözőelemek is befolyásolják az acél lángvágathóságát. Az ötvözetlen acélokhoz hasonlóan jól vághatóak az 1,3 % C- tartalmú acélok 13% Mn-ig, a Si ötvözésű acélok 0,2% C-ig és 2,9% Si-ig, a króm-acélok 1,5% Cr-ig, a nikkel-ötvözésű acélok 7 % Ni-ig, a volfrám-ötvözésű acélok 10% W-ig.

A Voldrich és Harder által meghatározott **karbonegyenérték**

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo+V}{4} \quad \%$$

szerint $C_e > 1,0\%$ esetén a fém-ötvözet lánggal nem vágható. $C_e = 0,4-0,5\%$ között az előmelegítési hőmérséklet max. 100°C (50 mm vastagságig), $C_e = 0,5-0,6\%$ között 100-200 °C, 0,6% fölött pedig 200-350 °C legyen. Ezek a feltételek és értékek vonatkoznak acélöntvények vágására is.

⁹⁰ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 101.o.

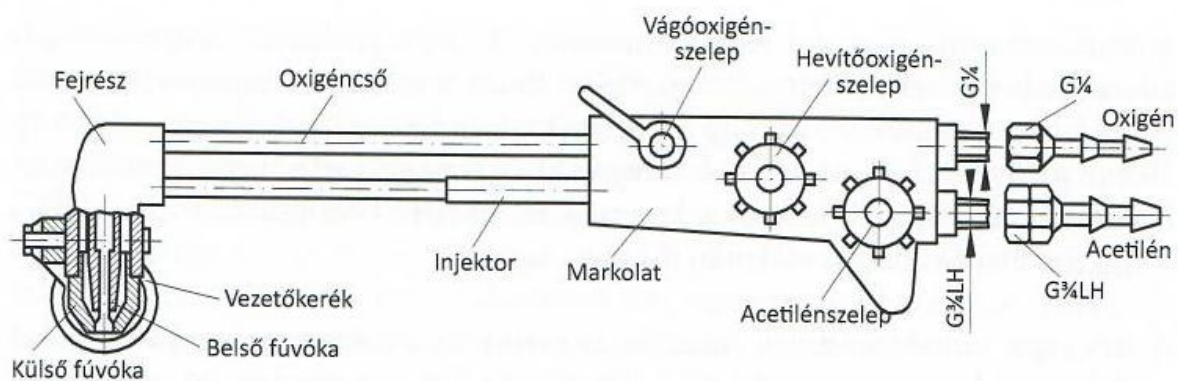
Az *öntöttvasak* nagyobb C tartalmuk miatt égető vágással nem vágathók, csak ömlesztő vágással. Hasonlóan nem vágható az *alumínium és ötvözetei*, mivel oxidjának (Al_2O_3) olvadáspontja $2053\text{ }^\circ\text{C}$, az ötvözetlen alumíniumé pedig csak $660\text{ }^\circ\text{C}$. A *vörösréz* szintén nem vágható a fém nagy hővezetési képessége miatt.

2.6.2. Lángvágó berendezések

A lángvágás végezhető kézi lángvágó pisztollyal, gépesített vagy automatikus lángvágó berendezéssel.

A kézi lángvágó berendezés (vagy felszerelés) vágókészülékből és a gázvezetékéből áll. A készülékek fogalmába tartoznak a berendezés meghatározott funkcióra készült elemei (gázpalack, nyomáscsökkentő, vágópisztoly, biztonsági eszközök stb.). A gázvezeték a berendezés készülékeit összekötő vezetékek (tömlők és csővezetékek), valamint ezek összekapcsolására szolgáló csatlakozó és toldó elemek.

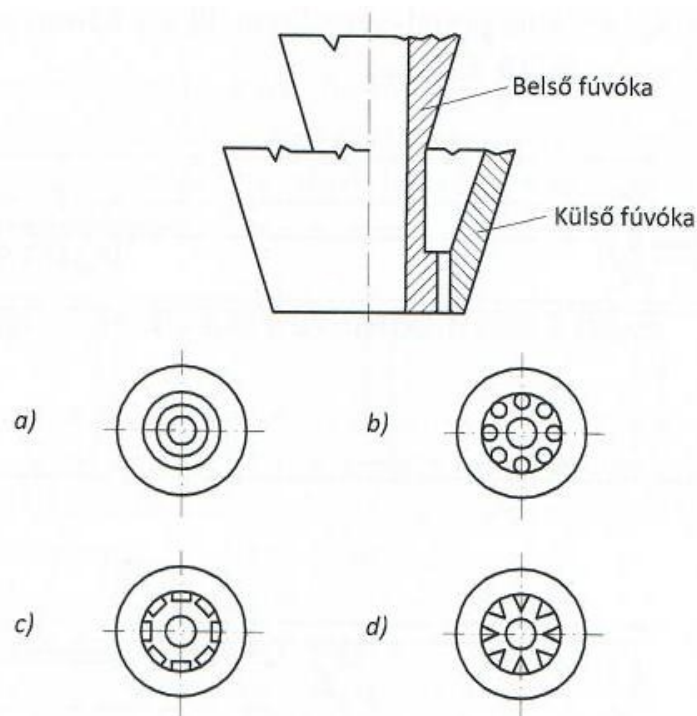
A **kézi lángvágópisztoly** (76. ábra) kialakítása hasonlít a gázhegesztő pisztolyhoz. A fejrészben van egy *külső* és egy *belső fűvóka*. A belső fűvókában halad a vágóoxigén-sugár, a külsőben a hevítőláng. A vezetőkerék feladata az égőfej egyenletes vezetése a vágandó felületen. A pisztolyra van felszerelve a vágóoxigént nyitó-záró szelep, valamint a hevítőoxigént és az éghetőgázt beállító szelep. A többi pisztolyelem megegyezik a gázhegesztő pisztoly azonos elemeivel.



76. ábra: Kézi lángvágópisztoly⁹¹

A lángvágó pisztolyok azonos működési elvvel, különböző változatban készülnek. Eltérés a hevítő- és vágóoxigén hozzávezetési módjában, valamint a fűvóka elhelyezésében és kialakításában van (77. ábra). A *gyűrűs fűvóka* középső furatából lép ki a vágóoxigén, a hevítő gázkeverék pedig az ezt körülvevő gyűrű alakú résen. Ezzel a vágófejjel minden irányban, kis görbületi sugár mentén is lehet vágni.

⁹¹ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 103.o.



77. ábra: Lángvágó fúvóka kialakítások

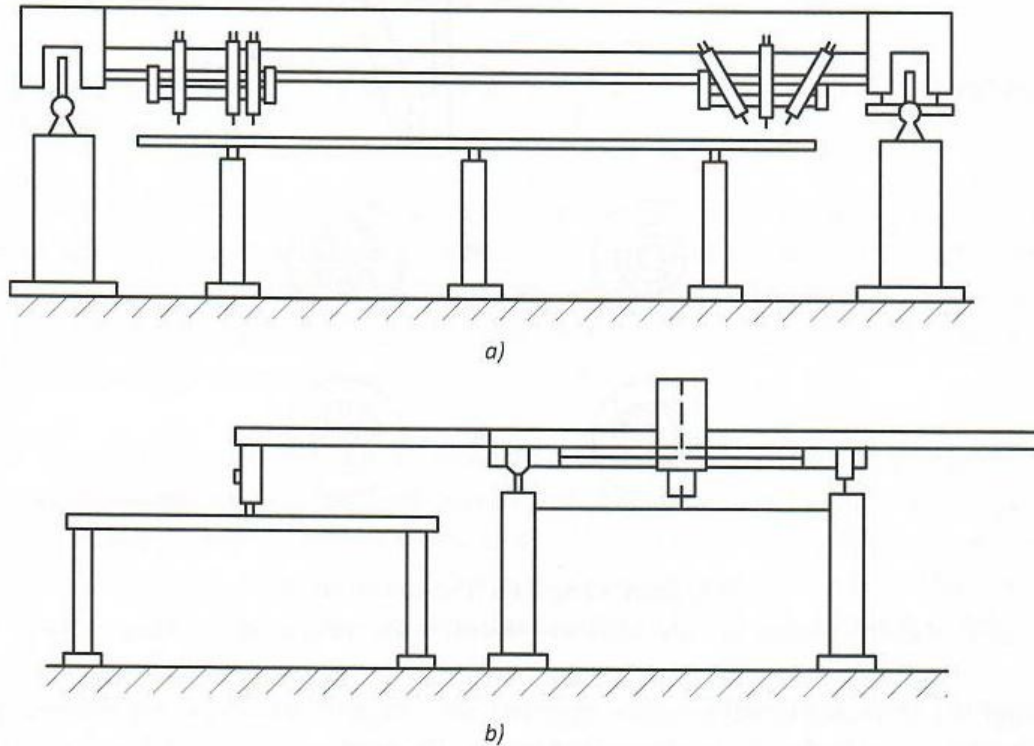
a) gyűrűs fúvóka; b) soklyukú (szita) fúvóka; c) hornyolt fúvóka; d) csillag fúvóka⁹²

A gyűrűs fúvókás vágófej gyártása egyszerű, de a vágás pontossága megköveteli, hogy a *hevítő-, és a vágófúvóka koncentrikus legyen*, ellenkező esetben az élek elégtelenül olvadnak meg. Hátránya, hogy a pisztoly nem megfelelő tartása esetén a hevítőláng egyoldalú lesz, ami kedvezőtlen a lángvágás folyamatára. Ezen kívül nem is gazdaságos, mivel a tényleges melegítésre a hevítőlángnak csak kb. 1/3-a szükséges, a láng többi része feleslegesen melegíti a vágat környezetét. A jelzett hátrányok kiküszöbölésére fejlesztették ki a *soklyukú fúvókás vágófejet*. Ennél a központi oxigénfúvóka körüli 6-10 furaton áramlik ki a hevítő gázkeverék. A furatok kis nyílásszögű (5°) kúp alkotói mentén helyezkednek el. A *hornyolt fúvókás vágófej*-nél a vágóoxigén fúvókájának felületén ék alakú hornyokat képeznek ki, amelyek könnyebben tisztíthatók és megmunkálhatók, mint a soklyukú fúvókás vágófejek.

A lángvágás teljesítményének fokozása, a vágott felületek minőségének növelése, a vágás reprodukálhatósága stb. céljából a vágási folyamatot részben, ill. teljesen gépesítették. A *lángvágó gép* lehet hordozható vagy helyhez kötött. A *hordozható lángvágógépek (vágómotorok vagy szekátorok)* tömege 6-8 kg, 1-2 vágófejjel működhetnek, egyenes vagy kör alakú tetszőleges síkgörbe kontúrú vágásra alkalmasak. A vágási vonal mentén sablon vagy vezetőél (vezetőszín) vezeti a vágófejet görgős tapintással, vagy körzöszálon forog a vágófej. A fokozat nélkül állítható vágósebességet dörzshajtású előtoló villamos motor működteti. A vágófejek besabályozása és beállítása, indítása és leállítása kézi működtetésű.

A *helyhez kötött lángvágógép* lehet portál- (egy-, kettő, illetve három portállal), konzolos vagy keresztkocsis elrendezésű (78. ábra).

⁹² Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 103.o.



78. ábra: Lángvágó berendezések
a) portál lángvágó; b) konzolos lángvágó⁹³

A portál lángvágó vezérlőegysége különálló egység, a konzolos lángvágóét a legtöbb esetben a berendezésen helyezik el. A lángvágógépek portáljai és konzoljai nagyon merevek, így 3-5 m széles, több vágófejes gépek gyárthatók. A vágógépek hossz- és keresztirányú vezetése igen pontos, a vágási pontosság 0,1 mm. A korszerű vágógépek CNC vezérléssel vagy közvetlen számítógépes vezérléssel irányítják a párhuzamosan egyszerre dolgozó vágófejeket. A vágási vonalak pontról pontra, x és y koordinátákkal meghatározott adataival működtetett lángvágógép mozgás-leképezésének pontosságát alapvetően a vezérlés pontossága határozza meg. Ez sablonról működtetett vágás esetén $\pm 0,2-0,3$ mm, CNC vezérlésnél kisebb, mint $\pm 0,1$ mm. A vágott felület minősége és alakhelyessége elsősorban a lángvágógép merevségétől, rezgésmentességétől, vezetékeinek pontosságától, illetve a vágófejek minőségétől függ. A helyhez kötött lángvágógép főbb egységei az alaptest, a vágófejeket hordozó keresztkocsik, és a gázellátó rendszer.

Poradagolásos lángvágás

A poradagolásos lángvágás abban különbözik a hagyományos lángvágástól, hogy a vágófejen keresztül sűrített levegővel vastartalmú port adagolnak a lángba, ami a lángban elég. Ennek következtében a vágási helyen nagyobb hőfejlődés megy végbe. A nagy hőkoncentráció miatt égető lángvágással nem vágható fémek (pl. korrózióálló acélok, öntöttvasak, nemvasfémek stb.) is vághatók. Korrózióálló acélok vágásakor az egyébként nehezen olvadó salak folyékony lesz, és ezáltal a vágási résből könnyen eltávolítható, mivel a kvarchomok kinetikai energiája a sűrű salakot is ki tudja fújni. A felületen képződő, 0,3-0,5 mm vastag salakréteget köszörüléssel el kell távolítani, mivel az csökkenti a korrózióállóságot. Természetesen használható vágáskor nem éghető por is. Korábban ez kvarchomok, márvány, rutil volt. Manapság

⁹³ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 104.o.

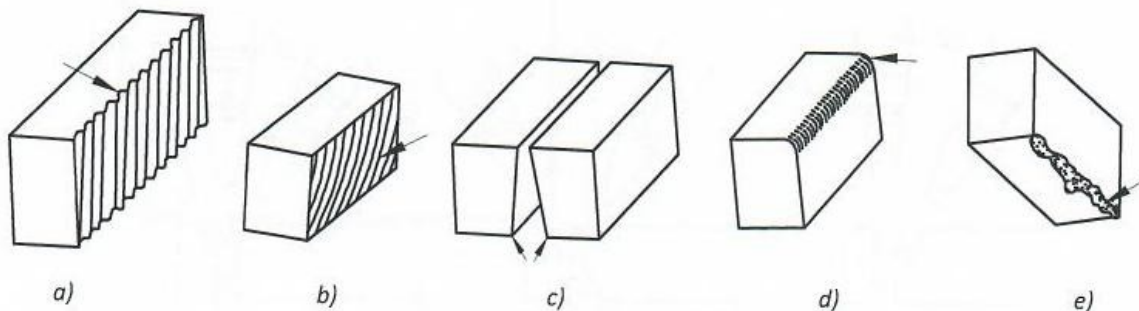
a vágóoxigénbe juttatnak különleges ásványi porkeveréket. Az eljárást főként öntödék, acélművek használják, nagyméretű tömbök darabolására.

2.6.3. Fémek lángvágásának minőségi követelményei

A lánggal vágott felület minőségét a munkadarabbal szembeni méretek, méret- és alakhűség, felületi minőséggel stb. határozzák meg. A vágott felület minősége függ:

- a munkadarab felületi tisztaságától,
- a gázok típusától, tisztaságától,
- a gázok nyomásától és mennyiségétől,
- a vágófúvóka méretétől és tisztaságától,
- a hevítőláng beállításától és a vágóoxigén nyomásától,
- a vágási sebességtől,
- a vágópisztoly előtolásának egyenletességétől.

A termikusan vágott felületeket nemzetközi szabvány minőségi osztályba sorolta, ami tartalmazza a vágott felület geometriai követelményeit és minőségi tűréseit. A 79. ábra néhány jellegzetes vágási hibát szemléltet. (a nyíl a hibás felületet mutatja):

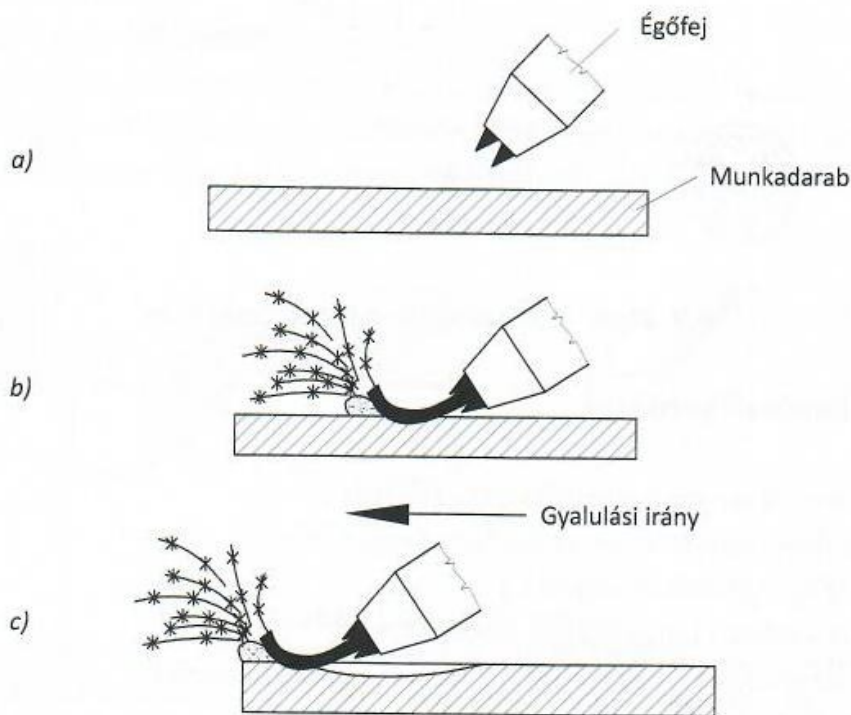


79. ábra: Lángvágási hibák⁹⁴

a) durva vágási barázdák; b) vágási barázda elhajlás; c) a vágási rés kiszélesedése; d) a felső él leolvadása; e) az alsó vágási élhez tapadt ömledékcsepp-lánc

A **lánggyalulás** (számjele 86) a lángvágáshoz hasonló művelet. Hegesztési varrathiba kiküszöbölésére (javításkor), hegesztés előtt a gyökoldal kimunkálására, illetve U varratok előkészítésére használják. A lángvágó fúvókéval szemben a lánggyalu oxigénfúvókája nagyobb, ezáltal az oxigénsugár lágyabb, és kisebb szögben dönthető. Ezzel az eljárással a lánggal vágható fémeket lehet gyalulni. A gyalulás kezdetén először a hevítőláng felhevíti a munkadarab felületét a gyulladási hőmérsékletre (80.a. ábra), majd a fém oxigénsugárban elég (80.b. ábra). A lánggyalu előtolásakor vályú alakú rés keletkezik. A híg folyós salakot az előtolás (gyalulás) irányába lehet kifúvatni (80.c. ábra).

