

Tudományos Diákköri Konferencia 2014

Anyagtechnológia szekció

Asztalos Lilla és Uzonyi Sándor
2014. október 26.



ANYAGTUDOMÁNY ÉS TECHNOLÓGIA TANSZÉK



[DUPLEX ACÉL DURVALEMEZEK HEGESZTÉSE]

Hogyan, illetve hogyan ne hegeszünk vastag falú duplex tartályokat, hidakat, hajókat!

1 Tartalomjegyzék

2	Hallgatói nyilatkozat.....	3
3	Absztrakt.....	3
3.1	Magyar absztrakt	3
3.2	English abstract.....	4
4	Célkitűzés.....	4
5	Irodalomkutatás.....	4
5.1	A duplex acélok rövid története.....	4
5.1.1	A duplex acélok összetétele és mechanikai tulajdonságai	5
5.1.2	Szövetszerkezet és vegyi összetétel [4][5]	5
5.1.3	Mechanikai tulajdonságok.....	6
5.2	A duplex acélok alkalmazása	6
5.2.1	Acélszerkezetek.....	7
5.2.2	Nyomástartó berendezések és erőműtechnika.....	8
5.3	A duplex acélok csoportosítása	8
5.3.1	Általános (standard / sztenderd) duplex acélok.....	8
5.3.2	Szuperduplex acélok	8
5.3.3	Lean duplex acélok.....	9
5.4	A duplex acélok hegesztése	9
5.4.1	Hőbevitel	9
5.4.2	Hegesztőanyagok és védőgázok.....	10
5.5	Rendelkezésre álló anyagok bemutatása	11
5.5.1	Duplex lemezek anyagának bemutatása.....	11
5.5.2	A felhasznált hegesztőanyagok bemutatása	13
6	A hegesztési kísérletek ismertetése.....	13
6.1	Technológiai áttekintés.....	13
6.2	Lehetséges hegesztési eljárások.....	13
6.3	Technológiatervezés	14
6.3.1	Előzetes hegesztés technológiai utasítások	14
6.3.2	Felkészülés	15
6.4	A kísérlet során alkalmazott eljárások bemutatása.....	15
6.4.1	Volfrámelektrodás ívhegesztés, gyökvarratokhoz	15
6.4.2	Huzalelektrodás ívhegesztés, töltővarratokhoz	17
6.4.3	Bevont elektrodás kézi ívhegesztés, töltővarratokhoz	17
6.5	Az adatgyűjtési módszer bemutatása.....	18
6.5.1	Hőbevitel-számítás	19
6.6	A próbatestek hegesztése során gyűjtött tapasztalatok.....	19
6.6.1	Élelőkészítés.....	19
6.6.2	1. kísérlet: 141/111 egyoldali (2-1; 3-1).....	21
6.6.3	2. kísérlet: 141/136 egyoldali (2-2; 3-2).....	21
6.6.4	3. kísérlet: 141/136 kétoldali (2-3; 3-3)	22

7	A varratok vizsgálatának eredményei.....	22
7.1	Vizuális ellenőrzés	22
7.2	A makroszerkezet vizsgálatának eredményei.....	23
7.2.1	2-1 próbahegesztés eredményei	24
7.2.2	3-1 próbahegesztés eredménye	25
7.2.3	2-2 próbahegesztés eredményei	26
7.2.4	3-2 próbahegesztés eredményei	27
7.2.5	2-3 próbahegesztés eredményei	28
7.2.6	3-3 próbahegesztés eredményei	29
7.3	A mikroszerkezet vizsgálatának eredményei	30
7.3.1	Az alapanyag mikroszerkezetének bemutatása	30
7.3.2	A hőhatásövezet mikroszerkezetének elemzése	30
7.3.3	A varratfém szövetszerkezetének elemzése	32
7.4	Keménységmérés eredményei	35
7.5	Ferritszkópos ferrittartalom-vizsgálat	37
7.5.1	A vizsgálat menete	37
7.5.2	A mérési eredmények kiértékelése	37
8	Vizsgálati eredmények összegzése	42
9	Következtetések, javaslatok.....	45
9.1	Élelőkészítéssel kapcsolatos javaslatok.....	45
9.2	Hőbevitellel kapcsolatos javaslatok	45
10	Tervek további kísérletekre	45
11	Szakirodalom-jegyzék	46
11.1	Irodalomjegyzék.....	46
11.2	Ábrajegyzék:	47
11.3	Diagram és táblázatjegyzék.....	49
12	Melléklet.....	50
12.1	Varratkisérő lap 2-1.....	50
12.2	Varratkisérő lap 3-1.....	51
12.3	Varratkisérő lap 2-2.....	52
12.4	Varratkisérő lap 3-2.....	53
12.5	Varratkisérő lap 2-3.....	54
12.6	Varratkisérő lap 3-3.....	55
12.7	pWPS Egyoldali, bevont elektródás varratokhoz.....	56
12.8	pWPS Egyoldali, portöltetű huzalelektrodás varratokhoz	57
12.9	pWPS Kétoldali portöltetű huzalelektrodás varratokhoz	58
12.10	Módosított pWPS a kutatás eredményei alapján	59

2 Hallgatói nyilatkozat

Alulírott Asztalos Lilla és Uzonyi Sándor kijelentem, hogy ezt a TDK dolgozatot magam készítettem, és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Dolgozatomban minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos tartalommal átvettem, a forrás megadásával egyértelműen megjelöltem.

Budapest, 2014. október 21.

.....

Asztalos Lilla

.....

Uzonyi Sándor

3 Absztrakt

3.1 Magyar absztrakt

A duplex korrózióálló acélok a modern korrózióálló acélok egyik fajtája. Nevüket a kettős szövetszerkezetükről kapták, amely nagyjából fele-fele arányban áll γ ausztenitből és δ ferritből. Fő ötvözőik a króm, nikkel és mangán emellett jelentékeny mennyiségű molibdént és nitrogént tartalmazhatnak. Karbon tartalmuk alacsony.

A duplex korrózióálló acélokat egyre szélesebb körben használják fel napjainkban. Kiváló korrózióállóságuk és mechanikai tulajdonságaik teszik őket szinte minden feladatra alkalmas szerkezeti anyaggá. Felhasználásukkal csökkenthető a korrózióvédelem hosszú távú költsége és a szerkezet önsúlya. Ezért fontos, hogy megfelelő hegesztéstechnológiával rendelkezünk feldolgozásukhoz.

A duplex korrózióálló acélok hegesztése sok kihívást rejt, magas ötvözőtartalmuk és kettős szövetszerkezetük miatt. Hegesztés során fokozott odafigyelést igényel a fajlagos hőbevitel, a védőgáz, a hegsztőanyag és a sorközi hőmérséklet is. Különösen igaz ez a kísérletben szereplő 10mm vastag lemezekre és azok többsoros varrataira. E technológiai változók hanyag kezelése a ferrit-ausztenit arány felborulását eredményezhetik, aminek következtében az anyag elveszíti fent említett kedvező mechanikai és korrózióállósági tulajdonságait. E mellett intermetalikus fázisok keletkezhetnek, továbbá a keménységnövekedés veszélye is fennáll.

Ez a Tudományos Diákköri Dolgozat, a korábban a Tanszékünkön, kollégáim és jómagam által végzett kutatómunkák tapasztalatai alapján, több lehetséges technológia összehasonlítására és elemzésére irányul. A vizsgálat főleg a fázisarány megőrzését tartja szem előtt, de vizsgáljuk a termelékenység és a kivitelezés szempontjait is. Ezek alapján pedig egy optimális hegesztési technológia megtervezését célozza meg.

3.2 English abstract

The duplex stainless steels are one of the modern stainless steels. Their name is comes from their dual phased microstructure, it contains about fifty-fifty percent γ austenite and δ ferrite. They typically alloyed with Chrome, Nickel, Manganese, Molybdenum and Nitrogen and contain low carbon.

The duplex stainless steels now days gets widely used. Their excellent corrosion resistance and mechanical properties make them proper base material for almost any task. By using duplex stainless steels the dead load of structures gets lighter and the long-term cost of corrosion protection gets lower. That is why it is important to have a proper welding technology for these materials.

The welding of duplex stainless steels is a hard task because of their dual phase and highly alloyed content. The designer of the technology must mind the heat-input, the shielding gas, the welding material and the interpass temperature thoroughly. Especially for designing joints of thick (10mm) materials just like in this experiment. Careless handling of these technology parameters can cause disturbance in the ferrite-austenite phase balance and because of this the mechanical properties and corrosion resistance cannot fulfil the requiems.

This experiments aims to compare a few possible technology designs with the experience from past experiment in the department. The main object of the experiment is to keep the phase balance but it will examine the productivity and profitability. The main goal is to design the optimal welding technology for these thick duplex sheets.

4 Célkitűzés

A tudományos diákköri kutatómunkát a duplex korrózióálló acélok hegesztésének kutatása céljával 2012-ben indított program feladataihoz illeszkedve készítettük. Egy jelentős japán gyártómű biztosította a 10 mm vastag durvalemezeket a kísérletekhez. A kísérlet célja, hogy megfelelő hegesztéstechnológiát és élelőkészítési geometriát találjunk egy ilyen kényes anyagminőség hegesztéséhez, vagy legalább ajánlást adjunk arra, „hogyan ne csinálják”.

5 Irodalomkutatás

5.1 A duplex acélok rövid története

A duplex acélok gyártása 1924-ben kezdődött Svédországban, az Avesta acélművekben, nagy króm- és nikkeltartalmú, ferrit-ausztenit vegyes szövetszerkezettel. Az 1930-as évek közepén a francia J. Holtzer acélművekben egy adagolási hiba következtében az ausztenites korrózióálló acélba több króm került az előírtnál. Hőkezelés után azt tapasztalták, hogy az ötvözet igen ellenálló a szemcseközi korrózióval szemben. [1]

Az első generációs duplex acélokhoz még nem adagoltak szándékosan nitrogént, és relatív nagy karbontartalom jellemezte őket. Emiatt ezen acélok fázisaránya még jelentősen más volt, mint a napjainkban gyártottaké. Ezek az acélok még erős hőhatás esetén elveszítették ausztenittartalmukat, hegesztés esetén a hőhatásövezet szinte teljesen ferrites lett, ami ridegedéshez és kristályközi korrózióhoz vezetett. [2]

A második generációs duplex acélokat már nitrogénnel is ötvözték. Ez segített helyreállítani a hőhatásövezet szövetelem egyensúlyát és a lyukkorrózióval szembeni ellenállóságot is növelte.

5.1.1 A duplex acélok összetétele és mechanikai tulajdonságai

A duplex acélok kettős szövetszerkezettel rendelkeznek, melyet δ -ferrit és γ -vas (ausztenit) alkot. Innen kapták a duplex elnevezést. E szövetelemek nagyjából fele-fele arányban vannak jelen, eloszlásuk homogén. A szövetelem-egyensúly nagyon fontos a mechanikai és korrózióállósági tulajdonságok megtartásának szempontjából. Ez az egyensúly különösen érzékeny az anyagot érő hőhatásokra.

5.1.2 Szövetszerkezet és vegyi összetétel [4][5]

A duplex acélok lehűlésük során először δ -ferritként szilárdulnak meg, majd ez alakul tovább ausztenitté. Ez hegesztés során fontos szempont a hőbevitel meghatározásakor.

A lehűlés közben először kialakuló primer ferritszemcsék a hűlés irányában növekednek. További hűlés során a ferrit egy része γ -vassá és kedvezőtlen esetben σ -fázissá alakul a lehűlési sebesség függvényében. Ha túl gyorsan hűtjük, akár az egész szerkezet ferrites maradhat, lassú hűtés esetén azonban szinte egyáltalán nem marad ferrit a szerkezetben.

