

Hidrogén porozitás vizsgálata 131-es hegesztési eljárás esetén

Szabó Áron

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar
egyetemi hallgató
E-mail: ajron@vipmail.hu

Absztrakt: Az alumínium és ötvözeteinek hegesztése közben fellépő egyik probléma a varratok porózussága. A porózusságot az ömledékben feloldódó hidrogén okozza, ez ugyanis a varrat megszilárdulásáig nem képes kijutni. Az anyagfolytonossági hibák számos problémát okozhatnak: csökkentik a varrat szilárdságát, lemunkálás után lyukacsossá teszik a felületet, rontják a fedőréteg megtapadását. A porózusságot a minimális értéken kell tartani. Ez vonatkozik a zárványok kiterjedésére és méretére egyaránt. Az előadás áttekinti a szakirodalmat, gyártási tapasztalatok alapján összegyűjti a porozitás lehetséges okait, a varratba jutó hidrogén forrását, számba veszi azokat a technikákat, amelyekkel biztosítható a hidrogén és az ömledék elválasztása. Egy kísérletsorozat segítségével ismerteti, hogy fogyóelektródás semleges védőgáz (131) ívhegesztés esetén melyek azok a paraméterek, amelyek a porozitás létrejöttében központi szerepet játszanak.

Kulcsszavak: alumínium, hidrogén, porozitás, 131-es eljárás, ívhegesztés, varrathiba

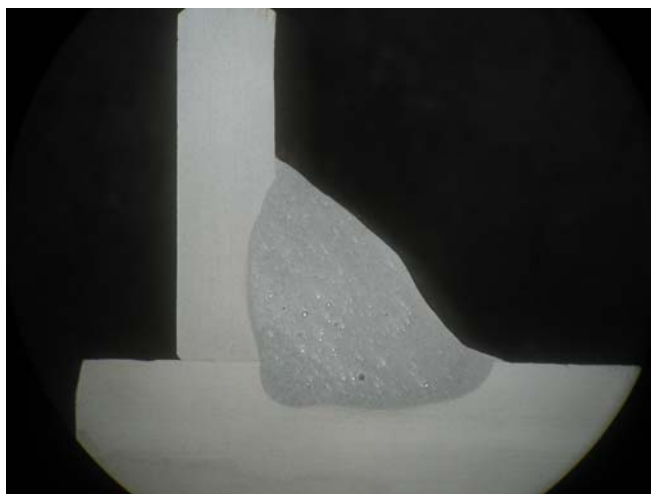
1. Bevezetés

Az alumínium széles körben elterjedt alapanyag. Már a XIX. században is használták, elsősorban korrózióálló tulajdonsága és kis sűrűsége miatt. Hegesztését a XX. század 50-es éveiben oldották meg. Az alumínium és ötvözet a járműiparban főként a súlycsökkentés miatt használatos, ezzel többek között a járművek fajlagos hajtási teljesítmény igénye menetdinamikai tulajdonsága javítható. Ezek a mutatók kulcsszerepet játszanak felgyorsult, de egyre inkább környezettudatos életünkben. Az alumínium hegesztése új kihívásokat jelent a mérnökök számára, mivel a modern technológiák és berendezések használata mellett is fellépnek eddig megoldat-

lan problémák. Ilyen korábbi nehézségként említhetnénk az alumínium oxidképző hajlamát, a gyakori szélbeégéseket, hideg hegedést vagy éppenséggel a hidrogén porozitás kialakulását. Munkámban a porozitás kialakulásának folyamatát, valamint elkerülésének lehetőségeit ismertetem. Az előadás összefoglalja a hegesztési szakirodalomból, illetve gyártási tapasztalatokból azon általános érvényű szabályokat, amelyek a porozitás minimális szinten tartását biztosíthatják. Ezután labor körülmények között hegesztési kísérleteket végeztünk, amelyek célja megkeresni a porozitás okainak kritikus paramétereit. A kísérlet során törekedtünk egy hegesztő üzem gyártási körülményeit betartani, a varratképzéshez az ott használt eljárást, alapanyagot, hozaganyagot, védőgázt és gépeket használtuk.

2. A hidrogén porozitás kialakulásának okai, következményei, valamint a probléma megoldására irányuló javaslatok

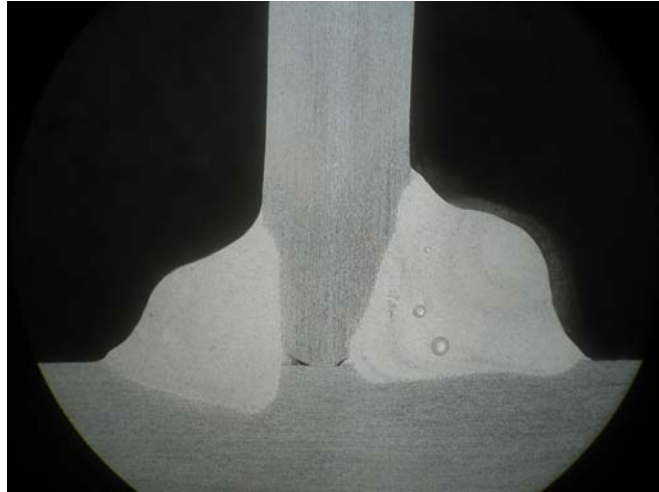
2.1. Az alumínium hidrogén felvétele és a porozitás kialakulása



