

2. A hegesztési eljárások és eszközeik

A hegesztés során a munkadarabokat hővel, nyomással vagy mindkettővel egyesítjük oly módon, hogy a munkadarabok között nem oldható, az anyagok természetének megfelelő fémes (kohéziós) kapcsolat jön létre. Hegesztéssel két vagy több munkadarab egyesíthető (kötőhegesztés), vagy adott tulajdonságú felületet lehet kialakítani (felrakóhegesztés).

A hegesztési eljárások több szempont szerint csoportosíthatók.

Energiaforrás szerinti csoportosítás. *A villamos ív által végzett ömlesztőeljárások* hőforrása a gázközegben végbemenő nagy hőmérsékletű *kisülés*; ami az alapanyagok (és többnyire hozaganyag) megömlesztése útján hozza létre a kötést.

A termokémiai elven működő eljárások energiaforrása hő termelő (exoterm) *kémiai reakció*, amelynek során a fejlődő hő ömleszt meg a munkadarabot és a hozaganyagot. Ide sorolható a gázhegesztés és az aluminotermikus hegesztés.

A sugárenergia által végzett ömlesztőhegesztések hőforrása nagy teljesítményű *elektronsugár* vagy *lézersugár*.

Az elektromos ellenállás elvén működő eljárások során a hegesztéshez szükséges hő *ellenálláshő*, amely fejlődhet a megömlesztett salak Joule-hője által (villamos salakhegesztés), érintkezési ellenállás útján (pont-, vonal-, fóliás vonal-, dudor- és tompahegesztés stb.). Ez esetben a kötés hő és erő *együttes* hatására jön létre.

A mechanikai energia felhasználásán alapuló eljárásokhoz szükséges hő *mechanikai energiából* származik (súrlódás, sajtolás, képlékeny alakváltozás stb.). Az ide sorolható főbb eljárások: dörzs-, ultrahangos, hidegsajtoló és robbantásos hegesztés.

Az MSZ ISO 4063:1992 - alkalmazkodva a nemzetközi előíráshoz - a hegesztési eljárásokat számkódokkal jelöli, ezek közül a legfontosabbakat soroljuk fel. A megnevezés után olvasható nagybetűk a magyar műszaki gyakorlatban használt rövidítések.

0 Ömlesztőhegesztés

1 ívhegesztés (I)

11 Fogyóelektródás, önvédő ívhegesztés (ÖFI)

111 Fogyóelektródás ívhegesztés bevont elektródával (BI)

12 Fedett ívű hegesztés (FFI)

13 Fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés (VFI)

131 Fogyóelektródás semleges védőgázos ívhegesztés (AFI)

14 Nem - fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés (-)

141 Volfrámelektródás védőgázos ívhegesztés (AWI)

15 Plazmaív-hegesztés (PI)

18 Egyéb ívhegesztési eljárások (-)

2 Ellenállás-hegesztés (E)

- 21 Ellenállás-ponthegeztés (PE)
- 22 Ellenállás-vonalhegeztés (VE)
- 23 Ellenállás-dudorhegeztés (DE)
- 24 Leolvastó tompahegeztés (LTE)
- 25 Zömítő tompahegeztés (ZTE)
- 29 Egyéb ellenállás-hegeztési eljárások (-)

3 Gázhegeztés (L)

- 31 Oxigén-éghető gáz hegeztés (-)
- 32 Levegő-éghető gáz hegeztés (-)

4 Sajtolóhegeztés (-)

- 41 Ultrahangos hegeztés (UH)
- 42 Dörzshegeztés (D)
- 43 Kovácshegeztés (-)
- 44 Hegeztés nagy mechanikai energiával (-)
- 45 Diffúziós hegeztés (DM)
- 47 Sajtoló gázhegeztés (-)
- 48 Hidegsajtoló hegeztés (H)

7 Egyéb hegeztési eljárások (-)

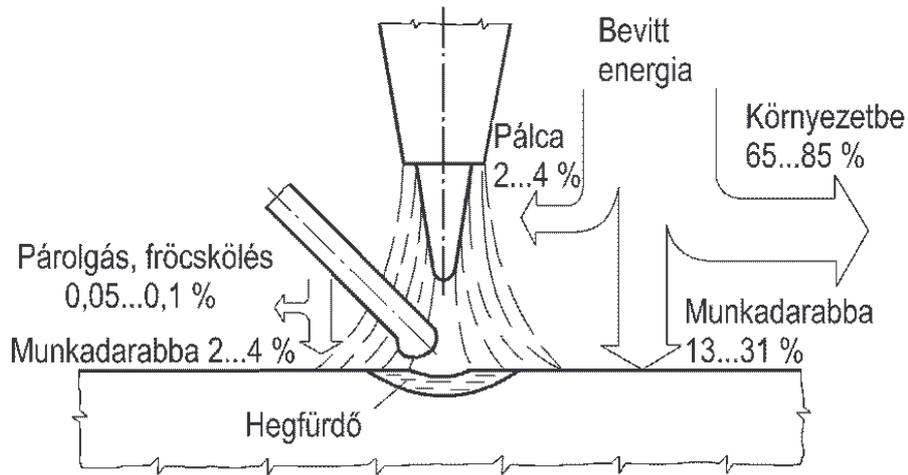
- 71 Alumínótermikus hegeztés (termithegeztés) (AT)
- 72 Villamos salakhegeztés (SA)
- 73 Elektro-gázhegeztés (EG)
- 74 Indukciós hegeztés (IE)
- 75 Fénysugaras hegeztés (-)
- 751 Lézersugaras hegeztés (LS)
- 76 Elektronsugaras hegeztés (ES)
- 77 ívkiütéses sajtolóhegeztés (IS)
- 78 Csaphegeztés (CSI)

A hegeztési helyzeteket nemzetközi kóddal jelöljük (ld. a 4.19. táblázatot).

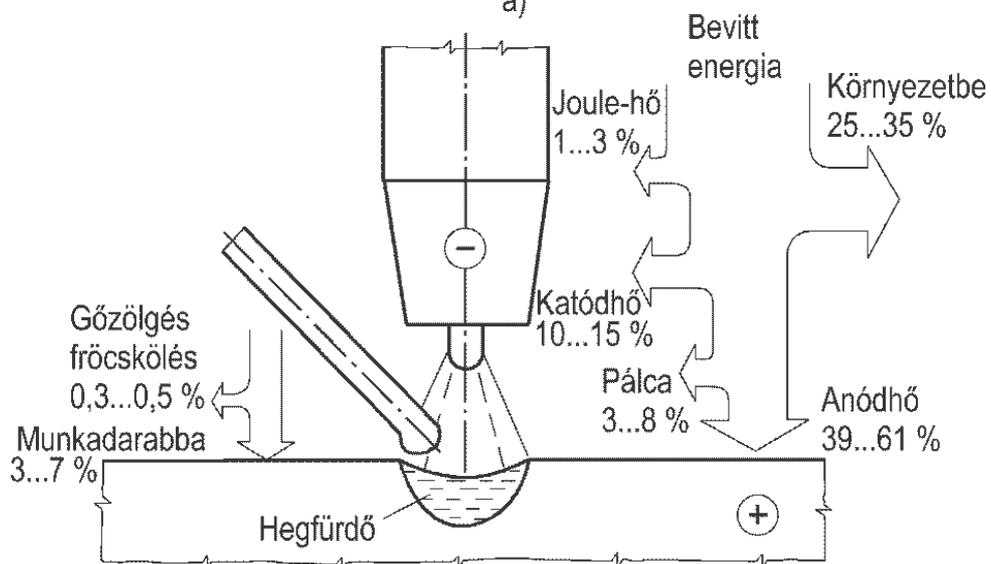
	Részben gépesített, jele: r	Egyszerű vagy összetett energiaforrás alapadatok előválasztásával, valamilyen mellékmozgás gépi, néhány működést vezérlő-szabályozó rendszer irányít. Segédberendezéssel vagy anélkül	k	g	k	•	•	•	•												
	Gépesített, jele: g	Összetett energiaforrás alapadatok előválasztásával, gépesített mozgások. Néhány működést vezérlő-szabályozó rendszer irányít. Segédberendezéssel	g	g	k		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Programvezérlésű * gépi, jele: a	Összetett energiaforrás, alapadatok programozhatók, gépesített mozgások. Részleges vagy a teljes hegesztési ciklust vezérlő-szabályozó rendszer (pl- NC) irányítja. Segédberendezéssel, munkadarab-adagoló rendszerrel	g	g	g		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Automatizált	Program-vezérlésű*, folyamatszabályozású, gépi, jele: a	Összetett energiaforrás, az alapadatok programozva, teljes gépesítéssel, hegesztési folyamatszabályozó rendszerekkel irányítva (pl. betanítható robot + számítógép). Segédberendezéssel, munkadarab-adagoló rendszerrel	g	g	g		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

* Munkadarab-adagoló rendszer nélkül gépesített szinten is megvalósítható.

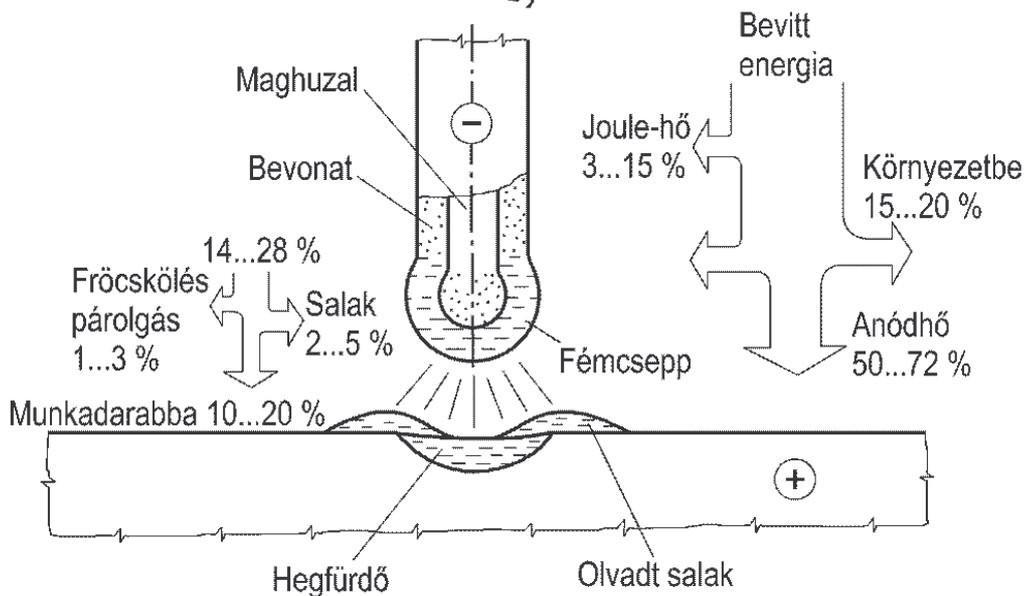
** MSZ ISO 4063 jelölése szerint.



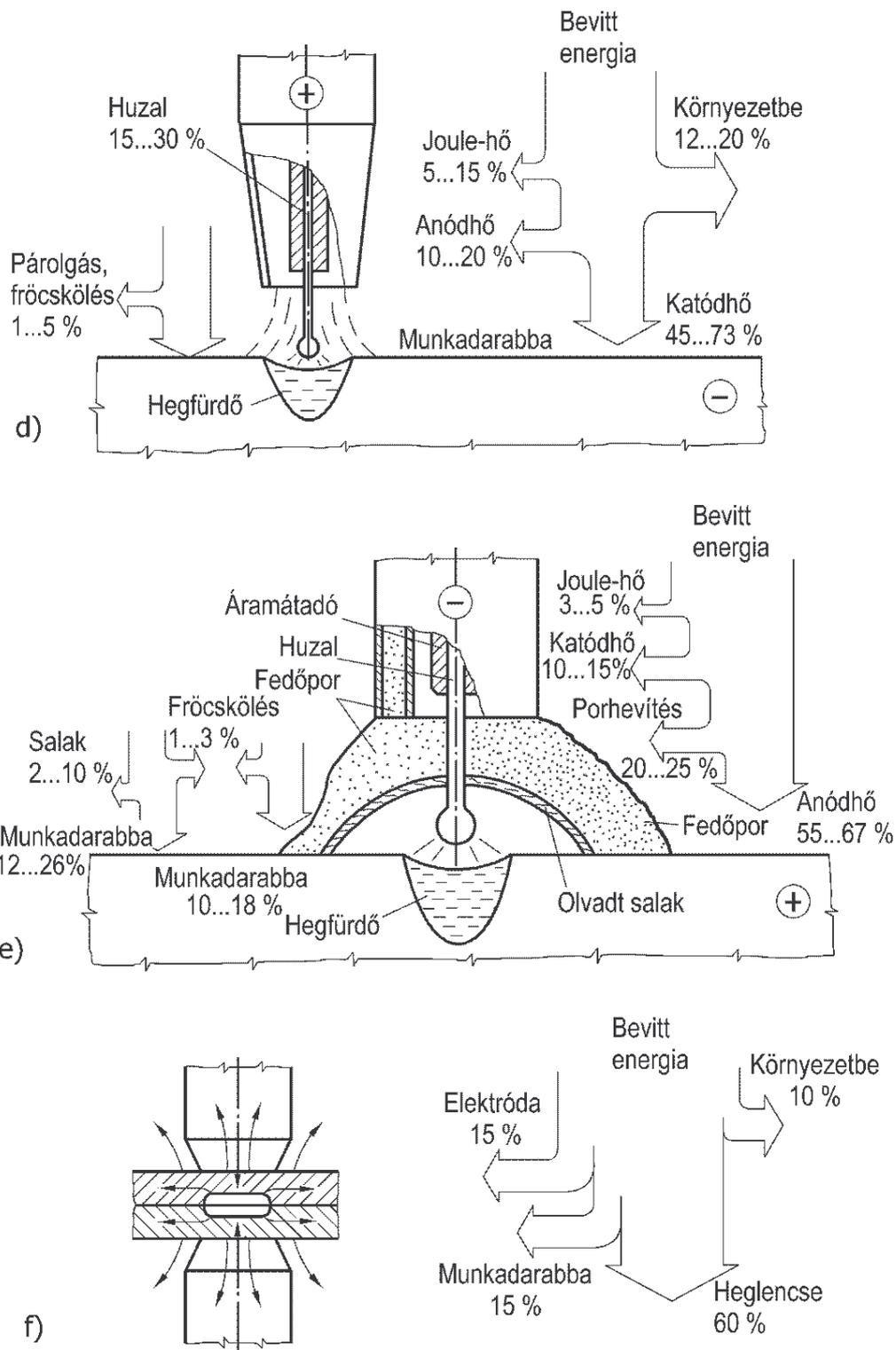
a)



b)



c)



2.2. ábra. A hegesztési eljárások energiamérlege (Béres-Komócsin szerint)

a) gázhegesztés; b) volfrámelektrodás, védőgázos ívhegesztés; c) fogyóelektrodás ívhegesztés bevont elektródával; d) fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztés; e) fedett ívű hegesztés; f) ellenálláspont-hegesztés

2.2. táblázat

A hegesztési eljárások hatásfoka

(Béres és Komócsin szerint)

A hegesztési eljárás jele	Hatásfok,%		
	Beolvasztási, η_{be}	Leolvasztási, η_{le}	Termikus, η_t
3	0,02...0,04	0,02...0,04	0,15...0,35
14	0,03...0,07	0,03...0,08	0,42...0,68
11	0,10...0,21	0,14...0,28	0,73...0,80
13	0,14...0,25	0,15...0,30	0,75...0,87
12	0,13...0,20	0,13...0,20	0,90...0,98

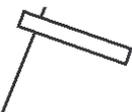
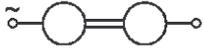
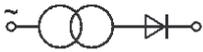
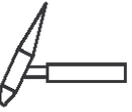
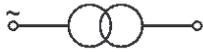
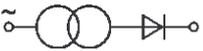
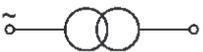
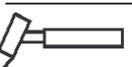
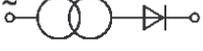
η_{be} a fémcseppek közvetítette hőenergia aránya a teljes energiához viszonyítva;

η_{le} a hozaganyag leolvasztására fordított hőmennyiség aránya a fel használt energiához viszonyítva;

η_t a munkadarabban elnyelődő hőmennyiség viszonya az összes felhasznált energiához.

2.3. táblázat

Az ömlesztőhegesztési eljárások áramforrásai

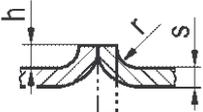
A hegesztési eljárás		Az áramforrás			
		megnevezése	áram-neme	jelleg-görbéje	jelképe
jelképe	kódja				
	11	Generátor	=		
		Transzformátor	~		
		Egyenirányító	=		
	14	Transzformátor	~		
		Egyenirányító	=		
		Egyen vagy váltakozó-áramú áramforrás			
	13	Egyenirányító	=	 	
	12	Egyenirányító	=	 	
		Transzformátor	~		
	15	Egyenirányító	=		

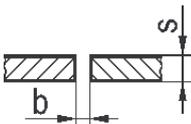
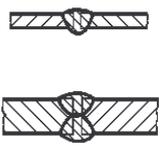
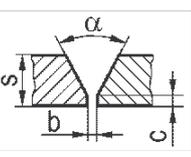
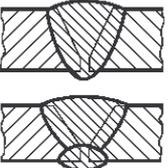
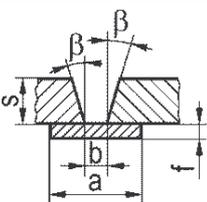
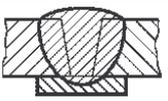
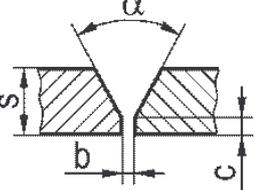
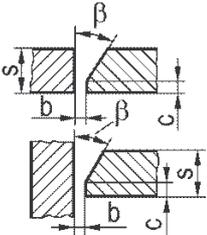
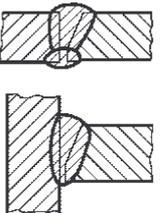
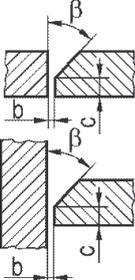
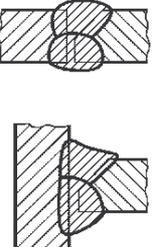
Varratalakok. Minden hegesztési eljárás sajátos varratkialakítást igényel. Ezek a varratalakok sok esetben hasonlóak, de az eljárástól függően más-más méretűek. A 2.4. táblázat összefoglalja a leggyakoribb varratalakokat és a hegesztési eljárásokhoz megadja a megfelelő méreteket.

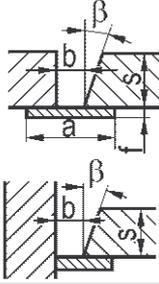
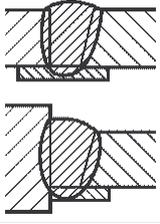
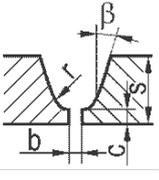
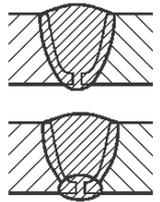
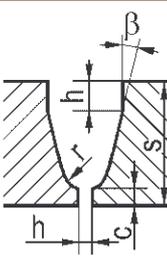
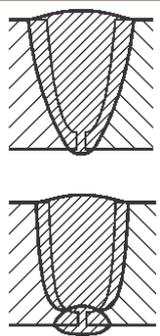
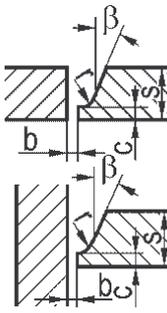
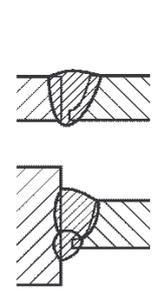
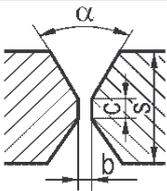
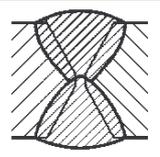
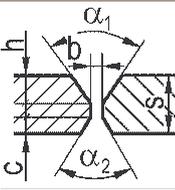
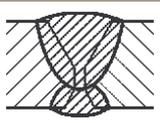
2.4. táblázat

Hegesztési él és illesztés ömlesztőhegesztéshez

a) Acélokhoz (az MI 4304/1-4 alapján)

Sorszám	Varrat	Él és illesztés	Kötés	Hegesztési eljárás	Anyagvastagság, s	Méret			Megjegyzés
						b	c	α, β , fok	
1	Peremvarrat			BI AWI, VFI	≤ 2	-	-	-	$r \approx s$; $h \leq s+1$

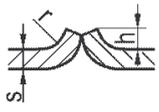
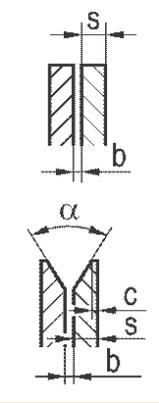
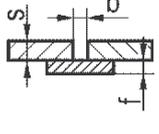
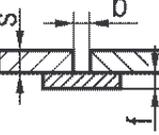
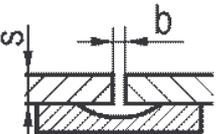
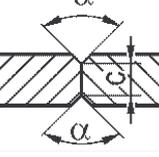
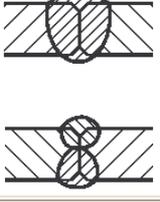
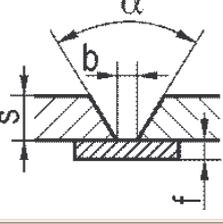
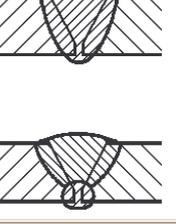
2.	I varrat			BI, AWI	≤ 3	0...s	-	-	-
				L, VFI	≤ 4	0...s	-	-	-
				FFI	4...12	0...4	-	-	-
				BI, AWI	2...5	0...s/2	-	-	-
3.	V varrat			BI,	3...20	0...3	0...2	$\alpha=50...60$	-
				AWI	4...20	0...3	0...2	$\alpha=40...60$	-
				VFI	4...8	2...3	0...2	$\alpha=50...60$	-
				L	12...30	0...3	3...12	$\alpha=30...60$	-
4.	Alátét-lemezes V varrat			BI, AWI, VFI, FFI	≥ 6	4...10	-	$\beta=8...12$	$f \geq 3; a \geq 20$
					≥ 20	12...20	-	$\beta=5...10$	$f \geq 30; a \geq 6$
5.	Y varrat			VFI FFI	4...20	0...3	2...5	$\alpha=40...60$	
					12...30	0...3	3...12	$\alpha=30...60$	
6.	1/2 V varrat			BI, AWI	3...20	0...3	0...2	$\beta=45...60$	
				VFI	4...20	0...3	0...2	$\beta=40...60$	
				FFI	8...30	0...3	0...3	$\beta=35...60$	
7.	1/2 Y varrat			FFI	12...30	0...3	3...6	$\beta=35...60$	

8.	Alátét- lemezes 1/2 V varrat			BI, AWI, VFI	≥ 6	4...10	-	$\beta=15...30$	$f \geq 3; a \geq 20$
9.	U varrat			BI, AWI, VFI FFI	≥ 15 ≥ 30	0...3 0...3	2...3 5...10	$\beta=8...12$ $\beta=8...12$	$r \approx 6;$ $r \approx 8$
10.	Különleges U varrat			BI, AWI, VFI	≥ 30	0...3	2...3	$\beta=8...12$	$r \approx 6, h \approx s/4$
11.	1/2 U varrat (X varrat)			BI, AWI, VFI FFI	≥ 15 ≥ 30	0...3 0...3	2...3 5...10	$\beta=10...20$ $\beta=10...20$	$r \approx 8$ $r \approx 12$
12.	Kettős V varrat (X varrat)			BI, AWI, VFI FFI	≥ 15 ≥ 30	0...3 0...3	0...3 5...10	$\alpha=50...60$ $\alpha=40...60$ $\alpha=45...90$	
13.	Külön- leges kettős V varrat (2/3 X varrat)			BI, AWI VFI FFI	≥ 10 ≥ 10 ≥ 15	1...3 0...3 0...3	0...3 0...3 3...10	$\alpha_1=50...60$ $\alpha_2=50...90$ $\alpha_1=40...60$ $\alpha_2=40...90$ $\alpha=45...90$	$h \approx 2/3s$

14.	Kettős 1/2 V varrat (2/3 K varrat)			BI,AWI VFI FFI	≥ 10 ≥ 20	0...3 0...3	0...2 3...6	$\beta=45...60$ $\beta=40...60$ $\beta=35...60$	
15.	Különleges kettős 1/2 V varrat (2/3 K varrat)			BI, AWI VFI FFI	≥ 10 ≥ 20	0...3 0...3	0...2 3...6	$\beta_1=40...60$ $\beta_2=60$ $\beta=35...60$	$h=2/3s$
16.	Kettős U varrat			BI, AWI, VFI FFI	≥ 30 ≥ 30	0...3 0...3	2...4 5...10	$\beta=8...12$ $\beta=5...12$	$r \approx 6$ $r \approx 8$
17.	Kettős 1/2 U varrat (kettős J varrat)			BI, AWI, VFI FFI	≥ 30 ≥ 30	0...3 0...3	2...3 5...10	$\beta=10...20$ $\beta=10...20$	$r \approx 8$ $r \approx 12$

b) Alumíniumhoz és rézhez (az MI 4262/1-3 és az MI 6684/1-4 alapján)

Sor-szám	Varrat	Él és illesztés	Kötés	Hegesztési eljárás	Anyag	Anyagvastagság, s	Méret			Megjegyzés
							b	c	α , fok	
1.	Peremvarrat			L, AWI	Al és ötv. Cu	0,5...1,5 0...2	-	-	-	$h=s+2$; $r \approx s$ $h \approx s+1$ $r \approx s$

				AWI	Al és ötv.	0,8...4	-	-	-	$r \approx s$; $h \approx s$ hozaganyagga végzett hegesztésnél
2.	Homlokvarrat			AWI	Al és ötv.	0,8...4	0...1	-	-	
				AWI	Al és ötv.	4...6	0...1	$\approx s/2$	60...90	
3.	I varrat			L AWI VFI	Al és ötv.	0,5...1,5 0,8...5 3..6	- 0...1 0...2	-	-	hornyolt alátéttel
				L BI AWI	Cu és ötv.	1...3	0...2 1...3 1...3	-	-	ikervarrat- hegesztés
				L AWI VFI	Al és ötv.	1...4 4...12 6...12	0...1 1...3 0...3	-	-	ikervarrat- hegesztés
				L BI AWI	Cu és ötv.	3...6 2...5 3...6	2...3 1...3 1...4	-	-	
4.	I varrat maradó alátéttel			VFI	Al és ötv.	2...5	2...4	-	-	$f \approx s$
5.	I varrat hornyolt alátéttel			VFI	Al és ötv.	3...6	0...2	-	-	gyökoldalon 1x 45° -os élettörés
6.	I varrat kétoldali élettöréssel, alátéttel			VFI	Al és ötv.	8...12	-	s-3	90	gépesített hegesztéssel
						12...25				
7.	V varrat maradó alátéttel			VFI	Al és ötv.	4...10	0...3	-	50...70	$f \approx 6$

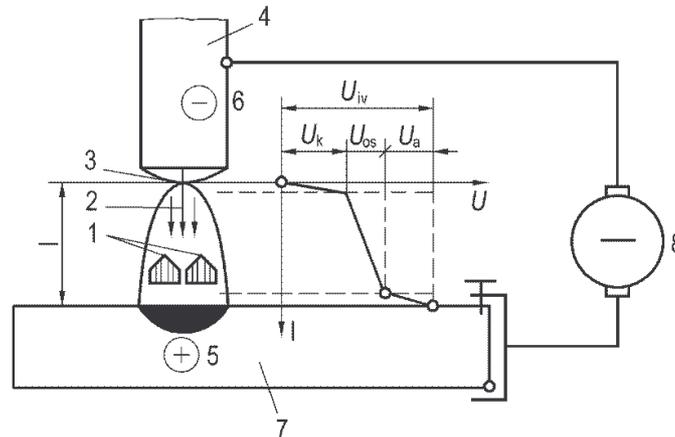
8.	Y varrat			L AWI	Al és ötv.	≥ 4 4...8	2...3 0...2	0...2 0...2	60...70 60...70	
				L BI AWI	Cu és ötv.	3...12 4...12 4...10	1...3 2...3 1...3	1...3 1...3 1...3	80 80 60	
				VFI	Al és ötv.	≥ 10	2...4	2...5	50...70	
9.	Y varrat hornyolt alátéttel			VFI	Al és ötv.	6...20	0...2	2...4	60...70	Gyökoldalon 1x 45° -os élettérés
10.	Kettős V varrat (X varrat)			L AWI VFI	Al és ötv.	≥ 10 10...20 8...20 >20	2...4 0...4 1...3 0...2	0...3 0...6 3...6 10... ...15	90 50...70 50...70 60...90	$h_1 \approx h_2$ kézi hegesztéssel, gépesített hegesztéssel
				L BI AWI VFI	Cu és ötv.	10...20 10...20 6...12 10...20	1...2 2...3 0...1 2...3	1...2 2...4 2...3 3...5	80 80 50...60 60	
11.	Különleges kettős V varrat (2/3 X varrat)			L AWI	Al és ötv.	≥ 4 4...10	1...2 0...1,5	0...2	60... 70	$\alpha_1 \approx \alpha_2$ $h = 2/3s$
12.	U varrat			AWI	Al és ötv.	>10	0...1	2...4	≈ 20	$r \approx 5$
				L BI VFI	Cu és ötv.	>10 20...30 >20	3...4 2...5 3...4	1...2 3...5 4...5	30 40 30	$r \approx 6$ $r \approx 5$ $r \approx 5$
13.	U varrat hornyolt alátéttel			VFI	Al és ötv.	10...20	2...3	2...4	15...20	$r \approx 6$

22.	1/2 V sarokvarrat			AWI	Al és ötv.	≥ 5	0	2...4	≈ 60	
				VFI		≥ 6	0...2	2...4	$\beta = 40...60$	
23.	Kettős 1/2 V varrat (K varrat)			L	Cu	5...12	1...3	0...2	80	
				BI		5...12	1...3	2...3	80	
				AWI		5...12	1...3	1...3	50...60	
				VFI		5...12	2...3	2...4	60	
24.	1/2 U varrat			AWI	Al és ötv.	≥ 10	0	3...4	40	$r \approx 6$
				BI	Cu és ötv.	10...20	4...5	4...6	40	$r \approx 6$
25.	Kettős 1/2 U varrat			AWI	Al és ötv.	≥ 20	-	3...5	40	$r \approx 6$
				BI	Cu és ötv.	≥ 20	4...5	5...6	40	$r \approx 6$
26.	Kettős 1/2 V sarokvarrat (K sarokvarrat)			VFI	Al és ötv.	> 10	0...3	2...4	50...60	
27.	Sarokvarrat			AWI	Al és ötv.	1...5	-	-	-	
28.	Kettős sarokvarrat			L	Al és ötv.	≥ 4	-	-	-	$l \approx 4s$
				AWI		> 5	-	-	-	
				L, BI	Cu és ötv.	2...10	-	-	-	$l \approx 2s$

2.1. Ívhegesztési eljárások (Kód: 1)

Az ívhegesztés során a szükséges hőmennyiséget hegesztő ívek szolgáltatja(k). A hegesztőív szilárd vagy cseppfolyós halmazállapotú fémek között, gázközegben végbemenő hosszantartó villamos kisülés, amelyet $10 \dots 10^5 \text{ A/cm}^2$ áramsűrűség és $5 \dots 20 \text{ V}$ katódcsés jellemez. Az ív éghet a bevonatból fejlődő gázok, a fedőpor (fedett ívű hegesztés), semleges védőgáz (pl. argon), aktív védőgáz (pl. CO_2 vagy keverék gázok) védelme alatt.

A gázok normál állapotban nem vezetnek a villamos áramot, ionizált állapotban azonban vezetővé válnak, és villamos ív keletkezik (2.3. ábra). Az ív létrejöttét rövidzárlat előzheti meg.



2.3. ábra. Az ívfeszültség változása az ív hossza mentén egyenáram és egyenes polaritás esetén

I ionok; 2 elektronok; 3 katódolt; 4 elektróda; 5 anód; 6 katód; 7 munkadarab; 8 hegesztő áramforrás

Az ívköz jelentős részét foglalja el az *ívoszlop*, amelyet elektronok, ionok, atomok és molekulák alkotnak. Az ívoszlop villamosan semleges, az U_{os} feszültségese itt nem számottevő. Az anódövezet U_a feszültségese lényegesen kisebb a katódcsésnél. Az anód hőmérséklete mintegy 15...20%-kal meghaladja a katódét.

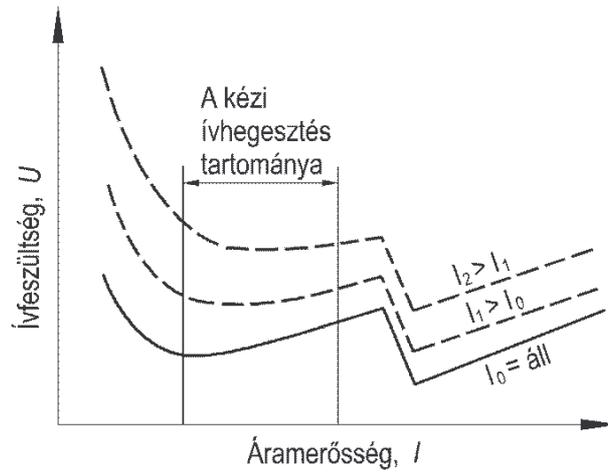
A 2.4. ábra a hegesztőív statikus jelleggörbéjét szemlélteti három különböző ívhosszra. A hegesztőív kezdeti szakaszán növekvő áramerősséggel a feszültség hiperbolikus függvény szerint csökken. Ha az áramerősséget növeljük, a jelleggörbe Ohm törvénye szerint halad. Ha a hőforrást (jelen esetben az elektródát) kézzel vezetjük, nem tartható állandó hosszúságú ív, és így változik az ív feszültsége is. Az U_{iv} értéke általában $20 \dots 40 \text{ V}$, AWI-eljárás esetén $10 \dots 30 \text{ V}$. Az ív statikus jelleggörbéjét a gyakorlatban a szabványos munkafeszültség egyenesével helyettesítjük (1. a 2.9. ábrát), amelyet bevont fogyóelektródás ívhegesztés esetén az

$$U=20+0,04I, \text{ ha } I \leq 600 \text{ A};$$

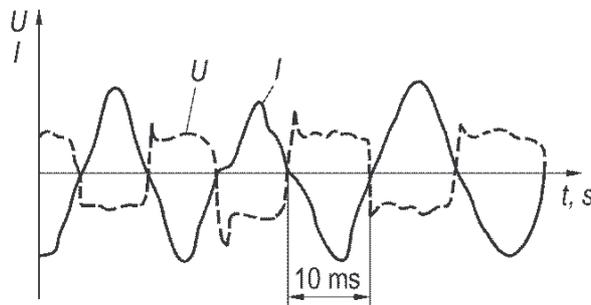
védőgázás ívhegesztés esetén az

$$U=14+0,05I$$

összefüggés ír le.



2.4. ábra. Az ív statikus jelleggörbéje különböző l ívhosszak esetén $l_0 < l_1 < l_2$

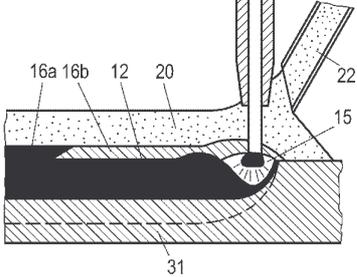
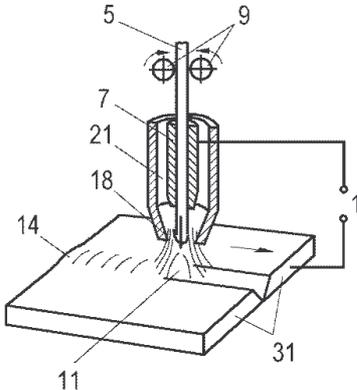
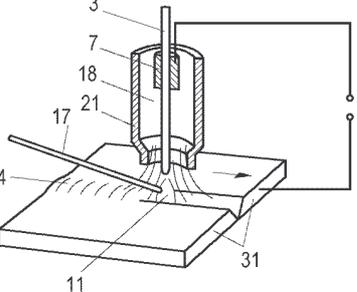


2.5. ábra. A váltakozó áramú ív feszültségének és áramerősségének változása

2.5. táblázat

Az ívhegesztő eljárások főbb változatai

Az eljárás megnevezése (MSZ ISO 857:1992)	Vázlat	Fogalom meghatározás, jellemzők
Fogyóelektrodás ívhegesztés bevont elektródával (kézi ívhegesztés) (111)		Ívhegesztés, ahol a hozaganyag bevont elektróda. Az elektródát - amelyet kézzel vezetnek -hegesztés közben a leolvadás sebességével megegyező sebességgel kell közelíteni a munkadarab felé, valamint az összehegesztendő élek mentén a készítenő varrat keresztmetszetétől függő sebességgel el kell mozdítani
Gravitációs ívhegesztés bevont elektródával (112)		A bevont elektróda a gravitáció hatására a munkadarabra támaszkodva olvad le, létrehozva így módon a hegesztett kötést. Az elektróda tartásához és elmozdulásához egy mechanizmus szükséges. A varrat alakja, magassága, az egy elektródával készíthető varrathosszúság függ az elektróda típusától, méretétől, a kihozatalától és a beállítási szögtől
Ívhegesztés bevonat nélküli hegesztőhuzallal		Bevonat nélküli hegesztőhuzallal végzett ívhegesztés, amelynek során védőgázt nem alkalmaznak. A hegesztés során az adagolóberendezés a dobra

Fogyóelektródás önvédő hegesztés (11)	(113)		felcsévélt huzalt a leolvadás sebességével megegyezően továbbítja a hegesztés helyéhez. A bevonat nélküli hegesztőhuzalra a pisztolyba épített csúszzóérintkező vezeti az áramot
	Ívhegesztés porbeles huzallal (114)		Leolvadó porbeles hegesztőhuzallal (huzalelektrodával) végzett ívhegesztés, amelynek során védőgázt külön nem használnak. A porbeles huzalok védőanyaga csőből vagy szalagból kialakított fémburkolatban helyezkedik el. A porbélés fejleszti a gázt, a salakanyagon kívül dezoxidáló-, valamint ötvözőelemeket tartalmaz
	Fekvő elektródás (sín alatti) hegesztés (Elin-Hafergut-eljárás) (118)		Az eljárás során a bevont elektródát rézsín segítségével fektetik a hegesztési helyhez. A hegesztést váltakozó árammal, növelt üresjárati feszültségű áramforrással célszerű végezni. Az ívet grafitrúddal begyűjtve az elektróda önmagától leolvad. a hegesztés vízszintes helyzetben végezhető
Fedett ívű hegesztés (12)			Fedett ívű hegesztés során egy vagy több bevonat nélküli vagy porbeles huzalt, vagy szalagelektrodát használnak. A hegesztőív(ek) szemcsés fedőpor réteg alatt ég(nek), amelynek egy része megolvad, és a hegesztési varratról eltávolítható salakréteget képez(nek). A fedőporba egyes esetekben külön fémpor is adagolható
Fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés (13)	Fogyóelektródás, semleges védőgázos ívhegesztés (131)		Leolvadó huzalelektrodát használó fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés, amelynek során a védelmet külső ellátású, aktív gáz adja
	Fogyóelektródás, aktív védőgázos ívhegesztés (135)		Fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés, amelynek során a védelmet külső ellátású, aktív gáz adja
	Fogyóelektródás, aktív védőgázos ívhegesztés porbeles elektródával (136)		Leolvadó porbeles huzalelektrodát használó eljárás, amelynek során a védelmet külső forrásból származó, aktív védőgáz adja
	Fogyóelektródás, semleges védőgázos ívhegesztés porbeles elektródával (137)		Leolvadó porbeles huzalelektrodát használó fogyóelektródás ívhegesztés, amelynek során a védelmet külső forrásból származó, semleges védőgáz adja
Nem fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés (14)	Volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés (141)		Nem leolvadó, tiszta vagy ötvözött volfrámelektrodát használó ívhegesztési eljárás, amelynek során a hegesztőívet és a varratfürdő környezetét külső forrásból származó, semleges védőgáz védi. Feladattól függően hozaganyag alkalmazható

Plazmahegesztés (15)		Ívhegesztés plazmasugárral, amely a hegesztőív leszűkítésével valósítható meg. a hegesztőív az elektróda és a munkadarab között (ún. <i>átvitt ív</i>) vagy az elektróda és a belső fűvóka között (ún. <i>nem átvitt ív</i>) ég. A varratfürdőt külső védőgáz védi. Az eljárás során hozaganyag is használható
Egyéb ívhegesztési eljárások (18)		Grafitelektroda és a munkadarab között létrehozott ívvel, hozaganyaggal vagy a nélkül végzett ívhegesztési eljárás, amelynek során a megolvasztott anyag védelméről külön nem kell gondoskodni, mivel az elektródából fejlődő CO-gáz általában védelmet ad

1 áramforrás; 2 bevont elektróda; 2a maghuzal; 2b bevonat; 3 volfrámelektroda; 4 grafitlektroda; 5 hegesztőhuzal; 6 elektródafogó; 7 áramvezető hüvely; 8 huzalvezető; 9 huzaladagoló; 10 huzaltároló dob; 11 hegesztőív; 11a szűkített ív; 12 ömledék; 13 varratfém; 14 varrat; 15 ívkaverna; 16 salak; 16a szilárd salak; 16b folyékony salak; 17 hozaganyag; 18 védőgáz; 19 plazmagáz; 20 fedőpor; 21 védőgázfűvóka; 22 fedőpor-adagoló; 23 hegesztőpisztoly; 24 csúszósín; 25 kocsiszerkezet; 26 ütköző; 27 állítható láb; 28 rézsín; 29 gyökoldali gázvédelem; 30 hűtővíz; 30a vízhűtés helye; 31 munkadarab; → a hegesztés iránya; → a gáz, víz áramlási iránya

A fontosabb ívhegesztési eljárásokat a 2.5. táblázat tekinti át. A hegesztési eljárások közül a legismertebb és a legelterjedtebb a *fogyóelektrodás önvédő ívhegesztés*.

Az ívhegesztéshez a bevont elektródán kívül használatos a bevonat nélküli és porbeles hegesztőhuzal is. Porbeles huzallal (1. a 2.63. ábrát) való hegesztéskor a védelmet nyújtó anyag elhelyezkedése lehetővé teszi az elektróda tekerceselését és az áram hozzávezetését az ív közvetlen közelében. Ily módon folyamatos, hosszan tartó hegesztésre és a bevont elektródával végzett ívhegesztéshez képest nagyobb áramerősség alkalmazására nyílik lehetőség.

2.1.1. Fogyóelektrodás ívhegesztés bevont elektródával (Kód: 111)

a) Az eljárás elve

A bevont elektróda és a munkadarab között létrehozott villamos ív keskeny sávban megolvasztja az összehegesztendő darabokat és az elektródát, létrehozza a hegesztési ömledéket, amely a dermedést követően fémes kapcsolatot létesít a két anyag között (2.6. ábra, 1. még a 2.5. táblázatot).

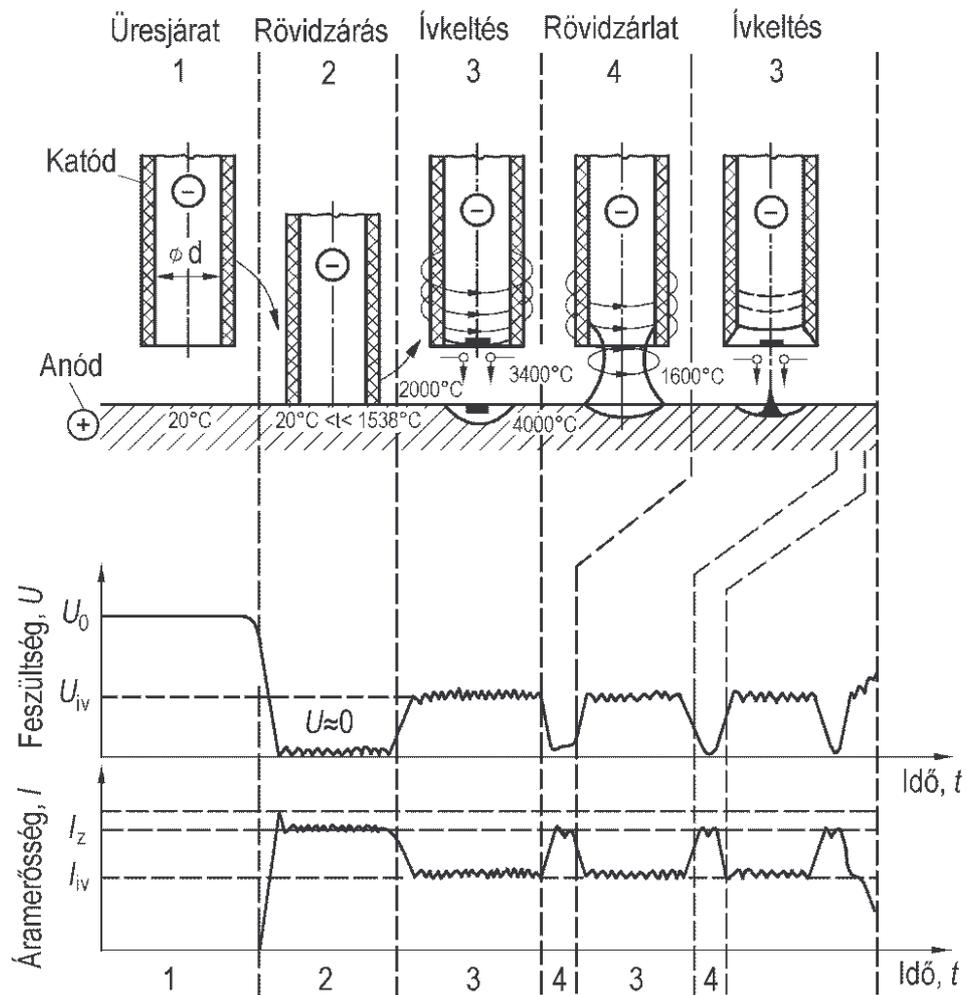
Üresjáratban a bekapcsolt hegesztő-áramforrás pólusai között az üresjárat feszültség mérhető, amelynek értéke áramforrásonként változik, általában 45...80 V. Nagyobb üresjárat feszültséggel könnyebb az ív gyújtása. Áramütés szempontjából veszélyes helyeken (pl. tartály belsejében) csak olyan egyenáramú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

Az *ívgyújtás* két, egymástól jól elkülöníthető szakaszra bontható:

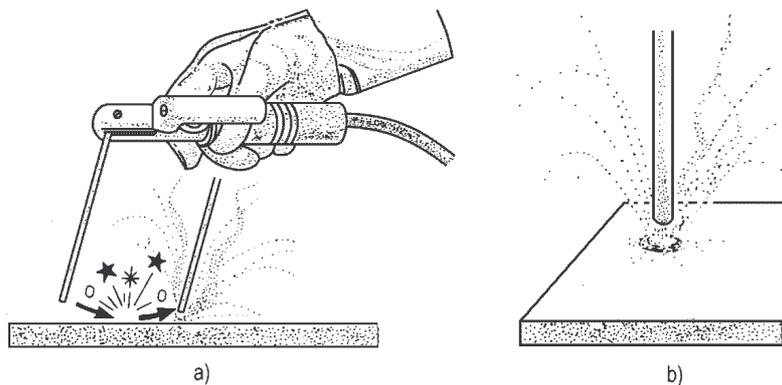
- az elsődleges ívgyújtás a hideg munkadarabokon rövidzáras útján végbemenő gyújtási folyamat;
- a másodlagos ívgyújtás a rövidzárlattal leolvadt csepp leválását követő izzó anyagon végzett ívgyújtás, az ívkeltés.