Az ötvözők jelentős mértékben befolyásolják a kialakuló fázisok arányát az alapanyagban, továbbá meghatározzák a mechanikai és korrózióállósági tulajdonságokat. Továbbá arra is jelentős kihatással vannak, hogy hogyan reagál majd az anyag a különböző megmunkálások során az őt érő hőhatásokra. Mennyire lesz érzékeny a hőfolyamatokra a szövetszerkezet (pl. a hőhatásövezetben), vagy milyen intermetallikus fázisok, kiválások keletkeznek a feldolgozási vagy a felhasználási hőmérsékleten.

5.1.2.1 Az ötvözők és azok hatásai [3]

Króm:

Ferritképző ötvöző. Javítja a szerkezet korrózióállóságát, 22% ötvözőtartalom felett a szerkezet lyukkorrózióval szembeni ellenállósága jelentősen megnő. Szívósságcsökkentő hatása miatt érdemes 27% alatt tartani.

Molibdén:

A molibdén hatása a vasbázisú ötvözetekre a króméhoz hasonlatos. 3,5% ötvöző tartalom felett jelentősen javítja a kloridok által okozott korrózióval szembeni ellenállást. Korrózióállóságot segítő tulajdonsága ~3,3-szerese a króménak (lásd: 5. ábra). Növeli a repedési hajlamot.

Nikkel:

A nikkel erős ausztenitképző ötvöző, segíti a szövetelem-egyensúly kialakulását, javítja a korrózióállóságot és a szilárdsági tulajdonságokat.

Nitrogén:

Ausztenitképző és -stabilizáló, e hatása ~20-szor erősebb, mint a nikkelé. Növeli a szerkezet szilárdságát, és lyukkorrózió esetén növeli a kialakuláshoz szükséges hőmérsékletet. A lyukkorrózió-állósági együttható képzetében 16-szoros súllyal szerepel.

Mangán:

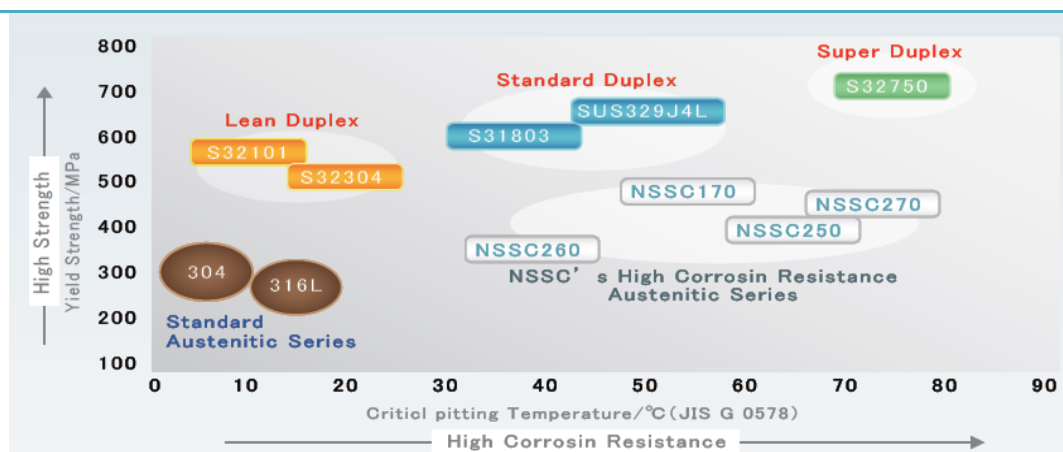
Stabilizálja az ausztenitet. Csökkenti a szerkezet melegrepedési hajlamát, dezoxidál, növeli a kopásállóságot, továbbá a nitrogén oldhatóságát.

Réz és volfrám:

Kis mennyiségben használt ötvözők, melyek a korrózióállóságot javítják, továbbá egyes technológiák esetén a feldolgozhatóságot az ömledék viszkozitásának csökkentésével. Ugyanakkor hajlamosak az intermetallikus fázisok képzésére.

5.1.3 Mechanikai tulajdonságok

A duplex acélok kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Nagy szilárdságuk és kis átmeneti hőmérsékletük ideális szerkezeti anyaggá teszi őket. Felhasználásukkal kisebb alkalmazási hőmérsékletek engedhetők meg, illetve csökkenthető a szerkezetek önsúlya. [6]



1. Ábra: A rozsdamentes acélok jellegzetes típusainak elhelyezkedése a kritikus lyukkorróziós hőmérséklet és a folyáshatár képezte anyagkiválasztási térképen

5.2 A duplex acélok alkalmazása

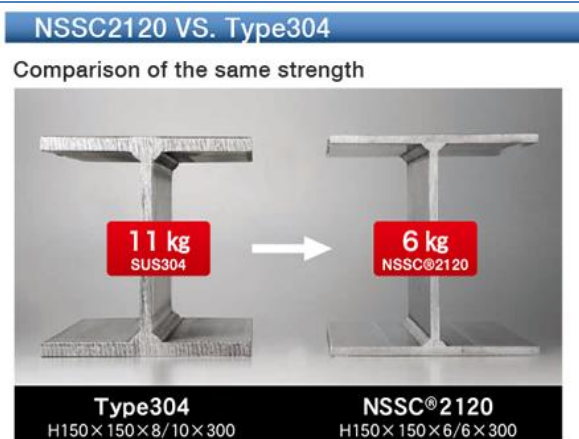
A duplex acélok, nagy szilárdságuk és kiváló korrózióállóságuk miatt szinte minden mérnöki szerkezet anyagaként alkalmazhatóak.

Az ilyen új anyagok, mint az angolul „lean”-nek nevezett duplex acélok, európai elterjedését kissé hátráltatja, hogy a szabványosításuk folyamata igen lassú. Például a DX1 gyártói típusjelű, az ún. „standard” duplex acélok családjába tartozó acélminőség szerepel az MSZ EN 10028-7:2008-as szabványban, 1.4462 vagy X2CrNiMoN22-5-3 néven az ausztenites-ferrites acélok között. Tehát szabadon felhasználható nyomástartó berendezések gyártásához.

Azonban még egy olyan nem túl új anyag, mint az LDX2101 licensze alapján gyártott S32101 (1.4162) sem jelenik meg benne, csakúgy, mint a meglehetősen újszerű NSSC2120 (nincs európai szabványos rövid számjele). Ezért amennyiben egy vállalkozó szellemű gyártó Európában is forgalmazná az ilyen anyagból készült nyomástartó berendezéseit, gyártmányonként és hegesztési technológiánként egyedi anyagjövőahagyást kell végeztetnie egy olyan Független Tanúsító Szervezettel, akinek rendelkezik kijelöléssel e tevékenység végzésére, ennek jelentős anyagi vonzata van. [forrás: ped] *Hacsak nem mutatja fel a gyártó érvényes tanúsítványát arról, hogy az adott acélminőséget az európai szabványosítás minden kellékével felvértezte már, és csak azért nem szerepel a szabványos típusok felsorolásában, mert az EN-szabvány utolsó kiadása 2007-ben történt; történetesen ez a helyzet az 1.4162 és az 1.4662 acélminőségekkel.*

5.2.1 Acélszerkezetek

Az olyan acélszerkezetek építésénél, mint például a hidak, fontos, hogy olyan hegeszthető szerkezeti anyagot válasszunk, amik nagy a szilárdsággal és kis átmeneti hőmérséklettel rendelkeznek. A nagy szilárdság csökkenti a szerkezet önsúlyát, az átmeneti hőmérséklet pedig azért kritikus, hogy a híd télen se szakadjon össze.[7][8][9]



2. Ábra: Elérhető önsúlycsökkenés

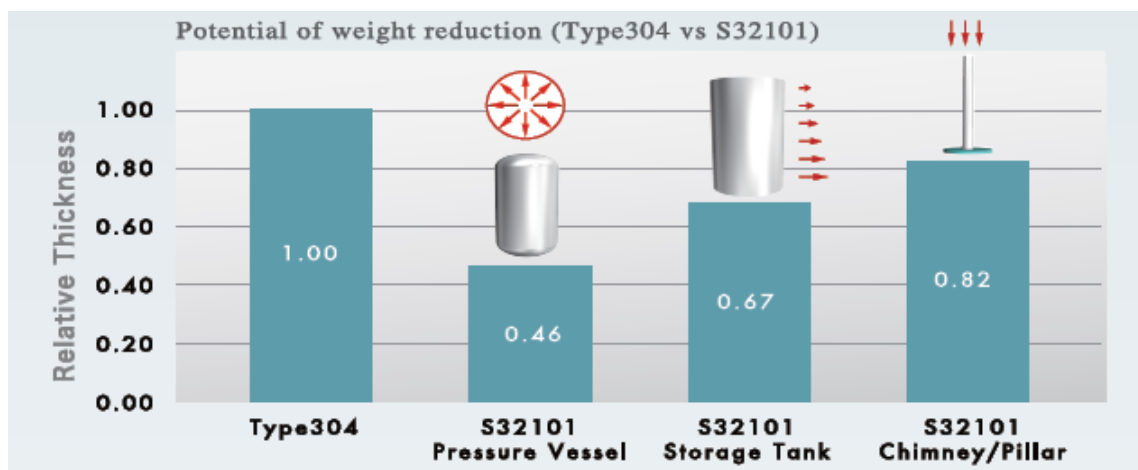
3. Ábra: NSSC2120 tankerhajó Japánban

Jó korrózióállósága és nagy szilárdsága miatt kiválóan alkalmas hajótest alapanyagnak. Egy hajó fenntartásának jelentős költségeleme a hajótest korrózióvédelme. Ezt a feladatot csak részben tudja a festés ellátni, amennyiben az megsérül, az anyag lyukkorrózióval szembeni ellenállá-

sa veszi fel a harcot a víz korróziós igénybevételével. Mivel a duplex anyagok köztudottan jól ellenállnak a lyukkorrózióval szemben, ezért az ilyen feladatok ellátására alkalmasak.

5.2.2 Nyomástartó berendezések és erőműtechnika

Jó korrózióállóságuk és nagy szilárdságuk miatt ideális anyagok nyomástartó berendezések és hőcserélők építéséhez, de kémények szerkezeti anyagául is szolgálnak. [8][7]



4. Ábra: S32101 használatával elérhető falvastagság-csökkenés

5.3 A duplex acélok csoportosítása

Az általam felhasznált anyagok gyártója a lyukkorrózió-állósági együttható (Pitting Resistance Equivalent, röviden PRE_N) alapján sorolja három kategóriába a duplex acélokat az alábbi módon. [10]

$$PRE_N = Cr\% + 3,3 * Mo\% + 16 * N\%$$

5. Ábra: PRE_N - lyukkorrózió-állósági együttható

5.3.1 Általános (standard / sztenderd) duplex acélok

Általános felhasználású duplex acélokat sorolják ide, „közepes” ötvöző tartalommal, megközelítőleg: 22% Cr, 5% Ni, 3% Mo, + N. Kiválóan ellenállnak az úgynevezett „off-shore” (tengeri) alkalmazásokkal szemben támasztott követelményeknek, ahol a sós tengervíz és a hullámvíz által keltett sós aeroszolok jelentős igénybevételnek teszik ki a szerkezeteket. Jellemző PRE_N értékük 35 körül. [10]

5.3.2 Szuperduplex acélok

Korrózióállóságuk a szuperausztenitesekéhez hasonlitos, nagy ötvözőtartalmú duplexeket sorolnak ide, melyeknek ötvözői megközelítőleg: 25% Cr, 7% Ni, 4% Mo, > 0,2% N. Jellemző PRE_N értékük több mint 40. [10]

5.3.3 Lean duplex acélok

Az úgynevezett *lean*, vagy magyarul „sovány”, duplexek csökkentett nikkel- és molibdéntartalmuk miatt olcsóbbak, és áruk kevésbé ingadozik, ezért jobban tervezhető. A csökkentett nikkeltartalmat a gyártók többnyire a nitrogéntartalom növelésével próbálják egyensúlyozni. Jellemző PRE_N értékük kevesebb, mint 30. [10]

5.4 A duplex acélok hegesztése

5.4.1 Hőbevitel

A duplex acélok érzékenyek a termikus hatásokra, ezért fokozottan oda kell rá figyelni, hogy a megfelelő hőbevitelt alkalmazzuk hegesztésük közben.