1. ábra Egyenletes eloszlású gázzárványok a varratban

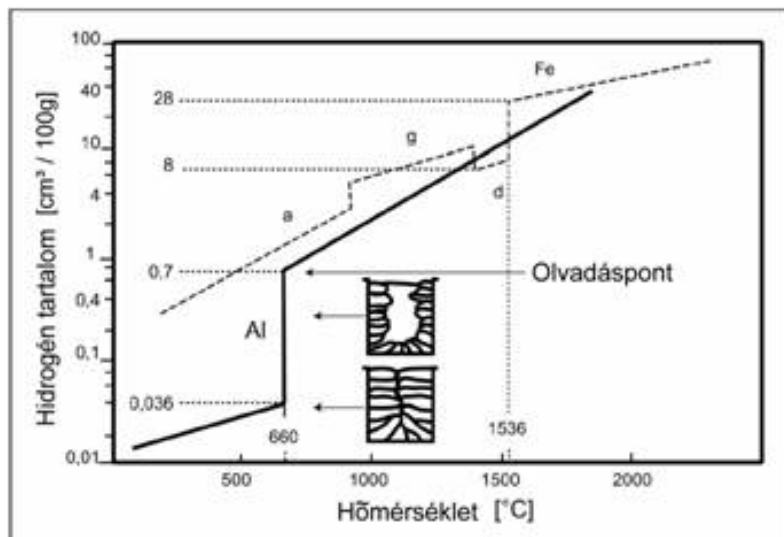
A porozitás oka az, hogy a hegesztési ömledékben feloldódott hidrogén a megszilárdulásáig nem képes a varratból kijutni és gázzárványokat okoz. A zárványok csökkentik a kötések statikus és dinamikus szilárdságát, megszüntetik az anyag homogenitását, anyagfolytonossági hibákat okoznak, repedések, vagy akár törések kiinduló pontjai lehetnek. Mindemellett egyéb gondokat is jelentenek. Például a

varrat mechanikus lemnakálásakor, a felszínre kerülve megjelennek a felületen, és az esztétikai hibán kívül csökkenthetik a fedő rétegek (pl. festékek) tapadását is. Az 1. és a 2. ábra a gázzárványokat szemlélteti.



2. ábra Nagy átmérőjű gázzárványok a varratban

Valójában minden alumínium varrat tartalmaz kis mennyiségű porozitást. Ezt a folyékony, illetve szilárd halmazállapotú alumínium hidrogénoldó képessége közti különbség okozza, amint az megfigyelhető a következő diagrammon:



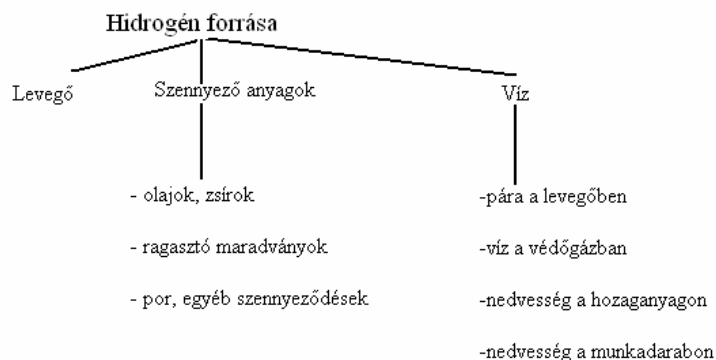
3. ábra Alumínium és vas hidrogénoldó képessége a hőmérséklet függvényében [1]

A porozitás kialakulását tehát, mindenképpen befolyásolja az ömledék megszilárdulásához szükséges idő, ami a hegesztési sebesség függvénye. Ez azt jelenti, hogy a porozitás kiterjedése a hegesztési sebesség növekedésével (hegesztőpisztoly sebességével) szintén növekszik. Befolyásolja továbbá a hidrogén oldó képességet az ötvöző elemek típusa és mennyisége. A tényleges hidrogénfelvételt azonban környezet hidrogéntartalma és annak parciális nyomása határozza meg.

Kézenfekvő megoldásnak látszik a környezet hidrogén leadó képességét olyan alacsonyan tartani, amennyire csak lehetséges. Általában a hidrogéntartalom felső határa, amíg nem, vagy csak elvétve képződik porozitás 0,2-0,3 ml/100 g. Ez a határérték a gyakorlatban alig tartható [1] [2].

2.2. A hidrogén forrása és a varrat megóvásának lehetőségei

Az alábbi ábra a varratba jutó hidrogén lehetséges forrásait mutatja be.



4. ábra A varratba kerülő hidrogén lehetséges forrásai

A hidrogén források számbavételénél egyértelműen a légkörben is megtalálható atomos, vagy molekuláris állapotú hidrogén (H_2) az első. A száraz levegő két fő összetevője a nitrogén és az oxigén. Az egyéb összetevők aránya alig több mint egy százalék, ebből a hidrogén 0,01 térfogatszázalékot tesz ki. Látható, hogy ez egy kis mennyiség (tömegszázalékban kifejezve csupán 0,0007%). Figyelembe véve ezt a mennyiséget, valamint, hogy az ömledéket a védőgáz óvja a légkörtől, kijelenthetjük, hogy a hegesztő üzem levegőjében lévő atomos vagy molekuláris hidrogén a varrat porozitás szempontjából elhanyagolható.

Nem mondható ugyanez el a levegő nedvesség tartalmáról. Egy üzem levegőjének relatív nedvességtartalma 30 és 60% között ingadozik az évszakok és az időjárás függvényében. Ez a vízmennyiség már nagyságrendekkel több hidrogént tartalmaz, vagyis ha az ömledék érintkezik a szabad levegővel, akkor a porozitás létrejöttével mindenképpen számolni kell. Az ömledék és a levegő kétféle módon léphet kapcsolatba. Az első eset, ha elégtelen a védőgáz mennyisége vagy éppen-

séggel túl sok, ezáltal turbulensé válik az áramlása az ív körül. Ekkor az összes varrat minősége leromlik. A hiba a védőgáz térfogatáramának szabályozásával gyorsan orvosolható. A megfelelő védőgáz kiválasztásáról érdemes a gáz beszállítójával konzultálni. A másik lehetőség, ha a hegesztő hibás pisztolytartással dolgozik, illetve szél vagy huzat akadályozza a megfelelő védőgázburok kialakulását. A hibás pisztolytartásból eredő porozitás feltérképezése magas szintű minőségbiztosítást követel, tudni kell, hogy ki készítette a hibás varratot, hogy utána a dolgozó megfelelő továbbképzését biztosítani lehessen. Ezután a hegesztő ismételt munkapróbán bizonyíthatja alkalmasságát. A szél, valamint a huzat hatását már a hegesztő üzem tervezésénél figyelembe kell venni, ezzel is biztosítva, hogy az ív közvetlen közelében ne jöhessen létre nagy légmozgás.

