



Teljesítménynövelés módszerei alumíniumötvözetek TIG-hegesztéséhez

Dr. Gyura László – okl. heg.szakmérnök, CIWE/CEWE
Linde Gáz Magyarország Zrt.
MAHEG-mesterkurzus, 2023.06.14. Dunaújváros

THE LINDE GROUP

Linde

Kihívások az alumínium hegesztése során

Nincs elszíneződés a melegítés hatására, nehéz kontrollálni a hőmérsékletet

Hőtágulás nagy → nagy deformációk

- Hőbevitel korlátozása, megfelelő hegesztési sorrend

Jó hővezetőképesség → jelentős hőbeviteli igény a megfelelő olvasztási teljesítményhez

- Vastagabb lemezek áthegesztése nagyon nehéz
- Kicsi az elérhető hegesztési sebesség

A felületi Al_2O_3 és az alapanyag olvadáspontja közötti különbség

- Al_2O_3 olvadáspontja nagyságrenddel magasabb ($\sim 2060^\circ$) → Al_2O_3 kerülhet a varratba, amely kötéshibát okozhat
- A vékony „úszó” szilárd oxidréteg miatt az ömledék feletti kontroll nehézkes
- Az eltávolított oxidréteg ugyan csökkenti a hegesztési hibák kialakulásának esélyeit, de *rontja az ív stabilitását*

Porozitás érzékenység

- Hidrogén oldóképesség olvadt állapotban nagyon magas (hegesztőanyag, alapanyag, környezet, védőgáz/gázellátórendszer tisztasága/minősége nagyon fontos!),
- Léggör → nedves levegő (védőgáz turbulencia, tömlők!), kondenzvíz, páralecsapódás - Al_2O_3 vízfelvevő képessége

Polaritás szerinti eljárásváltozatok –

„energiamérleg”/beolvadás/tisztítás/elektroda terhelhetősége

Áram ne- me/polaritása	Egyenáram egyenes	Egyenáram fordított	Váltakozó áram
Elektroda polaritása	negatív	pozitív	váltakozó
Elektron- és ion- áramlás			
Beolvadási alak			
Oxidlisztítás	nincs	van	van minden félciklusban
Energia megoszlás	70% munkadarab 30% elektroda	30% munkadarab 70% elektroda	50% munkadarab 50% elektroda
Beolvadási alak	mély, keskeny	széles, sekély	átlagos
Elektroda áramter- helhetősége	kiváló	kicsi	közepes

A „klasszikus” TIG (TIG AC) eljárás jellemzői alumínium hegesztéséhez

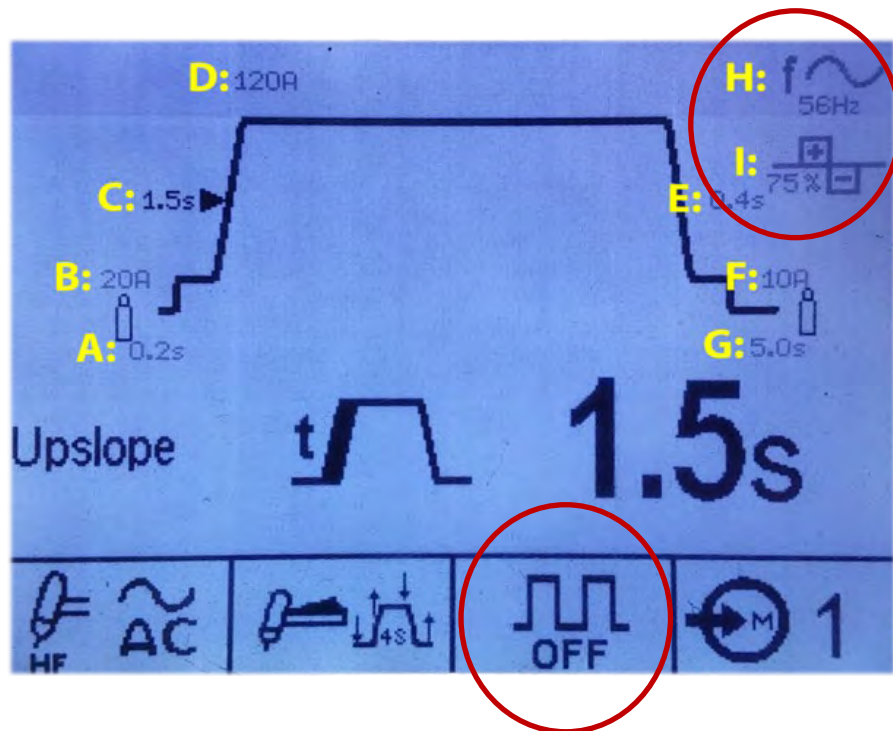
- A leolvastási teljesítmény függ a hőbeviteltől, lényegesen kisebb, mint MIG technológiánál
- Lemezvastagság tartomány (Al) ~ (0,5) 0,7 mm – 7 (10) mm

Áram típus/polaritás	DC- (EP)	AC	DC+ (FP)
Tisztító hatás/oxidbontás	Nincs/gyenge	Jó/elfogadható	Tökéletes
Elektróda terhelhetősége (A) [pl. Ø6,4 mm]	Jó [850 A]	Közepes [530 A]	Rossz [90A]
Volfrám leolvadás veszélye	Nincs/minimális	Közepes	Magas

Jellemzők:

- DC+ ideális lenne -nagyon jó oxidbontás, DE nagyon alacsony W-áramterhelhetőség, (*beolvadási mélység?*)
- Kompromisszum: AC
- Az AC technológia erős zajjal jár, „kevésbé” stabil ív, bár a korszerű eljárás változatokkal jó minőség érhető el (speciális paraméterek: balansz, frekvencia(k))
- Nagyobb lemezvastagságokhoz Argon / Hélium keverék szükséges

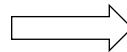
TIG-hegesztés paramétereit – teljesítménynövelés lehetősége



- Üzem mód (DC (=/-, =/+), **AC**)
- 2/4 ütemű kapcsolás
- A: védőgáz előáramlás
- B: gyújtó áram /(idő)
- C: áramfelfutási idő
- D: hegesztőáram
- E: áramlefutási idő
- F: végkráteröltő áram/(idő)
- G: gázutánáramlási idő
- **H: váltakozó áram frekvenciája**
- **I: AC-balansz**
- (Impulzus paraméterek (alapáram, csúcsáram, frekvencia/idők))

Cél:

- Nagyobb elérhető hegesztési sebesség
- Nagyobb áthegezhető lemezvastagság
- Biztosabb/mélyebb beolvadás (varratlak-tényező javítása)
- Nagyobb leolvasztási teljesítmény
- Stabilabb ív/egyenletes varrat
- Porozitás-/kötéshiba-/szemcsedurulás-/kiválás mentesség
- ...



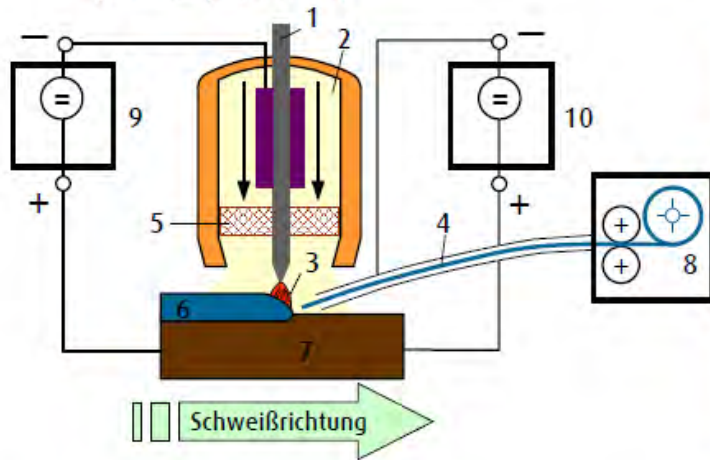
„Megvalósíthatóság” TIG-hegesztésnél:

- Hegesztési paraméterek „növelése” (nagyobb teljesítményű hegesztőgép)
- **Hegesztőanyag (huzal) automatikus adagolás (hideg/meleg)**
- **Előmelegítés**
- **Speciális védőgáz összetétel**
- **Speciális eljárás változatok (impulzusos.., nagyáramsűrűségű.. stb.)**
- ...

