

Az ultra-finomszemcsés Grade2 titán hegesztése

TDK dolgozat



Készítette:

Balogh Lajos, UMADYI

Sipos József, FCRZYT

Konzulens:

Nagy Péter

Doktorjelölt

Budapest, 2013. 05. 02.

TARTALOMJEGYZÉK

1	Nyilatkozat	3
2	Köszönetnyilvánítás.....	4
3	Jelölés- és rövidítésjegyzék	5
4	Absztrakt.....	6
5	Abstract.....	7
6	Bevezetés	8
6.1	Az ultra-finomszemcsés titán	9
6.1.1	Az UFSz-Ti tulajdonságai	9
6.1.2	Grade2 Ti alapanyag ultra-finomszemcsés szerkezetének előállítása	10
6.2	Az UFSz-Ti hegeszthetősége	14
6.2.1	A titán tulajdonságai.....	14
6.2.2	A titán előállítása Kroll-féle redukciós eljárással.....	15
6.2.3	A titán hegeszthetősége.....	18
6.2.4	A titán hegesztéséhez alkalmazható eljárások.....	18
6.2.5	A titán hegesztésének gyakorlata	20
6.3	Az alkalmazott hegesztési eljárás	25
7	Kísérletek.....	28
7.1	A kísérletek leírása és célja	28
7.2	Az alkalmazott mintadarabok	28
7.3	Az alkalmazott kötéstípus	29
7.4	Az alkalmazott hegesztőberendezés	30
7.5	Az alkalmazott volfrámelektroda.....	31
7.6	Az alkalmazott védőgáz	31
7.7	Az alkalmazott argonkamra és a befogókészülék.....	31
7.8	A hegesztés előkészítésének lépései.....	34
7.9	A hegesztés folyamata	34
7.10	A kísérletek várható eredményei	35
7.11	Az elkészült kötések	35
7.11.1	A hegesztett kötések paraméterei	35

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

7.11.2	A normál üzemmódú hegesztés paraméterei	36
7.11.3	A normál üzemmódban elkészült kötések	36
7.11.4	Az impulzus üzemmódú hegesztés paraméterei.....	39
7.11.5	Az impulzus üzemmódban elkészült kötések	40
7.11.6	A kísérletek tapasztalatai	42
8	Vizsgálatok	43
8.1	A vizsgálatok célja.....	43
8.2	Szemrevételezés	43
8.3	Makrociszolatok készítése	44
8.4	A mikroszerkezet vizsgálata.....	46
8.4.1	A mikroszerkezet vizsgálatának várható eredményei	46
8.4.2	A mikroszerkezet vizsgálatának eredményei.....	46
8.5	A keménységprofil meghatározása.....	48
8.5.1	A keménységmérés várható eredményei	49
8.5.2	A referencia mintadarab keménységmérésének eredménye.....	49
8.5.3	A normál üzemmódban elkészült hegesztett kötések keménységprofiljának meghatározása	50
8.5.4	Az impulzus üzemmódban elkészült hegesztett kötések keménységprofiljának meghatározása	52
9	Összefoglalás.....	54
10	Felhasznált Irodalom	56

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

1 NYILATKOZAT

Alulírott Balogh Lajos és Sipos József kijelentjük, hogy ezt a TDK dolgozatot magunk készítettük, és abban csak a megadott forrásokat használtuk fel. Dolgozatunkban minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos tartalommal átvettünk, a forrás megadásával egyértelműen megjelöltük.

.....

Balogh Lajos

.....

Sipos József

2 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezen dolgozat nem jöhetett volna létre a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék, illetve a BME Hegesztési Szakosztály által biztosított alapanyagok és berendezések nélkül. Támogatásukat ezúton is köszönjük. Külön köszönet Dr. Fábián Enikő Rékának, aki példamutató segítőkészségével nagymértékben hozzájárult a dolgozat elkészítéséhez.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

3 JELÖLÉS- ÉS RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

IKA	<i>Intenzív képlékenyalakítás</i>
HPT	<i>Nagynyomású csavarás (High Pressure Torsion)</i>
ECAP	<i>Könyöksajtolás (Equal Channel Angular Pressing)</i>
Cp-Ti	<i>Kereskedelmi tisztaságú titán (Commercially pure titanium)</i>
UFSz-Ti	<i>Ultra-fínomszemcsés titán</i>
TIG	<i>Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés (Tungsten Inert Gas)</i>
b (mm)	<i>Illesztési hézag</i>
τ_0 (MPa)	<i>A belső súrlódást legyőző feszültség</i>
τ (MPa)	<i>Folyáshatár</i>
k	<i>Hall-Patch meredekség</i>
d (nm)	<i>Szemcseméret</i>
d_c(nm)	<i>Kirikus szemcseméret</i>
d_e(mm)	<i>A volfrámelektroda átmérője</i>
I (A)	<i>Hegesztőáram</i>
t_{fel}(s)	<i>A hegesztő áram felfutási ideje</i>
t_{le}(s)	<i>A hegesztőáram lefutási ideje</i>
I₁, I₂ (A)	<i>Impulzusáram</i>
t₁, t₂ (s)	<i>Impulzusidő</i>
VT	<i>Szemrevételezés (Visual Testing)</i>
F (kp)	<i>Terhelő erő</i>
t (s)	<i>Terhelés ideje</i>
d₁ (mm)	<i>Keménységmérés lenyomatának vízszintes átlója</i>
d₂ (mm)	<i>Keménységmérés lenyomatának függőleges átlója</i>
d_{átl} (mm)	<i>Keménységmérés átlóinak átlaga</i>
x (mm)	<i>A varrat szélétől mért mérési pont</i>
HV01	<i>100g-os terhelés mellett mért mikro Vickers keménység</i>

4 ABSZTRAKT

A titán és ötvözeinek felhasználása napjainkban egyre jelentősebb. A tömegre fajlagosított szilárdsága a fémek között az egyik legnagyobb, kiváló a hő- és korrózióállósága, paramágneses és biokompatibilis. Ezen tulajdonságainak köszönhetően széles körben alkalmazható szerkezeti anyag. Az autóipar motoralkatrészek, a repülőgépipar sugárhajtóművek forgó részeinek és futóművek gyártásához alkalmazza, az orvostechikában, mint implantátum anyagot alkalmazzák. A hadiiparban személyi védőfelszerelések, harckocsik és személyszállító járművek páncélzatának alapanyagául használják. A számítástechnikában a merevlemezek fejlesztésének ígéretes alapanyaga[6][7].

Napjainkban a modern mérnöki alkalmazások azonban egyre szigorúbb követelményeket támasztanak a szerkezeti anyagokkal szemben. A fokozódó elvárásokra az anyagtudomány egyik lehetséges válasza az ultra-finomszemcsés anyagok alkalmazása. Mivel a hegesztés az egyik leggyakoribb gyártási eljárások egyike, ezen anyagok hegeszthetőségének vizsgálata a jövőben kiemelkedően fontos kutatási területté válhat.

A tanulmányunk tárgya éppen ezért az intenzív képlékeny alakítással előállított ultra-finomszemcséjű Grade2-es titán hegeszthetőségének vizsgálata. Célunk, hogy a hegesztési paraméterek optimalizálásával minimalizáljuk az anyagban a hegesztés hatására végbemenő szemcsedurulás mértékét.

A hegesztett kötéseket argon atmoszférában, volfrámelektrodás kézi ívhegesztéssel készítettük el. A mintadarabok 12 mm átmérőjű hengerelt rúdból készültek. A minimális forgácsolási anyagveszteség érdekében a rúdból 2 mm vastagságú körlapokat készítettünk, amelyeket félbevágtunk majd az így kapott feleket 1 mm-es illesztési hézaggal illesztve, hegesztőanyag hozzáadása nélkül, különböző paraméterekkel összehegesztettük. A hegesztett kötéseket roncsolásmentes és roncsolásos makro- és mikroszerkezeti vizsgálatokkal minősítettük.

A kutatásunk eredményeit a hagyományos szemcseszerkezetű titánt felhasználó alkalmazások esetén hasznosíthatják. A jövőben e tanulmány kibővítésére lehetőséget biztosít további mechanikai, valamint korróziós vizsgálatok elvégzése, a hegesztés során hegesztőanyag alkalmazása, eltérő alapanyagú kötések kialakítása, illetve más hegesztési eljárások alkalmazása.

5 ABSTRACT

Nowadays the use of titanium and titanium alloys become more and more significant. It has one of the biggest strength to weight ratio among the metals, an excellent corrosion and heat resistance, it is biocompatible and paramagnetic. Thanks to these properties, titanium has a wide range of applications. It is used for parts of the engine in automotive industry, critical jet engine rotating applications and landing gears in aircraft industry. It is the material of implants in medical applications. It is used as protective armour on personal, personnel carriers and tanks. In the computer industry, titanium is a promising material for hard disk drives [6][7].

Nowadays structural materials must satisfy very high criteria in new engineering applications. The usage of ultra-finegrain materials are a possible answer of the material science for these high requirements. Because of the welding is one of the most common manufacturing process therefore the weldability of these materials will become a really important research subject.

For that very reason our main object is the investigations of the weldability of the ultra-finegrain Grade2 titanium produced by severe plastic deformation. Our objective is to minimize the grain growth effected by the welding process with the optimization of the welding parameters.

The welded joints are prepared in argon atmosphere with tungsten inert gas welding process. The test specimens are made of rolled rod with a diameter of 12 mm. To achieve the minimal material loss due to cutting, 2 mm thick discs were fabricated from the rod. These discs were cut in half, then the halves of the test specimens were welded with different welding parameters. Between each welded parts were 1 mm joint gaps and we did not use any filler material. The welded joints were qualified by non destructive and destructive macro- and microstructure analysis.

The results of our research could be profitable for every applications using titanium with the traditional grain structure. In the future further mechanical- and corrosion testing, the usage of filler materials, the welded joints from different materials and the usage of different welding processes will be able to provide more detailed research.

6 BEVEZETÉS

Az ultra-finomszemcsés anyagok tulajdonságai jelentősen eltérnek a hagyományos szemcsemérettel rendelkező alapanyagokéhoz képest. Például nagyobb folyáshatárral, nagyobb szilárdsággal és keménységgel rendelkeznek. Ennek köszönhetően az új, eddig megvalósíthatatlan alkalmazások lehetősége sok anyagtudománnyal foglalkozó kutatót és mérnököt ösztönzött ezen anyagok előállításának, tulajdonságainak, valamint alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatára és fejlesztésére.

Napjainkban számos módszer ismert a nanométeres nagyságrendű szemcsékkel rendelkező anyagok létrehozására. Ezek közül egy lehetséges eljárás az intenzív képlékeny alakítás (IKA), amely során nyíró alakváltozás segítségével durvaszemcsés anyagból ultra-finomszemcsés állítható elő. Különösen ígéretes, hogy az IKA egyik módszerét, a profilhengerlést, ipari körülmények között is sikerrel alkalmazták ultra-finomszemcsés Grade2-es titán előállítására[3].

Az ultra-finomszemcsés titán ipari előállítása jelentősen megnöveli szerkezeti anyagként történő felhasználhatóságát. Éppen ezért, az ezen anyagok feldolgozására alkalmas gyártástechnológiák vizsgálata a jövőben fontos kutatási területté válhat.

Titánból készült alkatrészek összekapcsolására számos, mechanikai kötőelemeket vagy adhézios kötést felhasználó eljárás létezik, mégis a hegesztés az egyik leggyakrabban alkalmazott gyártástechnológia az alkatrészek közötti kötések elkészítésére[14]. Így ahhoz, hogy az ultra-finomszemcsés titán mérnöki alkalmazások széles körének megvalósítására legyen alkalmas, kiemelkedően fontos ezen alapanyag különböző eljárásokkal történő hegeszthetőségének, illetve az elkészült kötések tulajdonságainak vizsgálata.

Ennek megfelelően egy kiterjedt kutatási és fejlesztési sorozat első lépéseként, ezen dolgozat témája az IKA egyik módszerével, a profilhengerléssel készült ultra-finomszemcsés Grade2 titán hegesztésének tanulmányozása.

A vizsgált hegesztett kötések argon atmoszférában, volfrámelektrodás védőgázos kézi ívhegesztéssel készítettük el, ugyanis a titánból készült hegesztett kötések előállítására ez az egyik leggyakrabban alkalmazott hegesztési eljárás [14]. Az elkészült kötésekben a hegesztés hatására végbement mechanikai tulajdonságok és a szemcseszerkezet változását vizsgáltuk különböző roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazásával.

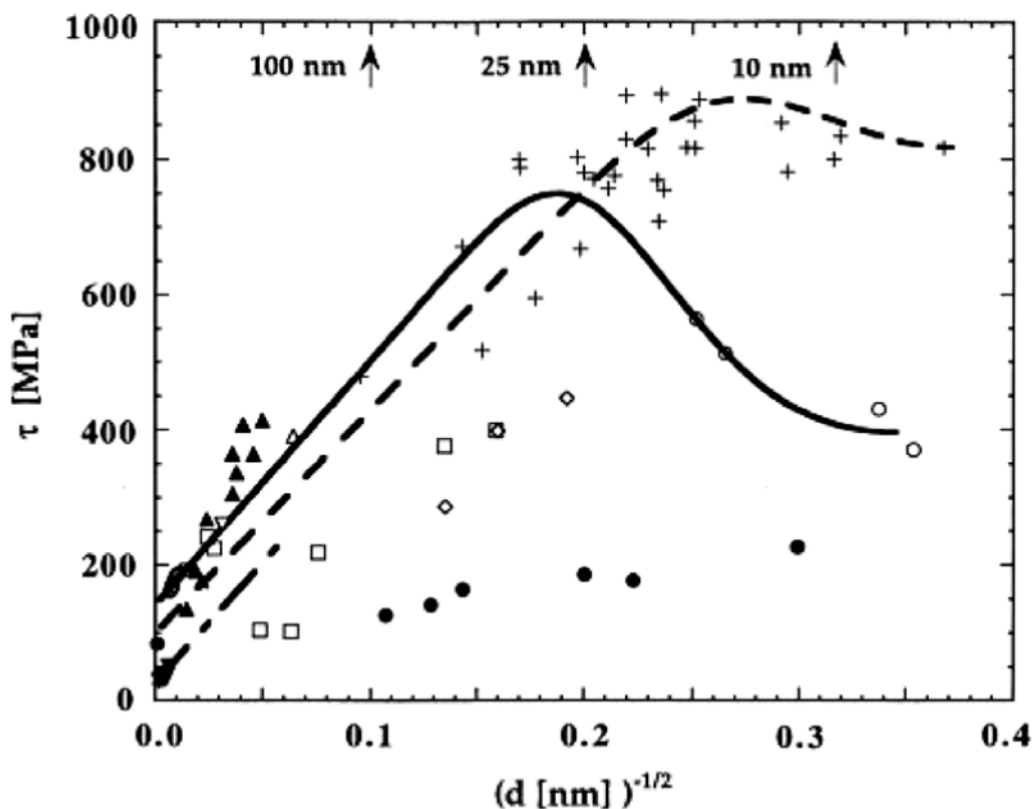
6.1 AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS TITÁN

6.1.1 Az UFSz-Ti tulajdonságai

Az UFSz-Ti polikristályos anyag, amelyeknek szemcsemérete nanométeres tartományba esik. A hagyományos polikristályos anyagok folyáshatárának függését a szemcsemérettől a Hall-Patch egyenlet írja le:

$$\tau = \tau_0 + kd^{-1/2} \quad (1)$$

ahol τ_0 a belső súrlódást legyőző feszültség, d a szemcseátmérő és k az anyagtól függő Hall-Patch meredekség[1][7][11].



1. ábra A szemcseméret hatása a folyáshatárra[1].