Elsődleges ívgyújtáskor az elektróda végét gyufagyújtásos vagy koppantásos módszerrel (2.7. 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 emelésével ez a fémrész megnyúlik, majd a hőmérséklet növekedésével (és más erőhatások révén) elszakad, s kialakul az ív. Az ív hossza általában megegyezik az elektróda átmérőjével.



2.6. ábra. A bevontelektrodás kézi ívhegesztés ömlesztő folyamata egyenes polaritás esetén



2.7. ábra. Az ívgyújtás módja
a) gyufagyújtásos; b) koppantásos

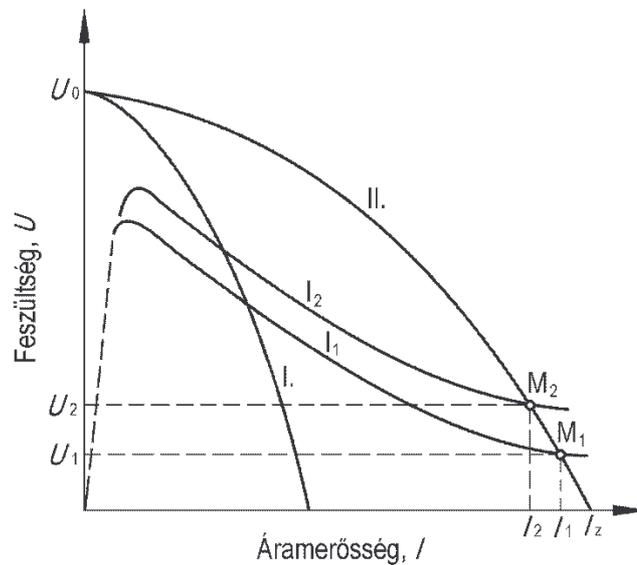
Ha az ívgyújtás első szakasza sikeres, akkor induktivitás nélküli áramkörben az állandósult feszültség értékénél legalább 1,5...1,6-szor nagyobb üresjáratú feszültség már elegendő az ív másodlagos gyújtásához. Az állandósult ív kialakulásakor az elektróda vége megömlik, s az elektróda körül kialakult mágneses tér a fémcseppet

leválasztani igyekeznek (*leolvadás*). Ezt elősegítik a bevonatból fejlődő gázok is, amelyeknek különösen a pozícióhegesztéskor van jelentőségük.

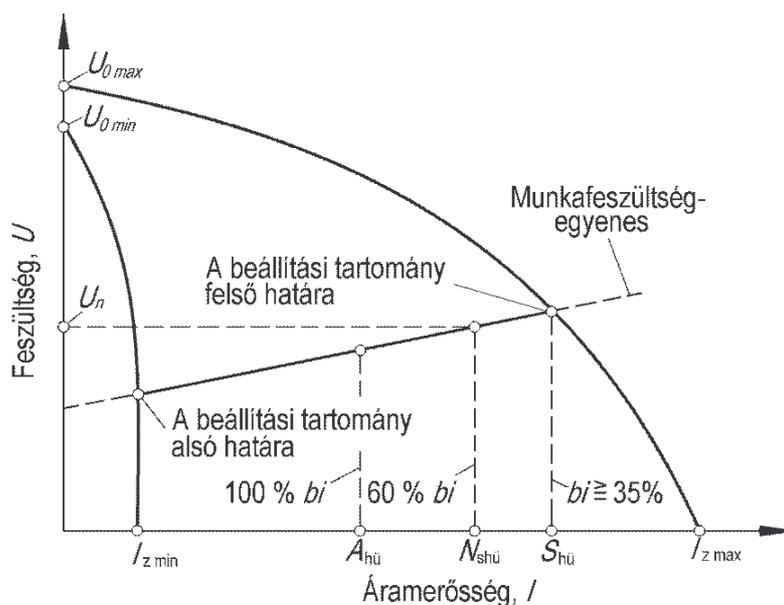
b) A kézi ívhegesztés berendezései és eszközei

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 2.8. ábra meredeken eső I. és II. statikus jelleggörbét szemléltet, feltüntetve a hegesztőív I_1 , ill. I_2 statikus jelleg görbéjét is. A jelleggörbe alakja a berendezés típusától, kialakításától stb. függően változik. A rövidzártatos fémátviteli technológiák jelleggörbéje az ábra szerinti, ahol a metszéspontra 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 tololódhat el, ill. a jelleg görbe módosítása esetén más értékeket vehet fel. Az ív statikus jelleggörbéjét helyettesítő szabványos munkafeszültség egyenesével ábrázolt áramforrás jelleggörbéje a 2.9. ábrán látható.



2.8. ábra. Az áramforrás és az ív statikus jelleggörbéi $I_1 < I_2$



2.9. ábra. Meredeken eső jelleggörbéjű áramforrás és jellemzői a szabványos munkafeszültség egyenesével

A kézi ívhegesztés egy hegesztési ciklusa öt perc. *A ciklusidő* a hegesztési időből és a szünetidőből (pl. elektródacseréből, salakeltávolításból) áll. Az áramforrás *bi* *bekapcsolási ideje* a hegesztési idő és a ciklusidő százalékos aránya, tehát

$$Bi = 100\% \cdot (\text{Hegesztési idő}) / (\text{Ciklusidő})$$

Ha 5 percen keresztül szünet nélkül hegesztenénk, akkor a $bi = 100\%$ (*állandósult hegesztési üzemmód*). Ez kézi ívhegesztéskor nem fordul elő, mivel egy elektróda átlagos leolvadási ideje 1...1,5 perc, a védőgáz és a fedett ívű hegesztési eljárások során viszont a hegesztési idő 5 percnél hosszabb lehet.

A hegesztőgépen feltüntetik a 100%-os bekapcsolási időhöz tartozó $A_{hü}$ áramerősséget is. Ennek ismeretében bármely tetszőleges *bi*-hez tartozó áramerősség a következő módon határozható meg:

$$I_{bi} = I_{100} (100/bi)^{0.5}$$

A névleges villamos adatok ($N_{shü}$ áramerősség, feszültség, teljesítmény) bevont elektródás kézi ívhegesztés esetén a 60%-os bekapcsolásra vonatkoznak. Ez tehát azt jelenti, hogy a hegesztési idő 3 perc, a szünetidő pedig 2 perc.

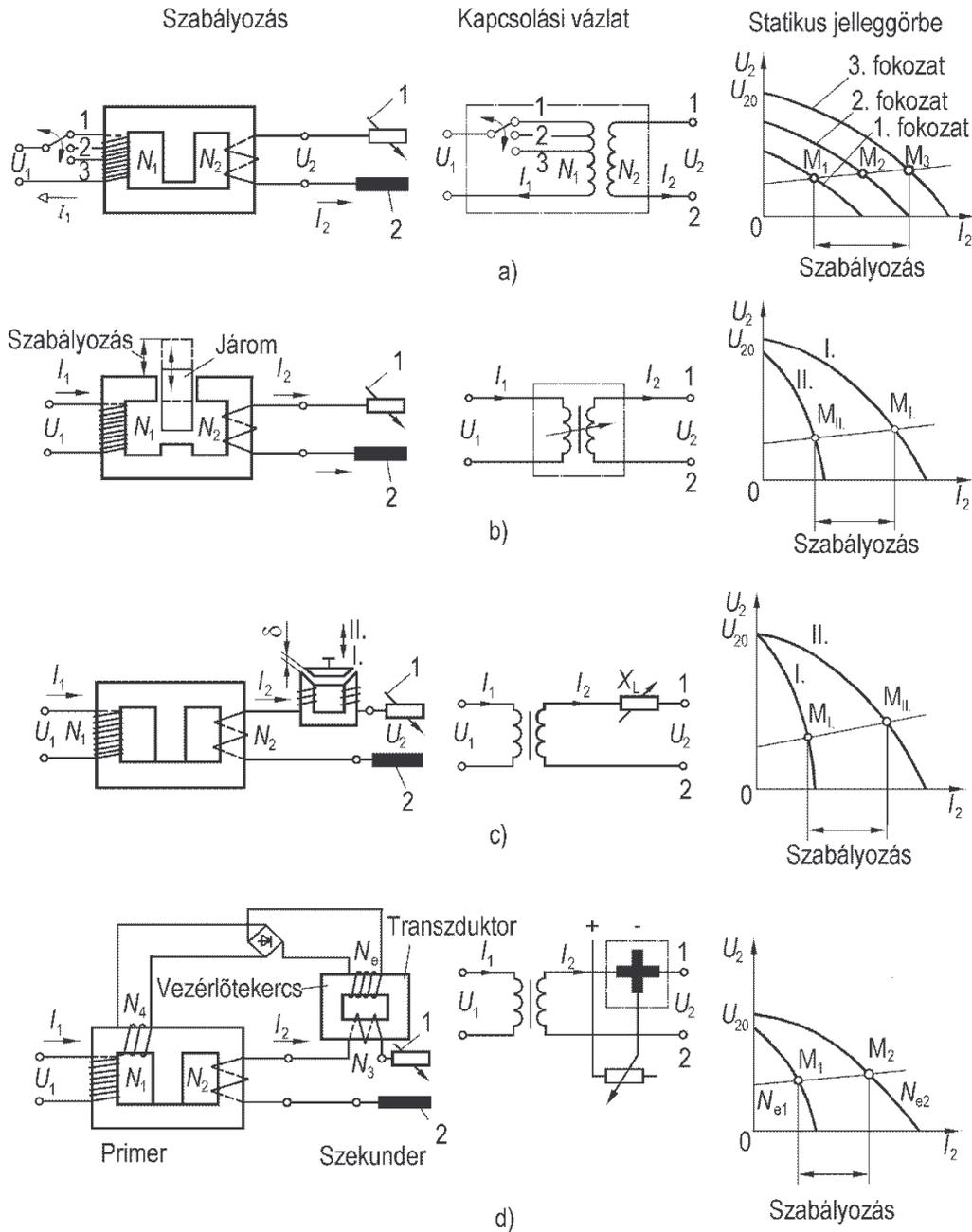
Váltakozó áramú hegesztést tesznek lehetővé a *hegesztő transzformátorok*. A hegesztéshez szükséges eső jelleggörbét az által érik el, hogy a szekunder áramkör szórásreaktanciáját növelik. A primer és a szekunder tekercs egymástól különválasztott vasoszlopon van. Ezzel a megoldással elérhető a 2.10a ábrán látott, negyed ellipszis alakú jelleggörbe, amelyet a primer tekercs menetszámával szakaszosan (fokozatkapcsolóval) változtatva alakítanak ki a megfelelő formára.

A 2.10b ábrán látható, ún. *járomszabályozású transzformátornál* a primer és a szekunder tekercsek között lévő vasmag (járom) kézi vagy villamos úton való mozgásával változtatható a szórás utak mágneses ellenállása. Az I. állásban a szórás kisebb mértékű, így adódik az I. statikus jelleggörbe.

A szabályozás másik lehetősége az áramkörbe iktatott *fojtótekercs* útján végzett jelleggörbe-változtatás (2.10c ábra), ahol a transzformátor szekunder áramkörébe iktatott vasmagos fojtótekercs induktivitása légréssel szabályozható.

A 2.10d ábrán látható *transzduktoros* szabályozás a mechanikus szabályozást váltotta fel. A transzduktor ferromágneses zárt vasmagokból és a rájuk csévéltekercsekből áll, így mozgó alkatrészt nem tartalmaz. A transzduktort a vezérlőkör szabályozza. A jelleggörbe a tekercs N_e menetszámának változtatásával módosítható.

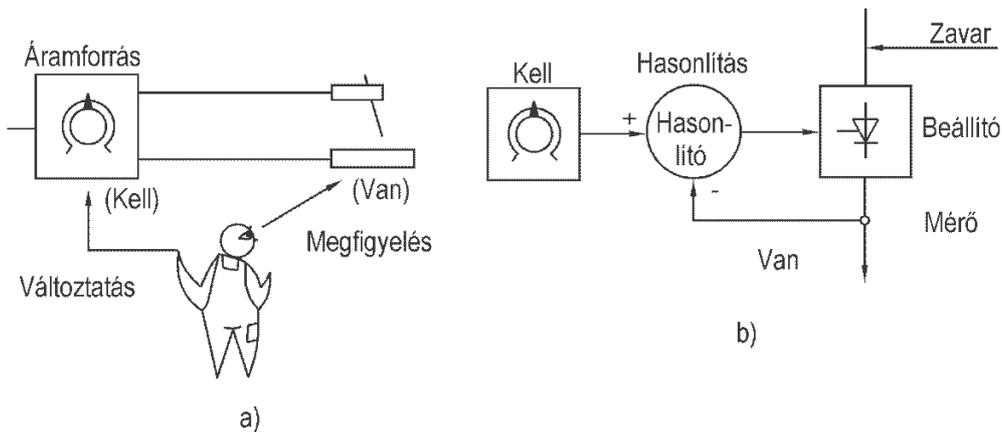
A vezérelt félvezetők, a tirisztorok elterjedésével háttérbe szorult a transzduktoros áramforrások fejlesztése. A transzduktorok tirisztorokkal való helyettesítésével a gép tömege és mérete jelentősen csökkenthető, és kedvezőbb működési feltételeket (gyorsabb reakciók, kisebb vezérlőtéljesítmény stb.) lehet elérni.



2.10. ábra. Hegesztőtranszformátorok szabályozása, kapcsolási vázlata és statikus jelleggörbéje
 a) fokozatkapcsolás; b) járomszabályozású; c) fojtótekercses szabályozású; d) transzduktoros szabályozású
 1 elektróda; 2 munkadarab

A hegesztő-egyenirányítók fő részei a háromfázisú transzformátor, az egyenirányító egység, valamint a szabályozó- (vezérlő-) kör.

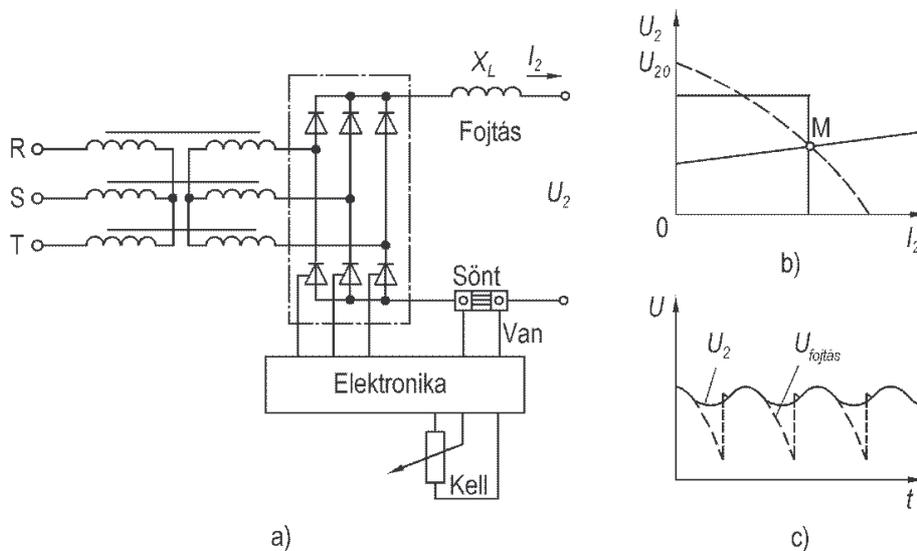
Az eddig megismert berendezésekkel a hegesztő a folyamat megkezdése előtt beállítja a jelleggörbét, de hegesztés közben nincs lehetősége a beállított adaton változtatni (2.11a ábra). A korszerű félvezetős áramforrásokkal dolgozva lehetőség van folyamat közben is beavatkozásra. Ha ugyanis az előre beállított értékekhez képest a folyamatban változás következik be, ezt az érzékelő észleli, összehasonlítja a mért értéket a beállítottal és eltérés esetén a folyamatba beavatkozik (2.11b ábra). Ily módon a hegesztési adatok 1%-os pontossággal állandó értéken tarthatók.



2.11. ábra. A szabályozás elve

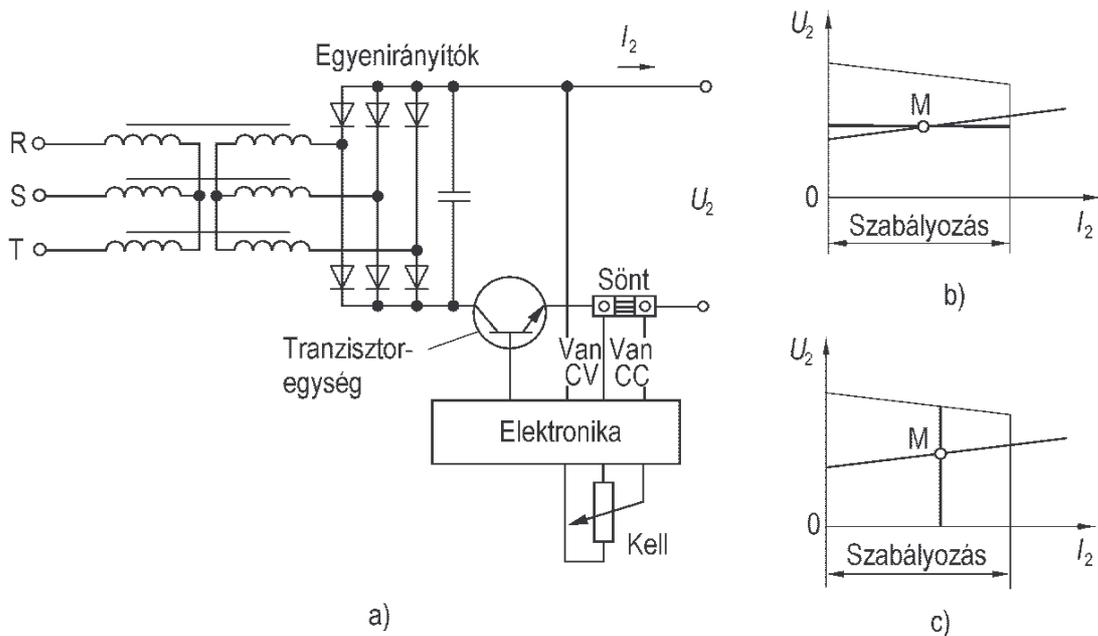
a) kézi; b) gépi szabályozás

2.12. ábra olyan *háromfázisú egyenirányítót* szemléltet, ahol a szabályozást félszabályozott háromfázisú hídval végzik. A legnagyobb teljesítmény a teljesen nyitott tiriszorokkal érhető el. Terheléskor az áramkörbe iktatott söntön áram folyik, amelyet a tiriszorvezérlő áramkör (elektronika) összehasonlít az előre beállított értékkel. Eltérés esetén a tiriszorok gyújtási szögét úgy változtatjuk, hogy a főáramkörben folyó áram egyenlő legyen a "kell" értékkel.



2.12. ábra Háromfázisú hegesztő-egyenirányító

a) kapcsolási vázlat; b) statikus jelleggörbe; c) feszültség lefutás



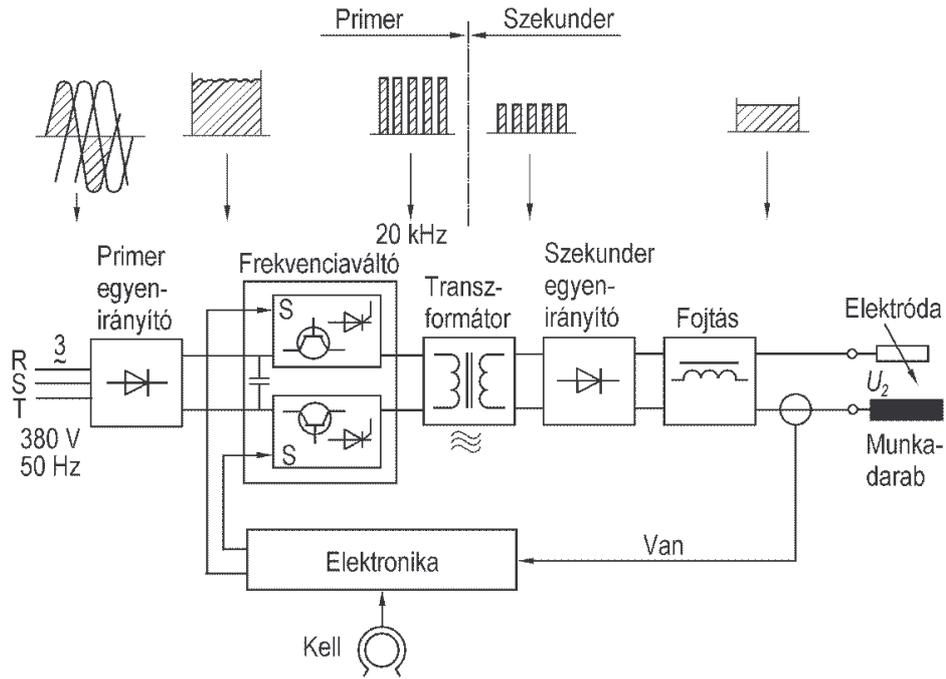
2.13. ábra. Teljesítménytranszisztoros szabályozású hegesztő-egyenirányító

a) kapcsolási vázlat; b) függőleges statikus jelleggörbe; c) vízszintes statikus jelleggörbe

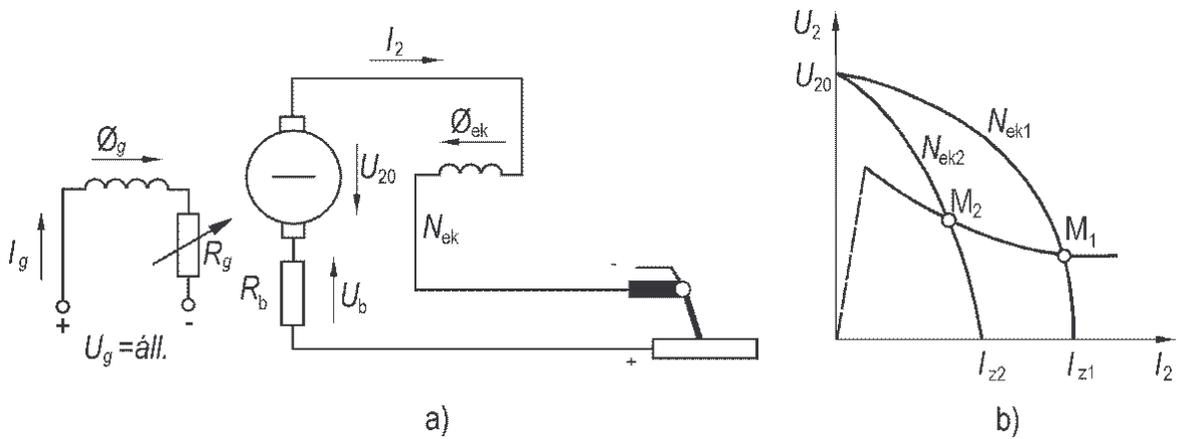
A teljesítménytranszisztoros szabályozással működő hegesztő-áramforrás elve a 2.13. ábrán látható. Ezzel a módszerrel függőleges és vízszintes jelleggörbe is beállítható, így az áramforrás többcélúvá válik.

A frekvenciaátalakító (inverteres) áramforrásban (2.14. ábra) először a hálózati feszültséget diódás egyenirányító egyenirányítja, majd félvezető elemekből felépített frekvenciaváltó (inverter) középfrekvenciás (20...100 kHz) lüktetőfeszültséggé alakítja át. Ezt a feszültséget középfrekvenciás transzformátor csökkenti a megfelelő kis értékre. A transzformátor szekunder tekercséhez csatlakozik a diódás egyenirányító, ill. a simító fojtótekercs, amely a hegesztéshez szükséges egyenfeszültséget adja. A rendszer hatásfoka a többszöri energiaátalakítás ellenére is jobb, mint a hagyományos áramforrásoké, és a hálózati $\cos \varphi \approx 1$.

A hegesztőgenerátorok gyártása és alkalmazása az anyaggal és az energiával való fokozott takarékoság, a környezetvédelmi és ergonómiai szempontok miatt egyre inkább háttérbe szorul. Generátorral a hegesztéshez szükséges eső jelleggörbét többféle módon lehet előállítani (pl. a kefehid elforgatásával, szórópólusos megoldással, keresztmezős kialakítással stb.). A 2.15. ábra a hegesztő-áramforrás elvi kapcsolási vázlatát mutatja, ahol az ellenkompaund tekercs menetszáma változtatható, és így a hegesztési feladatnak megfelelő jelleggörbék állíthatók be. A kézi ívhegesztés áramforrásainak tulajdonságait a 2.6. táblázat hasonlítja össze.



2.14. ábra. Frekvenciaátalakítós (invertes) egyenirányító



2.15. ábra. Ellenkompaund elven működő hegesztőgenerátor

a) kapcsolási vázlat; b) jelleggörbe

$$I = U_{20} / (R_b + kN_{ek})$$

ahol N a tekercs menetszáma; k az arányossági tényező

2.6. táblázat

Kézi ívhegesztő-áramforrások összehasonlító táblázata

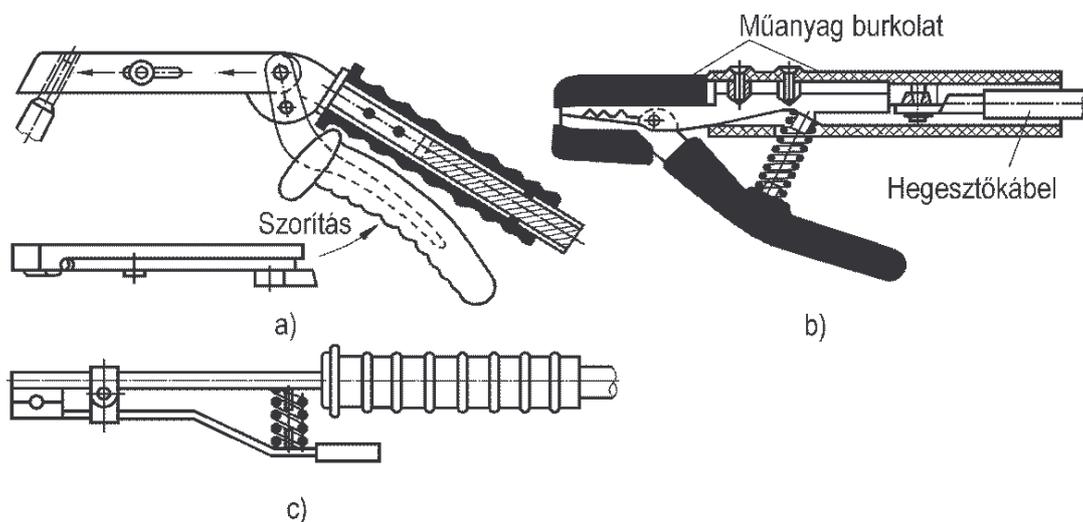
Jellemzők	Ívhegesztő áramforrás		
		generátor	transzformátor

Az áramforrás ára	közepes	kicsi	nagy
Karbantartási költség	nagy	kicsi	közepes
Üresjáratú teljesítmény-felvétel, kW	1,5...3,0	0,4...1,0	0,3...0,8
Élettartam	közepes	hosszú	közepes
Mágneses fűvóhatás	erős	csekély	közepes
Túlterhelésre való érzékenység	érzéketlen	érzéketlen	érzékeny
$\cos \varphi$	0,7...0,9	0,3...0,6	0,5...0,8
Hatásfok	0,4...0,6	0,7...0,9	0,5...0,8
A használható elektródátípus	minden	semmilyen bázikus	minden

Egyéb eszközök. Az elektródafogó fő feladata az elektróda tartása és az áram munkadarabhoz való vezetése. Érintésvédelmi szempontból kedvező az ún. biztonsági elektródafogó használata, amelynek külső felületeit jól szigetelő műanyaggal burkolják (2.16b ábra).

A hegesztővezeték (hegesztőkábel) vezeti az áramot és az áramforrástól az ívig, ill. vissza. Vékony, sodrott rézhuzalból készül, vastag gumiborítással szigetelve. Átmérője rendszerint 7, 9 vagy 12 mm, keresztmetszete 35, 50, ill. 70 mm². A vezeték végét kábelsaru zárja le és nagyméretű, fémes, nem melegedő csatlakozóelemet képez. Egyre gyakoribb a bajonettzáras kialakítás, amely megakadályozza a csatlakozás meglazulását, és egyben jól szigetel.

A testkábel a földvezeték-szorítóhoz csatlakozik. Forgó tárgyak hegesztéséhez forgócsapos földvezeték-szorítót használunk. A hegesztő szerszámai közé tartozik még a salakoló kalapács, a kéziköszörű, a drótkéfe, a tűzifogó stb.



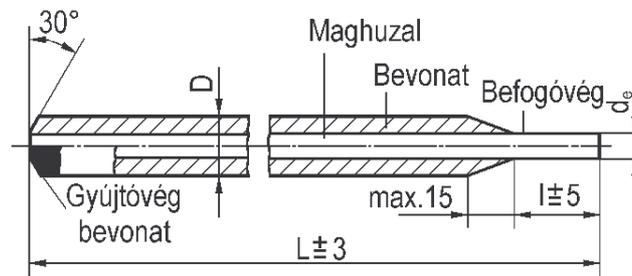
2.16. ábra. Elektródafogók
a) kézi szorítású; b) biztonsági; c) rugós

c) Bevont ívhegesztő elektródák

A bevont elektróda kis széntartalmú vagy ötvözött acélhuzalból és ásványi, valamint szerves anyagokból a maghuzalra sajtolt bevonatból áll. Az elektróda szerkezeti kialakítása és méretei a 2.7. táblázatban találhatóak.

2.7. táblázat

Bevont ívhegesztő elektródák méretei



Méreték mm-ben

Névleges átmérő, d_e	L	l
$1,6 \pm 0,02$	200 vagy 250	20
$2,0 \pm 0,02$	300	20
$2,5 \pm 0,02$	350	20
$3,25 \pm 0,03$	350 vagy 450	25
$4,0 \pm 0,04$	350 vagy 450	25
$5,0 \pm 0,04$	450	25
$6,0 \pm 0,04$	450	25
$8,0 \pm 0,04$	450	25

A bevonat feladata, alkotói, vastagsága:

- Az elektróda bevonata elősegíti az ív gyújtását és újra gyújtását, az *ív stabilitását*. Ilyen hatásúak az ív hőmérsékletén elektront könnyen leadó földfémek és alkálifémek, ill. ásványaik, pl. kaolin, dolomit, magnezit stb. A bevonatalkotók a nagy hőmérséklet hatására elgőzölögnek, ill. ionizálódnak és növelik az ív vezetőképességét, ezáltal stabil és nyugodtan égő ív alakul ki.
- A bevonat alkotói *védőgázt* képeznek. A fejlődő gázok egyik fontos szerepe a folyékony fémfürdő és a leolvadó csepp levegőtől való védelme, a fémátvitel elősegítése. Gázképző alkotók a földfémek és alkáli fémek karbonátjai, továbbá a grafit, a faszén, a cellulóz és egyéb szerves anyagok, amelyek a hegesztéskor CO_2 -ot fejlesztenek.
- A *salakképző alkotók* közül fontosak a vas- és a mangán ércék, a kvarc, a rutil, a mészpát és a dolomit. A salakot kezelhetőnek tekintjük, ha jól elkülönül a folyékony fémtől, az ívvel terelhető, nem folyik az ív elé.
- A bevonat anyaga pótolja a hegesztéskor kiégett ötvözőket (pl. C, Si, Mn), a hegfürdőt *dezoxidálja, ötvözi*, növeli a fajlagos leolvadást (pl. vaspartartalmú bevont elektródák használata esetén).
- A káros szennyezők (S, P, H) eltávolítását, lekötését, ún. *raffinálását* a bevonatban lévő folyópát, mangán, kalcium, ritkaföldfémek, ill. oxidjai végzik.

A bevonat alkotói:

Bázikus salakképzők:

mészpát,

mészkö (CaCO₃),
dolomit [(CaMg(CO₃)₂),
folypát (CaF₂),
bárium-karbonát (BaCO₃),
mangánércsek (MnO₂, Mn₂O₃, MnCO₃),
vasércsek (Fe₂O₃, Fe₃O₄),
nátrium-karbonát (Na₂CO₃),
hamuzsír (K₂CO₃).

Savas salakképzők:

SiO₂ ásványok (kovaföld, kvarcliszt),
szilikátok (földpát, azbeszt, csillám,
talkum, gránit),
titánércsek (TiO₂, FeOTiO₂).

Redukálók és ötvözők:

ferromangán,
ferroszilícium,
ferrotitán,
egyéb vasötvözetek (Fe-Cr, Fe-V, Fe-
Mo, Fe-W, Fe-Mn-Si stb.),
grafit,
szénpor,
alumínium.

Kötőanyagok és gázképzők:

vízüveg (nátrium-szilikát),
kaolin,
cellulóz stb.

A bevonat vastagságát a bevonattényező fejezi ki, amely a bevont elektróda és a maghuzal átmérőjének aránya (2.8. táblázat). A vastag bevonatú elektródák bevonata vasport is tartalmaz, ami a fajlagos leolvadást növeli (nagyhozamú elektróda).

A bevonattényező és a bevonat vastagsága

Bevonattényező	Az elektróda bevonata
>1,2	Vékony
1,2...1,55	Közepesen vastag
>1,55	Vastag

A leggyakrabban használt normálbevonatú elektróda maghuzalát a bevonat körkörösén veszi körül. A kettős köpenyű elektróda maghuzalát kettős bevonat fedi gyűrűszerűen. A maghuzal körül helyezkednek el az ívgyújtást elősegítő, könnyen ionizálódó alkotók, a külső köpenyben pedig az egyéb szempontból fontos (pl. CaF_2), de az ívgyújtást gátló alkotók. Így pl. készülnek bázikus bevonatú elektródák rutilos maggal, ekkor az elektróda váltakozó árammal is leolvasztható. A szegmentált elektróda bevonatában az ívgyújtást elősegítő rutil és vaspor ún. *gyújtószelvényben* van, így a bázikus elektróda is könnyebben gyújtható.

A bevonattípusok jelölését és leolvadási jellemzőit a 2.9. táblázat, fő alkotóikat és a cseppleválás módját a 2.10. táblázat foglalja össze.

A *bázikus* (mészbázikus) bevonatú elektróda bevonatának fő alkotója, a mészpát a hegesztés során elbomlik CO_2 és CO keverékére, és kellő védőhatást fejt ki a levegő szennyezőivel szemben. Így az ívatmoszféra semleges, esetleg redukáló hatású, ezáltal az ötvözők kiégése minimális, a bázikus salak pedig jó dezoxidáló. A salak barna-sötétbarna színű, vastag, szívós, tömör, belső felülete sima, fényes. Kis hőmérséklet-tartományban dermed. A bázikus elektróda hideg jellegű, vagyis a leolvasztása során végbemenő reakciók hőt vonnak el. Mivel az ív az ívgyújtás helyét nem tudja kellőképpen felhevíteni, könnyen hidegráfolyás, gázporozitás következik be. Egyenárammal, fordított polaritással vagy váltakozó árammal olvasztható le. Az egyenes és fordított polaritást a 2.11. táblázat hasonlítja össze.

2.9. táblázat

Bevonattípusok

A bevonat		Az elektróda leolvadási jellemzői
típusa	fő alkotói	
A savas (vékony és vastag)	Vas-oxid (ércek) Ferromangán	Ha vastag bevonatú, igen finom cseppes, "forró" jellegű, hígfolyós, melegrepedésre érzékeny
R rutilos (vékony és közepesen vastag)	Rutil (TiO_2)	A leolvadás durvától közepes cseppig, jó pozícióhegesztéshez és vékony lemezekhez
RR rutilos (vastag)	Rutil	Közepestől finomcseppesig, szép varratalak, jó az ív újragyújthatósága, sokoldalúan használható
AR rutil-savas (vastag)	Rutil Vas-oxid	Finomcseppes, hígfolyós, könnyű a salak eltávolítása, egyenletes varratfelület
C cellulóz (közepesen vastag)	Cellulóz (szerves anyagok)	Pozícióhegesztéshez kiváló (csövekhez). Forró jellegű, közepes cseppekben olvad le
R(C) rutil-cellulóz (közepesen vastag)	Rutil, cellulóz	Középcseppes, jó pozícióhelyzetben, igen egyenletes varratfelület, alkalmas felülről lefelé
RR(C) rutil-cellulóz		

(vastag)	Rutil, cellulóz	
RR(B) rutil-bázikus (vastag)	Rutil, mészpát	Közepes-től finom cseppesig, kedvező minden pozícióban, jó mechanikai tulajdonságok
B bázikus (vastag)	Alkáliföldfémek karbonátjai (mész-kő, folyópát stb.)	Hidegelektroda, közepes cseppek, igenkedvező 0 °C alatti hőmérsékleten
B(R) bázikus (nem bázikus alkotókkal)	Mészpát, folyópát, rutil	Jó ütőmunka, repedésmentes varrat, váltakozó árammal is leválasztható

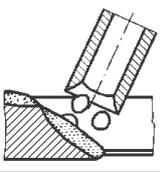
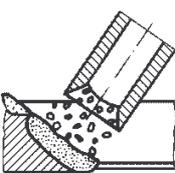
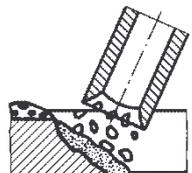
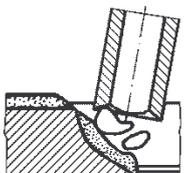
Váltakozó áramú hegesztés esetén abban a pillanatban, ami kor az elektróda a negatív, nagyobb feszültség kell az ív újragyújtásához. Emiatt a hegesztőtranszformátor üresjárású feszültségének is nagyobbak kell lennie 65 V-nál. Mivel az ív nem elég stabil, az elektródával rövid ívet kell tartani, az ív hossza az elektróda átmérőjének a fele legyen. Az ívet nem szabad hirtelen megszakítani, mivel az ömledék a levegőből gázokat vehet fel, és a varrat porozitása nő.

A bázikus bevonatú elektróda közepes cseppekben olvad le, kevés fröcskölési veszteséggel. A varrat egyenletes, a beolvadás csekély, a sarokvarrat enyhén domború. Az elektróda érzékeny az illesztési hézagra, ezért a 2 mm-t általában ne haladja meg. Hegesztéskor kerülni kell az elektróda széles ívelését, a nagy hegesztési sebességet. A varrat gyökét célszerű rutilos elektródával elkészíteni, mivel az kevésbé érzékeny az ívhossz változására és az illesztési hézag nagyságára. Az elektróda leolvastásával létrejövő varratömeg 30...80 g/electroda. A bevonat érzékeny a nedvességre, ezért az elektródát száraz helyen kell tárolni és hegesztés előtt feltétlenül ki kell szárítani, és pedig:

- ha a folyáshatár $R_{eH} \leq 355$ MPa, akkor a szárítás 250 °C-on 2 óra,
- ha a folyáshatár $R_{eH} > 355$ MPa, akkor a szárítás 300...350 °C-on max. 10 óra.

2.10. táblázat

Bevonattípusok alkotói és cseppátmeneti formái
(Killing szerint)

Bevonattípus	Cellulóz	Savas	Rutilos	Bázikus
Cseppátmenet				
Alkotók %	Cellulóz	40	-	-
	TiO ₂	20	-	45
	SiO ₂	25	20	20
	Fe ₃ O ₄	-	50	10
	CaCO ₃	-	10	40
	CaF ₂	-	-	45
	FeMn	15	20	15

Bázikus elektródával végzett hegesztés jellemzői különböző polaritás esetén

Jellemzők	Az elektróda polaritása	
	egyenes	fordított
Fröcskölés	erős	kicsi
Ív keménysége	kemény	lágy
Salakleválás	rossz	jó
Varratfelület	durva	finom
Porozitási veszély	nagy	kicsi

Fokozott követelmény esetén a hegesztés kezdetéig célszerű az elektródát melegen tartani. A bázikus elektróda általában minden helyzetben leolvasható, esetenként felülről lefelé nem.

A vasporos, nagyhozamú elektróda kihozatali tényezője 150...200%. Ezeket az elektródákat általában csak vízszintes tompavarrat és vályúhelyzetű sarokvarrat hegesztéséhez ajánlják. A bázikus elektróda varratának szívósságát 0 °C-nál kisebb hőmérsékleten is megtartja, ezért alkalmas igen kis hőmérsékleten üzemelő szerkezetek hegesztéséhez. A varrat finomszemcsés, öregedésálló, melegrepedésre nem hajlamos, diffúzióképes hidrogéntartalma < 5 ml/100 g fém, ami a hidegrepedési veszélyt csökkenti.

A rutilos, ill. rutil alapú (rutil-savas, rutil-cellulóz, rutil-bázikus) elektróda (2.12. táblázat) lehet:

- vastag bevonatú szilikát-rutilos (R jelű) és
- különösen vastag bevonatú szilikát-karbonátos (RR jelű).

A salak részben kristályos, laza szerkezetű, könnyen leválasztható, gyakran önleváló. Az elektróda egyenárammal és egyenes polaritással, vagy váltakozó árammal olvasható le. Az elektróda nem érzékeny az ívhossz változására, az ív rövid meg szakítása után is könnyen gyújtható, ezért kiváló gyökhegesztő. Az elektróda finom vagy közepes cseppekben olvad le. Igen jó a részáthidaló képessége, és kiválóan használható pozícióban való hegesztésre. Túláramra kevésbé érzékeny. A varrat felülete finom rajzolatú, a sarokvarrat kevésbé domború.

Rutil alapú elektródák bevonatának összetétele

Alkotók	Nagy rutil tartalmú, R/RR	Rutil-savas, AR	Rutil-cellulóz, R(C)	Rutil-bázikus, RR(B)
TiO ₂	50	30	50	35
SiO ₂	20	27	20	20
FeMn	10	18	10	15
CaCO ₃	10	-	-	25

Fe ₂ O ₃	10	25	-	5
MnO ₂	-		-	-
Vízüveg	+	+	+	+
Cellulóz	-	-	20	-

A vastag bevonatú, nagyhozamú elektródákat általában az alapanyagra támasztva, leszorított ívvel kell leolvasztani (kontaktelektroda). A képződő nagy mennyiségű salak miatt rend szerint csak vízszintes helyzetben használható. A kihozatali tényező 180...210%. A leolvasztás erős füstképződéssel jár. A rutil-cellulóz elektróda bevonata 5...10% szerves anyagot is tartalmaz. Az ilyen típusú elektróda alkalmas fűzéshez és gyökvarratok készítéséhez is. A varrat hidrogéntartalma általában nagyobb, mint 15 ml/100 g fém. Az elektróda leolvasztási ideje: 50...70 s/db.

A cellulózbevonatú elektróda 10...30% szerves anyagot (cellulózt, falisztet, keményítőt stb.) tartalmaz. A bevonat nedvszívó, az elektróda íve erősen lobog, a leolvadás jelentős füstképződéssel jár. Ha a bevonat kötőanyaga vízüveg, akkor egyenárammal, fordított polaritással kell dolgozni, egyébként egyenes polaritással vagy váltakozó árammal. Kevés, könnyen eltávolítható salak képződik, amely gyorsan megszilárdul, ezért kiválóan alkalmas pozícióhegesztéshez (pl. távvezetéki csövek helyszíni hegesztése). Az elektródát mély beolvadás, közepes fröcskölés jellemzi, jó a részáthidaló képessége. Közepes cseppekben olvad le, kissé forró típusú elektróda. A varrat felülete durván pikkelyezett, domború.

2.13. táblázat

Elektródák nemzetközi jelölésrendszere
(az MSZ ISO 2560:1990 alapján)

E 51 3B 140 28 (H)

A hegesztőeljárásra utaló jel E			
Jel	Az ömledék szakítószilárdsága, MPa		
43	430...510		
51	510...610		
Jel	Az ömledék nyúlása, A ₅ legalább, %		Átmeneti hőmérséklet, legalább TTKV ₂₈
	43-as	51-es	
0	-	-	-
1	20	18	+20
2	22	18	0
3	24	20	-20
4	24	20	-30
5	24	20	-40

Jel	Bevonattípus
A	Savas (vas-oxid)
AR	Savas (rutilos)

B	Bázikus
C	Cellulóz
O	Oxidos
R	Rutilos (közepes bevonatú)
RR	Rutilos (vastag bevonatú)
S	Egyéb típusok

Jel	Kihozatal, R _N , %
110	≥ 105 < 115
120	≥ 115 < 125
130	≥ 125 < 135
140	≥ 135 < 145

Hidrogéntartalom <15 ml/100 g

Jel	Egyenáram, ajánlott polaritás**	Váltakozó áram, névleges üresjáratú feszültség
0*	+	
1	+ vagy -	50
2	-	50
3	+	50
4	+ vagy -	70
5	-	70
6	+	70
7	+ vagy -	90
8	-	90
9	+	90

* A csak egyenáramra használható elektródák jele.

** Pozitív (fordított) polaritás: +; negatív (egyenes) polaritás: -.

Jel	Hegesztési helyzet
1	Minden
2	Minden kivéve függőlegesen lefelé
3	Vízszintes tompavarrat, vályúhelyzetű sarokvarrat, álló sarokvarrat

4	Vízszintes tompavarrat, vályúhelyzetű sarokvarrat
5	Ua., mint a 3. és függőlegesen lefelé

Az ötvöztelen és gyengén ötvözött, 490...590 MPa szakítószilárdságú acélok ívhegesztésére alkalmas bevont elektródák nemzetközi jelölésrendszerét a 2.13. táblázat foglalja össze. A jelölési rendszer alap- (kötelező rész) és kiegészítő jelre (nem kötelező rész) oszlik.

Például a közepes vastagságú, rutilos bevonatú ívhegesztő elektróda, amely $R_m = 500 \text{ MPa}$; $A_5 = 23\%$; $KV = 71 \text{ J}$ (+20 °C-on), $KV = 31 \text{ J}$ (0 °C-on) és $KV = 20 \text{ J}$ (- 20 °C-on) minimális mechanikai tulajdonságokkal jellemezhető hegyanyagot ad és minden hegesztési helyzetben, váltakozó árammal ($U_{\text{ü}} = 50 \text{ V}$) és egyenárammal, pozitív polaritással leolvasztható, alapjele: E 43 2R, teljes jele pedig: E 43 2R 13.

A bevont elektródák kiválasztását segítik a hozaganyaggyártó és -forgalmazó cégek ajánlatai, amelyek az anyagminőség és a követelmények figyelembevételével adnak eligazítást a gyári típusok között (pl. a 2.14. táblázat).

d) A kézi ívhegesztés technológiája

A technológiai adatok, az elektróda és az áramforrás összehangolása. A technológiai tervezés alapvető feladata az adott lemez- (ill. fal-) vastagsághoz és hegesztési helyzethez tartozó varratforma, az elektróda típusa és mérete, a technológiai adatok (munkafeszültség, áramerősség, hegesztési sebesség, rétegszám stb.), valamint az elektródaszükséglet meghatározása.