A védőgáz beszállítója vállaljon szerződésben garanciát arra, hogy az általa szállított palackokban (palackkötegekben), a gáz(ok) a szabványok vonatkozó előírásainak megfelelnek. Erről az előírt dokumentációt esetről estre be kell mutatni. A gáz előállítása és szállítása nagy szakértelmet és gondos, precíz munkát követel, beleértve valamennyi technológiai elemet, a palack átvételétől kezdve, a tisztításán és töltésén át egészen az újbóli hálózatra csatlakoztatásig. Megfelelő technológiai fegyelem esetén kis valószínűsége van annak, hogy víz jusson a védőgázba. A víz bejutás és páralecsapódás lehetősége már a tervezőasztalon is majd később, a szerelés közben is eldőlhet. A tervezőnek tisztában kell lenni a részproblémák megoldásának lehetőségeivel, a szerelés közben törekedni kell a tisztaságra és az üzembe helyezéskor a gondos és szakszerű átöblítésre. A hegesztőüzemben több száz méter gázvezeték van, a karbantartás minőségétől függően bejuthat a nedvesség a rendszerbe. Víz kerülhet abban az esetben is a vezetékbe, ha a palackkezelés, vagy a hegesztőgép csatlakoztatása a hálózatra nem szakszerű. A hegesztőgépek ki-, illetve bekapcsolása során is elmaradhat az átöblítés.

Nedvesség a hozaganyagon és a munkadarabon is lecsapódhat. A hozag- és alapanyag raktározása technikai kérdés. Minden eszközzel el kell kerülni a védőcsomagolások sérülését, a páralecsapódás lehetőségét. A hegesztés megkezdése előtt a varrat helyének szakszerű tisztítása zsirtalanítása elengedhetetlen. A lemezek és profilok tárolásánál fontos, hogy ne érjenek össze, közöttük légmozgás legyen (lásd 5. ábra).

A raktározás állandó hőmérsékleten történjen, kontrolált páratartalommal. A hegesztőanyagok tárolása fűtött, kontrolált relatív páratartalmú konténerben történjen. A hegesztés megkezdése előtt a hegesztőanyagot legalább 24 óráig az alapanyaggal egy térben, bontatlan csomagolásban kell tartani, hogy felvehesse a környezet hőmérsékletét. A páratartalom és a hőmérséklet hatása a különböző évszakokban a gyártás körülményeit megváltoztatja. Ahogy egy hideg pohár felületén a nedvesség kondenzál, ugyanúgy az alumínium felületén is megtörténik a lecsapódás. Mértékadó a levegő és a fém közötti hőmérsékletkülönbség és a relatív páratartalom.

Szabó Áron: Hidrogén porozitás vizsgálata 131-es hegesztési eljárás esetén



5. ábra Alumínium profilok tisztítása, jól láthatók a tárolás során a szellőző rést biztosító kartoncsíkok

Az 1. táblázat mutatja azt a hőmérsékletkülönbséget és a hozzá tartozó relatív páratartalmat, amelynél a kondenzáció a fém felületén megkezdődik.

1. táblázat Kondenzációhoz szükséges hőmérséklet különbség és páratartalom [1]

$(T_{\text{levegő}} - T_{\text{fém}})$	Relatív páratartalom	$(T_{\text{levegő}} - T_{\text{fém}})$	Relatív páratartalom
°C	%	°C	%
0	100	12	44<
1	93	13	41
2	87	14	38
3	81	15	36
4	75	16	34
5*	70*	18	30
6	66	20	26
7	61	22	23
8	57	24	21
9	53	26	18
10	50	28	16
11	48	30	14

A bejelölt példa szerint 70%-os relatív páratartalom mellett már 5°C-os hőmérsékletkülönbségnél megjelenik a nedvesség a fém felületén [1].

Hidrogén kerülhet a varratba az egyéb szennyeződésekéből is. Ezek egyik csoportja a zsírok és az olajok. Megtalálhatóak a munkadarabon, illetve a hozaganyagon is egy korábbi megmunkálásakor használt gépszírból, vagy hűtő-kenő folyadékból, de leggyakrabban szabad kézzel történő érintés során kerül a hozaganyagra vagy a varratok helyére. Speciális esetben olaj vagy pác kerülhet az ív közelébe, ez a gázhálózat csővezetékeiből származik. A hálózat kiépítéskor ugyanis a csövek belső illesztésénél maradhat némi szennyeződés, amit aztán az áramló gáz magával ragadhat. Hasonló módon okozhatnak problémát a ragasztó maradványok is. Az üzem levegőjében lévő por szintén egyfajta szennyezője a varratnak. Mennyisége és összetétele szempontjából meghatározó, hogy milyen egyéb műveleteket végeznek az üzemterületen a hegesztésen kívül (például: köszörülés, festés-alapozás, csiszolás, stb.). Nagy mennyiségben akkor okozhat gondot, ha a munkadarabot nem tisztítják meg a hegesztés előtt, illetve a hozaganyagot, csomagolásából kibontva tárolják az üzemterületen. A zsírok, olajok és por eltávolítása nagy gondosságot és tiszta munkakörnyezetet igényel. Fontos, hogy minden hegesztést tisztítás előzzön meg, melynek legfontosabb eszközei a speciális zsírtalanító és tisztító folyadék, és a levegős pisztoly.