Hegesztés során a fajlagos hőbevitellel jellemezzük a munkafolyamat alapanyagra gyakorolt hőhatását. A fajlagos hőbevitel számítása villamos ívhegesztések esetén igen egyszerű. Bevont elektródás ívhegesztéshez vannak táblázatok, amelyek az elektróda átmérője, kihozatali tényezője és a kihúzási hossz (hány mm elektródát hegesztettünk le) alapján adnak közelítő értéket a hőbevitelre. A hegesztés termikus hatásfoka volfrámelektródás védőgázos ívhegesztés esetén 0,6 más kézi ívhegesztési eljárások számításánál 0,8. [11][12]

$$Q_{fajlagos} \left[\frac{kJ}{mm} \right] = k[-] * \frac{U[V] * I[A]}{v_{heg} \left[\frac{mm}{s} \right]} * 1000$$

Ahol:

$Q_{fajlagos}$	Fajlagos hőbevitel
k	Termikus hatásfok
U	Ívfeszültség
I	Hegesztési áramerősség
v_{heg}	Hegesztési sebesség

6. Ábra: Fajlagos hőbevitel számítási módja

5.4.1.1 Nagy hőbevitel

Nagy hőbevitel esetén számolnunk kell a nemkívánatos öregedési folyamatokkal. A duplex acélok öregedése termikusan aktivált folyamat, mely során az anyag tulajdonságai megváltoznak, ez jellemzően a szívósság csökkenésével jár. Ez az aktiválás lehet, pl. a hegesztés, vagy a hőkezelés, vagy akár az üzemi hőmérséklet, éppen ezért az ilyen típusú acélok üzemi hőmérséklete általában nem haladja meg a 300°C-ot. [15]

Az 600-900°C közötti tartományban σ -fázis jön létre. E fázis keletkezése többnyire a ferrithez köthető annak nagyobb diffúziósebessége miatt, a σ -fázis legnagyobb valószínűséggel a ferrit-

ausztenit határokon jön létre, és a ferrit felé növekszik a fentebb említett diffúziósebesség miatt. [13][14]

350-530°C között 70% krómot és 30% vasat tartalmazó fázis keletkezik, mely koherens kapcsolatban marad a ferritráccsal, de rácsparamétere attól eltérő, ezért belső feszültséget okoz, ami ridegedésként jelentkezik.[5]

Látható tehát, hogy a túlzott hőbevitel esetén a hőhatásövezet újra és újra felmelegítése, valamint a mélyebb rétegek újbóli felmelegítése a következő varratsorokkal jelentős mértékű károsodást okozhat.

Belátható tehát, hogy a hegesztéshez választott fajlagos hőbevitel és sorközi hőmérséklet megfelelő kiválasztása igen nagy gondosságot igényel.

5.4.1.2 Kis hőbevitel

Kis hőbevitel esetén a hőhatásövezet és a varratfém gyors hűlése miatt több ferrit lesz a hőhatásban és a varratban. Adott esetben akár teljesen el is tűnhet a γ -fázis a hőhatásövezetből, ami a lyukkorrózióval szembeni ellenálló képesség gyengülését eredményezi, továbbá a későbbi üzemelés során, a főleg ferrithez köthető öregedési folyamatok felerősödését.

A kis hőbevitellel kis leolvadási teljesítmény jár együtt, tehát csak kistömegű varratot tudunk egységnyi idő alatt hegeszteni. Ez gazdasági szempontból nem előnyös, hiszen meghosszabbítja a hegesztés időtartamát. Továbbá a sorok megnövekedett száma a sorok közti visszamunkálás közben elveszített anyag mennyiségének növekedését eredményezi, ami további veszteséget jelent.[15]

5.4.2 Hegesztőanyagok és védőgázok

Míg szénacélok és ausztenites korrózióálló acélok hegesztéséhez bőségesen áll rendelkezésre hegesztőanyag választék, ez a duplex acélokról nem mondható el. A gyártók többnyire egy-két féle hegesztőanyagot kínálnak duplex anyagcsoportonként. A változatosságot az elektródebevonat vagy a huzal portöltete jelentheti. [16]

Az olyan gyártóknál található nagyobb választék, amelyek kifejezetten korrózióálló anyagokkal foglalkoznak, de ezek is főleg a saját alapanyagaikhoz kínálnak hegesztőanyagot.

Védőgázok terén érdemes informálódni, hogy a gyártó milyen védőgázt ajánl a hegesztőanyaghoz. Tömör huzalhoz többnyire argonbázisú, 1-3% oxigénnel kevert aktív gázkeveréket, míg a portöltetű huzalokhoz hagyományos 18/82-es keveréket, vagy szén-dioxidot ajánlanak. [17][18][19]

Volfrámelektródás ívhegesztés terén tiszta argont ajánlanak hegesztőanyagaikhoz a gyártók. Amennyiben nem használunk hegesztőanyagot, vagy a varratfémünkben kevés az ausztenit, keverhetünk a védőgázhoz 2-3% nitrogént. [17] [20]

5.5 Rendelkezésre álló anyagok bemutatása

A kísérletben az alábbi anyagok állnak rendelkezésünkre.

5.5.1 Duplex lemezek anyagának bemutatása

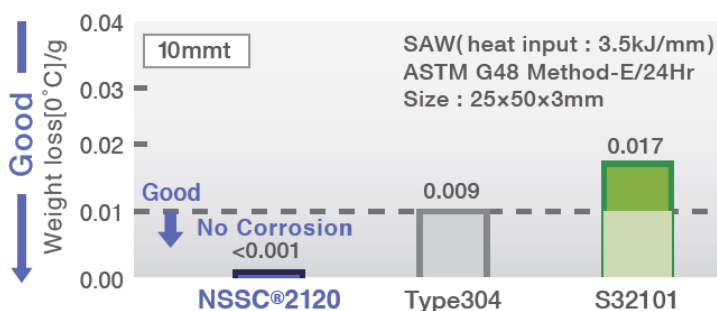
A Nippon Steel & Sumikin Stainless Steel Corporation (továbbiakban: NSSC) japán acélgyártó az alábbi anyagokat bocsájtotta rendelkezésünkre.

NSSC2120 (3-as jelű):

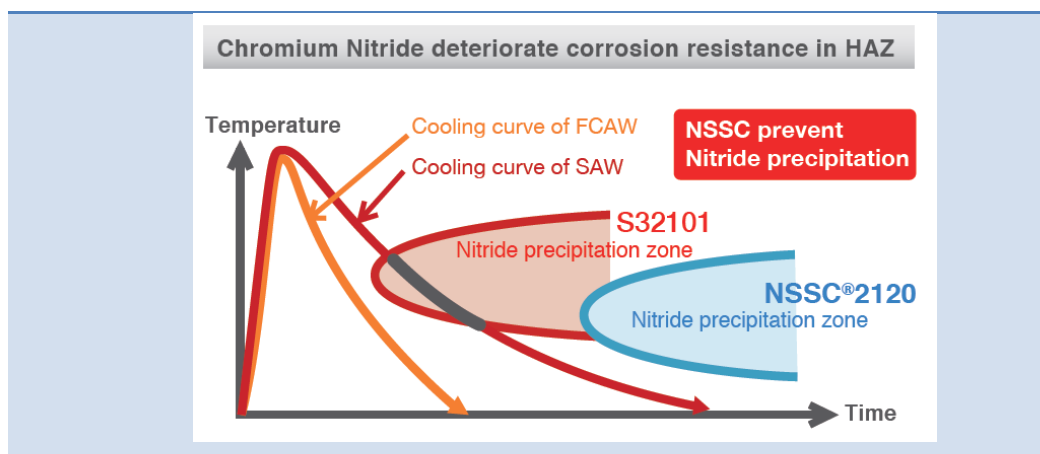
Új lean duplex anyag. Különlegessége, hogy nagy hőbevitellel járó eljárással is hegeszthető, mint például a fedett ívű hegesztés. Korrozíóállósági és mechanikai tulajdonságaiban messze felülmúlja a közönséges ausztenites korrozíóálló acélokat. $PRE_N \approx 26$ [7]

Corrosion resistance in HAZ

Corrosion resistance in HAZ of NSSC®2120 is better than Type304



7. Ábra: Korrozíós tömegveszteség összehasonlítása



8. Ábra: A hőhatásövezet korrozíóállósága és króm-nitridek keletkezése a fajlagos hőbevitel függvényében

NSSC DX1 (2-es jelű):

Hagyományos duplex. A gyártó vegyszertartályok, erőművi alkalmazások építéséhez ajánlja. Sajnos bővebb információt nem közöl róla a gyártó a honlapján. [8]

NSSC 32101 (1-es jelű):

Az Otokumpu LDX2101 lean duplex anyag licence alatt gyártott anyag. Az LDX2101-es duplex acél hegesztéséről számos kutatás készült már a Tanszékünkön, ennek hegesztésével ebben a kísérletben nem foglalkoztunk. [6]

Az NSSC más duplex termékeket is gyárt. Kínálatában található szuper, hagyományos és lean duplex is. Az évi 1,1 millió tonna rozsdamentesacél-termelés jelentős részét teszik ki duplex anyagok, melynek gyártásában és fejlesztésében is élen járnak.

Stainless Steel Group	Grade				Chemical Composition (%)								
	ASTM (A240M)	EN Number	Symbol of Grades (NSSC)	Others (JIS)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Others
Ferritic Steels	405	(1.4002)		(SUS405)	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	≤0.60	11.5/14.5	—	Al:0.10/0.30
	430	(1.4016)		(SUS430)	≤0.12	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	≤0.75	16.0/18.0	—	
			(NSSC 190L)	SUS444	≤0.025	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	#1	17.00/20.00	1.75/2.50	#2
			(NSSC 410W)	SUS410L	≤0.030	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	#1	11.00/13.50	—	
Martensitic Steels			(NSSC 409L)	SUS409L	≤0.030	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	#1	10.50/11.75	—	Ti:6(C+N)/0.75
	(410)	(1.4006)		SUS410	≤0.15	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	#1	11.50/13.50	—	
	410S	(1.4000)		(SUS410S)	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	≤0.60	11.5/13.5	—	
Austenitic-Ferritic Steels	S32101**	(1.4162)			≤0.040	≤1.00	4.00/6.00	≤0.040	≤0.030	1.35/1.70	21.0/22.0	0.10/0.80	N:0.20/0.25 Cu:0.10/0.80
	S82122		(NSSC 2120)		≤0.030	≤0.75	2.0/4.0	≤0.040	≤0.020	1.5/2.5	20.5/21.5	≤0.60	N:0.15/0.20 Cu:0.50/1.50
	S32304	(1.4362)			≤0.030	≤1.00	≤2.50	≤0.040	≤0.030	3.0/5.5	21.5/24.5	0.05/0.60	N:0.05/0.20 Cu:0.05/0.60
	S31803	(1.4462)	(NSSC DX1)	(SUS329J3L)	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.020	4.5/6.5	21.0/23.0	2.5/3.5	N:0.08/0.20
	S32205	(1.4462)			≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.020	4.5/6.5	22.0/23.0	3.0/3.5	N:0.14/0.20
	S32760	(1.4501)			≤0.030	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.020	6.0/8.0	24.0/26.0	3.0/4.0	#3
	S32750	(1.4410)			≤0.030	≤0.80	≤1.20	≤0.035	≤0.020	6.0/8.0	24.0/26.0	3.0/5.0	#4
		(1.4507)		SUS329J4L	≤0.030	≤1.00	≤1.50	≤0.040	≤0.030	5.50/7.50	24.00/26.00	2.50/3.50	N:0.08/0.30

** S32101: Sold under license from Otokumpu Stainless AB (re. patents on LDX2101* grade) in the Territory (designated countries) .