A kézi ívhegesztés varrat- és élkiképzési formáit l. a 2.4. táblázatban. Erősen igénybe vett szerkezetekhez, repedésre érzékeny acélokhoz, 0 °C alatti üzemi hőmérsékleten bázikus bevonatú elektródát célszerű használni. Gyökök hegesztésére, nagyobb illesztési rés áthidalására, pozícióban végzett munkákhoz kedvezőbb a rutilos bevonatú elektróda. Csővezetékek helyszíni hegesztéséhez előnyösen használhatók a cellulóz bevonatú elektródák. Kényszerhelyzetű hegesztéshez közepesen vagy vékonyan bevont elektródát válasszunk. A hazai gyártású OK ESAB márkájú elektródákat a 2.15. táblázat mutatja be.

2.14. táblázat

Bevont elektródák ötvöztelen és gyengén ötvözött acélokhoz (az ESAB cég hegesztőanyag-termékismertetőjéből)

› normál minőségi szint OK 46.00

OK 33.80

Általános rendeltetésű acél › igen › követelmények › fokozott minőségi szint (röntgen) OK 48.00

~ OK 48.04 nem OK 53.04

nincs meghatározva OK 48.00

OK 48.04

követelmény › folyáshatár 420 MPa OK
48.00

OK 48.04

követelmény › folyáshatár 560 MPa OK
74.78

Közepes és nagyszilárdságú acél › igen › követelmény › folyáshatár 630 MPa OK 74.78

▼

nem követelmény › folyáshatár 700 MPa OK 78.04

követelmény › folyáshatár 770 MPa OK
78.08

követelmény › folyáshatár 850 MPa
(megeesztve) OK 78.16

követelmény › alapanyag összetétel
0,5Mo OK 74.78

követelmény › alapanyag összetétel
0,5Mo 0,5 Cr OK 76.18

Gyengén ötvözött, hőálló acél › igen › követelmény › alapanyag összetétel 0,5Mo 1,2 Cr OK 76.18

▼

nem követelmény › alapanyag összetétel 1Mo 2,25 Cr OK 76.28

követelmény › alapanyag összetétel
0,5Mo 5 Cr OK 76.35

követelmény › alapanyag összetétel 1Mo
9 Cr OK 76.96

követelmény >
hőmérséklet –20 °C
Charpy-V OK 48.04

követelmény >
hőmérséklet –40 °C
Charpy-V OK 48.68

OK 48.08

követelmény >
hőmérséklet –60 °C
Charpy-V OK 73.68

követelmény >
hőmérséklet –70 °C
Charpy-V OK 73.68

2.15. táblázat

ESAB elektródák gyártmányismertetője

Meg nevezés, szabványos jelölés	Jellemző tulajdonságok	Varratfém-összetétel, %	Mechanikai tulajdonságok	Méret, átmérő x hossz, mm	Hegesztő-áram, A
OK 43.32 MSZ ISO 2560: E 51 2 RR 6 DIN 1913: E 51 21 RR 6	Könnyen kezelhető, vastag bevonatú, univerzális rutilos elektróda. Az ív kis áramerősség esetén is stabil. Vékony lemezek hegesztésére kiválóan alkalmas. Ajánlott 490 N/mm ² -nél kisebb szakítószilárdságú, általános rendeltetésű acélok és nyomástartó edények, ill. A minőségű hajóépítő acélok hegesztésére.	C 0,07 Si 0,40 Mn 0,50	R _{eH} 460N/mm ² R _m 550 N/mm ² A ₅ 26% Ütőmunka, KV: 65 J +20 ° C-on 40 J 0 ° C-on	1,6 x 300 2,0 x 350 2,5 x 350 3,25 x 350 4,0 x 450 5,0 x 450	30... 60 40... 80 50...110 80...150 120...210 170...290 =-(+) U ₀ >50 V
OK 43.33 MSZ ISO 2560: E 51 21 RR 6 DIN 1913: E 51 21 RR 6	Nagyon jó hegesztési tulajdonságú, vastag bevonatú elektróda. Függetlenül fentről lefelé való hegesztésen kívül minden más helyzetben használható. Különösen fűző- és sarokvarratok, vékony lemezek hegesztésére ajánlott. Ajánlott 490 N/mm ² -nél kisebb szakítószilárdságú általános rendeltetésű acélok hegesztésére.	C 0,08 Si 0,40 Mn 0,50	R _{eH} 470 N/mm ² R _m 560N/mm ² A ₅ 26% Ütőmunka, KV: 60 J +20 ° C-on 50 J 0 ° C-on	2,0 x 350 2,5 x 350 3,25 x 350 4,0 x 450 5,0 x 450	40... 80 50...100 90...140 130...190 180...250 =-(+) U ₀ >50V
OK 46.00 MSZ ISO 2560: E 43 3 R II DIN 1913: E 43 32 R(C) 3	Univerzális, minden helyzetben jól hegeszthető rutil-cellulóz bevonatú elektróda. Jó ívgyújtási, újragyújtási és résáthidaló tulajdonságok jellemzik. Ajánlott vékony és középvastag lemezek hegesztéséhez. Különösen alkalmas fűző- és gyökvarratok készítésére, normál hajóépítő és általános rendeltetésű szerkezeti acélok hegesztésére.	C 0,08 Si 0,30 Mn 0,40	R _{eH} 400 N/mm ² R _m 520 N/mm ² A ₅ 27% Ütőmunka, KV: 70 J 0° C-on 35 J -20° C-on	2,0 x 350 2,5 x 350 3,25 x 350 4,0 x 350 5,0 x 350	50... 70 60...100 80...150 100...200 150...290 =-(+) U ₀ >50 V

OK 46.16 MSZ ISO 2560: E 43 3 RR II DIN 1913: E 43 32 RR(C) 6	Univerzális, minden helyzetben jól hegeszthető rutil-cellulóz bevonatú elektróda. Könnyű kezelhetőség, ívgyújtás és újragyújthatóság és salakleválasztás jellemzi. Alkalmas A, B és D minőségű hajóépítő és általános rendeltetésű szerkezeti acélok hegesztésére.	C 0,09 Si 0,40 Mn 0,50	R_{eH} 430 N/mm ² R_m 505 N/mm ² A ₅ 29% Ütőmunka KV: 70 J 0° C-on 40 J -20° C-on	2,0 x 350 2,5 x 350 3,25 x 350 4,0 x 450 5,0 x 450	50... 70 60...100 80...150 100...200 150...260 =+/- U ₀ > 50 V
OK 46.56 MSZ ISO 2560: E 43 3 R 22 DIN 1913: E 43 33 R 3	Középvastag bevonatú, rutilos elektróda. Minden helyzetben hegeszthető, kivéve fentről lefelé. Ajánlott kis üzemi hőmérsékletű szerkezetek hegesztéséhez, ahol -20 °C-on követelmény a szívósság és megengedett a rutilos elektróda használata.	C 0,08 Si 0,30 Mn 0,40	R_{eH} 390N/mm ² R_m 460N/mm ² A ₅ 28% Ütőmunka: 90 J 0 ° C-on 85 J -20 ° C-on	2,5 x350 3,25 x 350 4,0 x350 (450) 5,0 x 350 (450)	75...100 95...125 135...180 155...230 =- U ₀ >50 V
OK 48.00 MSZ ISO 2560: E 51 53 B 10 DIN 1913: E 51 53 B 10	Általános rendeltetésű bázikus elektróda nagyon jó leolvadási tulajdonságokkal. Varratférce szívós, repedésre nem érzékeny. Minden hegesztési helyzetben használható, kivéve fentről lefelé. Ajánlott normál és növelt szilárdságú A, B, D és E minőségű acélokhoz. Az ömledékfém kis H ₂ -tartalma révén nagy igénybevétellel terhelt szerkezetek hegesztésére különösen ajánlott. Alkalmas galvanizált lemezek hegesztésére és függőlegesen fölfelé.	C 0,07 Si 0,50 Mn 1,20	R_{eH} 445 N/mm ² R_m 540N/mm ² A ₅ 29% Ütőmunka KV: 200J +20°C-on 160J -20°C-on 80 J -40°C-on	2,0 x 300 2,5 x 350 3,25x350 (450) 4,0 x 450 5,0 x 450 6,0 x 450	50... 80 80...110 110...150 140...200 200...260 220...340 =+/- U ₀ >50V
OK 55.00 MSZ ISO 2560: E 51 5 B 120 26H DIN 8529: EY 46 66 Mn B	Nagy szilárdságú, hidegszívós acélok hegesztéséhez ajánlott elektróda. A varratfém repedésre nem érzékeny. Minden hegesztési helyzetben használható, kivéve fentről lefelé. Ajánlott növelt szilárdságú A, B, D és E minőségű, 470 N/mm ² -nél nem nagyobb folyáshatárú acélokhoz, ahol a szívósság kis üzemi hőmérsékleten is követelmény.	C 0,07 Si 0,5 Mn 1,2	R_{eH} 480N/mm ² R_m 590 N/mm ² A ₅ 30% Ütőmunka KV: 115 J -20 °C-on 60 J -40 °C-on 50 J -50 °C-on	2,0 x 350 2,5 x 350 3,25x 350 4,0 x 450 5,0 x 450 6,0 x 450	40... 80 80...110 110...140 140...200 200...270 215...360 =+ U ₀ > 65 V
OK 73.68 DIN 8529: EY 46 87 2Ni B2	Ni-ötvözésű bázikus elektróda. A varratfém szívósságát -60 °C-ig megtartja. Jó hegesztési tulajdonságok mellett minden helyzetben hegeszthető, kivéve függőlegesen lefelé. Ajánlott a hegeszthető acélok széles köréhez, a szilárdsági és összetételi jellemzők egyeztetésével. Varratférce korrózióálló a tengervízzel és a kénes savas füsttel szemben.	C 0,06 Si 0,35 Mn 0,9 Ni 2,4 S<0,02 P <0,02	R_{eH} 520N/mm ² R_m 610 N/mm ² A ₅ 26% Ütőmunka KV: 145 J -20 °C-on 125 J -60 °C-on 75 J -80 °C-on	2,5 x 350 3,25 x 450 4,0 x 450 5,0 x 450	70...110 105...150 145...185 190...270 =+ U ₀ >70 V
OK Pipeweld 6010	Minden helyzetben, függőlegesen lefelé is jól hegeszthető, cellulóz bevonatú elektróda. Nagy ívfűvás, igen könnyű	C 0,12 Si 0,20 Mn 0,45	R_{eH} 380N/mm ² R_m 470N/mm ²	2,5 x 350 3,25 x 350 4,0 x 350	40... 80 75...125 110...200

MSZ ISO 2560: E 43 3C 14 DIN 1913: E 43 32 C 4	salakkezelhetőség jellemzi. Elsősorban helyszíni csővezetékek építéséhez, kis szilárdságú anyagokhoz ajánlott. Kiváló gyökhegesztő elektróda.	P<0,018 S <0,015	A ₅ 30 % Ütőmunka KV: 83 J 0 °C-on 45 J -30 °C-on	5,0 x 350	130...230 =+/- U ₀ > 70 V
OK Pipeweld 85 MSZ ISO 2560: E 51 4C 10 DIN 1913: E 51 43 C 4	Minden helyzetben, függőlegesen lefelé is jól hegeszthető cellulóz elektróda. Jól használható a távvezeték építés nagyszilárdságú anyagaihoz. A Mn és Mo ötvözetarálmú anyagok takaróhegesztésére is alkalmas. Kiváló gyökhegesztő elektróda.	C 0,12 Si 0,14 Mn 0,33 Mo 0,50 P<0,02 S <0,02	R _{eH} 460N/mm ² R _m 540N/mm ² A ₅ 24 % Ütőmunka KV: 78 J 0 °C-on	3,25 x 350 4,0 x 350 5,0 x 350	75...125 110...200 130...230 +(-) U ₀ >70 V
OK Pipeweld 7010 MSZ ISO 2560: E 51 4C 10 DIN 1913: E E 51 43 C 4	Új fejlesztésű cellulóz elektróda, amelyet kiváló fűrdőkezelhetőség, mély beolvadás, kis fröcskölődés, nyugodt ív, gyorsan dermedő és könnyen leváló salak jellemez. Növelt szilárdságú csővezetékek és acélcsovek gyök-, töltő- és takaró varratainak hegesztésére ajánlott.	C 0,12 Si 0,14 Mn 0,70 Ni 0,20 Mo 0,25 P<0,02 S<0,02	R _{eH} 460 N/mm ² R _m 540 N/mm ² A ₅ 24% Ütőmunka KV: 78 J 0 °C-on 45 J -20 °C-on 45 J -30 °C-on	3,25 x 350 4,0 x 350 5,0 x 350 5,5 x 350	75...125 110...200 130...230 165...270 =+(-) U ₀ >70 V
OK Pipeweld 8010 MSZ ISO 2560: E 51 32 C 4 DIN 1913: E 51 32 C 4	Új fejlesztésű, nagy leolvadási sebességű cellulóz elektróda. Növelt szilárdságú csővezetékek hegesztésére, 570...620 N/mm ² szakítószilárdsági tartományban használható	C 0,12 Si 0,14 Mn 0,70 Ni 0,20 Mo 0,45 P<0,02 S<0,02	R _{eH} 460 N/mm ² R _m 595 N/mm ² A ₅ 24% Ütőmunka KV: 65 J 0 °C-on 45 J -20 °C-on	3,25 x 350 4,0 x 350 5,0 x 350 5,5 x 350	75...125 110...200 130...230 165...270 =+(-) U ₀ >70V

Az elektróda átmérőjének megválasztásakor technológiai és gazdaságossági szempontokat kell figyelembe venni. Lehetőleg a legnagyobb átmérőjű elektródát használjuk. Az elektróda d_e átmérője nagyjából meghatározza az áramerősséget is. Ötvözetlen, ill. gyengén ötvözött acélok hegesztésekor $I \approx 40d_e A$, erősen ötvözött acélok esetén $I \approx 30d_e A$ átlagos értékkel lehet számolni.

Ha a varrat rajzolata szépen ívelő, a salak jól hátrafut, az ömledék szépen terül, akkor az áramerősség megfelelő. Ha az áram túl nagy, akkor az elektróda fröcsköl, a befogás felőli vége felizzik, az ív erősen leng. Ha az áram túl kicsi, bizonytalanná válik az ív gyújtása, az ív fűvőereje gyenge, az ömledék nem tud szétterülni, a varrat túl domború lesz. Az ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok tompavarratainak hegesztése során beállítandó jellemzőkre a 2.16. táblázat, a sarokvarratokéra a 2.17. táblázat ad irányértékeket.

2.16. táblázat

Beállítási irányértékek ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok tompavarratainak hegesztéséhez
(Killing nyomán)

Anyagvastagság, s, mm	Hegesztési helyzet	Illesztési hézag, mm	Az elektróda típus	Gyökvarrathoz		Fedővarrathoz	
				d_e , mm	I, A	d_e , mm	I, A
4	PA	1	AR/RA	2,5	75	-	-

5		1		3,2	140	-	-
6		1		3,2	140	4,0	180
8		1,5		3,2	140	4,0	185
10		2		3,2	140	5,0	240
10	PA	2	B	3,2	120	4,0	170
15		2		3,2	130	4,0	170
20		2		4,0	160	5,0	220
6	PF	2	RR(B)RB	2,5	60	-	-
8		2,5		2,5	65	3,2	110
10		2,5		3,2	95	4,0	160
15		3		3,2	100	4,0	160
10	PF	3	B	3,2	90	3,2	105
15		3		3,2	90	4,0	140
20		3		3,2	90	4,0	140

Varratalak minden esetben $V, \alpha = 60^\circ$.

2.17. táblázat

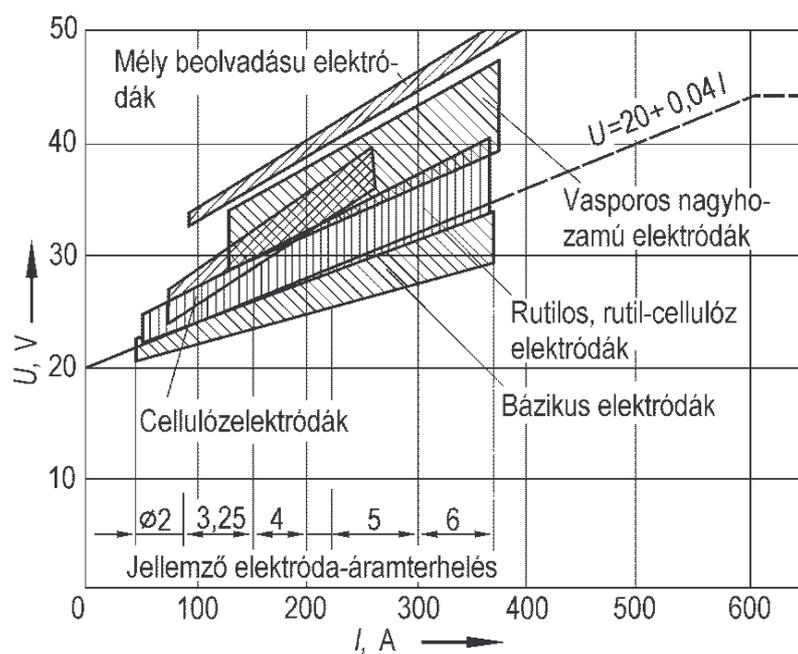
Beállítási irányértékek ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok sarokvarratainak hegesztéséhez
(Killing nyomán)

s,mm	Hegesztési helyzet	Az elektróda		I, A	Varratok száma
		típusa	mérete, mm		
2	PG	R(C)	2,5	85	1
3			4,0	180	1
3	PB	RR	3,2	130	1
4			4,0	180	1
5	PB	RR	4,0	180	1 gyök
			5,0	240	1 fedővarrat
6	PB	RR	4,0	180	1 gyök
			5,0	240	2 fedővarrat
			5,0	255	
4	PB	RR	4,0	190	1

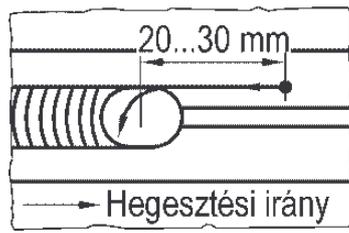
5			5,0	290	1
6			5,0	295	1
7			5,0	300	1
8	PB	RR	4,0	200	1 gyök
			5,0	300	1 fedővarrat
3	PA	B	4,0	170	1
4			4,0	170	1
5			5,0	220	1
8	PA	B	5,0	220	1 gyök
			5,0	220	1 fedővarrat
3	PF	R(C)	2,5	65	1
4	PF	B	2,5	80	1
6			3,2	110	1
8	PF	B	3,2	110	1 gyök
			4,0	140	1 fedővarrat

Az áramforrások helyes megválasztását - a szabványos munkafeszültség mellett - segíti a technológia szerinti munkafeszültség sávok ismerete (2.17. ábra). Az ívet vagy segédlemezen gyújtjuk, vagy a varrat olyan részén, amelyen a varratképzés során az ívvel ismét áthaladunk. Az ívet a varrat kezdési helyétől 20...30 mm-re kell létrehozni (2.18. ábra).

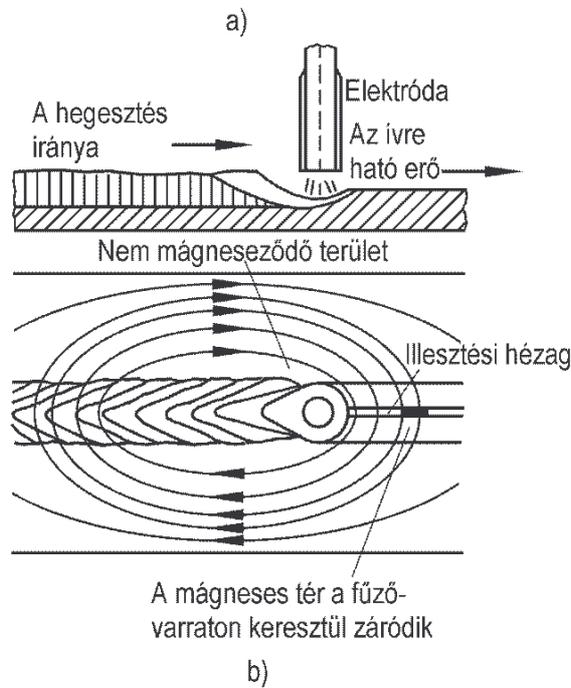
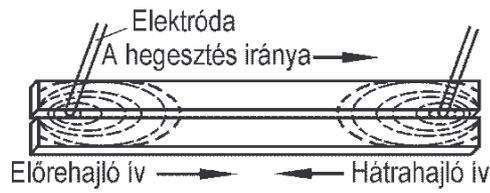
Az ív megszakítása esetleg kráterképződést okozhat. A végkráter - mint utoljára dermedő varratrész - gyakran szennyezett, repedések kiindulópontja. A végkráter képződése elkerülhető, ha a hegesztést kifutólemezen fejezzük be, vagy ha az ív megszakítását az elektróda kissé gyorsított körözésével kezdjük. Ezután az ívet úgy kell megszakítani, hogy a már meglévő varrat felé gyorsítva visszahúzzuk és felemeljük.



2.17. ábra Munkafeszültség-sávok

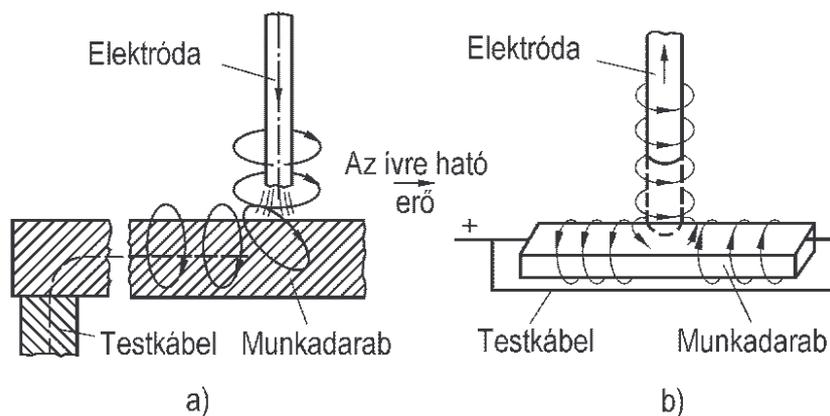


2.18. Ív újragújtásának technikája



2.19. ábra. Az ív terének torzulása hegesztéskor

a) a mágneses fluxus koncentrációja az ív mögött; *b)* a mágneses tér aszimmetrikus kialakulása mágnesezhető fém hegesztésekor



2.20. ábra. A mágneses fűvóhatás

a) kialakulása; b) a fűvóhatás csökkentése a testkábel kétoldali csatlakoztatásával

A hegesztéskor kialakuló ívre *mágneses erők* is hatnak, amelyek az ívet elhajlítják, elfújják (2.19. ábra). Torzul a mágneses tér akkor is, ha mágnesezhető fém (pl. acélt) hegesztünk, és az ív előtt illesztési hézag van. Hasonló a helyzet az elektródán és a munkadarabon, valamint a testkábelben keresztülfolyó áram hatására kialakuló mágneses mezőnél is. A munkadarabon, ill. az elektródán átfolyó áram iránya egymással derékszöget zár be, és a két mező kölcsönhatása kitérítő erőt eredményez (2.20a ábra). Váltakozó áram esetén csökken a mágneses fűvóhatás. A mágneses fűvóhatás csökkenthető a mágneses tér erősségének csökkentésével, az ív merevségének növelésével az által, hogy növeljük az íváramot és ezzel együtt csökkentjük az ívhosszat, valamint kisebb átmérőjű elektródát használunk. Csökkenthető a fűvóhatás az elektróda megfelelő irányú döntésével vagy a testkábel kétoldali bekötésével (2.20b ábra).

Hegesztési helyzetek. *Vízszintes helyzetben* 3 mm-nél *vékonyabb* lemezeket általában leélezés nélkül, I varrattal kötünk össze. A vékony lemezek könnyen túlhevülnek, és az ömledék átroskadhat. Hegesztésük során az elektródával nem ívelünk, mivel nagy területű ömledék alakulna ki.

A vastagabb lemezeket a kívánt alakra leélezjük, megfelelően illesztjük és fűzzük. Az elektróda tartását, ívelését tompa-, sarok- és átlapolt varratok hegesztésekor a 2.18. táblázat foglalja össze. A varrat gyökét rutilos elektródával célszerű készíteni, amelyet követően gondosan salakolni kell. A töltősor ne legyen túlzottan vastag, mert akkor sok salak gyűlik össze.

A sarokvarratok közül a vályúhelyzetű elkészítése az egyszerűbb. Mivel a sarokvarrat keresztmetszete jóval nagyobb, mint az ugyanolyan vastagságú leélezett tompavarraté, már a gyöksor lerakásához is nagyobb átmérőjű elektródát kell választani. Az áramerősség az adott átmérőjű elektródához javasolt felső érték körüli legyen.

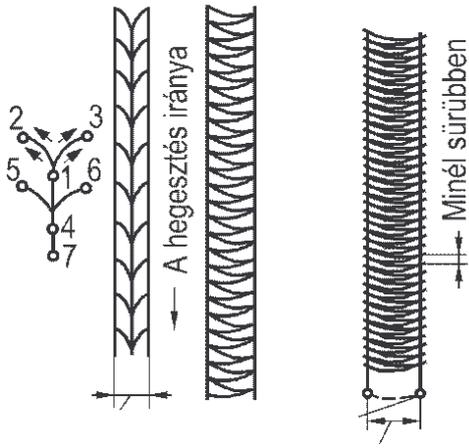
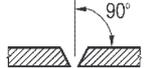
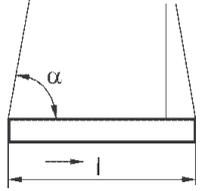
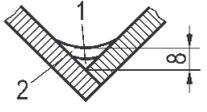
Vízszintes (álló) sarokvarratnál az ívet arra a lemezre kell irányítani, amelyiknek nagyobb a hőelvezetése. A külső sarok varratok lerakása kissé hasonlít a V varrat készítéséhez.

A függőleges helyzetű tompa- és sarokvarratok elektródavezetési változatait, az elektróda tartását V varrat és sarokvarrat készítésekor a 2.19. táblázat mutatja be. Függőleges helyzetben legfeljebb 4 mm-es elektródával dolgozzunk, az elektróda-átmérőhöz tartozó legkisebb áramerősséggel.

2.18. táblázat

Az elektróda tartása és vezetése vízszintes helyzetben

Varrat	Az elektróda		Varratkialakítás
	vezetése	tartása	

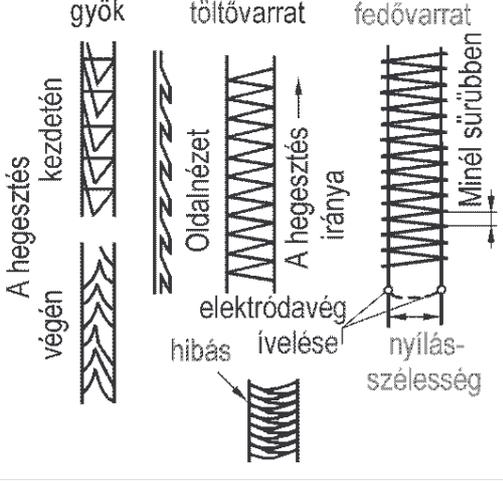
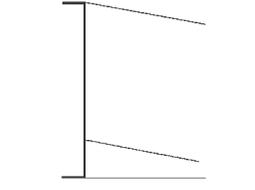
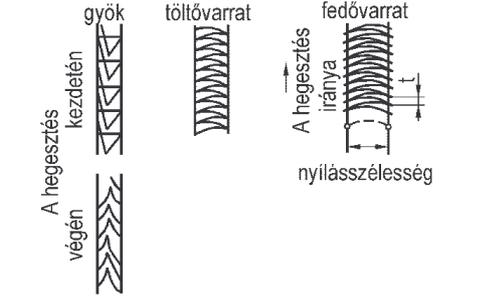
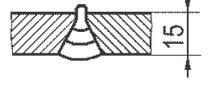
<p>V varrat és fekvő sarokvarrat</p>	<p>Gyök-, Töltő-, Fedővarrat</p>  <p>V varrat gyökhézag Nyílásszélesség</p> <p>Sarokvarrat (ívelés nélküli varrat) Elektrodavég ívelése</p>	 <p>$\alpha < 90^\circ$: ER</p> <p>$\alpha = 90^\circ$: EB</p>  <p>A hajlásszög függ az l-től és az elektróda típustól,</p> <p>ha l nagy, α nagy,</p> <p>ha l kicsi, α kicsi</p>	<p>Kb. 5 réteg</p>  <p>Réteg d_e mm</p> <p>1. 2,5...4,0</p> <p>2. 4,0</p> <p>tovább 4,0...5,0</p>  <p>1. savas elektródával</p> <p>2. rutilos elektródával</p> <p>Réteg d_e mm</p> <p>1. 4,0</p> <p>2. 5,0</p> <p>3. 5,0</p>
--------------------------------------	--	--	--

Az elektróda típusa: ER vagy *vastag bevonatú* EB, de a V varrat és fekvő sarokvarrat első rétegéhez *közepesen vastag bevonatú*.

2.19. táblázat

Az elektróda tartása és vezetése függőleges helyzetben

Varrat	Az elektróda		Varratkialakítás
	vezetése	tartása	

<p>V varrat rutilos elektróda</p>		<p>Valamennyi rétegnél</p>  <p>Az elektróda a hegesztés kezdetén szöget zár be a lemezzel</p>	<p>3...4 réteg</p>  <p>Réteg d_e mm</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 2,5...3,25 2. 3,25...4,0 3 4,0 <p>Felülről lefelé középvastag bevonatú rutilos elektródával</p>
<p>V varrat bázikus elektróda</p>		<p>Ívet a varraton húzni!</p>  <p>majdnem vízszintes</p> <p>Befejezéskor az elektródát meg kell emelni</p>	<p>3...4 réteg</p>  <p>Réteg d_e mm</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 2,5...3,25 2. 3,25...4,0 3 4,0 <p>Felülről lefelé vastag bevonatú bázikus elektródával</p>

Sarokvarrat			
			Réteg d_e mm 1. 2,5...3,25 2. 3,25...4,0

Az elektróda típusa: *V varrathoz* ER az első réteghez közepesen vastag, a többihez vastag bevonatú; *sarokvarrathoz* ER vagy EB, vastag bevonatú.

2.20. táblázat

Az elektróda tartása és vezetése függőleges falon, vízszintes (haránt) helyzetben

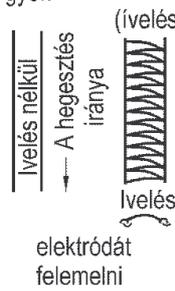
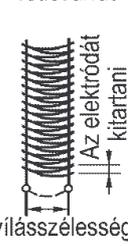
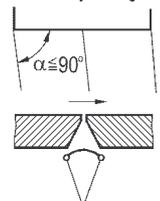
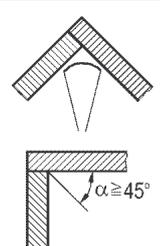
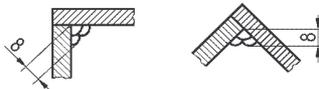
Varrat	Az elektróda		Varratkialakítás
	vezetése	tartása	
Tompavarrat	<p>További rétegek ívelés nélkül</p>	<p>Az áramerősség nagyobb, mint a függőleges helyzetbe, de kisebb mint a vízszintes helyzetben.</p>	<p>vagy</p> <p>Réteg d_e mm</p> 1...3 2,5...3,25 4...8 4,0 9...12 (fedő rétegek) 3,25

Az elektróda típusa: ER vagy *vastag bevonatú* EB.

2.21. táblázat

Az elektróda tartása és vezetése fej feletti helyzetben

Varrat	Az elektróda		Varratkialakítás
	vezetése	tartása	

V varrat	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>gyök</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>töltővarrat (ívelés)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>fedővarrat</p>  </div> </div>	<p>valamennyi rétegnél</p> 	 <p>Réteg d_e mm</p> <p>1. 2,5...3,25</p> <p>2. 4,0</p> <p>3 4,0</p>
Sarokvarrat	<p>Ívelés nélkül</p>		 <p>Réteg d_e mm</p> <p>1. 3,25</p> <p>2. 3,25</p> <p>3 3,25</p>

Az elektróda típusa: ER vagy vastag bevonatú EB, de a V varrat első réteghez közepesen vastag bevonatú ER.

Függőleges falon vízszintes varrat (haránthelyzet) lerakásakor az elektróda munkadarabhoz viszonyított helyzete változik (2.20. táblázat). Az egyes rétegek közötti salakolást különös figyelemmel kell végezni.

Fej feletti helyzetben (2.21. táblázat) a V varratot leginkább rutilos elektródával hegesztjük. A gyökhegesztés áramerőssége kb. azonos a függőleges helyzetű hegesztésével. Ha az áramerősség megfelelő, a gyökoldali varratdudor kb. 2...3 mm.

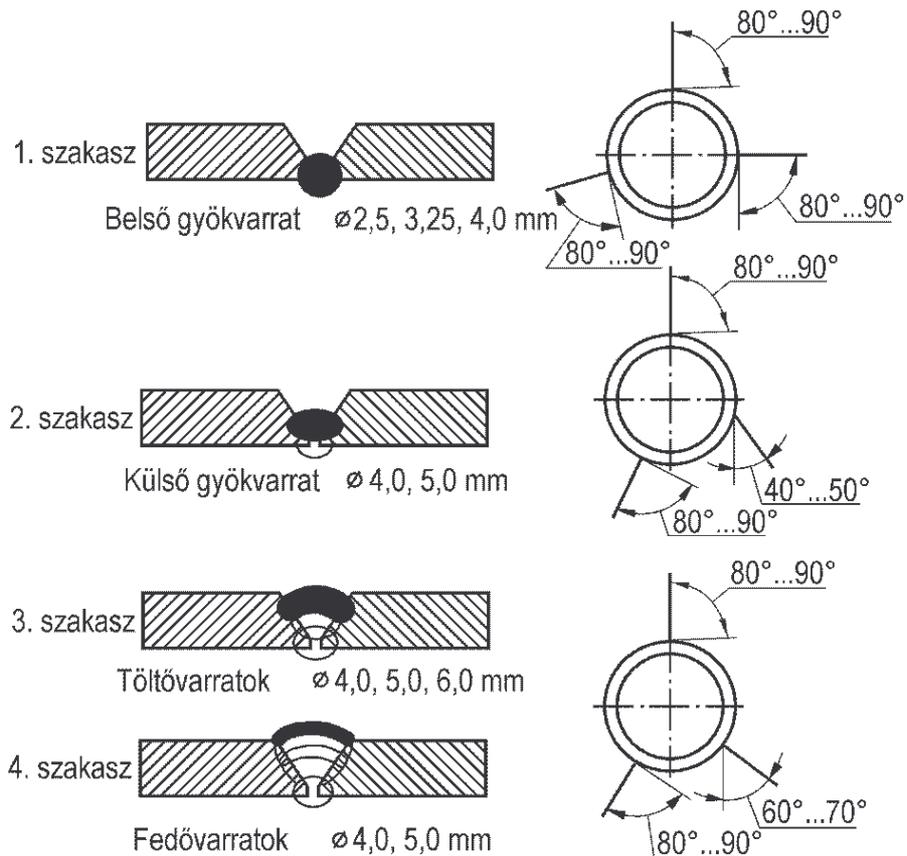
Csövek hegesztésekor a hegesztőnek változó hegesztési helyzetben kell dolgoznia. Először az illesztett csővégeket fűzővarra tokkal kell rögzíteni. Ha a gyökvarratra bázikus elektródát írtak elő, akkor gyökhegesztéskor a fűzést teljesen ki kell köszörülni. A fűzővarratok helyzetét és hosszát a cső átmérőjének függvényében a 2.22. táblázat tartalmazza.

A fűzővarratokat átlós sorrendben kell lerakni. A töltősorokat és a fedővarratot rutilos vagy bázikus elektródával, alulról felfelé készítjük. A 2.21. ábra csövek hegesztésének négy szakaszát szemlélteti az elektróda helyzetével és a javasolt átmérekkel. A gyökvarratot felülről lefelé készítjük, 250 mm-nél kisebb átmérőjű és 8 mm-nél vékonyabb falú csövön 3,25 mm-es elektródával, 90...110 A áramerősséggel. A gyökvarratot csak akkor kell kiköszörülni, ha a következő sor lerakását akadályozza, de sohasem annyira, hogy a nagyobb áramerősséggel lerakott 2. sornál a gyökvarrat átrotskadjon.

2.22. táblázat

Csövek fűzővarratainak helyzete és hossza

A cső átmérője, mm	A fűzővarrat	
	α , fok helyzete,	hossza, mm
200-ig	90	20
200...300	90	30
300...600	60	40
600...1000	45	50



2.21 ábra. Csövek hegesztése cellulóz bevonatú elektródával

Az elektródaszükségletet különböző helyzetű V és sarokvarratokhoz a 2.23...2.25. táblázat tartalmazza.

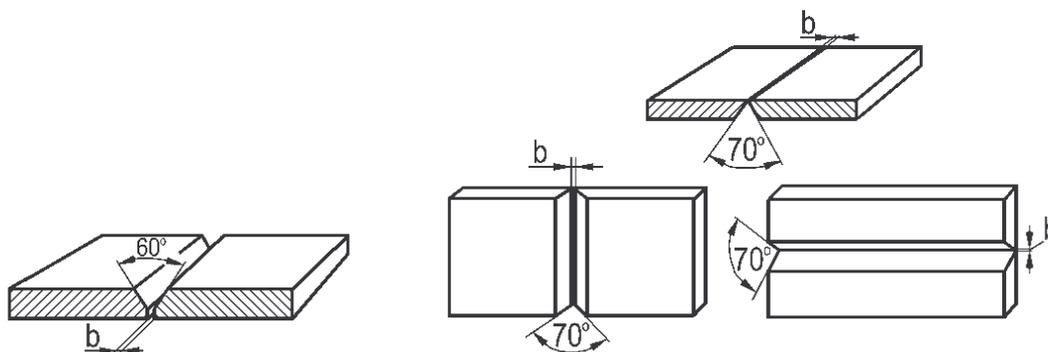
Példa 6 mm lemezvastagságú, 60° -os nyílásszögű, vízszintes helyzetű V varrat elektródaszükséglete a 2.23. táblázat alapján:

- a gyökvarrat tömege: 0,10 kg/m; \varnothing 3,25 mm, és 350 mm hosszú elektródával hegesztve;
- a fedővarrat tömege: 0,12 kg/m; \varnothing 4 mm, és 350 mm hosszú elektródával hegesztve.

2.25. táblázat szerint 1 m varrat elkészítéséhez szükséges elektróda darabszáma:

- gyökvarrathoz 0,10 kg varrattömeg esetén 5,3 db,
- fedővarrathoz 0,10 kg + 0,02 kg varrattömeg esetén $3,5 + 0,7 = 4,2$ db.

V varratok elektródaszüksége
(Böhler Schweisstechnik szerint)



Leválasztási vastagság, s, mm	Illesztési hézag, b, mm	Vízszintes helyzetben					Fej feletti, függőleges és vízszintes helyzetben				
		Elektródaátmérő, d _e , mm		Varrat-keresztmetszet, A, mm ²	Varrattömeg, m _v , kg/m		Elektródaátmérő, d _e , mm		Varrat-keresztmetszet, A, mm ²	Varrattömeg, m _v , kg/m	
		gyökvarrat	fedővarrat		gyökvarrat	fedővarrat	gyökvarrat	fedővarrat		gyök- varrat	fedőv-
3	1	2,5	-	8,5	0,07	-	2,5	-	9,5	0,10	-
4		2,5 vagy 3,25		13,5	0,11		2,5 vagy 3,25		16	0,16	
5		3,25		19,5	0,16		3,25		22,5	0,22	
6	1,5		4	27	0,10	0,12			31	0,29	
7				39	0,10	0,21			45	0,41	
8			4...5	49	0,10	0,29			57	0,51	
9	2			60,5	0,10	0,38		4,0	70,5	0,20	0,4
10				77,5	0,10	0,51			90,5	0,20	0,5
11				92	0,10	0,62			107	0,20	0,7
12				108	0,10	0,75			125,5	0,20	0,8
13				123	0,10	0,87			138	0,20	0,9
14				142	0,10	1,02			165	0,20	1,1
15			4,0	5...6	161	0,12	1,14		188	0,20	1,3
16					180	0,12	1,30		211	0,20	1,5
17				201	0,12	1,46		236	0,20	1,7	
18				223	0,12	1,72		263	0,20	1,9	
19				246	0,12	1,81		291	0,20	2,1	
20				271	0,12	2,01		320	0,20	2,4	

2.24. táblázat

Sarokvarratok elektródaszüksége



Vízszintes és fekvő helyzetben			Függőleges helyzetben			Fej feletti helyzetben		
Elektródaátmérő, d _e	Varrat-	Varrattömeg, m _v ,	Elektródaátmérő,	Varrat-	Varrattömeg, m _v ,	Elektródaátmérő,	Varrat-	Varrattömeg, m _v ,

mm		kereszt- metszet, A, mm ²	kg/m		d _e , mm		keresztmetszet, A, mm ²	kg/m		d _e , mm		ereszt- met- szet, A, mm ²	m _v , gyökvarrat		
gyökvarrat	fedővarrat		gyökvarrat	fedővarrat	gyökvarrat	fedővarrat		gyökvarrat	fedővarrat	gyökvarrat	fedő- varrat				
2,5 vagy 3,25 vagy 4,0	-	4	0,038	-	2 vagy 2,5	-	4	0,040,	-	2,5	-	4	0,040		
		6,5	0,058		2 vagy 2,5		6,5	0,061		6,5		0,061			
		9	0,082		2,5 vagy 3,25		9	0,086		9		0,086			
		12,5	0,115		3,25		12,5	0,12		12,5		0,12			
		16	0,15				15	0,16		16		0,16			
		20,5	0,18				20,5	0,19		20,5		0,19			
		25	0,23				4,0	25		0,10		0,14	3,25	25	0,24
		30,5	0,28					30,5		0,10		0,19		30,5	0,29
		36	0,33					36		0,10		0,25		36	0,35
		42,5	0,39		42,5			0,10		0,31		42,5		0,41	
		49	0,45		49			0,10		0,37		49		0,47	
		56,5	0,52		4,0		56,5	0,55		-		4,0	56,5	0,55	
		64	0,18				0,41	64		0,62			64	0,10	
4,0	5,0	72,5	0,18	0,48	72,5	0,69	72,5	0,10							
		81	0,18	0,56	81	0,78	81	0,10							
		90,5	0,18	0,65	90,5	0,87	90,5	0,10							
		100	0,18	0,73	100	0,96	100	0,10							
4,0	5,0 vagy 6,0	121	0,18	0,92	121	1,16	121	0,10							
		144	0,18	1,14	144	1,39	144	0,10							
		169	0,18	1,37	169	1,63	169	0,10							
		196	0,18	1,60	196	1,87	196	0,10							
		225	0,18	1,89	225	2,17	225	0,10							
		256	0,18	2,14	256	2,44	256 ~	0,10 I							

2.25. táblázat

Az elektródák darabszáma a varratömeg függvényében, db/m

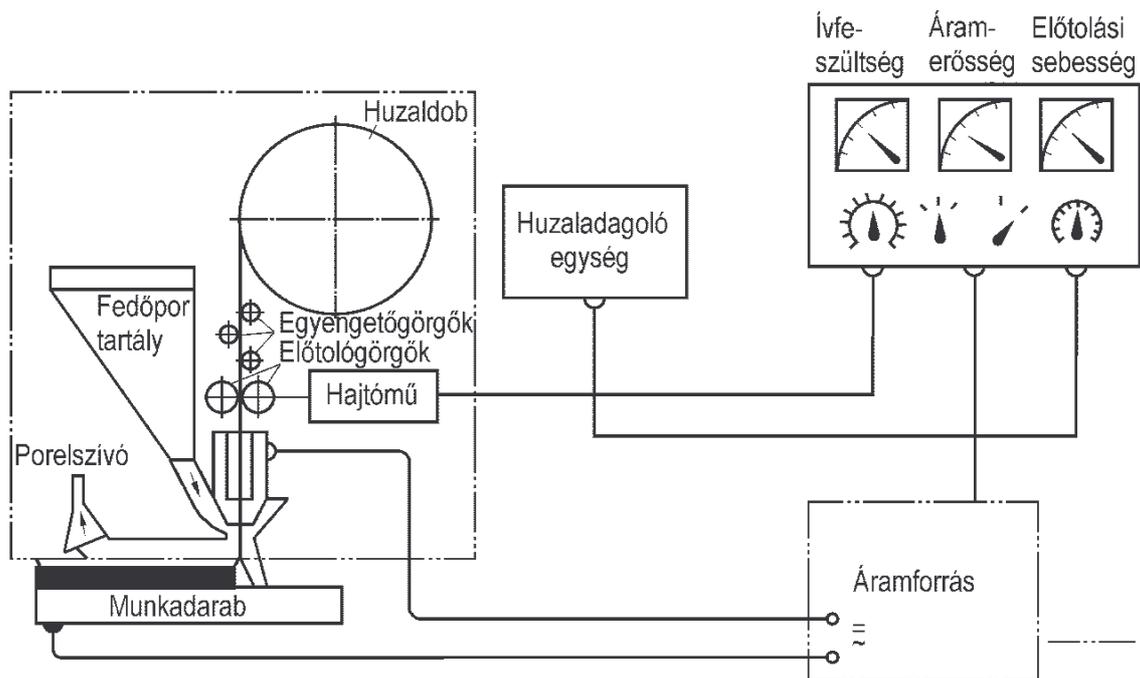
Varrattömeg, m _v , kg/m	Az elektróda átmérője és hossza, d _e , ill. l, mm									
	1,5, 250	2,0, 250	2,5, 250	2,5, 350	3,25, 350	3,25, 450	4,0, 350	4,0, 450	5,0, 450	6,0, 450
0,50	182	102	65,6	45,2	26,7	20,3	17,6	13,4	8,6	6,0
0,55	200	113	72,2	49,7	29,4	22,4	19,4	14,8	9,4	6,6
0,60	218	123	78,8	54,3	32,0	24,4	21,1	16,1	10,3	7,2
0,65	236	133	85,4	58,8	34,7	26,4	22,9	17,5	11,1	7,7
0,70	254	143	92,0	63,3	37,4	28,5	24,6	18,8	12,0	8,3
0,75	273	153	98,5	67,8	40,0	30,5	26,4	20,2	12,9	8,9
0,80	291	164	105	72,2	42,7	32,5	28,2	21,5	13,7	9,5
0,85	309	174	112	76,9	45,4	34,6	30,0	22,8	14,6	10,1
0,90	327	184	118	81,4	48,0	36,6	31,7	24,2	15,4	10,7
0,95	346	194	125	85,9	50,7	38,6	33,5	25,6	16,3	11,3
1,00	364	204	131	90,4	53,4	40,7	35,2	26,9	17,2	11,9

2,00	728	409	262	181	107	81,3	70,4	53,8	34,3	23,8
3,00	1090	613	394	271	160	122	106	80,7	51,5	35,7
4,00	1450	818	460	362	214	162	141	108	68,6	47,6
5,00	1820	1020	525	452	267	203	176	134	85,7	59,5
6,00	2180	1230	788	543	320	244	211	161	103	71,5
7,00	2540	1430	920	633	374	285	246	188	120	83,4
8,00	2910	1640	1050	723	427	325	282	215	137	95,3
9,00	3270	1840	1180	814	480	366	317	242	154	107
10,00	3640	2040	1310	904	534	407	352	269	172	119

2.1.2. Fedett ívű hegesztés (Kód: 12)

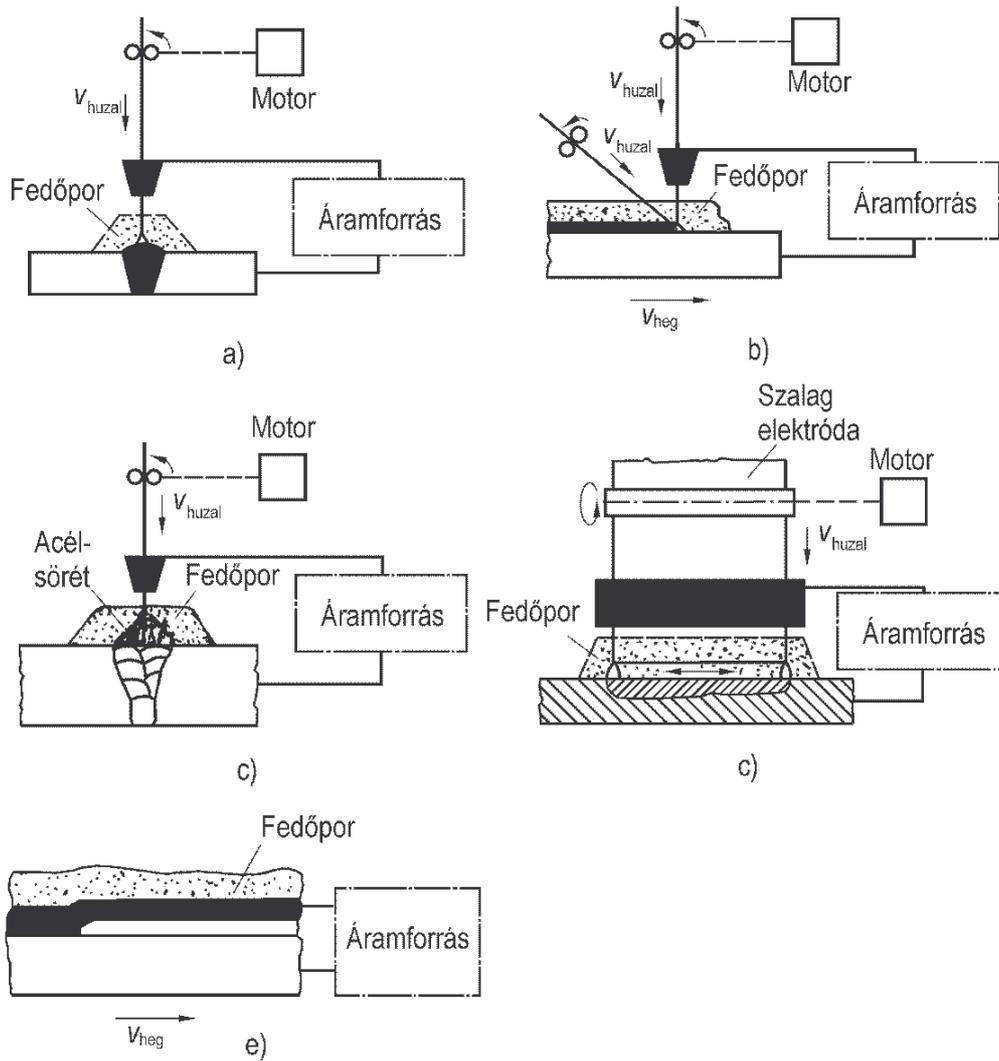
a) Az eljárás elve

A fedett ívű hegesztés leolvadó fémelektroda és a munkadarab között keltett ívvel (ívekkel), fedőpor védelme alatt végzett ömlesztőhegesztés (2.22. ábra). A huzaladagoláson kívül általában a varratirányú előrehaladás is gépesített, így a fedett ívű hegesztés gépesített ömlesztőeljárás. A hegesztés végezhető egyen- vagy váltakozó árammal. Az áramot a hozaganyag végéhez vezetjük, így 6...10-szer akkora áramerősséggel terhelhető, mint a bevont elektróda.