Elérhető-e a MIG teljesítménye a minőség megtartása mellett?

Huzaladagolás gépesítése

Mechanising the wire feeding
- TIG cold-wire -
(without position 10)



Heating of filler wire
- TIG hot-wire -

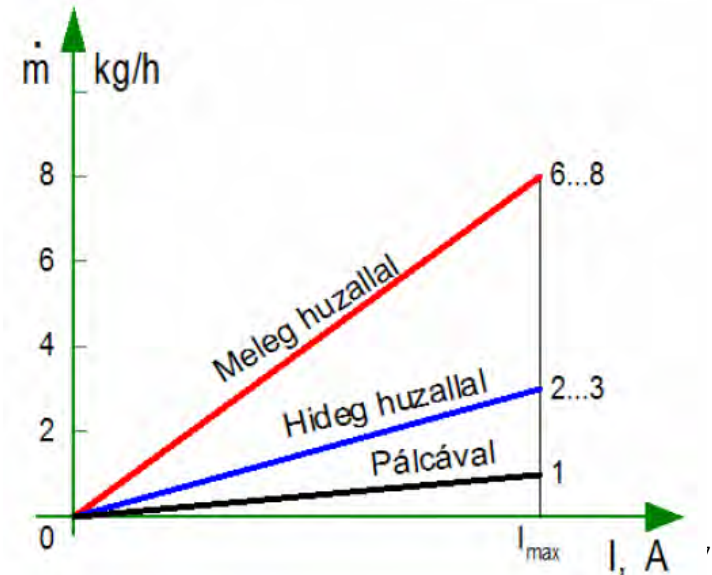


- | | | |
|---------------|---------------|------------------------------|
| 1 Electrode | 4 Filler wire | 7 Base metal |
| 2 Welding gas | 5 Gas lens | 8 Wire feeder |
| 3 Arc | 6 Weld metal | 9 / 10 Welding power sources |

MSZ EN ISO 4063: 141-C ill. 141-H

C: hideghuzalos

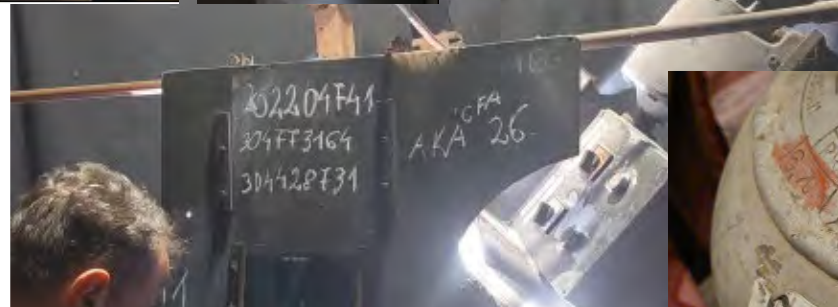
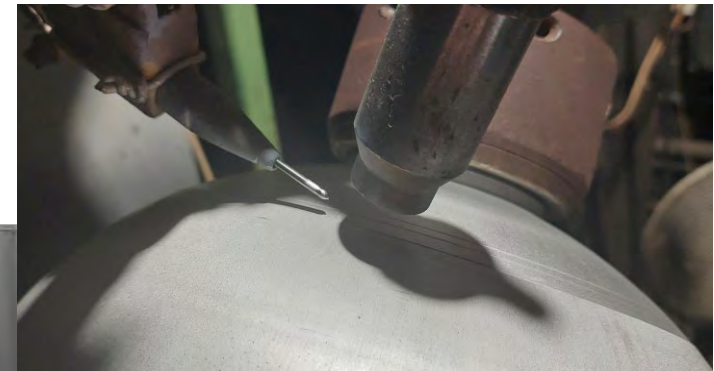
H: meleghuzalos



Huzaladagolás gépesítése – pl. alumínium gázpalackok körvarratai (Alumíniumárúgyár Zrt)

THE LINDE GROUP

Linde



„Előmelegítés” – hegesztőanyag nélkül (saját kísérletek)

THE LINDE GROUP

Linde

Korona oldal



Hátsó (gyök) oldal



T= 20 °C

Alapanyag: AlMg5

s= 5 mm

T= 200 °C

TIG-AC

I= 100 A (nem imp.)

Balansz: 50 %

T= 280 °C

Frekvencia: 132 Hz

v= 12 cm/perc (gépi)

W: Ø 2,4 mm (zöld)

T= 350 °C

Védőgáz: Ar4.6 (8 l/perc)

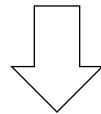
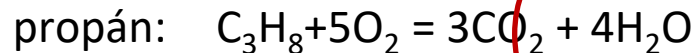
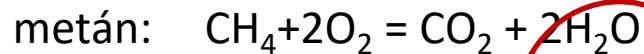
**A felületen lévő nedvességből (H₂) adódó probléma
jelentősen csökkenthető!!**



1. Melegítő paplan, párna (komolyabb beruházást igényel, nem rugalmas)

2. Nyílt lánggal történő előmelegítés

- Nagy teljesítményű, hatékony de nem erősen koncentrált (lág), nem túl magas hőmérsékletű lángra van szükség
- Pára- (lecsapódó víz) képződés alacsony legyen



Acetilén + levegős égők



mer	Gases	Operating pressure / bar	Consumption* m ³ /h
H-3x2D-K	Acetylene	0.8-1.0	2.9-5.4
	Compressed air	2.0-4.0	20.0-35.0

MSZ EN ISO 14175:2008 – Védőgázok alumínium ötvözetek TIG/MIG hegesztéséhez

Ar + He

TIG/MIG

Rövidítő jelölések		Komponensek (térf.%)				
		Oxidáló		Semleges	Redukáló	Alacsony reaktivitású
csoport	száma	CO ₂	O ₂	Ar		N ₂
I	1			100		
	2					
	3			maradék ^a	0	
M1	1	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5		maradék ^a		
	2	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5		maradék ^a		
	3		0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	maradék ^a		
	4	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	maradék ^a		
M2	0	5 ≤ CO ₂ ≤ 15		maradék ^a		
	1	15 ≤ CO ₂ ≤ 25		maradék ^a		
	2		3 ≤ O ₂ ≤ 10	maradék ^a		
	3	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5	3 ≤ O ₂ ≤ 10	maradék ^a		
	4	5 ≤ CO ₂ ≤ 15	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	maradék ^a		
	5	5 ≤ CO ₂ ≤ 15	3 ≤ O ₂ ≤ 10	maradék ^a		
	6	15 ≤ CO ₂ ≤ 25	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	maradék ^a		
M3	1	25 ≤ CO ₂ ≤ 50		maradék ^a		
	2		10 ≤ O ₂ ≤ 15	maradék ^a		
	3	25 ≤ CO ₂ ≤ 50	2 ≤ O ₂ ≤ 10	maradék ^a		
	4	5 ≤ CO ₂ ≤ 25	10 ≤ O ₂ ≤ 15	maradék ^a		
	5	25 ≤ CO ₂ ≤ 50	10 ≤ O ₂ ≤ 15	maradék ^a		
C	1	100				
	2	Maradék	0,5 ≤ O ₂ ≤ 30			
R	1			maradék ^a	0,5 ≤ H ₂ ≤ 15	
	2			maradék ^a	15 ≤ H ₂ ≤ 50	
N	1					100
	2			maradék ^a		0,5 ≤ N ₂ ≤ 5
	3			maradék ^a		5 ≤ N ₂ ≤ 50
	4			maradék ^a		0,5 ≤ N ₂ ≤ 5
	5					0,5 ≤ H ₂ ≤ 10 0,5 ≤ H ₂ ≤ 50
O	1		100			
Z	Gázkeverékek, amelyek alkotói kívül esnek a táblázatban megadott értékhatárokon, vagy a táblázatban nem szereplő komponenseket tartalmaznak. ^b					

^a az argon részben vagy egészében helyettesíthető héliummal

^b két azonos Z csoportú gázkeverék nem cserélhető fel

Ar-He védőgáz-keverékek alkalmazása (saját kísérletek)

Argon



Argon/Hélium 50/50



Telőmelegítés



Telőmelegítés

Alapanyag: AlMg5

s=5 mm

TIG-AC

I = 100 A (nem impulzusos)

Balansz: 50 %

Frekvencia: 132 Hz

v = 12 cm/perc (gépi)

W: Ø 2,4 mm (zöld)

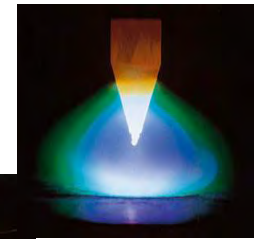
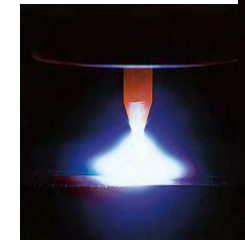
Létezik TIG DC- (EP) Ar/He 10/90 védőgáz alkalmazása mellett

- Elsősorban felrakó/javító hegesztéshez használják
- Főleg a jól önthető Si-tartalmú alumíniumötvözetek esetén (öntvények javító hegesztése)

Hélium-tartalmú védőgázok (Varigon He...)