⁹⁴ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 108.o.



80. ábra: A lánggyalulás folyamata⁹⁵
 a) felhevítés, b) a fém elégetése; c) a salak kifűvése

2.6.4. Plazmaívvágás

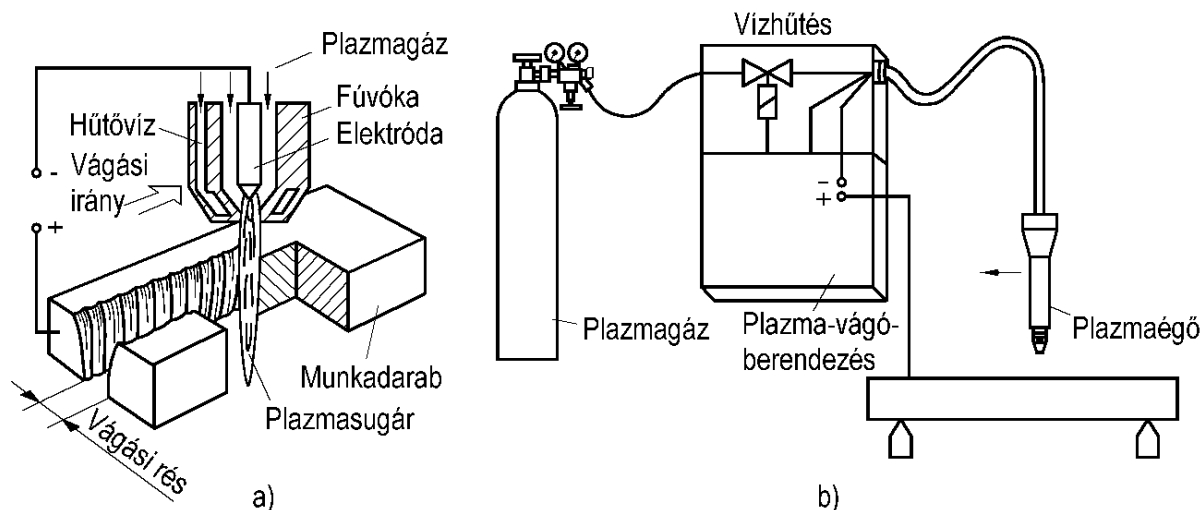
A plazmavágás a termikus vágó, és daraboló eljárások közé tartozik. A jellegét tekintve a plazmavágás ömlesztő vágás. Nagymértékben hasonlít a lángvágással történő anyagszétválasztási eljáráshoz. Az anyag darabolása során egy plazmaív alakítja ki a vágórést. A vágás végezhető kézzel is, de automatizálható is, így alkalmazása gazdaságos lehet nagy sorozatú darabolás esetén. A plazmaív előállítása speciális plazmavágó áramforrásokkal történik. A plazmavágó egy nagyfeszültségű kimenettel rendelkező áramátalakító. Ez a nagy egyenfeszültség gerjeszti a vágógáz atomjait, és hozza azokat plazma állapotba.

A korrózióálló acélok, az öntöttvasak, a réz, az alumínium és ötvözeteik stb. csak plazmavágással élezhetőek le vagy darabolhatóak. A plazmavágás során nem megy végbe exoterm folyamat, mivel a vágandó anyag nem ég el oxigénben. A vágandó részben az intenzív és erősen koncentrált plazma a fémeket megolvasztja, a gázok kinetikai energiája a megolvasztott fémeket a vágási résből eltávolítja (81. ábra).

A plazmavágáshoz használt fontosabb gázkeverékek a következők:

Argon+hidrogén kézi vágáshoz 80-67% Ar + 20-33% H₂;
 gépi vágáshoz 70-60% Ar + 30-40% H₂.

⁹⁵ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 110.o.



81. ábra: Plazmavágás⁹⁶
 a) a plazmavágás elve; b) a plazmavágás berendezése

Valamennyi színesfém vágása lehetővé válik 35-50% H₂ hozzáadásával. Minél nagyobb a H₂ mennyisége, annál nagyobb a vágósebesség, annál szebb a vágott felület. A H₂ növelésével azonban megnő az ív kialakulásának veszélye, és az ív gyújtása is nehezebbé válik. A H₂ - hasonlóan az N₂ is - növeli a plazma hőintenzitását azáltal, hogy hűtőhatása révén leszűkíti a plazmasugár keresztmetszetét, és ezzel növeli annak energiasűrűségét.

Argon + nitrogén. A hidrogén erozív hatása kiküszöbölhető N₂ használatával, amelynek termikus hatásfoka kisebb a H₂-énél, ennek ellenére alkalmas munkagáznak, ha nem lép reakcióba az alapanyaggal. Kézi vágáskor azonban figyelembe kell venni a nitrogénnek, ill. vegyületeinek mérgező hatását.

Hidrogén + nitrogén. Gyakran használt gázkeverék, elsősorban Al és ötvözetei, Cu és ötvözetei, ötvözetlen és erősen ötvözött acélok vágásához. Alumíniumhoz 80-50% N₂ + 20-50% H₂ keveréket, szerkezeti acélokhöz 30-90% N₂ + 70-10% H₂ keveréket használunk.

A gáz összetétele befolyásolja az elérhető vágósebességet (81 ábra). Különböző plazmagázokkal végzett vágások közül az Ar + H₂ keverék alkalmazása esetén érhető el a legnagyobb lemezvastagság-tartományban kedvező vágósebesség.

A plazmavágás előnye, hogy a kémiai reakciókkal járó lángvágással ellentétben a vágás sikere nem függ a vágandó anyagtól. Külső ívű plazmavágáskor a plazmasugár a vágórésbe hatolva növekvő mértékben elhasználódik, s egy lefelé szűkülő szakasz alakul ki. A plazmasugár nagy kilépési sebessége következtében az ív mélyen a keletkező résbe nyúlik és talppontja felé oszcillál. Közben az anyag megolvad, részben elpárolog, részben a plazmasugár nagy kinetikai energiája által kisodródik a résből.

Az ív rendkívül nagy energiasűrűsége, továbbá a vágás gyorsasága miatt a hőhatásövezet olyan szűk határok között tartható, hogy az esetek többségében a kötőhegesztés előtt nincs szükség mechanikus él előkészítésre.

A plazmavágás több változatát fejlesztették ki a vágás minőségének javítására, ill. a költségek csökkentésére (pl. olcsóbb hordozóanyag). A legelterjedtebb, argon-hidrogén keverékkel való

⁹⁶ Dr. Gáti József: Hegesztési Zsebkönyv. Cokom Mérnökiroda Kft, Miskolc, 2010, 108.o.

vágás nagy előnye, hogy könnyen kezelhető, a berendezések egyszerűek. Kézi és gépi úton is használhatók 10-100 kW-ig, 80 mm vastagságú lemez is vágható vele.

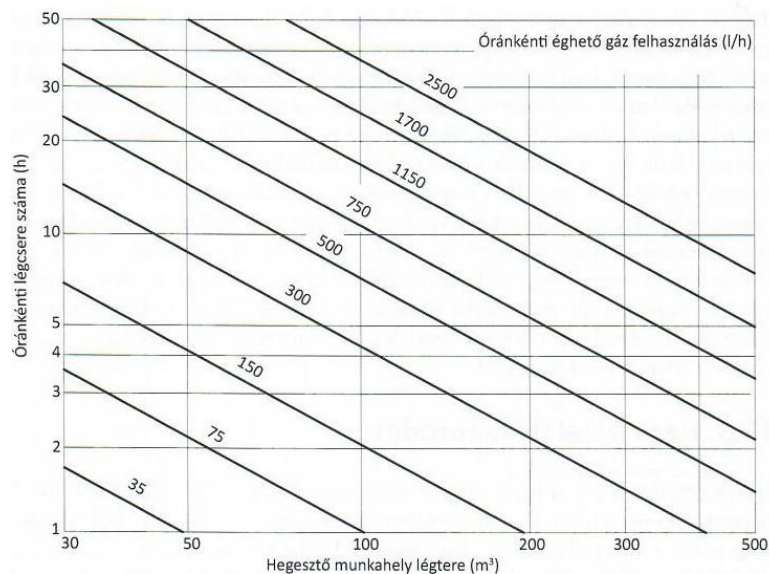
2.7. Egészségvédelem és biztonságtechnika

A hegesztő, forrasztó, termikus vágó és szóró munkahelyeken - valamint azok szűkebb és tágabb környezetében is - füstképződéssel, illetve légszennyezéssel is kell számolni. Hegesztés-kor és vágáskor az eljárástól függően különböző mennyiségű gázok (formaldehid- és acetaldehid, fenol, CO, nitrozusgázok stb.), gőzök keletkeznek.

Az egészséget károsító füst és a porkoncentráció különösen lángvágáskor nő a lemezvastagság és a vágási sebesség növelésével. A hegesztési füst egyes összetevőinek a dolgozó légzési övezetében mérhető maximális koncentrációját a MAK-értékek (Maximális Munkahelyi Koncentráció) rögzítik. E határok - a mai ismeretek szerint - 8 óra mellett, heti 40 órás munkaidőt feltételezve, nem okoznak megbetegedéseket. A hegesztési füst káros hatása szűk, zárt helyiségben végzett ömlesztő hegesztéskor, illetve lángvágáskor, plazmahegesztéskor és vágáskor, valamint fémszóráskor jelentkezik. A képződő gázok egy része (pl. ózon, foszgén, nitrogén-dioxid) súlyos mérgezéseket okozhat. Ezek következtében légszomj és köhögési inger léphet fel. A mérgezést szenvedett személyt friss levegőre kell vinni, s orvosi ellátásban kell részesíteni.

2.7.1. A munkahelyek szellőztetése

A dolgozók környezetében keletkező egészségkárosító gázok és szilárd halmazállapotú szennyeződések képződése a gázhegesztési és lángvágási munkák helyes szervezésével és gondos munkavégzéssel csökkenthető. A munkát úgy kell végezni, hogy a képződő káros anyagok elkerüljék a hegesztő légzési övezetét, s ezzel a közvetlen belégzést meg lehessen akadályozni. A hegesztő fokozott védelme elszívással, a friss levegő pótlása szellőztetéssel oldható meg. Olyan mértékű légcseréről kell gondoskodni, hogy ne alakulhasson ki veszélyes mértékű gázkoncentráció. A 82. ábra az óránkénti légcseré számát mutatja a munkahely légtere és az óránkénti éghetőgáz felhasználás függvényében.



82. ábra: Óránkénti légcseré száma gázhegesztéskor⁹⁷

⁹⁷ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 144.o.

Ha a füstkoncentráció - a természetes légcseré ellenére - eléri a 9 mg/m^3 -t, akkor szellőztetésről kell gondoskodni. Legkézenfekvőbb megoldás a helyi elszívás, mely helyhez kötött vagy mozgatható telepítésű lehet. A keletkezés környezetéből az elszívás legnagyobb sebessége csak akkora lehet, hogy a munkafolyamatot (pl. gázvédelem) ne befolyásolja. A munkaterület levegőjét közvetlenül a szabadba lehet vezetni vagy a füstgázokat egy durva- és egy finomszűrőn keresztül vezetve lehet megszűrni, és azután a munkahelyre visszavezetni. Alkalmazásával a pótlevegő felmelegítésének költségei megtakaríthatók. A munkahely mesterséges szellőztetésének elterjedt változata az egész üzem általános szellőztetése. Ehhez nagyteljesítményű, tetőre vagy falba szerelt ventilátorokat alkalmaznak. A műhelybe a friss levegőt vagy alulról fújják be, és felülről szívják el, vagy - helytelenül - ellenáramú szellőztetést végeznek.

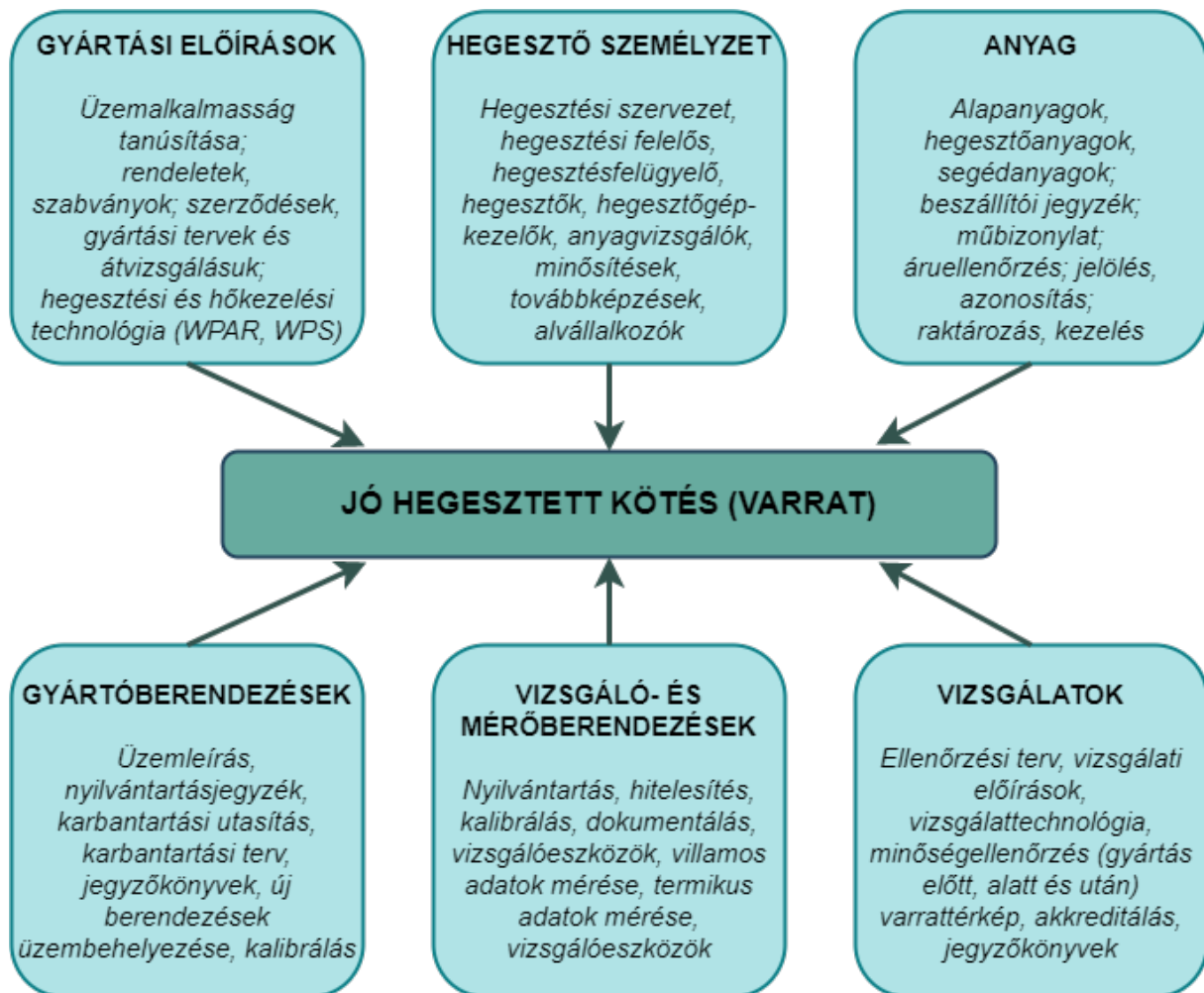
2.8. Környezetvédelem

A hegesztés munkabiztonsági kérdéseit tárgyaló előző szakaszok egyértelműen utaltak arra, hogy a hegesztés és vágás mind a szűkebben vett munkakörnyezetre, mind pedig a tágabban értelmezett épített környezetre nézve környezetszennyezés veszélyét, környezeti kockázatot jelent. Ismert például, hogy az **átmeneti korrózióvédelemmel ellátott munkadarabok** hegesztésekor és vágásakor - a bevonat összetételétől függően - nagy mennyiségű füstképződéssel kell számolni. A **termikus vágóeljárásoknál, termikus szóráskor** a már említett egészségkárosító anyagok mellett fémgőzök is keletkeznek. A szűrőbetétes elszívás mellett több műszaki lehetőség áll rendelkezésre a káros anyag kiszűrésére. Így a gravitációs csapdával kialakított vágóasztalok mellett plazmavágás esetén megoldást jelenthetnek a vízközeget igénybe vevő vágások, melyek azonban együtt járhatnak a vágási teljesítmény csökkenésével. Természetesen a környezet védelme érdekében a hegesztő- és vágómunkahelyekről elszívott, illetve leválasztott káros anyagot hordozó közeg (gáz, levegő, víz stb.) tisztítása elengedhetetlen követelmény.