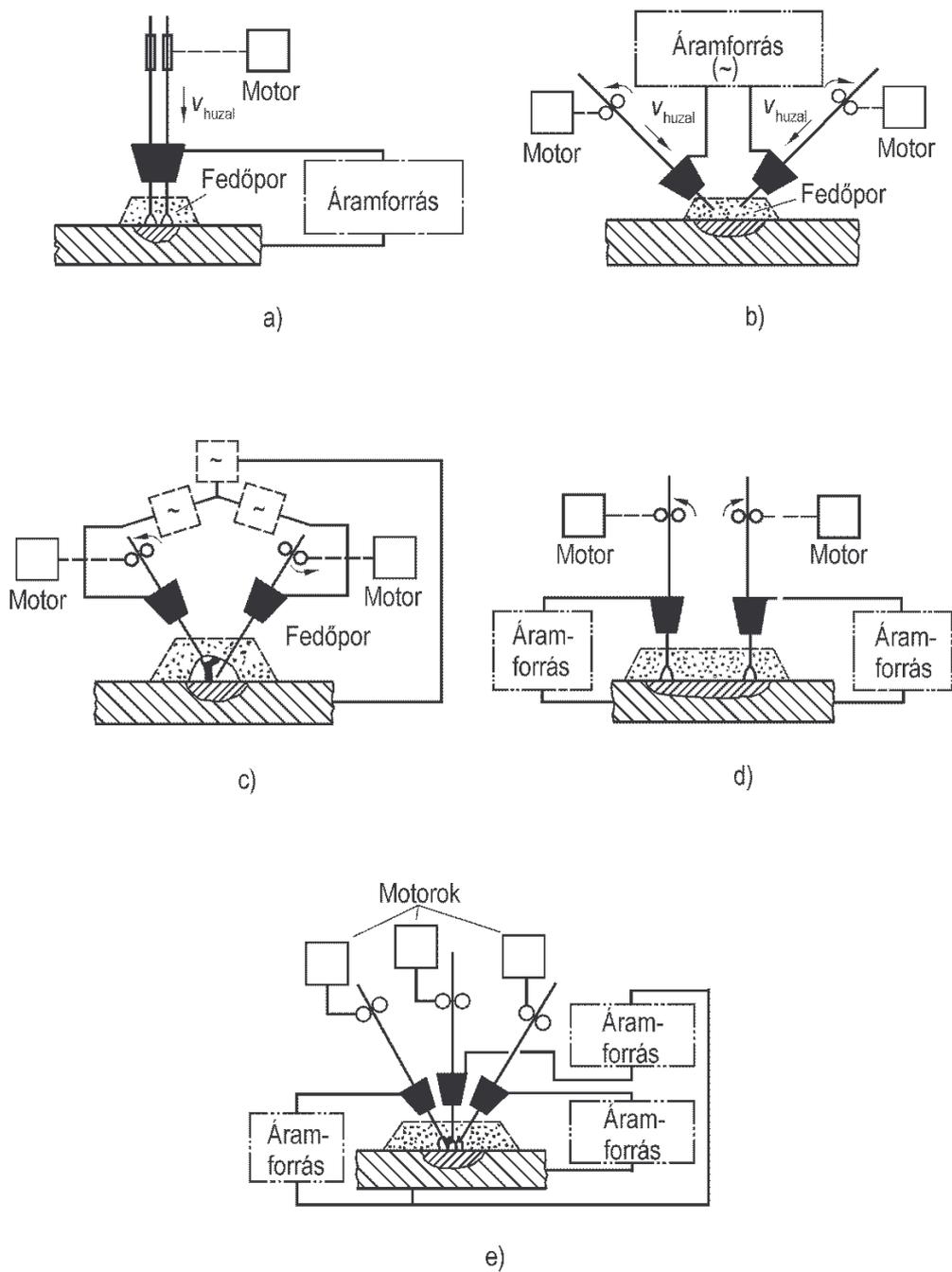


2.22. ábra A fedett ívű hegesztő-berendezés elvi vázlata

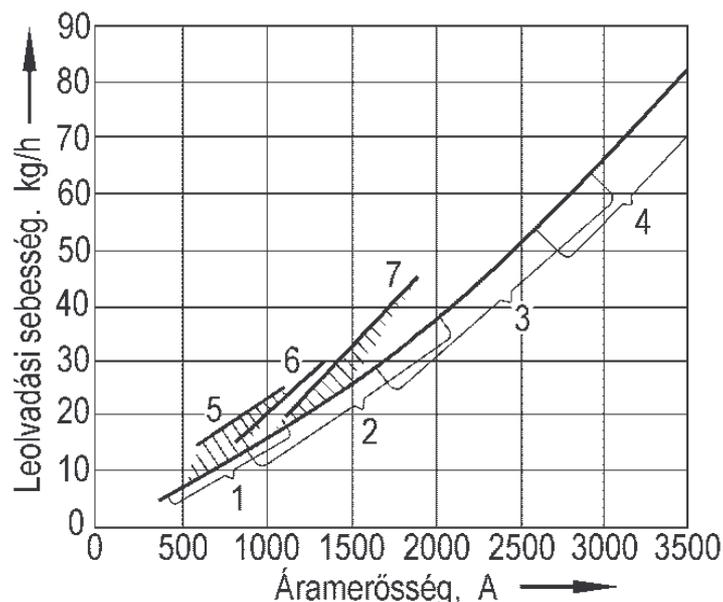
A fedett ívű hegesztés termelékenysége többféle módon fokozható, így pl. több huzal egyidejű leolvasztásával, vagy szalag-, ill. lemezelektroda használatával, továbbá más egyéb megoldással. Az egyelektrodás hegesztést a 2.23. ábra, a többielektrodást a 2.24. ábra szemlélteti.



2.23. ábra. Az egyelektrodás fedett ívű hegesztés változatai
 a) egyhuzalos; b) hideghuzalos; c) acélsőrétes; d) szalagelektrodás; e) lemezelektrodás



2.24. ábra. A többelektródás fedett ívíű hegesztés változatai
 a) kétívű; b) soros ívíű; c) forgóívíű; d) kétféjes; e) háromféjes



2.25. ábra. Huzalelektrodás fedett ív hegesztés eljárásváltozatainak leolvadási sebessége (*Killing* szerint) 1 egyhuzalos; 2 kéthuzalos; 3 háromhuzalos; 4 négyhuzalos; 5 egy huzal + hevített huzalos; 6 párhuzamos huzalos; 7 két huzal + két hevített huzalos

Közepes áramerősség-értéket alapul véve az egyes változatokkal jelentősen eltérő leolvadási sebesség érhető el (2.25. ábra). A többhuzalos eljárás előnye, hogy jó a részáthidaló képesség, esetleg szükségtelen az előmelegítés, kisebb a vetemedés, jobb mechanikai tulajdonságok érhetőek el, főként a nagyszilárdságú finomszemcsés acélokkal. A leolvadási sebesség növelésén kívül lehetőség van a hegesztési sebesség növelésére is.

A szalagelektrodás fedett ív hegesztésre jellemző, hogy a szalag és a munkadarab között egy vagy legfeljebb néhány ív ég. Ezek meghatározott frekvenciával és amplitúdóval vándorolnak a szalag élén. Ennek egyik következménye, hogy a varratszélesség közel azonos a szalagszélességgel. Az egyszalagos fedett ív hegesztés termelékenyebb változata a széles szalagú hegesztés (2.26. táblázat). Az ún. I^2Rt hevítés alkalmazásával kismértékű (kb. 16%-os) többletenergiával a fajlagos leolvadás 25...40%-kal növelhető. Ez a növekedés egyhuzalos változattal 240...1000 A áramerősség-tartományban a szabad elektródahossz 100...150%-os növelésével érhető el.

2.26. táblázat

A fedett ív hegesztés technológiai irányértékei

Vázlat	Eljárásváltozat	Elektródaátmérő, d_e , mm	Áramerősség, I , A	Legnagyobb leolvadási sebesség, kg/h		Legkisebb alapanyag-hányad, %	
				+	-	+	-
	Huzalelektrodás (lengetés nélkül)	1,6...5	120...1000	14	16	65	55
	Lengetéssel	1,6...5	120...1000	14	16	25	20
	I^2Rt -hevítés	2,5...5	240...1000	18	21	35	30
	Porbeles huzallal	3,5	300...800	10	-	30	-

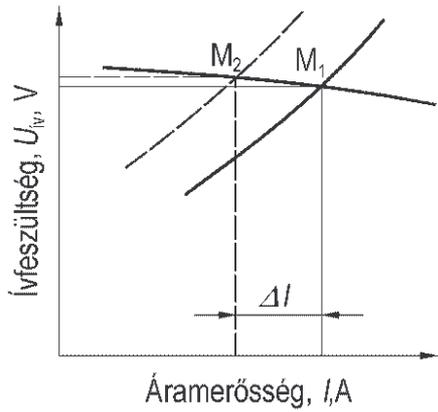
	Párhuzamos huzalos (kétíves)	1,6...4	300...1800	30	32	20	18
	I^2Rt -hevítés	2,5...4	600...1800	60	64	15	12
	Szalagelektrodás	$s=0,5...1,0$	400...2000	35	-	10	8
	I^2Rt -hevítés	$b=6...100$	400...1500	65(75)	-	6	3
	Szinterszalagos	$b=15...30$		25	-	10	-
	Porbeles szalagelektrodás			15	-	10	-
	Soros ívű hegesztés	1,6...5	300...800	28(~)	-	5(~)	-
	Párhuzamos ívű hegesztés	2,5...5		20		8	

A ~ , ill. a + és - az áramnem, ill. a polaritás jele. s a vastagság; b a szélesség.

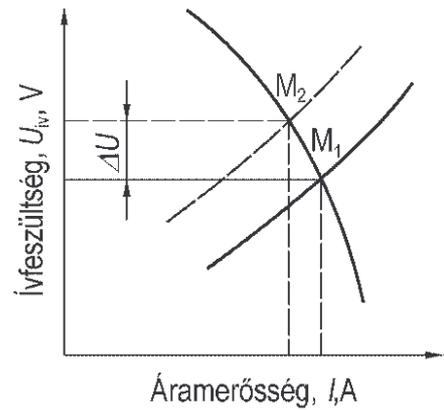
b) A fedett ívű hegesztés berendezései és eszközei

A fedett ívű hegesztő-berendezés áramforrásból, huzalelőtoló egységből, vezérlőegységből és hegesztőkocsiból, ill. -állványból áll. Az eljáráshoz mind egyen- mind váltakozó áramú R áramforrás alkalmas, amelynek vízszintes (közelítőleg állandó feszültségű) vagy eső (közelítőleg állandó áramerősségű) a jelleggörbéje.

Az állandó feszültségű hegesztő-egyenirányítók többfokozatú transzformátorok egyenirányítóval vagy teljesítményelektronikával felszerelt transzformátorok. Váltakozó áramú, állandó feszültségű áramforrást ritkán használunk, mert az ív gyújtása nehézkes, a hegesztési folyamat ezáltal instabil. Az állandó feszültségű áramforrások az I hegesztőáram változását használják szabályozóként (*belső szabályozás*). A nagy áramsűrűségű eljárást elsősorban vékony lemezek hegesztésére (ha a fedőpor bázikus) vagy szalagelektrodás hegesztésre használják (2.26. ábra).



Az áramforrás statikus jelleg-görbéje

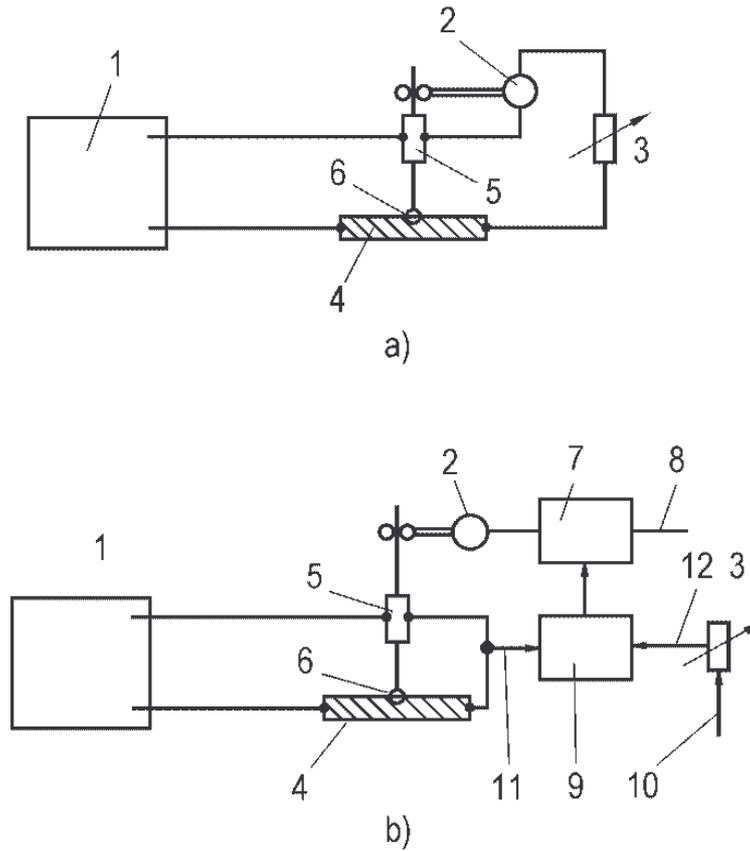


a) A hegesztőhuzal adagolása az ívfeszültséggel szabályozott
 állandó az ívfeszültséggel szabályozott
 b)

2.26. ábra. A hegesztő-áramforrások szabályozása

a) belső; b) külső

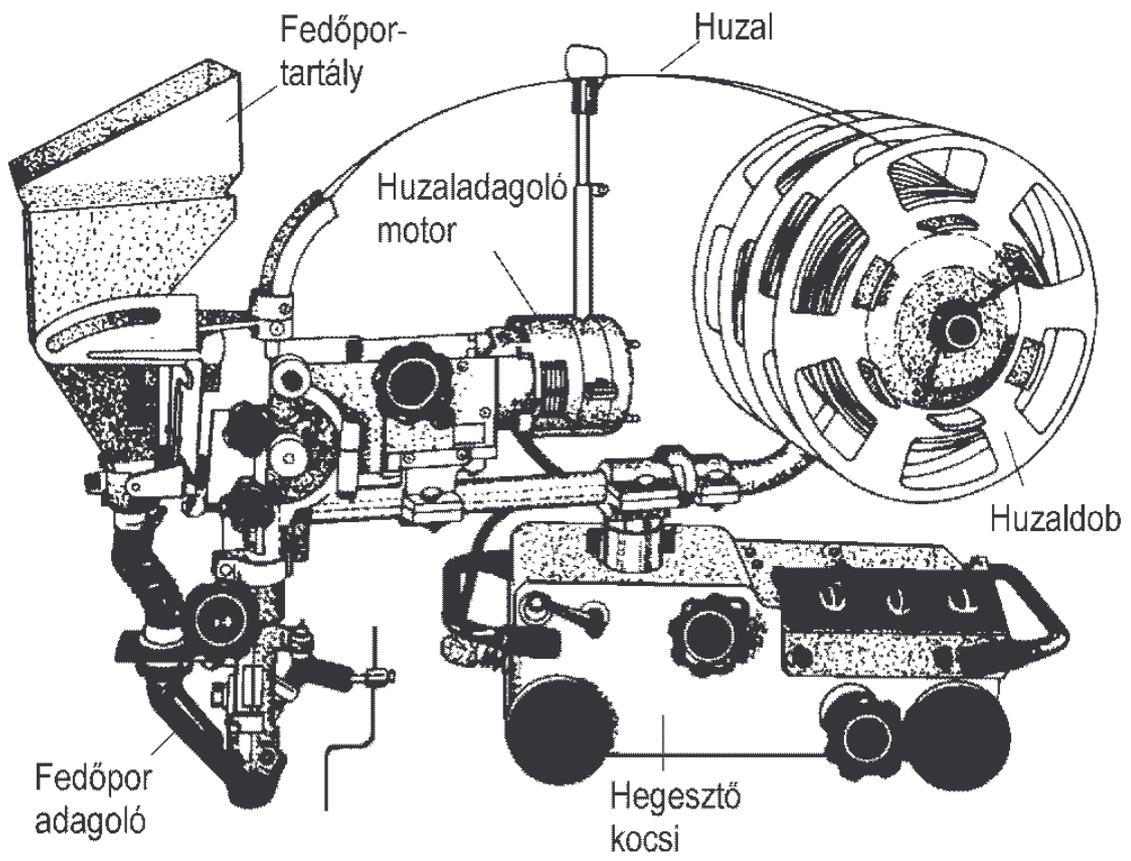
Állandó hegesztőáramot adó áramforrással az állandó ív hossz a huzal-előtolási sebesség változtatásával érhető el, így az U feszültség változását használják szabályozójelként (*külső szabályozás*). Fő alkalmazási területe a váltakozó áramú, a vastag huzalos, a nagy áramú hegesztés, valamint vastag anyagok több rétegű hegesztése. Mind a két szabályozási módot megvalósító szabályozórendszer lehet olyan, amely a szabályozójelet ellenállásról veszi (2.27a ábra), vagy olyan, amelyik elektronikus, és a feszültséget érzékeli (2.27b ábra).



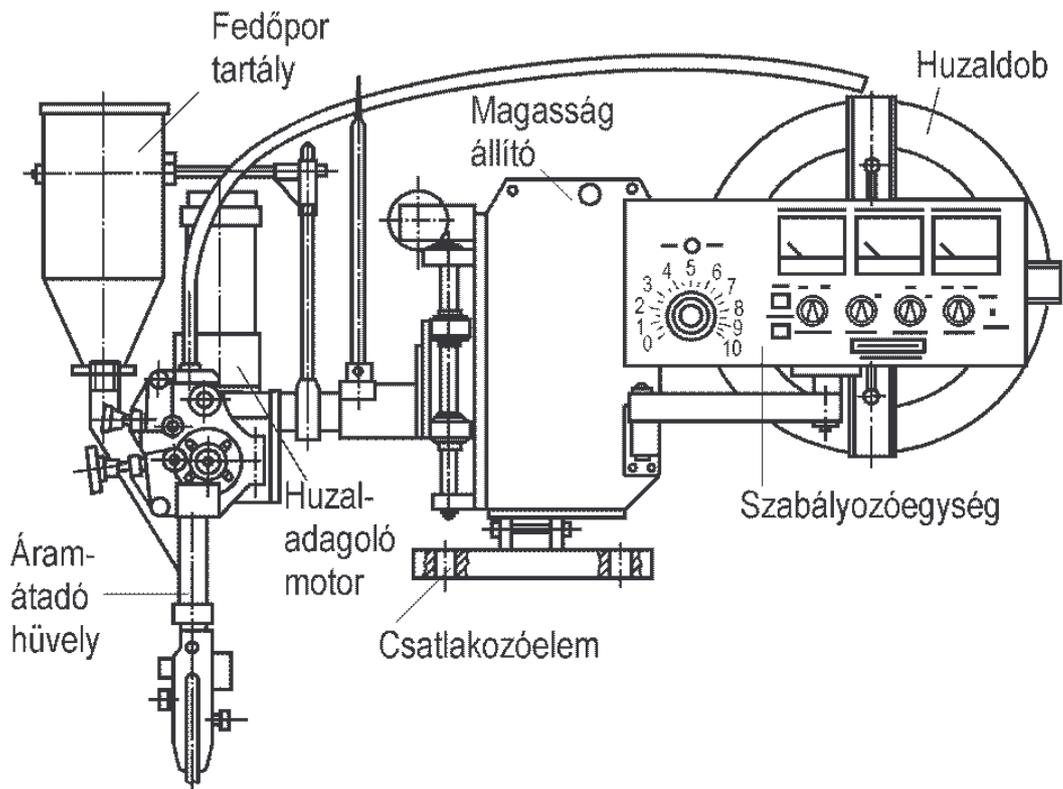
2.27. ábra. Ellenállás- és elektronikus szabályozás
 a) ellenállás-szabályozás; b) elektronikus szabályozás

1 áramforrás; 2 előtölómű; 3 változtatható szabályozó-ellenállás; 4 munkadarab; 5 áramátadó hüvely; 6 villamos ív; 7 szabályozó; 8 táphálózat; 9 komparátor; 10 a villamos ív feszültségének kimenőjele; 11 tényérték; 12 előírt érték

A fedett ívű hegesztéséhez elterjedt a *hegesztőkocsi* (2.28a ábra), amely a munkadarabon vagy vezetősínen halad. Számos esetben a hegesztőegységet konzolra, gépállványra szerelik (2.28b ábra), gyakran alkalmaznak célberendezéseket is.



a)



2.28. ábra. Fedett ívű hegesztő-berendezés
 a) hegesztőkocsi kéthuzalos hegesztéshez; b) géptartó állványra szerelhető berendezés

c) A fedett ívű hegesztés hozag- és segédanyagai

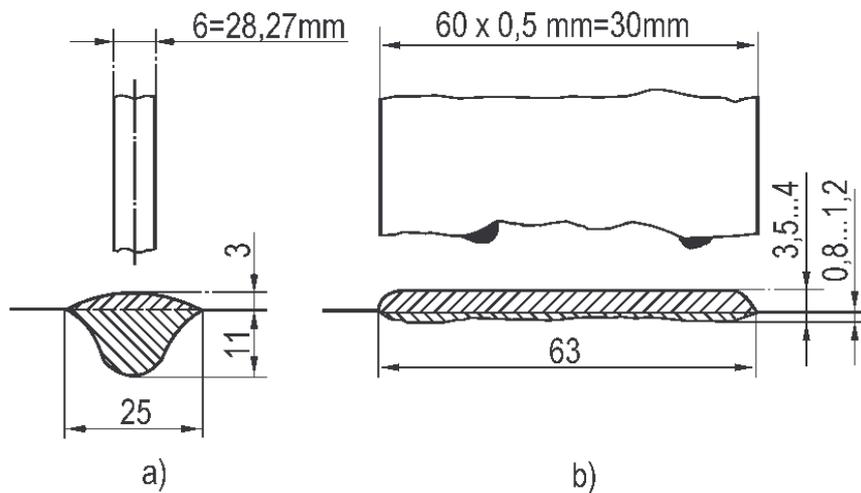
Huzalok. A fedett ívű hegesztéshez használt huzalokat az egyéb huzaloktól nagyobb tisztaságuk különbözteti meg. A huzal anyaga lehet ötvözetlen, gyengén vagy erősen ötvözött acél, valamint nemvasfém. A huzalt a jobb áramátadás és korrózióállóság végett gyakran réz- vagy bronzbevonattal készítik, és tekercsekben szállítják (egy tekercsen kb. 20...30 kg huzal van).

A huzal *kémiai összetétele* (2.27. táblázat) jelentősen befolyásolja az alapanyag-fedőpor-huzal között végbemenő fémteni folyamatokat. Adott fedőporhoz nem választható tetszőleges minőségű huzal, mert ellenőrizhetetlen kiégések képződnek. Az ötvözetlen, ill. gyengén ötvözött acélok hegesztéséhez 0,1 %-nál kisebb széntartalmú, 1...3% mangánnal (gyengén) ötvözött hegesztőhuzal alkalmas.

A tömör huzalon kívül használatos porbeles huzal és szalag elektróda is.

A *porbeles huzal* üreges belseje dezoxidáló- és ötvözőanyagokat, valamint salakképzőt tartalmaz, a töltési tényezője 40...45%. A hegesztés során a salaknak túlnyomórészt fémteni feladata van, ezért csak bázikus salakképzőket használnak.

Fedett ívű hegesztéshez a *szalagelektroda* tömör vagy porbeles változatban készül. A tömör szalagok szélessége 15...180 mm, vastagságuk 0,5...1 mm. Szokásos méret egyszalagos hegesztéshez 60 x 0,5 mm, széles szalagú hegesztéshez 180 x 0,5 mm (2.29. ábra), a porbeles szalag töltési tényezője elérheti a 70%-ot.



2.29. ábra. A huzal- és szalagelektroda leolvadási jellemzői

- a) huzalelektroda: $I = 700 \text{ A}$; $U = 34 \text{ V}$; $u_h = 35 \text{ cm/min}$;
- b) szalagelektroda: $I = 700 \text{ A}$; $U = 34 \text{ V}$; $u_h = 12 \text{ cm/min}$

2.27. táblázat

Fedett ívű huzalelektrodák összetétele
 (az DIN 8557 és a DIN 8575 alapján)

Jelölés	Kémiai összetétel,						Hegeszthető acélminőség*
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	
S 1	0,06...0,12	max. 0,15	0,35...0,60	-	-	-	Ötvözetlen és

S 2	0,07...0,15	max. 0,15	0,80...1,20	-	-	-	ötvözött
S 3	0,02...0,15	0,05...0,25	1,30...1,70	-	-	-	
S 4	0,08...0,16	0,05...0,25	1,75...0,25	-	-	-	
S 6	0,08...0,16	0,15...0,35	2,75...3,25	-	-	-	
S 2 Si	0,07...0,15	0,15...0,40	0,80...1,20	-	-	-	
S 2 Mo	0,08...0,15	0,05...0,25	0,80...1,20	-	0,45...0,65	-	Ötvözetlen, ötvözött és melegszilárd
S 3 Mo	0,08...0,15	0,05...0,25	1,30...1,70	-	0,45...0,65	-	
S 2 Ni 1	0,07...0,15	max. 0,15	0,80...1,20	-	-	1,10...1,60	Hidegszívós és finomszemcsés
S 2 Ni 2	0,07...0,15	max. 0,15	0,80...1,20	-	-	2,00...2,50	
S 2 NiMo 1	0,08...0,15	0,05...0,25	0,80...1,20	-	0,45...0,65	0,80...1,20	
S 3 NiMo 1	0,08...0,15	0,05...0,25	1,40...1,80	-	0,45...0,65	0,80...1,20	
S 3 NiCrMo 1	0,10...0,17	0,05...0,25	1,40...1,80	0,30...0,70	0,45...0,65	0,80...1,20	
S 1 NiCrMo 2,5	0,07...0,14	0,05...0,25	0,30...0,70	0,40...0,80	0,45...0,65	2,00...2,50	
S 2 CrMo 1	0,10...0,16	0,10...0,25	0,70...1,10	0,90...1,30	0,40...0,60	-	Melegszilárd
S 1 CrMo 2	0,08...0,15	0,15...0,35	0,40...0,70	2,20...3,00	0,90...1,10	-	
X 2 CrNi 19 9	max. 0,025	0,4	1,0	18,0...21,0	-	9,00...11,0	Korrózióálló
X 5 CrNiNb 19 9*	max. 0,07	0,4	1,0	18,0...20,0	-	8,00...10,0	
X 2 CrNiMo 19 12	max. 0,025	0,4	1,0	17,0...19,0	2,50...3,00	10,0...13,0	
X 5 CrNiMoNb 19 12*	max. 0,07	0,4	1,0	18,0...20,0	2,50...3,00	10,0...13,0	

* Nióbiumot is tartalmaz.

Fedőporok. Előállításuk szerint vannak olvasztott, szinterezett és ragasztott fedőporok. A szinterezett porok jelentősége egyre csökken; az olvasztott és a ragasztott porok fontosabb jellemzőit a 2.29., a kémiai összetétel szerinti csoportosítást a 2.28. táblázat foglalja össze.

Ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok hegesztésekor a fedőpor MnO-tartalmának és a hegfürdő Mn-tartalmának van jelentősége, elsősorban a melegrepedési veszélyt fokozó kén megkötése szempontjából. Az eljárásra a nagyméretű és hosszú létidejű hegfürdő, valamint a mély beolvadás jellemző. A főként MnO + SiO₂ tartalmú fedőporok erősen oxidáló hatásúak, megolvadva savas jellegű salakot adnak, dermedési hőmérsékletük 1300...1500 °C. Az ilyen fedőporok egyen- és váltakozó áramú hegesztéshez egyaránt használhatók. Ötvözetlen acélok és olyan szerkezetek hegesztéséhez alkalmasak, amelyekre ridegtöréssel szemben követelményt nem írtak elő.

2.28. táblázat

Fedőporok jellemzőinek összehasonlítása

Jellemző	Ragasztott fedőpor	Olvasztott fedőpor
Gyártási hőmérséklet	500...800 °C	1500...1800 °C
Energiaköltség	kisebb	nagyon nagy
Nyersanyagok	fémek összetevők használhatók	fémek összetevők nem használhatók
Gyártás	az alkotók szemcsévé való mechanikus tömörítésével, végül szárítási folyamattal	az alkotók üvegszerű terméké váló átolvasztásával, végül szemcsékké aprításával
Ömlesztett tömeg	kicsi	nagy
Porfogyasztás	kicsi	nagy
Nedvességre érzékeny	nagyon	kicsit
Gyártási költség	nagyobb	kisebb

2.29. táblázat

A fedőporok összetétele

Jelölés	Főbb alkotók		
MS Mangán-szilikát	MnO+SiO ₂ CaO	min. max.	50% 15%
CS Kalcium-szilikát	CaO+MgO+SiO ₂ CaO	min. min.	60% 15%
ZS Cirkon-szilikát	ZrO ₂ +SiO ₂ +MnO ZrO ₂	min. min.	45% 15%
RS Rutil-szilikát	TiO ₂ +SiO ₂ TiO ₂	min. min.	50% 20%
AR Aluminát-rutil	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	min.	40%
AB Aluminát-bázikus	Al ₂ O ₃ +CaO+MgO Al ₂ O ₃ CaF ₂	min. min. max.	40% 20% 22%
AS Aluminát-szilikát- bázikus	Al ₂ O ₃ +SiO ₂ +ZrO ₂ CaF ₂ +MgO ZrO ₂	min. min. min.	40% 30% 5%
AF Aluminát-fluorid-bázikus	Al ₂ O ₃ +CaF ₂	min.	70%
FB Fluorid-bázikus	CaO+MgO+MnO+CaF ₂ SiO ₂ CaF ₂	min max min	50% 20% 20%

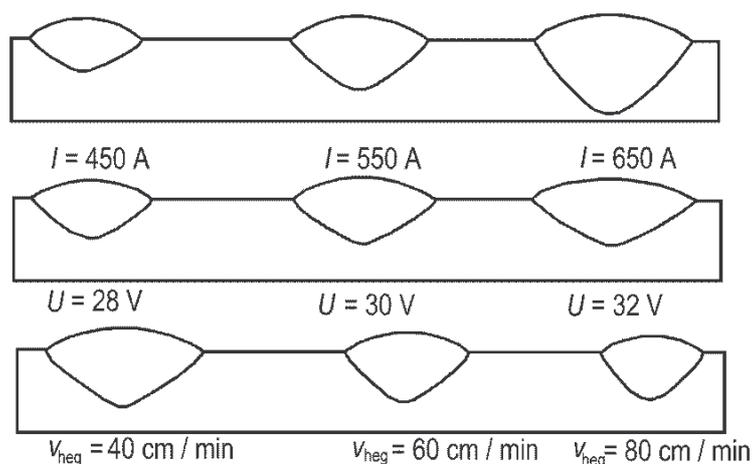
Gyengén ötvözött, ill. közepesen ötvözött acélok hegesztéséhez oxidáló fedőport célszerű választani. E porok hajlamosabbak a nedvesség felvételére, ezért felhasználás előtt 400...500 °C-on végzett izzítással kell eltávolítani a nedvességet. Általában egyenárammal lehet vele hegeszteni.

Közepesen, ill. erősen ötvözött acélok hegesztéséhez enyhén oxidáló, ill. passzív fedőporokat kell használni. Technológiai tulajdonságaik (varratképzés, salakleválás stb.) rosszabbak, a porozitási veszély nagyobb, csak egyenárammal hegeszthetők. Mivel az oxidálóhatás kicsi, a hegesztőhuzal összetétele azonos lehet az alapanyagével.

d) A fedett ív hegesztés technológiája

Fedett ív hegesztéssel egy oldalról, egy rétegben, leélezés nélkül 12 mm-ig lehet lemezeket összekötni, két oldalról általában 20 mm-ig. Gyakran készítenek V, Y, vastagabb lemezek esetén X vagy U alakú varratot (1. a 2.4. táblázatot). A V és az Y varrat nyílásszöge 30...60 °, tehát kisebb, mint a kézi ívhegesztéshez. Az ívet mindig fedőpor alatt kell gyújtani. A rövidzárlatos ívgyújtást segíti a huzal végének ferdeire vágása, vagy a huzal és a munkadarab közé helyezett fémforgács. Újabb berendezésekben az ívgyújtást nagyfrekvenciás gyújtás könnyíti meg.

A hegesztési jellemzők hatása a beolvadásra



a) Ha az áramerősség változik ($U=30 \text{ V}$, $u_{\text{heg}}=50 \text{ cm/min}$)

b) Ha az ívfeszültség változik ($I=550 \text{ A}$, $u_{\text{heg}}=50 \text{ cm/min}$)

c) Ha a hegesztési sebesség változik ($U=30 \text{ V}$, $I=550 \text{ A}$)

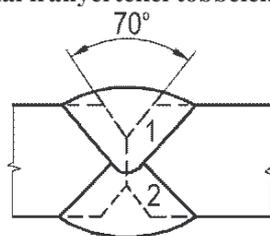
A hegesztés technológiai adatai meghatározzák a kőbevitelt, a fémfürdő nagyságát, a kialakuló varrat geometriáját, jöllehet az áramerősség a kézi ívhegesztéshez képest általában 5...8-szoros (500...1000 A), de a nagyobb hegesztési sebesség következtében a fajlagos kőbevitel nem annyival nagyobb ($U = 30...40 \text{ V}$, $v_{\text{heg}} = 20...50 \text{ cm/min}$). A hegesztés során a varrat alapanyag-részaránya nagyobb, mint a kézi ívhegesztésé. A varrat beolvadási mélysége az áramerősség növelésével, a feszültség és a hegesztési sebesség csökkentésével növelhető. A varrat szélessége a feszültség növelésével nő, a sebesség növelésével csökken (2.30. táblázat). A varratdudor-hajlásszög huzallal végzett hegesztéskor ne haladjon meg a $80...85^\circ$ -ot, szalagelektroda esetén a $60...70^\circ$ -ot.

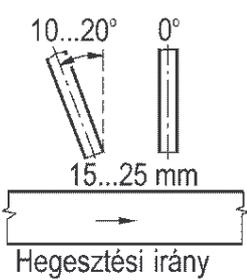
A huzal átmérője általában 2...8 mm, a huzalkinyúlás kisebb átmérő esetén 20...25 mm, nagyobb átmérőnél 60...100 mm. Az áram nemét és a polaritást befolyásolja az áramforráson kívül a fedőpor típusa. Minőségi hegesztéshez gyakran célszerű egyenáramot használni, fordított polaritással. Felrakóhegesztéshez kedvezőbb az egyenes polaritás.

A huzalelektroda helyzete többnyire a munkadarabra merőleges, ettől eltérő szögű beállítást csak többelektrodás hegesztéskor, ill. körvarratok készítésekor alkalmazunk (2.31. és 2.32. táblázat). A helyes hézagméret a varrat minősége szempontjából fontos, értékét elsősorban a lemeztvastagság határozza meg. Ha adott lemeztvastagság esetén a hézagot - változatlan technológiai adatokkal - növeljük, akkor mélyebb lesz a beolvadás és kisebb a varratdudor.

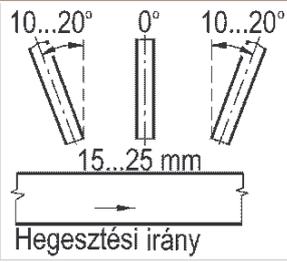
Fedett ívű hegesztéskor gyakran kell hegfürdő-határolót, ún. *alátétet* alkalmazni. A hegfürdő határolható pl. réz alátéttel, rézsín és fedőpor együttes használatával, porpárnával, valamint beolvadó alátétlemezzel. Rézalátétes hegesztéskor a lemezek alá 0,5...1,5 mm mély, max. 8 mm széles hornyú alátétet kell helyezni (2.30a ábra). Egyes esetekben a réz alátét vízhűtésű, ekkor ügyelni kell arra, hogy nedvesség ne juthasson be a fémfürdőbe, ill. a varratba. A rézsín használatának egyik hátránya, hogy igen gondos lemez-előkészítést igényel. Ha a pontos lemezillesztés nem valósítható meg, ill. fennáll a réz alátét megolvadásának veszélye, akkor a hegfürdőt rézsín és fedőpor együttes alkalmazásával támasztjuk meg (2.30b ábra). A réz alátét és a munkadarab közötti rés lehetőleg ne legyen nagyobb 1...1,5 mm-nél, a rézsínben levő horony 1,5...2,5 mm mély lehet.

X varrat technológiai irányértékei többelektródás hegesztéshez



	s, mm	Varrat	1-es fej		2-es fej		V _{heg.} cm/min
			I, A	U, V	I, A	U, V	
	10	1.	600	28	500	30	100
		2.	650	29	550	32	110
	15	1.	750	29	650	32	120
		2.	850	30	700	34	130
20	1.	850	30	700	34	90	
	2.	950	32	750	36	110	

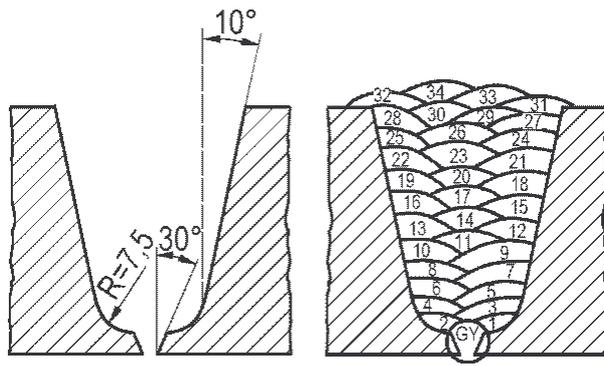
b) Háromfejes

	s, mm	Varrat	1-es fej		2-es fej		3-as fej		V _{heg.} cm/min
			I, A	U, V	I, A	U, V	I, A	U, V	
	10	1.	650	32	600	34	550	36	180
		2.	750	32	650	34	550	36	200
	15	1.	1000	34	900	36	600	38	170
		2.	1100	34	1000	36	600	38	180
	20	1.	1100	34	1000	36	650	38	130
		2.	1200	35	1100	38	650	40	150

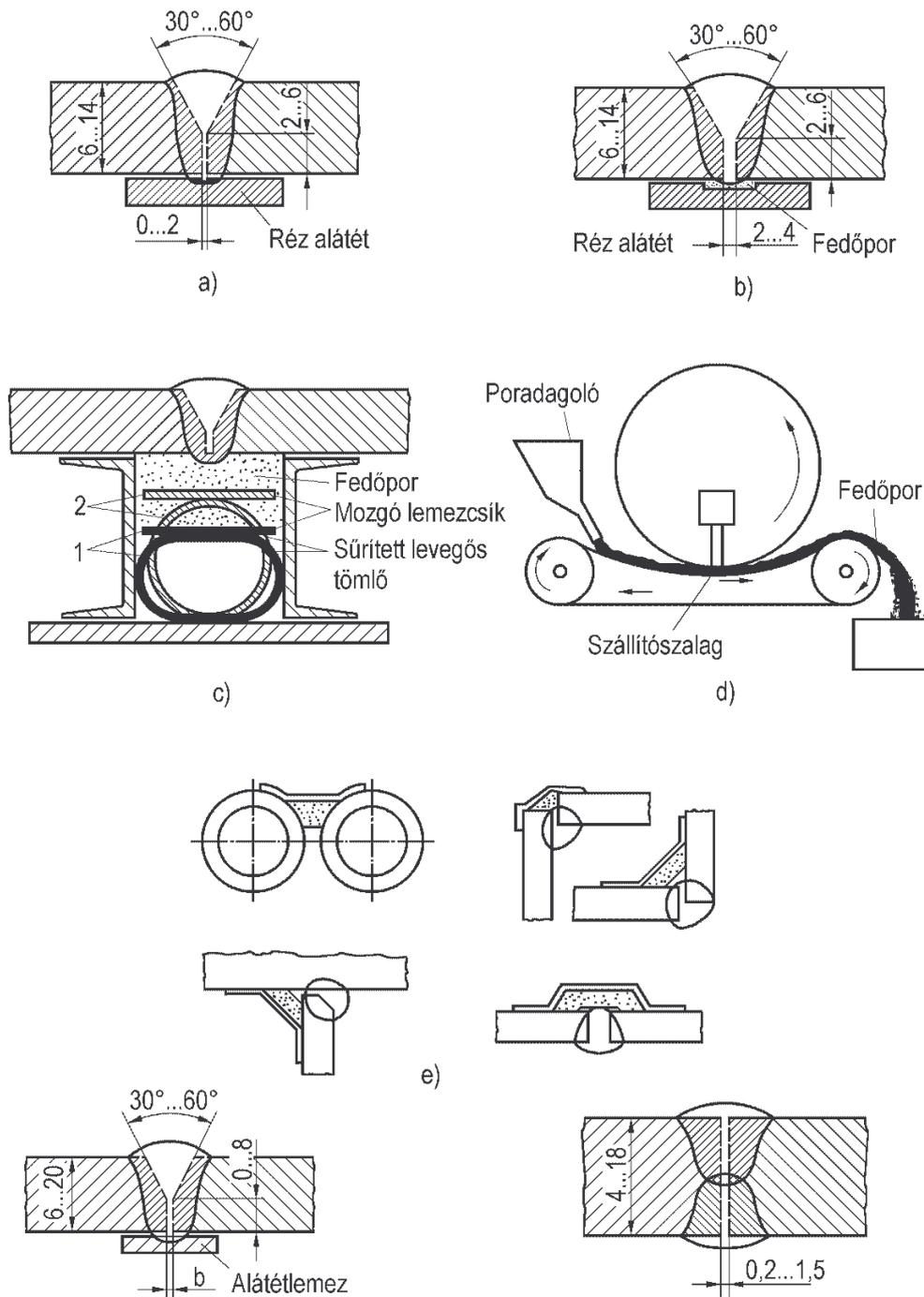
A hegfürdő átfolyása megakadályozható pusztán fedőpor alátéttel is, ez főleg nagyobb keresztmetszetű, hosszabb munkadarabok hegesztéséhez célszerű (2.30c ábra). Ekkor a hegesztendő munkadarabok gyökoldalához sűrített levegővel felfújt vázsontömlővel fedőport szorítunk. A varrat formája és minősége nagymértékben függ a porpárna nyomásától és az illesztési rés pontosságától. Körvarratok fedett ívű hegesztéséhez szalagon szállított fedőpor támasztja meg a fürdőt (2.30d ábra). Gyakran előnyösen használható a rugalmas porpárna alátét. A fóliára felvitt por ragasztással rögzíthető a gyökoldalon (2.30e ábra). A 2.30f és g ábra beolvadó hegfürdő-határolásra ad példát. Ezek olyan szerkezetekhez alkalmazhatók, amelyeken az alátétet a hegesztés után nem kell eltávolítani, mint pl. a szekrényes tartó belsejében. Fedett ívű hegesztéskor a gyököt, valamint a második és a harmadik réteget fürdőtámasztásként gyakran bevont elektródával, kézzel hegesztjük. A 2.31. ábráról a varratalak, a hegesztési rétegek lerakásán kívül a hegesztési jellemzők is leolvashatók. A 2.33. táblázat tompavarratok hegesztésére, a 2.34. táblázat a sarokvarratok hegesztésére ad irányértékeket.