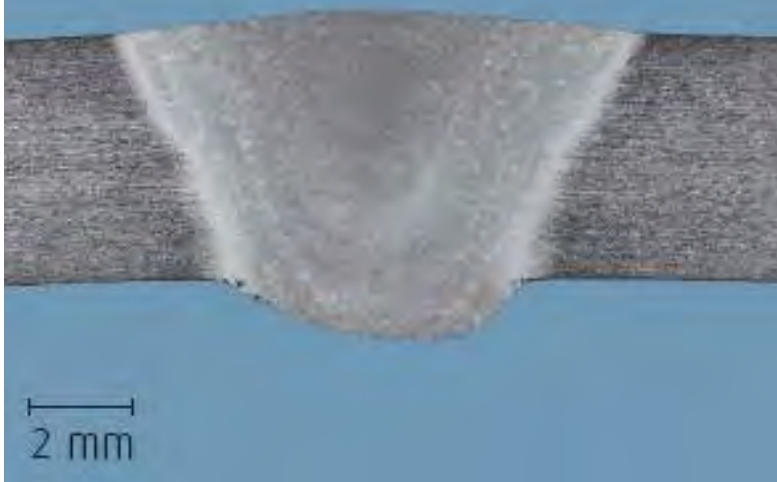
- Nagyobb hővezetés –az ív energiája növelhető
- Mélyebb beolvadás / növelhető hegesztési sebesség
- Jobb résáthidaló képesség
- A hélium ívstabilizáló hatású/jobb tisztítás (oxidbontás)
- Porozitásmentesség (kigázosodás javulása)

Argon



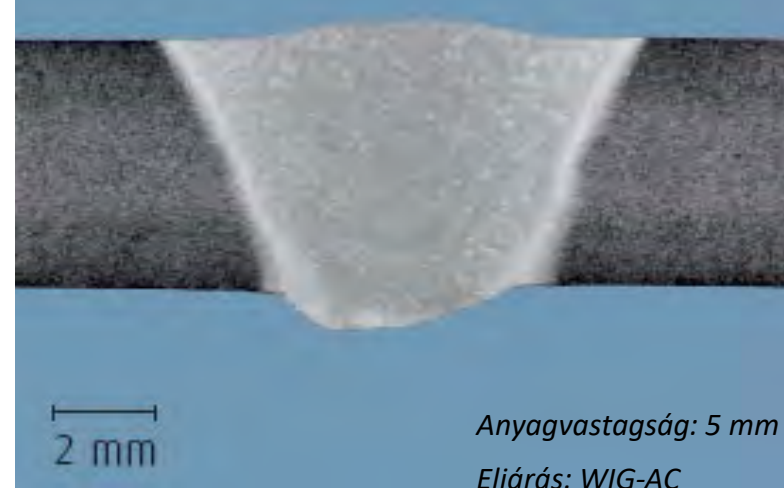
Argon

$v_h: 15 \text{ cm min}^{-1}$



VARIGON® He50

$v_h: 30 \text{ cm min}^{-1}$



MSZ EN ISO 14175:2008 – Védőgázok alumínium ötvözetek TIG/MIG hegesztéséhez

Ar + He +?

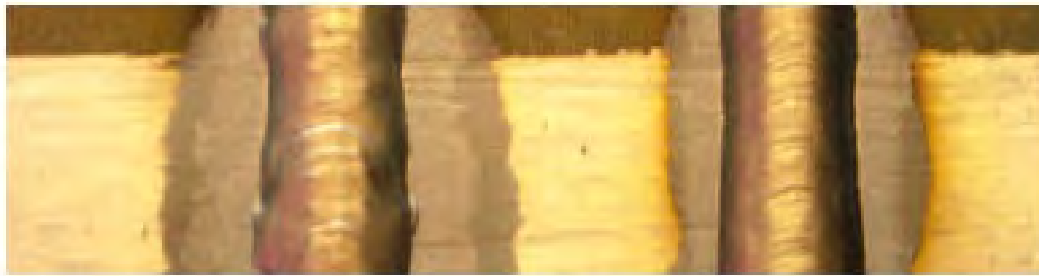
Rövidítő jelölések		Komponensek (térf.%)					
csoport	száma	Oxidáló		Semleges		Redukáló	Alacsony reaktivitású
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂
I	1			100			
	2				100		
	3			maradék ^a	0,5 ≤ He ≤ 95		
M1	1	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5		maradék ^a		0,5 ≤ H ₂ ≤ 5	
	2	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5		maradék ^a			
	3		0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	maradék ^a			
	4	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	maradék ^a			
M2	0	5 ≤ CO ₂ ≤ 15		maradék ^a			
	1	15 ≤ CO ₂ ≤ 25		maradék ^a			
	2		3 ≤ O ₂ ≤ 10	maradék ^a			
	3	0,5 ≤ CO ₂ ≤ 5	3 ≤ O ₂ ≤ 10	maradék ^a			
	4	5 ≤ CO ₂ ≤ 15	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	maradék ^a			
	5	5 ≤ CO ₂ ≤ 15	3 ≤ O ₂ ≤ 10	maradék ^a			
	6	15 ≤ CO ₂ ≤ 25	0,5 ≤ O ₂ ≤ 3	maradék ^a			
M3	1	25 ≤ CO ₂ ≤ 50		maradék ^a			
	2		10 ≤ O ₂ ≤ 15	maradék ^a			
	3	25 ≤ CO ₂ ≤ 50	2 ≤ O ₂ ≤ 10	maradék ^a			
	4	5 ≤ CO ₂ ≤ 25	10 ≤ O ₂ ≤ 15	maradék ^a			
	5	25 ≤ CO ₂ ≤ 50	10 ≤ O ₂ ≤ 15	maradék ^a			
C	1	100					
	2	Maradék	0,5 ≤ O ₂ ≤ 30				
R	1			maradék ^a		0,5 ≤ H ₂ ≤ 15	
	2			maradék ^a		15 ≤ H ₂ ≤ 50	
Z	1						100
	2			maradék ^a			0,5 ≤ N ₂ ≤ 5
	3			maradék ^a			5 ≤ N ₂ ≤ 50
	4			maradék ^a			≤ N ₂ ≤ 5
	5						
Z	1		100				
	Gázkeverékek, amelyek alkotói kívül esnek a táblázatban megadott értékekre, és a táblázatban megadott értékeket tartalmaznak						

TIG/MIG

^a az argon részben vagy egészében helyettesíthető héliummal

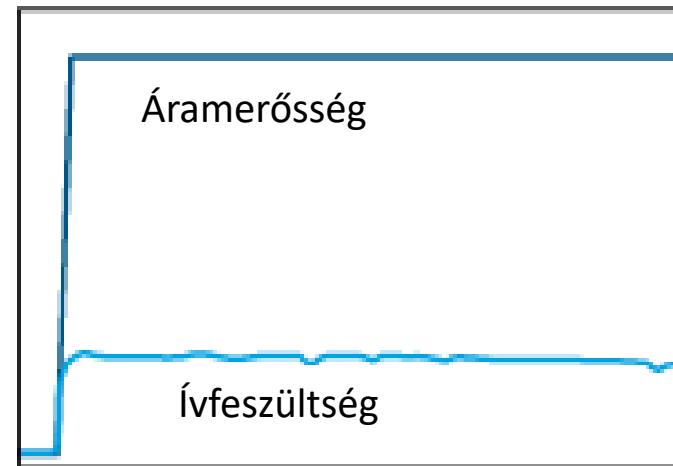
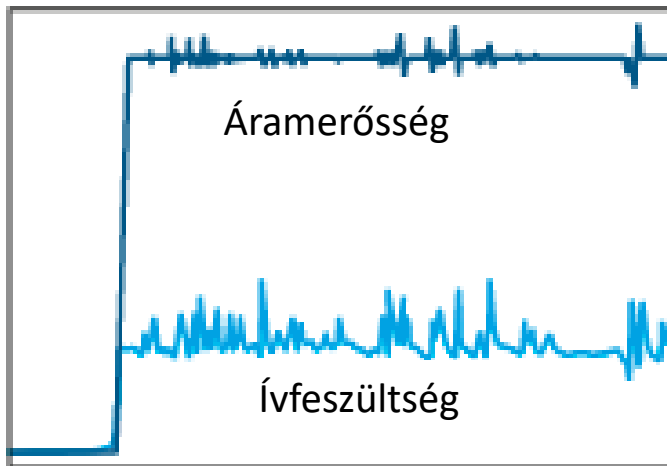
^b két azonos Z csoportú gázkeverék nem cserélhető fel