1 : ≤0.60

2 : N≤0.025, Ti,Nb(Cb),Zr or their combination: 8(C+N)~0.80

3 : N:0.20/0.30, Cu:0.50/1.00, W:0.50/1.00, Cr+3.3Mo+16N≥40

4 : N:0.24/0.32, Cu≤0.50, Cr+3.3Mo+16N≥41

5 : Bending Angle : 180°, Inside Radius : t≤9.52 : ex

25.4<t : not required

6 : Bending Angle : 180°, Inside Radius : equal to th

7 : Bending Angle : 180°, Inside Radius : t<8 : equa

9. Ábra: Az NSSC duplex anyagainak kínálata [8]

Mechanikai tulajdonságaik:

Típusjel	EN-számjel	R _{p0,2}	R _m	A	KV 20°C	KV -40°C	Anyagcsoport
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(J)	(J)	CR ISO 15608
2120	-	≥400	≥600	≥30	nincs adat	nincs adat	10.3
DX1	1.4462	≥460	640-840	≥25	100	40	10.2
S32101	1.4162	≥450	650-850	≥30	60	nincs adat	10.3

1. Táblázat: A kísérletek során felhasznált anyagok mechanikai tulajdonságai

5.5.2 A felhasznált hegesztőanyagok bemutatása

A felhasznált hegesztőanyagok főbb tulajdonságait táblázatos formában foglaltuk össze. A gyártói adatlapokon nem mindig egyszerű eligazodni, a TIG pálcá esetében a pálcá PRE_N -je van megadva, míg a bevont elektróda műbizonylatán ferritszám szerepel.

Típusjel	Szabványos jel	ØD (mm)	I (A)	Gáz	Q (kJ/mm)	Egyéb
Böhler CN 22/9 N IG	W 22 9 3 NL	2	-	Ar vagy Ar + 1-2% N ₂		
Böhler CN 24/9 LDX PW-FD	T Z24 9 N L P M21	1,2	120-220	Ar + 15-25% CO ₂	0,5-2,0	Száritás: opcionális
CORWELD INOX E2209	E 22 9 3 N L R 3 2	3,2	75-100	-	0,5-1,5	Száritás: opcionális

2. Táblázat: Felhasznált hegesztőanyagok és gyártói használati javaslat

6 A hegesztési kísérletek ismertetése

A hegesztési kísérletek során a munkát olyan módon osztottuk fel, hogy a hegesztést és a paraméterek kiválasztását a kutatócsoport e téren tapasztaltabb tagja végezte (Uzonyi Sándor), a folyamat felügyeletét, a varratkísérő lapok vezetését és a mechanikai vizsgálatokat pedig a kutatócsoport legcsinosabb tagja (Asztalos Lilla).

6.1 Technológiai áttekintés

A duplex korrózióálló acélok hegesztés technológiája sok mindenben hasonlít az ausztenites acélok hegesztéséhez, azonban sok szempontban eltér. Így az ausztenites acélok hegesztésének terén szerzett tapasztalatok hasznosak lehetnek ugyan, azonban félrevezetőnek is bizonyulhatnak.

6.2 Lehetséges hegesztési eljárások

Az anyagok sajátosságait, az általánosan elterjedt feldolgozás-technológiákat, a szakirodalmi ajánlásokat és a hegesztőlabor felszereltségét figyelembe véve a kísérlet során csak a kézi ívhegesztési technológiákra szorítkoztunk.

141:

A volfrámelektrodás kézi ívhegesztés kiválóan alkalmas ilyen különleges anyagminőségek hegesztésére. Nagy energiasűrűsége miatt nagy beolvadási mélység érhető el használatával. Hátránya, hogy kicsi a leolvadási teljesítmény, egységnyi idő alatt kisebb tömegű varrat készíthető, mint más eljárásokkal. Ugyanakkor jó a hegfürdő kontrollja, és a mély beolvadás miatt, kiválóan alkalmas gyökhegesztéshez.[21]

131, 136:

A huzalelektrodás kézi ívhegesztés különböző változatai gyors hegesztést tesznek lehetővé, ha megfelelő huzal-gáz kombinációt választunk. Ha tömör huzalhoz inert védőgázát párosítunk, az ív igen nyugtalan lesz, és csak egy igen jól beállított szinergikus hegesztő áramforrással lesz esélyünk hatékonyan dolgozni. Ezzel szemben, ha portöltetű elektródát használunk, dolgozhatunk akár hagyományos 18/82-es védőgázzal is és kedvezően változnak mind az ív, mind az ömledék tulajdonságai.[21]

111:

A bevont elektródás kézi ívhegesztés szinte minden hegesztési eljárás lehetséges alternatívája. Annak ellenére, hogy elavultnak tűnhet, a mai napig is használatos akár erőművi akár acélszerkezet gyártás során. Ezért ezzel a technológiával is érdemes kísérletezni, hiszen ha helyszíni, szabadtéri munkáról van szó, vagy a termelésben változatos az anyagminőség ez a technológia kerül előtérbe.[21]

6.3 Technológiatervezés

6.3.1 Előzetes hegesztés technológiai utasítások

Technológiatervezés során először informálódunk kell a megfelelő szakirodalomból. Habár a duplex acélok hegesztésének terén már jelentős mennyiségű szakirodalom keletkezett, nem támaszkodhatunk pusztán ezekre. Nap, mint nap kerülnek a piacra újabb és újabb duplex anyagfélések, amelyek ha összetételükben csak egy kicsit is térnek el egymástól feldolgozásukat tekintve jelentősen mások lehetnek. Továbbá olyan szakirodalmat sem lehet találni, ahol szóról szóra le van írva a hegesztés technológia minden lépése és mozzanata, hiszen ezzel a piaczgazdaság világában ahol az információ is termék, komoly gazdasági hátrányba kerülhetnének a szerzők.

Informálódhatunk még kollégáinktól, oktatóinktól. Ez a fent említett okok miatt praktizáló mérnökök számára kevésbé járható út. Ugyanakkor, ha egy sokat látott hegesztő szakmunkás kolléga, hegesztő „mester” véleményére támaszkodva kezdjük el megtervezni a technológiát sok kezdeti nehézségtől megkímélhetjük magunkat. Ilyen szakmunkás azonban kevés van.

Marad még a saját mérnöki érzékünk, intuíciónk. Ha rendelkezésre áll elegendő anyag és idő az előző két lehetőség nélkül is célba érhetünk azonban gazdaságilag jövedelmezőbb, ha a már valamilyen járt út mentén indulunk el.

E három szempont információgyűjtési módszerrel gyűjtött tudással felvértezve előzetes hegesztési utasítás készíthető, mely nem tartalmaz egészen pontos technológiai paramétereket. A villamos- és egyéb paramétereket csak nagyságrendileg helyesen tág határokkal tüntetik fel. Termelésben, egy ilyen előzetes gyártói hegesztési utasítás (továbbiakban: pWPS) birtokában a hegesztő és a munkapróbáért felelős hegesztőmérnök próbahegesztés(ek)e)t végeznek. Az ezek alapján gyűjtött tapasztalatok és mérések segítségével tervezhető később konkrét hegesztés technológia. Ahhoz, hogy a próbahegesztés eredményes legyen, a hegesztés során a technológiai vál-

tozókat regisztrálni kell, ehhez az iparban bevált megoldást alkalmaztunk a kísérlet során, a varratkísérő lapot.

6.3.2 Felkészülés

A hegesztés jelentős kezűgyességet, összehangolt mozgást és jó ritmusérzékenységet követel attól, aki jó varratokat akar hegeszteni. Továbbá a különböző anyagok eltérő hővezetési tulajdonságai és ömledékviszkozitása jelentősen bonyolíthatják a hegesztők feladatát.

Mivel a vastag duplex lemezből kevés állt rendelkezésre, a próbadarabok hegesztése előtt annyit kellett gyakorolni, hogy azok hegesztése már kellő önbizalommal menjen. A sok éves Hegesztési Szakosztályos rutin mellett beszereztünk néhány vastag ausztenites lemezt, amelynek hegesztési tulajdonságai ugyan kényelmesebbek a duplexekénél, de mégis megfelelőek lehetnek a felkészüléshez. [23]

6.4 A kísérlet során alkalmazott eljárások bemutatása

6.4.1 Volfrámelektrodás ívhegesztés, gyökvarratokhoz

Egyoldali hegesztések gyökvarratainak készítéséhez, elterjedten alkalmazzák ezt az eljárást. Az ömledék jól kontrollálható, a beolvadás mély és a mechanikai tulajdonságok is kedvezőek, ez teszi ezt az eljárást ideálissá gyökhegesztéshez, különösen korrózióálló anyagok hegesztéséhez. Habár a nyomástartó edények gyártása során ahol lehet, ott kerülnek az úgynevezett „gyökre hegesztést” (egyoldali tompa varratot), ez néha elkerülhetetlen. Amennyiben a termék méretei és kialakítása megengedi, a gyökoldalt visszamunkálják és behegesztik, ezt nevezik gyökutánhegesztésnek. A hajógyártásban pedig, ahol a szerkezetek sokszor hegesztéssel lezárt vízkiszorító cellákat tartalmaznak, a gyökutánhegesztés nem pusztán kényelmetlen, hanem lehetetlen. Ilyen esetekben kritikus, hogy egyoldali hegesztéssel is elégséges minőségű gyökvarrat készülhessen. [22] [23]

Gyártmány, típus:

ESAB CaddyTIG200

Áramforrás jellemzői:

200A, DC+/-

Pisztoly:

Egyszerű, gázhűtéses, $I_{max}=200A$

Egyedi azonosító:

402-502-2351



10. Ábra: Volfrámelektrodás ívhegesztéshez használt áramforrás

Ezért esett a választás erre az eljárásra minden varrat első sorának elkészítéséhez, még akkor is, ha a később ez vissza lett munkálva és a varrat gyökutánhegesztéssel készült. A gyöksorhoz, minden esetben használtunk gyökvédő gázt.



11. Ábra: Gyökvédőgáz-elosztó készülék

6.4.2 Huzalelektródás ívhegesztés, töltővarratokhoz

Az előzetes kísérletek során, a tömör huzalos hegesztések csapkodó, nehezen irányítható ívével és viszkózus ömledékével szemben a választás a nyugodt ívű, jól terülő ömledékkel rendelkező portöltetű huzalelektródás, aktív védőgázos ívhegesztésre esett.

Ezt az eljárást döntően különleges anyagminőségek feldolgozására használják, nagyon jól beillesztett a kísérletbe. Nagy leolvadási teljesítmény és kiváló varratgeometria biztosítható vele. Kényszerpozíció hegesztésére nem minden portöltet alkalmas ugyan, de a kísérlet során alkalmazott PA pozícióban bármilyen salakkal könnyen lehet dolgozni. A hegesztés során „jobb-ra hegesztés” (húzott pisztoly) technikával kell dolgozni, hogy elkerüljük a képződő salak heg-fürdő elé folyását, ami salakzárványokhoz vezethet. A salak mennyisége kevés volt és könnyen leválasztható. [22] [23]

A hegesztéshez a Hegesztési Laboratórium egyik legmodernebb hegesztőáramforrás-huzalelőtoló párosítását alkalmaztuk, amelyet a CLOOS hegesztőgép és robotgyártó cég magyarországi képviselte bocsájtott rendelkezésünkre. Az áramforrás szinergikus programja és a könnyen állítható ívdinamika és feszültségeltolás segítségével könnyen irányítható megfelelő tulajdonságokkal rendelkező ív volt tartható a munka során.