3. Gyártás és gyártástervezés

3.1. Minőségbiztosítás, minőség-ellenőrzés célja

3.1.1. Fémek ömlesztőhegesztésének minőségi követelményei



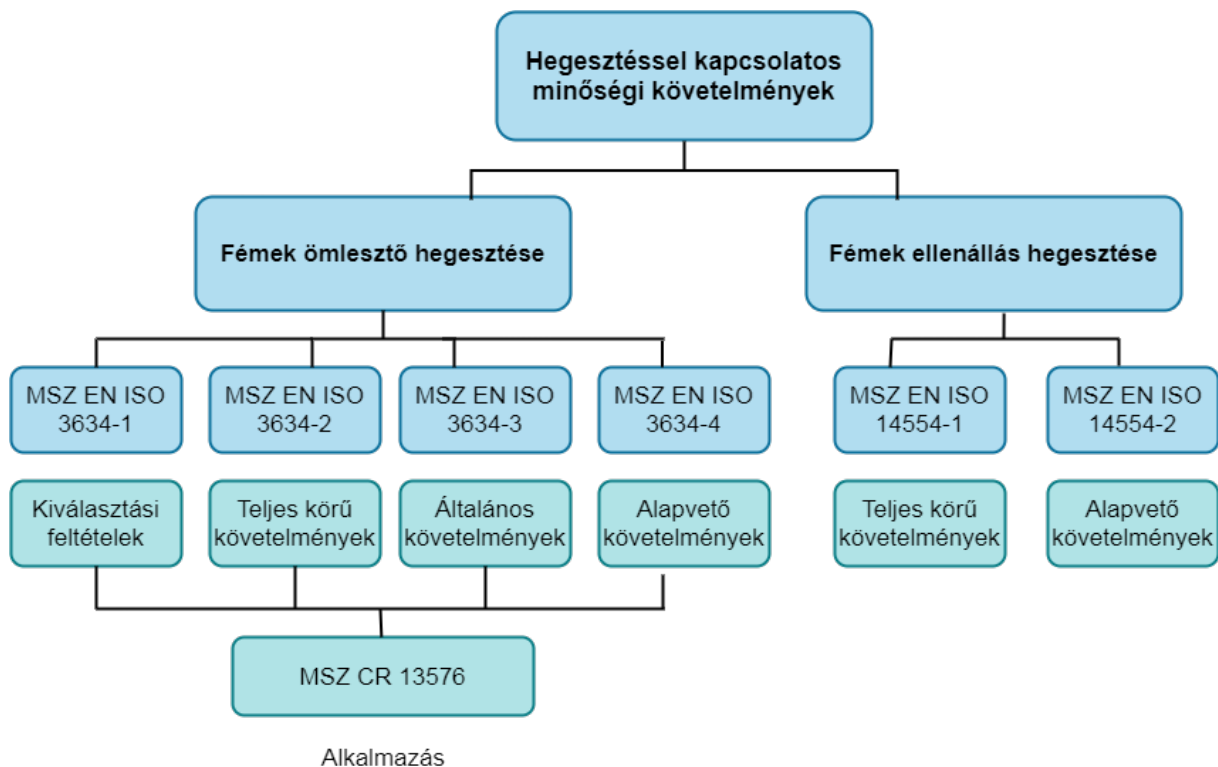
83. ábra: A jó hegesztett kötés, hegesztési varrat előkészítésének feltételei⁹⁸

A hegesztés „veszélyes tevékenység” az ömlesztő hegesztési eljárásra nemzetközi előírások vannak érvényben. Ezek meghatározzák a hegesztés szervezeti, jártassági és személyi feltételeit és jelentősen befolyásolják a hegesztett kötéssel szembeni követelményeket. Az MSZ EN ISO 3834-1-5 a fémek ömlesztő hegesztésének minőségirányítási követelményeit foglalja össze. Ezeket a szabvány három minőségi szintű osztályba sorolja és pedig teljes körű, általános és alapvető követelményekre. A követelmények közé tartoznak a személyzetre (hegesztési felelős, hegesztő, gépkelők, hegesztőfelügyelő), a hegesztés tárgyi feltételeire (eszközök, berendezések stb.), a hegesztéstechnológiára, a vizsgálatokra és minősítésre vonatkozó előírások. A hegesztési felelős olyan személy, aki felelősséget visel a hegesztéssel végzett gyártás és a hegesztéshez kapcsolódó tevékenységek vonatkozásában. A hegesztési felelősök azért felelnek, hogy a hegesztés szakmai szempontból mindig az elvárható szinten érvényre jussanak. Az MSZ EN 14731 meghatározza a minőséggel kapcsolatos feladatokat és felelősséget, bele-

⁹⁸ Dr. Kovács Mihály: Hegesztés. Tankönyvmester, Budapest, 2008, 12.o

értve a hegesztési műveletek felügyeletét is. Ugyancsak nemzetközi szabványok írják elő a hegesztéstechnológia, a hegesztők, a gépkezelők, az anyagvizsgálatokat végzők minősítését.

Mindig meg kell vizsgálni, hogy milyen követelményeket és előírásokat tartalmaznak egy hegesztett termék tervezésére, gyártására és vizsgálatára vonatkozó nemzetközi termékszabványok (a termék típusától, az alkalmazás körülményeitől, az igénybevételektől stb függően). A szerződések, a gyártási tervek és előírások felülvizsgálata ugyancsak szükséges, mivel a követelményeket kielégítő, jó hegesztett kötések (varratok) elkészítéséhez számos feltételnek kell teljesülnie.



84. ábra: Hegesztéssel kapcsolatos minőségi követelmények⁹⁹

EN ISO 3834 Fémek ömlesztő hegesztésének minőségirányítási követelményei

Az EN ISO 3834 5 részből áll

- 1. rész: A minőségi követelmények megfelelő szintjének a kiválasztásának szempontjai
- 2. rész: Átfogó minőségirányítási követelmények
- 3. rész: Általános minőségirányítási követelmények
- 4. rész: Alapfokú minőségirányítási követelmények
- 5. rész: Alkalmazási dokumentumok

Ez a szabványsorozat nagyon hasznos eszköz a hegesztett szerkezeteket gyártók számára.

Vizsgálat és minőség-ellenőrzés szerepe

- Megfelelő minőségi szint, vizsgálat, ellenőrzés
- Pl. Hegesztett kötés mérése (mérési eredmény összehasonlítása a követelménnyel)
- Ha a követelmények teljesülnek jóváhagyják, ha nem teljesülnek nem hagyják jóvá

⁹⁹ Dr. Kovács Mihály: Hegesztés. Tankönyvmester, Budapest, 2008, 10.o.

Ellenőrzés: méréssel, vizsgálattal, teszteléssel vagy egyéb más besorolással a termék tulajdonságai, több jellemzője összehasonlítható a beállított követelményekkel és eldönthető, hogy teljesültek-e.

Minőség ellenőrzés a gyártás során

- a hegesztési paramétereket (pl. hegesztési áram, ívfeszültség, sebesség)
- előmelegítési, közbenső hőmérséklet
- a hegesztési varratsorok és rétegek tisztítását és alakját
- gyökfaragást
- hegesztési sorrend
- a hozaganyagok megfelelő alkalmazását és kezelését
- a vetemedés ellenőrzését
- minden közbenső vizsgálatot (pl. méret ellenőrzés)

Vizsgálat és ellenőrzés a hegesztés előtt:

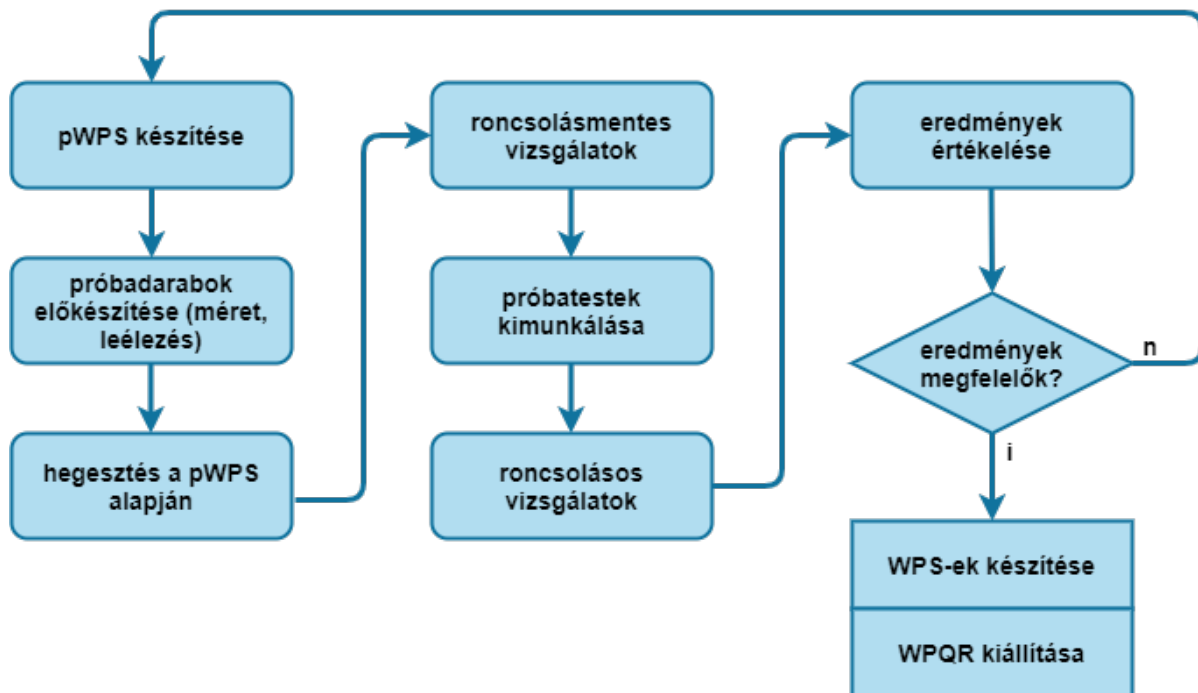
- a hegesztők alkalmassága és képzettségeiket bizonyító okleveleinek érvényességének ellenőrzése
- a hegesztési folyamathoz való megfelelő alkalmasság
- anyagazonosítás
- a hegesztés fogyóeszközeinek azonosítása
- kötési előkészületek (alak és méret)
- illesztés, szorítás, fűzés
- bármilyen speciális követelmény a hegesztési eljárás részleteire vonatkozóan (pl. torzulás megelőzése)
- a termelési tesztek előkészülete
- a munkafeltételek alkalmassága a hegesztésben, beleértve a környezeti feltételeket is

3.1.2. A pWPS, WPS, WPQR és a hegesztőminősítés EN ISO szabványai

A hegesztőkkel és a hegesztési technológia előzetes alkalmazásával kapcsolatos előírások

Különösen fontos egyes veszélyes szerkezetek (pl. nyomástartó berendezések, ipari csővezetékek, járműszerkezetek stb.) esetén a minőségi követelmények betartása és betartatása. Ehhez a terméket gyártó vállalatnak hegesztésre vonatkozó üzemalkalmassági tanúsítványt kell megszereznie. Ennek során vizsgálják az adott hegesztési eljárással összefüggő tevékenységet (gyártási előírások, gyártó- és vizsgálóberendezések, alap-, hozag- és segédanyagok, ellenőrzések és vizsgálatok stb.). A hegesztési feladatokhoz gyártói hegesztési utasításokat (WPS - **W**elding **P**rocedure **S**pecification) kell készíteni, amelyeket a gyártás megkezdése előtt a technológiavizsgálat keretében minősíteni kell. Ilyen pWPS-t mutat gázhegesztésre (MSZ EN ISO 15609) a 85. ábra.

Alapelvek WPS készítéséhez



85. ábra: Alapelvek WPS készítéséhez¹⁰⁰

¹⁰⁰ Saját forrás

A hegesztéstechnológia minősítése, hegesztési utasítás (pWPS)

Az üzem helye: **xxx**

Az élélőkészítés és tisztítás módszere:
forgácsolás, zsirtalanítás

A WPS hivatkozási száma: **xxx**

A WPQR száma: **xxx**

Az alapanyag megnevezése: **P235TR1**

Gyártó: **xxx**

Az alapanyagcsoport száma: **1.1**

Hegesztési eljárás: **311**

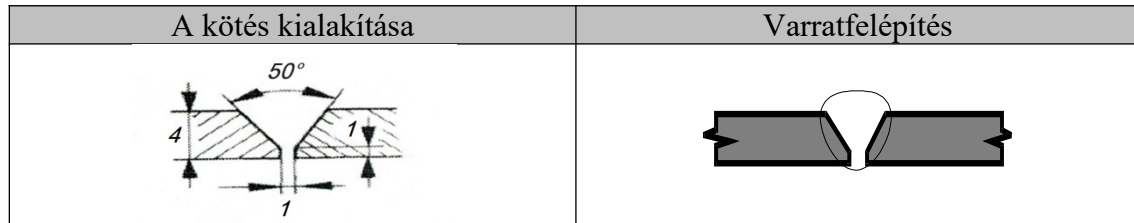
Anyagvastagság (mm): **4**

Varrattípus: **BW (tompavarrat)**

Külső átmérő (mm): **63,5**

Az élélőkészítés részletei (vázlat)^x

Hegesztési helyzet: **PH**



Hegesztéstechnológiai adatok

Varrat-réteg	Hegesztési eljárás számjele	Hegesztés módja	Hegesztési adatok					Hozaganyag	
			Fúvóka mérete, Ø mm	Éghetőgáz típusa	Acetilén nyomás, MPa	Oxigén nyomás, MPa	Láng-típus	Jelölés	Méret Ø mm
1	311	rw	3	C₂H₂	0,05	0,25	semleges	OIV	3

Hegesztési utáni hőkezelés: **nincs**

Idő, hőmérséklet, módszer: **-**

Felhevítési és lehítési sebesség: **-**

Megjegyzés:

.....
Gyártó
(Név, dátum, aláírás)

86. ábra: Gyártói hegesztési utasítás technológiai vizsgálatához (pWPS) acélok gázhegesztésére¹⁰¹

Gyártó Hegesztési Utasítás WPS WPQR

A hegesztett kötetet az írásban közölt hegesztési utasítás (WPS) alapján kell végezni. A hegesztési utasítás (WPS): az adott alkalmazáshoz szükséges dokumentum, amely részletesen tartalmazza az ismételhetőséget biztosító paramétereket. A WPS javasolt formáját az MSZ

¹⁰¹ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 88.o.

EN 15609-1 és tartalmazza. A WPS-nek előzetesen jóváhagyott hegesztéstechnológián kell alapulnia, a hegesztéstechnológia jóváhagyási jegyzőkönyv (WPQR, azaz Welding Procedure Quality Record) számát a WPS-en fel kell tüntetni. A WPQR az a jegyzőkönyv, amely egyrészt a próbadarab hegesztéséhez szükséges minden olyan lényeges adatot tartalmaz, ami egy hegesztési utasítás jóváhagyásához szükséges. Másrészt tartalmazza a próbahegesztés vizsgálatának összes eredményét. Egy WPQR egyes esetekben több WPS jóváhagyásához is elegendő lehet.

3.1.3. Fémhegesztők minősítése

A hegesztett szerkezeteket gyártó üzemek alkalmasságát meghatározó tárgyi, személyi és szervezeti feltételek között lényeges a hegesztőszemélyzet felkészültsége és szakismerete. A „minősített hegesztő” kifejezés azt jelenti, hogy a hegesztő képes a technológiai paraméterek betartására, és nem azt, hogy az általa választott hegesztési paraméterekkel megfelelő minőségű varratot tud készíteni.

Az acélhegesztők minősítését az **MSZ EN ISO 9606-1**, az alumíniumhegesztőket pedig az **MSZ EN ISO 9606-2 szabvány** tartalmazza. A minősítés azt tanúsítja, hogy a hegesztő megfelelő szakmai elméleti és gyakorlati ismeretek birtokában az adott hegesztőeljárással, alap- és hozaganyaggal, előírt hegesztéstechnológiával és feltételek mellett a követelményeket kielégítő kötést tud készíteni.

Hegesztőminősítés jelölése:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MSZ EN ISO 9606-1	141	T	BW	FM1	S	t04	D38	PH	ss	nb ml

A minősítésben feltüntetett fogalmakat a 16. táblázat foglalja össze.

Hegesztési eljárás számjele	Termék-típus	Varrat-típus	Hozag-anyag csoport	Hozag-anyag	Anyag-vastagság, mm	Cső külső átmérő D, mm	Hegesztési helyzet	Hegesztés kivitelezési mód	
								9	10
141	P T	BW FW	FM1	nm S	t...	D...	PH	ss bs	nb mb sl ml lw rw

16. táblázat: hegesztők lehetséges minősítése acélokra¹⁰²

1 Hegesztési eljárás számjele

- 111 Kézi ívhegesztés
- 114 Önvédő, porbeles huzalelektrodás ívhegesztés
- 121 Tömör huzalelektrodás, fedett ívű hegesztés)
- 125 Porbeles huzalelektrodás, fedett ívű hegesztés
- 131 Tömör huzalelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (MIG- hegesztés)
- 135 Tömör huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (MAG- hegesztés)

¹⁰² Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor, Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 89-90.o.

- 136 Porbeles huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés MAG- hegesztés)
- 138 Fémportöltetű huzalelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés MAG- hegesztés)
- 141 Tömör huzallal/pálcával vértett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés
- 142 Hozaganyag nélküli volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés
- 143 Porbeles huzallal/pálcával vértett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés
- 145 Tömör huzallal/pálcával vértett volfrámelektrodás, redukáló gázos ívhegesztés
- 15 Plazmaívhegesztés
- 311 Oxigén-acetilén lánghegesztés

2 Terméktípus

- P lemez
- T cső

3 Varrattípus

- BW tompavarrat
- FW sarokvarrat

4 Anyagcsoport

- 1-től 11-ig

5 Hozaganyag

- nm hozaganyag nélkül
- S tömör huzal/pálca

6 Anyagvastagság, t mm

7 Cső külső átmérője, D, mm

8 Hegesztési helyzet

- PA
- PB
- PC
- PD
- PE
- PF
- PH
- PG
- PJ
- H-L045
- J-L045

9 Hegesztés kivitelezési mód

- ss hegesztés egy oldalról
- bs hegesztés két oldalról

10 Hegesztés kivitelezési mód

- nb hegesztés beolvadó alátét nélküli hegfürdő-megtámasztással
- mb hegesztés beolvadó alátétes hegfürdő-megtámasztással

- *sl* egyrétegű
- *ml* többretegű
- *lw* balra hegesztés
- *rw* jobbra hegesztés

3.2. Hegesztett szerkezetek gyártása során fellépő hegesztési feszültségek

3.2.1. A hegesztett szerkezetek gyártása során a hegesztési feszültségre és deformációkra ható főbb tényezők

A hegesztési folyamatban fontos befolyásoló tényező az alapanyag hőtani jellemzői. A fémek olvadáspontja 660-1536°C, a hővezetési tényezője 20°C-on $\lambda=20-400 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, a lineáris hőtágulási tényezője (20-100°C között) $\alpha = 8-20 \text{ mm}/(\text{m}\cdot\text{K})\cdot 10^{-6}$ között változhat. Az egyes értékek eltérnek a hőmérséklet növelésével, azaz változnak a felhevítés során.