Az (1) összefüggés azzal magyarázható, hogy a szemcsehatárok gátolják a diszlokációk mozgását, ezzel akadályozzák a képlékeny alakváltozást. Kísérletek azonban azt mutatják, hogy a $d_c \approx 20$ nm-es kritikus szemcseméretnél kisebb szemcsemérettel rendelkező anyagokra (**1. ábra**), már nem érvényes a fent ismertetett összefüggése. Ekkor ugyanis a szemcsék mérete összemérhetővé válik a diszlokációk átlagos távolságával és a szemcsék méretének

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

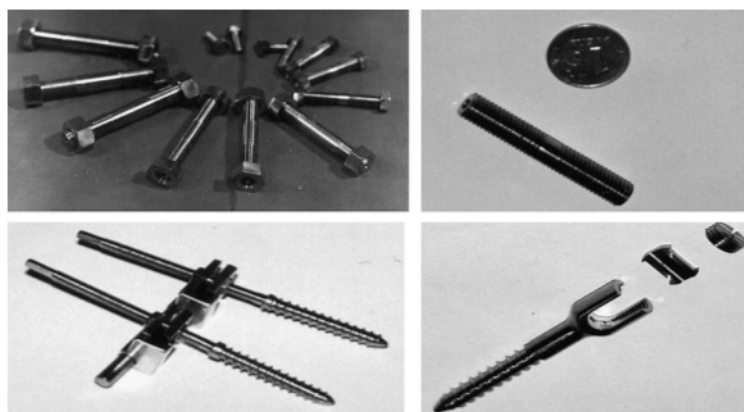
Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

további csökkentése a folyáshatár csökkenéséhez vezet. Ez a jelenség az inverz Hall-Patch reláció[1][7][11].

A Hall-Patch egyenlet alapján belátható, hogy az ultra-finomszemcsés titán kedvezőbb mechanikai tulajdonságokkal, nagyobb folyáshatárral, szakítószilárdsággal és keménységgel rendelkezik, valamint nagyobb ellenállást mutat a korrózióval szemben, mint ugyanolyan kémiai összetételű, hagyományos szemcseszerkezetű módosulata[4][12].

Az ultra-finomszemcsés titán elsőként a tömegre érzékeny iparágakban jelenhet meg alkatrészek alapanyagként, úgymint az autóiparban, hajóiparban és repülőgépiparban. Ezeken a területeken lehetőség nyílik a teherhordó keresztmetszet lecsökkentésére, amellyel az egyes járművek tömege csökkenthető. Másodszorban ígéretes alapanyaga lehet az orvostechikai eszközöknek. Az orvostechikai eszközök fejlesztésének és gyártásának ütemét fokozza, hogy a társadalomnak egyre nagyobb igénye van olyan eszközökre, amelyek az életminőséget javítják. Példa erre az ultra-finomszemcsés titán lemez használata csontpótlásként a csontok összeosztézéséhez, melynek kifáradási határa nagyobb, mint a hagyományos szemcseméretű titán lemezeké. Egy másik különleges lehetőség az UFSz-Ti fogászati implantátum alapanyagként való felhasználása. A tipikus fogászati Ti implantátumok 3 mm-nél nagyobb átmérővel kell, hogy rendelkezzenek, ugyanis a rágással, mint ciklikus terheléssel, ennél kisebb átmérő esetén elérhetjük, illetve túlléphetjük a hagyományos Ti kifáradási határát. UFSz-Ti esetében lehetőség van 2 mm vagy ennél kisebb átmérőjű implantátumok alkalmazására, ezáltal lehetőség nyílik az alsó kisméretű metszőfogak pótlására is[5][12].



2. ábra UFSz-Ti-ből készült orvostechikai eszközök[5].

6.1.2 Grade2 Ti alapanyag ultra-finomszemcsés szerkezetének előállítása

A dolgozatban vizsgált Grade2-es titán alapanyag (A Grade2-es titán tiszta titánötvözet, a 2-es jelölés a szennyezők százalékos tartalmáról ad információt, mint például a szén-, hidrogén, nitrogén-, vas- és oxigéntartalom, maximum 0,03% nitrogént, 0,3% vasat és 0,25%

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

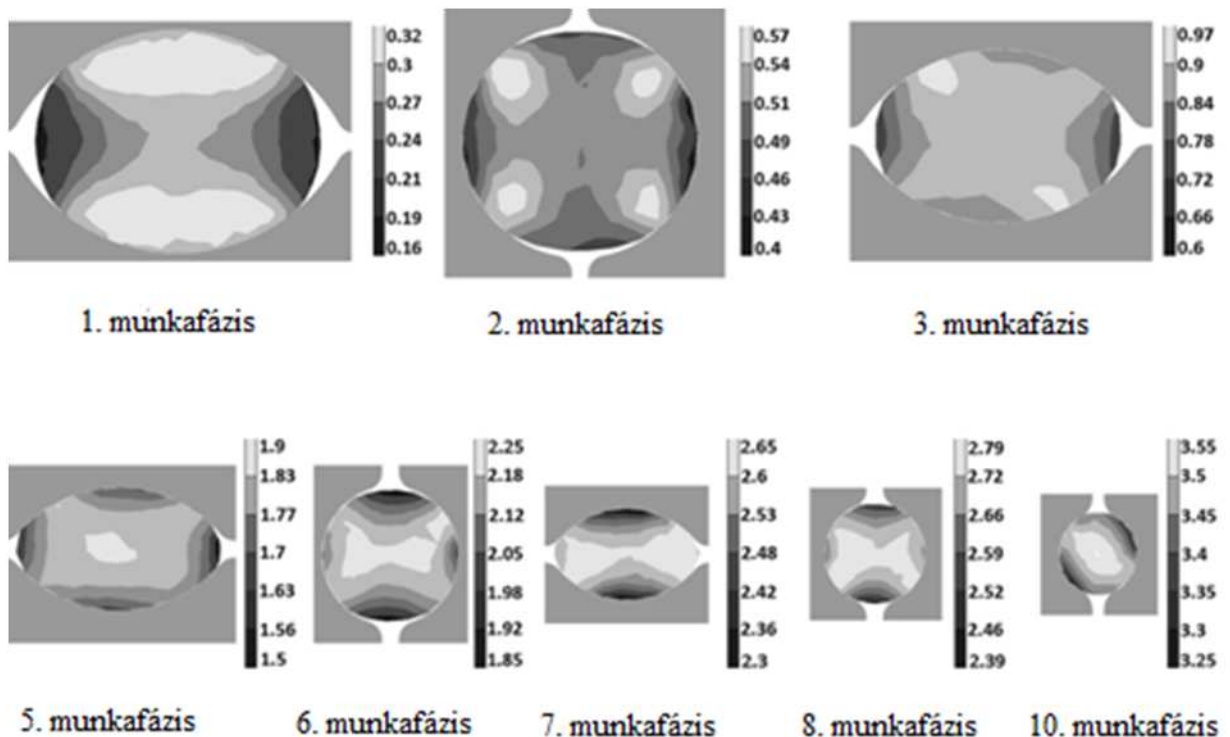
Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

oxigént tartalmaz.) ultra-finom szemcseszerkezete intenzív képlékeny alakítással, ezen belül meleg profilhengerléssel került előállításra[13].

Az IKA során a szemcseméret csökkenésének mechanizmusa a következő: a diszlokációsűrűség nő, így nő az anyagban tárolt energia is. Az alakítás során a több száz százalékos deformáció hatására a diszlokációk átrendeződve csökkenteni igyekeznek a rendszerbe bevitt energiát. A mozgás következtében diszlokációfalak keletkeznek, amelyek a korábbi krisztallitokat kisebb szemcsékre tagolják[11].

Meleg profilhengerlés során a kiinduló alapanyagot meghatározott hőmérsékletre felmelegítik, majd egy profilozó hengerrel több munkafázisban (**3. ábra**) intenzív képlékeny alakítással a kívánt geometriára alakítják.



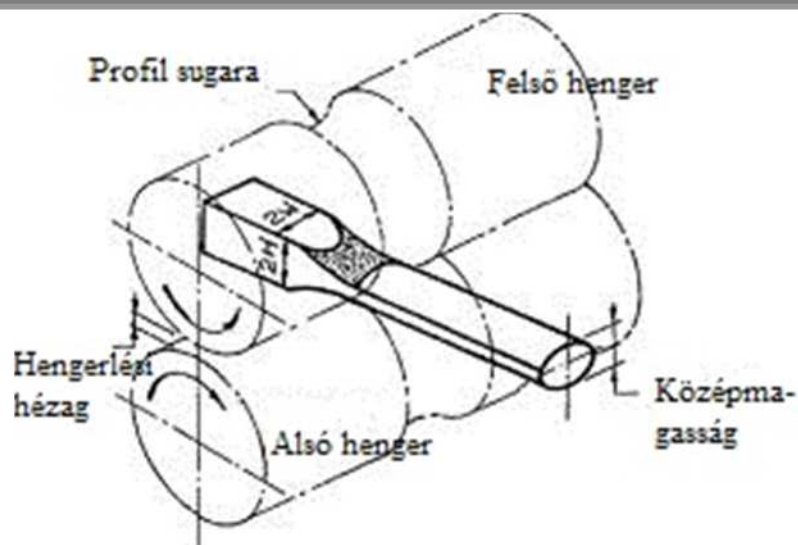
3. ábra Profilozó hengerrel több munkafázisban történő alakítás[3].

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

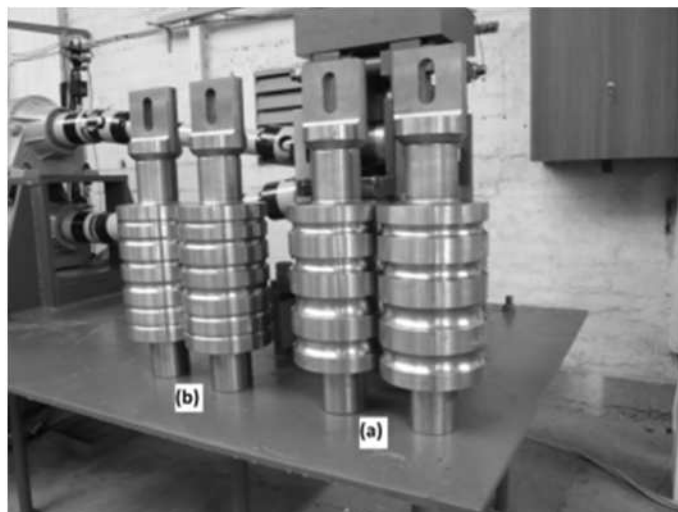
Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



4. ábra A profilozóhenger sematikus ábrázolása[2].



5. ábra Ténylegesen alkalmazott profilhengerek[3].

Minden egyes munkafázis között a felhasznált alapanyagot újra felhevítik. A nagymértékű deformáció az előbbieken ismertetett mechanizmus folytán a szemcseszerkezet finomodásához vezet. Kísérletek bizonyították (**1.táblázat**), hogy laboratóriumi körülmények között finomabb szemcseszerkezet, így nagyobb szilárdság, de ugyan olyan duktilitás érhető el, mint ipari körülmények között, amely a precízebb termomechanikai állapotnak köszönhető[3].

1. táblázat A kristallitméret és a diszlokációsűrűség alakulása labor- és ipari körülmények között[3].

Minta	Kristallit méret (nm)	Diszlokációsűrűség(10^{14} m^{-2})
Bemenő	220±20	0.5±0.3
Laboratóriumi körülmények között alakított	62±8	4.9±0.5

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

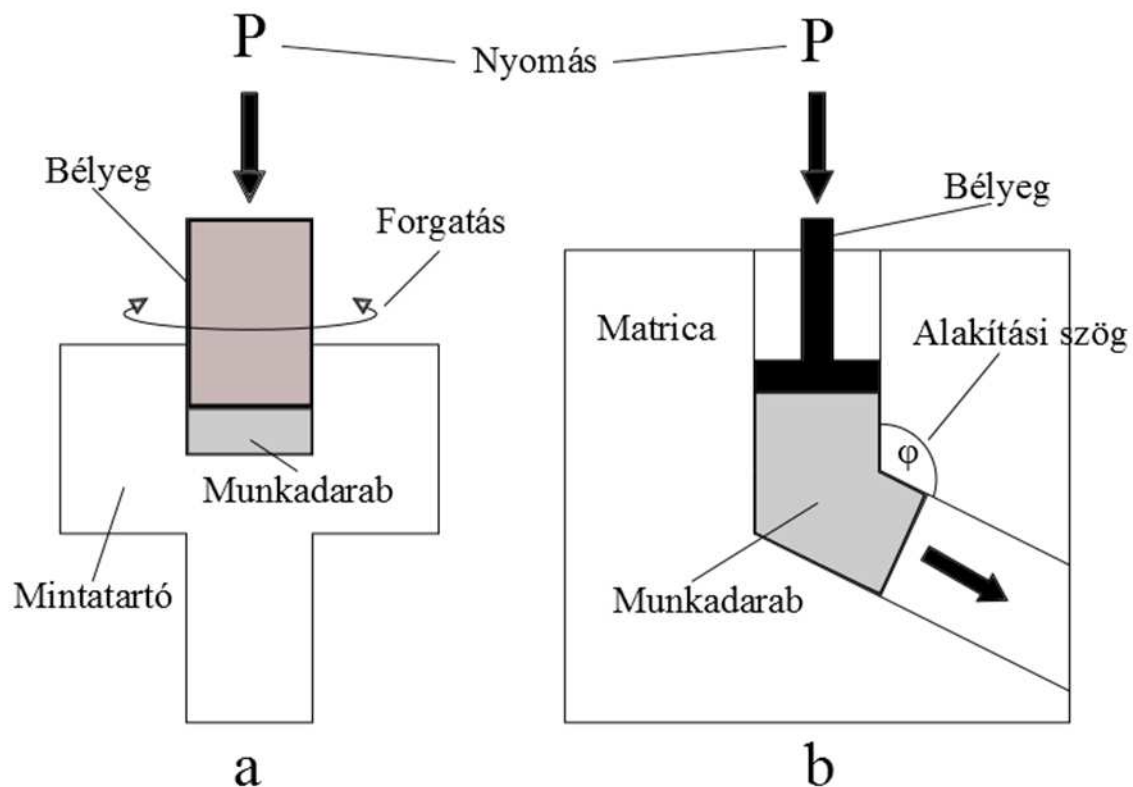
Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

Ipari körülmények között alakított	127±15	3.7±0.4
------------------------------------	--------	---------

A tömbi anyagok ultra-finomszemcsés szerkezetének kialakítására alkalmaznak még más eljárásokat is melyek közül a legelterjedtebb a könyöksajtolás (ECAP) és a nagynyomású csavarás (HPT). A **6. ábra** a két eljárást mutatja sematikusán.



6. ábra A nagynyomású csavarás (a) és könyöksajtolás (b) sematikus ábrája.

A HPT esetében (**6.a. ábra**) a mintatartó és a körlemez alakú minta között, amelyet szobahőmérsékleten több GPa nyomás alatt csavarnak, súrlódás lép fel, amelynek hatására a minta nyírással deformálódik így szemcsemérete csökken.

Az ECAP során (**6.b. ábra**) a rúd alakú mintát a matricában található egymással meghatározott szöget bezáró csatornán keresztűlsajtolják. A csatorna be és kilépő keresztmetszete megegyezik, továbbá az alakított mintadarab keresztmetszetével ezért a két csatorna metszéssíkjában az alakított anyag tiszta nyírást szenved. A minta keresztmetszete az egyes átsajtolások során nem változik, így a lépés többször megismételhető, ami a deformáció növekedését eredményezi, továbbá lehetővé teszi különböző struktúrák kialakítását a nyírás irányának és síkjának a változtatásával. A titán ECAP technológiával történő szemcseszerkezet finomítását 400°C körüli hőmérsékleten végzik mivel ez az anyag kisebb hőmérsékleten nehezen deformálható[11].

6.2 AZ UFSZ-TI HEGESZTHETŐSÉGE

Mivel az UFSz-Ti hegeszthetőségére nem találtunk forrásokat a szakirodalomban, így az IKA alapanyagául szolgáló Grade2 titán hegeszthetőségére vonatkozó alapelveket vettük irányadónak.

6.2.1 A titán tulajdonságai

A hegeszthetőségét a hegesztett alapanyag alapvető fizikai (például hővezetés, hőtágulás) és kémiai tulajdonságai (például kémiai összetétel, szennyező gázokhoz való affinitás) nagymértékben befolyásolják, ezért kiemelkedően fontos, hogy még a varratok elkészítésének megkezdése előtt tisztában legyünk a titán alapvető jellemzőivel.