Gyártmány, típus:

Áramforrás: CLOOS QINEO PULSE 450

Huzalelőtoló:

Áramforrás jellemzői:

Szinergikus

450A, AC/DC+, sima/impulzus

Pisztoly:

Egyszerű, vízűtéses, $I_{max}=500A$

Egyedi azonosító

Áramforrás: 2503

Huzalelőtoló:



12. Ábra: Huzalelektródás ívhegesztéshez használt áramforrás és előtoló

6.4.3 Bevonat elektródás kézi ívhegesztés, töltővarratokhoz

A kísérlethez 3,2 mm-es rutilos bevonatú bevonat elektróda állt rendelkezésre. A rutilos bevonat előnye volt a könnyű ívgyújtás és újragyújtás, valamint az, hogy hosszabb ívvel lehetett he-

gesztetni, ami megkönnyítette a munkát. Az elsődleges problémát itt a hígán folyó salak és annak mennyisége jelentette. A salak hegfürdő elé áramlását a megfelelő elektródavezetéssel el lehetett kerülni. A rutilos bevonattól a salak könnyű leválását várnánk azonban az alsó sorokba a salak igen makacson beragadt, ezt az előnyét csak az utolsó töltő- és takarósoroknál mutatta. A hegesztéshez ESAB LUD 400 típusú áramforrást alkalmaztunk. [22] [23]

Gyártmány, típus:

ESAB LUD 450W

Áramforrás jellemzői:

Szinergikus

450A, DC+/-

Elektródafogó:

Menetes megfogású,

$I_{\max}=200\text{ A}$

Egyedi azonosító:

852-121-5417



13. Ábra: Bevont elektródás ívhegesztéshez használt áramforrás

6.5 Az adatgyűjtési módszer bemutatása

Mivel nem állt rendelkezésünkre modern hegesztési varratok technológiai tényezőit regisztráló berendezés, ami minden villamos jellemző értéket valós időben regisztrálna, a villamos- és egyéb tényezőket is varratkövető lapon regisztráltuk.

A villamos paramétereket és a huzalelőtolási sebességet a hegesztőgépek kijelzőiről olvastuk le. A hegesztési időt stopperrel, a bevont elektróda és a hegesztőpálca kopását mérőszalaggal mértük. A hőmérséklet mérésére infravörös sugárzás-érzékelőt (pirométer) használtunk melynek mérési eredményét hőkrétával ellenőriztük.

6.5.1 Hőbevitel-számítás

Az adatgyűjtés legkritikusabb része a fajlagos hőbevitel számítása szempontjából kritikus mennyiségek követése volt. A fajlagos hőbevitt a 2. képlet alapján számítva az alábbi táblázat tartalmazza, próbatestekre és varratsorokra vetítve.

Sor	Q (kJ/mm)					
	2-1	3-1	2-2	3-2	2-3	3-3
1	1,09	0,95	1,02	1,10	0,93	1,23
2	0,53	0,53	0,59	0,53	0,54	0,80
3	0,62	0,52	0,76	0,65	1,02	1,19
4	0,60	0,63	0,68	0,65	0,35	0,55
5	0,63	0,64	1,46	0,65	0,00	0,00
6	0,99	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,88	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00
Összegzett	5,35	5,27	4,52	3,58	2,84	3,76

3. Táblázat: A próbatestek varratsorai és az azokhoz tartozó fajlagos hőbevitel

6.6 A próbatestek hegesztése során gyűjtött tapasztalatok

A próbahegesztések rövid áttekintéséhez az alábbi táblázat nyújt segítséget. A táblázat mezőiben az egyes alapanyag – hegesztési eljárás kombinációk azonosító száma látható.

Eljárás	141 +	141 +	141 +
NSSC DX1 (2)	2-1	2-2	2-3
NSSC 2120 (3)	3-1	3-2	3-3
* bs: kétoldali hegesztés			

4. Táblázat: Hegesztési eljárás és alapanyag összesítő

6.6.1 Élelőkészítés

Az élelőkészítés forgácsolással történt, az ATT G épületi forgácsoló laborjában. A munkát Czifra Lajos tanszéki szakmunkás úr végezte. A forgácsolást követően a munkadarabok kétszeri zsírtalanító mosásnak (Brigéciolban), egyszeri oxidréteg eltávolításnak (RO55 általános rozsdamaróban), és szintetikus hígítós öblítésnek lettek alávetve. A forgácsolási sorját reszelővel távolítottuk el. A hegesztési folyamat során, a varraton salak és/vagy reve réteg képződik, melyet minden egyes rétegről el kell távolítani. Továbbá az új sor hegesztése előtt az előző varratsor és az oldalfal közötti éles átmenetet, szélkiolvadásokat el kell távolítani.[forrás:1011-1] A sorok közötti visszamunkáláshoz sarokköszörűt alkalmaztunk. A köszörülése során ügyeltünk arra, hogy a munkafolyamat végéig a munkadarab hőmérséklete ne haladja meg a gyártó által előírt sorközi hőmérsékletet.

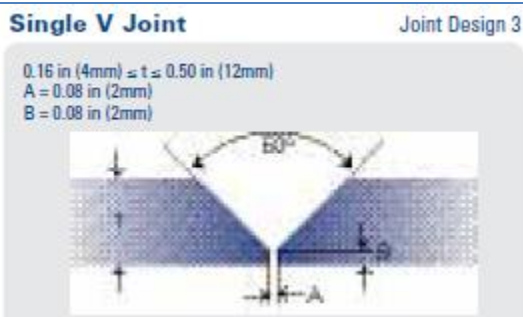


14. Ábra: Vegyszeres mosás

6.6.1.1 Egyoldali hegesztés

„A hézag a hegesztő legjobb barátja!”

Az egyoldali varratokhoz mindig nagyobb hézagot kell alkalmazni, hogy garantálható legyen a megfelelő gyökátolvasás. A gyártói ajánlások szerint a 2 mm-es gyökhézag egy 2 mm-es gyökorr esetén megfelelő nagyságú. Ez tapasztalataink szerint inkább gépesített hegesztéshez alkalmas összeállítás, figyelembe véve a szűk rést, amiben a hegesztőnek dolgoznia kell, illetve a viszkózus ömledéket. [23]

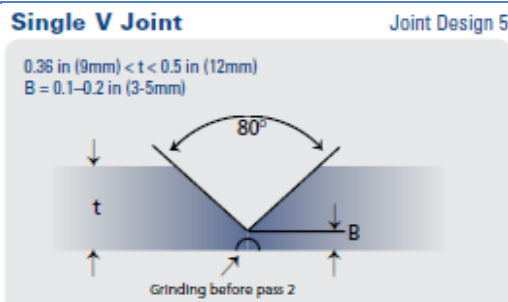


15. Ábra: Élelkészítés egyoldali hegesztéshez [23]

Kézi hegesztéshez sokkal inkább megfelelő egy 2-3 mm-es hézag élesebb gyökörrel. Így kisebb áramerősséggel hegesztve ellensúlyozzuk a hegesztési sebesség csökkenéséből adódó esetleges többlet hőbevitelt.

6.6.1.2 Kétoldali hegesztés

Ez az előkészítési technika tulajdonképpen egy olyan X varrat amelynél az X egyik szárát csak egy sorral töltjük fel. A hegesztés során a korona oldal felől az összes varratsor behegesztése után a gyökoldal hiányos átolvadású mélységét köszörűvel visszamunkálva készítettük elő a gyökutánhegesztés varratát. [23]



16. Ábra: Élelkészítés gyökutánhegesztéssel készült varratokhoz [23]

A szakirodalom itt nem javasol hézagot, azonban, tapasztalataink szerint, minimális hézag tartásával megkönnyíthetjük a visszamunkálás folyamatát.

6.6.2 1. kísérlet: 141/111 egyoldali (2-1; 3-1)

A próbahegesztések során mind a két varratot hét sorból sikerült felépíteni, az elektróda gyártó által megengedett maximális áramával. A hetedik sor mind a két esetben lengetett takarósor volt.

Tapasztalataink alapján a salak leválasztása csak az utolsó soroknál könnyű, habár a varrat élelkészítési szögének növelésével ez a mélyebb rétegekben is könnyebb lehet.



17. Ábra: Bevont elektródás töltősor, nehéz salakleválással



18. Ábra: Bevont elektródás töltő-takaró sor, könnyű salakleválással

6.6.3 2. kísérlet: 141/136 egyoldali (2-2; 3-2)

A próbahegesztés során a 2-2 próbatestet elégtelen gyökátolvasás miatt szét kellett vágni. Ezután sarokkösörűvel és reszelővel lett ismét kialakítva a megfelelő élelkészítés.

A portöltetű huzalelektródához közepes áramerősséget használtunk. A munka során azt tapasztaltuk, hogy a hegfürdő viszkozitása sokkal kedvezőbb, mint volfrámelektródás védőgázos ívhegesztés esetén.



19. Ábra: Bevont elektródás és huzalelekt-ródás varratok tisztítás előtt



20. Ábra: Huzalelektrodás töltő varrat

6.6.4 3. kísérlet: 141/136 kétoldali (2-3; 3-3)

A kisebb gyökhézag és a nagyobb áramerősség miatt a kötést kevesebb sorból tudtuk felépíteni. Ezek a próbadarabok készültek el a leggyorsabban, és míg az egyoldali hegesztéssel készült varratok gyökeiben voltak geometriai hibák, a gyökutánhegesztéssel készített kötések geometriája kifogástalan.

7 A varratok vizsgálatának eredményei

A hegesztett kötések vizsgálatával a varratok megfelelőségére kerestünk objektív bizonyítékokat. Elsősorban a varrat és a hőhatásövezet szövetelem-arányára, mikroszerkezete és a varratalakra tértek ki a vizsgálatok. Mechanikai tulajdonságok közül a keménységet vizsgáltuk.

A vizsgálatok eredményei alapján meghatározható, hogy az alkalmazott hegesztési eljárások közül melyik a legalkalmasabb a vastag duplex acélok hegesztésére és ajánlás adható a hegesztés technológiára.

7.1 Vizuális ellenőrzés

„A jó varrat egyben szép is!” tartja a mondás.

A varratokat első körben vizuális ellenőrzésnek vettem alá. Első sorban geometriai nemmegfelelőségeket kerestem, mint szélbeégés vagy a gyökátolvadás hiánya. A koronaoldalon a varratdudor alakját kellett szemrevételezni, összeolvadási hiányosságok és szélkiolvadások után kutatva. Ezeket visszamunkálással távolítottuk el.



21. Ábra: Elfogadható gyökoldali átolvadás



22. Ábra: Gyöksor korona oldala

A hegesztett kötések adta deformációt is mértük.

Próbavarratok	2-1	3-1	2-2	3-2	2-3	3-3
Vetemedés [°]	18	22	8	9	2	3

5. Táblázat: A hegesztett kötések okozta vetemedés

A kötések vetemedése a hegesztési folyamat természetes velejárója, ausztenites vagy részben ausztenites anyagok hegesztésénél nagyobb mértékben van jelen, mint ferrites anyagoknál. Ezt a munkadarabok fűzővarratainak elkészítése során történő eltolással, vagy a varratfelépítés megváltoztatásával lehet orvosolni.

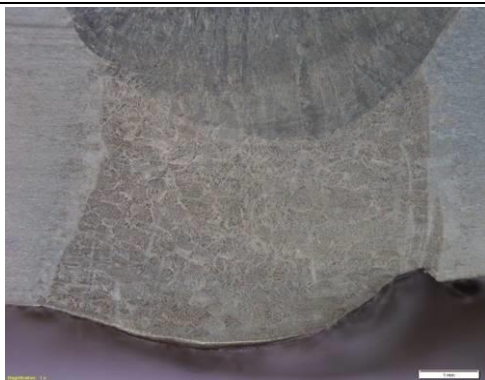
7.2 A makroszerkezet vizsgálatának eredményei

A makroszerkezet vizsgálatának célja a varrat felépítésének vizsgálata. A varratsorok elrendezkedése sajnos csak nehezen kivehető, ez a nem ideális marószér kiválasztásra vezethető vissza. A későbbiekben tervezzük e vizsgálatok folytatását. A varratok keresztmetszetén látható nemmegfelelőségeket az MSz EN ISO 5817:2014 szabvány szerint értékeltük ki. Más szabványok által támasztott többletkövetelmények nem képezték a vizsgálat tárgyát.