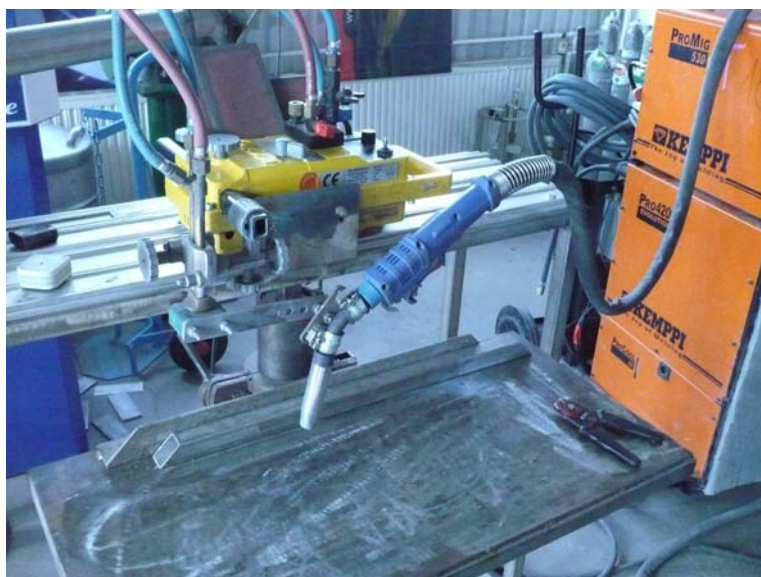
Összegzésként elmondható, hogy a porozitás visszaszorításához megfelelő mennyiségű és minőségű védőgáz kell, fontos az egyenletes raktározási hőmérséklet, továbbá a tiszta munkakörnyezet.

3. Porozitás vizsgálati kísérlet

3.1. A kísérlet peremfeltételeinek meghatározása

A porozitás vizsgálatának első lépéseként meghatározásra kerültek azok a kiinduló feltételek, amelyek között a kísérlet megvalósításra kerül. Ez azt jelenti, hogy alumínium vasúti kocsiszekrény-gyártásához használt eljárásra és a kocsigyártás alapanyagaira ki kell dolgozni a technológiai rendszert és ahhoz tartozó utasításokat. 6xxx-es sorozatba tartozó préselt alumínium profilokat hegesztünk össze fogyóelektródás, semleges védőgáz as ívhegesztéssel (131-es eljárás az MSZ ISO 4063 szerint). A próbadarabokon 300 mm-es tompavarratokat helyezünk el. A felhasznált huzal képlékenysége miatt húzó-toló (push-pull) pisztolyt használunk. A pisztoly egyenletes mozgatásáról egy hegesztő traktor gondoskodik. A kísérlet során egy Kempfi PRO 4200 Evolution típusú hegesztőgépet használtunk. A gép kezelését Reichardt László végezte. A helyszínt a Linde Gáz Magyarország Zrt. Illatos úti telephelyen működő hegesztő labor biztosította. A rendszert az alábbi képek mutatják.

Szabó Áron: Hidrogén porozitás vizsgálata 131-es hegesztési eljárás esetén



6. ábra Hegesztőgép, push-pull pisztoly, traktor és munkaasztal



7. ábra A hegesztő-pisztolyfej és a próbadarab

A kísérlet célja meghatározni azokat a paramétereket és tényezőket, amelyek megváltozása kritikus a porozitás képződés szempontjából. Ehhez először egy kontroll varratot kellett készíteni. Ez az etalon egy préselt alumínium profilokat

hegesztő üzem utasítása szerint készült. A kontrol WPS megtekinthető a 2. táblázatban. A kísérlet során az etalonhoz képest megváltoztattuk a védőgáz összetételét, térfogatáramát, a hegesztési felület tisztaságát, illetve a pisztolydőlést, úgy hogy közben minden más paramétert állandó értéken tartottunk. Az elkészült varratok kiértékelése szemrevételezéssel történt, valamint a darabok elvágása után varrat csiszolat készült. A kísérlet eredményeit a következő a fényképek mutatják.

2. táblázat Az etalon varrat elkészítéséhez használt hegesztési utasítás

Hegesztési utasítás (MSZ EN ISO 15609-1)					WPS AL-01-01			
Hegesztési eljárás:	131 (MIG)	Vizsgáló/Vizsgálat helye:						
WPQR Nr.:	WPQR-01	Előkészítés fajtája:	Tisztítás felülettisztítóval					
Gyártó:	-	Alapanyag:	A:	6008	B:	6008		
Hegesztési folyamat:	v (teljesen gépesített)	Vizsgálati darab: (T vagy P):	Profil					
Hegesztési pozíció:	PA	Munkadarab vastagsága:	tA:	4 mm	tB:	4 mm		
Varrat fajtája:	Tompavarrat V 4	Külső átmérő:	---					
Varrat kivitele:	ss mb	Paraméter dokumentáció:						
Részletek:	Lásd a rajzokat	Munkapróba:						
Hegesztési kötés kialakítása					Hegesztési műveleti sorrend			
Réteg	Folyamat	Huzal Ø	Áramerősség (alapáram)	Feszültség	Áram (imp)	Huzal előtolás	Hegesztés sebessége	Hőbevitel
	mm	mm	(A)	(V)	Hz	m / min	cm / min	KJ / cm
1-rétegű	131	1.2	190	29,2	194 Hz	11	65 -70	---
Hegesztőanyag:			DIN 1732 AlMg5Cr		Gázterelő átmérő:		17 mm	
- Márkanév:			MIG WELD ML5356/AlMg5Cr		Áramátadó távolsága:		15 - 18 mm	
- Száritási előírás:			---		Pisztoly beállítási szöge:		Előre tartva	
Védőgáz:			EN439-I3	Ar85%, He 15%	Lengetés / max. lengetési szélesség		nem	---
Gázáramlási mennyiség:			15-19	l/min	Érvényességi tartomány:			
Wolframelektroda típusa/-Ø:			---	mm	- Hegesztési varrat:		V4	
Előmelegítési hőmérséklet:			---	°C	- Anyag:		23.1	
Rétegek közti hőmérséklet:			---	°C	- Hegesztőanyag:		AlMg5Cr	
Megjegyzések:								
Készítette/Szerkesztette:					Szabó Á.		Dátum:	
Engedélyezte:					Dr. Dulin L. (IWE)		2010.03. 06.	
							Dátum:	
							2010.03. 06.	