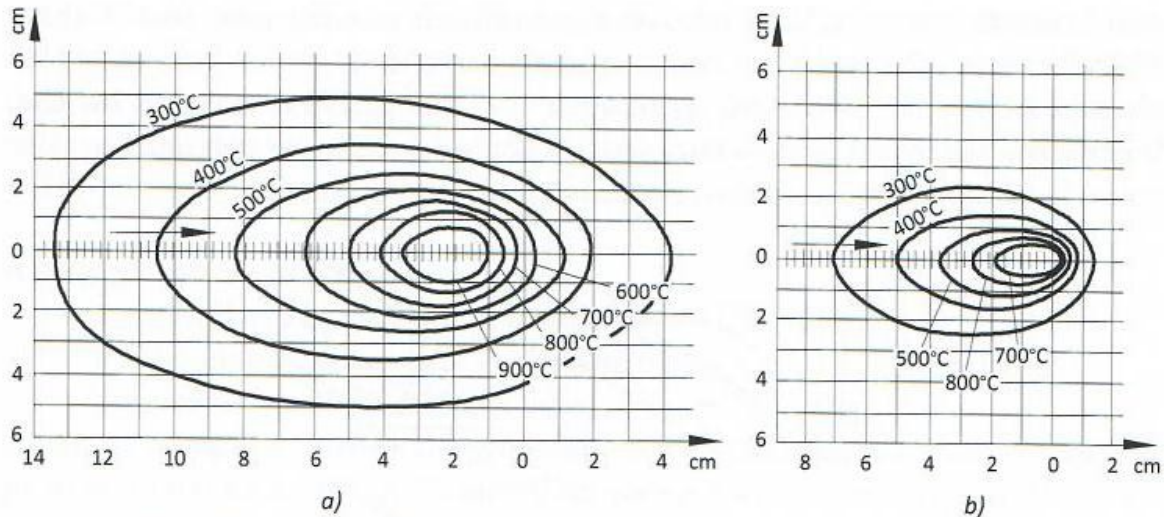
Tulajdonságok	Mértékegység	Ötvözetlen acél	Alumínium		Réz	
			ötvözetlen	ötvözött	ötvözetlen	ötvözött
Olvadáspont	°C	1536	660	480-655	1083	900-1060
Hővezetési tényező, λ (20°C-on)	W/(m K)	80,8	214	105-176	394	38-150
Fajhő, c_p (20-100 °C-on)	kJ/(kg·K)	0,46	0,89	0,7-0,9	0,39	0,37-0,42
Lineáris hőtágulási tényező, α (20-100°C-on)	mm/(m·K)·10 ⁻⁶	11,8	23,9	19-24	16,8	16-21
Sűrűség, ρ	kg/dm ³	7,85	2,7	2,64-2,89	8,93	7,5-9,2

17. táblázat: Néhány fém, ill. fémötvözet hőtani jellemzői¹⁰³

A hő hatása a szerkezeti elemre

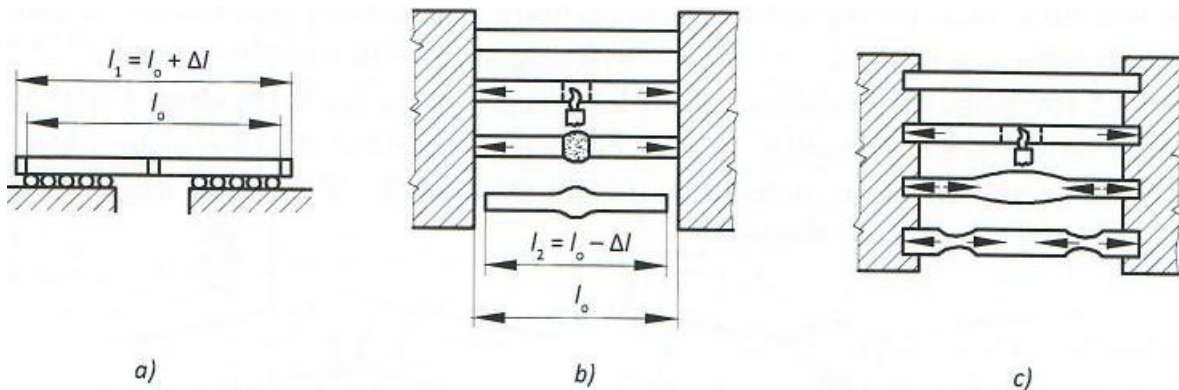
Ömlesztő hegesztéskor a hőforrás hatására az alapanyagok és a hegesztópálca is megömlik és megdermedve képezi a hegesztő anyagot. A hő egy része a környezetbe jut, ill. az alapanyagban hővezetés útján tovább terjed, és kialakul a hő által felhevített hőhatásövezet. A hőfolyamat során az alapanyag egyenlőtlen hőmérsékletre hevül fel. A hőeloszlás függ a hőforrás típusától, a bevitt hőenergiától, az alapanyag hőfizikai jellemzőitől. A 87. ábra összehasonlítja a gázhegesztéskor, ill. bevont elektródás ívhegesztéskor kialakuló hőmérséklet-izotermákat (azonos hőmérsékletű pontokat). Látható, hogy gázhegesztéskor az 5 mm vastag acéllemez a varrat középvonalához képest 40 mm-re hevül fel 300°C-ra, addig ívhegesztéskor ez kb. 22 mm, tehát közel a fele. A kiterjedtebb hőbevitel előnye, hogy az ömledék lassabban hűl le, ami repedésre érzékeny fémek esetén kedvező. Hátránya, hogy vékony lemezeknél nagyobb mértékű a vetemedés, és a hőhatásövezet durvaszemcsés lehet.

¹⁰³ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 72.o.



87. ábra: Hőmérsékleti izotermák 5 mm vastag acéllemez esetén¹⁰⁴
 a) Gázhegesztés; b) Bevont elektródás ívhegesztés

Ha l_0 hosszúságú fém T_0 hőmérsékletéről felhevül T_1 -re, akkor a lineáris (vonalmenti) megnyúlás $\Delta l = l_1 - l_0 = l_0 \cdot \alpha \cdot (T_1 - T_0)$ lesz, ahol α az adott fém lineáris hőtágulási együtthatója mm/m \cdot °C-ban. Az ötvöztelen acél hőtágulási együtthatója $\alpha = 11,8 \cdot 10^{-6}$ mm/m \cdot °C (vagy másképpen 0,0118 %) azaz egy 1000 mm hosszú rúd 1000°C-re való felhevülése során hozzávetőlegesen 11,8 mm-rel nyúl meg. Az ausztenites korrózióálló Cr-Ni acél, vagy a vörösréz esetében a megnyúlás 0,018%, alumíniumnál 0,025% lenne. Hegesztést követően a felhevített elemek lehűlnek, majd ennek során zsugorodnak, ill. vetemednek. Ha a munkadarabok tágulása akadályozott, akkor a kötésben belső (saját) feszültségek ébrednek.



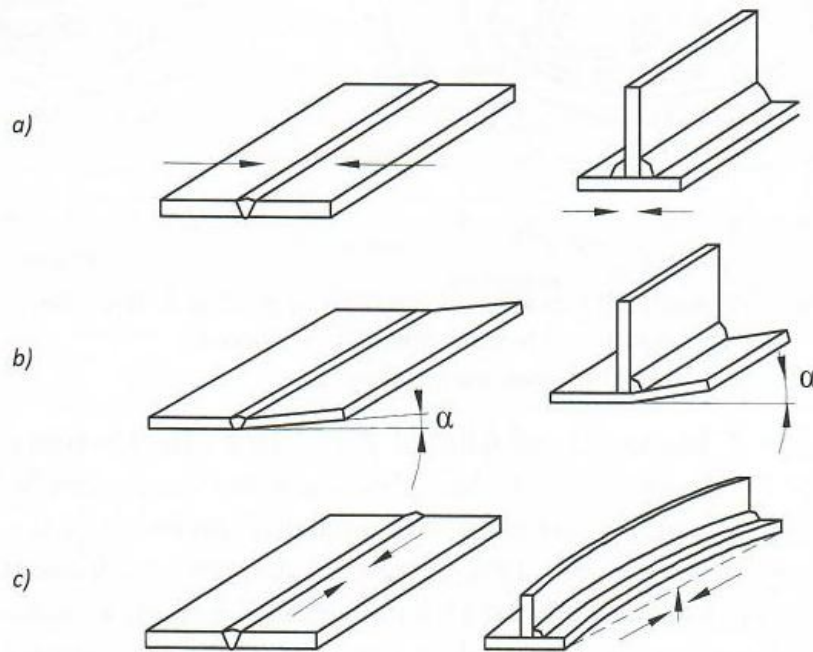
88. ábra: Hőtágulás és zsugorodás befogás nélküli, ill. befogott rúd hevítése és hűtése során¹⁰⁵
 a) szabad tágulás és szabad zsugorodás, b) akadályozott tágulás és szabad zsugorodás;
 c) akadályozott tágulás és akadályozott zsugorodás

A szabadon táguló és szabadon zsugorodó rúd megtartja eredeti hosszát, vékony lemez esetén azonban vetemedik (88.a ábra). Akadályozott tágulás és szabad zsugorodás esetén a rúd megnyúlik, de mivel a hőtágulás gátolt, közepén zömöl, hossza $l_2 = l_0 - \Delta l$ lesz, belső feszültségek tehát nem ébrednek (88.b ábra). Akadályozott tágulás és akadályozott zsugorodás esetén nincs hosszváltozás, a rúd közepén zömöl, és nagyobb belső feszültségek ébrednek (88.c ábra). A

¹⁰⁴ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 73.o.

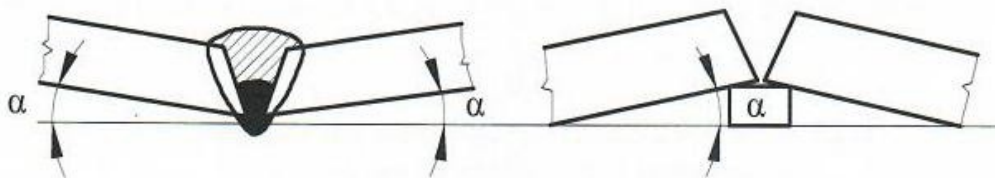
¹⁰⁵ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 73.o.

89. ábra lemezek tompavarratos és belső sarokvarratos kötésének alakváltozását mutatja. A lemezek keresztirányban, szög alakban és hosszirányban zsugorodnak.



89. ábra: Lemezkötések zsugorodásai
a) keresztirányú; b) szögben kialakuló c) hosszirányú;¹⁰⁶

Jobbra hegesztésű gázhegesztéskor a keresztirányú zsugorodás mértéke 2-2,5 mm, a szögzsugorodás $\alpha = 1-1,5^\circ$, a hosszirányú zsugorodás 1 m varrathossz esetén 1-1,3 mm. A szögzsugorodás csökkentésének lehetőségeit mutatja a 90. ábra. A koronaoldali varrat elkészítése utáni gyökoldali hegesztés csökkenti a szögelfordulást. Megoldás lehet a lemezek adott méretű alátétre való felfektetése, ekkor a végbemenő szögzsugorodás a lemezfelületet síkba húzza.



90. ábra: A szögzsugorodás csökkentése¹⁰⁷

3.3. Roncsolásos és roncsolás mentes vizsgálatok módszerei, alkalmazásuk

3.3.1. Roncsolásos vizsgálatok

A roncsolásos vizsgálatok a hegesztett kötések mechanikai tulajdonságairól, egyes mechanikai jellemzők (pl. keménység) eloszlásáról, a kötés minőségéről nyújtanak felvilágosítást. A vizsgálatokhoz a munkadarabot roncsolni kell próbadarabok, próbatestek kimunkálása útján.

Acélok ömlesztő hegesztéssel készített *tompakötésének keresztirányú szakítóvizsgálata* során azt vizsgálják, hogy a terhelőerő hatására a próbatest hol, illetve mekkora feszültség mellett szakad el. A vizsgálat során meghatározzák a szakítószilárdságot, a szakadás helyét és vizsgálják a töretfelületet. A *varrat vizsgálatához* használt próbatesteket úgy alakítják ki, hogy a

¹⁰⁶ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 74.o.

¹⁰⁷ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 74.o.

szakadás a varratban következzen be, ezért a próbatest a varrat közepén kisebb keresztmetszetű. A pálcá leolvasztásakor kapott hegesztési *ömladék* szakítóvizsgálatakor a próbatestet a hegyanyagból (varratból) munkálják ki, és így a hegyanyag mechanikai jellemzőit határozzák meg.

A kötések *hajlító vizsgálata* végezhető keresztirányban (gyökoldalról vagy koronaoldalról), oldal-hajlítással, illetve hosszahajlítással. A hajlítás végezhető megadott szögig, adott méretű repedés megjelenéséig vagy pedig törésig. Acéllemezek hegesztett kötéseinek technológiai vizsgálatakor a hajlító túska, vagy a hajlító görgő átmérője a lemezvastagság négyszerese, a hajlítási szög legalább 120° , hacsak az alapanyag, vagy hozaganyag kis képlékenysége más határértéket nem tesz szükségessé.



91. ábra: Hajlító vizsgálat¹⁰⁸

A kötések *keményiségvizsgálatának* célja az, hogy meghatározzák a kötésre merőleges keresztmetszetben a keménységet, a keménységeloszlást (általában Vickers-féle keménységméréssel HV 5, vagy HV 10 módszerrel, vagy mikrokeményiség vizsgálattal). A hegesztési hőfolyamat miatt a varrat és a hőhatásövezet fémtani szerkezete és ebből adódóan a keménysége is eltérhet az alapanyagétól. Ötvöztelen és finomszemcsés szerkezeti acélok technológiai vizsgálatakor a többrétegű tompa- és sarokvarratokban megengedett keménység 350 HV, ha a hegesztés után nem végeznek utóhőkezelést (ellenkező esetben 320 HV). Lenyomatsorok esetén a lenyomatok száma és a szomszédos lenyomatok távolsága legyen megfelelő a hegesztéskor keményedett vagy kilágyult övezetek meghatározásához. Acélok hőhatásövezetében pl. a lenyomatok középpontja közötti távolság 0,7-1 mm legyen. Ha a hegesztési feladat pl. kopásálló felület felrakása lágy felületre, akkor a felrakott rétegek (sorok) keménységméréséhez célszerű a Rockwell-C féle vizsgálati módszert alkalmazni.

A Charpy-féle *ütővizsgálat* fontos felvilágosítást nyújthat a kötés ridegtörési viselkedéséről. A varrat, illetve a hőhatásövezet alapanyagtól gyakran eltérő szövetszerkezete, szemcsemérete azt is jelenti, hogy adott hőmérsékleten a kötésre merőleges keresztmetszetből kivett V-bemetszésű próbatesteken eltérő ütőmunka értékek adódnak. Ezért az ütőpróba testeket úgy kell a kötésből kivenni, hogy a bemetszés helye az alapanyagtól a hegesztő varratig terjedjen. A bemetszett felület a próbadarab felületével lehet párhuzamos vagy pedig merőleges. A mérés során meghatározzák az ütőmunkát (Joule-ban), a törés helyét, típusát, és az esetleges hiba típusát és méretét.

A *törésvizsgálat* célja az információszerzés olyan (belső) hibák típusáról, méretéről és elhelyezkedéséről, mint a porozitás, a repedések, az összeolvadási hiány és hiányos átolvadás, valamint a nemfemes zárványok. A törés létrehozható hajlítással vagy húzással, statikus vagy

¹⁰⁸ Saját forrás

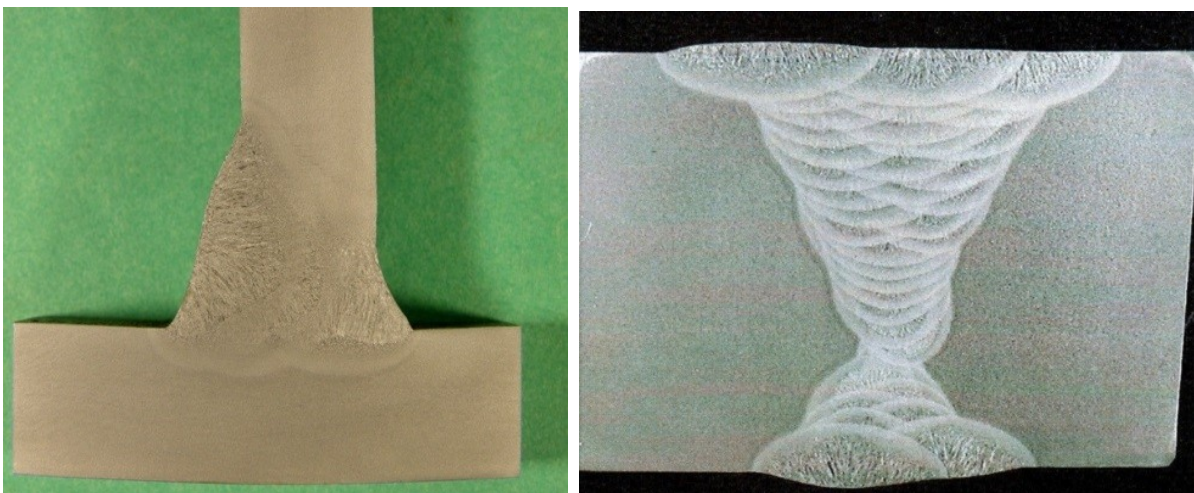
dinamikus terheléssel. A törést elő lehet segíteni a következő módszerek egyikével vagy együttes alkalmazásával: a varratdudor eltávolításával, a varrat mindkét végének bemetszésével, a varratdudor bemetszésével.