7.2.1 2-1 próbahegesztés eredményei



21_1



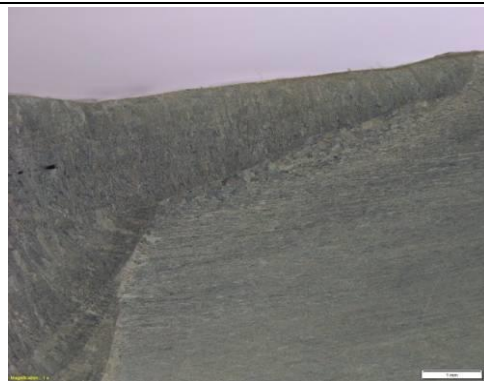
21_2



21_3



21_4



21_5

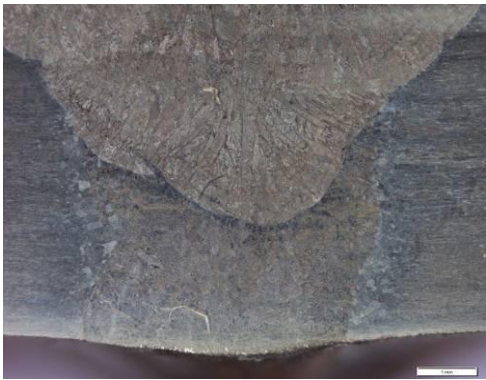
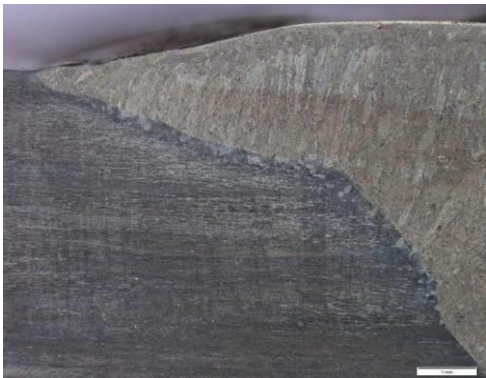
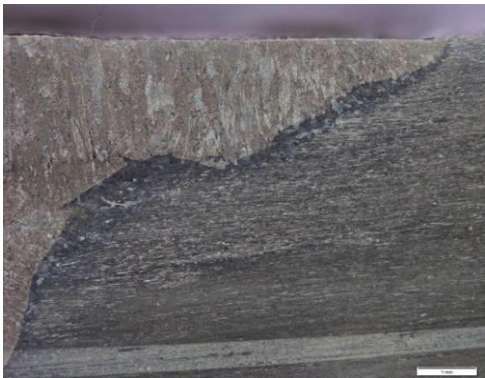
Értékelés: Normál varratalak, 21_2-es képen látható gyökátolvadási hiányosság: 5817:2014 1.8-as hivatkozási szám, kisebb, mint 0,5 mm, tehát classB-nek megfelel.

23. Ábra: 2-1 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük

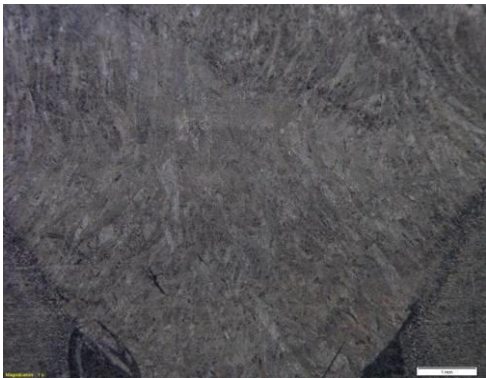
7.2.2 3-1 próbahegesztés eredménye

31_1	
	
31_2	31_3
	
31_4	31_5
	
Értékelés: Normál varratalak, 31_3-as képen látható salakzárvány: MSz EN ISO 5817:2014, 2.9-es hivatkozási szám, keresztirányú mérete a megfelelőség határán van (2 mm), hosszirányú mérete ismeretlen, roncsmentes vizsgálattal kimutatható, classB-nek nem felel meg. Javasolt javítási módszer: hibás varratrész eltávolítása, köszörüléssel vagy forgácsolással, utána javítóhegesztés.	
24. Ábra: 3-1 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	

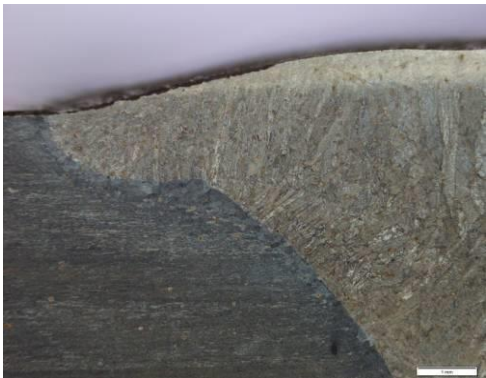
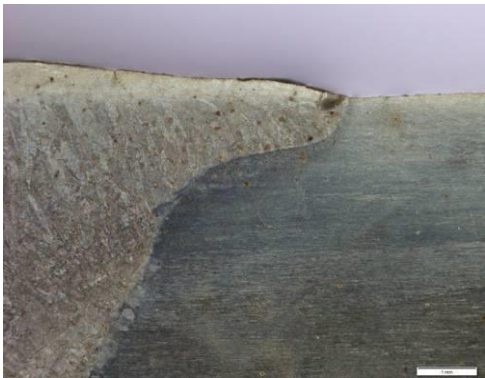
7.2.3 2-2 próbahegesztés eredményei

22_1	
	
22_2	22_3
	
22_4	22_5
	
Értékelés: Normál varratalak, MSz EN ISO 5817:2014 classB-nek megfelel.	
25. Ábra: 2-2 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	

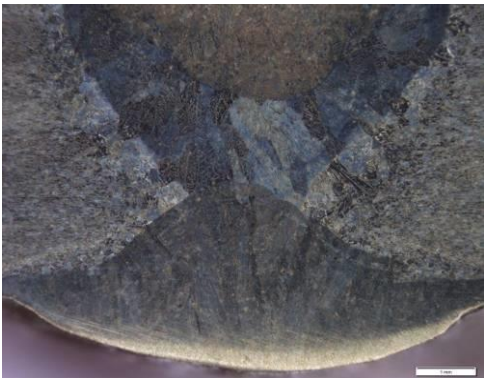
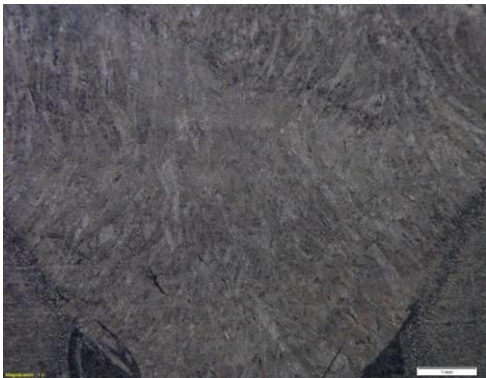
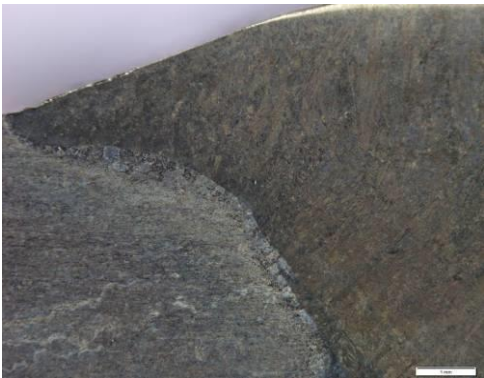
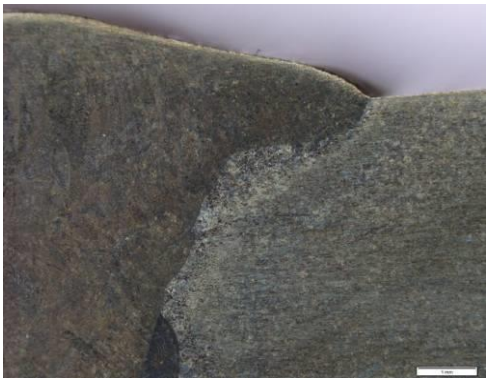
7.2.4 3-2 próbahegesztés eredményei

32_1	
	
32_2	32_3
	
32_4	32_5
	
Értékelés: Normál varratalak, MSz EN ISO 5817:2014 classB-nek megfelel.	
26. Ábra: 3-2 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	

7.2.5 2-3 próbahegesztés eredményei

23_1	
	
23_2	23_3
	
23_4	23_5
	
Értékelés: Normál varratalak, MSz EN ISO 5817:2014 classB-nek megfelel.	
27. Ábra: 2-3 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	

7.2.6 3-3 próbahegesztés eredményei

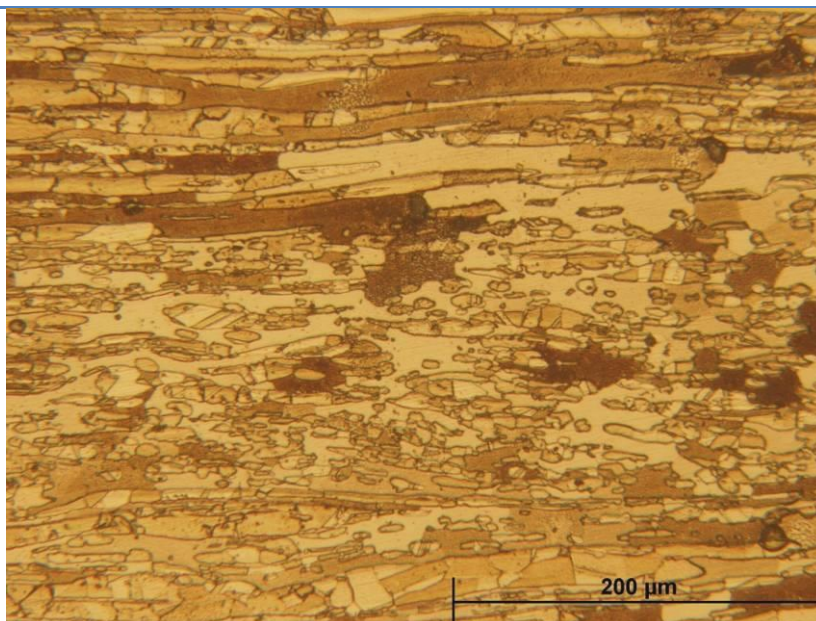
33_1	
	
33_2	33_3
	
33_4	33_5
	
Értékelés: Normál varratalak, MSz EN ISO 5817:2014 classB-nek megfelel.	
28. Ábra: 3-3 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	

7.3 A mikroszerkezet vizsgálatának eredményei

A mikroszerkezet vizsgálata során a varrat és a hőhatásövezet szövetelem-arányát és szövet-szerkezetét vizsgáltuk.

7.3.1 Az alapanyag mikroszerkezetének bemutatása

Az alapanyag mikroszerkezetét az ötvözőtartalmán kívül a gyártási technológiája is meghatározza. Még ha a szövetelem arány azonos is lehet a szemcsék alakja és mérete teljesen eltérő egy termomechanikusan hengerelt és egy hidegen hengerelt lemezanyag esetében.



29. Ábra: Alapanyag mikroszerkezete

Az alapanyagban hosszanti irányú ferrit és ausztenit kristályok láthatóak, ezekből arra következtethetünk, hogy a gyártás befejező lépése a kétfázisú tartományban végzett megalakítás utáni szabályozottan gyors lehűtés volt.