A titán a könnyűfémekhez sorolható, ezüstfehér színű, az ötvözetlen titán sűrűsége 20°C-on $4,5 \text{ g/cm}^3$, mely az acél sűrűségénél megközelítőleg 40%-kal kisebb. Tömegre fajlagosított szilárdsága a fémek között az egyik legnagyobb. Rendkívül jó korrózióálló a felületén lévő stabil oxidfilmnek köszönhetően. Ez a védőréteg 400°C-ig a gázkorrózióval szemben is ellenállóvá teszi, e hőmérséklet felett viszont szilárd és ömledék állapotban is elnyeli a gázokat, így hegesztéskor fokozott gázvédelmet igényel. Paramágneses, képlékenyen alakítható, rossz hővezető, hőtágulása kicsi, alakítási szilárdsága nagy és biokompatibilis[6][7][13].

Két allotróp módosulata közül az α -titán (882,5 °C alatt) hexagonális, amíg a β -titán térben középpontos köbös kristályszerkezetű. Ezen tulajdonságainak köszönhetően széles körben alkalmazható szerkezeti anyag. Az autóiparban motoralkatrészek (7. ábra), a repülőgépipar többek között sugárhajtóművek forgó részeinek és futóművek gyártásához alkalmazza (8. ábra), az orvostechikában, mint implantátum anyagot alkalmazzák (9. ábra).



7. ábra Ti-ból készült dugattyú hajtókar0.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



8. ábra *Ti alkalmazása repülőgép futóművek alapanyagaként[9].*



9. ábra *Ti-ból készült csípőprotézis[8].*

A hadiiparban rendkívül jó ballisztikai tulajdonságai miatt legfőképpen személyi védőfelszerelések, harckocsik és személyszállító járművek páncélzatának alapanyagául alkalmazzák. A számítástechnikában a merevlemez fejlesztések ígéretes alapanyaga. Hőcserélők és kriogenikus tartályok is készülnek belőle[6][7][13].

6.2.2 A titán előállítása Kroll-féle redukciós eljárással

A Kroll eljárás során a kiinduló alapanyag három féle lehet: Természetes rutil (TiO_2), szintetikus rutil és titán salak. Titán-dioxid és szennyezőanyag tartalmuk a lenti táblázatban látható.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

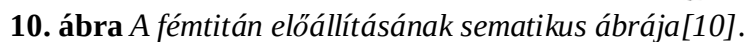
2. táblázat A Ti előállítás alapanyagainak kémiai összetétele[10].

Szennyezők	Betáplált alapanyag	Természetes rutil	Szintetikus rutil	Titán salak
	TiO ₂ (%)	95-97	90-96	90-96
	Fe ₂ O ₃ (%)	0.3-1.0	2-5	2-5
	MnO (%)	0.1-1.0	0.1-2	1-2
	CaO (%)	0.02-0.1	0.03-0.1	0.1-0.2
	SiO ₂ (%)	0.5-2	0.1-2	1-2
	Al ₂ O ₃ (%)	0.5-1.0	0.3-1.0	1-2
	V ₂ O ₅ (%)	0.2-0.5	0.1-0.5	0.5
	SnO ₂ (%)	0.02-0.1	0.01-0.05	<0.01
	As ₂ O ₃ (%)	0.001	<0.01	0.001
	U (ppm)	20-50	10-30	10-20
	Th (ppm)	20-70	20-70	10-40

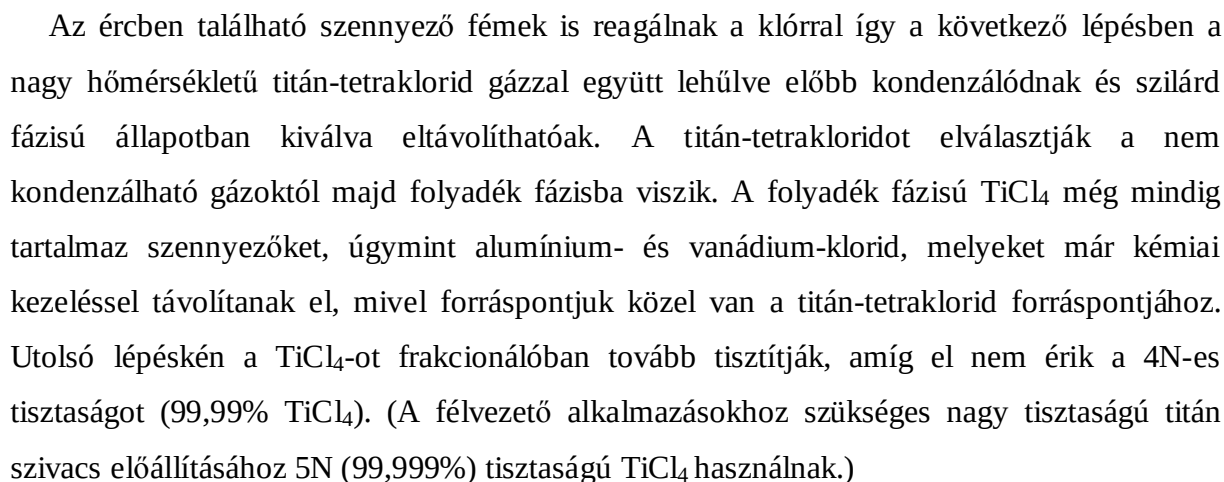
A szintetikus rutilt természetes ilmenitből (FeTiO₂) a vas eltávolításával nyerik. A titán salakot elektrokemencében állítják elő, ahol az ilmenitet és a hozzá adott szenet megolvasztják majd az így redukált vasat eltávolítják. Annak ellenére, hogy szennyezőanyag tartalma összességében nagyobb, mint az előző két alapanyagé, felhasználása évről-évre nő, amely egyrészt biztos árának köszönhető, másrészt annak, hogy kisebb mennyiségű radioaktív elemet (urán, tórium) tartalmaz, mint a természetes- vagy a szintetikus rutil.

A titán oxigénhez való affinitása nagy, ezért titán-dioxidból közvetlen redukció útján való előállítása nehezen megvalósítható. A Kroll eljárás során fémtitánt a titán-tetraklorid magnéziummal történő redukálásával állítják elő. A folyamat egyes elemei a **10. ábrán** láthatóak.

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



Az ércet a szénnel összekeverve fluid ágyas klórozóba adagolják, ahol egy erősen exoterm folyamat során (1000°C körüli hőmérséklet) nagy hőmérsékletű titán-tetraklorid gáz keletkezik a (2) reakció alapján.



A redukációs reakció során ömledék állapotú magnéziumot töltenek egy argon gázzal feltöltött rozsdamentes acél tartályba. Ezután a magnézium ömledékhez adagolják az előbbiekben ismertetett eljárással előállított titán-tetrakloridot, amely a (3) folyamat szerint redukálódik.



AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

(3)A $MgCl_2$ -ot a reakció során időszakosan lecsapolják, hogy kontrolálják a reakciófelület szintjét a tartályban. A lecsapolt $MgCl_2$ -ot elektrolízissel visszaalakítják szilárd magnéziummá és klórgázzá.

A redukálás folyamata után a reakciótartályt a vákuum desztillációs folyamat helyére mozgatják. A vákuum desztillálás során a szilárd titánban megrekedt folyadék fázisú magnéziumot és magnézium-kloridot $1000^\circ C$ körüli hőmérsékleten elpárologtatják. Az eljárás után a titán a kipárologtatott gázok miatt erősen pórusos, innen ered a titánszivacs elnevezés.

A vákuum desztillációs folyamat után a titánszivacsot 4 nap alatt szobahőmérsékletre hűtik, majd eltávolítják a redukciótartályból. Különböző mechanikai tisztítások után porrá őrlik, majd ezt az őrölt port keverik, amely metallurgiai folyamatok (például olvasztás) alapját képezik [10].

6.2.3 A titán hegeszthetősége

A Cp-Ti és a titán ötvözetek hegeszthetőségének meghatározása általában a varratfém keménységének és duktilitásának vizsgálatán alapszik. A Cp-Ti-ből készült kötések viszonylag könnyen elkészíthetőek, és a hegesztés után közvetlenül alkalmazhatóak, a legtöbb esetben nem igényelnek különleges utókezelést[14].

A gyakran alkalmazott ASTM osztályokba sorolt anyagok hegeszthetőségéről a **3. táblázat** ad tájékoztatást.

3. táblázat Gyakran alkalmazott ASTM osztályok hegeszthetősége[14].

ASTM Grade	Hegeszthetőség	Megjegyzés
1, 2, 3, 4, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 26, 27	Kiváló	Kereskedelmi tisztaságú és alacsony ötvöző tartalmú (Pd, Ru, Mo, stb.) osztályok
9, 18, 28	Kiváló	Ti-3Al-2,5V osztályok
5, 23, 24, 29	Elég jó	Ti-6Al-4V osztályok
21	Kiváló	Béta ötvözet
6, 6ELI	Jó-kiváló	Ti-5Al-2,5Sn

6.2.4 A titán hegesztéséhez alkalmazható eljárások

A Cp-Ti és a legtöbb titán ötvözet ömlesztő- és sajtolóhegesztési eljárással hegeszthető[14]. A **4. táblázat** a titánból készült kötések elkészítésére leggyakrabban alkalmazott hegesztési eljárásokat, illetve azok előnyeit és hátrányait tartalmazza. A továbbiakban csak az általunk is alkalmazott TIG eljárást részletezzük.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

4. táblázat A gyakran alkalmazott eljárások titán hegesztésére[14].

Eljárás	Előny	Hátrány
Volfrámelektrodás ívhegesztés (TIG)	- kézi vagy gépesített eljárás - minden hegesztési pozícióban alkalmazható - jó minőségű varratok készíthetők - nincs fröcskölés - jelentős ipari tapasztalat a használatával kapcsolatban	- alacsony termelékenységű - a hegesztett kötések volfrámzárványokat tartalmazhatnak
Fogyóelektrodás, védőgázos ívhegesztés (MIG)	- kézi vagy gépesített eljárás - minden hegesztési pozícióban alkalmazható - nagyobb termelékenységű, mint a TIG eljárás	fröcskölés
Plazmaívhégesztés (PAW)	- gyorsabb, mint a TIG eljárás - a varratokban kisebb a porozitás veszélye - egy soros varratok készíthetők akár 18 mm-es anyagvastagságig	nem minden hegesztési pozícióban alkalmazható
Lézersugaras hegesztés	- automatizált - nagy hegesztési sebesség	- drága a berendezés - korlátozott az áthegeszthető anyagvastagság - fröcskölés
Elektronsugaras hegesztés	- automatizált - egy soros varratok készíthetők nagy anyagvastagság esetén is - nincs szükség védőgázra - nincs szükség hegesztőanyagra - jelentős ipari tapasztalat a használatával kapcsolatban	- drága a berendezés - a vákuum-kamra mérete korlátozza a hegesztendő darabok méretét
Ellenállás hegesztés	- automatizált - kismértékű vetemedés - az ellenállás ponthegeztés nem igényel védőgáz atmoszférát	- korlátozott a felhasználható anyag - rossz kifáradási tulajdonságok
Dörzshegesztés	- teljesen automatizál - gyors - vegyes kötések kialakítására is alkalmas	- a berendezés drága - a kötések vizsgálata nehézkes lehet

6.2.5 A titán hegesztésének gyakorlata

A munkaterület

A titánból készült kötések előállításához elkülönített munkaterület ajánlott. Ha ez nem megoldható, rendkívül fontos a különböző alap- és hegesztőanyagok megfelelő elkülönítése, ugyanis a titán megjelenésében rendkívül hasonlít a rozsdamentes acélhoz, így a különböző hegesztőanyagok esetleges felcserélése esetén akár egy teljes alkatrész javíthatatlan selejtnek minősülhet[14].

Fokozottan ügyelni kell a munkaterület tisztaságára, hogy a hegesztés közben a lehető legkisebb legyen a varrat beszennyeződésének lehetősége. Fontos továbbá, hogy az összes alkalmazott eszköz és alapanyag száraz legyen, ugyanis a felületeken megtapadó nedvesség potenciális H_2 és O_2 forrás. A felületek szárítására gyakran alkalmazott módszer valamilyen gyorsan párologó folyadék, például aceton alkalmazása[14].

A titán vágása

Egy hegesztett szerkezet elkészítéséhez elengedhetetlen az alapanyag méretre vágása, vagy darabolása. A hagyományos vágási eljárásokat a titán esetén is lehet alkalmazni, azonban figyelembe kell venni az alapanyag tisztaságával szemben támasztott fontos követelményeket.

Így például egy oxigén-éghető gáz vágóberendezéssel a vékony és nagy vastagságú titánlemezek is egyaránt vághatóak, azonban figyelembe kell venni, hogy az O_2 szennyezés miatt jelentős, gyakran akár 6 mm-es ráhagyást kell alkalmazni. Erre a problémára megoldást jelenthet a plazmaív-, vagy a lézersugaras vágás alkalmazása, azonban ezen eljárások esetén is szükséges a szennyeződésnek kitett vágási élek megfelelő tisztítása[14].

A mechanikus elven működő vágógépek alkalmazása esetén pedig kiemelkedően fontos a felületek zsírtalanítása. Hegesztés közben a felületen megtapadt zsíros, olajos szennyeződések a varrat porozitását okozhatják[14].

A titánból készült hegesztett kötések élelkészítése

5. táblázat Az élelkészítés geometriája titánból készült tompa kötésekhez[15].

Varrattípus	t (mm)	b (mm)	α (°)	k (mm)
„I” leélezés	0,787-3,175	0-2,54t	-	-
Egyoldali „V” leélezés	3,175-6,350	0-2,54t	30-60	0,76
Kétoldali „V” leélezés	6,350-12,700	0-5,08t	30-120	0,76
Egyoldali „U” leélezés	6,350-19,050	0-2,54t	15-30	-
Kétoldali „U” leélezés	19,050-38,100	0-2,54t	15-30	-

Jelölés:

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

t (mm): az alapanyag vastagsága

b (mm): az illesztési hézag

α (°): a leélezési szög

k (mm): a gyökszalag

Az élelőkészítés geometriájának kimunkálására több eljárás is alkalmazható. A kívánt geometria kialakítható a hagyományos forgácsoló eljárásokkal: esztergálással, marással és gyalulással. Fontos azonban a megmunkálás után a felület alapos zsírtalanítása [1].

Az alapanyag leélezésére alkalmazhatunk köszörülést is, azonban ezen eljárás alkalmazása esetén mérlegelni kell az alapanyag esetleges túlhevülését, amit a megmunkált felület elszíneződése jelez. A köszörülés után a felület kézi reszelővel történő megmunkálása ajánlott: egyrészt javítható a felületi minőség, másrészt eltávolítja a köszörűkorong felületre került szemcséit[14].

Az élelőkészítés során jelentős figyelmet kell fordítani az illesztési felületek minőségére, ugyanis a durva és a sorjás felület: megnehezíti a megfelelő illesztést, jelentősen megnöveli az illesztési hézagban a levegő megrekedésének kockázatát, ami így a varrat szennyeződéséhez vezet; illetve megnöveli a porózus varrat kialakulásának valószínűségét. Épp ezért kiemelkedően fontos a hegesztendő munkadarabok sorjamentes, sima illesztési felületének biztosítása[14].

Az inert gáz atmoszféra biztosítása

Mivel 200 °C felett a titánnak, valamint ötvözeinek a gázfelvevő képessége és reakciókészsége jelentősen megnő. A levegőben található O_2 , N_2 és H_2 hatására az alapanyag jelentősen ridegebbé válik eredeti állapotához képest. Ez a tulajdonságváltozás nem megengedhető a hegesztett kötésekben, éppen ezért hegesztés közben meg kell akadályozni minden olyan felület érintkezését a levegővel, ami ezt a hőmérsékletet elérheti. Ezt egyes eljárások esetén, mint például az elektronsugaras hegesztés, vákuum alkalmazásával valósítják meg. Azonban sokkal gyakoribb az inert gáz atmoszféra alkalmazása. A továbbiakban ez utóbbival foglalkozunk. [14]

Az inert gáz atmoszféra biztosítására általában argon gázt alkalmaznak. Kisebb méretű munkadarabok hegesztéséhez merev (**11. ábra**) vagy rugalmas falú (**12. ábra**) argonkamrát alkalmaznak.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



11. ábra Merev falú argonkamra[16].



12. ábra Rugalmas falú argonkamra [17].