Al_2O_3 ívstabilizáló hatása - TIG AC (B=50%)



Tisztított/csiszolt

Tisztított/nem csiszolt



Speciális védőgázok kis mennyiségű aktív komponenssel

THE LINDE GROUP

Linde

Oxigén, széndioxid, nitrogénmonoxid tartalmú védőgázok

- „ppm”-es nagyságrendben hozzáadott aktív gázok stabilizálják az ívet
- Esztétikusabb, szebb varrat, kevesebb füstképződés, kevesebb fröcskölés
- Jobb reprodukálhatóság (automatizált hegesztésnél)

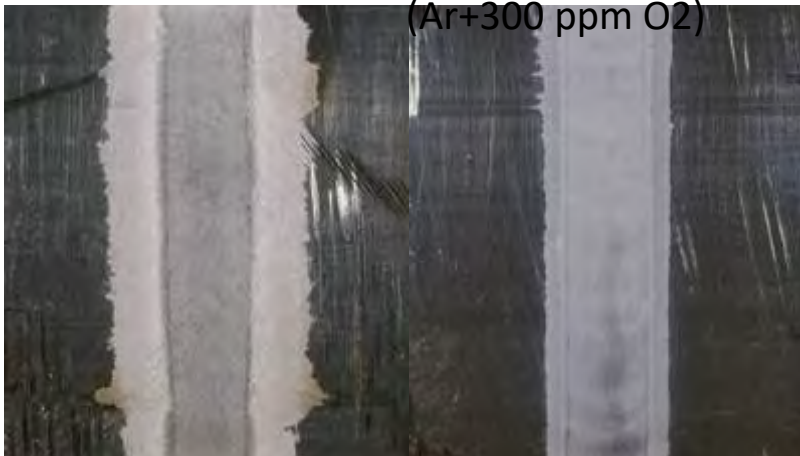
**TIG (tisztított, de nem csiszolt felület
 Al_2O_3 van a felületen)**

Argon

VARIGON[®]

S

(Ar+300 ppm O₂)



MIG (csiszolt felület, nincs Al_2O_3)

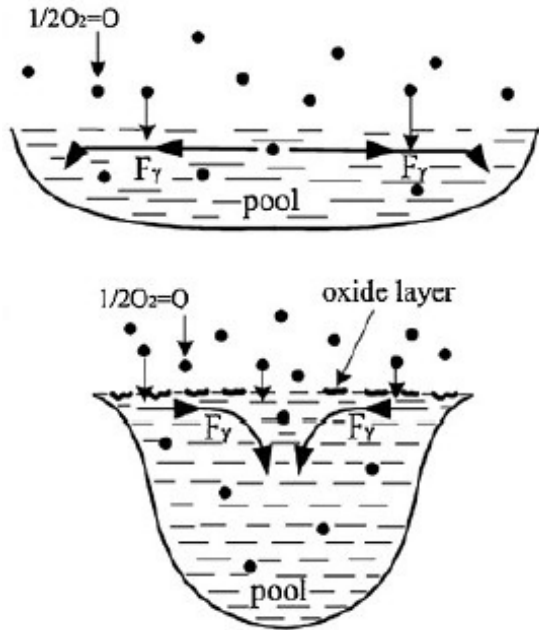
Argon

VARIGON[®] S

(Ar+300 ppm O₂)

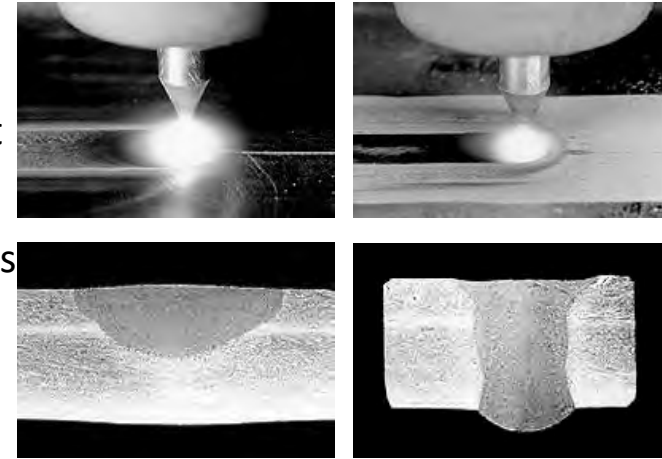


A..-TIG hegesztés - Marangoni hatás



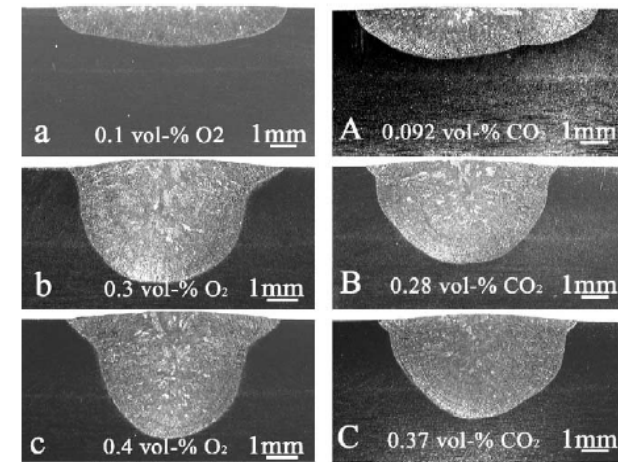
Aktiváló poros „AF-TIG” hegesztés

- A felületre előzetesen felhordott fém oxidok – por formában
- Gyakorlati végrehajtása nehézkes
- Alumíniumnál nem jellemző



Aktiváló gázos „AG-TIG” hegesztés

- A védőgáz aktív komponens tartalmaz (CO_2/O_2)
- Jellemzően „ppm”-es, (vagy néhány tized % nagyságrend) –
- A „ppm”-es nagyságrend kiváló ívstabilizáló hatású
- W-elektroda élettartama?