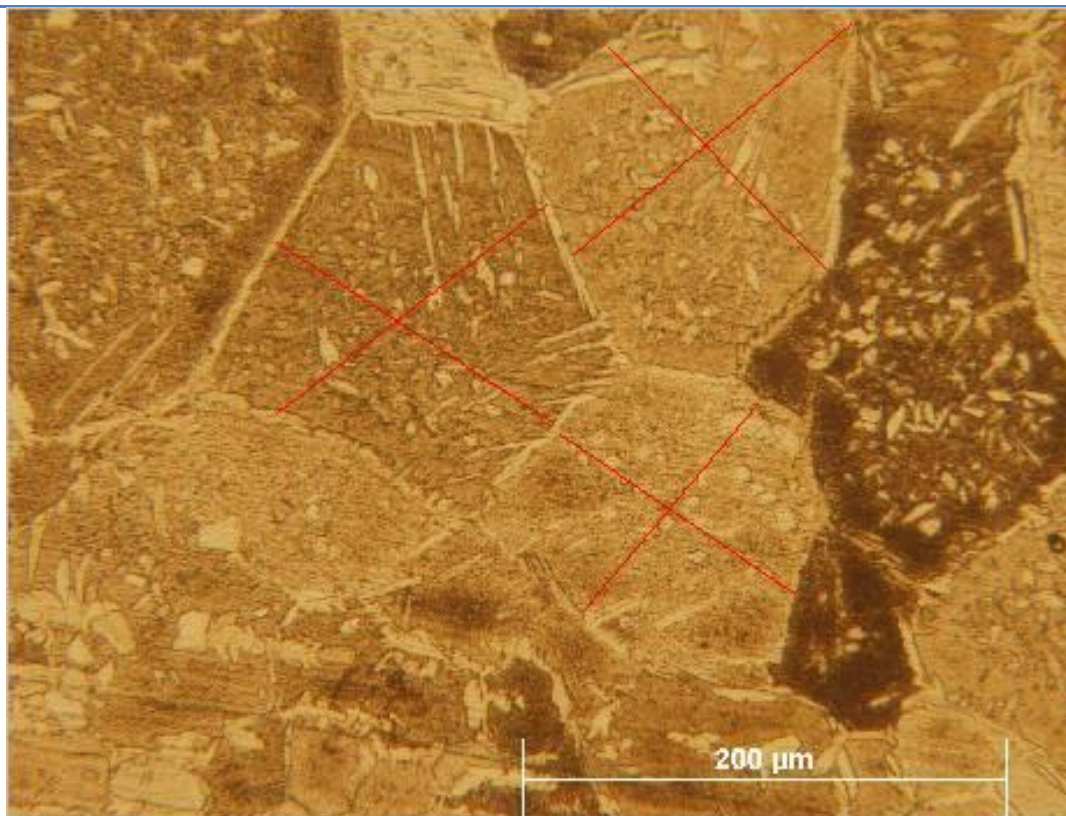
7.3.2 A hőhatásövezet mikroszerkezetének elemzése

A duplex durvalemezek hegesztése során a töltő és takaró sorok hegesztése során, a gyök vagy megelőző töltő sorok varratfémé és azok hőhatásövezete az újonnan hegesztett sor hőhatásövezetével egybeesik. Ezért a többszöri felmelegítés hatására a már korábbiakban tárgyalt öregedési folyamat mellett szemcsedurulás is fellép, ami szintén az anyag mechanikai tulajdonságainak degradációjával jár.

Az előmelegítés hiánya illetve a kis sorközi hőmérséklet miatt a hőhatás övezet gyorsan hűl. Ennek következtében a várákosoknak megfelelően, a hőhatásövezet relatíve keskeny és túlnyomórészt ferrites.

A hőhatásövezet mikroszerkezetének elemzése során a hőhatásövezet szemcséinek két keresztirányú méretét átlagolva kaptuk az átlagos szemcseméretet. Minden varrat korona és gyök oldali hőhatásában három-három szemcsén végeztünk vizsgálatot. Mivel a metszetben egyes szemcséket középen másokat a csúcsaikhoz közelebb metszünk el, sokkal több (varratonként 100) mérésre lenne szükség az átlagos szemcseméret meghatározására. Azonban a szemcsék mérete nem mutatott jelentős szórást ezért a mérést elfogadhatónak tekinthetjük.

A kiértékelést J MicroVision v1.27 szoftverrel végeztük. A képen látható, a mikroszkóp által elhelyezett, a nagyításhoz társuló mércéhez, mint ismert hosszúsághoz beállítottuk a léptéket, majd a szoftver ehhez képest kiszámította a többi vonal hosszát.



30. Ábra: Durvult szemcsék a hőhatásövezetben

A mérési eredményeket táblázatban összegeztük.

Korona	1		2		3		átlag
	d1	d2	d1	d2	d1	d2	
	[μm]						
2-1	142	137	112	118	150	100	126,5
3-1	174	107	125	121	107	164	133
2-2	72	62	109	110	131	66	91,7
3-2	114	77	131	91	116	141	111,7
2-3	-	-	-	-	-	-	-
3-3	155	124	95	102	144	95	119,2
6. Táblázat: Szemcsenagyság a koronaoldali hőhatásövezetben							

Gyök	1		2		3		Átlag
	d1	d2	d1	d2	d1	d2	
	[μm]						
2-1	101	92	117	105	152	134	116,8
3-1	-	-	-	-	-	-	-
2-2	93	65	131	141	107	66	100,5
3-2	205,5	155	169,5	176,5	228,5	175	185,0
2-3	-	-	-	-	-	-	-
3-3	114	153	156	171	147	98	139,8
7. Táblázat: Szemcsenagyság a gyökoldali hőhatásövezetben							

A szemcsedurvulás szilárdság csökkentő hatását jól szemlélteti a Hall–Petch-egyenlet.

$$\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-\frac{1}{2}}$$

Ahol:	
σ_y	Módosított folyáshatár
k	Anyagállandó
d	Átlagos szemcseátmérő

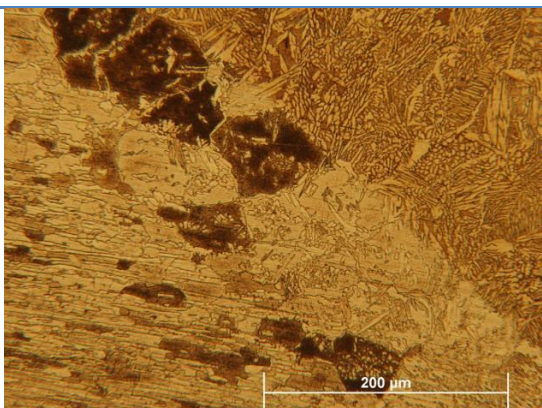
31. Ábra: Hall-Petch egyenlet

7.3.3 A varratfém szövetszerkezetének elemzése

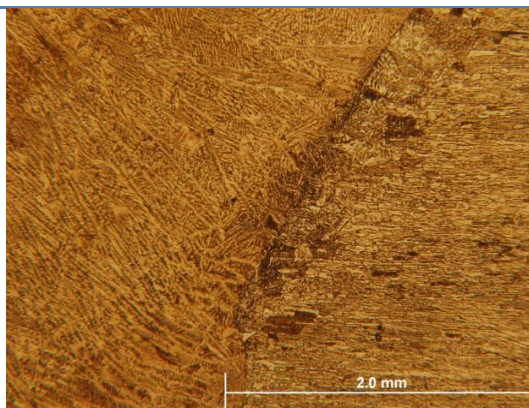
A varratfém mikroszerkezetét a hegesztési eljárás, a hőbevitel és a hegesztőanyagok (gáz és huzal/pálca/elektróda) együtt határozzák meg.

7.3.3.1 Bevont elektródás varratok mikroszerkezetének elemzése

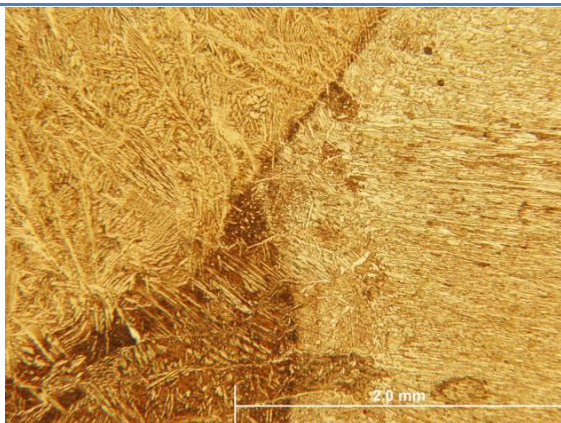
A mikroszkópi felvételeken látható, hogy a varratfém a hűlés irányában növekvő primer ferrit kristályokból áll, amikben tűs szerkezetű, úgynevezett Widmannstätten-ausztenit alakult ki.



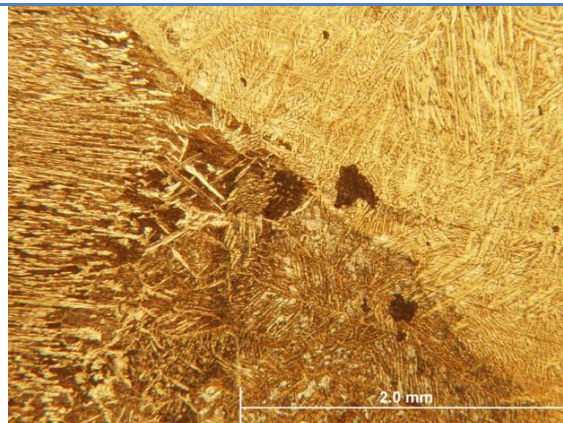
32. Ábra: 2-1 koronaoldali hőhatás övezete



33. Ábra: 2-1 töltősora és hőhatásövezete



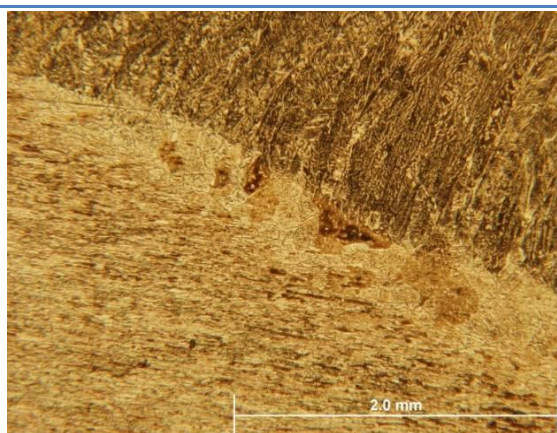
34. Ábra: 2-1 gyök és töltősora



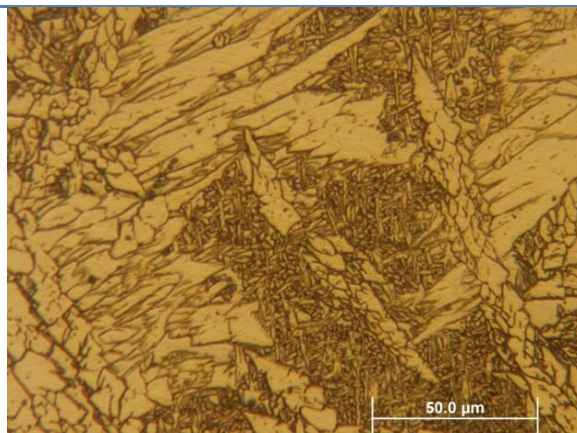
35. Ábra: 2-1 gyök és töltősora

7.3.3.2 Huzalelektrodás varratok mikroszerkezetének elemzése

A bevont elektródás varratokhoz hasonló szövetszerkezet figyelhető meg, finomabb ausztenites szerkezettel. A finomszemcsés ausztenit elsősorban a közbenső sorokra jellemző.