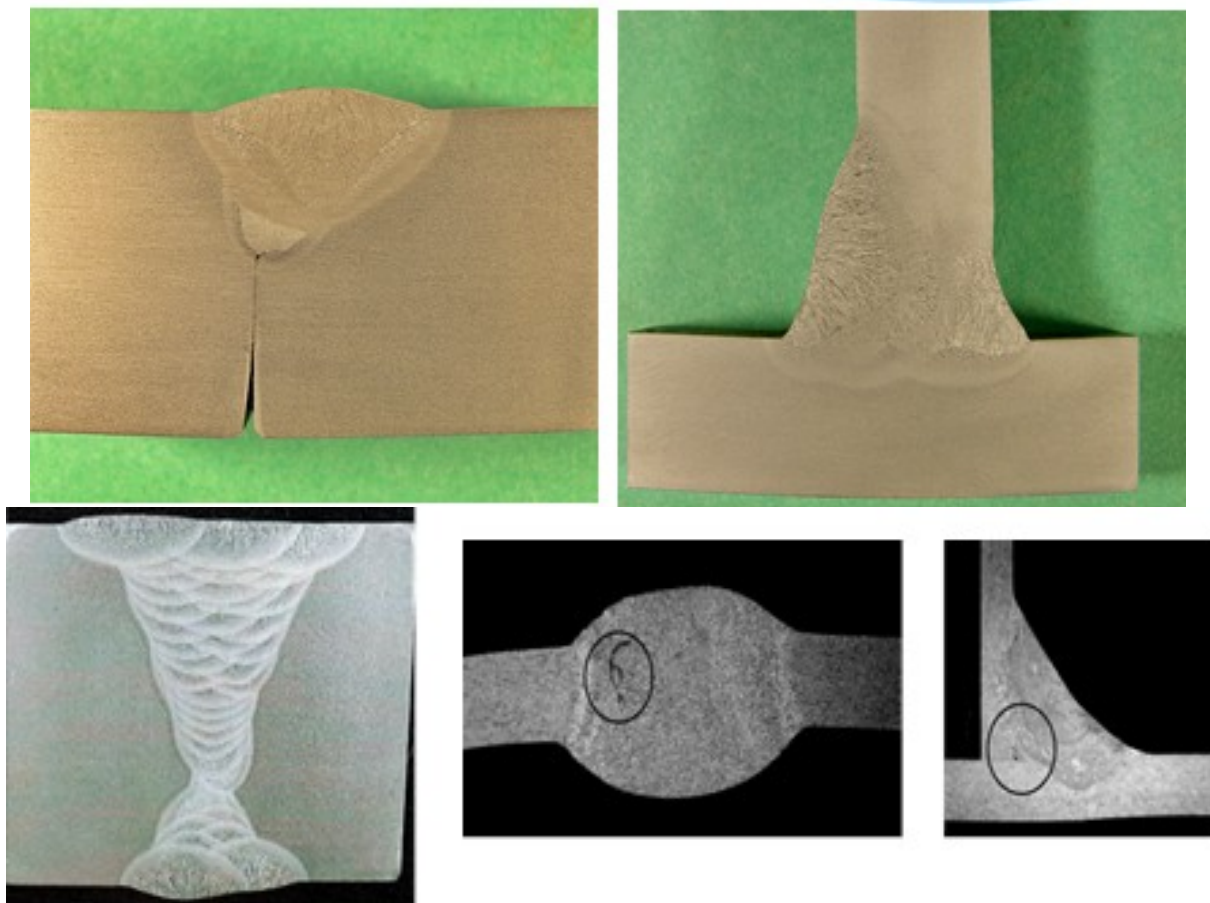
A *fárasztóvizsgálatok* elvégzésének egyik célja a kötés méret- és alakeltéréseinek a szerkezeti elem kifáradására gyakorolt hatásának meghatározása többnyire ismétlődő igénybevétel esetén. Gyakran azonban nehéz az üzemeltetés során fellépő - sokszor összetett - igénybevételt modellezni, vagy éppen hibátlan varratot elkészíteni, és ezért a fáradásra való méretezés nagyobb gondosságot igényel, sokszor hosszú időn át kell szerkezetfárasztó vizsgálatokat végezni.

A *metallográfiai vizsgálat* során a próbadarabból kisméretű próbatestet munkálnak ki, melyet csiszolás, polírozás után maratás nélküli vagy maratott, rendszerint keresztirányú metszeten makroszkópi (szabad szemmel, vagy kis nagyításban), vagy mikroszkópi úton (50-500-szoros nagyításban) vizsgálnak. A kötések *makroszkópi* vizsgálatához kézi nagyítót, vagy fémmikroszkópot használnak. A vizsgálat során meghatározható a varrat (rétegek és/vagy sorok) felépítése, a kötés szerkezete (alapanyag - hőhatásövezet- varrat), a jelenlévő durvább eltérések (felületi, illetve belső folytonossági hiány, porozitás, repedés stb.). A *mikroszkópi* vizsgálatnál a kötés fémtani szerkezetét (fázisok, szövetelemek, szemcsenagyság, dúsulások stb.), a próbatest hőkezelési, illetve alakítási állapotát stb. lehet elemezni.

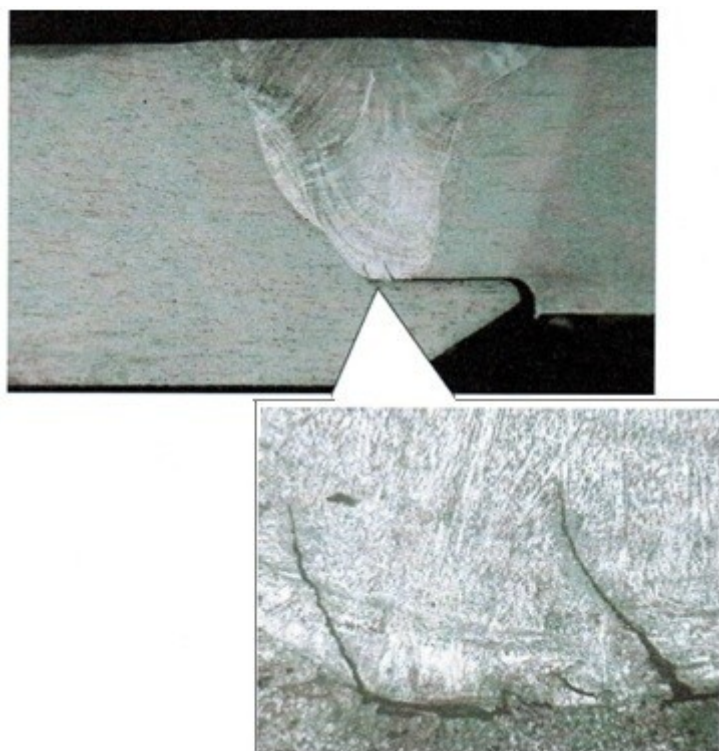
Makroszkópikus szabad szemmel, vagy kézi nagyítóval végzett vizsgálatok: zárványok, összeolvadási hibák, repedések feltárása, szemcsefinomság megállapítása.

A makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatok során számos „érdekes” hibás szövetszerkezettel találkozunk, a következőkben megismerkedünk néhány jelenséggel.





92. ábra: Makroszkópi vizsgálat acél¹⁰⁹



93. ábra: Makroszkópi vizsgálat alumínium¹¹⁰

¹⁰⁹ Saját forrás

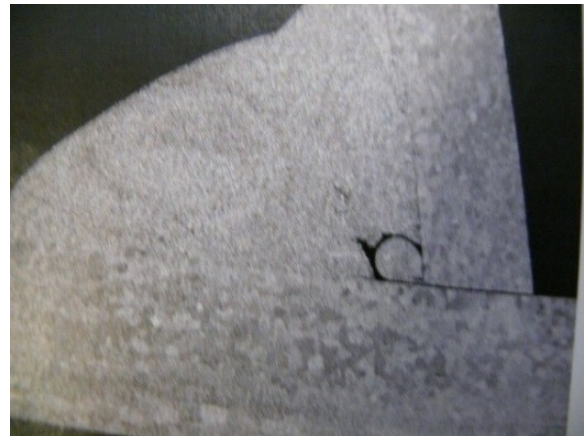
¹¹⁰ Saját forrás

Nem megfelelően kialakított tompavarrat korlátozott átolvadással látható a hibás környezetben. További nagyítás egyértelműen láthatóvá teszi a gyökben előforduló repedéseket, melyek az elégtelen átolvadás miatt alakultak ki.

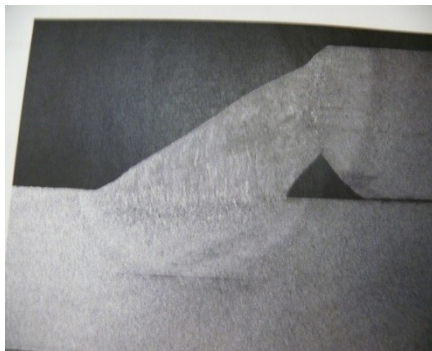
A sarokvarratoknál sokkal gyakrabban fordulnak elő eltérések, mint a tompavarratoknál. Tapasztalatok szerint a nem megfelelő minőségű sarokvarratok az esetek 90 %-ában beolvadási hibákat tartalmaznak.



Ötvözetlen acél a gyök beolvadása nem megfelelő



Eltérő vastagságú vékony lemez sarokvarrata, gyakorlatilag sehol sincs megfelelő beolvadás



Gyökhiba az átlapolt kötésbe

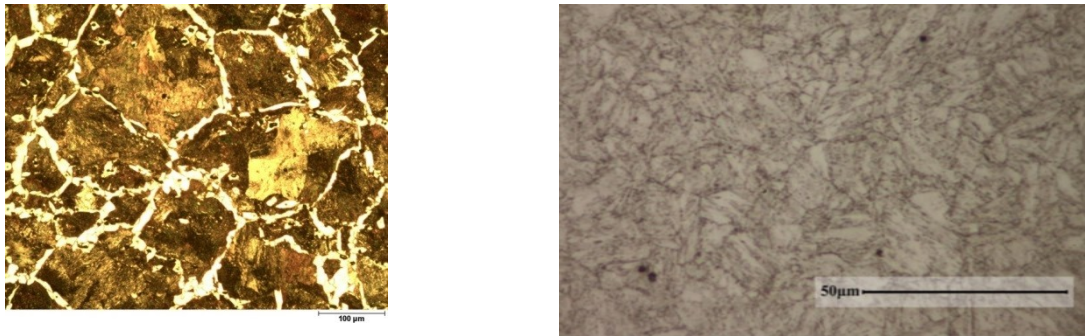


Beolvadási hiány ferdekötésnél

94. ábra: Makroszkópi vizsgálat acél sarokvarratokra¹¹¹

¹¹¹Saját forrás

Mikroszkopikus optikai berendezéssel, 100-1000 x-es nagyítású fémmikroszkóppal végzett vizsgálatok; szemcseméret, fázisok arányának, szövetszerkezet meghatározásához



95. ábra: Mikroszkópos vizsgálat¹¹²

3.3.2. Roncsolásmentes vizsgálatok

A roncsolásmentes vizsgálatok során a hegesztett munkadarab nem roncsolódik. A vizsgálatokat csoportosítani lehet aszerint, hogy külső (felületi) eltérések (hibák) vagy belső eltérések (hibák) kimutatására alkalmas. Külső eltéréseket pl. szemrevételezéssel, folyadékbehatolásos, mágnesporos, tömörségi vizsgálattal végzik. A belső eltéréseket (hibákat) radiográfiai, illetve ultrahangos eljárással lehet ellenőrizni.

A kötés (illetve élelőkészítés) legegyszerűbben és legolcsóbban *szemrevételezéssel* ellenőrizhető. A szemrevételezéses vizsgálat legfontosabb vizsgálati segédeszköze a mérőeszközökön kívül a jó megvilágítás (legalább 500 lux). A 96. ábra gyakran használatos egyszerű varratmérő eszközöket mutat.



96. ábra: Egyszerű varratmérő eszközök¹¹³

A hegesztés megkezdése előtt ellenőrizni kell a munkadarab méreteit, az illesztési hézagot, a leélezés szögét, a gyökszalag magasságát, az esetleges éleltolódást stb. A vizsgálat szükséges előfeltétele, hogy a vizsgálandó varratfelület száraz, zsírmentes, fémtiszta és a vizsgálatához megfelelően hozzáférhető legyen. A szemrevételezéssel kimutatható eltérések (hibák): repedések, szemmel látható porozítások, szilárd zárványok, összeolvadási hiány, nem megfelelő átolvadás, alakeltérések (pl. szélkiolvadás, végkráter, gyökátfolyás, illetve túlzott varratdudor), egyéb hiányosságok (felületi fröcskölések, futtatási szín stb.). A kimutatható méret alsó

¹¹² Saját forrás

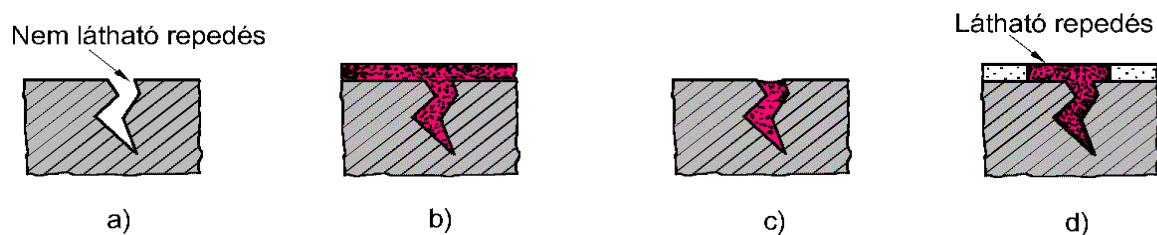
¹¹³ Benus Ferenc, Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó, Budapest, 2014, 97.o.

határa: 0,05-0,1 mm. Fentiekén kívül szükség lehet sztereomikroszkóp, nem megfelelő hozzáférhetőség esetén tükör, száloptika vagy kamera alkalmazására.

A **folyadékbehatolási vizsgálat** viszonylag olcsó és egyszerűen végrehajtható vizsgálati eljárás, amellyel csak a felületre nyitott eltérések (repedések, látható porozitások, összeolvadási hiány, nem megfelelő áthegesztés stb.) határozhatók meg. A vizsgálat elve az, hogy az igen kis méretű eltérés egy behatoló folyadék és egy előhívó kontraszthatása során a felületen jól látható, nagyobb méretű lenyomatot képez.

Az eljárás elve: a behatoló folyadék a hibákat elszínezi.

Az eljárás menete:



97. ábra: Folyadékbehatolási vizsgálati eljárás menete¹¹⁴

- felület megtisztítása:
- jelzőfolyadék tisztított felületre való felvitele, ami behatol a folytonossági hiányba (repedésbe)
- felesleges folyadék letisztítása
- a behatolt folyadékot az előhívó szerrel láthatóvá teszik a felületen, amely jelzi a hiba helyét, irányát és nagyságát.

Radiológiai vizsgálatok: RT (Radiographic Testing)

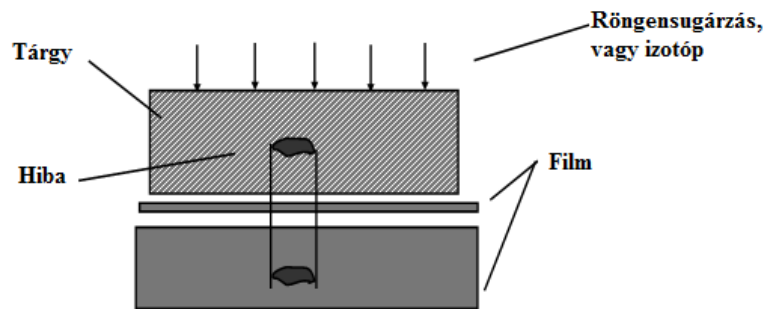
A **radiográfiai vizsgálat** során egy ellenőrizhető sugárforrásból (röntgensövből vagy radioaktív izotópból) adott minőségű és mennyiségű radioaktív sugárzás halad át a vizsgálandó tárgyon, és az így előállított képinformációt a vizsgálati zóna mögött elhelyezett film érzékeli. Mivel pl. a röntgensugár vonalmentén kiszélesedik, a vevő (film, világítóernyő, videokamera) valamennyi folytonossági hiányt (zárványok, szélkiolvadás stb.) leképezi és rögzíti. A térfogatszerű folytonossági hiányok (porozitások, repedések stb.) általában kisméretűek, és így a sugár intenzitása az ilyen hibákon történő áthaladás után csak kismértékben csökken. A sugár intenzitás - ami a fényképezésben a fényerősségnek felel meg - ezeken a helyeken nagyobb lesz, mint a környezetében, és pl. a röntgenfilm itt erősebben feketedik. Ezáltal a hibáról függőleges leképezés útján közvetlen kép jelenik meg a filmen. 10 mm-nél kisebb anyagvastagság esetén normál vizsgálati körülmények között az 0,1 mm-es hiány függően annak alakjától és elhelyezkedésétől még felismerhető.

A módszer: főként olyan hibák kimutatására alkalmas, amelyeknek legfőbb mérete a sugárzással párhuzamos.

Alkalmazási területe: a felület alatt található folytonossági hibák fajtájának, helyének és méretének meghatározás

¹¹⁴ Benus Ferenc: Fogyóelektronika védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 62.o.

Az eljárás elve: a röntgen- vagy gamma-sugár (izotóp) áthatol az anyagon és a fényérzékeny filmen eltérő elfeketedést okoz.