3.2. A kísérlet eredménye

A 8. ábrán a fenti WPS szerinti készített varrat látható. Ehhez fogom hasonlítani a többi elkészült varratot.



8. ábra WPS szerinti varrat csiszolata

A varrat minősége megfelelő, nincsenek durva varrathibák. A gyökálatámasztás közelében azonban található apróbb gázzárványok, ezek viszont nincsenek a varrat terhelt keresztmetszetében.

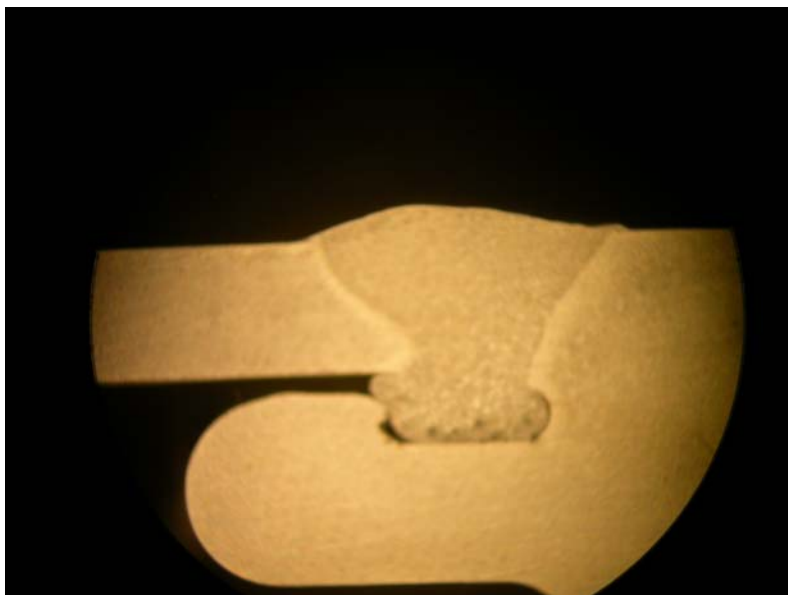
Az első megváltoztatott paraméter, a védőgáz térfogatárama. A 9. ábrán a kontroll 15 l/min-hez képest 9 l/min, míg a 10. és a 11. ábrán 20 valamint 25 l/min a védőgáz térfogatárama.

A 9. ábrán látható a kontrollhoz képest kisebb beolvadás, illetve a nagyobb kiterjedésű és átmérőjű gázzárványok a gyökmegettámasztás közelében. A varrat mindezek ellenére még megfelelő [3] [4].



9. ábra Csökkentett (9 l/min) védőgáz térfogatárammal készített varrat

A kontrolhoz képest nagyobb beolvadás látható a 10. ábrán, de a gázzárványok átmérője is megnövekedett.



10. ábra Növelt (20 l/min) védőgáz térfogatárammal készített varrat

A 11. ábrán látható próba célja az volt, hogy láthassuk a szélsőségesen megnövelt védőgáz mennyiségét a hegesztőívre, és az így létrehozott varratminőségre. Bár ez az első varrat, amelynek a gyökénél nincsenek pórusok, ellenben jobboldalon az összeolvadási határon látható egy zárvány, vagyis a varrat nem megfelelő [3] [4].



11. ábra Növelt (25 l/min) védőgáz térfogatárammal készített varrat

A vizsgálódás folytatásaként a felület előkészítés hiányosságaiából adódó varrathibákat figyeltünk meg. Az eddig készített varratok esetén a por és zsírtalanítást egy acetonos ronggyal végeztük. A következő ábrákon szereplő varratok esetében a már előkészített felületet szennyeztük. A 12. ábrán szabadkézzel érintve a hegesztési felületeket, ezáltal a kéz nedvességével és zsírosságával okozva a szennyeződést, ami üzemi körülmények között az anyagmozgatás során gyakran előfordulhat.

A 12. ábrán látható varrat képe nagyon hasonlít a kontrolhoz, ez nem is meglepő, hiszen a felület szennyezettsége minimális. A 13. ábrán látható varrat elkészítése előtt, a felületet olajjal kentük be.



12. ábra A kéz nedvességével és zsírosságával szennyezett felületek hegesztése



13. ábra Olajjal szennyezett felületek hegesztése

Szabó Áron: Hidrogén porozitás vizsgálata 131-es hegesztési eljárás esetén

Bár a csiszolaton, néhány apróbb zárványtól eltekintve nem látható az eddigiekhez képesti durva hiba. A 14. ábrán megfigyelhető, hogy a varrat felszíne mennyire egyenetlen és kormos.



14. ábra Az olajos felületek hegesztésénél látható kormos varrat felszín

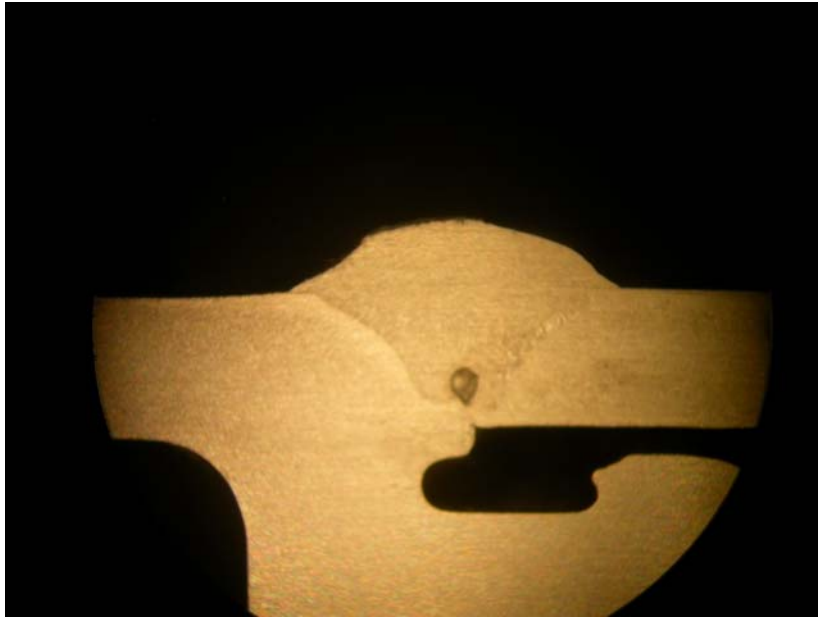
Az utolsó a felület szennyezettségét vizsgáló varrat képe a 15. ábrán látható. Ebben az esetben a felületet tisztítás után hűtéssel bepárásítottuk.