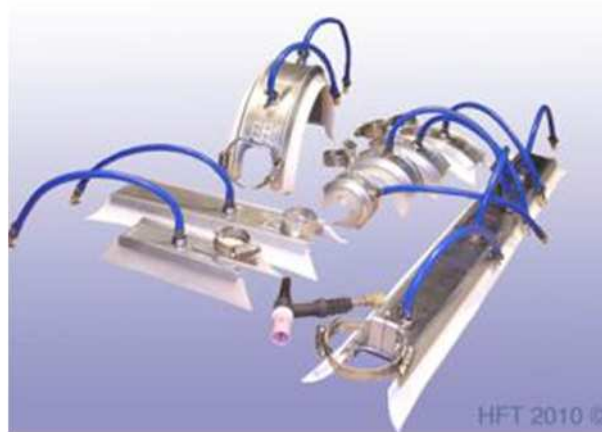
Nagyobb méretű munkadarabok esetén a koronaoldal védelmére a különböző kötéstípusoknak megfelelő kialakítású, hegesztőpisztolyra szerelhető kiegészítőket (**13. ábra**) alkalmaznak. Ezek a kiegészítők a hegesztőpisztolytól független argonforrást használnak, lehetővé teszik a nagyobb áramerősség és hegesztési sebesség alkalmazását. Automata és kézi ívhegesztő eljárások estén egyaránt használhatók. Mivel nem a teljes varrat mentén biztosítanak inert gáz atmoszférát, ezért a megfelelő védelem érdekében különösen fontos, hogy mindig az adott hegesztési feladat hőhatásának megfelelő méretű eszközt válasszunk[14].

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



13. ábra Pisztolyra szerelhető kiegészítők, ún. „trailing shield” [17].

A gyök védelmére is több lehetséges megoldás létezik. Egyenes varratszakaszokon gyakran argon gázzal folyamatosan átöblített, hornyolt gyöktámaszt alkalmaznak. Íves, nehezen hozzáférhető varratszakaszok védelmére jelent megoldást a kereskedelemben kapható speciális, a gyökoldalra ragasztható réz- vagy alumínium fólia (**14. ábra**), amelyek alkalmazásával a védőgáz számára megfelelő csatorna alakítható ki [14].



14. ábra A gyökoldalra ragasztható alumínium fólia[17].

A titánból készült kötések lehetséges hegesztési hibái

A titánból készült kötések leggyakoribb hibáit általában a nem megfelelő gázvédelem okozza. Például ha rozsdamentes acélok esetén alkalmazott Ar-H védőgázt titánból készült kötések elkészítéséhez alkalmazzák, akkor a hidrogénszennyezés a hegesztett szerkezet jelentős ridegedését és akár törését is okozhatja. Azonban a titánból készült kötések egyik nagy előnye, hogy a legtöbb hegesztés közben tapasztalható törési problémával szemben ellenálló[14].

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

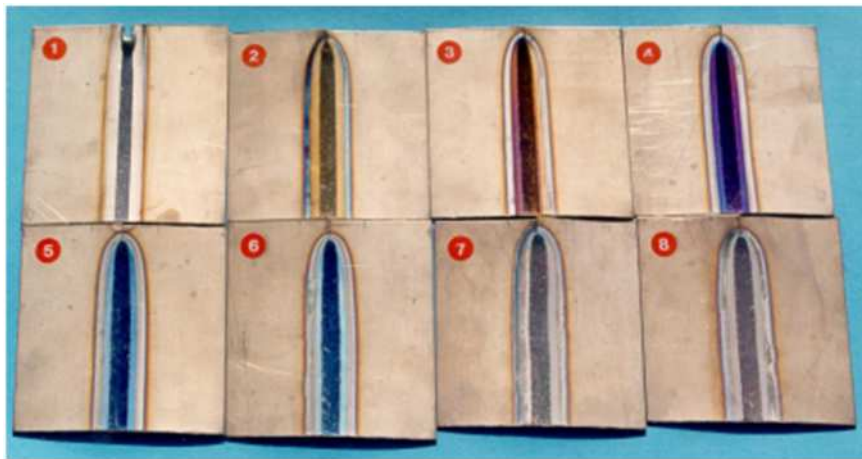
Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

Nagyon gyakori hiba a varratok porozitása. A pórusok általában gömb alakúak, az átmérőjük pedig 50-300 μm . A gyök és a varratkorona felszínéhez közeli pórusok jelentősen ronthatják a titánból készült szerkezetek fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállását. Azonban a porózus kötések javítását mindig körültekintően kell mérlegelni, ugyanis a varrat utólagos javítása sokkal nagyobb mértékben ronthatja a kifáradási tulajdonságokat, mint a korábbi gázpórusok. Épp ezért a gázpórusok képződésének mérséklésére kell elsősorban törekedni. A porozitás jelentős mértékben csökkenthető a sorjamentes, alaposan zsírtalanított illesztési felületek biztosításával[14].

A titánból készült kötések szemrevételezése

A titánból készült kötések szemrevételezése alapján véve nem különbözik a többi alapanyag esetén megszokott eljárástól. Általában a varrat elhelyezkedését, méretét, alakját, beolvadását és egyenletességét vizsgáljuk. Azonban a titán esetében az alkalmazott gázvédelem is értékelhető, ugyanis a kötések felületén lévő vékony oxidréteg színe a rétegvastagság függvényében változik. Így a varratok elszíneződéséből következtetni lehet az inert gáz atmoszféra szennyeződésének mértékére [14].

A **15. ábrán** Cp-Ti lemezekből elkészített, a levegő szennyező hatásának különböző mértékben kitett hegesztett kötések láthatóak.



15. ábra Cp-Ti lemezekből elkészített kötések. A levegő szennyező hatása együtt növekszik a minták sorszámaival[14].

A megfelelő gázvédelem jele az ezüstös színű varrat. A varrat közvetlen környezetétől távolabb eső futtatási szín megengedhető. A **15. ábrán** látható, hogy az erőteljesen szennyezett varrat is szürke színű, így a szemrevételezés alapján a gázvédelem értékelése jelentős szakértelmet és tapasztalatot igényel [14].

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

Az elszíneződések értékeléséhez a **6. táblázat** ad útmutatást.

6. táblázat Útmutató a titánból készült varratok szemrevételezéséhez. A szennyeződés mértéke fentről lefelé növekszik[14].

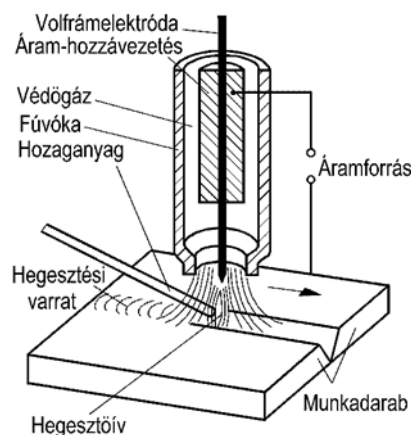
Szín	Értékelés
Ezüstszürke	Megfelelő gázvédelem, a varrat elfogadható
Világos szalmasárga	Enyhe szennyeződés, az alkalmazástól függően a varrat elfogadható
Sötét szalmasárga	Enyhe szennyeződés, az alkalmazástól függően a varrat elfogadható
Sötétkék	Erősebb szennyeződés, a varrat nem elfogadható
Világoskék	Erős szennyeződés, a varrat nem elfogadható
Szürkéskék	Nagyon erős szennyeződés, a varrat nem elfogadható
Szürke	Nagyon erős szennyeződés, a varrat nem elfogadható
Fehér	Nagyon erős szennyeződés, a varrat nem elfogadható

Nagy igénybevételeknek kitett szerkezetek esetén csak az ezüstszürke színű varrat felel meg, azonban a különösen szigorú követelményeket igénylő alkalmazások esetén figyelembe kell venni, hogy az ezüstösen csillogó varrat is a megengedettnél nagyobb mértékben szennyeződhetett hegesztés közben [14].

6.3 AZ ALKALMAZOTT HEGESZTÉSI ELJÁRÁS

A kötések elkészítéséhez a TIG eljárást alkalmaztuk, amely az egyik leggyakoribb a Cp-Ti és a titán ötvözetekből készült kötések előállítására[14].

Az eljárás során a **16. ábrán** látható módon, az alapanyag az áramforrás egyik pólusára, amíg a volfrámelektroda a másik pólusához csatlakozik. Az alapanyag megömlését az alapanyag és a volfrámelektroda között kialakuló ív biztosítja. A hegesztett kötések elkészíthetők autogén módon, vagy hegesztőanyag hozzáadásával[18].



16. ábra A TIG eljárás elve [18].

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

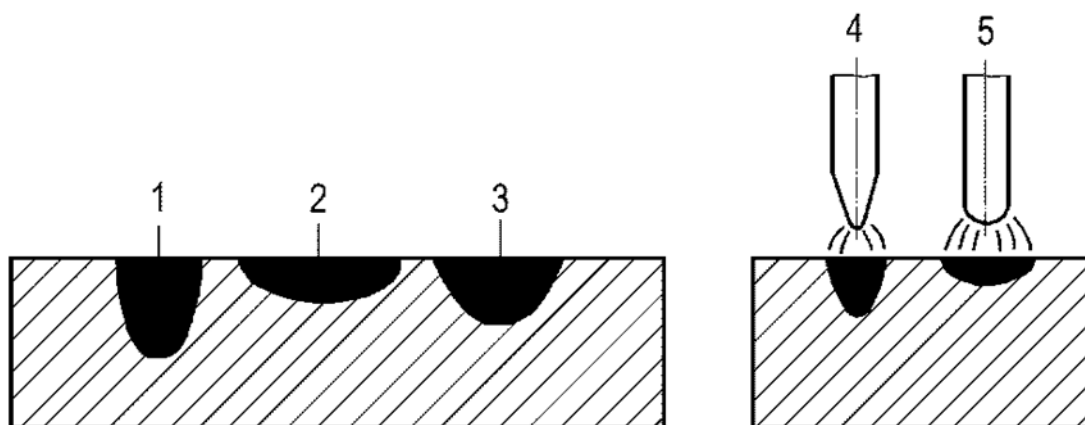
Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

Az alkalmazott volfrámelektroda a hegesztőív létrehozásakor szerepelhet anódként és katódként is. A volfrámelektrodákban gyakran egyenletesen elosztatott oxidadalék található a nagyobb elektron kibocsátás érdekében. Erre a célra leggyakrabban használt oxidok: tórium-oxid (ThO_2), cirkónium-oxid (ZrO_2), lantán-oxid (LaO_2) és cérium-oxid (CeO_2). Az eltérő összetételű volfrámelektrodákat meghatározott színkóddal különböztetik meg egymástól [18].

Hegesztéskor a hegfürdő környezetébe a hegesztőpisztolyból inert védőgáz áramlik. A védőgáz kettős feladattal rendelkezik: segít fenntartani az ívet, illetve védi a volfrámelektrodát és az ömledéket a levegő káros hatásaitól. Az alkalmazott védőgáz általában 99,95% tisztaságú argon, illetve argon és hélium keveréke. Hélium hozzáadásával növelhető a beolvadási mélység, illetve a hegesztés sebessége [18].

Az eljárás során általában egyenáramról, egyenes polaritással hegesztünk, azaz az elektróda az áramforrás negatív pólusra csatlakozik. Az eljárás jól alkalmazható impulzus-ívhegesztésre, valamint váltó árammal történő hegesztésre is. Az impulzus-ívhegesztés során a hegesztőáram nem állandó nagyságú, hanem előre beállítható frekvenciával, periodikusan lüktet. Az impulzusos TIG alkalmazásának előnye, hogy mélyebb beolvadás érhető el, a hegfürdő jobban kontrollálható, illetve a volfrámelektroda nagyobb árammal terhelhető [18].

Az **17. ábrán** látható módon, az eljárás során a beolvadási mélységet és az elkészült varrat szélességét több tényező is befolyásolja: az alkalmazott áramfajta, az elektróda polaritásának megválasztása, valamint az elektróda végének kúpszöge [18].



17. ábra A beolvadást befolyásoló tényezők: 1 egyenárammal, negatív pólusról hegesztve; 2 egyenárammal, pozitív pólusról hegesztve; 3 váltakozó árammal hegesztve; 4 hegyes kialakítású elektróda; 5 tompa kialakítású elektróda [18].

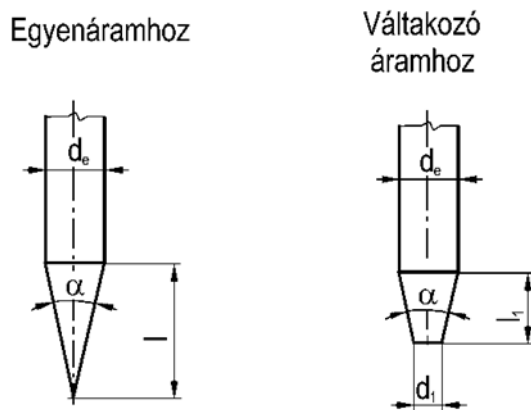
AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

A különböző áramtípusokhoz használatos volfrámelektroda csúcsok a **18. ábrán** láthatóak, a **7. táblázatban** pedig a kialakításukhoz találhatóak irányértékek[18].



18. ábra A volfrámelektroda csúcsának kialakítása [18].

7. táblázat Irányértékek a 18. ábra látható elektróda csúcsok kialakításához[18].

de (mm)	l (mm)	d1 (mm)	l1 (mm)	α (°)
1,0	2,5	0,5	1,2	20-25
1,6	4,0	0,8	2	20-25
2,4	6,0	1,2	3	20-25
3,2	8,0	1,6	4	20-25
4	10	2	5	20-25

A titán hegesztése TIG eljárással

A titán és ötvözetének hegesztésére gyakran alkalmazzák a TIG eljárást. Ezen eljárás alkalmazása nem igényel különleges áramforrást, speciális hegesztőpisztolyt vagy különleges összetételű volfrámelektrodát. A szükséges hegesztőanyagok a kereskedelemben könnyen beszerezhetőek, valamint ezzel az eljárással a titán kifejezetten jól hegeszthető: a hegfürdő sűrűsége kicsi, felületi feszültsége nagy, így a beolvadás és a varrat felületi minősége is jól irányítható. Az eljárás egyik nagy hátránya azonban az kis termelékenység[14].

A hegesztés során alkalmazott volfrámelektroda kiválasztásánál az ív stabilitása és az élettartam az elsődleges szempont. A titán hegesztéséhez leggyakrabban a 2% tórium-dioxidot tartalmazó volfrámelektrodát alkalmazzák. Az elektródát általában DC- polaritással kapcsolják az áramforrásra[14].

A TIG eljárásához általában 4.6, azaz 99,95 % tisztaságú argon gázt alkalmaznak, azonban a titán és ötvözetének hegesztéséhez a gáz porozítások, valamint az O_2 és N_2 szennyezés

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

elkerülése érdekében ajánlott az 5.0, azaz minimum 99,999% tisztaságú argon védőgáz használata[19].

8. táblázat Az 5.0 tisztaságú Ar gáz szennyezőanyag-tartalma[19].

Szennyező	Koncentráció (ppm)
H ₂ O	≤ 3
O ₂	≤ 2
C _n H _m	≤ 0,5
N ₂	≤ 5

7 KÍSÉRLETEK

7.1 A KÍSÉRLETEK LEÍRÁSA ÉS CÉLJA

Kísérleteinkben ultra-finomszemcsés Grade2 titán alapanyagból készült 2 mm vastagságú mintadarabokat hegesztettünk, tompa „I” kötéssel. A hegesztéshez volfrámelektrodás kézi ívhegesztést használtunk, hegesztőanyag hozzáadása nélkül, tiszta argon védőgázzal, tiszta argon atmoszférát biztosító védőkamra alkalmazásával.

A kísérletek célja a hegesztési paraméterek optimalizálása. Optimálisnak azok a paraméterek tekinthetők, amelyek alkalmazásával teljes átolvadású kötés készíthető és a hőhatásövezetben lehető legkisebb szemcsedurvulás alakul ki.

7.2 AZ ALKALMAZOTT MINTADARABOK

A mintadarabokat kör keresztmetszetű, ultra-finomszemcsés, Grade2 titán alapanyagú rúdból készültek. A mintadarabok előállításánál figyelembe vettük a titán vágására (lásd: *A titán vágása*, 20. oldal) és a titánból készült kötések élelőkészítésére (lásd: *A titánból készült hegesztett kötések élelőkészítése*, 20. oldal) korábban megfogalmazott alapelveket. Így a minták elkészítéséhez minimális hőhatással és anyagveszteséggel járó, valamint jó felületi minőséget és nagy ismétlési pontosságot biztosító eljárásra volt szükség. Ezeket a feltételeket az esztergálás segítségével tudtuk megvalósítani.