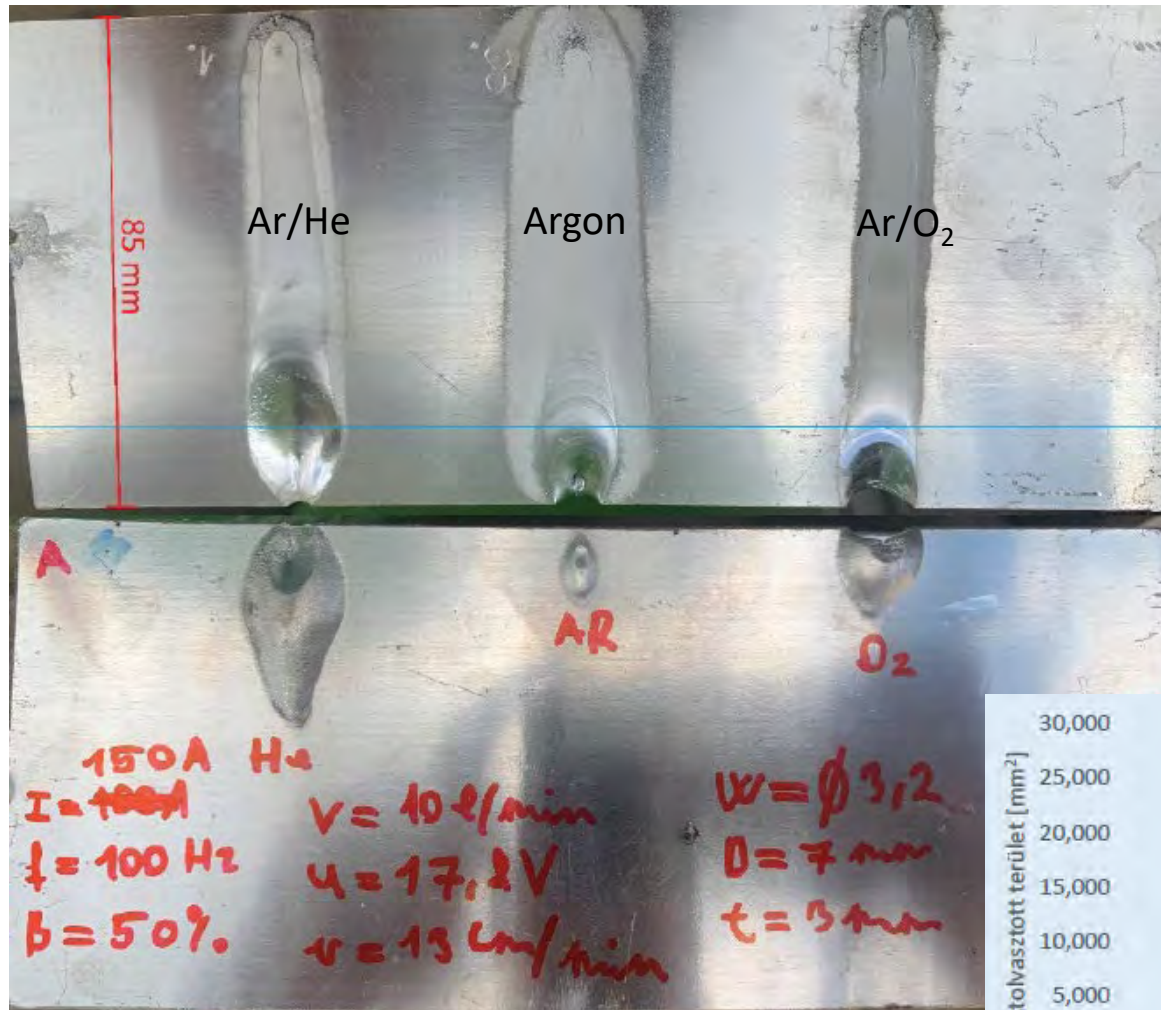
Argon+

Argon

300 ppm O_2

Védőgázok hatása (BSc diplomaterv kísérletei)

Korona oldal



Alapanyag: AlMg5 (s= 5 mm)

I= 150 A (nem impulzusos)

Balansz: 50 %

Frekvencia: 100 Hz

v= 13 cm/perc (gépi)

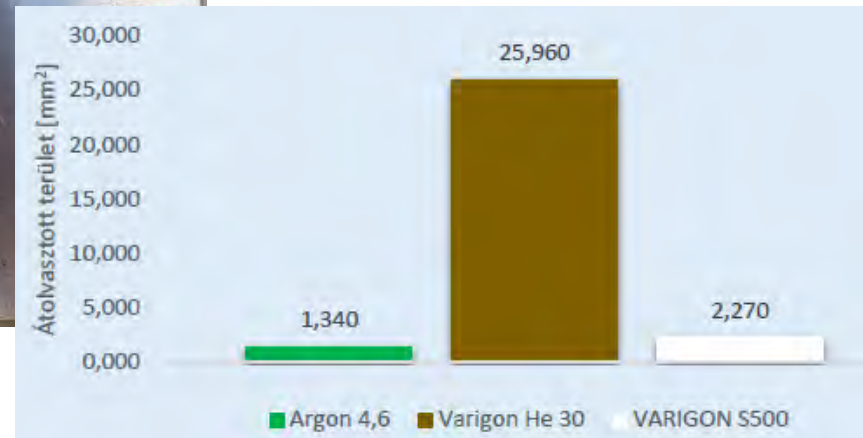
W: Ø 3,2 mm (zöld)

Védőgáz: 10 l/perc

Ar/He - 70/30 (Varigon He 30)

Argon (4.6)

Ar/O₂ – 500 ppm O₂ (Varigon S500)



Hátsó (gyök) oldal

Gyakorlati alkalmazás (Stadler) –digitális keverővel központi gázellátó rendszerrel (Argon + 485 ppm Oxigén)



Aktuális felhasználó: Anonymous hétfő, 12. június 2023 09:48

Recepttár: **VarigonS500.csv**

	O2	AR	Kimenet
Recept	485 ppm	100.0 %	
Aktuális	0 ppm	0.0 %	
Nyomás	8.6 bar	5.5 bar	5.4 bar
Bemenet			

Aramlás szabályzás

Összes áramlás: l/min

Minimum: 6.0 l/min maximum: 721.6 l/min

Start Stop Távoli

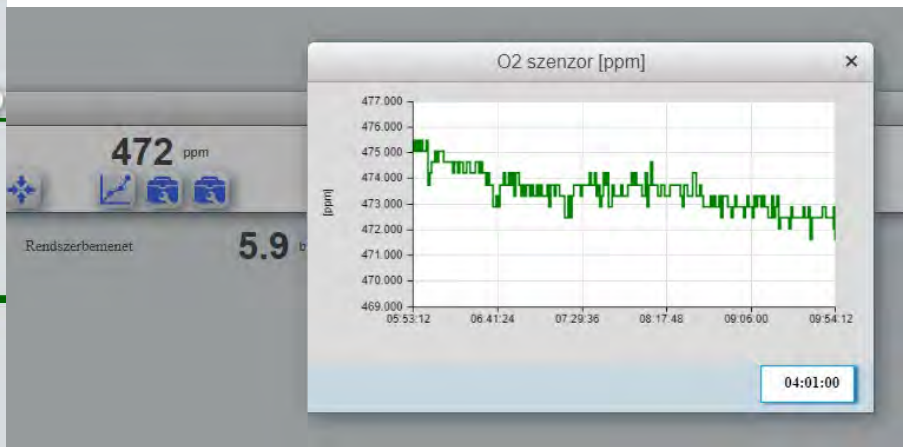
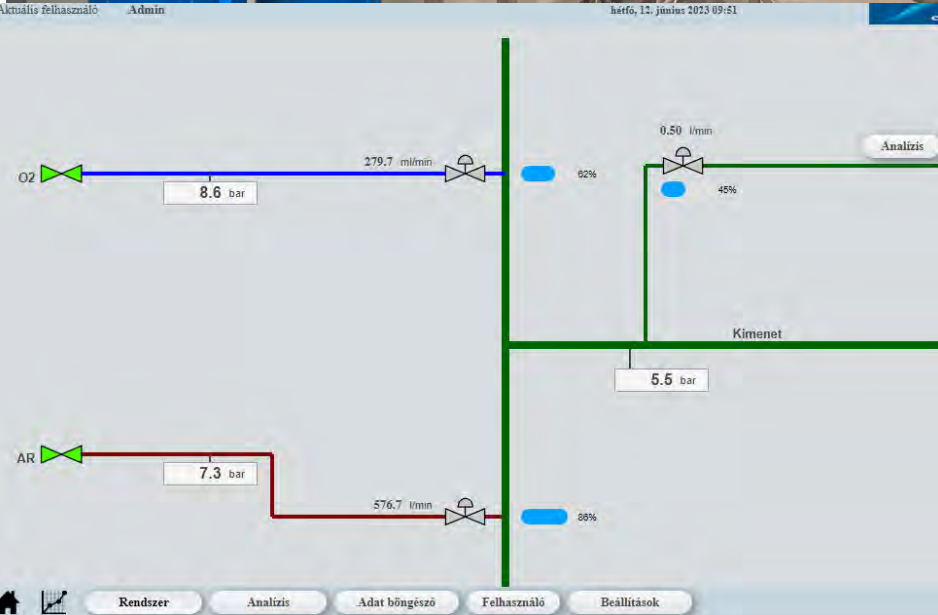
Nyomás szabályzás