2.32. táblázat

Körvarrat készítésének technológiai irányértékei



	D, mm	d _c , mm	I, A	U, V	v _{heg} , cm/min
		150	3,0	300...350	24...26
	200	3,0	400...450	26...28	40...70
	300	3,0	500...550	28...30	40...60
	400	4,0	500...650	28...32	40...60
	600	4,0	600...750	30...34	40...60

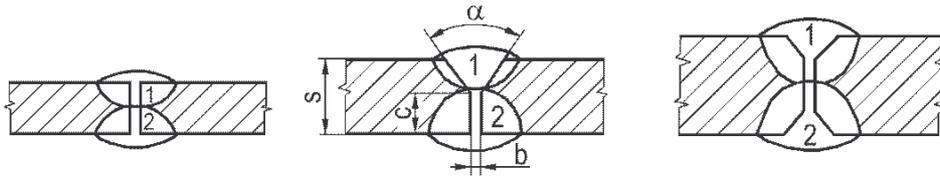


2.30. ábra. A hegfűrdő határolása

a) réz alátéttel; b) rézsín és fedőpor együttes alkalmazásával, $b = 2$ mm; c) fedőpor alátéttel (1 nyugalmi állapot, a tömlő leeresztve; 2 hegesztésre kész állapot, a tömlő felfújva); d) szalagon szállított fedőporral; e) rugalmas alátéttel; f) alátétlemezrel; g) kétoldali hegesztéssel

2.33. táblázat

Tompavarratok hegesztésének technológiai irányértékei



s , mm	Varratalak	b , mm	c , mm	α , fok	Jele	d_e , mm	I , A	U , V	v_{heg} , cm/min
5	I	0...0,5	-	-	1	3,0	400	30	60
					2		450	32	60
10	I	0...1	-	-	1	3,0/4,0	400	30	40
					2		500	32	40
15	I	0...1	-	-	1	4,0	550	32	40
					2		700	34	40
20	I	0...1,5	-	-	1	4,0/5,0	750	34	40
					2		800	35	40
10	Y	0...1	5	70	1	4,0	500	30	50
					2		550	32	50
15	Y	0...1	8	70	1	4,0/5,0	700	30	40
					2		700	34	45
20	Y	0...1,5	10	60	1	4,0/5,0	900	34	40
					2		800	36	40
25	Y	0...2	12	50	1	5,0	950	34	30
					2		900	36	40
15	X	0...1	6	80	1	4,0	500	30	50
					2		600	32	45
20	X	0...1	8	70	1	4,0	700	32	50
					2		800	34	45
25	X	0...1,5	10	60	1	4,0/5,0	800	32	40
					2		900	34	40
30	X	0...2	12	60	1	5,0	850	34	35
					2		950	36	30

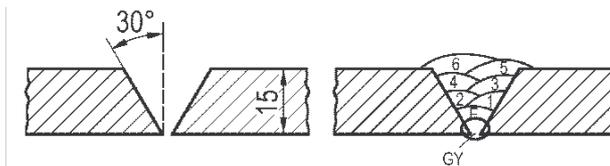
GY és F Kézi ívhegesztés

Fedett ívű hegesztés

Varratszám I, A U, V v_{heg} cm/min

1...4 450 28 50

5...6 500 30 50



Fedett ívű hegesztés

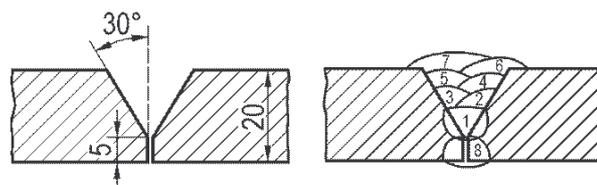
Varratszám I, A U, V v_{heg} cm/min

1 450 27 60

2...5 500 28 50

6...7 500 30 50

8 600 32 50



GY, F1...F3 Kézi ívhegesztés

Fedett ívű hegesztés

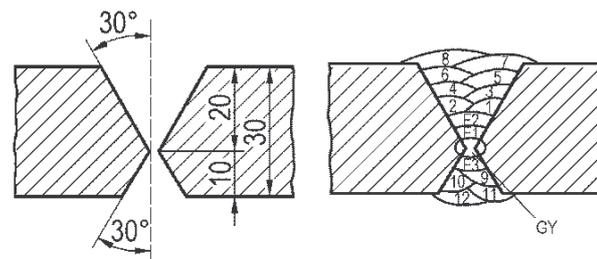
Varratszám I, A U, V v_{heg} cm/min

1...6 500 28 40

7...9 500 30 50

9...10 500 28 50

11...12 500 30 50



GY, 1...6 Kézi ívhegesztés

Fedett ívű hegesztés

Varratszám I, A U, V v_{heg} cm/min

7...12 450 28 50

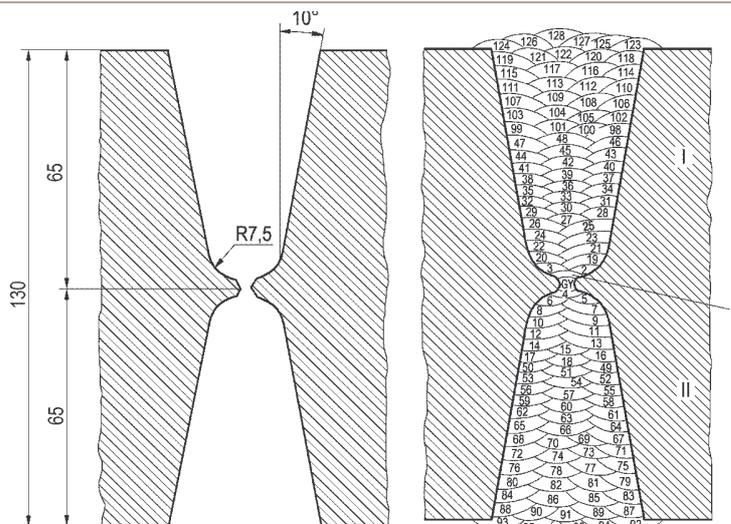
13...18 550 30 40

19...24 450 28 50

25...48 550 30 50

49...91 550 30 50

92...97 550 32 50



98...122 550 30 50	
123...128 550 32 50	

2.31. ábra. Példák a V, Y, valamint a kettős V és U varrat kialakulására
GY gyökvarrat; F gyökvarrat fedő varrat

2.34. táblázat

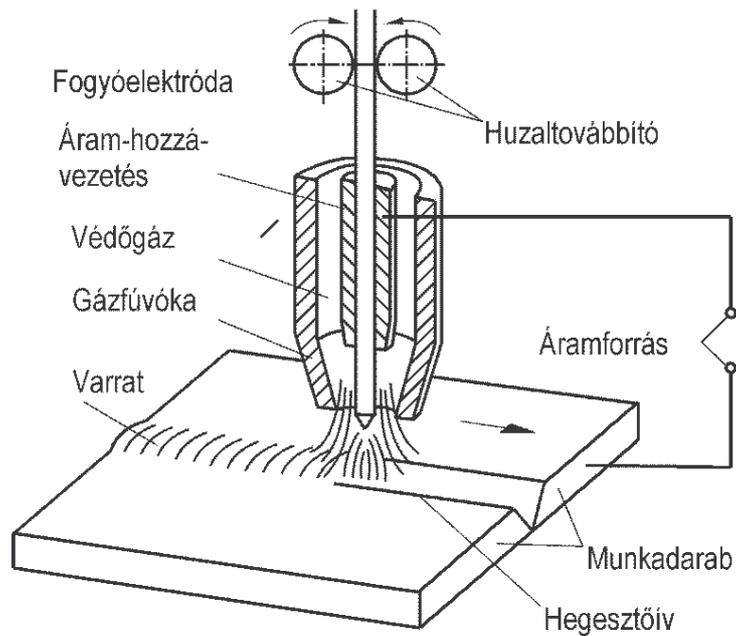
Sarokvarratok hegesztésének technológiai irányértékei
(ESAB szerint)

Kötésmód	$s, \text{ min., mm}$	$d_e, \text{ mm}$	$a, \text{ mm}$	$I, \text{ A}$	$U, \text{ V}$	$v_{\text{heg}}, \text{ cm/min}$
	6	3	3	450	30...32	75
	8	4	4	575	30...32	70
	10	4	5	650	30...32	60
	8	5	4	800	32...34	83
	12	5	6	850	32...34	58
	15	6	7	875	33...35	42
	15	5	-	825	36	45
	20	5	-	850	36	37

2.1.3. Fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés (Kód: 13)

a) Az eljárás elve

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 (2.32. ábra).



2.32. ábra. A fogyóelektródás, védőgázás ívhegesztés

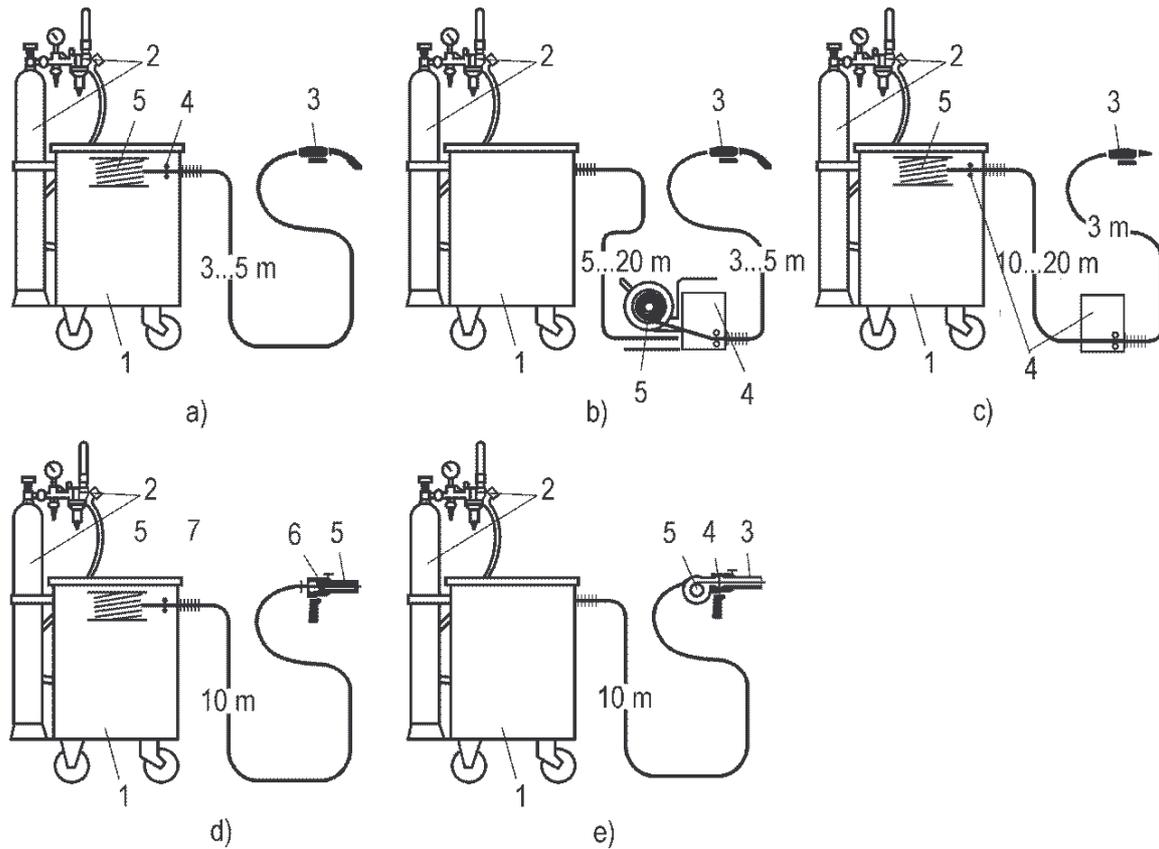
A védőgáztól függően megkülönböztetünk:

- semleges (nemes) gázás fogyóelektródás ívhegesztést (AFI-eljárás),
- aktív védőgázás fogyóelektródás ívhegesztést (CO₂ eljárás),
- keverék védőgázás (kevertgázás) fogyóelektródás ívhegesztést.

A hegesztőív lehet nem vezérelt (szórt ív, hosszú ív és rövid ív) vagy vezérelt lüktető impulzusos ív.

Egyenárammal fordított polaritásról (a fogyóelektróda a pozitív pólusáról) kell hegeszteni.

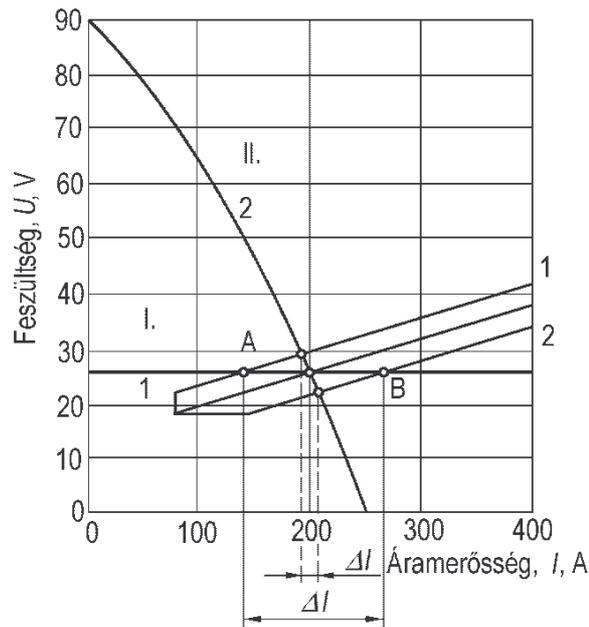
b) A fogyóelektródás, védőgázás ívhegesztés berendezései és eszközei



2.33. ábra. A huzalelőtolás változatai fogyóelektródás, védőgázás ívhegesztő berendezéseken
a) kompakt; *b)* univerzális; *c)* tandem; *d)* húzó-toló (push-pull); *e)* kis huzaldobos
 1 áramforrás; 2 védőgázellátás; 3 hegesztőpisztoly tömlővel; 4 huzalelőtoló; 5 huzaldob; 6 huzalhúzó; 7 huzaltoló

A fogyóelektródás, védőgázás ívhegesztés berendezéseit a 2.33. ábra foglalja össze.

- Kompakt, zárt rendszerű, huzalelőtolóval egybeépített áramforrás 0,8...1,2 mm átmérőjű huzallal, legfeljebb 3...5 m hosszú hegesztőtömlővel.
- Univerzális, különálló huzalelőtoló berendezés 0,8...2,4 mm huzalátmérővel. A huzalelőtoló és az áramforrás között tetszőleges a távolság, a huzalelőtoló és a pisztoly között 3 m.
- A tandem hegesztő-berendezés hasonlóképpen használható, mint az univerzális, azzal a különbséggel, hogy a hegesztési munkahely váltásakor a hegesztőnek nem kell a huzaldobot mozgatnia.
- A húzó-toló (push-pull) berendezés előnye, hogy vékonyabb, \varnothing 0,6 mm-es huzalok is használhatók. Hatósugara 10 m.
- A kis dobos berendezésnek a hegesztőpisztolyában van a huzaldob (max. 0,5 kg acélhuzallal). Alumínium vékony huzalos hegesztéshez a legalkalmasabb berendezés.



2.34. ábra. A hegesztőáram változása a hegesztőív hossz változásának függvényében
 1 hosszú ív; 2 rövid ív; az elektróda eltolási sebessége az **A** pontban 3,8 m/min, **B** pontban 7 m/min

A hegesztő áramforrások jelleggörbéje vízszintes vagy enyhén eső. A 2.34. ábrából látható a vízszintes jelleggörbe előnye. Az ívhossz változtatásával eső jelleggörbe esetében igen kis áramerősség-változás érhető el (II. jelleggörbe), míg vízszintes jelleggörbe esetén, pl. 1,2 mm-es átmérőjű huzalelektrodával, akár 130 A változás is elérhető 8 V hegesztési feszültségváltozás mellett (I. jelleggörbe).

A fogyóelektrodás ívhegesztéshez nagy teljesítményű áramforrásra van szükség. A leolvadási teljesítmény függvényében a 2.35. táblázatban láthatók az áramforrás kiválasztásának paraméterei.

2.35. táblázat

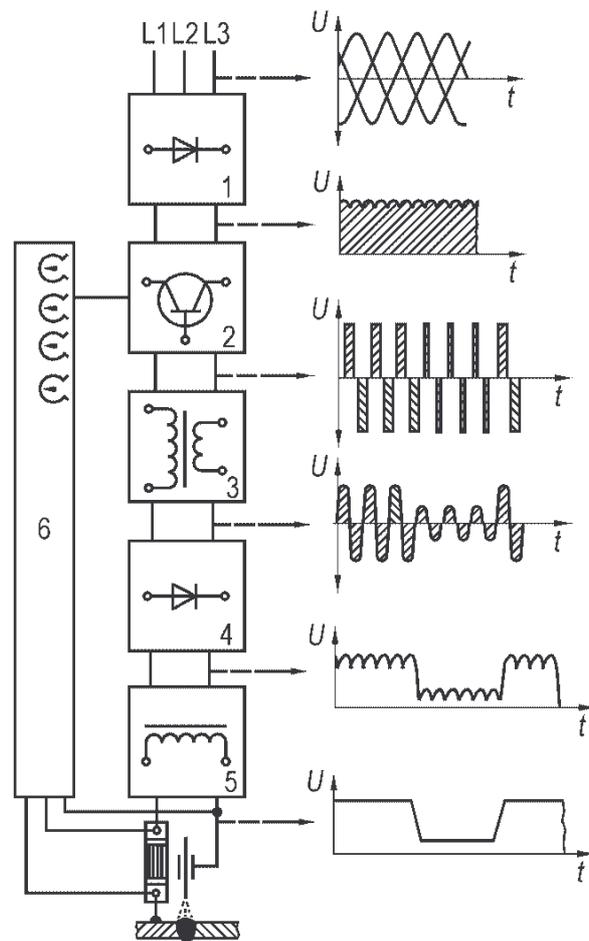
Az áramforrás kiválasztásának irányértékei

Típus	$b_i, \%$	I_{max}, A	U_{max}, V
MAG 220	100	170	24
	60	220	26
MAG 270	100	220	26
	60	270	27
MAG 350	100	300	31
	60	350	32
MAG 500	100	450	34
	60	500	35

A szükséges legnagyobb áramerősség különböző átmérőjű elektrodákhoz:

- Ø 0,8 mm-hez 220 A,
- Ø 1,2 mm-hez 320 A,
- Ø 1,0 mm-hez 260 A,
- Ø 1,6 mm-hez 460 A.

Az inverteres áramforrás (2.35. ábra) tömege a hagyományos áramforrásokénál lényegesen kisebb. 10 A hegesztőáram előállításához a hagyományos áramforrás általában 8...10 kg, az inverteres áramforrás 1...1,2 kg.



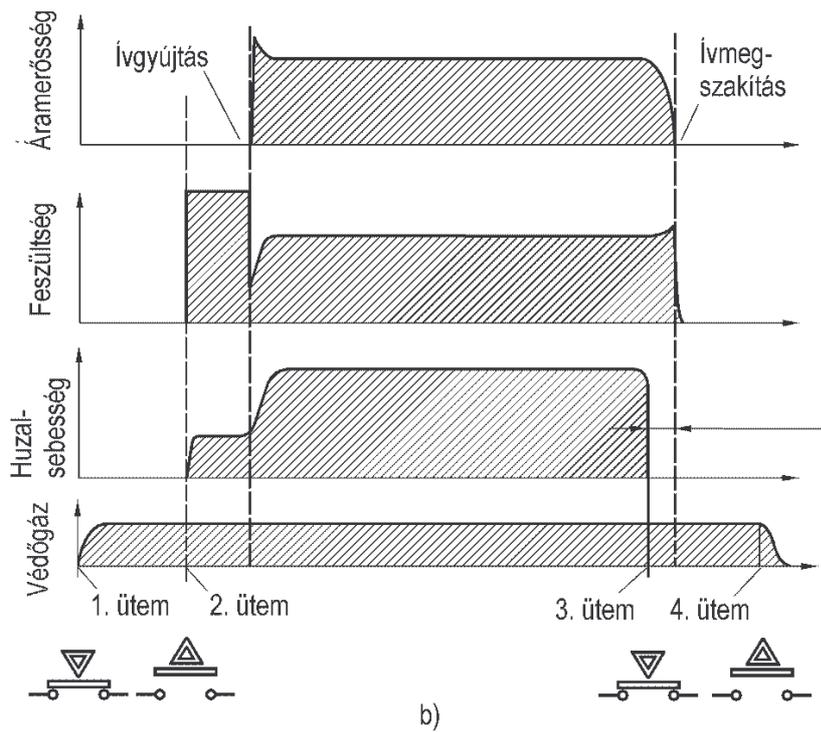
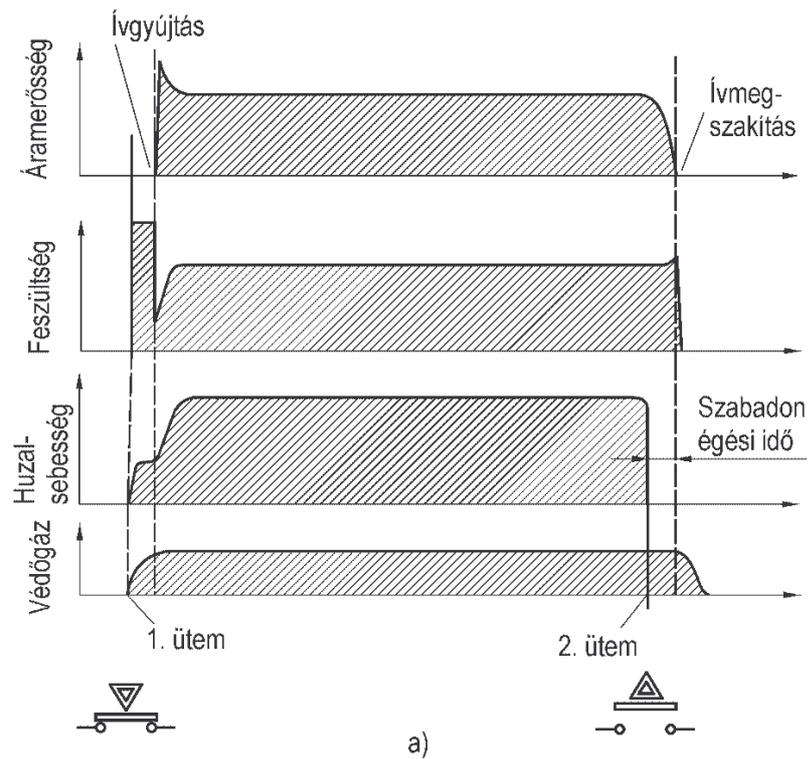
2.35. ábra.

Impulzushegesztésre alkalmas inverteres áramforrás elvi felépítése

1 egyenirányító; 2 tranzisztoros váltókapcsoló; 3 transzformátor; 4 egyenirányító; 5 fojtótokercs (simítás)

Először a hálózati váltakozó áramot egyenirányítja és simítja, majd kapcsolóüzemű tranzisztoron váltókapcsolón keresztül általában 20 kHz-nél nagyobb frekvenciás lüktető váltakozó áramot vagy egyenáramot állít elő. A nagy frekvencia átalakítására lényegesen kisebb transzformátorra van szükség, mint az 50 Hz esetében. A transzformátor után az egyenirányító ismételen egyenáramot állít elő, amelynek simításához tömegében szintén kisebb egységet kell beépíteni. A statikus jellegű áramforma az impulzushegesztés során a kapcsolóüzemű 2 tranzisztor megfelelő vezérlésével változtatható meg.

A vezérlőberendezés feladata a hegesztési folyamathoz szükséges kapcsolások elvégzése, valamint a hűtővíz- és a védőgázellátás ellenőrzése és szabályozása. Az ívgyújtást elősegítő elektronikus egység is a vezérlőberendezésben foglal helyet.



2.36. ábra. A hegesztési folyamat szabályozása

a) kétlépcsős kapcsolással; b) néglépcsős kapcsolással

A kapcsolási utasításokat a hegesztőpisztolyon elhelyezett nyomógombokkal adjuk ki. Két általános kapcsolási rendszer van: a kétlépcsős és a néglépcsős.

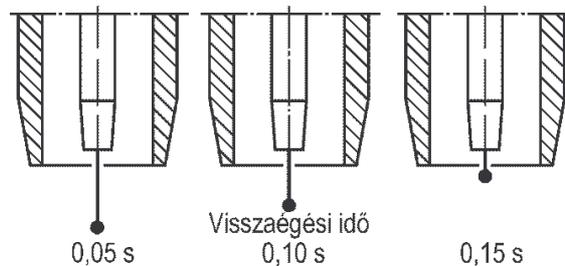
Kétlépcsős kapcsolás esetén a védőgáz, a huzalelőtolás és a hegesztőáram addig folyik, amíg a kapcsoló a hegesztőpisztolyon bekapcsolt állapotban van. Ezt a szabályozást általában a rövid varratokhoz alkalmazzuk (2.36a ábra).

Néglépcsős kapcsoláskor a hegesztőpisztolyon lévő kapcsológomb benyomásával először a védőgáz-áramlás indul meg, elengedésekor pedig bekapcsolja a hegesztőáramot és a huzal előtolást. A hegesztési folyamat befejezésekor a gomb ismételt lenyomásával először az áramot és a huzalelőtolást kapcsolja ki, a védőgáz a gomb lenyomva tartásáig tovább áramlik (2.36b ábra).

Az ábrán látható, hogy ívgyújtáskor csökkentett huzalelőtolási sebesség állítható be, és csak a hegesztési áramkör zárása után működik a teljes huzalelőtolás.

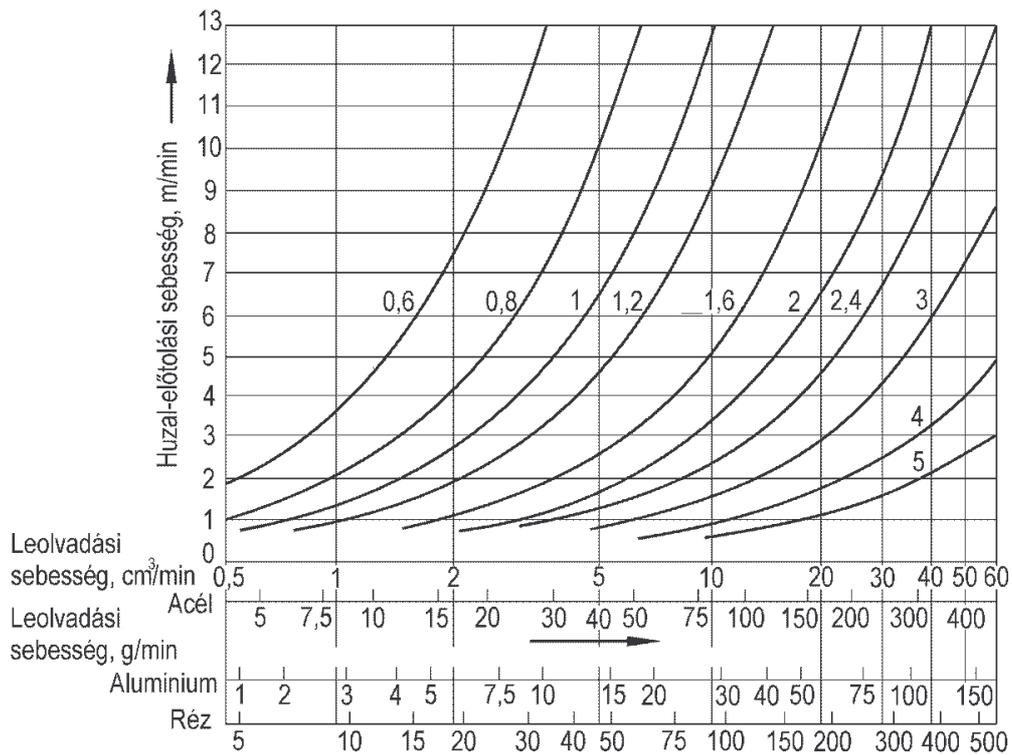
Az ív megszakításakor a huzalelőtolást is szabályozni kell, a huzal nem futhat bele a hegfürdőbe. Helyesen beállított elektróda-visszaégési idő esetén az elektróda kevésel a hegfürdő felett áll meg. Túl hosszú visszaégési idő az áramvezető hüvelyig való visszaégést okozhat, ill. a huzal végén kialakuló megdermedt hozaganyagcsepp akadályozza az újragyújtást.

A visszaégési idő beállításának a hatása a 2.37. ábrán látható. Nem minden hegesztő-berendezésen állítható a visszaégési idő, de impulzusos üzemmódban külön programmal az utolsó áramimpulzussal cseppforma nélküli huzalelektroda-vég alakítható ki.



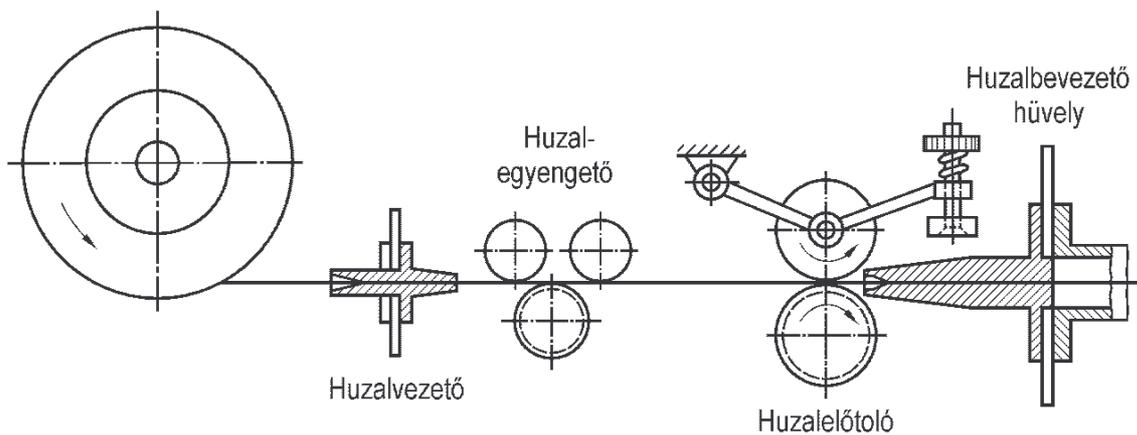
2.37. ábra. A visszaégési idő hatása a huzalvég kialakulására

A huzalelőtoló berendezés fő feladata a hegesztőhuzal egyenletes, megtörés nélküli előtolása a beállított huzalsebességgel. A jelenleg alkalmazott előtolók 2...20 m/min sebességgel dolgoznak. A stabil hegesztési folyamat feltétele a huzalelőtolási sebesség és a huzalleolvadási sebesség egyensúlya. Különböző anyag típusokra a huzalelektrodák leolvadási sebessége a huzal előtolási sebesség függvényében a 2.38. ábrán látható.



2.38. ábra. Huzalelektrodák leolvadási sebessége és fajlagos leolvadása a huzal-előtölési sebesség függvényében
A görbékre írt számok a d_e huzalátmérőt jelentik mm-ben.

A huzaladagoló berendezés főbb részeit a 2.39. ábra szemlélteti. A különféle huzalelőtölő berendezések elvét a 2.40. ábra foglalja össze.



2.39. ábra. Huzaladagoló berendezés (Munske szerint)

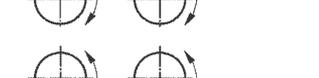
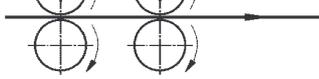
1 huzalfelvezető gyűrű 2 huzalegyenető berendezés 3 huzalelőtölő 4 huzalbevezető gyűrű

A huzalelőtölő görgők készülhetnek sima hornyos és fogazott hornyos változatban (2.41. ábra). A huzalelőtölő görgők és a huzalbevezető gyűrű távolságának irányértéke a 2.42. ábráról olvasható le. E távolságon belül a huzal nem törik meg és nem gyűrődik be. A huzalelőtölés erőszükséglete a 2.36. táblázatban található. A huzalelőtölő görgőket egy vagy két motor hajtja (2.43. ábra).

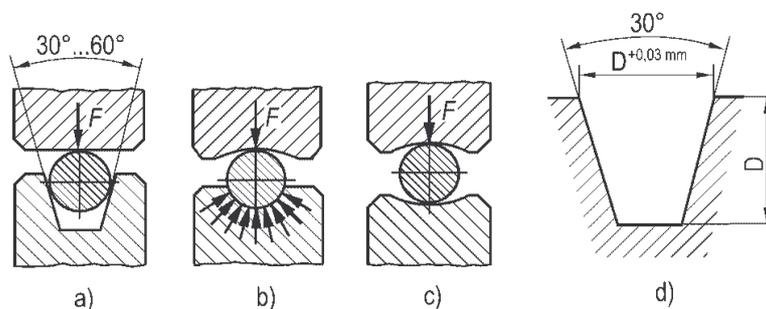
A huzalelőtoló-gyártó cégek berendezéseinek gépkönyvei pontos értékeket adnak a huzalátmérő és anyagminőség függvényében a görgők nyomóerejének beállítására. A helytelen nyomóerő vagy a görgő hibás kialakításának következményei a 2.44. ábrán láthatók.

Védőgáz ellátó egység. A hegesztést palack vagy körvezeték látja el gázzal. A szükséges gázmennyiséget nyomáscsökkentő szelep állítja be. Az átfolyó gáz mennyiségét mérő berendezést a nyomáscsökkentő szelep után helyezik el. A legegyszerűbb gázátfolyásmérő berendezés a 2.45. ábrán látható, az argonadagoló mágnesszeleppel együtt.

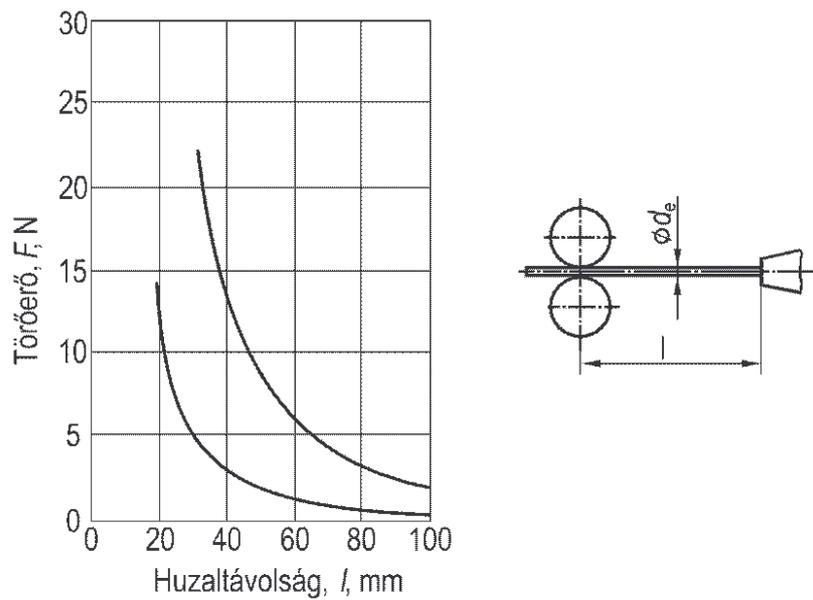
A hegesztők felszerelésének tartozéka a pisztoly végén kilépő gáz mennyiségét mérő tölcséres rotaméter. A gázfúvókára felhelyezve a hegesztés helyén ténylegesen kiáramló gázmennyiséget l/min értékben adja meg.

	Egy görgőpáros: szorító és hajtógörgő. A hajtógörgő nem fogazott
	Egy görgőpáros: szorító- és hajtógörgő. Fogazott hajtógörgő
	Két görgőpáros: szorító- és hajtógörgők. A hajtógörgők nem fogazottal
	Két görgőpáros: szorító- és hajtógörgők. Fogazott hajtógörgők
	Három görgőpáros: szorítógörgők és fogazott hajtógörgők (vastag porbeles huzalokhoz)
	Bolygóműves hajtómű

2.40. ábra. Huzalelőtoló berendezések



2.41. ábra. A huzalelőtoló görgők felületének kialakítása
a), b), c) különféle horonyformák; *d)* ideális horonyforma;
 D a huzal átmérője (Kittel szerint)

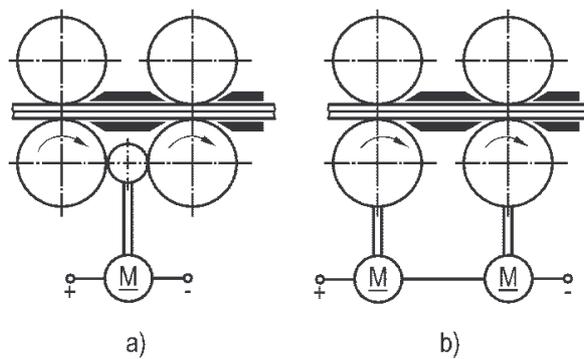


2.42. ábra. A huzaltávolság és a huzalt megtörő erő összefüggése

2.36. táblázat

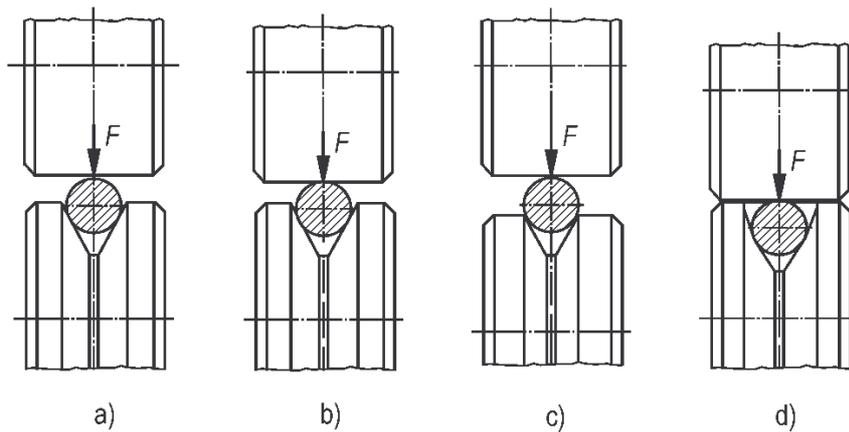
A huzalelőtolás erőszükséglete
(3...4 m hosszú huzaltömlőre)

Huzalátmérő, d_e , mm	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2
Legkisebb előtolóerő, F, N	40	50	70	100	120	150	180	250

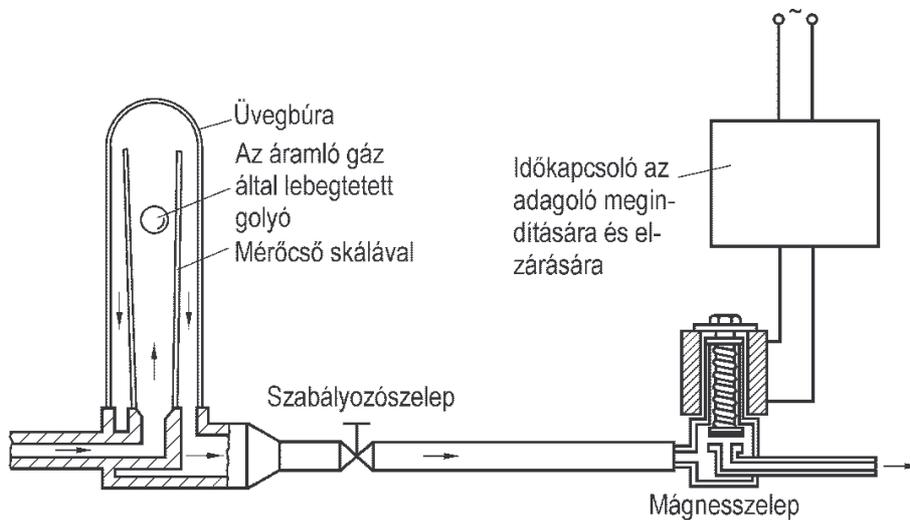


2.43. ábra. Egy- és kétmotoros huzal görgőhajtás

- a) egymotoros hajtás egy áttételi fogaskerékkel, két továbbító görgővel;
b) két, sorba kapcsolt egyenáramú motorral hajtott továbbító görgő



2.44. ábra. A huzalelőtoló nyomóerejének és görgőkialakításának hatása
a) helyes nyomóerő: az előtológörgő csak nagy ellenállás esetén csúszik meg; *b)* a nyomóerő túl nagy; *c)* a horony túl kicsi; *d)* a horony túl nagy vagy kopott



2.45. ábra. Gázmennyiség-mérő (rotaméter)

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,
- vízhűtéses gépi hegesztőpisztoly kb. 800 A-ig használható.

A jó hegesztőpisztoly 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.

A hegesztőpisztoly leginkább igénybe vett része az áramátadó hüvely, amelynek a furatán keresztül áthaladó huzalelektroda a falával érintkezve kerül feszültség alá. Az áramátadó hüvely d_e furatátmérője:

$$d_a = d_e + 0,2 \pm 0,05 \text{ mm,}$$

ahol d_e , a huzalelektroda átmérője.

c) A fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztés hozag- és segédanyagai

A huzalelektrodák adatait acélok védőgázos ívhegesztéséhez a 2.37....2.42. táblázat tartalmazza.

A védőgázok jelölését a fizikai tulajdonságait a 2.43. táblázat foglalja össze, míg az oxidációs potenciál szerinti csoportosítás a 2.44. táblázatban található.

2.37. táblázat

Huzalelektrodák átmérője és szakítószilárdsága

d_e	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
R_m , legalább, MPa	1000	900	850	800	700	650	600

2.38. táblázat

Huzalelektrodák jelölése és vegyi összetétele (az MSZ 6448:1986 alapján)

Jelölés	Dezoxidáló jelleg	Összetétel,			
		C	Si	Mn	egyéb* legfeljebb
VH 1	Gyenge	0,06...0,12	0,4...0,7	0,9...1,3	Cr: 0,15 V: 0,03
VH 2	Közepes	0,06...0,12	0,7...1,0	1,2...1,6	
VH 3	Erős	0,06...0,12	0,9...1,2	1,5...2,0	Ti+Zr: 0,15 Al: 0,02 Ni: 0,15 Mo: 0,15
VH 4	Többszörös	0,06...0,12	0,4...0,7	0,9...1,3	Al: 0,2...0,4 vagy Ti+Zr: 0,1...0,2 Cr: 0,15 V: 0,03 Ni: 0,15 Mo: 0,15

* A megengedett Cu-tartalom legfeljebb 0,25 (bevonattal együtt: legfeljebb 0,4%). A P- és S-tartalom külön-külön legfeljebb 0,03%

2.39. táblázat

Hegesztőpálcák és huzalok összetétele és felhasználási területe

(a DIN EN alapján)

Jelölés	Összetétel, %							Felhasználási terület	DIN
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	egyéb		
SGI/G 5	0,07...0,12	0,5...0,7	1,0...1,3					Ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok	8559/ EN 440
SG 2/G 2	0,07...0,14	0,7...1,0	1,3...1,6						8559/EN 440
SG 3/G 3	0,07...0,14	0,8...1,2	1,6...1,9						8559/EN 440
SG R 1*	0,05...0,12	0,2...0,6	0,8...1,4						8559
SG B 1*	0,05...0,12	0,15...0,45	0,8...1,6						8559
SG Mo/G 9	0,08...0,12	0,40...0,70	0,9...1,3		0,4...0,6			Melegszilárd acélok	8575/EN 440
SG CrMo 1	0,08...0,14	0,40...0,80	0,8...1,2	1,0...1,3	0,4...0,6				8575
SG CrMo 2	<0,10	0,20...0,80	0,5...1,2	2,2...3,0	0,9...1,1				8575
SG NiMo 1	0,1	0,7	1,3		0,5	1,0		Hidegszívós és finomszemcsés szerkezeti acélok	még nem szabványos
SG NiCrMo 1	0,1	0,7	1,3	0,5	0,5	1,0			
SG NiCrMo 2,5	0,1	0,7	1,3	0,7	0,5	2,5			
SC X 2 CrNi 19 9	<0,025	0,4...1,0	1,0	18,0...21,0		9,0...11,0		Korrózióálló acélok	8556
SG X 2 CrNiMo 19 9	<0,07	0,4...1,0	1,0	18,0...20,0		8,0...10,0	Nb		8556
SG X 2 CrNiMo 19 12	<0,025	0,4...1,0	1,0	17,0...19,0	2,5...3,0	10,0...13,0	Nb		8556
SG X 5 CrNiMoNb 19 I2	<0,07	0,4...1,0	1,0	18,0...20,0	2,5...3,0	10,0...13,0			8556

* Porbeles huzalok kémiai összetétele a tiszta hegesztési ömledékre vonatkozik.
R rutilos töltés, B bázikus töltés.