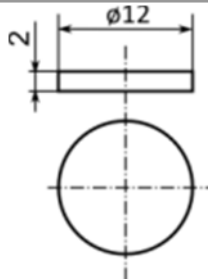
A megmunkálás során a minimálisan elérhető mintadarab vastagságot jelentősen korlátozta a precíz befogás nehézsége (a rúdalapanyagban az IKA hatására görbületek alakultak ki), valamint a forgácsolás során ébredő erők okozta deformációk. Az eljárással a 2 mm vastag mintadarabok bizonyultak megvalósíthatónak. Esztergálással a **19. ábrán** látható t=12 mm vastag, ød=12 mm átmérőjű korongokat készítettünk.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

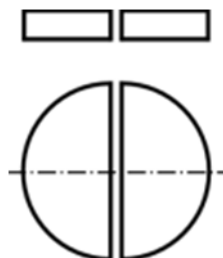
Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



19. ábra Az esztergálással készített korongok geometriája.

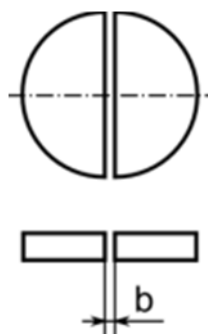
A kötések kialakításához az esztergálással elkészült korongokat a **20. ábrán** látható módon középen félbevágtuk. A jó felületi minőségű, sorjamentes, minimális hőhatásnak kitett vágási felület, valamint a minimális anyagvesztés érdekében ISOMET 1000 PRECISION SAW típusú precíziós vágóberendezést alkalmaztunk.



20. ábra Az esztergálás után félbevágott mintadarabok geometriája.

7.3 AZ ALKALMAZOTT KÖTÉSTÍPUS

A célunk tompán illesztett „I” kötés kialakítása volt, amit a **21. ábrán** látható módon illesztési hézag nélkül, 0,5 mm és 1 mm illesztési hézag alkalmazásával valósítottunk meg. Az elkészült kötés elvi metszete a **22. ábrán** látható.



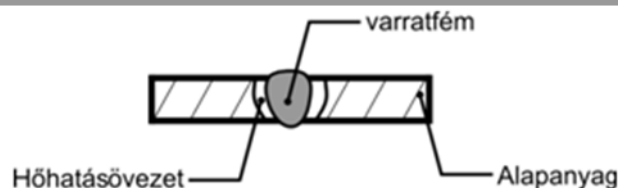
21. ábra A mintadarabok illesztése b illesztési hézaggal.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



22. ábra Az elkészítendő kötések metszetének elvi ábrája.

7.4 AZ ALKALMAZOTT HEGESZTŐBERENDEZÉS

A kísérletek során a 23. ábrán látható ESAB CaddyTig200 típusú hegesztőberendezést alkalmaztuk.



23. ábra Az alkalmazott hegesztőberendezés.

A hegesztőberendezés alkalmas impulzusívű hegesztésre, valamint nagyfrekvenciás és liftarc ívgyújtásra. A berendezés nagy előnye a hegesztési paraméterek pontosságát és reprodukálhatóságát biztosító digitális beállítás[20].

A hegesztőberendezés legfontosabb tulajdonságait a 9. táblázatban foglaltuk össze.

9. táblázat ESAB Caddy Tig 200 alapvető tulajdonságai [20].

Tápfeszültség (50-60 Hz) (V)	1x230
Üresjárat feszültség (átl.) (V)	60-75
Áramtartomány, TIG, DC (A)	3-200
Impulzusidő (s)	0,001-5,0
Szünetidős (s)	0,001-5,0
Áramlefutási idő (s)	0-10
Gázöblítési idő (s)	0-10
Gázutánáramlási idő (s)	0-10
Alkalmazási osztály	S
Védelem	IP3
Tömeg (kg)	8,9
Szabvány	EN 60974-1

7.5 AZ ALKALMAZOTT VOLFRÁMELEKTRÓDA

A kötések elkészítéséhez az egyik leggyakrabban alkalmazott típust, a 2%-ban tóriummal ötvözött volfrámelektrodát alkalmaztunk.

Az elektróda minimum 97,3% volfrámot, és 1,70-2,20% tóriumot tartalmaz. Használata egyszerű, élettartama kedvező, illetve kiváló kopási tulajdonságokkal rendelkezik, mivel gyártása során a tóriumot egyenletesen eloszlatják az elektróda teljes hosszán[21].

Jó ívgyújtást biztosít, áramterhelhetősége pedig nagyobb, mint a legtöbb más típusú volfrámelektrodáé. Hegesztés közben tartósan az olvadáspontja alatt üzemel, így csökkenti a varratban a volfrámzárványok előfordulásának lehetőségét, illetve az ív vándorlását. Azonban kezelése nagyfokú körültekintést igényel, mivel a tórium radioaktív anyag. Jól alkalmazható szénacél, rozsdamentes acél, nikkel és titán hegesztésére[21].

A szakirodalom ajánlása alapján[14] a 2 mm vastag Grade2 titán hegesztéséhez 1,6 mm átmérőjű elektrodát alkalmaztunk, amelynek adatait a **10. táblázatban** foglaltuk össze.

10. táblázat Az alkalmazott volfrámelektroda adatai.

Elektróda típus	Színkód	Átmérő (mm)	Polaritás	Kúpszög (°)
WT 20	Piros	$d_e = 1,6\text{mm}$	DC-	40°, 20°

7.6 AZ ALKALMAZOTT VÉDŐGÁZ

A titán TIG eljárással történő hegesztéséhez a szakirodalom ajánlásainak megfelelően (lásd:27. oldal) az argonkamra töltőgázaként, gyökvédelemként és védőgázaként 5.0, azaz minimum 99,999% tisztaságú argongázt alkalmaztunk a porozítások, valamint az O₂ és N₂ szennyezés elkerülése érdekében.

7.7 AZ ALKALMAZOTT ARGONKAMRA ÉS A BEFOGÓKÉSZÜLÉK

Az argonatmoszféra biztosításához a **24. ábrán** látható, saját készítésű argonkamrát alkalmaztunk. Az eszközök megtervezésnél a könnyen gyártható, egyszerű konstrukcióra törekedtünk. Fontos szempont volt még, hogy az eszköz felhasználható legyen más hegesztési eljárásokhoz és alapanyagokhoz is. Így a rugalmas alkalmazhatóság érdekében a konstrukciót három különálló funkciós részegységre, a kamrára, a befogókészülékre és a gázbevezetésre bontottuk. A továbbiakban az egyes részegységeket bővebben is ismertetjük.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



24. ábra Az alkalmazott argonkamra fedéllel.

A kamra

A szakirodalom ([15]) ajánlásának megfelelően a kamra fala a munkadarabok felületétől számítva 50 mm, ami egyrészt biztosítja a megfelelő gázvédelemhez szükséges argon mennyiségét, másrészt még lehetővé teszi, hogy a hegesztőpisztollyal a munkadarabokhoz hozzáférjünk. A kamrát zárható fedéllel láttuk el, ami a hegesztés ideje alatt és az argonnal történő feltöltés közben csökkentette a levegő bekeveredésének lehetőségét.



25. ábra Az alkalmazott argonkamra fedél nélkül.

A befogókészülék

A **26. ábrán** látható befogókészülék megtervezésénél az elsődleges szempont a munkadarabok gyors, és pontos rögzítésének biztosítása volt. Ennek megvalósítására vörösréz lemezből hajlított befogókat készítettünk. A készre hajlított befogókat furatokkal láttuk el, majd a befogó alaplapjának megfelelő pontjaiban fűzővarratok segítségével M6-os hatlapfejű csavaranyákat helyeztünk el. A meghajlított befogók furataiba méretre vágott M6-os lencsefejű csavarokat helyeztünk.

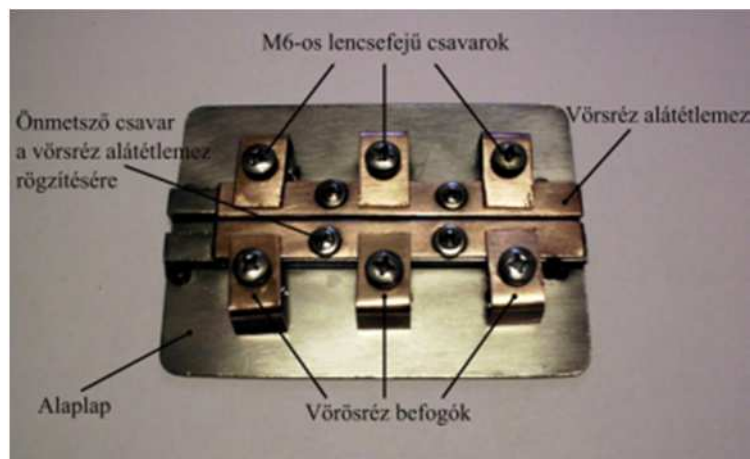
AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

Ha az így előkészített befogók csavarjait beletekerjük az anyákba, akkor azok a készülékbe helyezett mintadarabokat kellő mértékben leszorítják a beállított pozíció rögzítéséhez.



26. ábra A befogókészülék.

A készülék kialakításánál törekedtünk az egyszerű behelyezésre és tisztíthatóságra, a gyökvédelemhez behelyezett rézcső megfelelő megvezetésére és pozícionálásra, valamint szem előtt tartottuk, hogy a mintadarabok csak rézzel borított felületekkel érintkezhessenek.

Az általunk elkészített befogó egyik nagy előnye, hogy más geometriájú mintadarabok hegesztéséhez elég egy új befogókészüléket készíteni, így nem kell a teljes argonkamrát lecserélni.

A gázbevezetés

A gyökvédelemhez és a kamra feltöltéséhez szükséges gázbevezetést integráltuk, ami nagyban egyszerűsítette a konstrukciót. Az argon gáz bevezetésére egy 6mm külső átmérőjű rézcsövet, valamint az egyik végén egy gyorscsatlakozóval ellátott, a szakirodalom ([15]) ajánlásainak megfelelő szálerősített tömlőt alkalmaztunk. A rézcsövet a **27. ábrán** látható alakra hajlítottuk, furatokkal láttuk el, valamint a végét eldeformáltuk a megfelelő zárás érdekében.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



27. ábra A gázbevezetés kialakítása.

Az általunk megvalósított gázbevezetés egyik nagy előnye, hogy a mintadarab felek között beállított illesztési hézag argon gázzal történő átöblítése a lehető legalaposabb.

7.8 A HEGESZTÉS ELŐKÉSZÍTÉSÉNEK LÉPÉSEI

A megfelelő kötések elkészítéséhez rendkívül fontos a hegesztés előkészítése. Az alábbiakban az általunk alkalmazott előkészítő lépések sorrendje látható:

1. a befogókészüléket tisztítjuk, zsírtalanítjuk
2. a mintadarab-feleket zsírtalanítjuk:
 - 2.1. a munkadarabokat acetonnal áttörölgetjük
 - 2.2. a munkadarabokat megszárazítjuk.
3. az így megtisztított munkadarabokat csipesszel az argonkamrában lévő készülékbe helyezük, ügyelve hogy ne szennyezzük be a felületüket
4. az illesztési hézagot egy hézagoló lemezzel beállítjuk
5. a munkadarabot ebben a pozícióban rögzítjük
6. a befogókészüléket a kamrába helyezzük
7. az illesztési hézagot, a rögzítő elemek réseit argon gázzal átöblítjük
8. az argonkamra fedeleit bezárjuk
9. Az argonkamrát tiszta argonnal feltöltjük

7.9 A HEGESZTÉS FOLYAMATA

A hegesztett kötéseket argon atmoszférában, volfrámelektrodás kézi ívhegesztéssel végezzük.

A hegesztés fázisai:

1. a kívánt hegesztési paramétereket beállítjuk

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

2. az argonkamra fedelét kinyitjuk
3. a munkadarabot az adott paraméterekkel készre hegesztjük
4. az argonkamra fedelét bezárjuk
5. a munkadarabot hűlni hagyjuk
6. a befogókészüléket kivesszük az argonkamrából
7. a munkadarabot eltávolítjuk a készülékből
8. a hegesztett kötést szemrevételezéssel minősítjük



28. ábra A varratok hegesztése.

7.10 A KÍSÉRLETEK VÁRHATÓ EREDMÉNYEI

Mivel a kötéseket autogén módon, hozzáadott hegesztőanyag nélkül készítjük el, így lapos koronaoldallal és kisméretű gyökdudorral rendelkező kötések várhatóak.

Továbbá a munkadarabok mérete és alakja jelentős problémákat jelenthet hegesztés közben:

- kis méretük miatt könnyen túlhevülhetnek, így fokozottan figyelni kell a hőbevitelre
- az alakjuk miatt a varratok bekezdésénél és a végkrátereknél jelentősen lecsökken az anyag szélessége, így ezeken a területeken nagy a szélbeégés valószínűsége
- a mintadarabok a méretükhöz képest viszonylag vastagnak számítanak, így valószínűleg nehéz lesz elérni a teljes átolvadást a munkadarabok izzásig történő hevítése nélkül

7.11 AZ ELKÉSZÜLT KÖTÉSEK

7.11.1 A hegesztett kötések paraméterei

A szakirodalom ([14][15]) a körülbelül 2 mm vastag titánlemezek hegesztéséhez $I=85\text{--}170\text{ A}$ áramerősséget, $b=0\text{--}2\text{ mm}$ illesztési hézagot javasol. Figyelembe véve az általunk

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

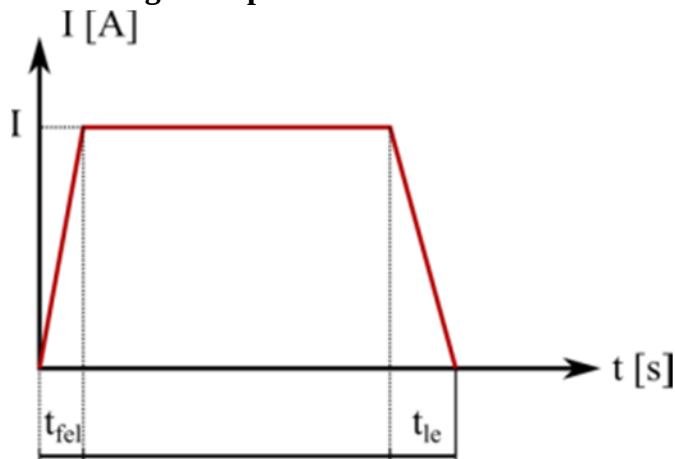
Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

alkalmazott mintadarabok méretét, ez az illesztési hézag és áramerősség tartomány túl nagy, ezért a kísérletek során $I=30-90$ A áramerősség tartományt, illetve $b=0-1$ mm közötti illesztési hézagot alkalmaztunk.

7.11.2 A normál üzemmódú hegesztés paraméterei



29. ábra A normál üzemmódú hegesztés áram- és időparaméterei.

11. táblázat A normál üzemmódban elkészített kötések paraméterei.

#	b (mm)	α (°)	Védőgáz (l/min)	Utógázf. (s)	U (V)	I (A)	t_{fe} (s)	t_{le} (s)	VT* (l/N)
A11	1	40	10	5	11	40	0,2	0,2	N
A12	1	40	10	5	11	50	0,2	0,2	N
A13	0,5	40	10	5	11	35	0,2	0,2	N
A14	0,5	40	10	5	11	43	0,2	0,2	N
A15	0,5	40	10	5	10	45	0,2	0,2	N
A16	0,5	40	10	5	11	50	0,2	0,2	N
B11	0,5	40	10	5	11	55	0,2	0,2	N
B12	0,5	40	10	5	11	65	0,2	0,2	N
B13	0,5	20	10	5	9,5	40	0,2	0,2	N
B14	0,3	20	10	5	9,5	40	0,2	0,2	N
B15	0,3	20	10	5	9,5	40	0,2	0,2	N
B16	0,3	20	10	5	9,5	42	0,2	0,2	N
C11	0,3	20	10	5	9,3	45	0,2	0,2	N
C12	0,3	20	10	5	10	50	0,2	0,2	N
C13	0	20	10	5	9,6	50	0,2	0,2	N
C14	0	20	10	5	10,7	55	0,2	0,2	N

* A szemrevételezés eredménye. I: megfelelt, N: nem felelt meg.