15. ábra Párás felületen hegesztett varrat

A varrat a kontrolhoz hasonló eredményt mutat. A látszólag porozitás mentes eredményben több tényező is közrejátszhat. Elsősorban a labor páratartalma, illetve a kisméretű próbadarabok, amelyek a hegesztés során gyorsan felmelegedtek, így a pára a felületről akár a fűzővarratos rögzítés után elillanhatott.

Ezen a nyomvonalon elindulva, további két munkadarabot szárazjéggel lehűtöttük. A 16. ábrán látható varrat hegesztésének kezdetekor a kezdő hőmérséklet -20°C volt.



16. ábra -20°C -ra lehűtött próbadarab

Ez a varrat egy szélsőségesen lehűtött alapanyag hegesztését mutatja, és ezzel együtt kötéshibák széles skáláját. A 16. ábrán többféle varrathiba is látható; a nem megfelelő beolvadástól kezdve a tömlő alakú gázzárványon át egészen a hideg hegedésig. Egy ilyen varrat minőségileg elfogadhatatlan.

A másik próbadarab a 17. ábrán látható. Ennél 0°C -ot mértem a hegesztés megkezdésekor.

Ez a varrat, bár átolvadt és porozitást sem tartalmaz, mégsem megfelelő. A varrat hibája a baloldalon tisztán látható hideg hegedés. A hideg hegedés megjelenése a két lehűtött próbadarabon hegesztett varratokon szinte törvényszerű, mivel a paramétereiket a kontrolhoz képest nem állítottuk el, a munkadarabok ugyanazt a hőmérsékletet kapták, mint szobahőmérsékletűek.

Szabó Áron: Hidrogén porozitás vizsgálata 131-es hegesztési eljárás esetén



17. ábra 0 °C-os próbadarab hegesztése

A vizsgálat következő fázisában a hegesztők hibás pisztolytartásából származó varrathibákat próbáltuk modellezni. A 18. ábrán látható varrat úgy készült, hogy a pisztolyt tartó traktor az ellenkező irányba haladt, a 15°-ban előre tartott (toló) pisztoly itt húzott irányú lett.



18. ábra Húzott pisztollyal készített varrat

Ez a varrat a várakozásoknak megfelelően nem tartalmaz porozitást, hiszen az ömledék sokáig maradhatott folyadék fázisban és a védőgáz is óvta, ezzel hosszú időt biztosítva a hidrogén kidiffundálásához. A 19. és 20. ábrán megfigyelhető, hogy a varrat felszíne mennyire kormos lett, melynek egy része még tisztítás után is megmaradt, illetve szélbeégés is észrevehető a szemrevételezés során.



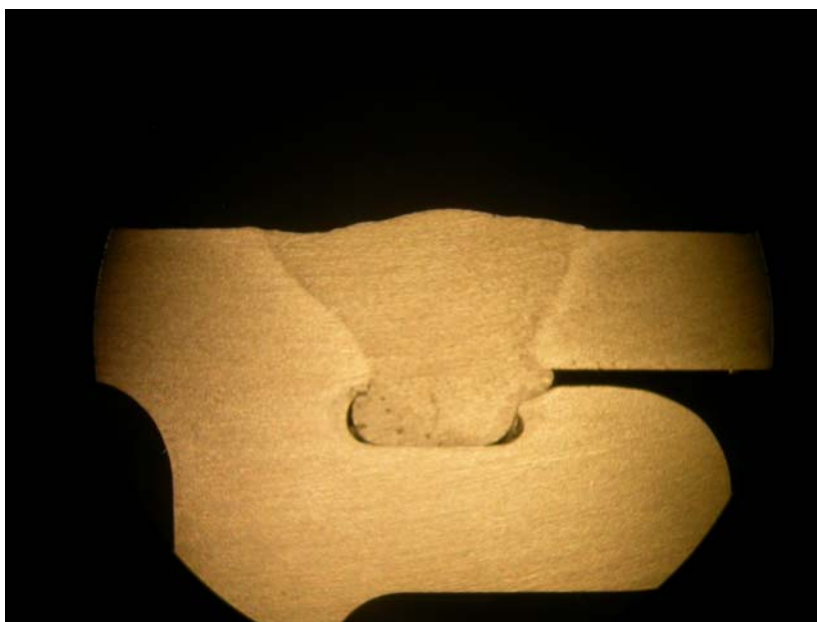
19. ábra Húzott pisztollyal készített varrat felszíne a hegesztés után



20. ábra Húzott pisztollyal készített varrat felszíne a tisztítás után

Látható, hogy az alumínium húzott pisztollyal történő hegesztése nem megengedhető [3] [4].