2.40. táblázat

A hegesztési ömledék tulajdonsága különféle hegesztőhuzal-védőgáz párosítás esetén

(a DIN 32 526 alapján)

Hegesztő-huzal	Védőgáz	R _m , min. MPa	Átmeneti hőmérséklet, °C, ha a legkisebb ütőmunka	
			28J	47J
SG 2	M 2	460	-40	-30
SG 2	M 3	460	-30	-20
SG 2	C	460	-30	-20
SG 3	M 2	500	-40	-30
SG 3	M 2	460	-30	-20
SG 3	C	460	-30	-20

2.41. táblázat

Hegesztőhuzalok

a) Melegszilárd acélok hegesztéséhez
(a DIN 8575 I. rész alapján)

Hegesztőhuzal	Alapanyag
---------------	-----------

SG Mo	17Mn4 19Mn6 15Mo3 GS-22 Mo 4
SG CrMo 1	13 CrMo 4 4 GS-17 CrMo 5 S
SG CrMo 2	10 CrMo 9 10 GS-18 CrMo 910 GS-17 CrMo V 5 11
SG CrMo 5	12 CrMo 19 5
SG CrMo 9	TS 38 (X 12 CrMo 9 1)
SGMoV	14MoV63
SG CrMo WV 12	X 20 CrMo V 12 1 G-X 22 CrMo V 12 1

b) Ötvözetlen acélok hegesztéséhez
(a DIN 8556 I. rész alapján)

Hegesztőhuzal	Alapanyag
SG X 5 CrNi 19 9	X 5 CrNi 18 9
SG X 2 CrNi 19 9	X 2 CrNi 18 9
SG X 5 CrNiNb 19 9	X 10 CrNiTi 18 9 X 5 CrNiNb 18 9 X 10 CrNiNb 18 9 X 12 CrNiTi 18 9
SG X 5 CrNiMo 19 11	X 5 CrNiMo 18 10 X 2 CrNiMo 18 12
SG X 2 CrNiMo 19 12	X 2 CrNiMo 18 10 X 2 CrNiMo 18 12
SG X 5 CrNiMoNb 19 12	X 10 CrNiMoTi 18 10 X 10 CrNiMoTi 18 12 X 10 CrNiMoNb 18 10

c) Alumínium és ötvözetei hegesztéséhez

Hegesztőhuzal	Alapanyag
SG-A199,8	A1 99,8/E-A1
SG-A199,5 SG-A199,5 Ti	A1 99,5 AI 99
SG-A1Mn 1	A1Mn 0,6/A1Mn 1/A1MnCu
SG-A1Mg 3	A1Mg 1/A1Mg 2/A1Mg 3
SG-A1Mg 5	A1Mg 3/A1Mg 5/A1Mg 4 Mn A1MgSi 0,5-1/A1Zn 4,5 Mg 1
SG-A1Mg 2 Mn 0,8 SG-A1Mg 2 Mn 0,8 Zr	A1MnMg 1/A1Mg 2 Mn 0,8 A1Mg 2,7 Mn
SG-A1Mg 2,7 Mn SG-A1Mg 2,7 MnZr	A1Mg 3/A1Mg 2 Mn 0,8 A1Mg 2,7 Mn
SG-A1Mg 4,5 Mn SG-A1Mg 4,5 MnZr	A1Mg 5/A1Mg 4,5 Mn/A1Mg 4 Mn A1MgSi 0,5-1/A1Zn 4,5 Mg 1
SG-A1Si 5	A1MgSi 0,5-1

I	1	1			100			Semleges	0,02	Nemvasfémek Ti, Ta, Zr, Al, Cu	Nyugodt ív, szép varrat, kis porozitás
	2	1			100					Al, Cu, Ni, ötv	vastagabb anyagokhoz
	3	2			75...25						
	4	2			25...27						
	5	1			85...95						
						15...5	100	redukáló		Korrózióálló acélok	Fogyóelektródával nem használatos
M1	1	2		1...3	99...97			gyengén oxidáló	0,03	Korrózióálló acélok	Folyékonyabb hegfürdő
	2	2	2...5		98...95					ötvözött acélok	folyékonyabb hegfürdő
	3	3	2...6	1...3	97...91					ötvözött acélok	vékonyabb anyagokhoz
M2	1	2		4...8	96...92			közepesen oxidáló	0,03	Ötvözetlen acélok	Nyugodt ív, hígfolyós hegyanyag
	2	2	15...30		85...70					0,05	ötvözetlen, gyengén ötvözött acélok
	3	3	5...15	1...4	94...81					ferrites acélok	minden hegesztési helyzetben
M3	1	2		9...12	91...88			erősen oxidáló	0,05	Ferrites és ausztenites acélok	Kényszerhelyzetű hegesztéshez
	2	2	30...40		70...60						
	3	3	5...20	4...6	91...74						
	4	3	15...20	1...3	84...77						
C	1	1	100	-				erősen oxidáló		Ötvözetlen acélok	Nyugodt ív, fröcskölés,
	2	2	70	30						gyengén ötvözött acélok	kis hidrogéntartalmú ömledék

d) A fogyóelektródás, védőgázos ívhegesztés technológiája

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

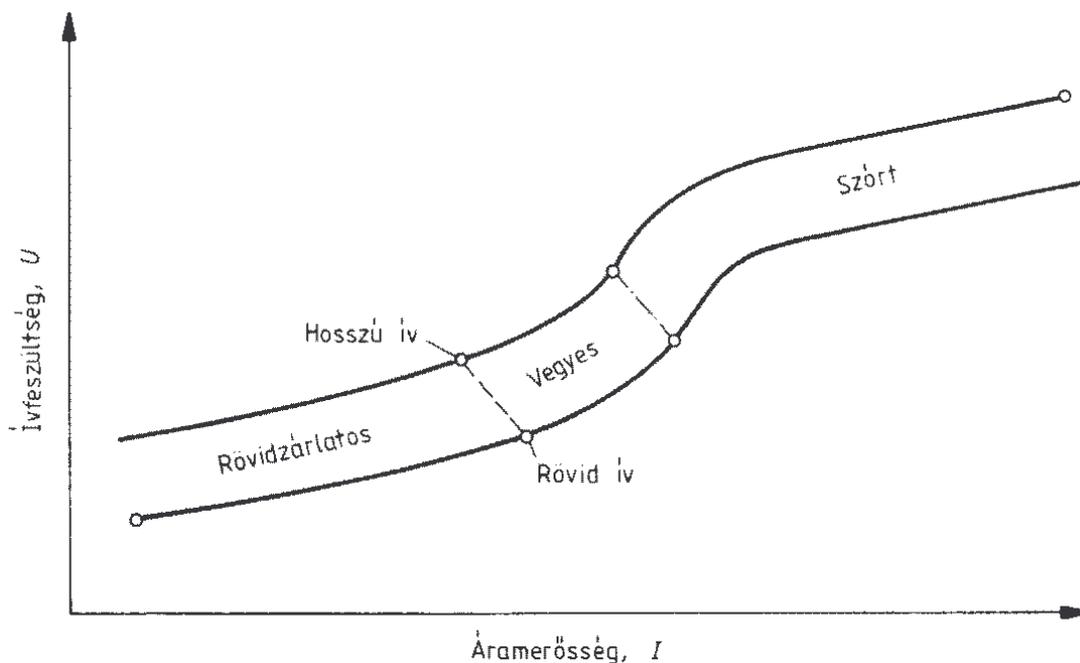
A szórtíves anyagátmenet permetszerű, finomcseppes, amelynek során az elektróda és az alapanyag között nem jön létre rövidzárlat. Semleges védőgázban vagy nagy argontartalmú kevert védőgázban alakulhat ki. Elsősorban vízszintes helyzetű hegesztésre ajánlott.

A hosszúíves anyagátmenet durvacseppes, amelynek során az elektróda és az alapanyag között ismételt rövidzárlat jön létre. Szén-dioxidos védőgáz használatára jellemző fémátviteli módszer. Ez is elsősorban vízszintes helyzetű hegesztésre ajánlott.

A rövidíves anyagátmenet kis ívfeszültség és áramerősség esetén, CO₂-védőgáz használatakor sem durvacseppes. Felváltva lép fel rövidzárlat, ill. ég az ív. A rövidzárlati frekvencia függ az áramerősségtől, az ívfeszültségtől, valamint a védőgáztól. Másodpercenként 20...120 rövidzárlat jöhet létre. Kényszerhelyzetű hegesztésre is ajánlott.

A vegyesíves anyagátmenet során a hozaganyag egy része szabadon, rövidzárlat nélkül megy át, ezzel egyidejűleg durvacseppes anyagátvitel és rövidzárlat is bekövetkezik. Az erőteljes fröcskölés miatt célszerű elkerülni. Az anyagátmenetek módjai az áramerősség és az ívfeszültség függvényében a 2.46. ábrán láthatók. A védőgázok figyelembevételével, az áramerősség és az ívfeszültség függvényében a különböző anyagátmeneteket a 2.45. táblázat tartalmazza.

Impulzusos 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 szükséges.



2.46. ábra. Anyagátmenet fogyóelektrodás, védőgáz ívhegesztéskor, az áramerősség és az ívfeszültség függvényében

2.45. táblázat

Anyagátmenet gyengén ötvözött huzalelektrodákról, különféle védőgázok használata esetén

d _e , mm	Védőgáz	Rövidzárlatos*		Vegyes*		Cseppes	
		-tól	-ig	-tól	-ig	-tól	-ig
0,8	Ar+8% O ₂	50 A/14,6 V	140 A/18 V	128 A/20,2 V	168 A/22,4 V	155 A/24 V	220 A/29 V
	Ar+CO ₂ +5%O ₂	50 A/14,3 V	142 A/19 V	130 A/21,5 V	170 A/23,6 V	165 A/25,2 V	220 A/31 V
	Ar+10%CO ₂	50 A/15 V	150 A/19,5 V	140 A/21,5 V	175 A/22,8 V	V	220 A/30,5 V
	Ar+18%CO ₂	50 A/15,5 V	160 A/22 V	145 A/24,8 V	193 A/25 V	168 A/25,2 V	V
	Ar+25%CO ₂	50 A/15,8 V	148 A/20,4 V	135 A/22,8 V	173 A/25 V	V	225 A/33,5 V
	CO ₂	50 A/15,4 V	113 A/21,2 V	92 A/23,6 V	135 A/23,5 V	176 A/28,2 V	V
						V	215 A/35,5 V
					165 A/25,8 V	V	195 A/36 V

						128 A/25,8 V	
1,0	Ar+8% O ₂ Ar+5%CO ₂ +5%O ₂ Ar+10%CO ₂ Ar+18%CO ₂ Ar+25%CO ₂ CO ₂	65 A/14,8 V 65 A/14 V 65 A/15 V 65 A/15,2 V 64 A/15,5 V 60 A/16 V	170 A/17,8 V 168 A/18,5 V 175 A/19,5 V 177 A/20,5 V 172 A/20 V 140 A/19,5 V	155 A/20 V 155 A/21 V 160 A/21,8 V 160 A/24 V 160 A/22,8 V 125 A/22,5 V	210 A/22,5 V 200 A/23,5 V 215 A/24,5 V 220 A/25,5 V 215 A/26,5 V 125 A/22,5 V	195 A/24,5 V 192 A/25 V 205 A/26,5 V 215 A/28,5 V 210 A/28,5 V 155 A/25,5 V	280 A/31,5 V 280 A/32,5 V 280 A/31,5 V 280 A/34 V 280 A/38,8 V 265 A/37 V
1,2	Ar+8%O ₂ Ar+5%CO ₂ +5%O ₂ Ar+10%CO ₂ Ar+18%CO ₂ Ar+25%CO ₂ CO ₂	80 A/13,5 V 80 A/14 V 80 A/15,2 V 80 A/14,8 V 80 A/15,5 V 75 A/16,8 V	207 A/17,2 V 195 A/18 V 195 A/19,5 V 193 A/19,5 V 195 A/20 V 165 A/18 V	185 A/19,8 V 182 A/20,5 180 A/22 V 175 A/23 V 180 A/23 V 150 A/22 V	247 A/23 V 227 A/23 V 252 A/26 V 258 A/26 V 257 A/27,8 V 197 A/21,5 V	232 A/25 V 218 A/24,5 V 243 A/28 V 245 A/29 V 247 A/29,8 V 180 A/25 V	355 A/33,8 V 350 A/34 V 350 A/32 V 350 A/34,5 V 350 A/36 V 330 A/38 V
Felhasználás		Vékony lemez hegesztése Cső és lemez gyökhegesztése Kényszerhelyzetben		Közepes lemeztvastagság, elsősorban vízszintes helyzetben. Lehetőleg el kell kerülni, impulzusos ív alkalmazása célszerű		Vastag lemezek töltő- és takaró-varratainak hegesztésére, sarok- varratnál PA és PC helyzetben	

A kisebb áramerősség az irányított cseppátmenettel összekapcsolva a következő előnyöket adja:

- szabályozható hőbevitel a hegesztés folyamán; a növevitel csökkenthető a hagyományos eljárásokkal szemben;
- szabályozható ívteljesítmény; vékonyabb lemezek hegesztéséhez az alap- és a csúcsáramerősség váltakozásának kisebb frekvenciája szükséges, nagyobb anyagvastagsághoz nagyobb teljesítményt, nagyobb frekvenciát kell beállítani. A szabályozási lehetőség az impulzusos ívhegesztési eljárást minden helyzetben, a legszélesebb anyagvastagság-tartományban is alkalmazhatóvá teszi;
- nagyobb elektródaátmérővel lehet vékonylemez-hegesztéssel is dolgozni, csökken a vékony huzalok eltolásának nehézségeiből adódó hibalehetőség. Különösen alumínium és ötvözeteknek hegesztését teszi könnyebbé;
- a hegesztett ömledékből a gázok kiválásához a folyamat kedvezőbb, gázmentesebb varratok készíthetők;
- kevésbé rövidzárlatos és kevésbé fröcsköléses a fémátvitel.

Az f impulzusfrekvencia:

$$f = 1000/(t_{cs} + t_A) \text{ Hz,}$$

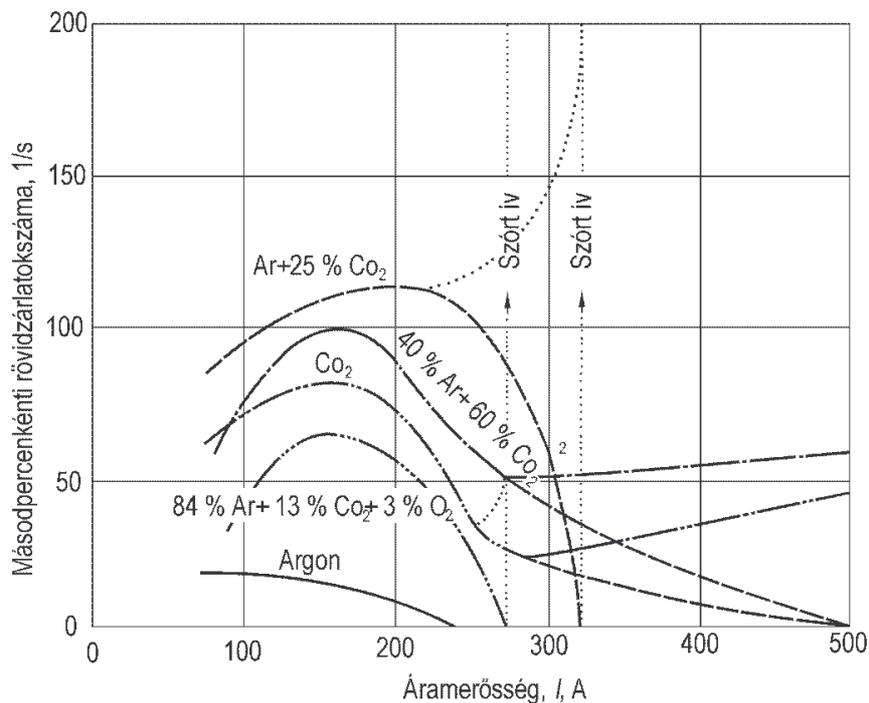
ahol t_{cs} csúcsáramidő, ms; t_A alapáramidő, ms.

A D cseppméret:

$$D \approx (50d_e v_e f)^{1/3} \text{ mm,}$$

ahol d_e az elektróda átmérő, mm; v_e az elektróda eltolási sebessége, m/min.

A védőgáz tulajdonságainak hatása a hegesztési folyamatra. A védőgáz befolyásolja az anyagátmenetet, a rövidzárlati jelenségeket, a beolvadási mélységét és a hegesztett ömledék oxidációs folyamatait. Nagy fajlagos leolvadási és megfelelő ívfeszültség esetén csak argon vagy hélium védőgáz teszi lehetővé a szórt ívű anyagátmenetet. Ha Ar-CO₂ vegyes gázt használjuk, 18%-os CO₂-tartalomig, ill. növelt áramerősség esetén legfeljebb 25% CO₂-ig biztosítható a rövidzárlat nélküli anyagátmenet. Az anyagátmenet alakulása a védőgáz és az áramerősség függvényében a 2.47. ábrán látható. Argon védőgázban kis, 20 Hz-es rövid zárlati frekvenciával történik a cseppátmenet. 250 A-tól rövidzárlat nélküli cseppátmenet jön létre. A háromalkotójú (Ar + CO₂ + O₂) védőgázban már viszonylag kis áramerősségnél is létrejön a rövidzárlat nélküli cseppátmenet, annak ellenére, hogy 100 és 200 A között a tiszta argon védőgázhoz hasonlóan lényegesen nagyobb a rövidzárlat-frekvencia. Tiszta CO₂-ben és 40% Ar+60% CO₂-ben 500 A alatt nincs rövidzárlat nélküli anyagátmenet. Ilyen védőgázban a hegesztés folyamán mindig erőteljes fröcsköléssel kell számolni. Ar+25% CO₂-ben még lehetséges a hegesztés a szórt ívű anyagátmenet felső határán. A diagramban szereplő tájékoztató értékek igen erősen függenek az áramforrás dinamikus tulajdonságától is.



2.47. ábra. Szórt ív rövid ív és hosszú ív alakulása a védőgáz és az áramerősség függvényében, 1,2 mm huzalátmérő esetén (Pomoska szerint)

Védőgáz	R _m , MPa	R _{eH} , MPa	A _s , %	Az ömledék összetétele, %			Ütőmunkaérték*, J, °C-on					Az ömledék O ₂ tartalma, %	
				C	Mn	Si	+20	0	-20	-30	-40		-50
91% Ar 5% CO ₂ 4% O ₂	610	472	28,1	0,08	1,32	0,67	138	124	87	83	58	48	0,031
90% Ar 10% CO ₂	640	544	25,7	0,09	1,43	0,72	130	88	64	55	60	41	0,029
82% Ar 18% CO ₂	620	522	26,8	0,09	1,37	0,70	144	120	86	62	50	40	0,0305
75% Ar	601	505	29,3	0,09	1,30	0,65	124	97	76	61	51	41	0,034

25% CO ₂													
88% Ar 12% O ₂	591	510	27,5	0,06	1,20	0,60	138	126	87	67	46	40	0,0355
100% CO ₂	594	437	27,8	0,10	1,21	0,26	84	54	48	35	28	22	0,62

* Négy próba középértéke.

Huzalelektroda SG 2 (DIN 8559), C=0,115%, Mn=1,53%, Si=0,98%.

A vastag vonaltól jobbra eső ütőmunka értékek nem felelnek meg a követelményeknek.

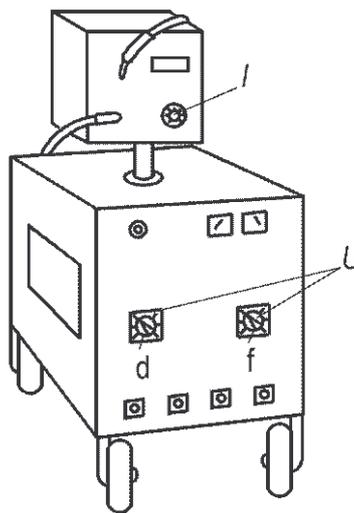
A védőgáz összetétele befolyásolja a varratlakot és a beolvadási mélységet is. Azonos áramerősség esetén CO₂ védőgázban nagyobb a beolvadás és a fajlagos leolvadás, mint argonnal kevert gázban.

A védőgáz hatása a hegesztett ömledék mechanikai tulajdonságaira a 2.46. táblázatban található.

A **varratlakokat** acél, réz, rézötvözetek és alumínium hegesztéséhez ld. a 2.4. táblázatban. A vékonyhuzalos alumínium hegesztés ételőkészítése és varratfelépítése a 2.47. táblázatban látható.

A **technológiai adatok beállítása**. Az áramforrás beállításának két lehetősége van: a huzalelőtolás változtatása vagy az áramforrás jelleggörbéjének kiválasztása (2.48. ábra).

Az áramerősség változtatásának a hatását (előtolás változtatása) a 2.49. ábra szemlélteti. Az előtolás változtatása az ív hosszának változásához vezet. Amennyiben az ív túlságosan lerövidül, rövidzárlatos anyagátmenet alakul ki erőteljes fröcsköléssel, és zavar keletkezik a hegesztési folyamatban. A 2.50. ábrán látható az előtolási sebesség változtatásának, valamint az ívfeszültség változtatásának az együttes hatása. Nagyobb áramerősségnél nagyobb ívfeszültséget, ill. kisebb áramerősségnél kisebb ívfeszültséget kell állítani az áramforráson, a jelleggörbe eltolásával. A 2.51. ábra az AFI/CO₂ hegesztő-berendezés kedvező munka ponttartományának beállítását szemlélteti.



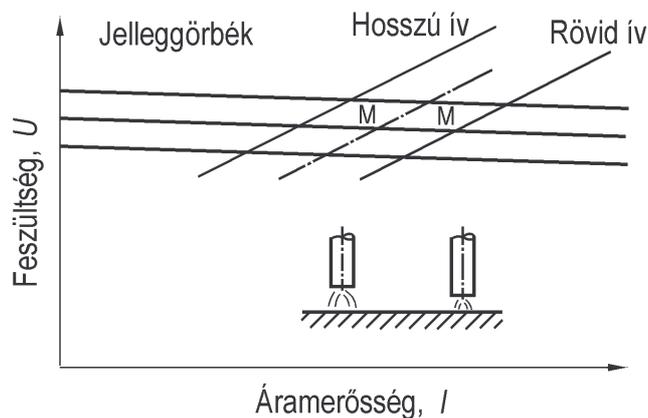
2.48. ábra. Beállítási lehetőségek az AFI/CO₂ hegesztő-berendezésen
I a huzal-előtölési sebesség (áramerősség) beállítása; U a jelleggörbe (feszültség) beállítása;

d durva; f finom

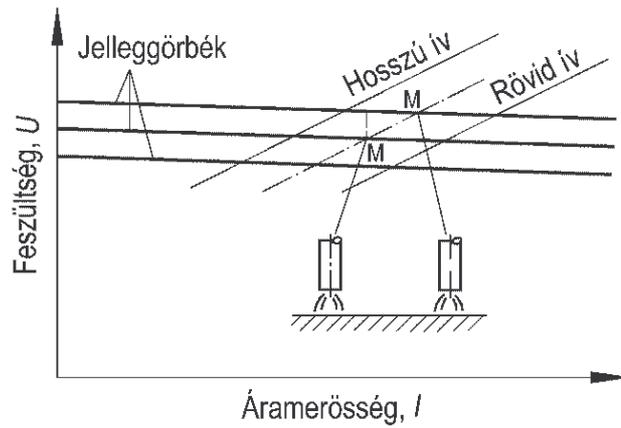
2.47. táblázat

Vékonyhuzalos alumíniumhegesztés varrat-előkészítése

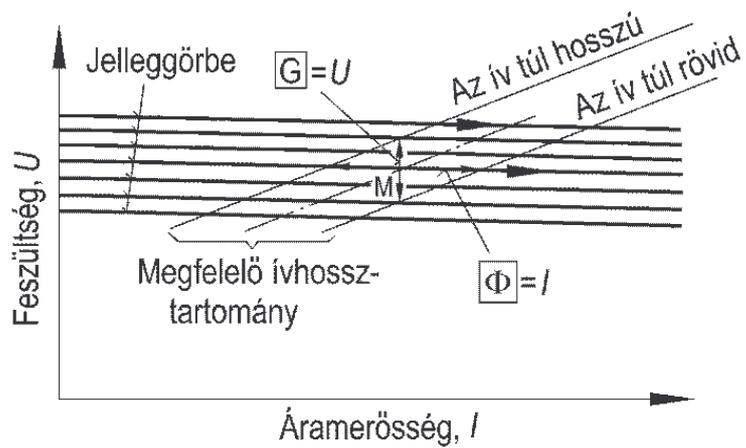
s, mm	Élelőkészítés	Varratfelépítés	b, mm	c mm	α fok	Megjegyzés
1...4			0...0,25s	-	-	Befogókészülék jelentősen elősegíti a hegesztést
5...10			< 1,0	-	-	Két oldalról hegesztve
5...12			< 1,0	2,5	90	Gyök alátétlemez jelentősen segíti a hibátlan hegesztést
5...20			< 1,0	2,5	60	Kényszerhelyzetben célszerű a gyök AWI-hegesztése
> 10			< 1,0	2,5	90	Gyök utánhegesztés
> 10			< 1,0	3	60	-
> 6			5...10	2	40	-



2.49. ábra. Az áramerősség változtatásának hatása a munkapontra
M munkapont

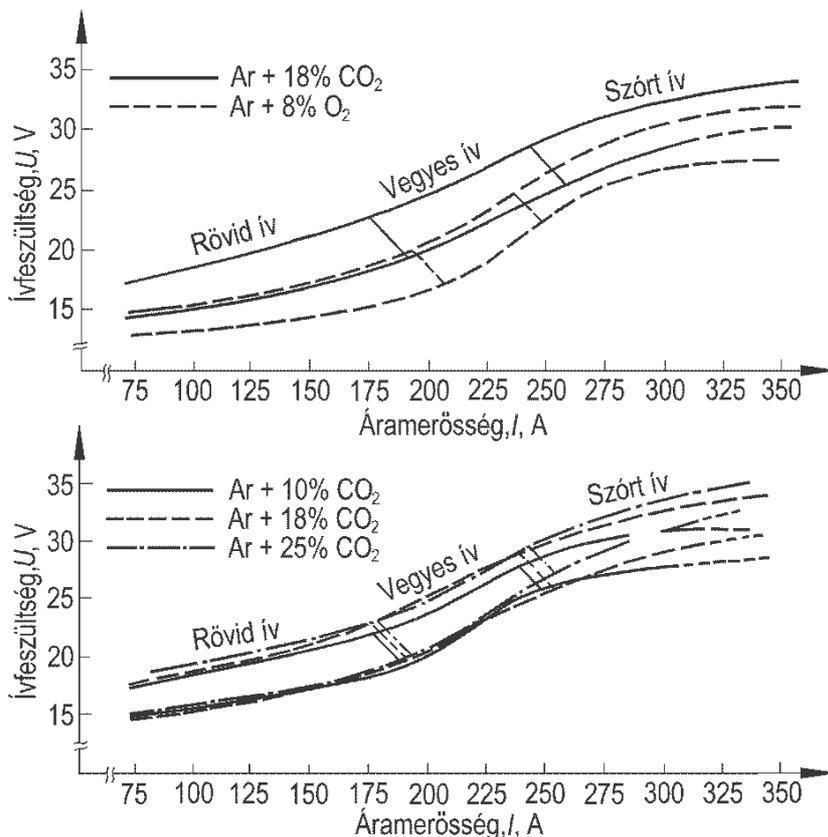


2.50. ábra. Az áramerősség és ívfeszültség változtatásának hatása a munkapontra
M munkapont



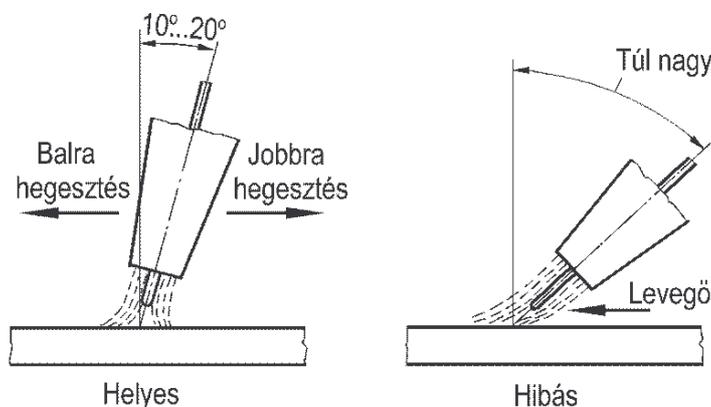
2.51. ábra. Munkapont tartomány beállítása a jelleggörbe eltolásával és az előtolás változtatásával

A védőgázfajtától függően az ívfeszültség azonos ívhossz esetében is változik. A 2.52. ábrán látható, hogy a CO₂ mennyiségének növelésével nő az ívfeszültség igény.

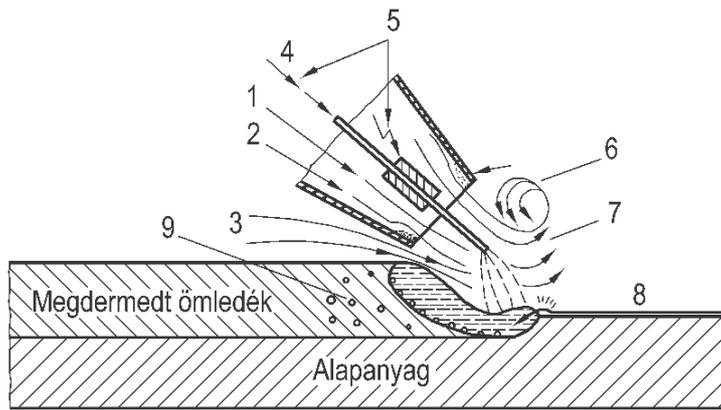


2.52. ábra. Optimális ívfeszültség és áramerősség különböző védőgázfajtákhoz SG 2 Ø 1,2 mm-es huzalelektroda

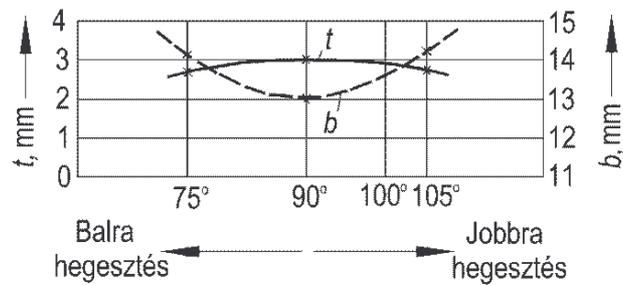
A hegesztőpisztoly helyzete. A megfelelő ívfeszültség és előtolási sebesség beállítása után következhet az ívgyújtás, az alapanyag megérintésével. A hegesztőpisztolyt megfelelő helyzetbe és az alapanyagtól a szükséges távolságba hozzuk, hogy az ív gyújtás után a hegesztési folyamat közvetlenül folytatódhasson. A hegesztőpisztoly beállítása, ill. tartása a hegesztés folyamán alapvetően meghatározza a varrat alakját és az ömledék minőségét (2.53. ábra). Majdnem minden helyzetben előretartva, tolvá kell a hegesztést végezni. A védőgáz hatása a legjobban akkor érvényesül, ha az alapanyaghoz viszonyítva a pisztolyt 90°-ban tartjuk. Így azonban a varratömledéket a gázfúvóka eltakarja a hegesztő előtt. A megengedett legnagyobb eltérés a függőlegetől 30°. Vízszintes helyzetben hegesztve a pisztolyt húzzuk, és a hegesztési irányhoz képest döntjük vissza 10...20°-kal. Helytelen pisztolytartás esetén a varrat gázosodik. Az ebből adódó és egyéb, a gázosodást okozó tényezők a 2.54. ábrán láthatók. A varrat a levegőből nitrogént, oxigént és hidrogént vesz fel.



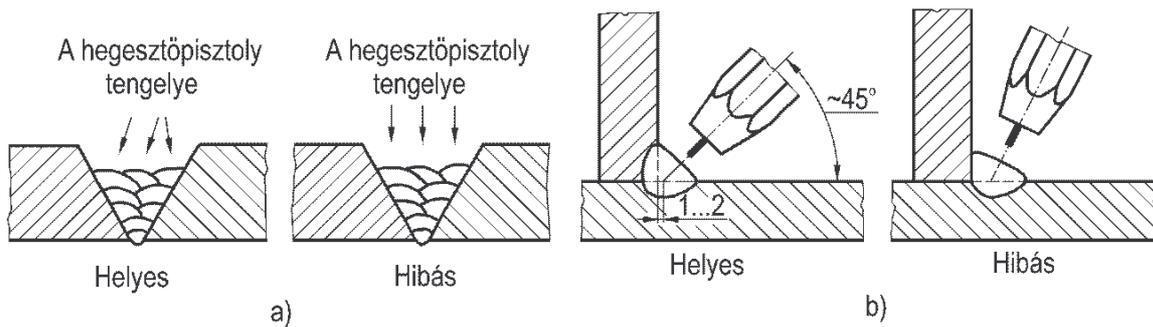
2.53. ábra. A hegesztőpisztoly tartása fogyóelektrodás, védőgázás ívhegesztéskor



2.54. ábra. Az ömledékek gázfelvételének okai
 1 turbulencia a védőgáz túl nagy mennyisége miatt; 2 túl kevés a védőgáz; 3 injektorhatás; 4 zsíros huzalból; 5 akadozó huzalelőtolás, rossz áramátmenet, helytelen hegesztési jellemzők következtében nyugtalan ív, turbulencia; 6 turbulencia a fröcskölés miatt; 7 turbulencia a hőfejlődés miatt; 8 szennyeződés, rozsda, reve, bevonat, festékek; 9 pórások, gázzárványok

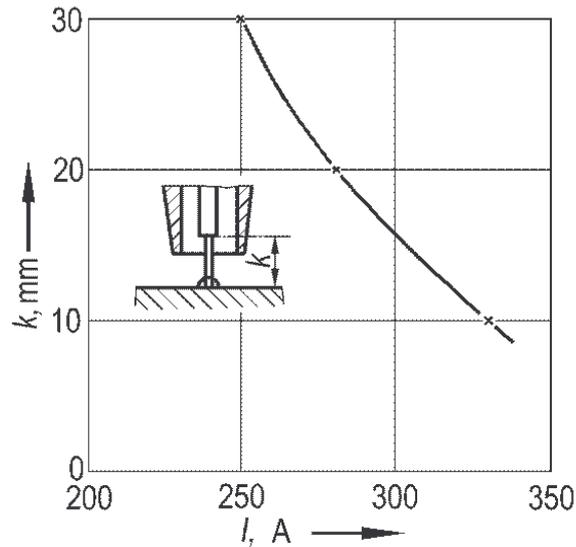


2.55. ábra. A hegesztőpisztoly beállításának hatása a varratalakra és a beolvadási mélységre
b varrat szélesség; *t* beolvadási mélység



2.56. ábra. A hegesztőpisztoly tengelyének beállítása

a) tompavarrathoz; b) sarokvarrathoz



2.57. ábra. Az alapanyag és az áram hozzávezető hüvely k távolságának hatása a hegesztőáramra

Csőhegesztéskor a hegesztőpisztoly helyzete befolyásolja a beolvadási mélységet és a varratszélességet (2.55. ábra). A helyes beállításnak különösen gépesített hegesztés esetén van jelentősége.

Tompa- és sarokvarrat hegesztésekor a hegesztőpisztoly helyes tengelybeállítása a 2.56. ábrán látható.

Az áramvezető hüvely és alapanyag távolsága a hegesztő áram nagyságát befolyásolja (2.57. ábra).

A védőgáz mennyiség beállítására a 2.48. táblázat ad irányértékeket. Általában igaz, hogy a percnként átfolyó védőgáz mennyiség a huzalátmérő 10...12-szerese. A védőgáz szükséglet a leolvadási sebesség függvényében a 2.58. ábrán látható. A különféle anyagokhoz használatos védőgázokat és gázkeverékeket a 2.49. táblázat foglalja össze.

2.48. táblázat

A fogyóelektródás hegesztés védőgáz szükséglete

d_e , mm	Védőgáz-szükséglet, l/min	
	rövidívhez	szórtívhez
0,8	8,0	12,0
1,0	10,0	12,0
1,2	10,0	15,0
1,4	12,0	16,0
1,6	nem ajánlott	18,0

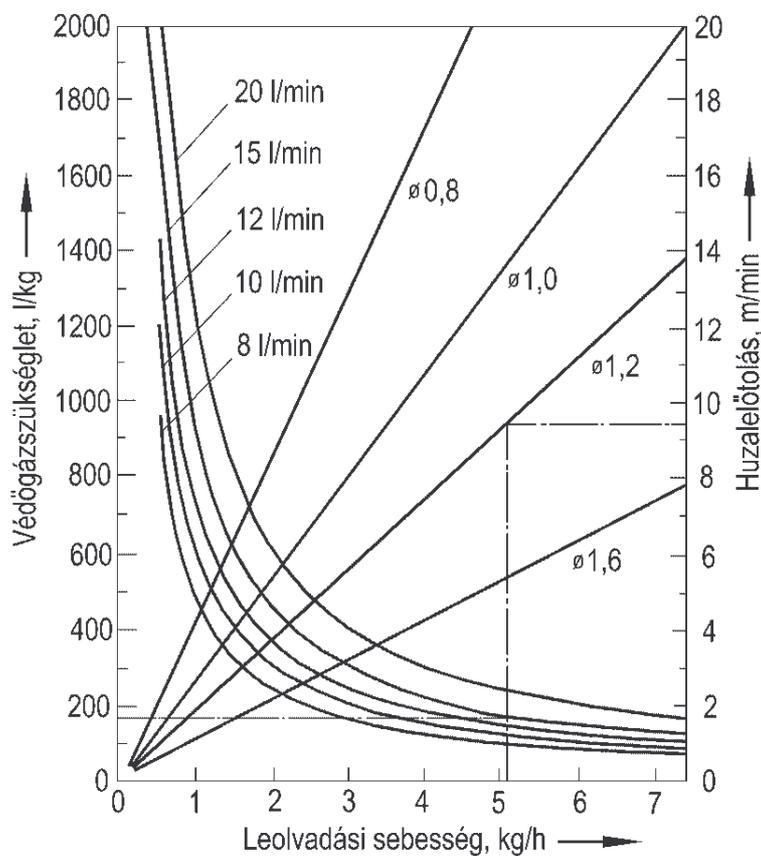
2.49. táblázat

Védőgázok különféle fémek fogyóelektródás, védőgázos hegesztéséhez

Alapanyag	Védőgáz*
-----------	----------

Alumínium és ötvözetei Magnézium és ötvözetei Ötvöztelen acél	I 1, I 2, I 3 I 1
Gyengén ötvözött acél	M 1.1...4, M 2.1...3, M 3.1...3, C1
Korrózióálló acél Réz és ötvözetei Nikkel és ötvözetei Titán és ötvözetei	M 1.1...4, M 2.1...3, M 3.1...3, (C 1) M 1.2, M 1.3, M 2.3, M 3.2, (I 1) I 1, I 2, I 3 I 1, (R 1) I 1

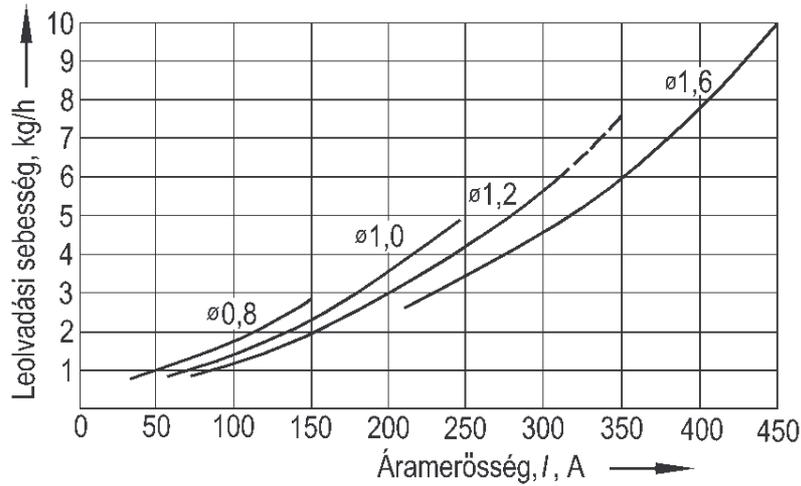
* ld. a 2.44. táblázatot.



2.58. ábra. Védőgáz szükséglet a leolvadási sebesség függvényében
A pontvonal a példa

Az áramerősség, az ívfeszültség és a hegesztési sebesség összefüggése fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztés esetén. Az áramerősség változtatása a leolvadást és a beolvadási mélységet befolyásolja. CO₂ védőgázos közegben a leolvadási sebesség alakulása az áramerősség függvényében a 2.59. ábrán látható. A fajlagos leolvadás függ a huzalelektroda átmérőjétől. Azonos áramerősség esetén a kisebb átmérőjű elektróda fajlagos leolvadása nagyobb. Az egységnyi hosszú vékonyabb huzal elektromos ellenállása nagyobb, mint a vastagé, nagyobb az áramvezető hüvely utáni szabad huzalhosszon a felmelegedése.

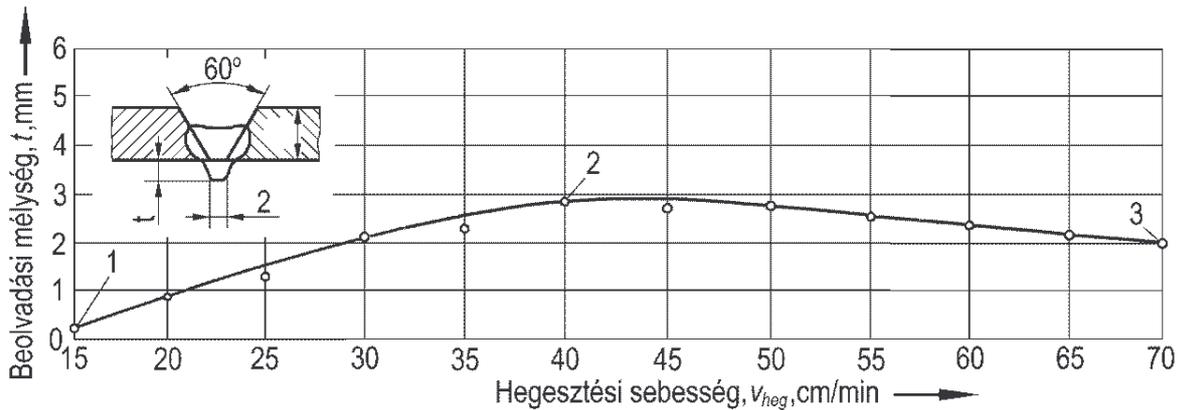
Az ívfeszültség növelésével a varrat szélesebb lesz, és az ömledék folyósabbá válik. Függetlenül felülről lefelé hegesztve az ömledék előrefolyásának megakadályozására kisebb ívfeszültséget kell választani az ömledék előrefolyásának megakadályozására kisebb ívfeszültséget kell választani.



2.59. ábra. A leolvadási sebesség az áramerősség függvényében

A görbékre írt számok a huzalelektroda átmérőjét adják meg

A hegesztési sebesség hatása a beolvadási mélységre a 2.60. ábrán látható. A kis hegesztési sebesség a leggyakoribb oka a hidegkötésnek.



2.60. ábra. A hegesztési sebesség hatása a beolvadási mélységre

1 minimális beolvadási mélység az előrefutó ömledék miatt; 2 maximális beolvadási mélység a helyes hegesztési sebesség eredményeképpen; 3 kis beolvadási mélység a gyors hegesztés következtében

e) A fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztés változatai

Az impulzushegesztés alapfogalmait a 2.50. táblázat foglalja össze.

Az alapáram feladata, hogy az ív a csúcsáramok közötti időszakokban se aludjon ki. Nagysága általában 25...40 A, de jó hővezető anyagok (Al, Cu) hegesztésekor - különösen, ha vastagok - 80...100 A értékre célszerű növelni, az esetleges hidegkötés elkerülésére.

A csúcsáram biztosítja a rövidzárlat nélküli anyagátmenetet. Az ehhez szükséges minimális csúcsáram értékének megválasztása függ a huzalelektroda anyagától és átmérőjétől, a védőgáz összetételétől és a csúcsáram időtartamától.

A fogyóelektródás, védőgázos impulzushegesztés alapfogalmai

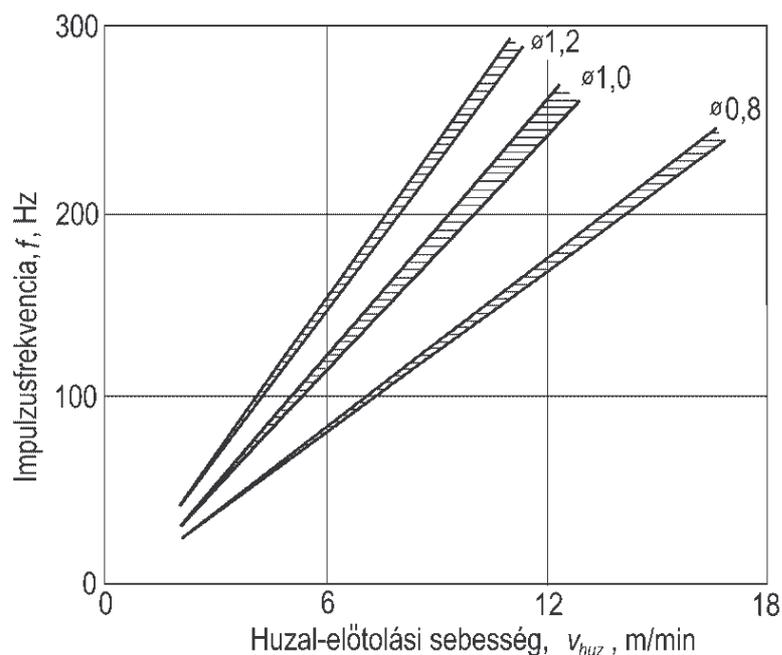
Alapfogalom	Mértékegység	Meghatározás
Előtolási sebesség, v_e	cm/min	Az előtolón beállított huzaladagolási sebesség
Áramnövekedési sebesség, v_i	kA/s	Az alapáramról csúcsáramra növekedés sebessége. Argon védőgáz esetében kisebb lehet, mint szén-dioxid védőgáznál
Alapáram, I_A	A	Kis áramerősség, amely közvetlenül vagy a hozzá tartozó feszültségen keresztül állítható be
Alapfeszültség, U_A	V	Az alapáramhoz tartozó feszültség
Alapáramidő, t_A	ms	Az alapáram hatásának időtartama
Csúcsáram, I_{cs}	A	Nagy áramerősség, amely közvetlenül vagy a hozzá tartozó feszültségen keresztül állítható be
Csúcsfeszültség, U_{cs}	V	A csúcsáramhoz tartozó feszültség
Csúcsáramidő, t_{cs}	ms	A csúcsáram hatásának időtartama
Impulzusfrekvencia, f	Hz	A másodpercenkénti áramimpulzusok száma

Kedvező esetben 1...3 ms időtartamú csúcsimpulzus kell ahhoz, hogy az elektródavégről a csepp leváljon.

Az alapáramnak a csúcsáramra szén-dioxidban és kevert védőgázban gyorsabban kell növekednie, mint argonban.

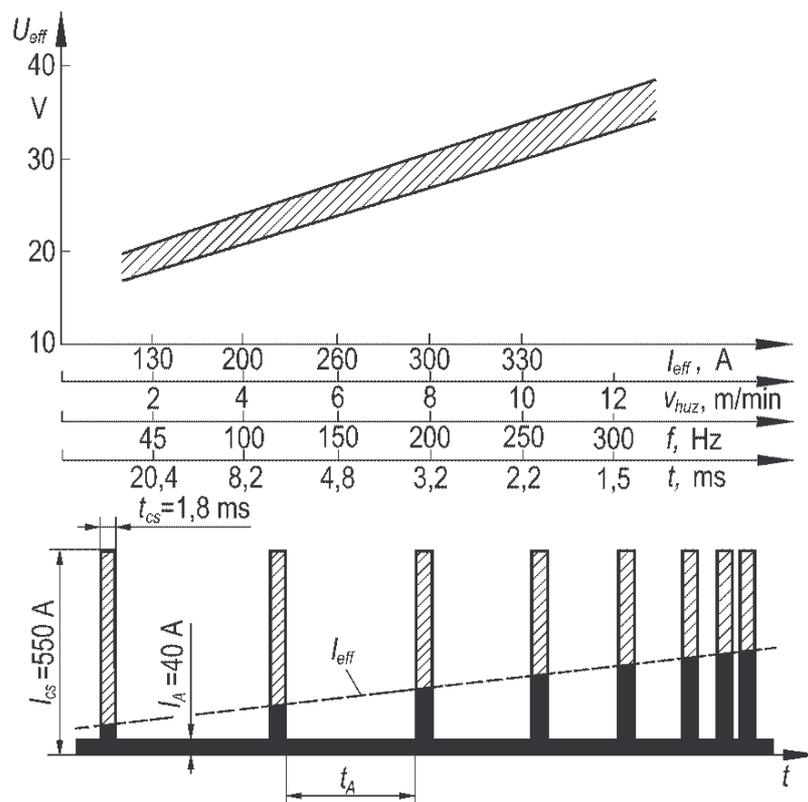
Az impulzusfrekvenciát kézi hegesztés esetén nem célszerű 30 Hz alá csökkenteni, mert a hegesztő szemének erős megterhelést jelent. A huzalelőtolási sebesség és az impulzusfrekvencia összehangolásához az irányértékek a 2.61. ábráról olvashatók le.

Az effektív feszültség összefüggését az áramerősséggel, a huzalelőtolást sebességgel, az impulzusfrekvenciával és az alap áramidővel a 2.62. ábra szemlélteti.