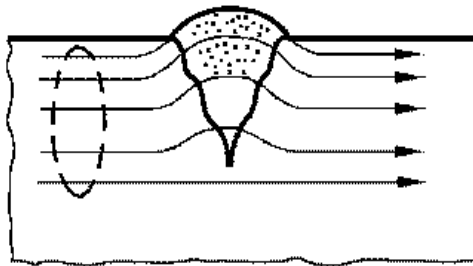
98. ábra: Radiográfiai vizsgálat¹¹⁵

Mágneses repedésvizsgálat

Módszer: felületi nyitott és a felülethez közel eső zárt, a mágneses erővonalakra merőleges hibák kimutatására alkalmas.

Alkalmazási területe: ferromágneses anyagokhoz, a max. 4 mm-rel a felület alatt lévő hibák feltárásához

Az eljárás elve: a folytonossági hiányok a létrehozott mágneses tér erővonalai elhajlítják, így a felületre szórt fémpor, vagy folyadék-szuszpenzió ezen a helyen felhalmozódik.



99. ábra.: Mágneses repedésvizsgálat¹¹⁶

Ultrahangos vizsgálat: UT (Ultrasonic Testing)

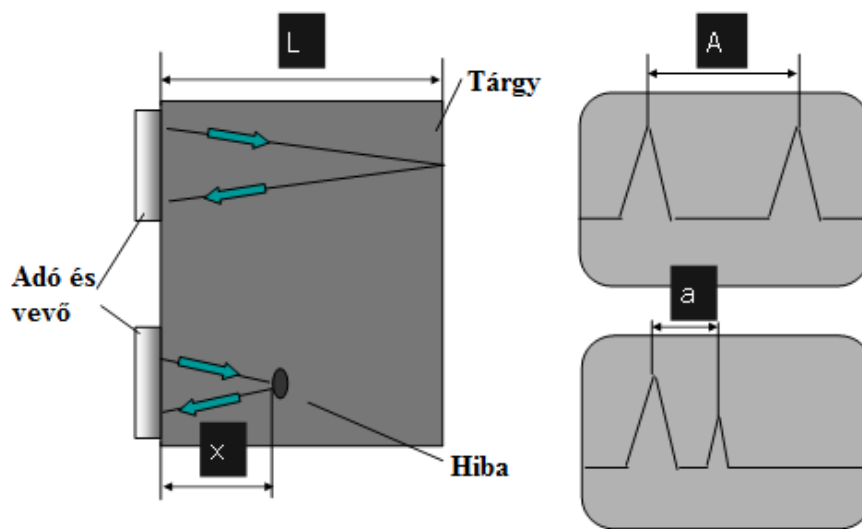
Módszer: főként olyan hibák kimutatására alkalmas, amelyeknek legfőbb mérete a sugárzásra merőleges.

Alkalmazási területe: a felület alatt található folytonossági hibák helyének meghatározása.

Az eljárás elve: a vizsgálandó anyagba juttatott 2...6 MHz frekvenciájú ultrahangimpulzus az alapanyag és a folytonossági hiány határterületén visszaverődik, ennek eredményeként a vizsgálókészülék képernyőjén arányos jelek jelennek meg.

¹¹⁵ Benus Ferenc: Fogyoelektródás védógázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 63.o.

¹¹⁶ Benus Ferenc: Fogyoelektródás védógázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 63.o.



hiba távolsága: $A : a = L : x$

100. ábra: Ultrahangos vizsgálat¹¹⁷

¹¹⁷ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 63.o.

3.4. Technológiai vizsgálatok

A *technológiai vizsgálatok* célja az előzetesen meghatározott vagy előírt hegesztési technológia alkalmazásának meghatározása. A hegesztéstechnológia minősítéséhez szükséges technológiai vizsgálatokat nemzetközi szabványok írják elő, amelyek során lemezek tompa- és sarokvarratos kötését, csövek ferde kötését kell elkészíteni és roncsolásos, illetve roncsolásmentes vizsgálatokkal ellenőrizni.

A hegesztési varratokban előforduló eltérések (hibák) csoportosítása. szabványos jelölésük:

100: repedések

okai:

- gyors hűlés
- előmelegítés hiánya
- helytelen hegesztéstechnológia
- felülettisztítás hiányosságai

200: üregek (gázzárványok)

okai:

- gyors hűlés
- hosszú ívtartás
- nedves, rozsdás felület
- felülettisztítás hiányosságai

300: szilárd zárványok

okai:

- rossz pisztolyfej tartás, vezetés
- kis áramerősség
- többsoros varratok
- hiányos felület tisztítása

400: kötési hibák

okai:

- helytelen áramerősség
- rossz ívhossz
- rosszul beállított illesztési hézag

500: alakhibák

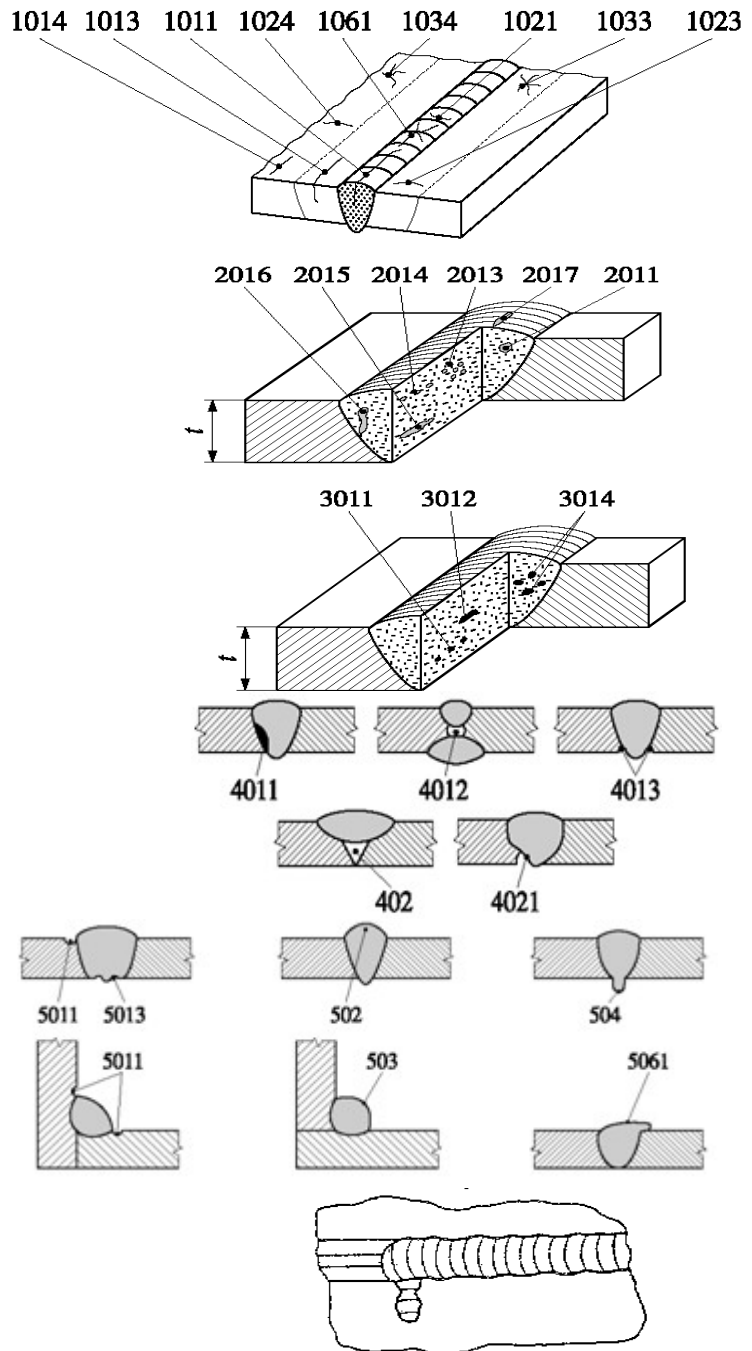
okai:

- helytelen áramerősség
- rossz pisztolyfej tartás, vezetés

600: egyéb hegesztési hibák

Okai:

- ívgyújtási hiba
- fröcskölés
- egyeletlen varratfelület




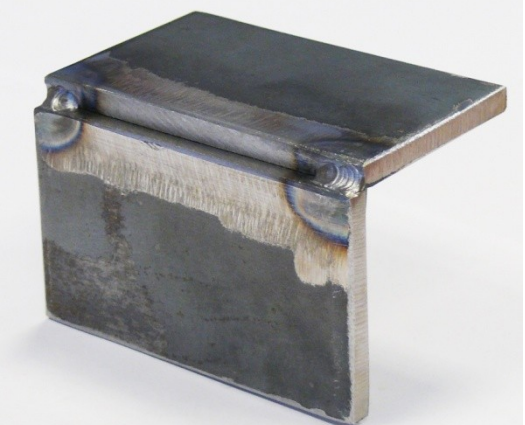
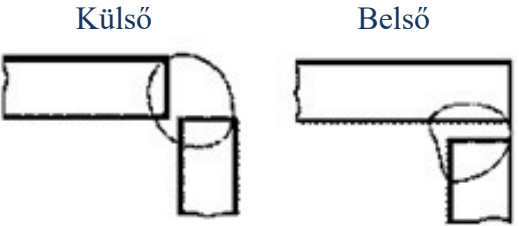
101. ábra: Hegesztett kötések eltérései MSZ EN ISO 6520-1¹¹⁸

¹¹⁸ MSZ EN ISO 6520-1:2008 Hegesztés és rokon eljárások. Fémek geometriai eltéréseinek besorolása. 1. rész: Ömlesztőhegesztés

4. Méretezés és tervezés

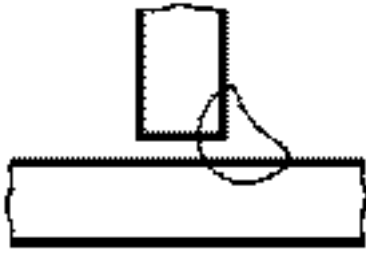
4.1 Hegesztett kötés fogalma, kötéstípusok

A hegesztett kötés az összekötendő elemek egymáshoz viszonyított helyzete. A hegesztett kötés részei: az alapanyagok, a hőhatásövezetek, a beolvadási zóna, a varrat. Lemezek hegesztésekor az elemek egymáshoz viszonyított helyzete szerint alkalmazott fontosabb kötéstípusokat a 15. táblázat mutatja. Ezek közül a tompakötés és a merőleges kötés a legelterjedtebb. Nem összetévesztendő a sarokkötés és a sarokvarrat. Egy merőleges kötés (pl. T kötés) készíthető sarokvarrattal vagy tompavarrrattal. Utóbbi esetben a merőleges elem leélezett.

Kötéstípus	Példa
Tompakötés Az elemek ugyanabban a síkban helyezkednek el (egymással bezárt szögük 180°).	
Merőleges kötés Az elemek egymásra merőlegesek (a bezárt szög 90°).	
<i>Sarokkötés</i> Külső Belső 	

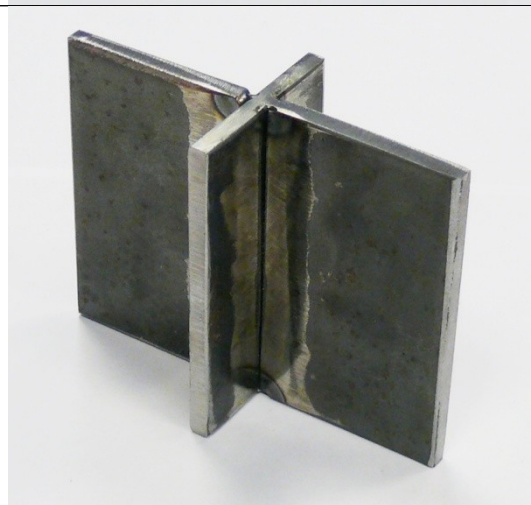
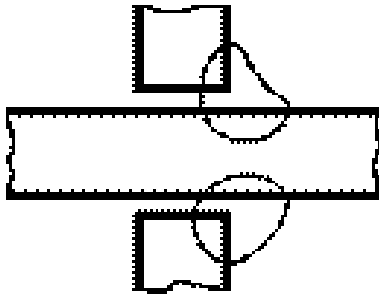
T kötés

Az elemek egymásra merőlegesen T alakban kapcsolódnak



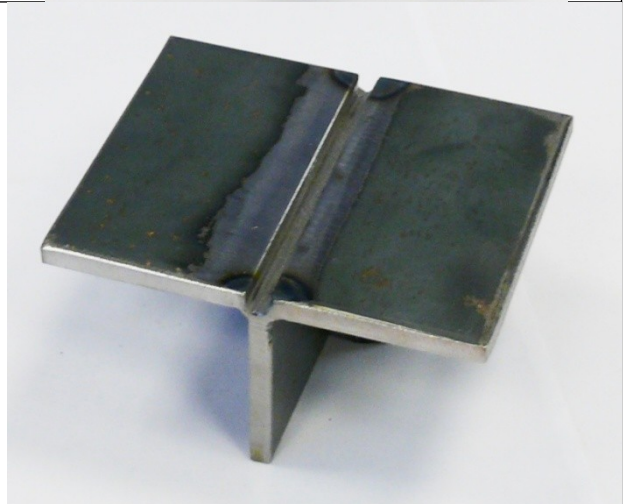
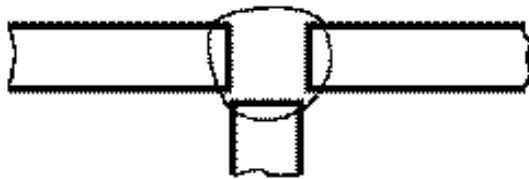
Kettős T kötés

Az azonos síkban fekvő két elem merőlegesen csatlakozik egy közöttük lévő harmadik elemhez



Háromlemez-kötés

Három, vagy több elem tetszőleges szög alatt kapcsolódik egymáshoz

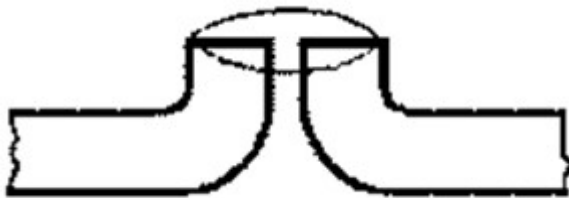


Párhuzamos kötés

Az elemek egymással párhuzamos síkban fekszenek.

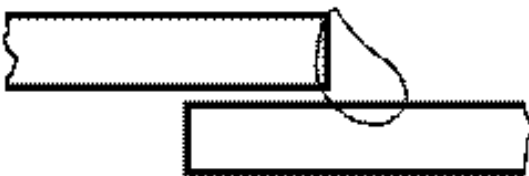
Homlokkötés:

Az élek egy síkban helyezkednek el, a kötés a párhuzamos felületek között jön létre



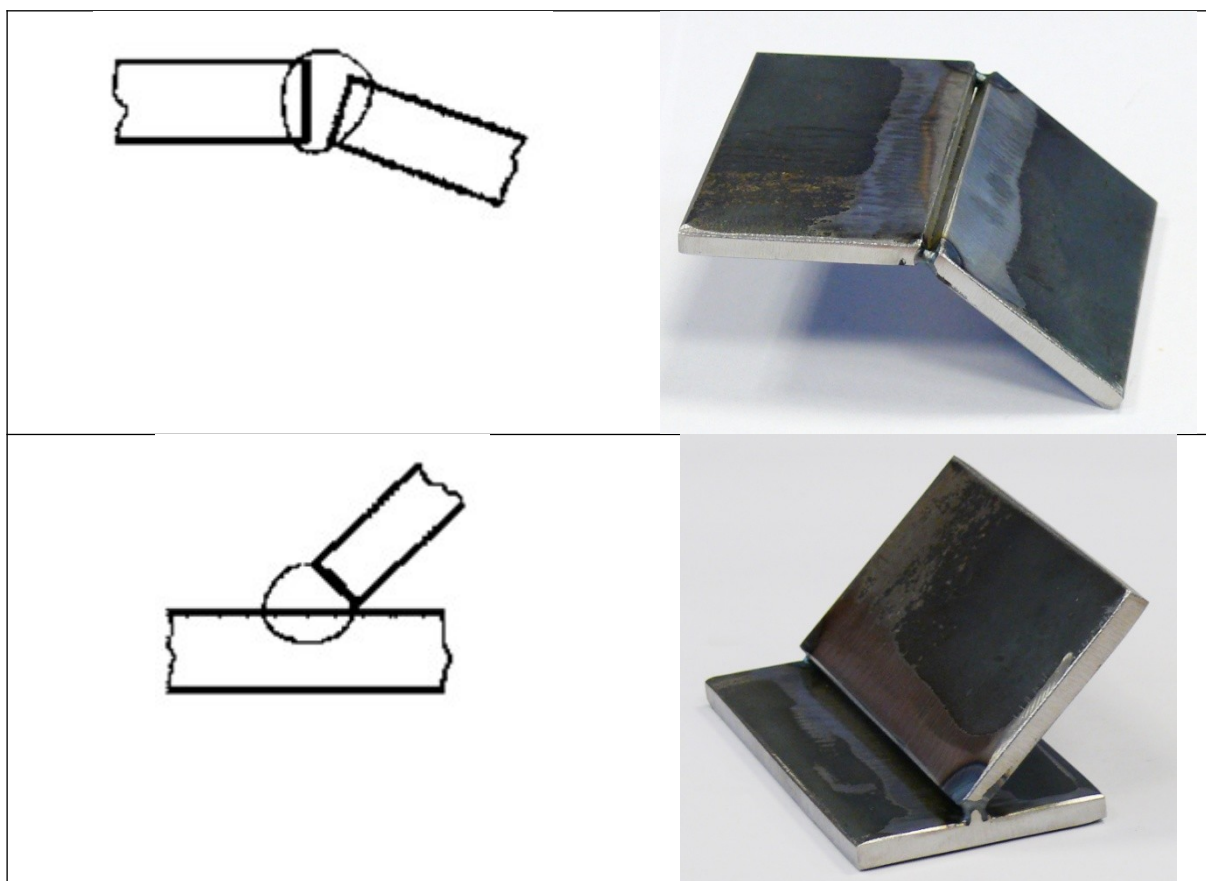
Átlapolt kötés

Az élek egymástól eltolva helyezkednek el



Ferde kötés

Az elemek által bezárt szög tetszőleges (kivéve a 90°-ot és a 180°-ot).