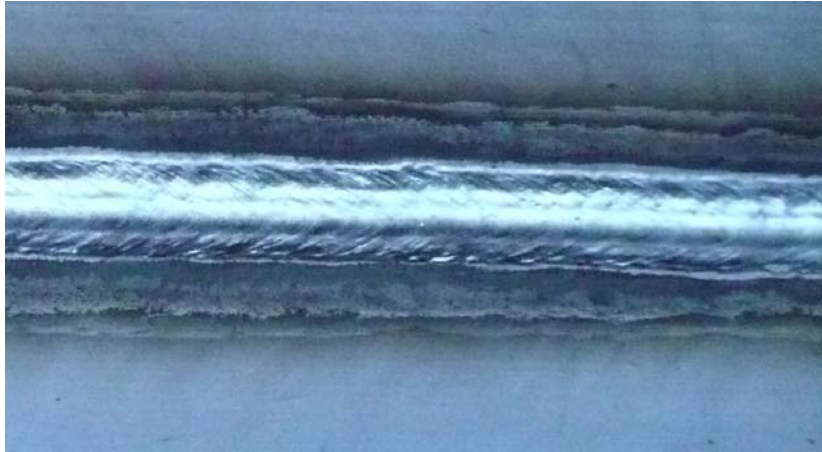
Visszatérve a toló pisztolytartáshoz, két olyan próbát végeztünk, melynél a függőlegeshez képest először 30°, majd 45°-os szöget zár be a hegesztőfej. A túlzott pisztolydöntés gyakran előforduló hiba, főleg nehezen hozzáférhető helyek hegesztése esetén. Ilyenkor a hegesztőív könnyen kiléphet a védőgázburokból, vagy az injektor hatás érvényesül és ily módon a levegő érintkezik az ömledékkel. A 21. ábrán a függőlegeshez képest 30°-os szöget bezáró pisztollyal készített varrat látható.



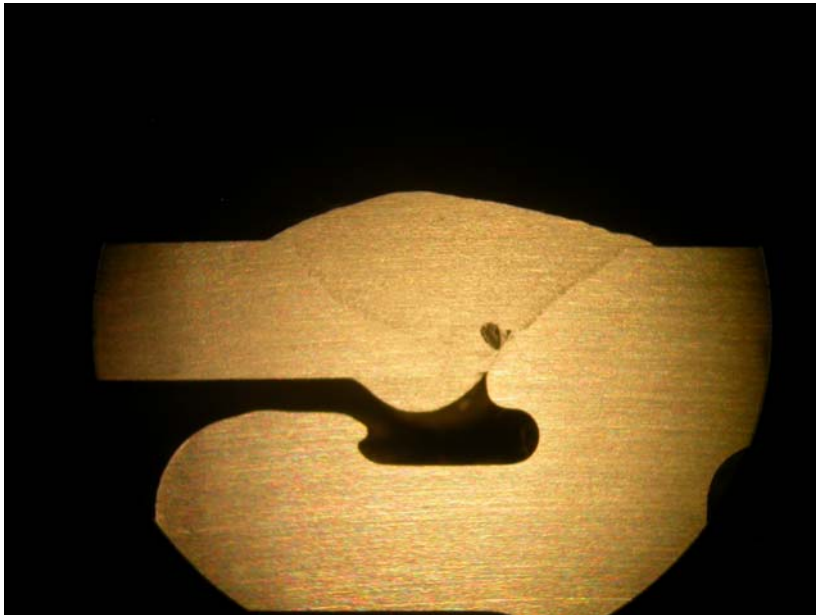
21. ábra 30°-os pisztolydöntéssel készített varrat

A metszeten látszanak a gázzárványok és a baloldalon szélbeégés is. Ezt erősíti meg a 22. ábra, amely a varrat szemrevételezéses vizsgálata során készült. Ezen a felületre kifutó gázzárványok, valamint szélbeégés is látható.

A 23. ábrán a függőlegeshez képest 45°-os szöget bezáró pisztollyal készített varrat látható. Ennek készítésekor már hallható volt a szakadozó hegesztőív, ezért nem meglepő, hogy a varrat nagyon egyenetlen, a beolvadás nem megfelelő és egy tömlő alakú gázzárvány is megfigyelhető.



22. ábra 30°-os pisztolydöntéssel készített varrat felszíne szélbeégéssel és felületre kifutó gázzárványokkal



23. ábra 45°-os pisztolydöntéssel készített varrat

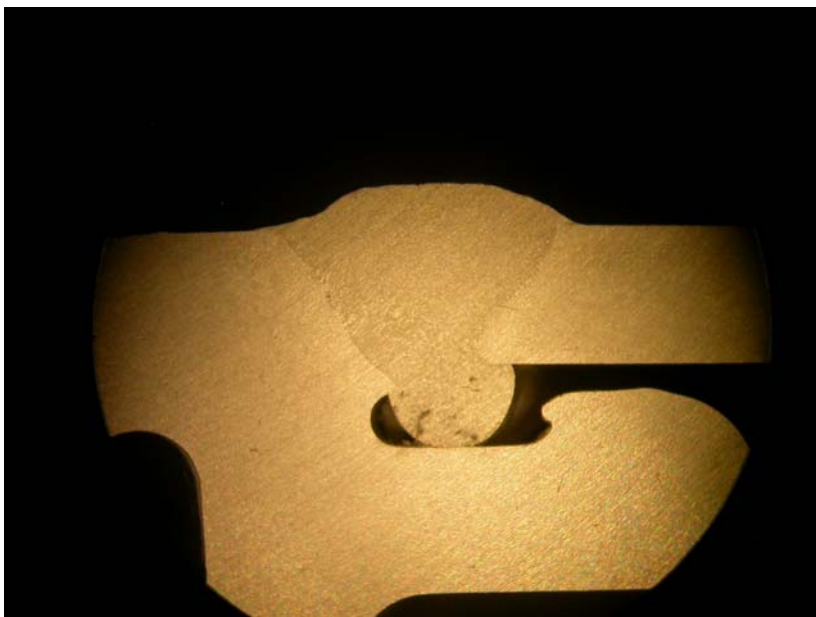
A kísérlet utolsó részében a védőgáz összetételét változtattuk több lépcsőben, először 4.6-os minőségű tiszta argont használtunk, majd héliumot kevertünk hozzá. A 4.6-os argonnal készített varrat a 24. ábrán látható.



24. ábra 4.6-os tisztaságú argonnal készített varrat

A 24. ábrán látható varratban nagymennyiségű gázzárvány található a teljes keresztmetszetben. További varrathiba a nem megfelelő beolvadás, ez annak tudható be, hogy a kontrolnál használt paraméterekkel végeztünk a hegesztést, de akkor a védőgáz 15%-ban héliumot tartalmazott, aminek a hővezető képessége sokkal nagyobb, mint az argonnak. Vagyis tiszta argonnal való hegesztéshez növelni kell az áramerősséget, hogy megfelelő legyen a hőbevitel.