2.61. ábra. Az impulzusfrekvencia és a huzalelőtolást sebesség irányértékei nagy argontartalmú védőgázban

Csúcsáramidő: 1,5...2 ms; csúcsáram > 400 A; alapáram: < 40 A



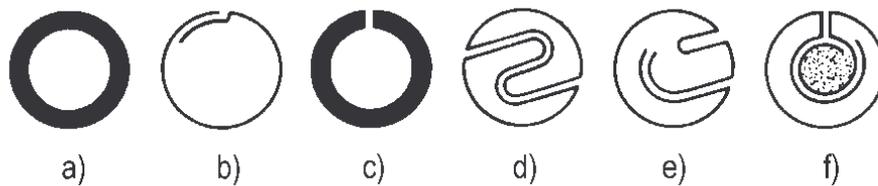
2.62. ábra. Az effektív feszültség összefüggése az áramerősséggel, a huzalelőtolási sebességgel, az impulzusfrekvenciával és az alapáramidővel, azonos impulzusforma esetében

Fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztés porbeles huzalelektrodával. A porbeles elektróda belseje nem tömör, hanem rutilos vagy bázikus portöltet található benne. Előnyei:

- igen termelékeny;
- széles körű vegyi összetételhez használható;
- az illesztési hézag eltérésre, élettőlódásra kevésbé érzékeny;
- kis energiafelhasználással hegeszthető;
- kevésbé fröcsköl;
- a képződött salakréteg leköti az oxigént és a nitrogént;
- stabilabb hegesztőívet ad.

Hátránya, hogy drága, továbbá, hogy hegesztés előtt gondosan ki kell szárítani. Néhány jellemző kialakítás keresztmetszete a 2.63. ábrán látható. Az a) és c) szelvényű elektróda nagy árammal terhelhető, és relatíve kis átmérővel készül. A b) szelvényű elektróda főleg felrakóhegesztésre alkalmas. A d), e) és f) formák főleg az önvédő porbeles huzalelektrodák szelvényei. A huzalelektroda teljes tömegének és a töltet tömegének a hányadosa adja meg százalékban a *töltési fokot*. A hazai gyártású önvédő porbeles huzal jellemzői a 2.51. táblázatban, a DIN 8559 szerinti porbeles huzalok összetétele a 2.52. táblázatban található.

A különféle fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztési eljárások technológiai irányértékei a 2.53...2.59. táblázatban található.



2.63. ábra. Porbeles huzalelektrodák keresztmetszete

a), b) és c) egyrétegű; d), e) és f) kétrétegű; a) zárt szelvényű; b...f) nyitott szelvényű

2.51. táblázat

Hazai gyártmányú porbeles huzalok összetétele és jellemzői

Jellemzők	PP-AN 3	PP-AN 7
A hozaganyag összetétele,		
C	0,07...0,12	0,07...0,12
Mn	0,7...1,2	0,7...1,3
Si	0,2...0,5	0,2...0,5
S, ill. P, legfeljebb	0,03	0,03
A hozaganyag mechanikai jellemzői		
R _e , MPa	430...480	430...470
R _m , MPa	510...570	500...550
A ₅ , %	24...30	25...29
Z, %	70...72	62..70
TTKV ₂₈ °C	≤ -30	≤ -20
Huzalátmérő, d _e , mm	3,0	2,0; 2,3
Áramnem	egyenáram, elektróda, pozitív	egyenáram, elektróda, pozitív
Áramerősség, I, A	300...500	150...350
Feszültség, U, V	22...29	20...27
Huzal-előtölási sebesség, v _{huz} , m/min	1,8...5,0	2,5...4 5
Leolvadási sebesség, g/s	1,2..2,5	1,1...1,9
kg/h	6...9	4...7
Kihozatal, %	75...80	75...80

Német gyártmányú porbeles huzalok vegyi összetétele

(a DIN 8559 alapján)

Jelölés	Összetétel, %				
	C	Si	Mn	Ni max.	Egyéb
SG R 1	0,05...0,12	0,2... 0,6	0,8...1,4	0,7	Cr: 0,15, V: 0,03, Zr+Ti: 0,15
SG B 1	0,05...0,12	0,15...0,45	0,8...1,6	0,7	Al:0,02, Mo: 0,15

A védőgázos ívhegesztés technológiai irányértékei ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok tompahegesztésére

a) Kevert védőgáz esetén

s, mm	Varratalak	α , fok	b, mm	Hegesztési helyzet	d_e , mm	v_{huz} , m/min	I, A	U, V	Rétegszám
1,0	I	-	0	PA, PB	0,8	3,8	70	18	1
1,5	I	-	1	PA, PB	0,8	5,2	90	17	1
2,0	I	-	1	PA	1,0	4,3	125	18,5	1
2,0	I	-	1,5	PB	0,8	7,1	130	18,5	1
3,0	I	-	1,5	PA	1,0	4,7	130	19	1
3,0	I	-	2,0	PB	1,0	4,7	130	19	1
4,0	I	-	2,0	PA	1,0	4,8	135	19	1
4,0	I	-	2,5	PB	1,0	5,4	160	20	1
5,0	V	50	2,0	PA	1,0	4,3 8,0	125 200	18,5 21	2
5,0	V	50	2,0	PB	1,0	4,7 5,5	130 170	18,5 19,5	2
6,0	V	50	2,0	PA	1,0	4,3 8,4	125 205	18,5 21,5	2
6,0	V	50	2,0	PB	1,0	4,7 5,5	130 170	18,5 19,5	2
8,0	V	50	2,0	PA	1,2	3,1 8,1	135 270	18 27,5	1 2
8,0	V	50	2,0	PF, PG	1,0	3,7	100	17	2
10,0	V	50	2,5	PA	1,2	3,2 9,0	135 290	18,5 28	1 2
10,0	V	50	2,5	PF, PG	1,0	4,5	120	18	2
12,0	V	50	2,5	PA	1,2	3,4 9,0	135 290	18,5 28	1 3
12,0	V	50	2,5	PF, PG	1,0	3,7 4,8	100 135	17,5 18,5	1 2
15,0	V	60	1,0	PA	0,8 1,2 1,2	5,7 8,8	110 270	21 27	1 3
15,0	V	50	3,0	PF, PG	1,2	3,2	130	18,5	1

						4,2	160	19,5	2
--	--	--	--	--	--	-----	-----	------	---

Hegesztőhuzalok: SG 2/SG 3, G 2/G 3.

2.53. táblázat folytatása

b) CO₂ védőgáz esetén

s, mm	Varratalak	α , fok	b, mm	Hegesztési helyzet	d_e , mm	v_{huz} , m/min	I, A	U, V	Rétegszám
0,75	I	-	0	PA	0,8	3,1	55	20	1
0,75	I	-	0	PB	0,9	5,4	140	20	1
1,0	I	-	0	PA	0,8	4,5	85	19,5	1
1,0	I	-	0	PB	0,9	4,7	120	21	1
2,0	I	-	0,3	PA	0,9	5,1	135	22	1
2,0	I	-	1,0	PA	0,8	3,8	80	19	1
2,0	I	-	1,0	PB	0,8	3,8	80	19	1
3,0	I	-	1,5	PA	1,0	3,0	100	19	1
4,0	I	-	1,7	PA	1,0	4,3	130	20	1
4,0	I	-	2,0	PB	1,0	4,3	130	20	1
6,0	V	60	1,7	PA	1,2	3,4	150	21	2
6,0	V	60	1,7	PB	1,2	3,4	150	20	2
8,0	V	60	1,7	PA	1,2	3,4	150	21	2
10,0	V	60	1,7	PB	1,2	3,4	150	21	3
10,0	V	60	1,7	PB	1,2	3,4	150	20	1
				PF, PG	1,2	3,4	150	20	1
15,0	V	60	1,7	PA	1,2	3,4	150	21	1
				PA	1,6	6,2	350	31	3
15,0	X	60	1,7	PF, PG	1,2	3,4	150	20	4
15,0	V	60	1,0	PF, PG	0,8	5,7	100	21	1
				PF, PG	1,0	5,0	120	22	3

2.54. táblázat

Az AFI-eljárás technológiai irányértékei alumínium tompahegesztésére argonban

s, mm	Varratalak	α , fok	b, mm	c, mm	d_e , mm	v_{huz} , m/min	I, A	U, V
2	I	-	0	2	0,8	5,0	110	20
4	I	-	0	4	1,2	3,1	170	22
5	I	-	0	S	1,6	4,3	200	25
5	Y	70	0	1,5	1,6	5,6	160	22
6	I	-	0	6	1,6	7,1	230	26
6	Y	70	0	1,5	1,6	6,0	170	22
8	Y	70	0	1,5	1,6	1. sor 6,8	220	26
						2.sor 6,8	220	26

10	Y	60	0	2,0	1,6	1. sor 6,2	220	26
						2. sor 6,0	200	24
						gyök 7,2	230	26
12	Y	60	0	1,5	1,2	1. sor 13,7	240	26
						2. sor 12,2	220	26
						gyök 15,6	250	28

2.55. táblázat

A CO₂-eljárás technológiai irányértékei ötvöztelen és gyengén ötvözött acélok sarokvarrat-hegesztésére

a) Kevert gázzal

a , mm	Hegesztési helyzet	d_e , mm	v_{huz} , m/min	I , A	U , V	Rétegszám
1,0	PA, PC	0,8	3,8	65	17	1
1,0	PG	0,8	3,8	65	17	1
1,5	PA, PC	0,8	7,2	115	18	1
1,5	PG	0,8	7,2	115	18	1
2,0	PA, PC	0,8	7,3	130	19	1
2,0	PG	0,8	7,1	100	19,5	1
3,0	PC	1,0	10,6	215	22,5	1
3,0	PG	1,0	9,0	210	21,5	1
4,0	PA, PC	1,0	10,7	220	23	1
4,0	PG	1,2	6,6	220	20	1
4,0	PA	1,2	9,2	280	28	1
5,0	PA	1,2	9,5	300	29,5	1
5,0	PG	1,2	4,2	190	19,5	3
6,0	PA	1,2	9,5	300	29,5	1
6,0	PF	1,0	4,7	115	17,5	1
8,0	PA	1,2	9,5	300	29,5	3
8,0	PF	1,0	4,8	130	18,5	2
10,0	PA	1,2	9,5	300	29,5	4
10,0	PF	1,2	4,2	165	19	2
10,0	PA	1,6	6,4	380	34	3

Huzalelektroda/védőgáz: SG2/G2 vagy SG3/G3.

b) Tiszta szén-dioxiddal

a , mm	Hegesztési helyzet	d_e , mm	v_{huz} , m/min	I , A	U , V
1,0	PA	0,6	4,2	55	20
1,0	PG	0,6	5,0	60	21
1,0	PC	0,9	5,6	135	20

1,75	PC	0,8	5,5	100	22
1,75	PG	0,8	5,0	90	21
2,0	PC	1,0	5,8	175	21
2,0	PG	0,8	7,0	140	23
2,5	PG	1,0	7,3	210	19
3,0	PG	1,2	4,7	190	20,5
3,5	PC	1,0	9,3	230	27
3,5	PG	1,2	5,1	195	20
4,0	PC	1,2	6,9	240	24
5,0	PC	1,2	9,6	320	32

Megjegyzés: Minden esetben csak egy réteget kell hegeszteni. Huzalelektroda/védőgáz: SG2/G2 vagy SG3/G3.

2.56. táblázat

Az AFI-ponthegeztés technológiai irányértékei alumíniumra

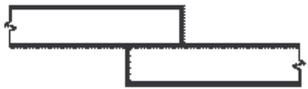
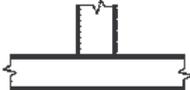
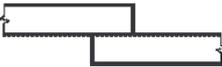
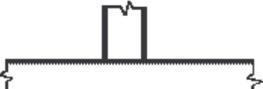
A hegesztendő anyag			d_e , mm	v_{huz} , m/min	I , A	U , V	t , s	d_l , mm	Nyíróerő, N/pont
minősége	vastagsága, mm								
	felső, s_1 ,	alsó, s_2 ,							
Al99,5	1	1..2	1,6	4,0	170	24	1,5...2,5	12...18	2100
	1	1..4	2,0	3,4	170	25	1,2...3,5	15...24	2300
	2	1..4	1,6	5,5	240	27	0,8...2,0	16...22	2600
	2	1..4	2,0	4,1	240	28	2,0...2,5	18...24	2800
	3	1..4	1,6	6,1	270	31	1,2...3,0	20...24	3000
	3	1..4	2,0	4,4	280	30	1,6...2,5	18...20	2400
	4	2..4	1,6	6,6	300	32	2,0...3,0	22...25	3200
	4	2..4	2,0	5,6	330	31	1,6...2,0	20...24	2000
AlMg 5	3	3	300	33	2,0	5,8	2,0	-	9550
	4	4	300	33	2,0	6,0	2,5	-	8200

d_e a huzalelektroda; d , a lencse átmérője; t a hegesztési idő.

2.57. táblázat

Az AFI-eljárás technológiai irányértékei réz hegesztésére

s , mm	Illesztési forma	d_e , mm	b , mm	I , A	Argonfogyasztás, l/min
6		1,6 (2,4)	2...3	250	20

6		1,6 (2,4)	-	300	20
6		1,6 (2,4)	-	280	20
6		1,6 (2,4)	-	300	20
10		1,6 (2,4)	2...3	300	20
10		1,6 (2,4)	-	350	20
10		1,6 (2,4)	-	320	20
10		1,6 (2,4)	-	350	20
20		2,4	3...5	400	22

2.58. táblázat

Az AFI-eljárás technológiai irányértékei alumínium és ötvözetek hegesztésére

(Smith nyomán)

s, mm	Varratalak	α , fok	Hegesztési helyzet	d_e , mm	I, A	U, V	v_{huz} , m/min	Argonfogyasztás, l/min	Rétegszám
5	V	60	PA	1,2	170	20	6,0	14	1
			PF	1,2	150	20	5,5	16	1
			PE	1,2	160	20	5,7	18	1
12	V	60	PA	2,4	290	27...29	3,7	23	2
			PF	1,6	215	27...29	4,8	23	3
			PE	1,6	225	27...29	5,0	23	8
	X	90	PA	2,4	300	27...29	3,3	23	3
			PF	1,6	190	27...29	4,1	23	2
25	V	60	PA	2,4	400	28...30	4,3	28	4
			PF	1,6	250	28...30	5,7	28	4
			PE	1,6	275	28...30	5,3	28	15

X	60	PA	2,4	400	28...30	4,3	28	5
		PF	1,6	240	28...30	5,5	28	6
U	30	PA	2,4	380	28...30	4,2	28	6

2.59. táblázat

Az AFI impulzusos eljárás technológiai irányértékei saválló acélok hegesztésére kényszerhelyzetben

(Potapevskij és Bucszinszkij nyomán)

s, mm	a, mm	Hegesztési helyzet	d_e , mm	Huzal-kinyúlás, mm	I, A	U, V	Argon-fogyasztás, l/min
1,5...2	2	PG	1,2	8...12	65...130	18...20,5	10...12
		PF	1,2	8...12	60...100	18...19	10...12
		PE	1,2	8...12	60...120	18...19	10...12
3	2...3	PG	1,2...1,6	10...14	90...140	19...21,5	12...14
		PF	1,2...1,6	10...14	80...110	18,5...19,5	12...14
		PE	1,2...1,6	10...14	90...130	18,5...19,5	12...14
4	3	PG	1,6	14...17	130...170	19,6...22	14...16
		PF	1,6	14...17	120...140	19...20	14...16
		PE	1,6	14...17	130...160	19...20	14...16
5...6	4	PG	1,6...2,0	16...20	160...210	20...22,5	16...18
		PF	1,6...2,0	16...20	140...160	19,5...20,5	16...18
		PE	1,6...2,0	16...20	140...190	19...20,5	16...18
7...8	5	PG	2,0	18...22	200...280	20,5...23	18...20
		PF	2,0	18...22	150...180	20...21	18...20
		PE	2,0	18...22	180...250	19,5...20,5	18...20

Nagy áramerősségű CO_2 -védőgáz hegesztés esetén növekvő áramerősséggel csökken a fröcskölés mértéke, és egyúttal mély szélkiolvadás alakul ki, amelybe az ív szinte belesüllyed. Ezáltal a fröcskölés nagy részét már maga az ömledék fogja fel. A hegesztés során általában 1,6 mm huzalátmérőt és 450 A-nél nagyobb áramerősséget használunk. A nagy áramerősségű hegesztés alapvető jellemzője az áramsűrűség:

$$i = I/d_e^2$$

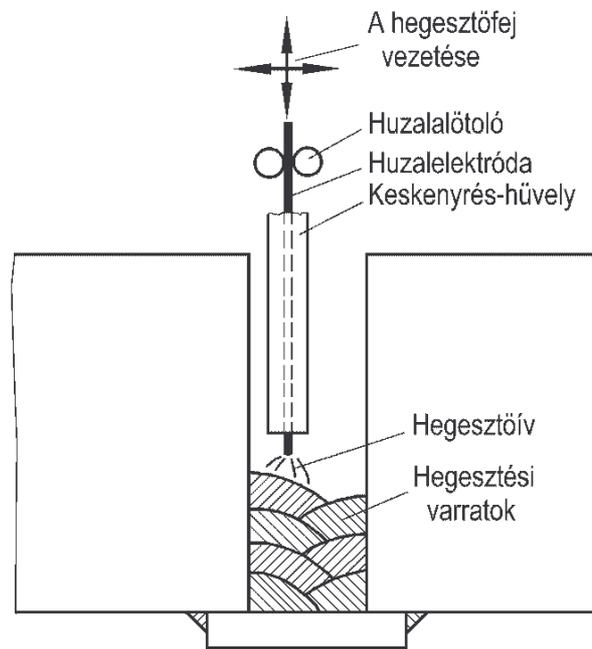
ahol i az áramsűrűség; I az áramerősség, A; d_e huzalátmérő, mm.

Nagy áramerősségű CO_2 -eljárás során

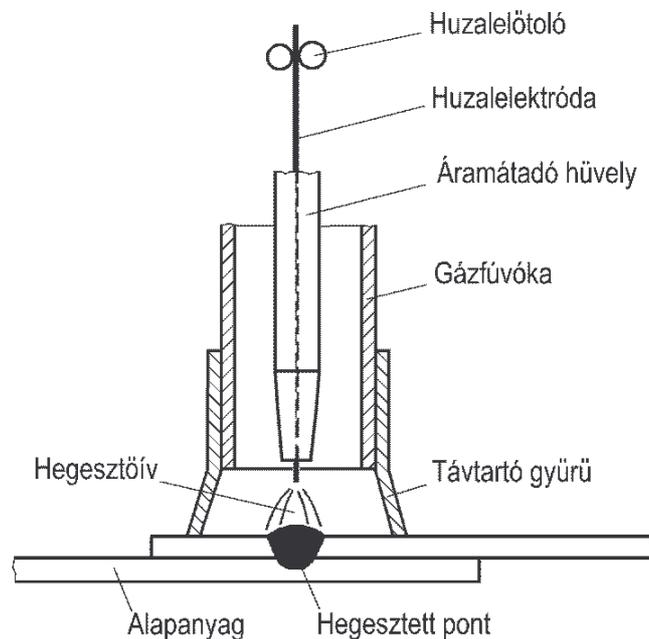
$$i = 230...260 \text{ A/mm}^2$$

A teljesen gépesített eljárás előnyei: nagy fajlagos leolvadás, nagy hegesztési teljesítmény, nagy beolvadási mélység.

A keskenyrés-hegesztés elve a 2.64. ábrán látható. Végezhető egy vagy két hegesztőfejjel. Két hegesztőfej esetében az egyik a baloldalra rak le egy sarokvarratot, míg a másik a horony jobb oldalára. A két sarokvarrat átfedi egymást.



2.64. ábra. A keskenyrés-hegesztés elve



2.65. ábra. Az ívponthegesztés elve

Egyfejes hegesztés esetén lengetett ívvel kell hegeszteni. Az illesztési hézag 8...10 mm, a hegeszthető anyagvastagság 30...500 mm, a védőgáz: 80% Ar + 20% CO₂, az áramerősség 180...240 A.

Lengetett ívű változatban tiszta CO₂ védőgáz is használatos. Az ívponthegesztés elve a 2.65. ábrán látható. Az átlapolt lemezekre távtartó gyűrűs gázfúvókát nyomunk. A felső lemez mérete legfeljebb 4 mm lehet, a lemezek között a légrés nem lehet 1 mm-nél nagyobb. Az eljárás leginkább finomlemezekhez használatos. Utóbbi időben

erőteljesen elterjedt a járműiparban. Különböző vastagságú lemezek CO₂ ívponthegeztésének technológiai irányértékeit a 2.60. és 2.61. táblázat tartalmazza.

A hegesztési hibákat a 2.62. és 2.63. táblázat foglalja össze. Különös figyelmet kell fordítani a kötésihibára és a hegesztett varrat begázosodására, amelyek jellegzetes hibaforrások.

A varrat begázosodása a túl kicsi hegfürdőre, ill. a túl szűk varratnyílásra vezethető vissza. Lehetőség szerint csökkenteni kell az ömledék lehülési sebességét. Az előmelegítés elősegíti a varratömledék kigázosodását. Kötésihiba elsősorban a kis ívteljesítményből adódhat, de a túl nagy ívteljesítmény is hasonló hibát okoz. A túl kis áramerősség hatására nem olvadnak meg eléggé a varratélek, és a rövidzárlat alatt átment hozaganyag csak ráragad a varratéleire. Az áramhozzávető-hüvely és alapanyag közötti túl nagy távolság is az ívteljesítmény csökkenéséhez vezet. A hosszú huzalkinyúlás miatt az ellenállásból adódó felmelegedés a szabad huzalszakaszon csökkenti az ív teljesítményét, kevesebb energia jut az alapanyag megolvasztására. A túl nagy teljesítmény következtében túl sok alap- és hozaganyag ömlik meg. Az előrefutó ömledéken égő ív így az ömledék rosszabb hővezető képessége következtében nem tudja felmelegíteni az alapanyagot.

2.60. táblázat

A CO₂-ívponthegeztés technológiai irányértékei különböző vastagságú lemezekre

s_1+s_2 , mm	d_e , mm	I , A	U , V	t , s
1,5 + 6	1,6	320	34	2
1,5 + 18	2,4	440	40	4
3,0 + 12	1,6	450	36	2,5
3,0 + 15	2,4	480	39	5,0
3,0 + 15	2,5	450	39	5,0
5,0 + 12	1,6	450	37	5,0

2.61. táblázat

CO₂ ívponthegeztés technológiai irányértékei azonos vastagságú lemezekre a járműiparban

(tompakötés hegesztése részben gépesített eljárással)

s , mm	b , mm	Hegesztési helyzet	U , V	I , A	v_{huz} m/min	v_{heg} cm/min	Fajlagos szükséglet		
							hozaganyag, g/m	védőgáz, l/m	főidő, t_f min/m
1,0	0	PG	18	70	3,8	50	30	16	2,0
1,0	0,5	PG	16	55	2,8	40	28	20	2,5
1,0	0	PA	18	70	3,8	50	30	16	2,0
1,0	0,5	PA	16	55	2,8	40	28	20	2,5
1,5	0,5	PG	17	90	5,2	45	45	18	2,2
1,5	1,0	PG	17	90	5,2	40	51	20	2,5

1,5	0,5	PA	17	90	5,2	42	49	19	2,4
1,5	1,0	PA	17	90	5,2	40	51	20	2,5

Varratalak: I varrat.

Alapanyag: ötvözetlen finomlemez. Hozaganyag: Ø 0,8 mm-es huzalelektroda.

Védőgáz: M21 (ld. a 2.44. táblázatot), 8 l/min fogyasztással.

2.62. táblázat

Fogyóelektrodás, CO₂ védőgázás ívhegesztés során előforduló hibák és kiküszöbölésük

A hiba	Valószínű ok	A kiküszöbölés módja
Porozitás	Kevés vagy sok védőgáz	A szükséges gázmennyiség beállítása
	Szél vagy huzat elviszi a védőgázt	Gondoskodni kell megfelelő védelemről
	Fröcskölésből származó lerakódások vannak a gázfűvókában	Meg kell tisztítani a gázfűvókát
	A védőgáz nedves	Le kell fűtatni a szén-dioxidos palackból a vizet, vagy nedvességmegkötő készüléket kell alkalmazni, szükség esetén a palackot ki kell cserélni
	Befagyott a nyomáscsökkentő (gázreduktor)	Üzembe kell helyezni a nyomáscsökkentőre csatolható gázmelegítőt
	Nagy a huzalkinyúlás	A megfelelő huzalkinyúlással kell hegeszteni
	Túl nagy ívfeszültség	A helyes ívfeszültség beállítása
	A hegesztett anyag szennyezett (rozsdás, reve, festék stb.)	Az alapanyag megtisztítása
	A huzalelőtölés nem elegendő, ezért kicsi az áramerősség, a fürdő hamar megdermed és a gázok nem tudnak távozni, ill. porbeles huzal használata esetén a salak sem tudja kifejteni a hatását	A szükséges áramerősség beállítása a huzalelőtölési sebesség által
	A huzal nedves, rozsdás, szennyezett, a porbeles huzal nem ép	A huzal megtisztítása vagy kicserélése
Megakad vagy akadozik a huzal	A varrat túlhevül a helytelen hegesztési adatok következtében	A megfelelő technológiai adatok beállítása, ill. a hegesztési sebesség növelése
	A szorítóörgők nem szorítanak vagy túl erősen szorítanak és a huzalt ellapítják, így az beszorul az áramtadó hüvelybe	Be kell állítani az optimális görgőnyomást
	A huzal nincs egyenletesen felcsévélve a dobra, emiatt legombolyításkor meg-megakad	A huzalt befűzés előtt szemrevételezzük és csak egyenletes, szép felületű tekercset használjunk
A tompa vagy sarokvarrat felületén taraj található	A pisztoly tömlője gyűrött	Hegesztés közben a tömlő minél egyenesebben helyezkedjen el
A tompa vagy sarokvarrat felületén taraj található	Az adott áramerősséghez és huzalátmérőhöz túl kicsi az ívfeszültség, ill. túl nagy a hegesztési sebesség	A megfelelő ívfeszültség beállítása, a hegesztési sebesség csökkentése
A varrat felszíne sima, de fénytelen, szürke. Valószínű, hogy a varrat porózus, esetleg csak fémhártya található a felszínen, és alatta ún. alagút	Okai ugyanazok lehetnek, mint a porozitás okai	Az elhárítás módja megegyezik a porozitás elhárítási módjával

van		
Melegrepedés	Túl nagy ívfeszültség	Az ívfeszültség összehangolása az áramerősséggel
	Az alapanyag sok szenet, ként vagy egyéb szennyező anyagot tartalmaz	Az alapanyag vegyi összetételének az ellenőrzése
Salakzárvány (porbeles huzal használata esetén)	Kis ívfeszültség	Az ívfeszültség növelése
	A salak előrefolyik a kis hegesztési sebesség vagy helytelen ívelés miatt	A helyes hegesztési sebesség beállítása, a salak visszaszorítása ívnyomással
	A salak az előző rétegről maradt ott	A salakot minden réteg után el kell távolítani
Szélkiolvadás	Nagy az ívfeszültség	Helyes ívfeszültség beállítása
	A pisztoly vezetése helytelen	A pisztolyvezetésen módosítani kell, íveléskor a széleken ki kell tartani

2.63. táblázat

Fogyóelektródás, argon védőgázos ívhegesztés során előforduló hibák és kiküszöbölésük

A hiba	Valószínű ok	A kiküszöbölés módja
Erős fröcskölés	Kevés az argon	Az argon mennyiségének növelése
Az ív égése szabálytalan	Levegő szívódik be az ívbe	Az argon vezetékének átvizsgálása
	Hiba a huzaladagolásban	A huzaladagolót át kell vizsgálni
	Hibás a hegesztőpisztoly tömítése, vízszivárgás	A tömítés kicserélése
	Kevés vagy sok az argon	Az argonszolgáltatás ellenőrzése
	A fúvókát beszennyezte a fröcskölés	A fúvóka letisztítása
	Szennyeződés az alapanyagon	Az alapanyag letisztítása
	Hideg az anyag	Az anyag előmelegítése
	Szennyezett a hegesztőhuzal	A huzalcséve kicserélése
	Nem eléggé tiszta az argon	Az argonpalack kicserélése
A varrat porózus	Nem megfelelő a hegesztőhuzal	A huzalcséve kicserélése
	Szennyezett a hegesztőhuzal	A huzalcséve kicserélése
	Szennyeződés az alapanyagon	Az alapanyag letisztítása
	Nem eléggé tiszta az argon	Az alapanyag letisztítása
Nem megfelelő varratbeolvadás	Nem jól megválasztott hegesztési technológia	A hegesztőpisztoly tartását változtatni, az áramerősséget növelni, a hegesztési sebességet csökkenteni
	Túl nagy az áramátadó hüvely távolsága	Az alapanyag és a hüvely közötti távolságot csökkenteni
	A hegesztés kezdetén rossz a varrat minősége	Az ívet segédanyagon kell húzni vagy a hegesztés előtt az anyagot előmelegíteni
	Túl nagy a hegesztési sebesség	A hegesztési sebességet csökkenteni kell vagy az anyagot előmelegíteni
	Nagy az áramerősség	A huzaladagolás sebességének csökkentése
	Túl hosszú az ív	Az ív feszültségének csökkentése
Nincs ív vagy az ív azonnal kialszik	Túl kicsi az ív feszültsége	A feszültség helyes beállítása
	Nem folyamatos a huzaladagolás	A huzaladagoló berendezés átvizsgálása
	Megszakadt a vezérlőkábel, rossz a kapcsoló érintkezése	A vezeték és a kapcsoló felülvizsgálata
A huzal összeolvad a	Kicsi az adagolási sebesség	Az adagolási sebesség növelése

fűvókával	Túl nagy ívfeszültség	A feszültség beállítása
	Nem folyamatos a huzaladagolás	Az adagolóberendezés átvizsgálása
	Kicsi az adagológörgők nyomása	Az adagológörgők nyomásának növelése
Az ív az anyagban ég	Túl kicsi az ív feszültsége	A feszültség helyes beállítása
	Túl nagy a huzaladagolás sebessége	A huzaladagolás sebességének csökkentése

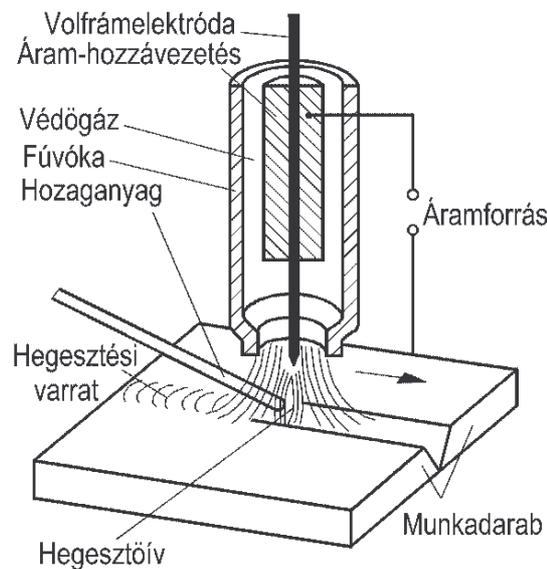
2.1.4. Volfrámelektrodás, semleges gázos ívhegesztés

(Kód: 141)

a) Az eljárás elve

A 2.66. ábrán látható a volfrámelektrodás, semleges gázos ívhegesztés elve. Az áramforrás egyik pólusa a volfrámelektrodára, a másik pólusa a munkadarabra van kapcsolva. *Az ív a volfrámelektroda és a munkadarab között ég.* Hegeszteni lehet hozaganyaggal vagy anélkül. A hozaganyag pálcá formában kézzel, vagy gépi adagolással áram hozzávezetéssel vagy áram hozzávezetés nélkül adagolható.

A védőgáz általában argon vagy hélium, vagy e két gáz keveréke. Az argon védőgázos, volfrámelektrodás ívhegesztés széles körben használatos neve: AWI-eljárás. A volfrámelektroda megfelelő védelmére a gáz legalább 99,95%-os tisztaságú legyen. Egyes esetekben ritkafémek hegesztéséhez 99,99%-os tisztaságra is szükség van.



2.66. ábra. A volfrámelektrodás, semleges gázos ívhegesztés elve

Az ipari argonra vonatkozó minőségi követelményeket a 2.64. táblázat foglalja össze. A palackokban lévő argon V_{ar} mennyisége 0,1 MPa (1 bar) nyomáson:

$$V_{ar} = p V_p / 1000k \text{ m}^3$$

ahol p a tartályban lévő argon nyomása 20 °C hőmérsékleten, MPa (bar); V_p a palack térfogata, m^3 ; k korrekciós tényező a nyomás átszámításához (ld. a 2.65. táblázatot). Ettől eltérő gázhőmérséklet esetén a 20 °C-ra vonatkoztatott nyomást úgy számítjuk ki, hogy a mért nyomást a k korrekciós tényezővel beszorozzuk.

Az ipari argon minőségi követelményei

Összetétel*, jellemzők	Követelmény
Argontartalom	99,95
Nitrogéntartalom	0,03
Oxigéntartalom	0,01
Szénhidrogének	0,005
Összes szennyezés	0,05
Harmatpont, °C	-40
A töltési tömeg tűrése (20 °C-on), %	± 5

* Térfogatszázalékban, legfeljebb.

A nyomásátszámítás korrekciós tényezői

Az argongáz hőmérséklete, °C	Korrekciós tényező, <i>k</i>	Az argongáz hőmérséklete, °C	Korrekciós tényező, <i>k</i>
+45	0,921	+ 5	1,054
+40	0,936	0	1,073
+35	0,951	- 5	1,093
+30	0,967	-10	1,114
+25	0,983	-15	1,136
+20	1,000	-20	1,158
+15	1,017	-25	1,181
+10	1,035	-30	1,206

Az utóbbi években könnyűfémek hegesztésére argon-hélium kevert gáz is elterjedt, mert elősegíti a mélyebb és szélesebb beolvadást.

A volfrámelektroda a hegesztőív létrehozásakor anódként vagy katódként szereplő, bevonat nélküli volfrámpálca, amelyben egyes esetekben oxidadalékok vannak az elektron kibocsátás fokozására. Erre a célra leggyakrabban tórium-oxidot (ThO₂), cirkónium-oxidot (ZrO₂), lantán-oxidot (LaO₂), és az utóbbi időben cérium-oxidot (CeO₂) alkalmaznak.

A volfrámelektrodák összetétele a 2.66. táblázatban található.

Az oxidadalékok általában finom eloszlásban helyezkednek el a volfrám alapszövetben, de az ún. kompozit elektródák tiszta volfrám magból és az azt körülvevő oxidbevonatból állnak. Az ilyen jellegű elektróda megfelel a tiszta volfrámelektróda és az oxidokat tartalmazó volfrámelektróda minőségének egyaránt, de hátránya, hogy kúpos kivitelben nem gyártható.

A volfrámelektródák 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,4; 3,2; 4,0; 6,4 és 10 mm átmérővel készülnek. Tűrésük 2,5 mm átmérőig $\pm 0,05$, felette $\pm 0,1$ mm. Az elektródák hossza: 50; 70; 150 és 175 mm, ± 1 mm tűréssel.

2.66. táblázat

A volfrámelektródák összetétele

Jelölés	Összetétel, tömeg százalék		Színjel*
	oxidalék	volfrám	
Wp	-	99,8	Zöld
WT 4	ThO ₂ =0,35...0,55	a többi	Kék
WT 10	Th O ₂ =0,80...1,20	a többi	Sárga
WT 20	Th O ₂ =1,70...2,20	a többi	Piros
WT 30	Th O ₂ =2,80...3,20	a többi	Lila
WT 40	Th O ₂ =3,80...4,20	a többi	Narancs
WZ 3	Zr O ₂ =0,15...0,50	a többi	Barna
WZ 8	Zr O ₂ =0,70...0,90	a többi	Fehér
WL 10	La O ₂ =0,90...1,20	a többi	Fekete
' WC 20	Ce O ₂ =1,80...2,20	a többi	Szürke

* A kompozitelektródák színjelét egy másik, rózsaszín jellel kell kiegészíteni.

A szennyezők megengedett értéke legfeljebb 0,2%.

Az oxidadalékos volfrámelektródák felhasználási területe:

- tórium-oxidos: általános felhasználási terület;
- cirkónium-oxidos: atomerőművi berendezések, egysége hegesztése, váltakozó áramhoz kitűnő;
- lantán-oxidos: plazmahegesztéshez alkalmas.

A volfrámelektródák áramterhelhetősége a 2.67 táblázatban található.

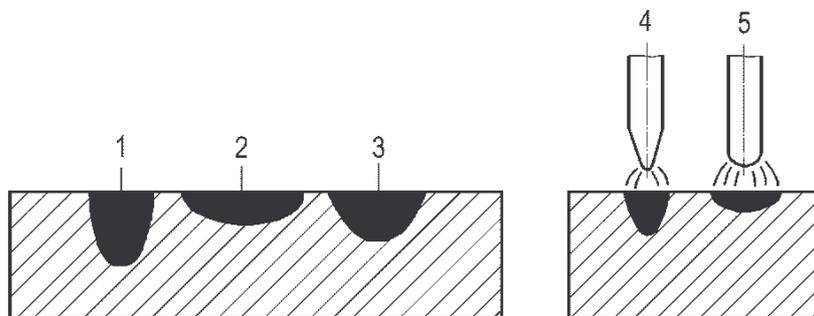
2.67. táblázat

A volfrámelektródák áramterhelhetősége

d _e , mm	Egyenáram, polaritás		Váltakozó áram
	-	+	

1,0	10...60	-	10...40
1,6	50...150	10...20	40...90
2,4	100...230	15...25	60...150
3,2	150...300	20...45	100...200
4,0	200...400	35...55	150...250
6,4	450...800	70...120	250...400

* Szűrőkondenzátorral dolgozva. Szűrőkondenzátor nélkül mit egy 10%-kal nagyobb az áramerhelhetőség.

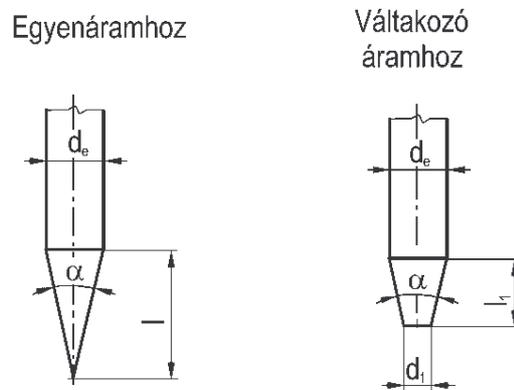


2.67. ábra. A beolvadás mélységét befolyásoló tényezők

1 egyenárammal, negatív pólusról hegesztve; 2 egyenárammal, pozitív pólusról hegesztve; 3 váltakozó árammal hegesztve; 4 hegyes kialakítású elektróda; 5 tompa kialakítású elektróda

Polaritás. Általában egyenáramról, egyenes polaritással (az elektróda a negatív pólus) hegesztünk, de főleg vékony lemezekhez célszerű fordított polaritást használni. Az eljárás különösen alkalmas impulzusívhegesztésre. Alumíniumhoz és ötvözetekhez váltakozó áramot használunk. A váltakozó áram megtisztítja a volfrámelektrodát a hegesztés közben felszedett szennyeződésektől. A beolvadási mélységet és szélességet az áramfajta és a polaritás megválasztása, valamint az elektróda formája jelentősen befolyásolja (2.67. ábra). Az elektróda csúcsának kialakítására a 2.68. táblázatban található irányértékek.

2.68. táblázat



Méretetek mm-ben

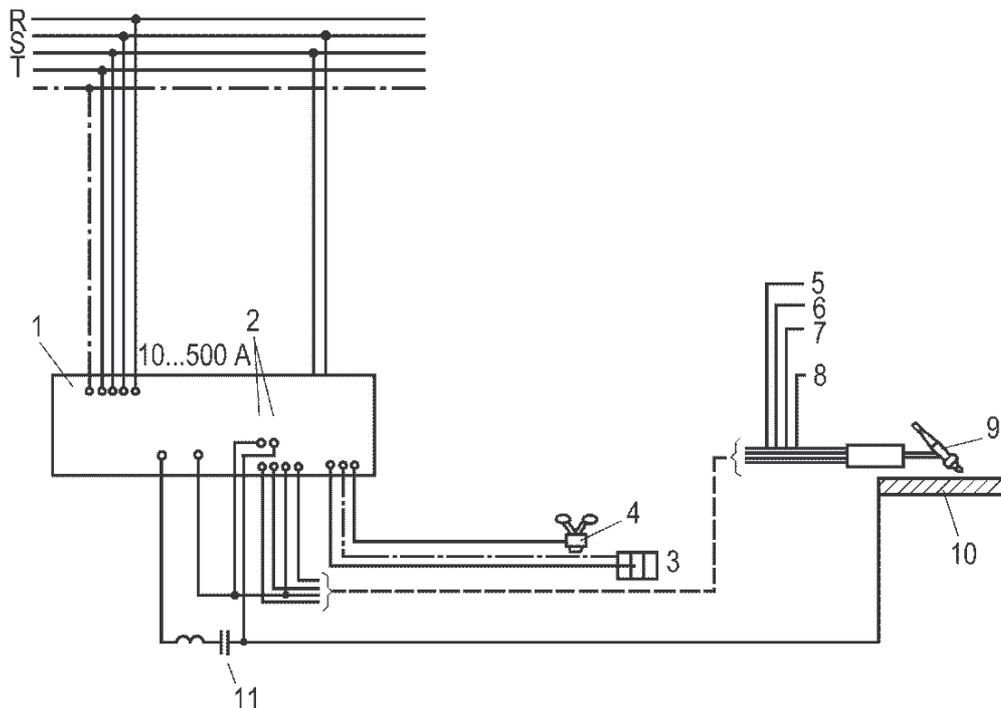
d_e	l	d_I	I_I
1,0	2,5	0,5	1,2
1,6	4,0	0,8	2,0
2,4	6,0	1,2	3,0
3,2	8,0	1,6	4,0
4,0	10,0	2,0	5,0

$\alpha = 20 \dots 25^\circ$ mindkét esetben.

Az AWI-eljárás változatai: az AWI-ponthegesztés, valamint az AWI-csaphegesztés.

b) A volfrámelektrodás ívhegesztés berendezései és eszközei

Az áramforrás. A kézi AWI-eljáráshoz eső statikus jelleggörbéjű áramforrást kell választani. Gyakorlatilag a kézi ívhegesztéshez használt áramforrások is megfelelnek, hegesztéskor azonban nagyobb bekapcsolási idővel kell számolni. Mivel az AWI-eljárás során egyen- és váltakozó áram egyaránt használatos, elterjedtek *a kombinált berendezések* is, amelyek az egyik áramnemről a másikra átkapcsolhatók. Akár transzformátor, akár egyenirányító használata esetén fontos azonban, hogy az áramforrás a kis áramtartományban finoman szabályozható legyen, mert AWI-eljáráshoz leginkább ez az áramerősség-tartomány szükséges.

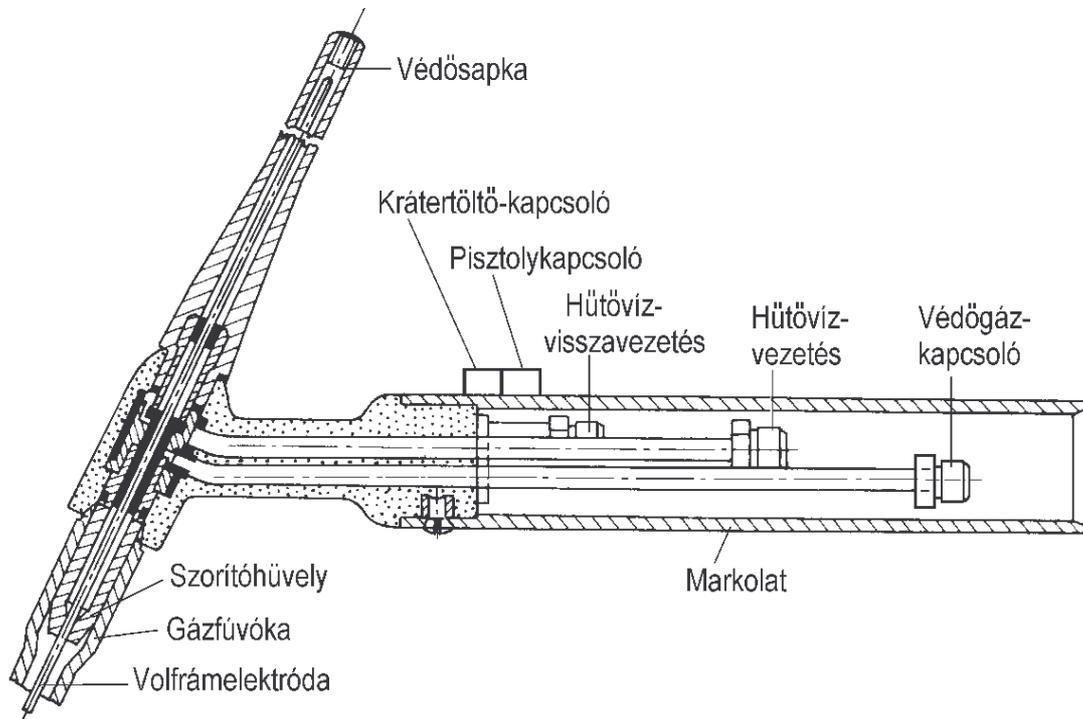


2.68. ábra. Vízhűtéses AWI-berendezés vázlata

1 áramforrás; 2 impulzusgenerátor; 3 víz-hűtőkör; 4 gázellátás; 5 argonellátás 6 vízellátás; 7 vízelvezetés és áramkábel; 8 vezérlőkábel; 9 hegesztőpisztoly; 10 munkadarab; 11 szűrőkondenzátor (csak váltakozó áramhoz)

A korszerű áramforrások fokozat nélküli beállítást és a hegesztési adatok előzetes beprogramozását teszik lehetővé, és alkalmasak az impulzusárammal való ívhegesztésre. Az AWI-eljáráshoz szükséges berendezés vázlata a 2.68. ábrán látható.

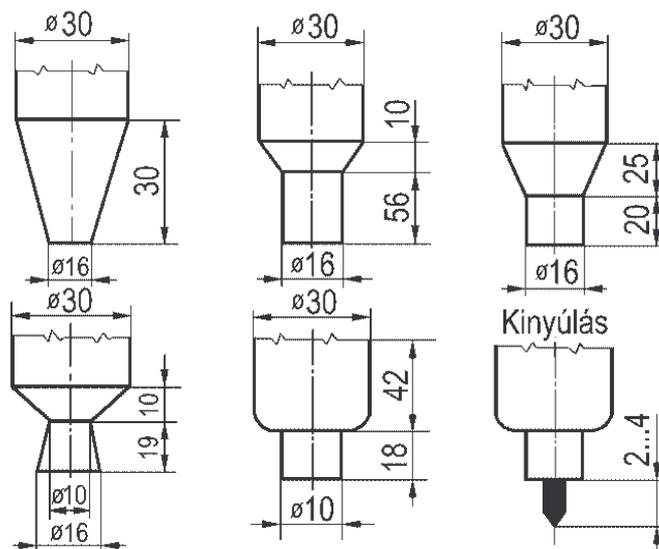
Hegesztőpisztolyok, hegesztőtömlő. A hegesztőpisztolyok szintén lehetnek léghűtésesek vagy vízhűtésesek. 100 A áramerősség felett célszerű vízhűtéses pisztolyt használni (2.69. ábra).



2.69. ábra. Vízhűtéses AWI-pisztoly

A hegesztőtömlő általában a védőgázt és az áramot, vízhűtéses pisztolyoknál a hűtővizet is vezeti. Az áramot bevezető csupasz rézkábelt az elvezetett vízzel hűti.