7.11.3 A normál üzemmódban elkészült kötések

Az normál üzemmódban elkészült kötések vizsgálatához OLYMPUS SZX16 típusú mikroszkópot alkalmaztunk (30. ábra).

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

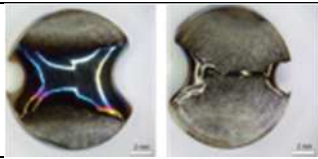
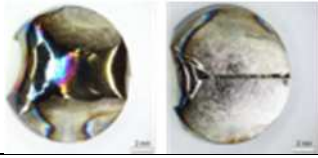
Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



30. ábra OLYMPUS SZX16 típusú mikroszkóp.

12. táblázat A normál üzemmódban elkészült kötések szemrevételezése.

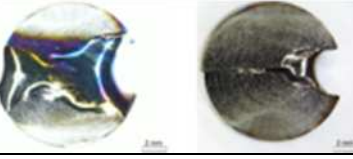
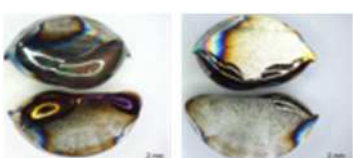
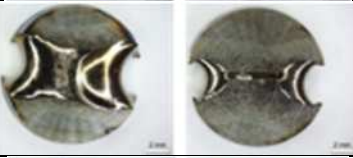
A kötés száma	A korona- és gyökoldal	Kritériumok		A VT eredménye	Megjegyzés
		Elszíneződés	Átolvadás		
A11		Enyhe elszíneződés, nem megfelelő.	Teljes átolvadás, megfelelő.	Nem felelt meg	A munkadarab hegesztés közben felizzott, hozzátapadt az egyik rézbefogóhoz, aminek a nyoma a koronaoldalon látható, illetve egy jelentős szakaszon a gyök át is rogyott.
A12		Erős, sötétkék elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
A13		A varrat bekezdésénél erős elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag jelentősen beégett.
A14		A varrat a bekezdése környezetében szalmasárgára színeződött, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag jelentősen beégett.
A15		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

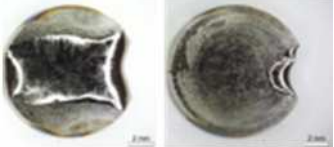
A16		Erős elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat aszimmetrikus.
B11		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat aszimmetrikus, jelentősen kiszélesedett, illetve a bekezdésénél és a kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
B12		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag jelentősen beégett.
B13		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	Az aszimmetrikus befogásnak köszönhetően az egyik fél sokkal könnyebben olvadt meg, így nem sikerült összefüggő hegfürdőt kialakítani.
B14		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
B15		A bekezdésnél enyhén szalmasárga színű, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
B16		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat aszimmetrikus, a bekezdésénél és a kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
C11		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag jelentősen beégett.
C12		A kifutásnál enyhén szalmasárga színű, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag jelentősen beégett.
C13		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A kifutás környezetében az alapanyag jelentősen beégett.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

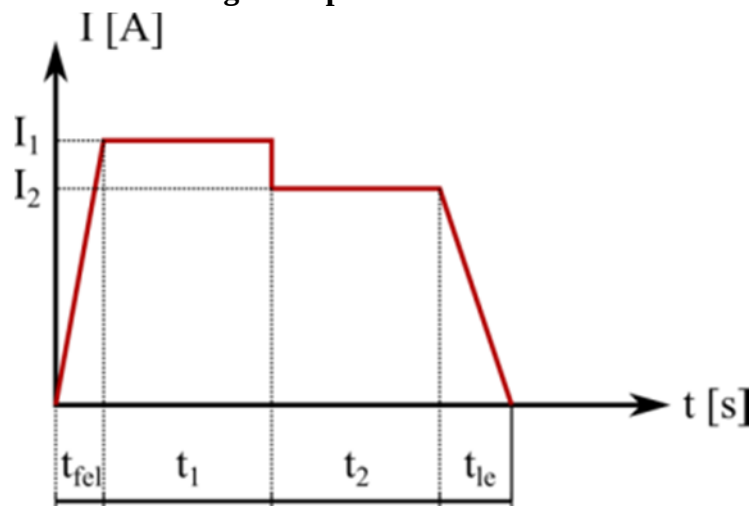
Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

C14		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A kifutás környezetében az alapanyag enyhén beégett.
-----	---	--------------------------------	--	----------------	--

7.11.4 Az impulzus üzemmódú hegesztés paraméterei



31. ábra Az impulzus üzemmódú hegesztés áram- és időparaméterei

13. táblázat Az impulzus üzemmódban elkészített kötések paraméterei

#	b [mm]	α [°]	Védőgáz (l/min)	Utógázf. (s)	U (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{fel} (s)	t _{le} (s)	VT* (l/N)
A21	1	20	12	5	11	35	25	0,15	0,05	0,2	0,2	N
A22	1	20	12	5	10,5	65	30	0,01	0,03	0,3	0	N
A23	1	20	12	5	10,5	70	30	0,01	0,1	0,3	0	N
A24	1	20	12	5	10,5	70	30	0,01	0,02	0,3	0	N
A25	1	20	12	5	12	65	40	0,15	0,05	0,2	0,2	N
A26	1	20	12	5	11,2	80	40	0,01	0,08	0,3	0	N
B21	0,5	20	12	5	9,5	50	20	0,01	0,02	0,3	0	N
B22	0,5	20	12	5	9,5	50	25	0,2	0,2	0,2	0,2	N
B23	0,5	20	12	5	10,5	60	40	0,01	0,05	0,2	0,2	N
B24	0,5	20	12	5	9,7	65	20	0,01	0,02	0,3	0	N
B25	0,5	20	12	5	9,2	65	30	0,01	0,02	0,3	0	N
B26	0,5	20	12	5	9,5	65	40	0,01	0,02	0,3	0	N
C21	0,5	20	12	5	10	65	45	0,01	0,03	0,3	0	N
C22	0,5	20	12	5	11	68	45	0,01	0,03	0,3	0	N
C23	0,5	20	12	5	10,7	68	50	0,01	0,03	0,3	0	N
C24	0,5	20	12	5	10,7	70	45	0,01	0,03	0,3	0	N
C25	0,5	20	12	5	12,2	90	60	0,01	0,01	0,3	0	N
C26	0,3	20	12	5	10,7	60	20	0,01	0,02	0,3	0	N
D21	0	20	12	5	9,2	50	20	0,01	0,02	0,3	0	N
D22	0	20	12	5	9,2	60	20	0,01	0,02	0,3	0	N

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

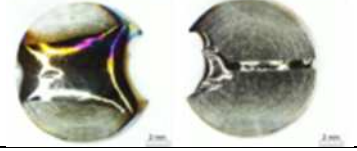
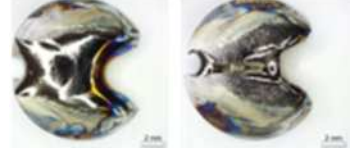
Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

D23	0	20	12	5	9,7	60	20	0,01	0,02	0,3	0	N
-----	---	----	----	---	-----	----	----	------	------	-----	---	---

* A szemrevételezés eredménye. I: megfelelt, N: nem felelt meg.

7.11.5 Az impulzus üzemmódban elkészült kötések

14. táblázat Az impulzus üzemmódban elkészült kötések szemrevételezése

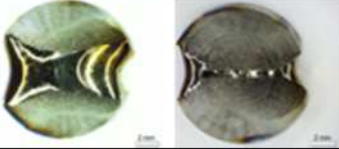
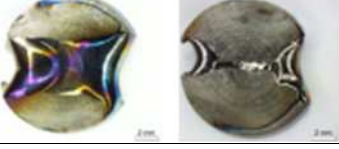
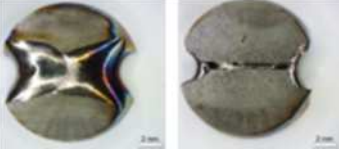
#	A korona- és gyökoldal	Kritériumok		A VT eredménye	Megjegyzés
		Elszíneződés	Átolvadás		
A21		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	Az aszimmetrikus befogásnak köszönhetően az egyik fél sokkal könnyebben olvadt meg, így nem sikerült összefüggő hegfürdőt kialakítani.
A22		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
A23		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
A24		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
A25		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag jelentősen beégett.
A26		A bekezdésnél erős elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
B21		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	Az aszimmetrikus befogásnak köszönhetően az egyik fél sokkal könnyebben olvadt meg, így nem sikerült összefüggő hegfürdőt kialakítani.
B22		Sötétkéék elszíneződés a kifutás környezetében, a gyökoldalon, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg.	

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

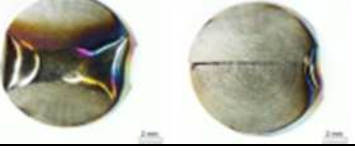
B23		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
B24		Enyhe sárga elszíneződés, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
B25		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
B26		A varrat a kifutása környezetében szalmasárgára színeződött, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag jelentősen beégett.
C21		A varrat a bekezdése környezetében szalmasárgára színeződött, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
C22		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
C23		A varrat bekezdésénél jelentős elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag jelentősen beégett.
C24		Ezüstösen csillogó, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
C25		A varrat bekezdésénél jelentős elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél és kifutásánál az alapanyag jelentősen beégett.
C26		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	Az aszimmetrikus befogásnak köszönhetően az egyik fél sokkal könnyebben olvadt meg, így nem sikerült összefüggő hegfürdőt kialakítani.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

D21		A varrat bekezdésénél jelentős elszíneződés, nem megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	
D22		Jelentős elszíneződés, nem megfelelő	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	
D23		A varrat a bekezdése környezetében szalmasárgára színeződött, megfelelő.	Nincs teljes átolvadás, nem megfelelő.	Nem felelt meg	A varrat bekezdésénél az alapanyag enyhén beégett.

7.11.6 A kísérletek tapasztalatai

A varratok átolvadása

A kísérletek során nem sikerült teljes átolvadású varratokat készítenünk. Ennek oka az, hogy a mintadarabok kis méretük miatt a hegesztés során nagyon könnyen túlhevültek: 65 A-nél nagyobb áramerősség esetén a mintadarab felek már a hegesztés kezdetén, míg kisebb áramerősség alkalmazása esetén a hegesztési sebesség szükségszerű csökkentése miatt felizzottak.

A túlhevülés jelenségét a hegesztési sebesség növelésével, az áramerősség és az elektróda kúpszög csökkentésével, illetve impulzus üzemmód alkalmazásával tudtuk mérsékelni, azonban ezekkel a változtatásokkal sem tudtunk teljes átolvadást elérni.

Az argonatmoszféra szennyeződése

Az argonatmoszféra esetleges szennyeződését az elkészült varratok elszíneződése jelezte. A szennyeződés lehetséges okai az alábbiak:

- a hegesztő berendezés és a gázpalack tömlői nem szigeteltek kellőképpen
- az általunk alkalmazott argonkamra nem teljesen zárt, így levegő keveredhetett a kamra belsejébe
- a befogókészülék rögzítő elemeinek környezetében levegő rekedhetett meg, ami beszennyezhetette a kamra légkörét
- a használaton kívüli hegesztőpisztoly gázterelőjében levegő rekedhetett meg a hegesztés megkezdése előtt, amit aztán a védőgáz áram közvetlenül a mintadarabok felületére juttatott

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

- kisebb áramerősségek alkalmazása esetén az hegfürdő kialakításához és a varrat elkészítéséhez szükséges idő jelentősen megnőtt, ami megnövelhette a levegő bekeveredésének lehetőségét

A levegőszennyezés lehetőségét jelentősen csökkentette, ha a hegesztés megkezdése előtt a hegesztőpisztolyt, a befogókészüléket, valamint az illesztési hézagot Ar gázzal átöblítettük.

A varratok bekezdései és végkrátere

A varratok bekezdéseinél és végkrátereinél jelentős beégést tapasztaltunk. A varrat bekezdéseinek beégését mérsékelte, ha nem közvetlenül a mintadarabon gyújtottuk az ívet. A végkráter beégését nem sikerült jelentősen befolyásolni.

A varratok aszimmetriájának okai

A varratok aszimmetriája feltehetően két okra vezethető vissza:

1. a mintadarab felek méretei eltértek, így a kisebb méretű fél ugyanazon bevitt hőmennyiség hatására jobban megömlött
2. az aszimmetrikus mintafeleknek köszönhetően a nagyobb méretű mintafél nagyobb felületen érintkezett a vörösréz befogóval, így nagyobb hőmennyiséget volt képes leadni, mint a kisebb méretű fél

8 VIZSGÁLATOK

8.1 A VIZSGÁLATOK CÉLJA

A vizsgálatok célja az elkészített hegesztett kötések minősítése és tulajdonságainak meghatározása roncsolásos és roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek felhasználásával.

8.2 SZEMREVÉTELEZÉS

A szemrevételezés során az elkészült kötések átolvadását, illetve a varratok esetleges elszíneződését vizsgáltuk. A vizsgálatok során a korábban megfogalmazott alapelveknek (lásd: *A titánból készült kötések szemrevételezése, 24. oldal*) megfelelően csak az ezüstszürke színű, teljesen átolvadott varratokat minősítettük megfelelőnek.

A fenti követelményeknek egyik elkészített kötés sem felelt meg. Így a további vizsgálatokra a teljesen átolvadott és az ezüstszürke színű varratokat jelöltük ki.

A további vizsgálatokra kijelölt, normál üzemmódban elkészült kötések (**12. táblázat**):

- A11
- A15

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

- C11
- C13
- C14

A további vizsgálatokra kijelölt, impulzus üzemmódban elkészült kötések (**13. táblázat**):

- A22
- A24
- B23
- C21
- C24
- D23

8.3 MAKROCSISZOLATOK KÉSZÍTÉSE

A hegesztett kötések mikroszerkezetének és keménységének vizsgálatához makrocsiszolatokat készítettünk. A csiszolatok elkészítéséhez a kiválasztott varratokat a hossz tengelyükre merőlegesen BUEHLER ISOMET 1000 típusú (**32. ábra**) precíziós vágóberendezés segítségével kettévágtuk, majd az így kapott darabokat Duracryl® Plus típusú akrilgyantába beágyaztuk.



32. ábra BUEHLER ISOMET 1000 precíziós vágóberendezés.

A beágyazott mintákat Jean Wirtz IA/4358 típusú csiszolóberendezés segítségével a **15. táblázatban** látható módon, növekvő finomságú csiszolópapírral csiszoltuk.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



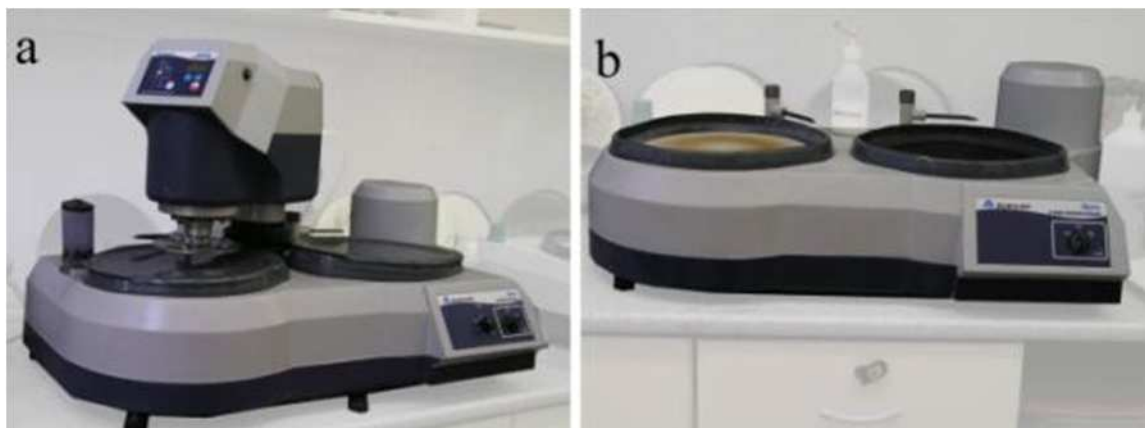
33. ábra Jean Wirtz IA/4358 típusú csiszolóberendezés.