18. táblázat: Hegesztett kötések csoportosítása¹¹⁹

A hegesztett kötéseket a műszaki életben jelképes ábrázolással jelölik.

A varratot egyszerű jelekkel vagy összetett jelekkel ábrázolják.

Az egyszerű és az összetett jelek kiegészíthetők még járulékos jelekkel és kiegészítő utasításokkal, amelyek a varrat felületének tervezett alakjára mutatnak.

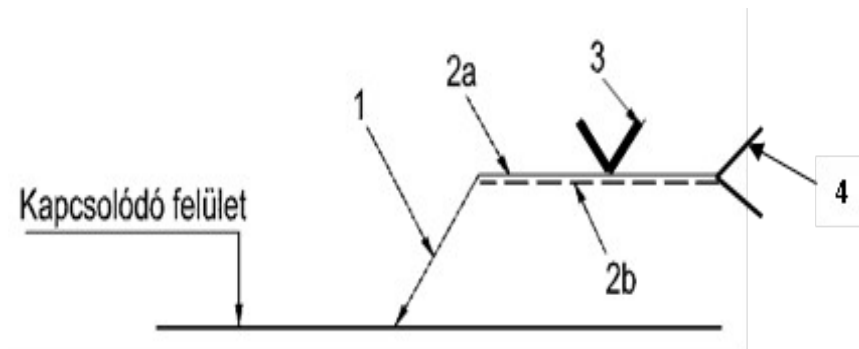
4.2. Hegesztési rajzjel

Elemei:

- a referenciavonal és mutatóvonal;
- a kötés alapjele (ha szükséges, kiegészítő jelekkel);
- a kötés jellemző adatai;
- az esetleges különleges előírások.

Hegesztett kötések rajzi jelölése

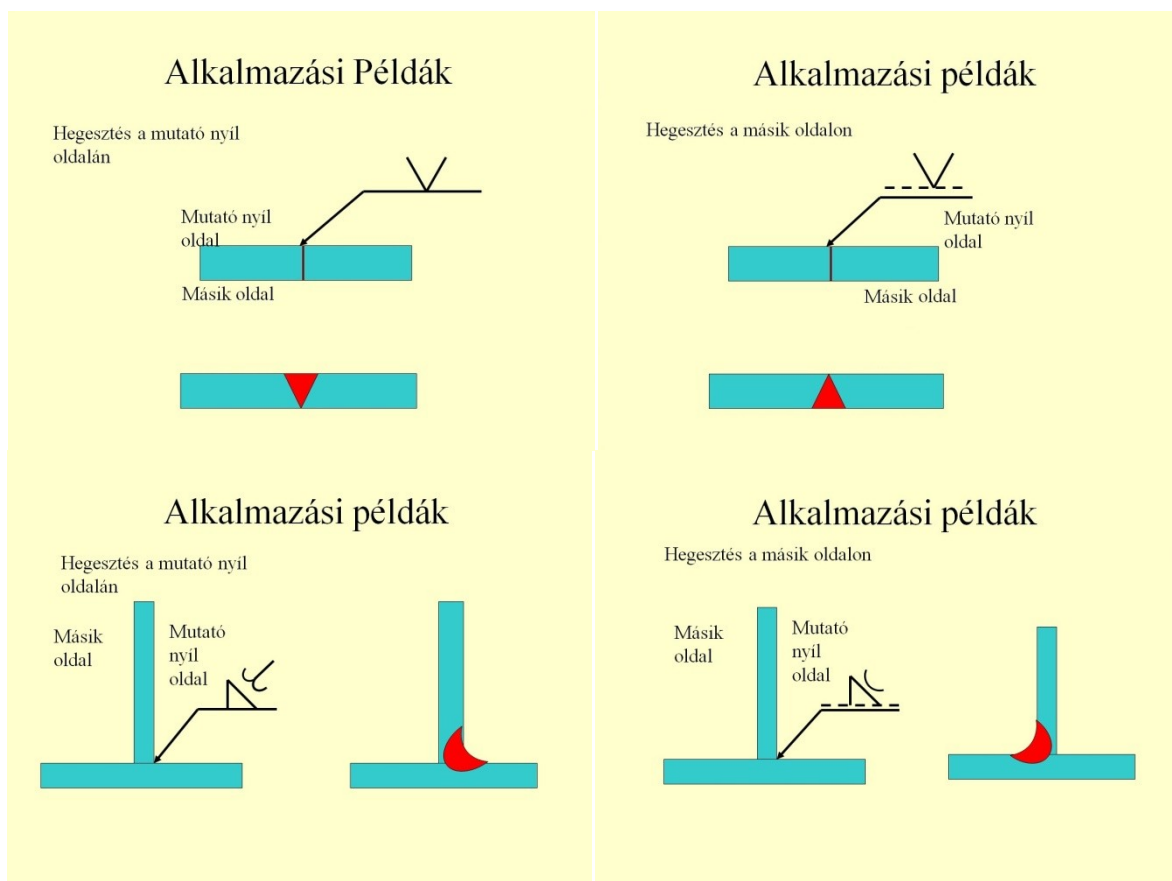
¹¹⁹ Saját forrás



102. ábra: Hegesztett kötés rajz jelölése¹²⁰

1. nyilas mutató; 2a folyamatos referencia; 2b szaggatott azonosító vonal; 3. a varrat alakjele; 4. villából álló rajzjel

Néhány alkalmazási példa a hegesztett kötések rajzi jelölésére

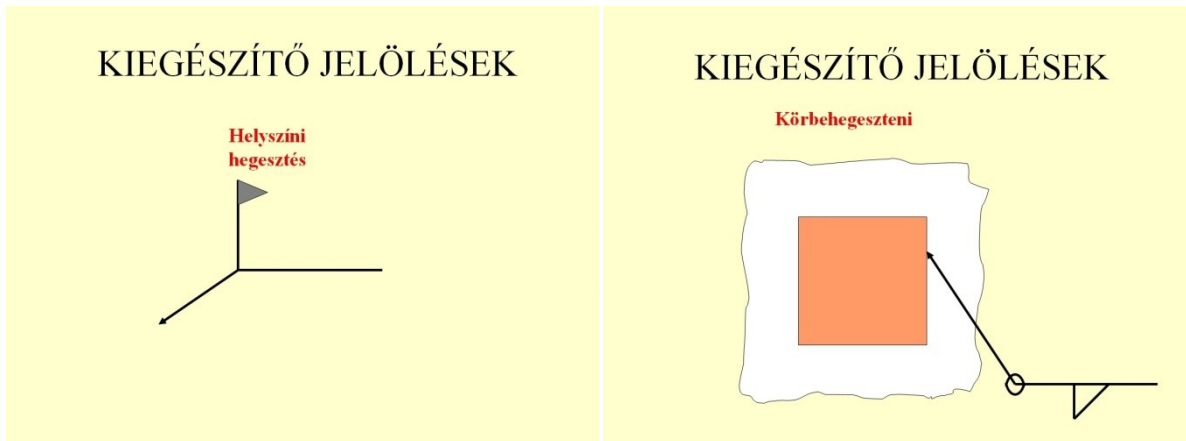


103. ábra: Példák hegesztett kötések rajzi jelölésére¹²¹

¹²⁰ Saját forrás

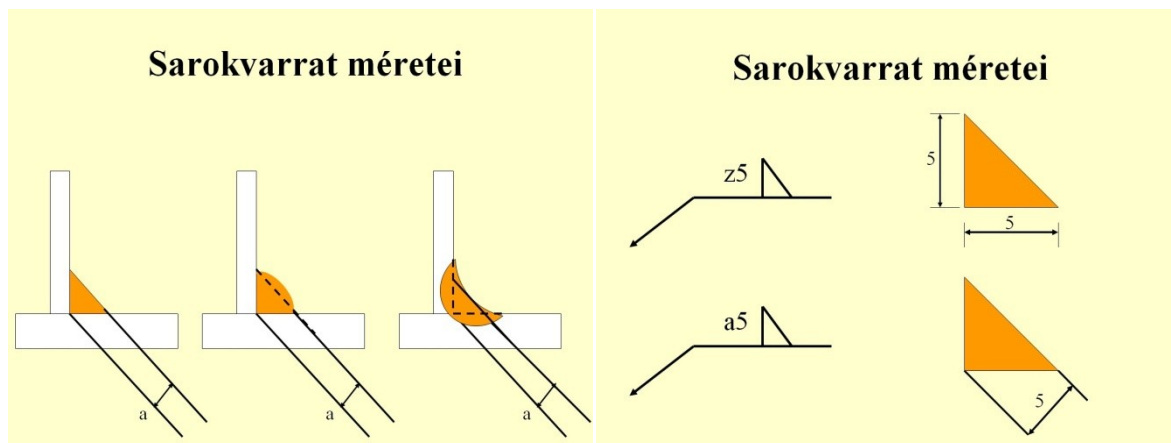
¹²¹ Saját forrás

Kiegészítő jelölések

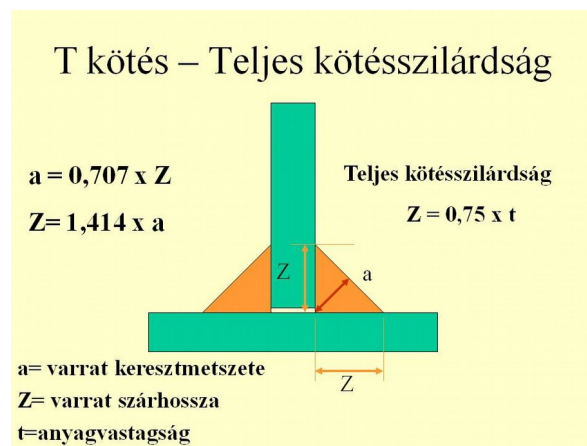


104. ábra: Kiegészítő jelölések¹²²

Sarokvarrat méretei



105. ábra: Sarokvarrat méreteinek megadása¹²³



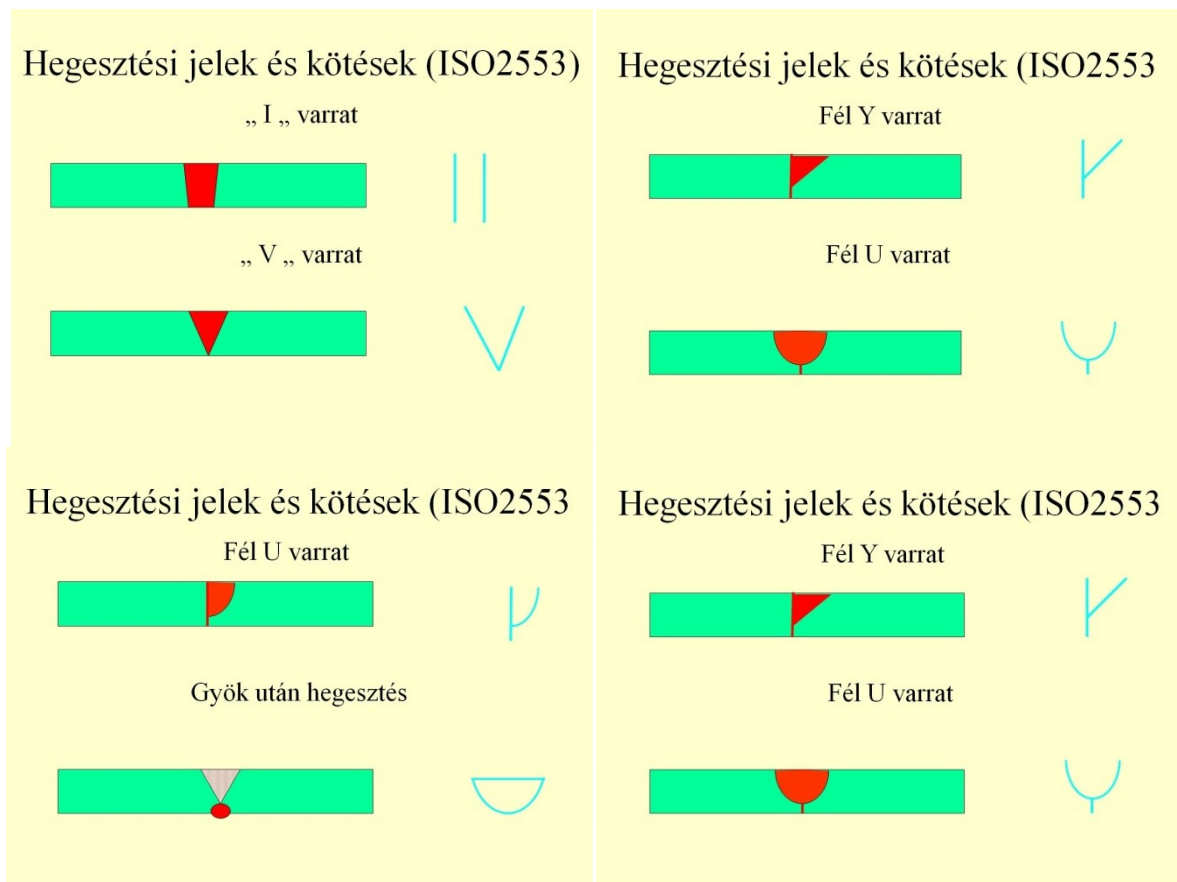
106. ábra: T kötés - Teljes kötészilárdság¹²⁴

¹²² Saját forrás

¹²³ Saját forrás

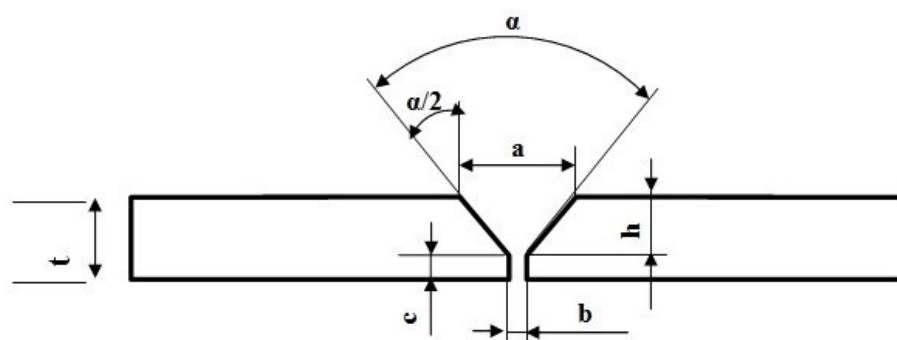
¹²⁴ Saját forrás

Hegesztési jelek és kötések az ISO 2553 szabvány szerint



107. ábra: Hegesztési jelek és kötések az ISO 2553 szabvány szerint¹²⁵

Az élkialakítás adatai



Az élkialakítás adatai:

t : anyagvastagság
 a : nyílási szélesség
 b : illesztési hézag
 c : élgök magasság
 $\alpha/2$: leélezési szög

r : perem ill. letörés sugara
 β : letörés szöge
 h : leélezési magasság
 α : nyílásszög

¹²⁵ Saját forrás

4.3. Állandó és változó terhelések

A gyártástechnológiai folyamatok alapvető velejárója a folyamatban résztvevő elemeken fel-lépő állandó vagy változó terhelés.

A hegesztett szerkezetek igénybevétele lehet statikus és dinamikus terhelés.

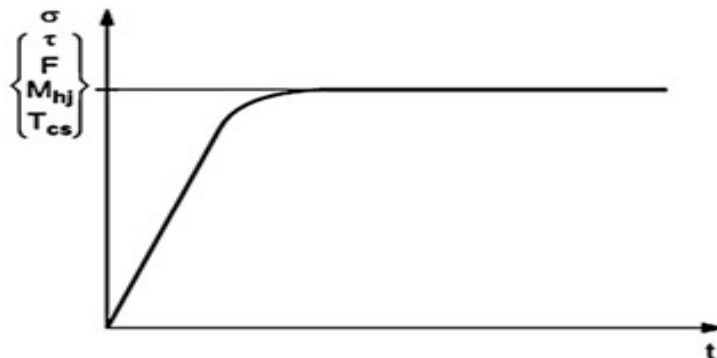
A szerkezetek méretezésénél több tényezőt kell figyelembe venni, hogy a hegesztett kötések és elemek rideg törés, kifáradás és teherbírás szempontjából kellő biztonságot nyújtsanak.

Egyik ilyen tényező az acélszerkezet anyagminősége.

Alapfogalmak:

Statikus terhelés: Statikusnak tekinthetők azok az igénybevételek, amelyek időben állandó értékűek, vagy a vizsgált folyamat szempontjából elhanyagolható mértékű változások jellem-zik.

Időben állandó, STATIKUS terhelés



109. ábra: Statikus terhelés¹²⁷

Statikus igénybevételnek kitett hegesztett kötések méretezésére az alapanyagban, ill. a hegesztett varratban ébredő feszültségek számításához ismerni kell az igénybevételek nagyságát. A terhelő erők lehetnek:

- állandó nagyságú erők (állandóan, vagy hosszú ideig ható erők),
- Járulékos terhelő erők (időszakosan, esetlegesen ható erők)
- Rendkívüli terhelő erők (a szerkezet nem rendeltetészerű használatából eredő erők).

A méretezés egyszerű esetben(húzásra, nyomás, nyírás vagy csavarás) az ébredő és megengedett feszültségek összehasonlításából áll.

Dinamikus terhelés: A terhelés időben véletlenszerűen vagy harmonikusan változik.