Maximum: bar

Minimum: bar

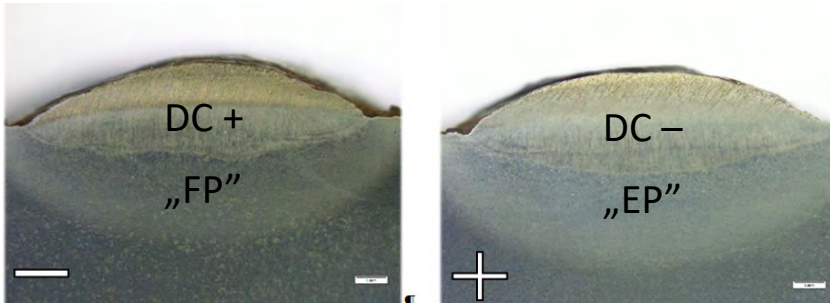
Start Stop

Rendszer Analízis Adat böngésző Felhasználó Beállítások

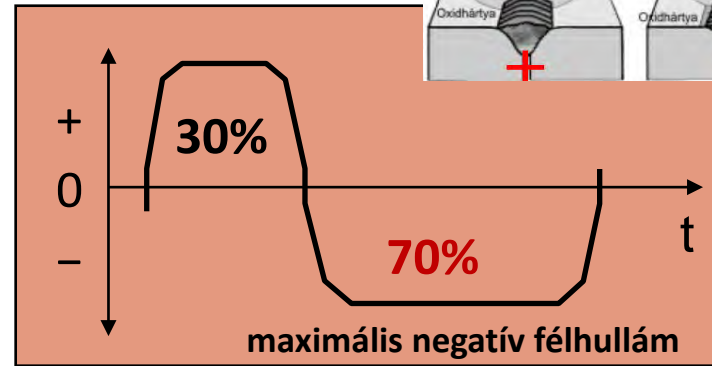
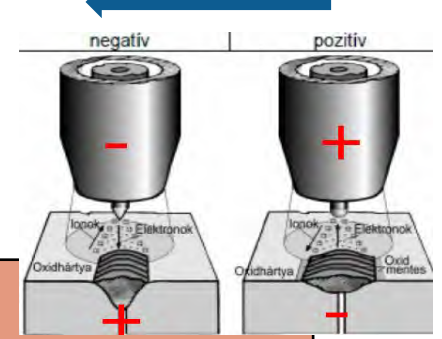


Polaritás/balansz hatása (saját kísérletek)

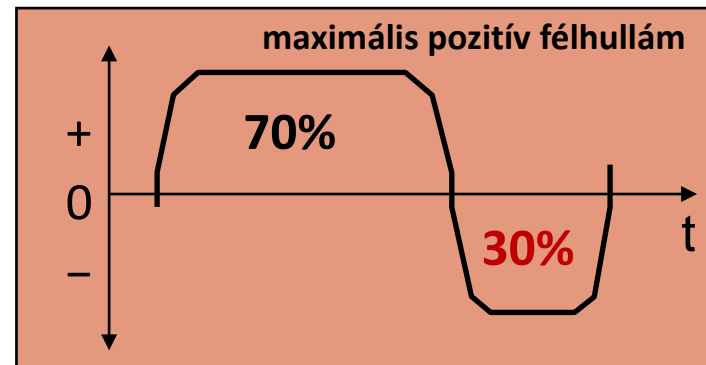
Bevontelektródás kézi ívhegesztés (ötvöztelen acél leolvadó elektróda/alapanyag)



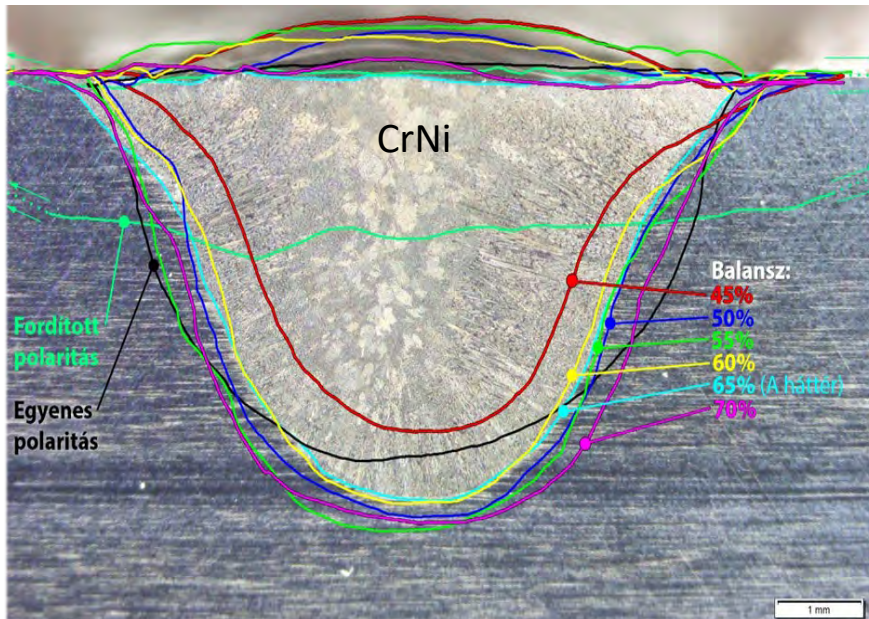
(100)....70.....30...(0)%



DC -
„EP”

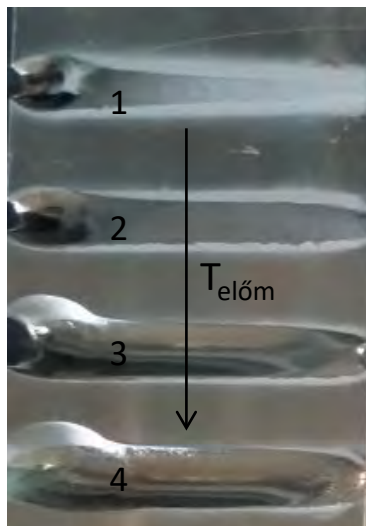
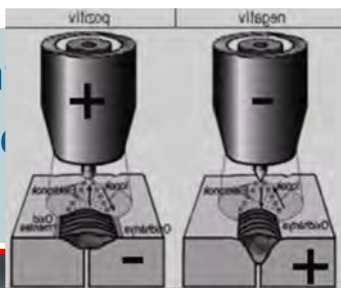


DC +
„FP”

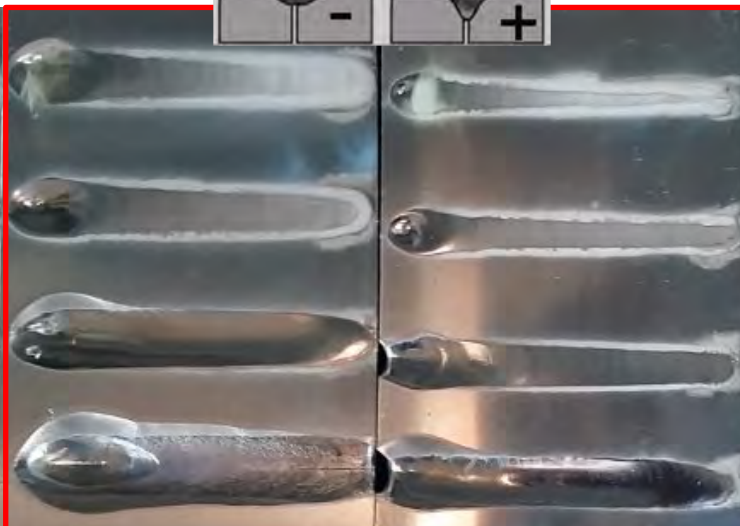


A balansz/frekvencia hatása a hegy kialakítására
 (s=5 mm, I=100 A, v=12 mm/min)
 (saját kísérletek)

TIG AC hegy-nél
 (B=50/50)



B=50%, f=132Hz



B=40%, f=132Hz
 (≈DC+ /FP/)

B=80%, f=132Hz
 (≈DC- /EP/)