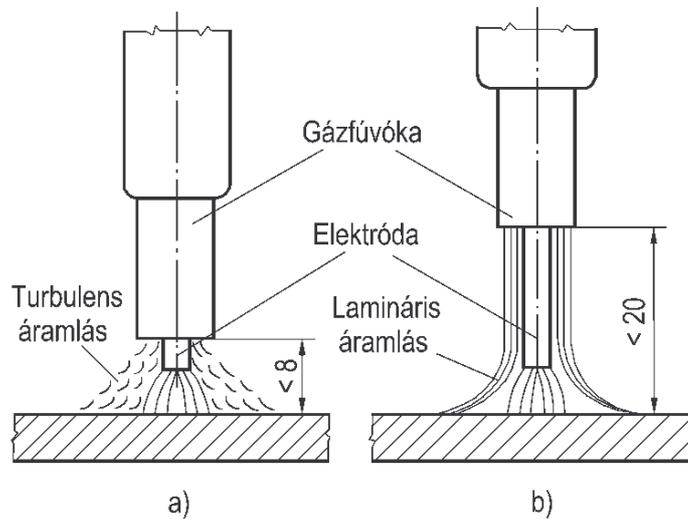
A hegesztőpisztolyok cserélhető része a védőgázt irányító *fúvóka*. Az AWI-eljáráshoz használatos fúvókátípusok, valamint az elektróda kinyúlása a 2.70. ábrán látható. A volfrámelektroda rövid kinyúlása következtében a fúvóka alsó pereme 8...10 mm-re van az ömledéktől, ezzel akadályozza a rálátást. Ezt küszöböli ki a gázlencsés fúvókakialakítás (2.71. ábra). Beszerezhetők átlátszó anyagú fúvókák is.



2.70. ábra. AWI-eljáráshoz használatos fúvókák és volfrámelektroda kinyúlása

A fűvókák leginkább kerámiából készülnek, de nagy áramerősséggel (300 A felett) dolgozó technológiák esetében fém gázfűvókák is használatosak. Gépi hegesztés esetén a fémfűvókák maguk is vízzel hűtöttek.

A kézi hegesztőpisztolyon található a vezérlőegységet működtető kapcsoló.



2.71. ábra. A védőgáz áramlása a) gázlencsével; b) gázlencse nélkül

Nehezen hozzáférhető helyek hegesztésére az ismertetett pisztolyoktól eltérő szerkezeti kialakításúakat is használunk, pl. állítható fejjel vagy egyenes szárral. Ez utóbbiak az ún. *ceruzaégők*.

A **vezérlőberendezés** az áramforrásba beépítve vagy önálló egységként is használatos az iparban. Az önálló egység különböző áramforrásokhoz csatlakoztatható.

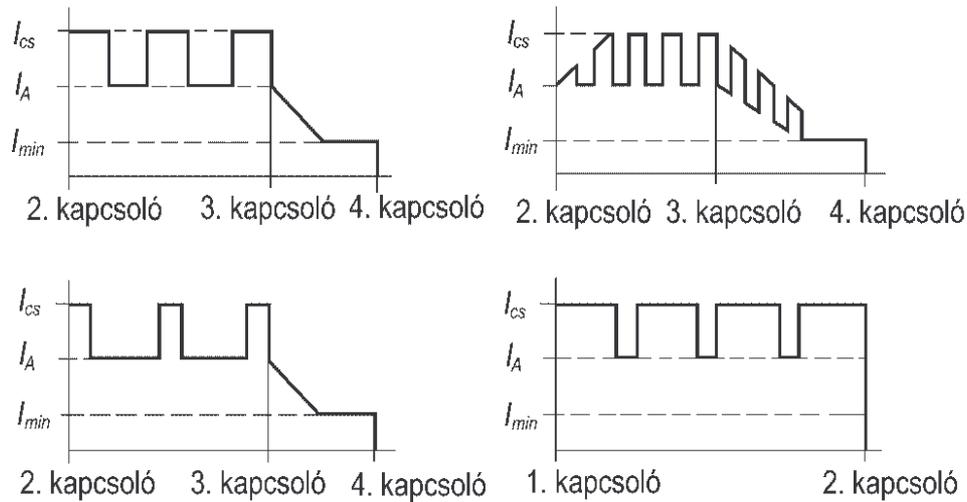
Fő feladatai:

- áramrelék kapcsolása;
- ívgyújtás segédegységének kapcsolása;
- védőgáz szelepének nyitása és zárása;
- krátertöltő egység kapcsolása;
- gáz- és vízellátás ellenőrzése.

Az előbbi feladatok kétlépcsős, ill. néglépcsős kapcsolással működtethetők a hegesztőpisztolyról.

A kétlépcsős kapcsolóval a kívánt hegesztési adatokat az áramforrásra be kell állítani. A pisztoly 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.

Néglépcsős kapcsoláskor a gomb benyomásával nyit a gázszelep, megtörténik a nagyfrekvenciás ívgyújtás, elengedésekor folyik az áramforrásra beállított hegesztőáram. A gomb másodszori benyomásával az áram lecsökken a beállított minimális értékre. Az áramlefutás ideje szintén előre beállítható. A gomb másodszori elengedésre kikapcsolja az áramot, és a védőgáz a beállított időértéknek megfelelően utánáramlik. A beállítható áramgörbékre példa a 2.72. ábrán látható.



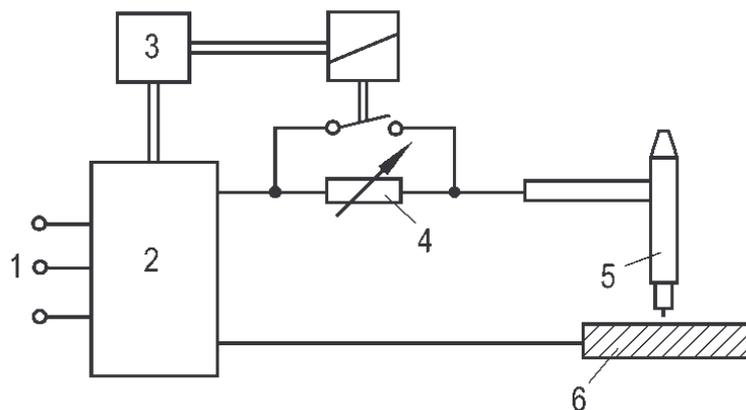
2.72. ábra. Áram beállítási görbék

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

Váltakozó áramú hegesztés esetén a gyújtást egyenárammal végezzük, majd a berendezés automatikusan átkapcsol váltakozó áramra.

Az ún. *lift arc-gyújtás* igen kis áramerősségű érintéses ívgyújtás, célja, hogy ne kerüljön volfrámzárvány az érintési helyen az ömledékbe. Az elektróda felemelésekor először gyenge ív ég, majd a vezérlés a teljes áramerősséget bekapcsolja.

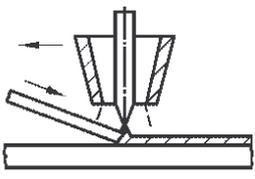
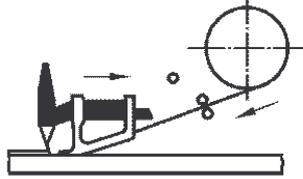
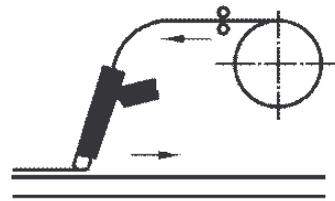
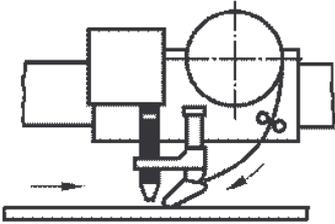
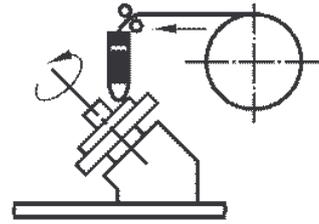
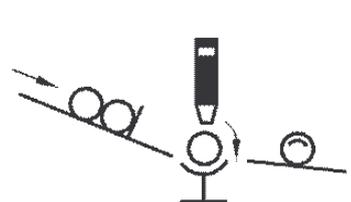
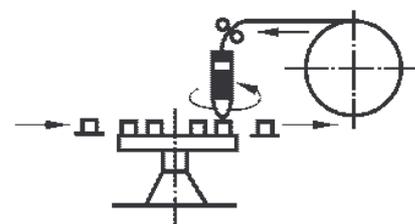
A krátertöltő berendezés (2.73. ábra) feladata, hogy a hegesztés befejezésének helyén ne keletkezzen kráter. A hegesztés folyamat befejezésekor ellenállást kapcsol be, amelyen keresztül kisebb áram folyik. Ezt adott időtartam után időrelé kapcsolja ki. A kapcsolás lehet két- vagy többlépcsős, ill. végrehajtható folyamatos áramerősség-csökkentéssel is.



2.73. ábra. Krátertöltő berendezés vázlatja

1 hálózati csatlakozás; 2 áramforrás; 3 időrelé; 4 ellenállás; 5 hegesztőégő; 6 munkadarab

Az AWI-eljárás gépesítése

Művelet	Példák		A mozgás módja		
	AWI	CO ₂ /AFI	éghető	adagolás	
				hozaganyag	munka
szűk			K	K	K
szűkített			K	G	K
szűkített			G	G	K
szűkített			G	G	K

K kézzel, G géppel.

A hegesztőautomaták az eljárás gépesített változatának berendezései. A gépesítés, ill. automatizálás fokozatait a 2.69. táblázat foglalja össze.

A hozaganyag-adagolással működő hegesztő-berendezések elsősorban kis átmérőjű, vékony falú, erősen ötvözött acél-, réz vagy alumíniumötvöztetésű csövekhez használatosak. A hegesztő fej egyszer kb. 380°-ban fordul meg a csövön, miközben a hegesztési helyzetnek megfelelően változik a hegesztőáram.

Legelterjedtebbek az orbitális csőhegesztő automata berendezések. A programozható áramforrások bevezetésével ezen automaták fokozott elterjedésével lehet számolni.

A hozaganyag nélküli gépesített hegesztés alkalmazási területe az erősen ötvözött, vékony falú csövek hosszvarratainak elő állítása, ill. vékony táblalemezek tompahegesztése. Ezek a berendezések általában két vagy három, egymás után megfelelő távolságra beállított hegesztőéggővel vannak felszerelve. Az első elektróda előmelegíti az alapanyagot, a második elektróda biztosítja a mély beégést, a harmadik elektróda íve elsimítja a varrat felületet.

c) Hozag- és segédanyag

A bevonat nélküli hegesztőpálcák 1; 1,2; 1,6; 2; 2,4; 3; 3,2; 4 és 5 mm átmérővel, általában 1000 mm hosszban készülnek. Jelölésük és vegyi összetételük a 2.70. táblázatban található.

A leginkább használt hegesztőpálca, ill. huzalelektroda DIN-EN szerinti jelölését, vegyi összetételét és felhasználási területét ld. a 2.39. táblázatban.

2.70. táblázat

Volfrámelektrodás, védőgázas ívhegesztő pálcák

(az MSZ ISO 636 alapján)

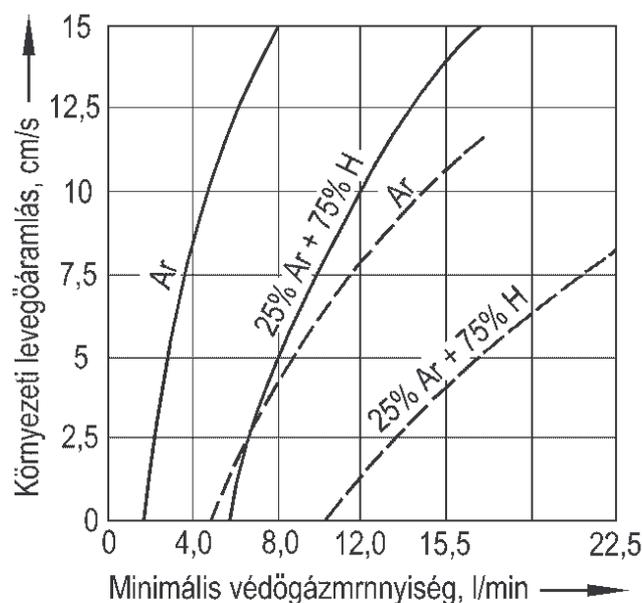
Jel	C	Si	Mn	P _{max.}	S	Mo	Cr	Cu*
T I	0,06...0,13	0,5...0,8	1,0...1,3	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
T II	0,06...0,13	0,7...1,0	1,3...1,6	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
T III	0,08...0,12	0,5...0,8	0,9...1,3	0,02	0,02	0,02	0,15	0,15
T IV	0,08...0,14	0,5...0,8	0,8...1,2	0,02	0,02	0,4...0,6	1,0...1,3	0,15
T V	max. 0,1	0,5...0,8	0,8...1,2	0,02	0,02	0,9...1,2	2,3...3,0	0,15

*Az értékek a rézbevonás előtti állapotra vonatkoznak (csak az alapanyag réztartalmára). Ha a hegesztőpálcán rézbevonat van, az összes réz mennyisége (legalább 1,6 mm átmérőjű hegesztőpálcák esetében) ne legyen több 0,5%-nál.

d) A volfrámelektrodás, semleges gázas ívhegesztés technológiája

A hegesztési él és illesztés előkészítése a volfrámelektrodás, semleges gázas ívhegesztéshez megegyezik a bevontelektrodás hegesztés előkészítésével (ld. a 2.4. táblázatot).

A védőgáz mennyiség beállítási értékei a 2.74. ábráról olvashatók le.



2.74. ábra. Segédlet védőgáz mennyiségi beállításához

a fúvóka átmérője 16 mm; a fúvóka távolsága az alapanyagtól: -----5 mm - - - - 14 mm

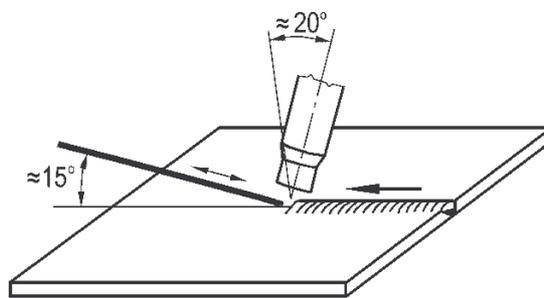
A hegesztőpálca d átmérője:

$$d = s/2 + 1 \text{ mm}$$

ahol s a lemezvastagság, mm.

Lemez *fűzővarrainak* elkészítésekor ügyelni kell, hogy a varrat kezdete és vége szabadon maradjon, a megbízható beolvadás végett. A fűzővaratok távolságának az anyagvastagsághoz kell igazodnia. Az AWI-eljárás során figyelembe kell venni a relatív lassú hegesztésből adódó nagyobb elhúzóerőket.

A hegesztőégő tartása és vezetése. AWI-eljárással általában balra hegesztünk (2.75. ábra), jobbra csak vastag anyagokat hegesztünk, néha. A volfrámelektroda csúcsa a munkadarabtól 3...6 mm távolságban legyen. Általában az ív hossza ne legyen nagyobb a hegesztőpálca átmérőjénél. Ezért sarokvarrat hegesztésekor a 2.70. ábrán megadott elektrodakinyúlástól legfeljebb 10 mm-ig el lehet térni. Célszerűbb azonban gázlencsés hegesztőpisztolyt használni.

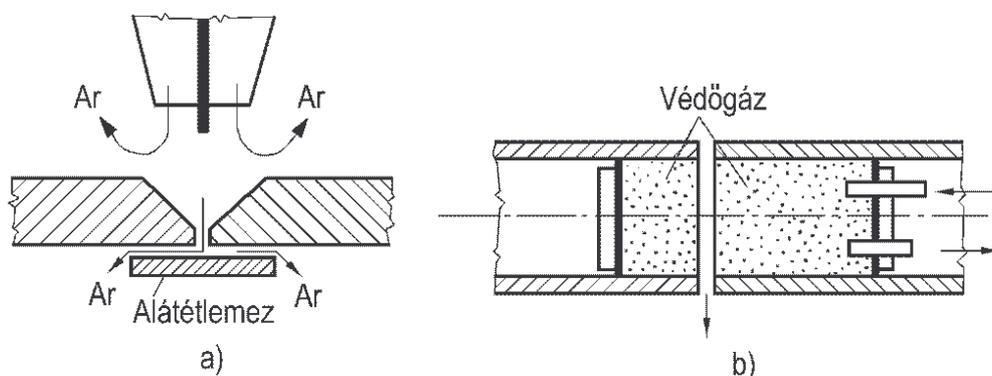


2.75. ábra. A hegesztőpisztoly és a hozaganyag tartása AWI-hegesztéskor

Gyökvédelem. A hegesztett anyag minőségétől függően az ömledéket és a felhevült alapanyagot gyakran gyökoldalról is védeni kell a levegőtől.

Lemez *gyökhézag*gal való hegesztése esetén elegendő a gyökoldalról egy fémsín alátét. A koronaoldalról beáramló védőgáz elegendő védelmet nyújt (2.76. a ábra).

Csővek hegesztésekor - amennyiben technológiailag lehetséges - a csővégeket kell lezárni és a belső teret feltölteni védőgázzal (2.76. b ábra). Lényegesen drágább megoldás az alátétgyűrűs varrat-előkészítés, ahol a lemezhegesztéshez használatos fémsín alátétet hasonló a gyökvédelem. A gyökvédelem jelentősége nemcsak a nemkívánatos kémiai reakciók megakadályozásában van, hanem elősegíti a varrat gyökoldali kialakítását, hűtőhatásánál fogva csökkenti az átroskadás veszélyét.



2.76. ábra. Gyökvédelem az AWI-eljárás folyamán

a) lemezhegesztés; az alátétlemez saválló acélokhoz réz, réz és alumínium hegesztéséhez pedig saválló acél; b) csőhegesztés

2.71. táblázat

Az AWI-eljárás technológiai irányértékei acélok hegesztésére

s , mm	I , A	d_e , mm	D , mm	Argon-fogyasztás, l/min	d_p , mm
1	30... 60	1	6	6	1
1,5	50...100	1...1,6	8	8	1,5
2	60...100	1...1,6	8	8	1,5...2
3	90...150	1,6...2	8...10	8...10	2...3
4	110...170	2	10	10	3
5	130...200	2...2,4	10	10	3...4
6	160...230	2,4	10	10	4...6
8	200...290	2,4...3,2	10	10	4...6
10	250...350	3,2...4	10...12	10...12	4...6
12	290...410	4	10...12	10...12	4...6

d_e a volfrámelektroda átmérője; d_p a hegesztőpálca átmérője; D a fúvóka átmérője.

2.72. táblázat

Az AWI-eljárás technológiai irányértékei alumínium hegesztésére

s , mm	Hegesztési helyzet	I , A	d_e , mm	D , mm	Argon-fogyasztás l/min	d_p , mm
1	PA	45...65	1	6	6	1,5...2
	PF	40...60	1	6	7	1,5...2
	PE	35...55	1	6	8	1,5...2
2	PA	80...110	1,6	8	8	2...3
	PF	70...100	1,6	8	9	2...3
	PE	70...90	1,6	8	10	2...3
3	PA	110...150	2,4	8	8	3
	PF	100...135	2,4	8	9	3
	PE	90...130	1,6...2,4	8	10	3

4	PA	145...185	2,4	10	10	3
	PF		2,4	10	11	3
	PE		2,4	8	10	3
5	PA	175...220	2,4	10	10	3...4
	PF	160...200	2,4	10	11	3...4
	PE	150...190	2,4	10	12	3...4
6	PA	200...250	3,2	12	12	4
	PF	180...225	2,4	10	10	4
	PE	190...210	2,4	10	10	4
8	PA	250...320	3,2...4	12	12	5
	PF	225...290	3,2	12	13	S
	PE	210...270	3,2	12	14	5
10	PA	300...370	4	12	12	5...6
	PF	270...330	3,2...4	12	13	5...6
	PE	255...315	3,2...4	12	14	5...6
12	PA	350...420	4...5	14	14	6
	PF	315...380	4	14	15	6
	PE	300...360	4	14	16	6

d_e a volfrámelektroda átmérője;

d_p a hegesztőpálca átmérője;

D a fűvóka átmérője

2.73. táblázat

Az AWI-eljárás irányértékei réz hegesztésére

s , mm	Varratalak	Varrat-szám	I , A	d_e , mm	d_p , mm	v_{heg} , cm/min
1,0	I	1	30...60	1,0	1,6	32
2,0	I	1	90...110	1,6	1,6	30
3,0	I	1	120...140	1,6	2,4	30
4,0	I	2	150...190	2,4	3,2	25
5,0	I	2	200...250	3,2	3,2	22

6,0	V	2	275...350	4,0	4,0	20
-----	---	---	-----------	-----	-----	----

d_e a volfrámelektroda átmérője; d_p a hegesztőpálca átmérője.

Az adatok egyenáram negatív pólusáról, vízszintes helyzetben hegesztve érvényesek.

A technológiai adatok beállítása. A hegesztéshez szükséges áramerősség 10 mm anyagvastagságig közelítőleg:

- acélok egyenáramú, negatív pólusú hegesztésekor:

$$I = s \times 45 \text{ A};$$

- alumínium váltakozó áramú hegesztésekor:

$$I = s \times 40 \text{ A},$$

ahol I az áramerősség; s az anyagvastagság, mm.

A hegesztési jellemzők irányértékeit a 2.71...2.73. táblázat foglalja össze.

A vízszintes helyzetű hegesztésre megadott értékeket függőlegesen és fej feletti helyzetben 10...20%-kal csökkenteni kell.

A fémek hegeszthetőségének alsó határa:

- acélé: 0,3 mm,
- rézé és alumíniumé: 0,5 mm.

Az anyagvastagság felső határát minden esetben a gazdaságosság szabja meg.

Az AWI-eljárás során előforduló hibákat és kiküszöbölésüket a 2.74. táblázat foglalja össze.

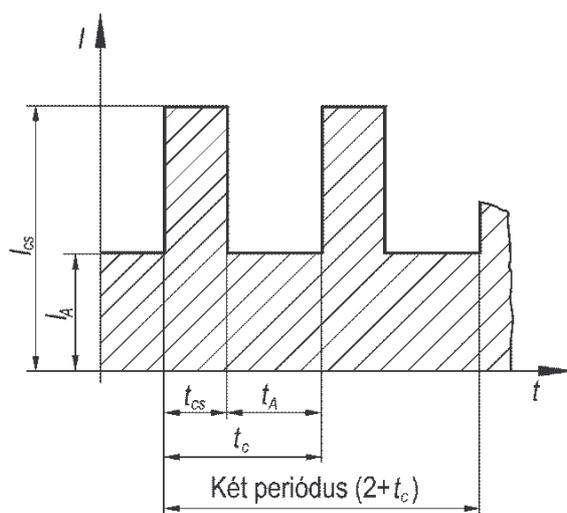
2.74. táblázat

Az AWI-eljárás során előforduló hibák és kiküszöbölésük

A hiba	Valószínű ok	A kiküszöbölés módja
Nincs ív	A transzformátor áram hozzávetésének primer oldali megszakadása	A biztosítékok ellenőrzése
	Szekunder oldali szakadás a hegesztőkábelekben	A tárgykábel és a hegesztőkábel ellenőrzése
	A nagyfrekvenciás berendezés hibás	Az NF stabilizátor szikraközének utánállítása
	Túl kicsi a hálózati feszültség	A kapcsoló berendezés ellenőrzése a hálózati feszültség beállítása szempontjából
	A transzformátor hibás	Ellenőrizni kell a transzformátort
Az ív megszakad	A nagyfrekvencia túl kicsi	A szikraköz utánállítása
	A víznyomás ingadozik	A víznyomásnak kb. 0,2 MPa-ra való növelése
	Túl nagy a volfrámelektroda átmérője	Az elektróda kicserélése
	Rossz a tárgykábel-csatlakozás	A tárgykábelnek közvetlenül a munkadarabra való csatlakozása
Gyújtási nehézségek	Az áramerősség túl kicsi	Az áramerősség növelése

	A varrat kezdetén a munkadarab túl hideg	Az ívet hosszabb ideig a kezdés helyén kell tartani vagy előmelegíteni
A varrathernyő átroskad	Az áramerősség túl nagy	Az áramerősséget csökkenteni vagy a hegesztési sebességet növelni kell
A varrat fekete	Túl kevés argon	Az argon adagolás növelése
	Az argonvezeték ereszt	Az argon áramlása közben befogjuk a pisztoly fűvókáját, ekkor, ha az argonvezeték nem ereszt, a rotaméter golyója visszaesik. Az argonvezeték vízzel való ellenőrzése
	Az argonvédelem szél vagy huzat miatt nem kielégítő	Árnyékolni kell a hegesztési helyet
	Túl sok argon turbulenciát okoz, levegőt juttat a varrathoz	Az argon adagolást csökkenteni kell
	A volfrámelektroda szennyezett	A volfrámvégét le kell köszörülni
	A munkadarab felülete szennyezett	A munkadarab megtisztítása kémiai vagy mechanikai módszerekkel
	A pisztoly tömítettsége nem megfelelő	A tömítéseket ellenőrizni kell
	Túl hosszú ív	Az elektróda és a munkadarab közti távolság csökkentése
A volfrám-elektroda gyakran hozzáér a munkadarabhoz	Kedvezőtlen hegesztési helyzet	A hegesztési helyzet változtatása
	Az elektróda túlságosan kinyúlik a fűvókából	Az elektróda kinyúlását helyesen kell beállítani
Az elektróda gyors elhasználódása.	Túl nagy az áramerősség	Nagyobb átmérőjű elektródát kell választani
	Túl rövid az argon utánfolyás	Be kell szabályozni az argonutánfolyós idejét
A varrat a hegesztés alatt vagy után megreped	Rosszul végrehajtott hegesztés	A hibás részt ki kell köszörülni és ellenőrzött hegesztő berendezéssel újrahegesztani
	Rossz hegesztési sorrend	Új hegesztési sorrendet kell meghatározni

Az impulzusos AWI-eljárás alapelve, hogy a hegesztőáram nem állandó, hanem előre beállított, meghatározott frekvenciával lüktet. Az impulzusfrekvencia meglehetősen kicsi, 3...10 Hz Az áram le- és felfutását a 2.77. ábra szemlélteti.



2.77. ábra. Áram le- és felfutás négyszögletes áramimpulzus esetén

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 hegesztési jellemzők beállítása már nem a hegesztő feladata. A technológiai adatok nagy számára való tekintettel a hegesztési utasításon előre meg kell adni külön-külön a beállítani értékeket. A hegesztési jellemzők hatását a varratkialakítás: a 2.75. táblázat tartalmazza.

Az impulzushegesztő áramforrásokat gyártó cégek egy-egy adatsomagot már beprogramoznak a gépbe, amelyek gombnyomással választhatók, de ebben az esetben is igen magas képzettségű hegesztő szakmunkás szükséges az üzemeltetéshez.

2.1.5. Plazmaívhegesztés (Kód: 15)

a) Az eljárás elve

A hegesztéshez használt plazmasugarat rendszerint a szobahőmérsékleten gázállapotú anyagokból - argonból, hidrogénből, nitrogénből vagy keverékekből - állítják elő. A nagy teljesítménysűrűség elérésére megfelelően kialakított plazmafúvóka szűkíti az ívet. A hegfürdőt a külső fúvókán odavezetett semleges vagy aktív, vagy e gázokból álló gázkeverék védi.

Három eljárás ismeretes:

- Plazmasugár- (belső ívű) hegesztés (2.78. a ábra), amikor a hegesztőív a volfrámelektroda és a plazmafúvóka belső fala között ég.
- Plazmaív- (külső ívű) hegesztéskor (2.78. b ábra) az ív a volfrámelektroda és a munkadarab között ég.
- A kombinált plazmahegesztés (2.78. c ábra) a plazmaív- és a plazmasugár-hegesztés kombinációja, amelynek során átvitt és át nem vitt ív is részt vesz a hegfürdő kialakításában.

A plazmahegesztés lehet kötő- és felrakóhegesztés is.

A plazmatechnika alkalmazási lehetőségeit az anyagvastagság és áramerősség függvényében a 2.79. ábra tekinti át. A mikroplazma-hegesztést általában 0,01...1,0 mm-es anyagvastagságig max. 50 A hegesztési áramig alkalmazzák. Különösen 1 A-nél kisebb áramerősség esetén van nagy jelentősége a szűkített plazmaív használatának, amikor még mindig megfelelő munkapont állítható be. Acélt, nikkelt, rezet, titánt és ötvözeteket egyenárammal, negatív polaritással hegesztünk, alumíniumot, magnéziumot és ötvözeteket egyenárammal, de pozitív polaritással.

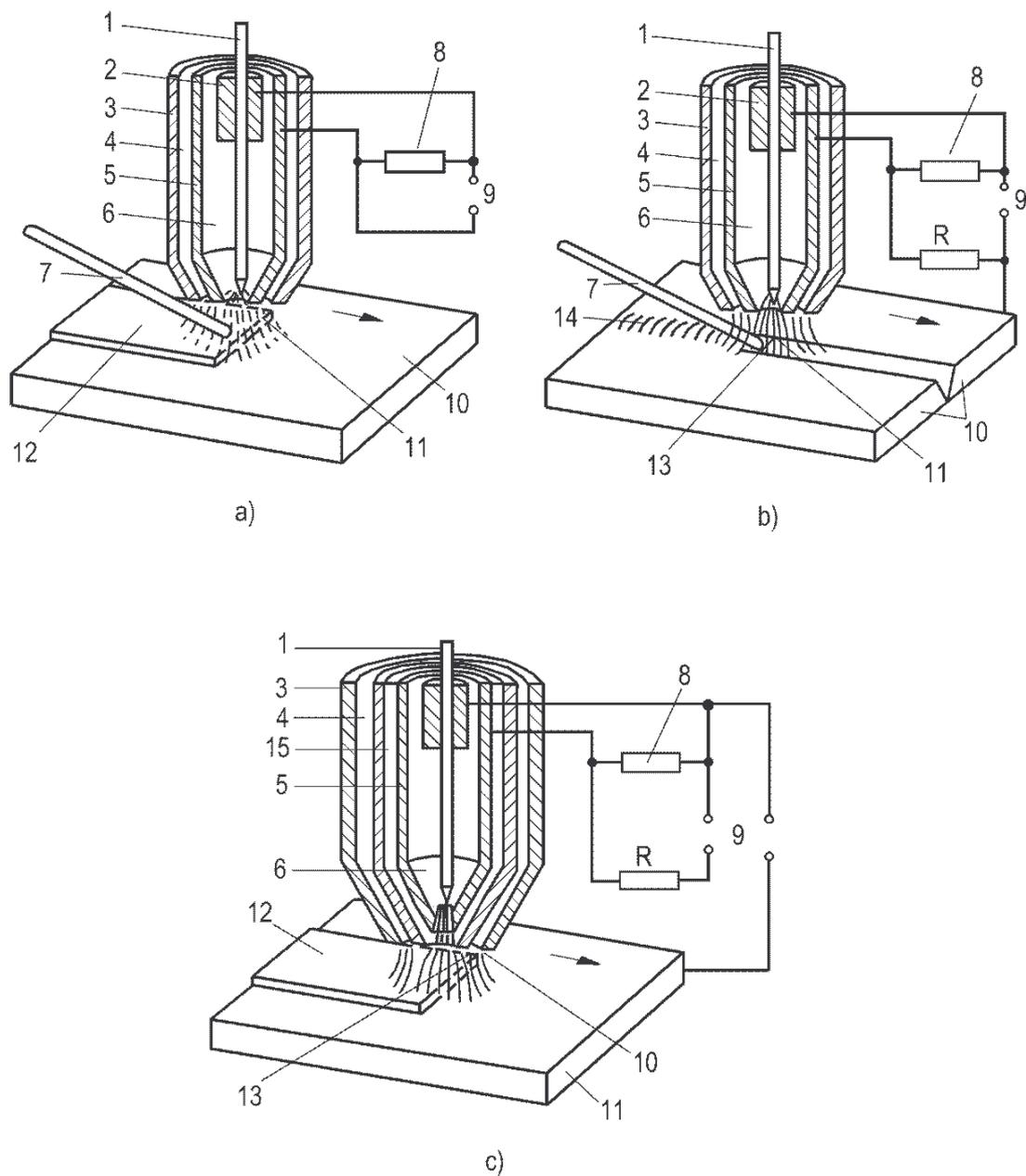
1,5...10 mm vastag anyagok 40...350 A-es áramerősség-tartományon belül hegeszthetők.

A felrakó plazmahegesztés lehet

- hevített huzalos (2.80. a ábra),
- poradagolásos (2.80. b ábra),
- plazma-AFI (2.80. c ábra).

b) A plazmahegesztés berendezései

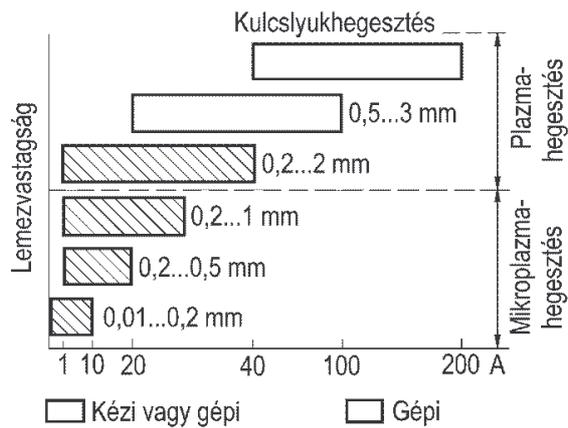
A mikroplazma hegesztő-berendezés áramforrásból, vezérlőegységből, gázellátó egységből és hegesztőtömlő-pisztoly egységből áll.



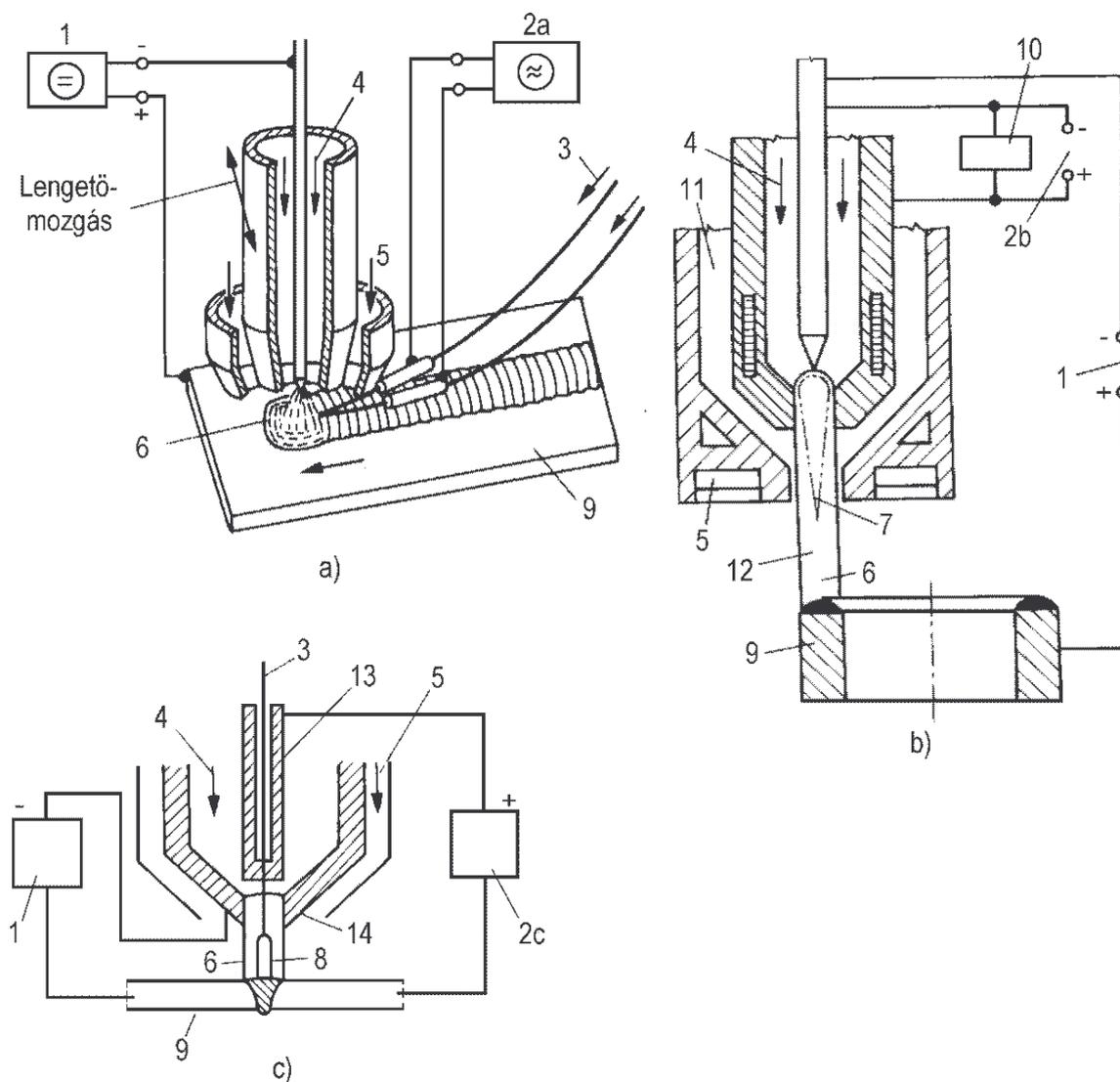
2.78. ábra. A plazmahegesztés eljárásváltozatai

a) plazmasugár-hegesztés; b) plazmaívhegesztés; c) kombinált plazmahegesztés

1 volfrámelektroda; 2 áram-hozzávezető hüvely; 3 védőgátfűvőka; 4 védőgáz; 5 plazma gázfűvőka; 6 plazmagáz; 7 hozaganyag; 8 ívgyújtó berendezés; 9 áramforrás 10 munkadarab; 11 hegesztőív a volfrámelektroda és a gázfűvőka között; 12 felrakóhegesztés; 13 hegesztőív a volfrámelektroda és az alapanyag között; 14 hegesztési varrat; 15 hordozógáz és hozaganyag (por)



2.79. ábra. A plazmatechnika alkalmazási területe az áramerősség és a lemezvastagság függvényében



2.80. ábra. A felrakó plazmahegesztés eljárásváltozatai

1 plazmaáramforrás; 2a huzalvezető áramforrása; 2b segédáramforrás; 2c AFI-áramforrás; 3 huzalelektroda; 4 plazmagáz; 5 védőgáz; 6 plazmaív; 7 segédív; 8 hegesztőív; 9 munkadarab; 10 ívgyújtó berendezés; 11 hordozógáz, 12 félfolyékony porsugár; 13 áramátadó hüvely; 14 rézfűvőka

Az áramforrásnak lehetővé kell tennie az impulzushegesztést, és 0...5 A, ill. 5...50 A tartományban kell működni. A segédívhez 2...5 A-es áramerősség beállíthatósága, az impulzushegesztéshez 1...10000 Hz frekvencia szükséges.

A vastag anyagok hegesztő-berendezése hegesztőpisztoly helyett hegesztőfejjel van felszerelve. Kedvező helyzetben 350... 450 A-es volfrámelektrodás, védőgázos hegesztő-áramforrás mindkét eljáráshoz használható.

A gázellátó egység két palackból áll: egyikben a plazmához szükséges argon, a másikban kb. 6% hidrogéntartalmú védőgáz van.

A hegesztőpisztolyt a közönséges AWI-pisztolytól a kettős fűvőkarendszer, valamint a mélyen hátul ülő volfrámelektroda különbözteti meg.

c) Gázok és gázkeverékek

A plazmavágáshoz használatos gázok, gázkeverékek a 2.76 táblázatban találhatók.

2.76. táblázat

Gázok és gázkeverékek plazmahegesztéshez

Alapanyag	Gáz
Ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok	Ar + (5...8%) H ₂
	Ar + (10...40%) CO ₂
Ötvözött (króm-nikkel) acélok	Ar + (0...8%) H ₂
	He
Réz és ötvözetei	Ar
	He + Ar
Alumínium és ötvözetei	Ar
	He + Ar
	He
Nikkel és ötvözetei	Ar + (3...10%) H ₂
Titán és ötvözetei	Ar
	He + Ar
	He
Cirkónium	Ar
	He + Ar
	He

d) A plazmahegesztés technológiája

A plazmahegesztést 10 mm-nél vékonyabb anyagokhoz alkalmazzuk, elsősorban tompavarratok hegesztésére. A tompavarratokat általában hézag nélkül illesztjük, varrat-előkészítés után. A 0,1...1,5 mm-es vékony, saválló ausztenites acélok mikroplazma-hegesztésének technológiai irányértékei a 2.77. táblázatban találhatóak.

2.77. táblázat

A plazmahegesztés technológiai irányértékei

a) Mikroplazma-hegesztéshez

s, mm	I, A	D, mm	Gázszükséglet, l/min		v _{heg} , m/min
			plazmagáz	védőgáz	
0,1	2,5	0,8	0,2	5,0	0,18
0,2	4,0	0,8	0,3	5,0	0,24
0,3	8,0	1,0	0,3	7,0	0,24
0,4	13,0	1,0	0,3	7,0	0,24
0,5	18,0	1,0	0,3	7,0	0,24
0,7	20,0	1,0	0,3	7,0	0,24
1,0	40,0	1,2	0,3	7,0	0,24
1,5	45,0	2,0	0,5	7,0	0,24

b) Kulcslyukmódszerrel való hegesztéshez

s, mm	I, A	D, mm	Gázszükséglet, l/min		v _{heg} , m/min
			plazmagáz	védőgáz	
2,5	180	2,8	2,4	15	0,50
3,0	210	2,8	2,5	18	0,75
4,0	220	2,8	2,5	18	0,65
5,0	230	3,2	2,5	20	0,45
6,0	240	3,2	2,8	20	0,40
8,0	290	4,0	3,5	20	0,25
10,0	340	4,0	4,0	20	0,22

D a plazmafúvóka átmérője.
A plazmagáz Ar, a védőgáz Ar + 6,5% H₂.

Vastagabb anyagokhoz Y varratalak is használatos, ahol azonban az élszalag magassága nem haladja meg az 5 mm-t. Általában vastagabb lemezek gyökhezaga sem haladhatja meg a lemezvastagság 0,1-szeresét. A gyök védelmére Ar, Ar + H₂ és N₂ + H₂ alkalmas.

A kötőhegesztések szinte kizárólag vízszintes helyzetben készíthetők. Kényszerhelyzetek közül csak álló sarokvarratot és haránt helyzetben hegesztünk.

A felrakóhegesztést minden esetben csak gépesített eljárás esetén lehet alkalmazni.

3 mm-nél vastagabb anyagok hegesztésére a *kulcslyukas hegesztéstechnikát* alkalmazzuk (ld. a 2.80. c ábrát). A hegesztőfej egyenletes előrehaladásakor a hegfördő a plazmasugár elől oldalra nyomul, majd mögötte újra összezárulva képződik a varrat.

Erősen ötvözött acélok hegesztési irányértékeit ld. a 2.77. táblázatban.

Az *impulzusos plazmahegesztéssel* a hegesztési ömledék jobban kezelhető. A kulcslyuk az impulzusáram alatt jön létre és az alapáram folyásának idején megszűnik. A varratok egymást kb. 60%-ban átfedő pontokból épülnek fel. Az erősen ötvözött ausztenites acélokra vonatkozó technológiai irányértékek a 2.78. táblázatban találhatóak.

8...10 mm-es anyagvastagság esetében a kulcslyuk-technológiával nem lehet minden anyagfajtánál kielégítő kötést létrehozni. Ebben az esetben az AWI-eljáráshoz hasonlóan hozaganyagot adagolunk, vagy plazma-AFI-eljárást alkalmazzunk.

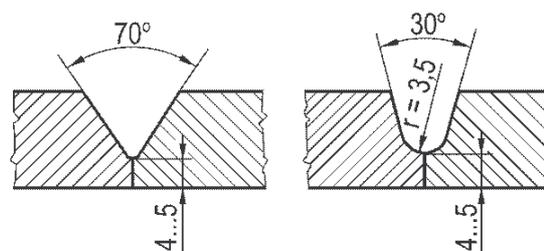
A *munkadarabok ételőkészítése* a 2.81. ábrán látható. Az eljárás előnye, hogy a nagy élszalag magasság (orrmagasság) következtében a rétegszám jelentősen csökken az AWI-eljáráshoz viszonyítva. A plazmaívhegesztés alkalmazási területe a 2.79. és 2.80. táblázatban található.

2.78. táblázat

Impulzusos kulcslyukmódszerrel végzett plazmahegesztés irányértékei erősen ötvözött ausztenites acélokhhoz

s, mm	Áramerősség, A		D, mm	Plazmagáz-szükséglet, l/min
	I_A	I_{cs}		
3,4	115	20	2,4	1,4
4,4	140	20	2,4	1,9
5,0	190	20	3,2	2,3

Valamennyi lemezvastagsághoz: az impulzuszfrekvencia $f=2$ Hz, a hegesztési sebesség $v_{heg}=0,15$ m/min.



2.81. ábra. Ételőkészítés és -illesztés 8 mm-nél vastagabb anyagok plazmaívhegesztéséhez

2.79. táblázat

A plazmahegesztés alkalmazása különféle alapanyagokhoz

Alapanyag	Hegeszthető		Megjegyzés
	anyagvastagság, mm		
	hozaganyag	hozaganyaggal	
Ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok	nélkül, max. 6	10	V varrat esetében az élszalag magasság max. 5 mm

Erősen ötvözött acélok	5	10	I varrat esetében max. 0,08 mm gyökhézaggal
Nikkel és ötvözetei	6	10	V varrat esetében az élszalag magasság max. 4 mm
Réz és ötvözetei	3	10	3 mm felett plazma-AFI-eljárással hegeszthető
Alumínium és ötvözetei	3	10	V varrat esetében az élszalag magasság 5 mm

2.80. táblázat

A plazmahegesztés eljárásváltozatainak ipari alkalmazása

Eljárásváltozat	Alkalmazási terület
Plazmasugár-hegesztés	Elektromosan nem vezető anyagok hegesztése és vágása, felrakóhegesztése és szórása
Plazmaívhegesztés	Fémes anyagok kötőhegesztése, pl. acél, réz, nikkel, titán, alumínium, magnézium és ötvözeteik
Kombinált plazmahegesztés	Elsősorban alumíniumhegesztés, valamint anyagkombinációk hegesztése
AFI-plazmahegesztés	Alumínium és réz kötőhegesztése, anyagkombinációk hegesztése és felrakóhegesztésük
Hevített huzalos felrakó plazmahegesztés	Korrózióálló rétegek felrakása
Poradagolásos felrakó plazmahegesztés	Különleges kopás- és hőálló rétegek felrakása

A plazmahegesztés során előforduló hibák és kiküszöbölésük

- Az eljárás igen érzékeny a lemezek előkészítésére, a felületek tisztaságára. Mikroplazma-hegesztéskor a lemez éleket tisztítás után nem szabad érinteni.
- Az illesztési hézag pontatlansága a varrat átroskadásához vezethet. Célszerű hegesztéshez a munkadarabot készülékekbe fogni.
- Szabad végű hegesztett kötések hegesztésekor kifutó lemezt kell használni.
- A kötésihiba leggyakoribb oka a túl nagy hegesztési sebesség.
- Felrakóhegesztés esetén az alapanyag nem megfelelő felület-előkészítése gázosodást okoz.