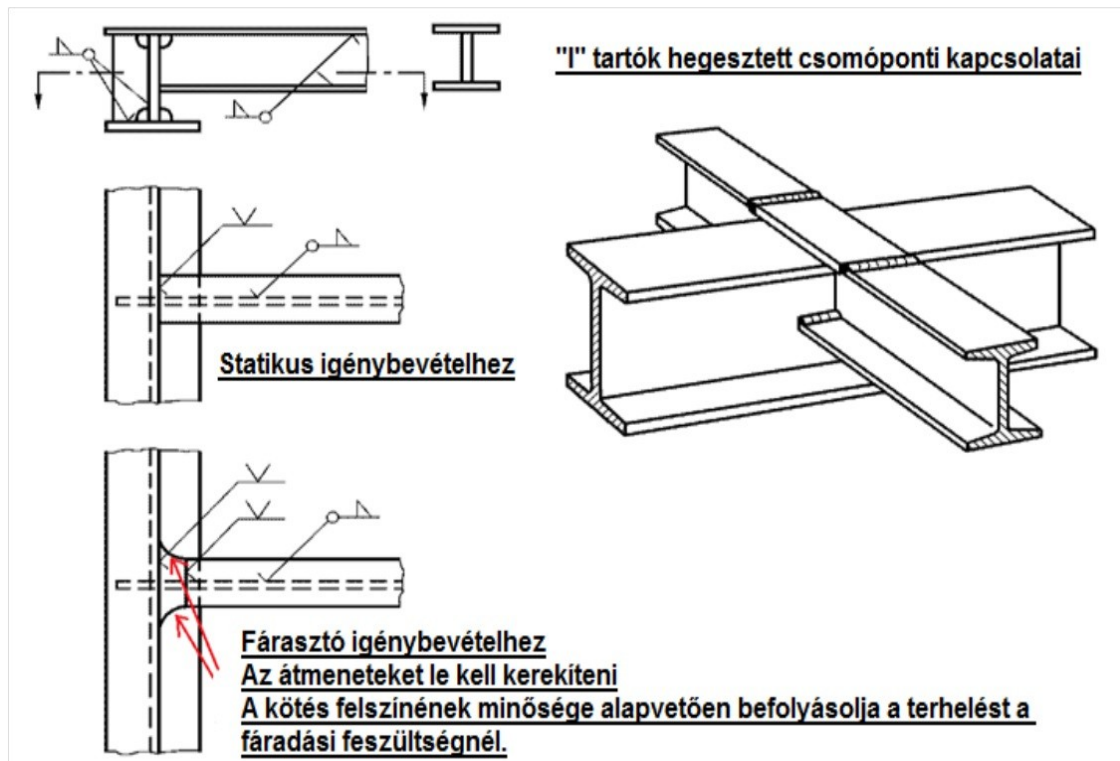
¹²⁶ Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet, Visonta, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft., 2013, 18.o.

¹²⁷ Benus Ferenc: Nemzetközi kiemelt hegesztő jegyzet, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft. Visonta, 2019, 95.o.

A változás érintheti mind a terhelésváltozás mértékét (pl.: rezgés amplitúdó), mind annak gyakoriságát (pl.: rezgés frekvencia).

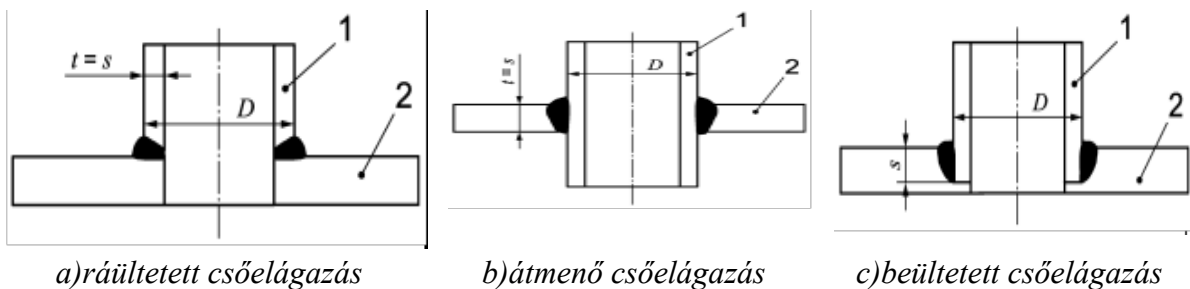
A dinamikus igénybevétel jellemzője, hogy a terhelés és az általa létrehozott feszültség mindig változik. A gyorsan változó igénybevételek hatása a szerkezetre lényegesen kedvezőtlenebb, mint a statikus terhelés esetén.

A dinamikus terhelésű hegesztett szerkezetek élettartama függ a hegesztett kötések és szerkezeti elemek fáradási szilárdságától. A terhelés ingadozása megismételhető, vagy ütközés. A terhelési módtól függően különbséget teszünk a pulzáló és a lengő feszültségek között.



110. ábra: Hegesztett csomóponti kapcsolatok statikus és fárasztó igénybevételnél¹²⁸

4.4. Csőelágazásos kötések típusai



111. ábra: Csőelágazásos kötések típusai¹²⁹

Jelmagyarázat

D A cső külső átmérője

s Tompavarrat esetén a varratvastagság vagy pedig a lerakott hegyanyag vastagsága.

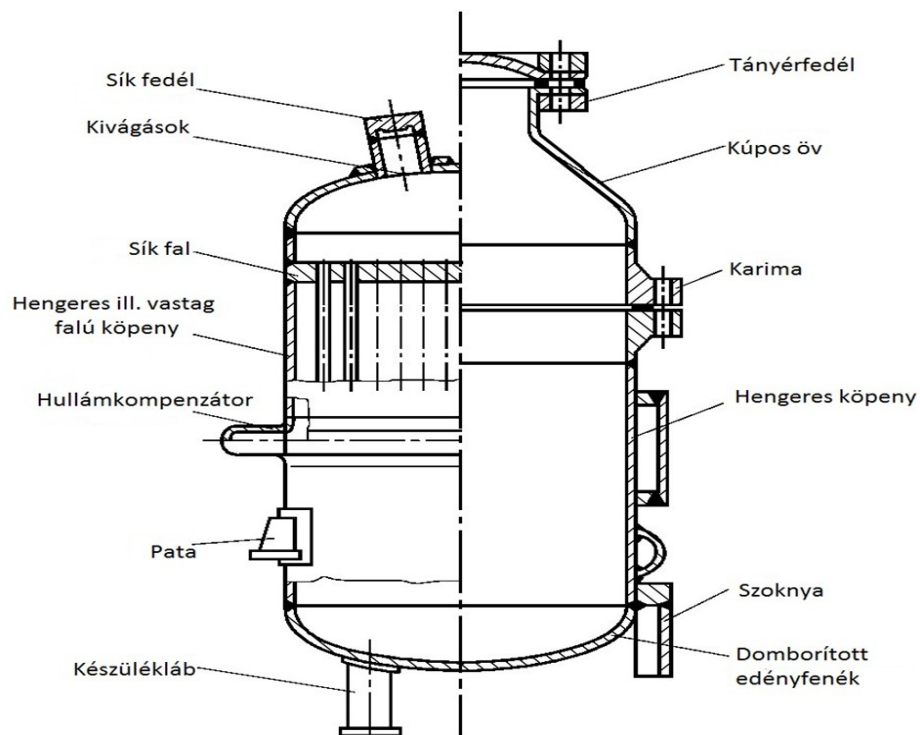
¹²⁸ Dr Kovács Mihály: Hegesztési Zsebkönyv. Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2010, 514.o.

¹²⁹ Benus Ferenc: Nemzetközi kiemelt hegesztő jegyzet, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft. Visonta, 2019, 96.o.

- t Anyagvastagság (lemez-, ill. csőfal vastagság)
- 1 Elágazás
- 2 Fő csővezeték, vagy tartályköpeny

4.5. Nyomástartó Berendezés

A nyomástartó edény olyan zárt, vagy zárható berendezés, mely nincs égéstermékek vagy vilamos energia közvetlen fűtőhatásának kitéve. Benne 0,5 Bár túlnyomásnál nagyobb nyomás van, ill. keletkezhethet, a közvetlenül kapcsolódó (be – és kilépő) peremes vagy hegesztett cső-kötésekig terjed.



112. ábra: Nyomástartó berendezés¹³⁰

¹³⁰ Dr Kovács Mihály: Hegesztési Zsebkönyv. Cokom Mérnökiroda Kft. Miskolc, 2010, 524.o.4.80 ábra

Ábrajegyzék

1. táblázat: Acélok csoportosítása és nemzetközi jelölési rendszerük.....	7
2. táblázat: Az acél pozitív kísérőelemei.....	8
3 táblázat: Az acél negatív kísérőelemei.....	8
1. ábra Az acélok jelölési rendszere.....	9
4. táblázat: Az ütőmunka és a vizsgálati hőmérséklet jelölése.....	10
5. táblázat: Az ötvözőelemek hegesztésre gyakorolt hatása.....	11
2. ábra Hegesztett kötések alakváltozásai.....	12
3. ábra: A hőkezelés fő folyamatelemei.....	14
4. ábra: A feszültségcsökkentő hőkezelés végrehajtása.....	15
5. ábra: Vízszintes helyzetű tompakötés és részei.....	16
6. ábra: Kis C tartalmú acél hegesztésekor kialakuló hőhatásövezet.....	17
6. táblázat: A karbonegyenérték és az előmelegítési hőmérséklet kapcsolata.....	18
7. ábra: Varrattípusok.....	18
8. ábra: Gyártói hegesztési utasítás (WPS) felépítése acélok ívhegesztésére.....	20
9. ábra: A gázhegesztés elve.....	21
7. táblázat: Gázhegesztéskor alkalmazott éghetőgázok főbb jellemzői.....	22
10. ábra: Főbb éghetőgázok lánghőmérséklete és égési sebessége.....	23
11. ábra: A semleges hegesztőláng és szerkezete.....	25
12. ábra: Lángtípusok.....	26
13. ábra: Egyfokozatú hegesztő nyomáscsökkentő.....	27
14. ábra: A gumitömlő szerkezete.....	28
15. ábra: Egyoldali tömlőcsatlakozó és hollandi anya.....	29
16. ábra: Csatlakozó toldatok.....	29
17. ábra: Kisnyomású injektoros hegesztőpisztoly.....	30
8. táblázat: Keverőszárak számozása és a javasolt hegesztési adatok.....	31
18. ábra: a) Lángfogó, b) Visszacsapó szelep.....	32
19. ábra: Lángvisszacsapás-gátló patron.....	33
20. ábra: Palacktelep biztonságtechnikai felszerelése.....	33
21. ábra: Egyedi palackvédelmi változatok.....	34
22. ábra: Az acetilénpalack szerkezete és térfogataránya 50 l űrtartalmú palackban.....	36
9. táblázat: Az acetilénpalackok szokásos adatai és töltési adagjai.....	36
23. ábra: Lemezek balra hegesztése vízszintes helyzetben.....	38
24. ábra: Lemezek jobbra hegesztése vízszintes helyzetben s anyagvastagság.....	39
25. ábra: Tükörhegesztés.....	41
26. ábra: Ablakhegesztés fázisai.....	42
27. ábra: Kapilláris hatás nagy (a), ill. kis (b) résnél.....	43
28. ábra: A kapilláris nyomás és a résszélesség kapcsolata.....	43
29. ábra: Átlapolt kötések forrasztáshoz.....	44
30. ábra: Forrasztási kötéstípusok és alkalmazhatóságuk.....	44
31. ábra: Példák résforrasztásra.....	45
32. ábra: A forrasz adagolásának módjai.....	45
33. ábra: Előre elhelyezett forrasszal végzett forrasztás.....	46
10. táblázat: Lágyforrasztások.....	47
11. táblázat: Keményforrasztások.....	49
12. táblázat: Ömlesztő hegesztési eljárások és számjelük.....	50
13. táblázat: Sajtoló hegesztési eljárások és számjelük.....	50
34. ábra: A bevont elektródás ívhegesztés elve.....	51
35. ábra: A fedett ívű hegesztés elve.....	52

36. ábra: A huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés elve	53
37. ábra: A volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés elve.....	54
38. ábra: Az ellenállás-ponthegesztés elve.....	56
39. ábra: A vonalhegesztés elve.....	57
40. ábra: Vonalhegesztett varratok.....	57
41. ábra: A dudorhegesztés elve.....	58
42. ábra: A zömítő tompahegesztés elve.....	59
43. ábra: Adattábla a hegesztő berendezésre vonatkozó jellemző adatokkal.....	60
44. ábra: A bevont elektrodás ívhegesztés ömlesztő folyamata egyenes polaritás esetén.....	61
45. ábra: Az ívgyújtás módja	62
46. ábra: Az áramforrás és az ív statikus jelleggörbéi.....	63
47. ábra: Meredeken eső jelleggörbéjű áramforrás és jellemzői a szabványos munkafeszültség egyenesével.....	63
48. ábra: Bevontelektroda részei.....	64
49. ábra: Ívhegesztő transzformátor felépítése.....	67
50. ábra: Az AVI áramforrás és az ív karakterisztikája.....	69
51. ábra: Áram le- és felfutás négyszögletes áramimpulzus esetén.....	70
52. ábra: Volfrámelektrodák színjelölése.....	71
14. táblázat: Volfrámelektrodák színjelölése és felhasználhatósága.....	71
53. ábra: Átfolyás mérő.....	72
54. ábra: A védőgázos ívhegesztő berendezés felépítése.....	73
55. ábra: Az áramforrás és az ív jelleggörbéje.....	74
56. ábra: Belső szabályozás.....	74
57. ábra: Statikus jelleggörbe.....	75
58. ábra: Az áramforrás és az ív jelleggörbéje.....	76
59. ábra: Anyagátmenetek.....	76
60. ábra: Rövidzárlatos cseppátmenet.....	77
61. ábra: Rövid ív beállítási tartománya.....	77
62. ábra: Nagycseppes anyagátmenet.....	78
63. ábra: Szórt cseppes anyagátmenet.....	78
64. ábra: Szoróív.....	79
65. ábra: Szoróív beállítási tartománya.....	79
66. ábra: Hosszúív jellemzői	79
67. ábra: Hosszúív beállítási tartománya.....	80
68. ábra: Lüktetőív hegesztés folyamata.....	80
69. ábra: Kétegörgős hajtású huzalelőtoló	81
70. ábra: Négyegörgős hajtású huzalelőtoló.....	81
71. ábra: Előtoló görgők	82
72. ábra: Kábelköteg felépítése	83
15. táblázat: A védőgáz hatása a beolvadási mélységre ötvözetlen acélok fagyóelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztésekor.....	84
73. ábra: A védőgáz hatása a beolvadási mélységre.....	84
74. ábra: A lángvágással összefüggő fogalmak értelmezése.....	85
75. ábra: Ötvözetlen acél, ill. acélöntvény lángvágathatósága a széntartalom függvényében...86	86
76. ábra: Kézi lángvágópisztoly.....	87
77. ábra: Lángvágó fűvóka kialakítások.....	88
78. ábra: Lángvágó berendezések.....	89
79. ábra: Lángvágási hibák.....	90
80. ábra: A lánggyalulás folyamata.....	91
81. ábra: Plazmavágás.....	92

82. ábra: Óránkénti légcseres száma gázhegesztéskor.....	93
83. ábra: A jó hegesztett kötés, hegesztési varrat előkészítésének feltételei.....	95
84. ábra: Hegesztéssel kapcsolatos minőségi követelmények.....	96
85. ábra: Alapelvek WPS készítéshez.....	98
86. ábra: Gyártói hegesztési utasítás technológiai vizsgálathoz (pWPS) acélok gázhegesztésére.....	99
16. táblázat: hegesztők lehetséges minősítése acélokra.....	100
17. táblázat: Néhány fém, ill. fémötvözet hőtani jellemzői.....	102
87. ábra: Hőmérsékleti izotermák 5 mm vastag acéllemez esetén.....	103
88. ábra: Hőtágulás és zsugorodás befogás nélküli, ill. befogott rúd hevítése és hűtése során.....	103
89. ábra: Lemezkötések zsugorodásai.....	104
90. ábra: A szögzsugorodás csökkentése.....	104
91. ábra: Hajlító vizsgálat.....	105
92. ábra: Makroszkópi vizsgálat acél.....	107
93. ábra: Makroszkópi vizsgálat alumínium.....	107
94. ábra: Makroszkópi vizsgálat acél sarokvarratokra.....	108
95. ábra: Mikroszkópos vizsgálat.....	109
96. ábra: Egyszerű varratmérő eszközök.....	109
97. ábra: Folyadékbehatásos vizsgálati eljárás menete.....	110
98. ábra: Radiográfiai vizsgálat.....	111
99. ábra: Mágneses repedésvizsgálat.....	111
100. ábra: Ultrahangos vizsgálat.....	112
101. ábra: Hegesztett kötések eltérései MSZ EN ISO 6520-1.....	113
18. táblázat: Hegesztett kötések csoportosítása.....	117
102. ábra: Hegesztett kötés rajz jelölése.....	117
103. ábra: Példák hegesztett kötések rajzi jelölésére.....	118
104. ábra: Kiegészítő jelölések.....	118
105. ábra: Sarokvarrat méreteinek megadása.....	119
106. ábra: T kötés - Teljes kötészilárdság.....	119
107. ábra: Hegesztési jelek és kötések az ISO 2553 szabvány szerint.....	120
108. ábra: Élkialakítás adatai.....	120
109. ábra: Statikus terhelés.....	121
110. ábra: Hegesztett csomóponti kapcsolatok statikus és fárasztó igénybevételnél.....	122
111. ábra: Csőelágazásos kötések típusai.....	122
112. ábra: Nyomástartó berendezés.....	123

Irodalomjegyzék

Benus Ferenc - Dr. Márton Tibor: Gázhegesztés és rokon eljárások. Műszaki Kiadó Budapest, 2014

Benus Ferenc: Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft. Visonta, 2013

Benus Ferenc: Volfamelektródás védőgázos ívhegesztés jegyzet. Mátrai Hegesztéstechnikai Kft. Visonta, 2011

Benus Ferenc: Nemzetközi kiemelt hegesztő jegyzet, Mátrai Hegesztéstechnikai Kft. Visonta, 2019,

Dr. Kovács Mihály: Hegesztés. Tankönyvmester Kiadó, Budapest 2008

Dr. Gáti József: Hegesztési zsebkönyv. Cokom Kft. Miskolc, 2010

Dr. Gremperger Géza: Hegesztési zsebkönyv. Cokom Kft. Miskolc, 2010