15. táblázat A csiszolás különböző fázisai.

A csiszolási fázis száma	A csiszolópapír finomsága
1.	P80
2.	P120
3.	P320
4.	P600
5.	P1000
6.	P2500
7.	P4000

A csiszolt mintákat a továbbiakban, két fázisban, a **34. ábrán** látható berendezésekkel políroztuk:

1. 1 μm -es alumínium-oxid szuszpenzió segítségével történő polírozás
2. Master Polish alkalmazása



34. ábra BUEHLER Beta GRINDER POLISHER (a) és BUEHLER BUEHLER Alpha 2 SPEED GRINDER POLISHER (b).

8.4 A MIKROSZERKEZET VIZSGÁLATA

A különböző paraméterekkel elkészített kötésekből a hegesztés hatására kialakult szemcseszerkezeti változásokat egy OLYMPUS PMG3 típusú fénymikroszkóp (35. ábra) segítségével vizsgáltuk. A vizsgálatához a csiszolatokat Keller maratópác (190 ml víz (H₂O), 5 ml salétromsav (HNO₃), 3 ml sósav (HCl), 1 ml hidrogén-fluorid (HF)) alkalmazásával 1,5-2 percig maratottuk.



35. ábra OLYMPUS PMG3 típusú fénymikroszkóp.

8.4.1 A mikroszerkezet vizsgálatának várható eredményei

A vizsgálatok megkezdése előtt két alapvető eredményre számíthatunk:

1. a hegesztés folyamatával járó jelentős hőbevitel hatására a hőhatási övezetben a szemcsék durvulása várható.
2. Az alapanyag szemcséinek mérete a nanométeres tartományba esik, így egyszerű fénymikroszkópon nem látható az alapanyag szövetszerkezete.

8.4.2 A mikroszerkezet vizsgálatának eredményei

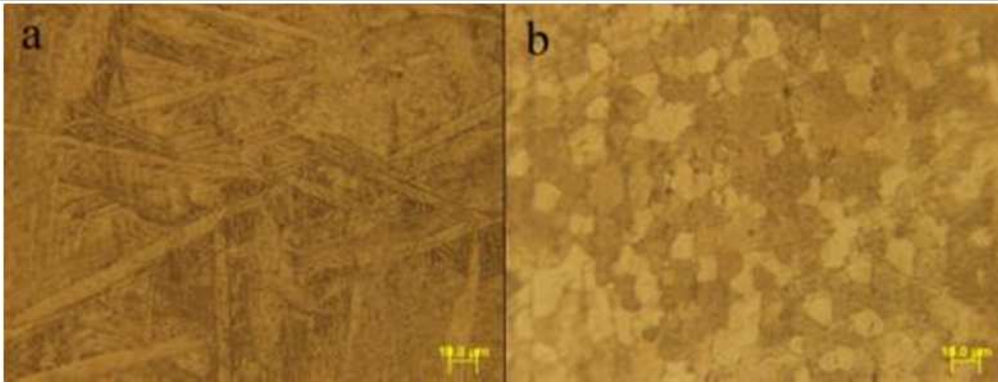
A hegesztés során a darabokban kétféle szövetszerkezet alakult ki. Ennek oka, hogy a mintadarab nagy hőmérsékletre felhevülve β -fázisba került, majd annak függvényében, hogy az egyes részein milyen sebességgel hűlt, poligonális α -(lassú hűlés) vagy martenzites jellegű (gyors hűlés) $\alpha+\beta$ fázis alakult ki (36. ábra). Az eltérő lehűlési sebességeket az okozta, hogy a gyökvédelemre használt gyökvédőgáz hűtő hatása, valamint a vörösréz alátétlemezek a varrat környezetében gyorsabb lehűlést eredményeztek. A 37. ábrán jól látható a kétféle szövetszerkezet határa.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

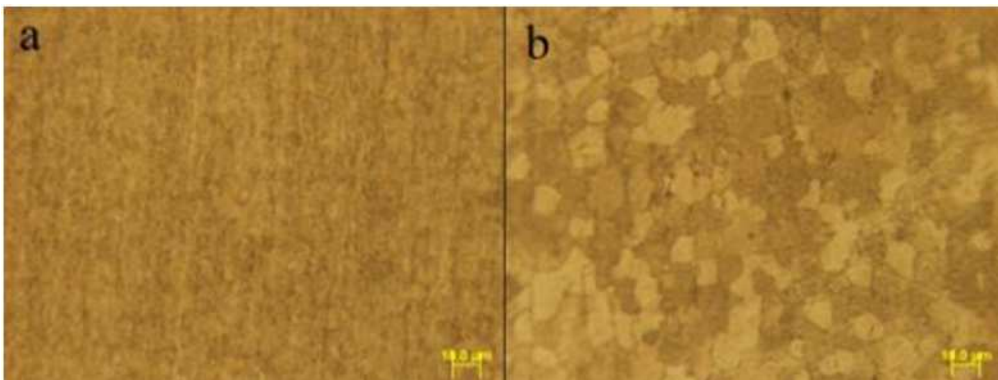


36. ábra Martenzites jellegű $\alpha+\beta$ (a) és poligonális α -fázisú (b) szövetszerkezet a hegesztett mintadarabokon.



37. ábra A poligonális α -fázis és a martenzites jellegű $\alpha+\beta$ fázis határa.

A mikroszerkezeti vizsgálatok egyrészt igazolták, hogy az alapanyag szemcséinek mérete a nanométeres tartományba esik, így fémmikroszkópon nem látható az alapanyag szövetszerkezete (**38.a. ábra**), másrészt hogy a hőhatásövezet a mintadarabok kis mérete miatt kifutott a darabokról és a teljes keresztmetszet szövetszerkezete változott (**36. ábra**).



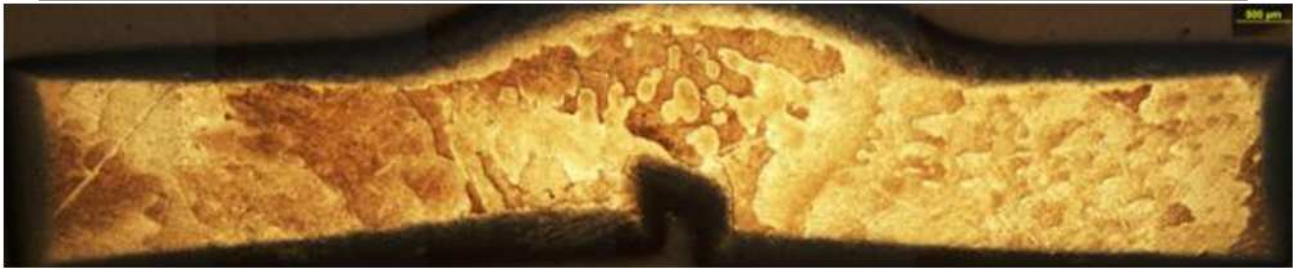
38. ábra A referencia mintadarab (a) és a hegesztett mintadarab (b) poligonális szemcseszerkezete.

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

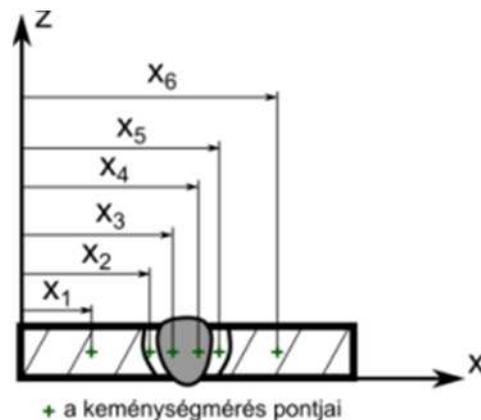
Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.



39. ábra A B23-as kötés fémmikroszkóppal készített felvétele.

8.5 A KEMÉNYSÉGPROFIL MEGHATÁROZÁSA

A **40. ábrán** látható módon, a makrocsiszolatokon elvégezzük a mikro Vickers keménységmérést a **41. ábrán** látható Buehler Identamet 1105 típusú keménységmérő berendezéssel, az alapanyag, a hőhatásövezet, valamint a varratfém megfelelő pontjaiban. Ezáltal a kötés keresztmetszetében a mérési pontok x irányú távolságának függvényében feltérképezhető a keménység eloszlása.



40. ábra A keménységmérés pontjai a makrocsiszolaton.



41. ábra BUEHLER IndentaMet 1105 típusú keménységmérő berendezés.

8.5.1 A keménységmérés várható eredményei

A csiszolatok megfelelő pontjain elvégzett keménységmérések során a következő eredményekre számíthatunk:

- az eredeti alapanyag keménységéhez képest várhatóan elmarad a hegesztett kötésben mérhető keménység
- a hőhatási övezetben a keménység csökkenését okozhatja a szemcseméreték növekedése
- a hőhatási övezetben a keménység növekedését okozhatja a következő folyamatok:
 - O_2 , N_2 , H_2 szennyezés az elégtelen gázvédelemnek köszönhetően
 - mikroszerkezeti átalakulások

8.5.2 A referencia mintadarab keménységmérésének eredménye

A referencia mintadarab keménységét, 8 egymástól 1mm távolságra lévő pontban, $F=0,1$ kilopondos terhelés mellett, $t=5$ másodperces terhelési idővel mértük. A mérés eredményei a **16. táblázatban** láthatóak.

16. táblázat A referencia darabon elvégzett keménységmérés eredményei.

A kötés száma	#	d_1 (mm)	d_2 (mm)	$d_{\text{átl}}$ (mm)	x (mm)	HV01
Referencia	1	0,0265	0,0279	0,0272	1	250,6
	2	0,0262	0,0279	0,02705	2	253,4
	3	0,0258	0,0286	0,0272	3	250,6

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE**Készítette:** Balogh Lajos, Sipos József**Konzulens:** Nagy Péter**Kelt:** Budapest, 2014. 05. 02.

	4	0,0259	0,0291	0,0275	4	245,2
	5	0,0259	0,0302	0,02805	5	235,6
	6	0,0267	0,0285	0,0276	6	243,4
	7	0,0266	0,031	0,0288	7	223,5
	8	0,025	0,0281	0,02655	8	263,0

8.5.3 A normál üzemmódban elkészült hegesztett kötések keménységprofiljának meghatározása

A normál üzemmódban elkészült kötések keménységét, $F=0,1$ kilopondos terhelés mellett, $t=5$ másodperces terhelési idővel mértük. A mérés eredményei a **17. táblázatban** láthatóak.

17. táblázat A normál üzemmódban elkészült kötéseken elvégzett keménységmérés eredményei.

A kötés száma	#	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d _{átl} (mm)	x (mm)	HV01
A11	1	0,033	0,0318	0,0324	1	176,6
	2	0,032	0,0339	0,03295	1,5	170,8
	3	0,0313	0,0313	0,0313	2,5	189,3
	4	0,0311	0,0309	0,031	3,5	192,9
	5	0,0297	0,0278	0,02875	4,5	224,3
	6	0,0246	0,0244	0,0245	5,5	308,9
	7	0,0296	0,0307	0,03015	6,5	204,0
	8	0,0305	0,0307	0,0306	7,5	198,0
	9	0,0305	0,0318	0,03115	8,5	191,1
A15	1	0,031	0,0294	0,0302	1	203,3
	2	0,0301	0,0309	0,0305	2	199,3
	3	0,0312	0,0295	0,03035	3	201,3
	4	0,0298	0,0316	0,0307	4	196,7
	5	0,0322	0,0293	0,03075	5	196,1
	6	0,0299	0,0316	0,03075	6	196,1
	7	0,0291	0,0307	0,0299	7	207,4
	8	0,03	0,031	0,0305	8	199,3
	9	0,0326	0,0304	0,0315	9	186,9
C11	1	0,0301	0,0294	0,02975	1	209,5
	2	0,0291	0,0304	0,02975	2	209,5
	3	0,0295	0,0292	0,02935	3	215,2
	4	0,0309	0,0281	0,0295	4	213,1
	5	0,0307	0,029	0,02985	5	208,1
	6	0,03	0,0309	0,03045	6	200,0
	7	0,0303	0,0294	0,02985	7	208,1
	8	0,0283	0,0338	0,03105	8	192,3

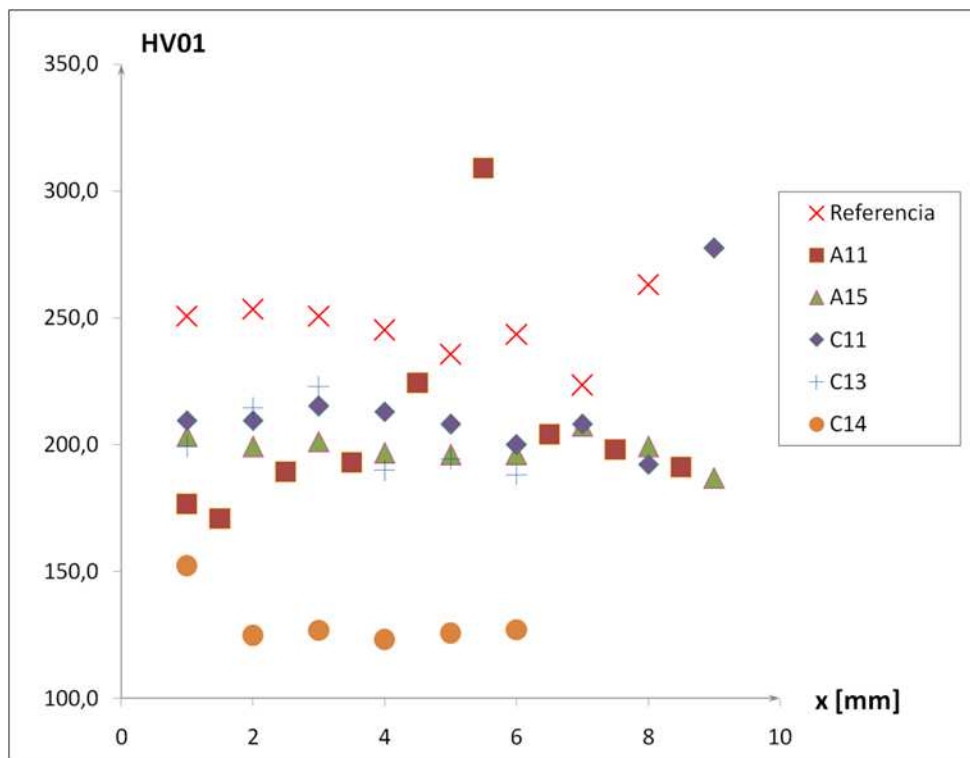
AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

	9	0,0245	0,0272	0,02585	9	277,5
C13	1	0,0287	0,0323	0,0305	1	199,3
	2	0,0305	0,0283	0,0294	2	214,5
	3	0,0297	0,028	0,02885	3	222,8
	4	0,0305	0,032	0,03125	4	189,9
	5	0,0298	0,032	0,0309	5	194,2
	6	0,0301	0,0327	0,0314	6	188,0
C14	1	0,0341	0,0357	0,0349	1	152,2
	2	0,0391	0,038	0,03855	2	124,8
	3	0,0352	0,0413	0,03825	3	126,7
	4	0,033	0,0446	0,0388	4	123,2
	5	0,0332	0,0436	0,0384	5	125,7
	6	0,0314	0,045	0,0382	6	127,1



42. ábra A normál üzemmódban elkészült hegesztett kötések mért keménységprofilja.

A normál üzemmódban elkészült hegesztett kötések esetében a mért keménységértékek nem haladják meg a referencia mintadarabon mért értékeket (**42. ábra**), kivétel ez alól az A11-es kötés 6. mérési pontja és a C11-es kötés 9. pontja (**17. ábra**). A két kiugró érték származhat mérési hibából, illetve hogy a mérési pont egy keményebb fázis területére esett.

A C14-es kötés keménységértékei jelentősen eltérnek a többi kötés esetében mérttől, amelynek oka lehet a beágyazott mintadarab felületének ferdesége (a felület ferdesége torzítja

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

a lenyomatot, így az egyik átló jelentősen nagyobb hosszúságúra adódik, amely befolyásolja a számolt keménységértéket).