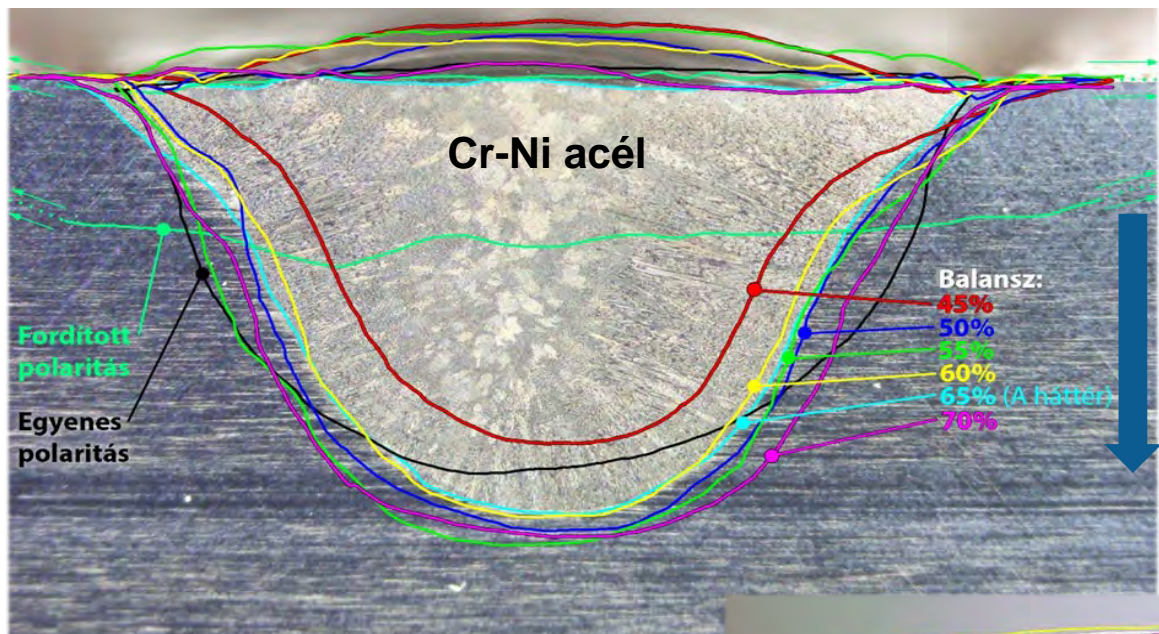


B=50%, f=50Hz

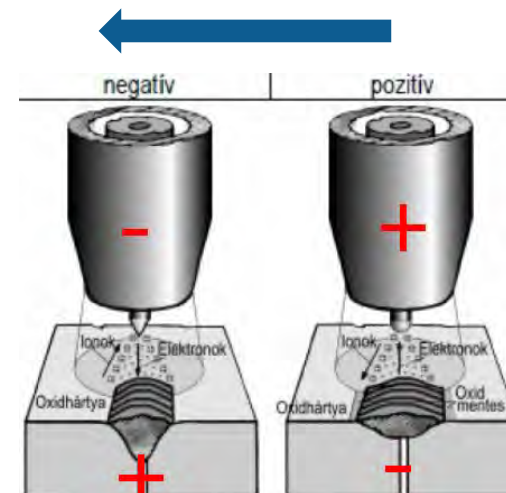
B=50%, f=200Hz



A balansz hatása a beolvadási profilra (CrNi, Al.) (saját kísérletek)



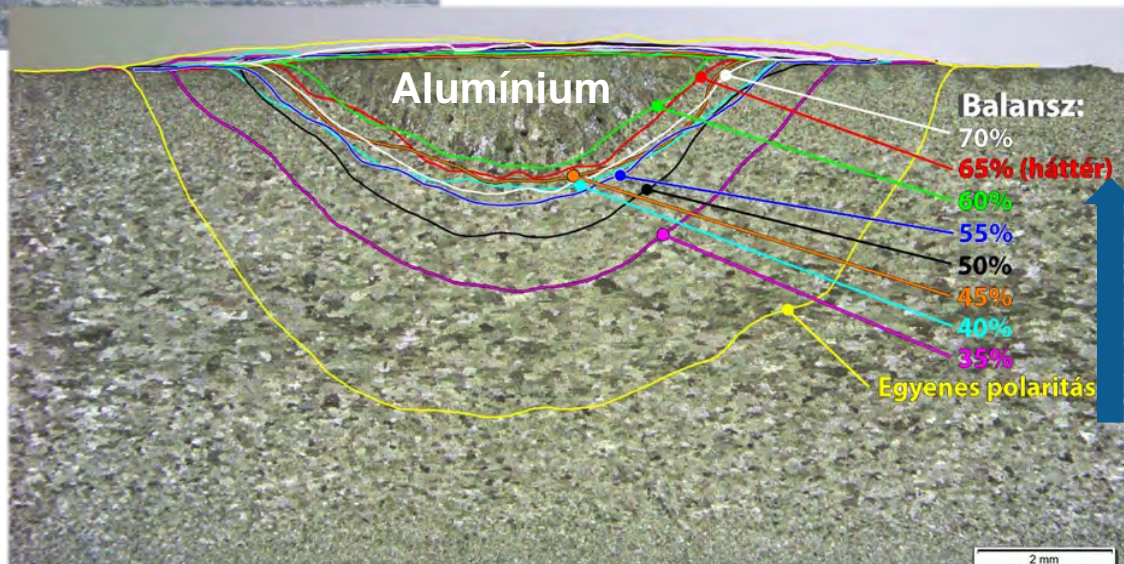
(100)....70.....30...(0)%



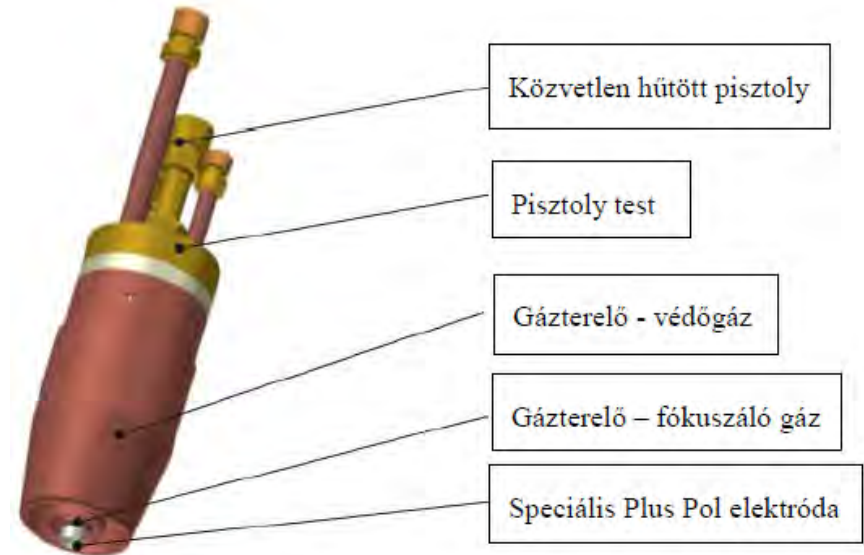
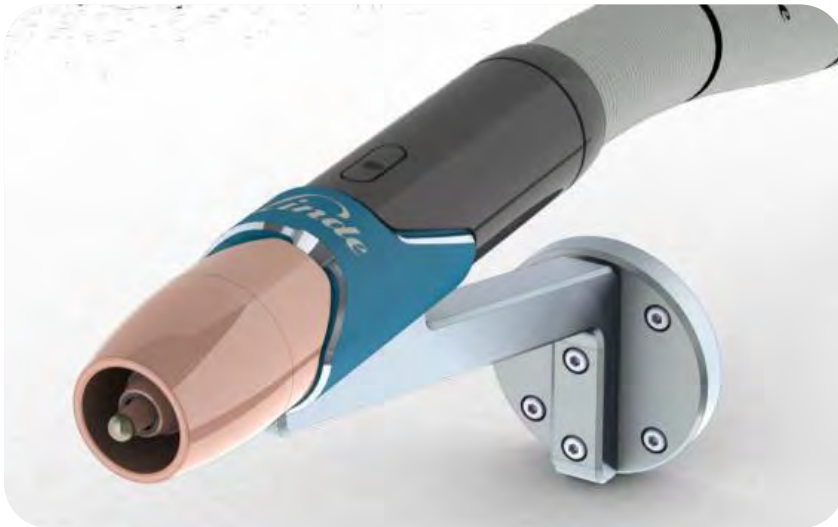
DC+ hatása előnyös a beolvadásra is!!