A 25-ös és a 26-os ábrán látható két varratnál az argon mellé a védőgázba 5, illetve 10% héliumot kevertünk. Megfigyelhető, hogyan növekszik a beolvadási mélység a héliumtartalom növekedésével. Porozitás szempontjából mindkét varrat megfelelő [3] [4].



25. ábra 5% héliumot és 95% argont tartalmazó védőgázzal hegesztett varrat



26. ábra 10% héliumot és 90% argont tartalmazó védőgázzal hegesztett varrat

Végül a hélium tartalmat 30%-ra növeltük, az így hegesztett varratról készített kép a 27. ábrán látható. Ezen már jól látható a hélium varratalakot jótékonyan befolyásoló hatása, a széles és mély porózus mentes beolvadás.



27. ábra 30% héliumot és 70% argont tartalmazó védőgázzal hegesztett varrat

A hegesztés során állandó tényezőket a 3. táblázat, a változókat a 4. táblázat mutatja a kontrolhoz képest sárgával kiemelve.

3. táblázat A hegesztő kísérlet során minden varratnál állandó paraméterek

Varrat fajta		V 4
Pozíció		PA
Alapanyag		6008
Hozaganyag		AlMg5Cr
Hegesztési eljárás		131
Paraméterek	Áramerősség	190A
	Feszültség korrekció	-4
	Sebesség	65cm/min
	Huzal előtolás	11m/min
	Áramátadó távolsága	18mm
Hőmérséklet	Külső	14°C
	Belső	22°C

4. táblázat A hegesztő kísérlet során változó paraméterek

Ábra száma	Védőgáz		Felület előkészítés	Pisztoly beállítás	Munkadarab hőmérséklete a hegesztés megkezdésekor
	Típusa	Térfogatárama			
8.	15%He	15l/min	Acetonnal	Előre tartva	22°C
9.	15%He	9l/min	Acetonnal	Előre tartva	22°C
10.	15%He	20l/min	Acetonnal	Előre tartva	22°C
11.	15%He	25l/min	Acetonnal	Előre tartva	22°C
12.	15%He	15l/min	Kézzel érintett felület	Előre tartva	22°C
13.	15%He	15l/min	Olajos	Előre tartva	22°C
15.	15%He	15l/min	Párás/vizes felület	Előre tartva	22°C
16.	15%He	15l/min	Acetonnal	Előre tartva	-20°C
17.	15%He	15l/min	Acetonnal	Előre tartva	0°C
18.	15%He	15l/min	Acetonnal	Húzva	22°C
21.	15%He	15l/min	Acetonnal	30° toló	22°C
23.	15%He	15l/min	Acetonnal	45° toló	22°C
24.	0%He	15l/min	Acetonnal	Előre tartva	22°C
25.	5%He	15l/min	Acetonnal	Előre tartva	22°C
26.	10%He	15l/min	Acetonnal	Előre tartva	22°C
27.	30%He	15l/min	Acetonnal	Előre tartva	22°C

Összefoglalás

A kísérlet eredményeit áttekintve látható, hogy a legjobb varratokat a 27. ábrán látható 30% héliumot tartalmazó védőgázzal hegesztve érhetjük el. Ezzel a mi hegesztési körülményeinkre is igazolva, hogy a hélium tartalom növekedésével, kedvezőbb varratgeometria és zárványmentes varrat állítható elő. Ellenpólusként a két legrosszabb varrat a -20°C-os próbadarabon (16. ábra), illetve a 45°-os pisztolydöntéssel (23. ábra) készült. -20°C-os munkadarabok hegesztése természetesen elképzelhetetlen üzemszerű körülmények között, mégis a próba bebizonyította, hogy a kültéri raktározást alkalmazva a napon felhevült, vagy a hidegben lehűlt munkadarabokat idejében a hegesztőüzembe kell szállítani, hogy a hőmérséklet kiegyenlítés végbe mehessen, csak így biztosítható a hegesztési utasítás szerinti hőbevitellel a megfelelő kötés kialakítása. A fő problémát ezekkel a varratokkal az okozza, hogy szemrevételezéssel többnyire nem állapítható meg, az hogy hibásak, szemben a pisztolytartásból származó eltérésekkel. Amint az a 19, 20 és 22-es ábrán is látható, ezek a varratfelszínek elárulják a hibát. Kormos, szélbeégett és fel-

színre kifutó zárványokat tartalmazó varratok esetén a pisztoly vezetés hibájára gyanakodhatunk. Szennyezett felületek hegesztésekor szintén számíthatunk korrozódásra és zárványok megjelenésére. A szennyezés típusa és mértéke azonban nem elhanyagolható. A gyártási körülmények között óhatatlanul is előfordul a szabad kézzel történő érintés nem befolyásolja számottevően a varratok minőségét. Az extrém módon szennyezett (13. ábra, olajos szennyezés) felület hegesztésekor már jelentősen nő a zárványok kialakulásának esélye, ezért a felület megfelelő előkészítése és a tiszta munkakörnyezet fenntartása is a minőségi kötéselésítés egyik kulcsa.

Köszönetnyilvánítás Köszönöm a cikk megírásához nyújtott segítséget a Stadler Szolnok Vasúti Járműgyártó Kft-nek és a Linde Gáz Magyarország Zrt-nek.

Irodalomjegyzék

- [1] Hegpont kft. <http://www.hegpont.hu/specialitasok/aluminium.html> 2010.01.03
- [2] Hegesztés és rokon technológiák kézikönyv: Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007
- [3] MSZ EN ISO 5817:2005 Hegesztés. Acél, nikkell, titán és ötvözetek ömlesztőhegesztéssel készített kötése (a sugaras hegesztések kivételével). Az eltérések minőségi szintjei
- [4] MSZ EN ISO 6520-1 Hegesztés és rokon eljárások. Fémek geometriai eltéréseinek besorolása