Az eredményeket összefoglalva megállapítható hogy az elkészült kötéseken mérhető keménységértékek a kötés hossza mentén jelentősen nem változnak, ugyanis a hőhatásövezet területe a teljes kötésre kiterjed. A referencia darabon mért keménységértékeknél kisebb értékek adódtak, a szemcseszerkezeti változásoknak köszönhetően.

8.5.4 Az impulzus üzemmódban elkészült hegesztett kötések keménységprofiljának meghatározása

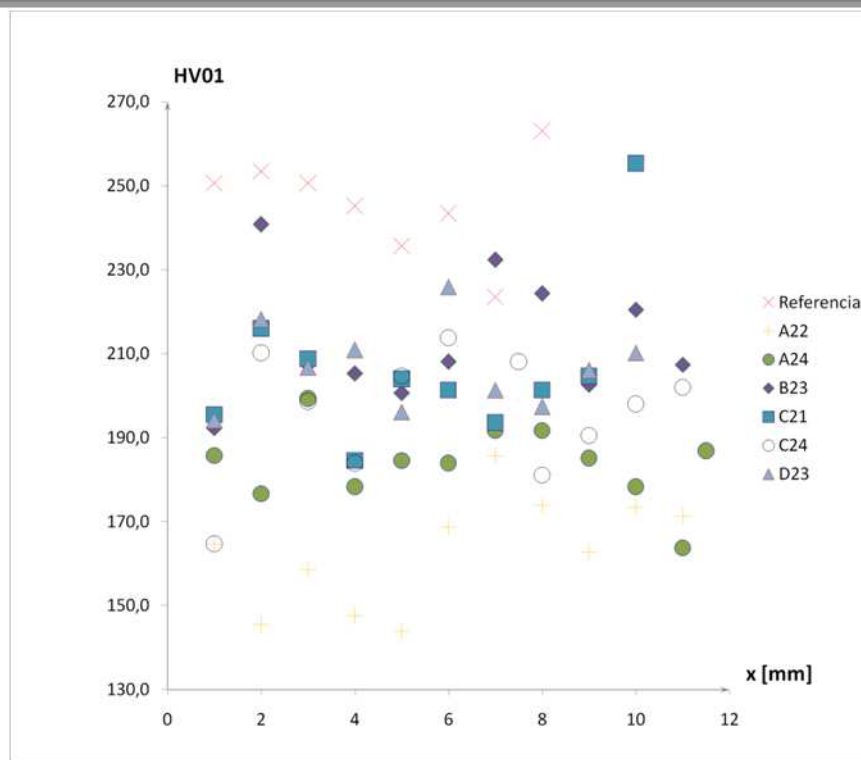
Az impulzus üzemmódban elkészült kötések keménységét, $F=0,1$ kilopondos terhelés mellett, $t=5$ másodperces terhelési idővel mértük. A mérés eredményei a **18. táblázatban** láthatóak.

18. táblázat Az impulzus üzemmódban elkészült kötések elvégzett keménységmérés eredményei.

A kötés száma	#	d_1 (mm)	d_2 (mm)	$d_{\text{átl}}$ (mm)	x (mm)	HV01
A22	1	0,033	0,0341	0,03355	1	164,7
	2	0,0359	0,0355	0,0357	2	145,5
	3	0,0354	0,033	0,0342	3	158,5
	4	0,036	0,0349	0,03545	4	147,5
	5	0,0368	0,035	0,0359	5	143,9
	6	0,032	0,0343	0,03315	6	168,7
	7	0,0317	0,0315	0,0316	7	185,7
	8	0,0325	0,0328	0,03265	8	173,9
	9	0,0335	0,034	0,03375	9	162,8
	10	0,0333	0,0321	0,0327	10	173,4
	11	0,0317	0,0341	0,0329	11	171,3
A24	1	0,0306	0,0326	0,0316	1	185,7
	2	0,0315	0,0333	0,0324	2	176,6
	3	0,0296	0,0314	0,0305	3	199,3
	4	0,031	0,0335	0,03225	4	178,3
	5	0,0311	0,0323	0,0317	5	184,5
	6	0,0322	0,0313	0,03175	6	183,9
	7	0,0317	0,0305	0,0311	7	191,7
	8	0,0306	0,0316	0,0311	8	191,7
	9	0,0309	0,0324	0,03165	9	185,1
	10	0,0316	0,0329	0,03225	10	178,3
	11	0,033	0,0343	0,03365	11	163,7
	12	0,0311	0,0319	0,0315	11,5	186,9

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE**Készítette:** Balogh Lajos, Sipos József**Konzulens:** Nagy Péter**Kelt:** Budapest, 2014. 05. 02.

B23	1	0,0296	0,0325	0,03105	1	192,3
	2	0,0274	0,0281	0,02775	2	240,8
	3	0,03	0,0298	0,0299	3	207,4
	4	0,0297	0,0304	0,03005	4	205,3
	5	0,0311	0,0297	0,0304	5	200,6
	6	0,0298	0,0299	0,02985	6	208,1
	7	0,0284	0,0281	0,02825	7	232,3
	8	0,029	0,0285	0,02875	8	224,3
	9	0,0318	0,0287	0,03025	9	202,6
	10	0,0287	0,0293	0,029	10	220,5
	11	0,0309	0,0289	0,0299	11	207,4
C21	1	0,0303	0,0313	0,0308	1	195,4
	2	0,0287	0,0299	0,0293	2	216,0
	3	0,0301	0,0295	0,0298	3	208,8
	4	0,0318	0,0316	0,0317	4	184,5
	5	0,03	0,0303	0,03015	5	204,0
	6	0,0309	0,0298	0,03035	6	201,3
	7	0,0317	0,0302	0,03095	7	193,6
	8	0,0296	0,0311	0,03035	8	201,3
	9	0,0311	0,0291	0,0301	9	204,6
	10	0,027	0,0269	0,02695	10	255,3
C24	1	0,0321	0,035	0,03355	1	164,7
	2	0,0314	0,028	0,0297	2	210,2
	3	0,0313	0,0298	0,03055	3	198,7
	4	0,0319	0,0316	0,03175	4	183,9
	5	0,0305	0,0297	0,0301	5	204,6
	6	0,0309	0,028	0,02945	6	213,8
	7	0,0304	0,0293	0,02985	7,5	208,1
	8	0,0306	0,0334	0,032	8	181,1
	9	0,0315	0,0309	0,0312	9	190,5
	10	0,0283	0,0329	0,0306	10	198,0
	11	0,03	0,0306	0,0303	11	202,0
D23	1	0,0289	0,0329	0,0309	1	194,2
	2	0,0292	0,0291	0,02915	2	218,2
	3	0,0315	0,0284	0,02995	3	206,7
	4	0,0291	0,0302	0,02965	4	210,9
	5	0,0308	0,0307	0,03075	5	196,1
	6	0,0306	0,0267	0,02865	6	225,9
	7	0,0301	0,0306	0,03035	7	201,3
	8	0,0311	0,0302	0,03065	8	197,4
	9	0,0291	0,0309	0,03	9	206,0
	10	0,029	0,0304	0,0297	10	210,2



43. ábra Az impulzus üzemmódban elkészült kötések mért keménységprofilja

Az impulzus üzemmódban elkészült hegesztett kötések esetében a mért keménységértékek nem haladják meg a referencia mintadarabon mért értékeket (**43. ábra**), kivétel ez alól az B23-es kötés 7. mérési pontja (**18. táblázat**). A kiugró érték származhat mérési hibából, illetve hogy a mérési pont egy keményebb fázis területére esett.

A D23-as kötés keménységértékei jelentősen eltérnek a többi kötés esetében mérttől, amelynek oka lehet a beágyazott mintadarab felületének ferdesége (a felület ferdesége torzítja a lenyomatot, így az egyik átló jelentősen nagyobb hosszúságúra adódik, amely befolyásolja a számolt keménységértéket).

Az eredményeket összefoglalva megállapítható hogy az elkészült kötéseken mérhető keménységértékek a kötés hossza mentén jelentősen nem változnak, ugyanis a hőhatásövezet területe a teljes kötésre kiterjed. A referencia darabon mért keménységértékeknél kisebb értékek adódtak, a szemcseszerkezeti változásoknak köszönhetően.

9 ÖSSZEFOGLALÁS

A szakirodalom kutatás során az UFSz-Ti lehetséges alkalmazásáról és hegesztéséről szóló publikációkat kerestünk. A kutatás eredményeképp már megvalósított (**2. ábra**), illetve lehetséges alkalmazási példákat találtunk (**6.1.1. és 6.2.1 fejezet**). Az UFSz-Ti hegesztéséről

AZ ULTRA-FINOMSZEMCSÉS GRADE2 TITÁN HEGESZTÉSE

Készítette: Balogh Lajos, Sipos József

Konzulens: Nagy Péter

Kelt: Budapest, 2014. 05. 02.

szóló szakirodalmat nem találtunk, így feltételezhető, hogy az elsők között foglalkoztunk ezzel a kutatási témával.

A kísérletek során a mintadarabokat a szakirodalomban található szigorú követelményeknek megfelelően (*A titánból készült hegesztett kötések élelőkészítése*, **20. oldal**) előkészítettük, majd TIG eljárással, különböző hegesztési paraméterek alkalmazásával a mintafeleket összehegesztettük. Az elkészült kötéseket szemrevételezéssel vizsgáltuk, aminek alapján további vizsgálatra jelöltünk ki kötéseket. A kiválasztott mintadarabokból csiszolatokat készítettünk, amelyeken a mikroszerkezetet és a keménységeloszlást vizsgáltuk.

A szemrevételezés során azokat a kötéseket választottuk ki, amelyek a legnagyobb mértékben olvadtak át és a legkisebb mértékben szennyeződtek. A kiválasztott mintadarabokon elvégzett mikroszerkezeti vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a hegesztett mintadarabok hőhatásövezete a darabok kis mérete miatt a kötés teljes keresztmetszetére kiterjed. A keménységmérés eredményei alapján a hegesztett kötések keménysége a referencia mintadarabénál kisebb, amely a szemcseszerkezet változásával magyarázható. Az egyes kötésekben belül a keménységprofil jelentősen nem változik köszönhetően annak, hogy a hőhatásövezet a teljes keresztmetszetre kiterjed. A kísérletek során az impulzusívű hegesztés alkalmazásával jelentősebb beolvadás volt elérhető a mintadarab felizzása nélkül, a hegfürdő irányíthatósága is javult a normál üzemmódú hegesztéshez képest. Még normál üzemmódban történő hegesztés során az egész keresztmetszet szövetszerkezete martenzites jellegű $\alpha+\beta$ fázis lett, addig impulzusívű hegesztés alkalmazásával kialakult egy durvább szemcseméretű poligonális α -fázis (a referencia mintadarab szemcseméretéhez viszonyítva) és martenzites jellegű $\alpha+\beta$ fázis.

A szakirodalomban UFSz-Ti hegesztéséről szóló publikációkat nem találtunk, így dolgozatunk eredménye a témában úttörőnek számíthat, további kutatásokat megalapozva ezáltal. Továbbá a hagyományos szemcseszerkezetű titánt felhasználó alkalmazások esetén is hasznosíthatóak az eredmények.

A jövőben e tanulmány kibővítésére jelentős lehetőséget biztosít más, a 4. táblázatban felsorolt hegesztési eljárás alkalmazása, különösképp a lézersugaras és az elektronsugaras hegesztés. A lézersugaras hegesztési eljárás esetén problémát jelenthet az UFSz-Ti ömledékének reflexiója, valamint az egyoldali tompa „I” varrat elkészítése. Az elektronsugaras hegesztés nagy előnye, hogy nincs szükség inert gáz atmoszférára. Amennyiben a fenti eljárásokkal sikerül teljes átolvadású kötéseket létrehozni, az 1. pontban

leírt vizsgálatok körét további mechanikai- és korróziós vizsgálatokkal lehetne bővíteni, valamint az ipari alkalmazások szempontjából különösen fontos jelentőséggel bírna a vegyes kötések létrehozásának vizsgálata.

10 FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Pande, C.S., Cooper, K.P. 2009. 'Nanomechanics of Hall–Petch relationship in nanocrystalline materials', *Progress in Materials Science*, Vol. 54, Issue 6, pp. 689–706
- [2] Su-Hai Hsiang, Sheng-Li Lin, 2007. 'Modeling and Optimization of Caliber Rolling Process', *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 129., no. 1, pp. 77-83
- [3] Krállics, G., Gubicza, J., Bezi, Z., Barkai I., n.d., *Manufacturing of ultrafine-grained titanium by caliberrolling in laboratory and industry*
- [4] Gregor, M., Widomská, M., Kander, L. 2010. 'Mechanical properties of ultra-finegrain titanium', *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 40, Issue 1. Elérhető: <http://www.journalamme.org/papers_vol40_1/4014.pdf>. [2013.10.20].
- [5] Latysh, V., Krallics, Gy., Alexandrov, I., Fodor, A. 2009., 'Application of bulk nano structured materials in medicine', *Current Applied Physics* 6, pp. 262-266
- [6] Artinger I., Csikós G., Krállics Gy., Németh Á., Palotás B., 1997. *Fémek és kerámiák technológiája*, Műegyetem kiadó.
- [7] AZoM, Titanium Applications, n.d. Elérhető: <<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1297>> [2013. 09. 28.].
Find out why titanium connecting rods are just loved by motorists, n.d. [online], Elérhető: <<http://www.titaniumexposed.com/titanium-connecting-rods.html>>
- [8] Artificial Implants for Joint Replacement No Longer Hip, 2008.11.25. [online], Murdoch University Australia, Elérhető: <<http://www.nano.org.uk/news/nov2008/latest1697.htm>> [2013.10.20].
- [9] Shaanxi North Steel Company, n.d. [online] Elérhető: <<http://www.norstl.com/markets/aerospace/airframe#>> [2013.10.20.].
- [10] Susumu, K., Eiichi, F., Shigeo, A., Takeshi, Sh., Takeshi, Sa., 2002. 'Technology Trend of Titanium Sponge and Ignor', *Nippon Steel Technical Report*, No. 85
- [11] Gubicza J., 2008. *Ultra-finomszemcsés anyagok mikroszerkezeti paramétereinek meghatározása*, MTA doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem.

- [12] Yuntian, T. Z., Terry, C. L., Terrence, G. L. 2004. 'Performance and applications of nanostructural materials produced by severe plastic deformation', *Scripta Materialia* 51, 825-830
- [13] Welsch, G., Boyer, R., Colling, E. W. (eds) 2007, *Materials Properties Handbook: Titanium Alloys*, ASM International.
- [14] Smith, L. S., Threadgill, P., Gittos, M. 1999. *Welding titanium - A designers and users handbook* [pdf] TWI and The Titanium Information Group. Elérhető: <http://tinyurl.hu/QvEx/zEFmEd_0J_68Qb7YCSSg&bvm=bv.54934254,d.Yms> [2013. 10. 20.]
- [15] Donachie, M. J. 2000. 'Joining technology and practice' in *Titanium: A Technical Guide*, 2nd edn., ASM International, ISBN 0-87170-686-5, pp. 65-77
- [16] *LC Technology Solution Incorporated*, n.d. [online], Elérhető: <http://www.lctechinc.com/index_files/Page1710.htm> [2013. 10. 23.]
- [17] Weld Purge Accessory Range, n.d. [online], Elérhető: <<http://www.justram.ca/weld-purge-accessories.html>> [2013. 10. 23.]
- [18] Gáti J. (szerk.) 2003, *Hegesztési zsebkönyv*, COKOM Mérnökiroda Kft, Miskolc.
- [19] *HiQ® Specialty Gases Finder*, n.d. [pdf] Elérhető: <<http://hiq.linde-gas-sgf.com/pdf/Argon.pdf>> [2013. 10. 16.]
- [20] *Caddy Tig 150/200*, n.d. [online] Elérhető: <<http://esab.gedeon.hu/index.php?page=6&prod=awi020>> [2013. 10. 16.]
- [21] *Thoriated (red) tungsten electrode*, n.d. [online] Elérhető: <[http://www.askaynak.com.tr/en/products/accessories-other-products/other-products/thoriated-\(red\)-tungsten-electrode](http://www.askaynak.com.tr/en/products/accessories-other-products/other-products/thoriated-(red)-tungsten-electrode)> [2013. 10. 02.]