„Plus Pole” (EP) fordított polaritás:

- Az elektródát hűteni kell (speciális elektróda)!!
- A katód folt a mdb-ra kerül – ív fókuszálása szükséges lehet (hideg katód –széles varrat)



Pluse Pole (DC+) TIG hegesztő pisztoly



Fókuszáló gáz hatása

THE LINDE GROUP

Linde

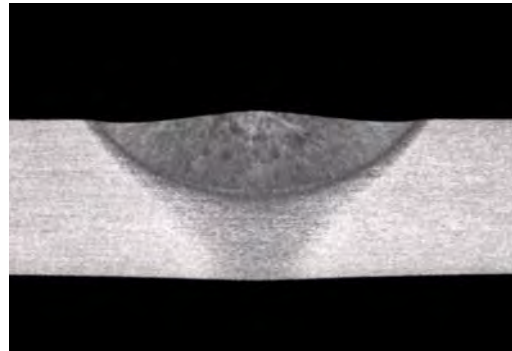
Fókuszáló gáz nélkül



Fókuszáló gázzal

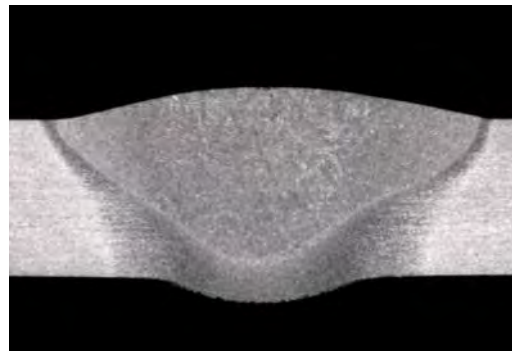
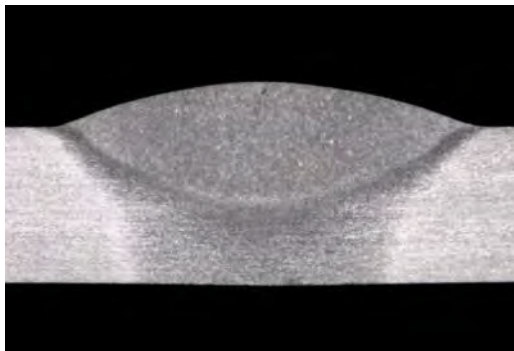


Hegesztőanyag nélkül



70 cm/min

Hegesztőanyaggal



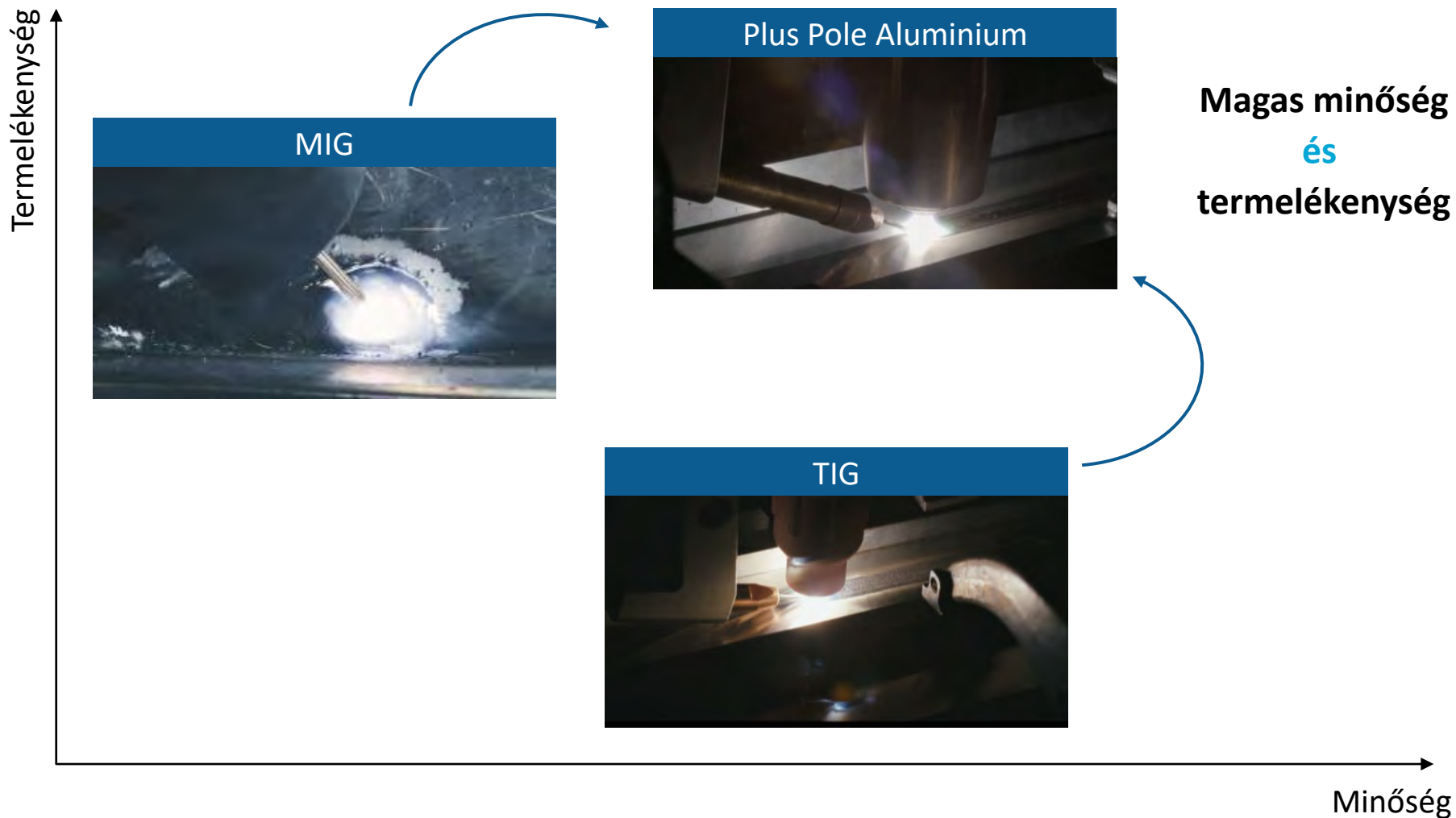
45 cm/min

Áramerősség	275 A
Ívhossz	5 mm
Védőgáz	Ar – 20 l/min
Fókuszáló gáz:	Varigon S – 10 l/min
Huzalelőtolási seb.	7 m/min
Huzal átmérő	1.2 mm
Lemzvastagság	6 mm
Alapanyag	EN AW5083

Plus Pole Alumínium TIG DC+ eljárás: TIG minőség @ MIG termelékenység

THE LINDE GROUP

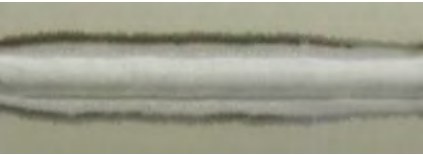
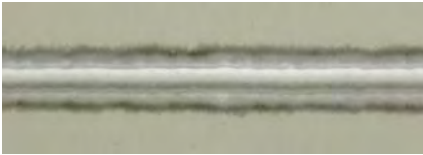

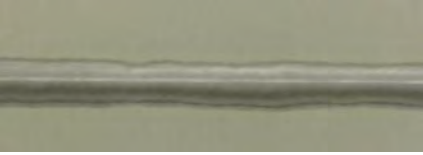
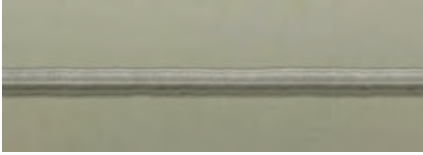






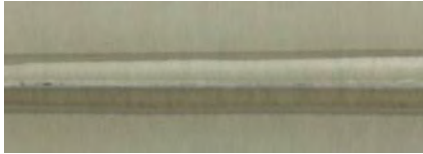
Linde



Különböző technológiák összehasonlítása (MIG, TIG-AC) (gépi pisztoly vezetés, és hegesztőanyag adagolás)

THE LINDE GROUP

Linde

	TIG-AC	MIG	Plus Pole
	v_w 25 cm/min	40 cm/min	200 cm/min
2mm	Korona 		
	Gyök 		
	v_w 18 cm/min	29 cm/min	38 cm/min
6mm	Korona 		
	Gyök 		

A scenic landscape featuring a range of mountains partially obscured by a thick, white sea of clouds. The foreground shows a dark, rocky outcrop. The sky is overcast with soft, grey clouds. The overall mood is serene and majestic.

Köszönöm a figyelmet!

Linde Gas – Ideas become solutions.