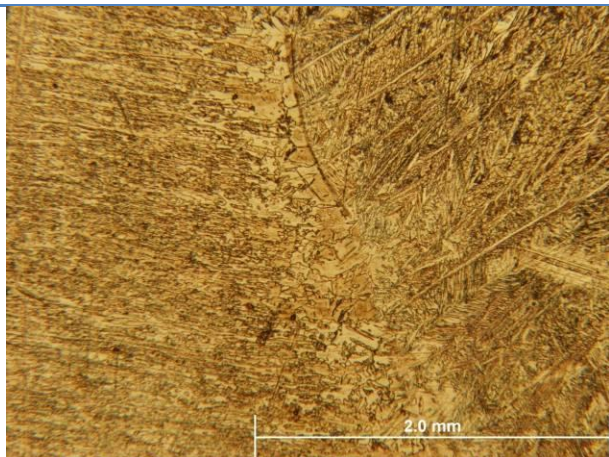


36. Ábra: 2-2 takaró sorának hőhatásövezete

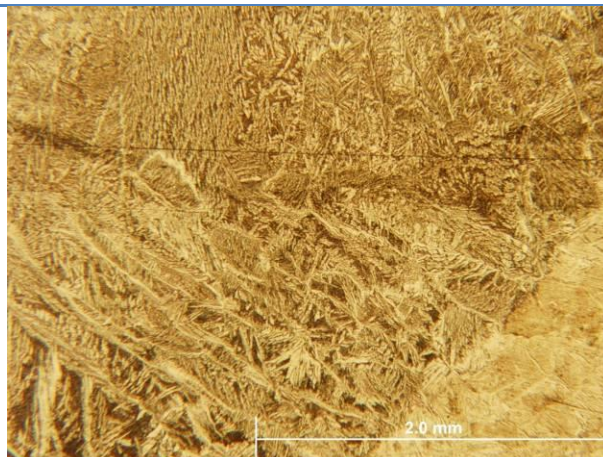


37. Ábra: 2-2 finomszemcsés ausztenit

Ezek a finomszemcsés ausztenitek a következő sorok hegesztése során végbemenő felmelegedés során jöhetnek létre, ugyanennek a takaró sor hőbevitelével által lezajlott áthőkezelés hatásának tudható be a középső töltősorok hegesztése során kialakult ausztenitűk megvastagodása.



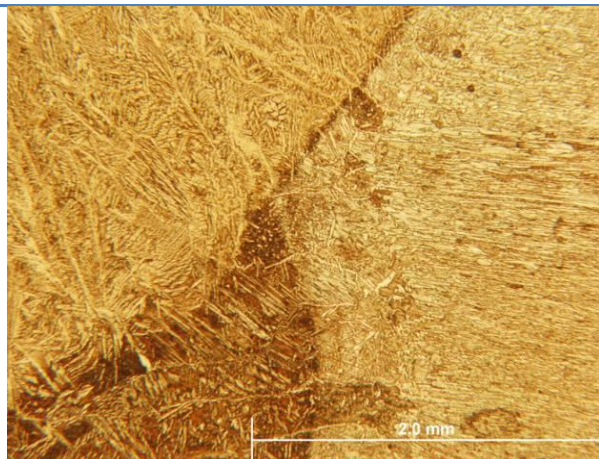
38. Ábra: 3-2 töltősor és hőhatásövezete



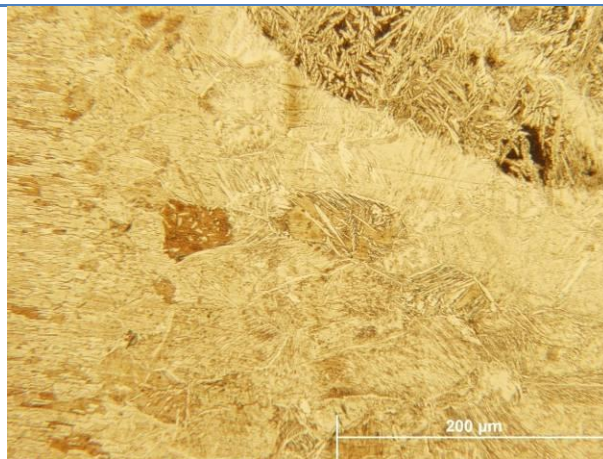
39. Ábra: 2-2 2.-3. sor kapcsolata

7.3.3.3 Gyökvarratok mikroszerkezetének elemzése

A gyökvarratok mikroszerkezete, azonos maratási idő mellett általában nem rajzolódott ki olyan jól, mint a töltősoroké.

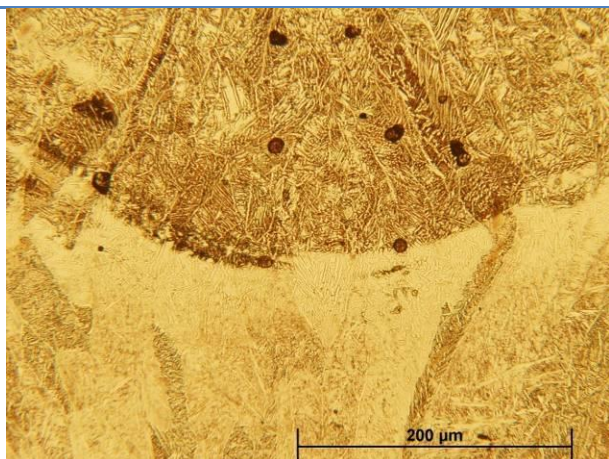


40. Ábra: 2-1 gyök és első töltősor

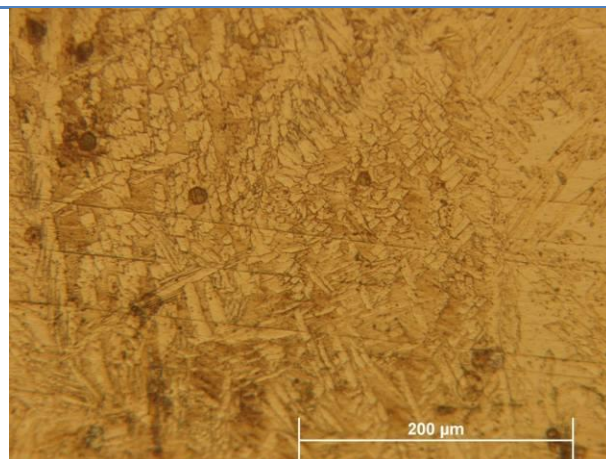


41. Ábra: 2-2 gyöksor hőhatásövezete

A gyöksorok relatíve nagy, jól elhatárolható primer ferrit szemcsés szerkezetet mutatnak a szemcsehatáron kialakult ausztenittel, illetve a primer ferrit szemcsék belsejében tűs ausztenittel.



42. Ábra: 2-3 1.-4.(gyökutánhegesztett) sor kapcsolata



43. Ábra: 3-3 gyöksor mikroszerkezete

A volfrámelektrodás gyökvarratok hőhatás övezetei nagyobb mértékű szemcsedurvulást mutatnak, Ez a többszöri újramelegítés hatása.

7.4 Keménységmérés eredményei

A keménységméréshez Vickers-eljárást használtunk. A vizsgálati módszer előnye, hogy a keménység érték nem, illetve alig függ a terhelő erőtől. A terhelőerő nagysága miatt a lenyomat igen kicsi, ezért jól mérhető vele a keskeny hőhatásövezet keménysége is. A mérési pontok úgy lettek kiválasztva, hogy a lenyomat ausztenites és ferrites szövetet is érjen.

Minden varratban tizenhét mérési pontot helyeztünk el. Hármat a koronában hármat a gyökben és három – három pontot ezek mindkét oldalán a hőhatás övezetben. Valamint két szűrőpróba szerűen kiválasztott alapanyagban három pontban mértük az alapanyag keménységét is.

Az MSz EN ISO 15614-1:2004 nem határoz meg a TR ISO 15608 szerinti 11-es, 8-as anyagcsoportú anyagok keménységére előírást, a szénacélok esetében HV380-ban állapítja meg a hőkezeletlen hegesztett kötésekben mérhető maximumot.

A 2-2 próbatest nagy keménységének a korábban már említett, elégtelen gyökátolvasás miatt történt javítás lehet az oka. Valószínűleg nem sikerült teljes mértékben eltávolítani az első, később kimunkált hegesztés hőhatásövezetét. Az is lehetséges, hogy a köszörülés többlet hőhatása okozott felkeményedést, habár ez kevésbé valószínű, annak csekély mivolta miatt. Abban biztosak vagyunk, hogy a nagyobb keménység összefügg a javítással, csak a hatásának mértéke kérdéses.

No.	2-1	3-1	2-2	3-2	2-3	3-3	
1	355	317	306	317	273	327	korona HAZ 1
2	351	303	303	289	287	327	
3	342	314	305	298	310	352	
átlag	349	311	305	301	290	335	
4	365	281	393	287	284	321	Gyök HAZ 1
5	370	274	392	278	318	291	
6	352	271	395	330	303	303	
átlag	362	275	393	298	302	305	
7	373	294	313	283	296	330	korona HAZ 2
8	366	275	326	289	317	352	
9	361	312	315	273	319	306	
átlag	367	294	318	282	311	329	
10	356	286	387	283	276	317	Gyök HAZ 2
11	331	276	391	289	312	304	
12	323	267	378	273	300	315	
átlag	337	276	385	282	296	312	
13	390	349	280	286	242	294	korona varrat
14	387	345	346	291	231	279	
15	363	321	371	299	237	299	
átlag	380	338	332	292	237	291	
16	349	294	409	334	276	309	gyök varrat
17	341	318	410	325	274	308	
18	334	294	408	314	274	315	
átlag	341	302	409	324	275	311	
bm1		271			286		Alap an- yag
bm2		275			285		
bm3		298			292		
átlag		281			288		

8. Táblázat: Keménységmérési eredmények (HV0,1)

7.5 Ferritszkópos ferrittartalom-vizsgálat

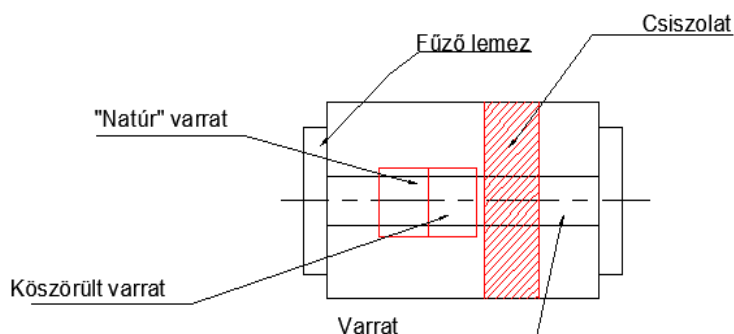
A ferritszkópos vizsgálat során egy szondát érintünk a vizsgálni kívánt területhez amely örvényáramot gerjeszt a vizsgált darabban majd annak visszahatásából a szondára következtet a munkadarabban található anyagfolytonossági hiányosságokra vagy annak összetételére. A vizsgálat érzékeny a felületi egyenetlenségekre és kicsi a behatolási mélysége.

A mi esetünkben ez a vizsgálat az anyag kezdeti mágneses permeabilitását méri. Az ausztenit és a ferrit eltérő rácsuknak köszönhetően a mágneses tulajdonságaik is eltérnek.

7.5.1 A vizsgálat menete

Minden munkadarabon a varraton és a hőhatás övezet mindkét oldalán mértünk a gyök és a korona oldalon egyaránt, a hossz mentén tíz pontban. Valamint a varrat keresztmetszetén szintén tíz mérést végeztünk. Továbbá minden munkadarab alapanyagán is mértük tíz pontban a ferrittartalmat.

A varrat korona- és gyökoldalán a varratdudor egy szakaszon eltávolításra került, annak céljából, hogy a ferritszkóp pontossága összehasonlítható legyen sima és kezeletlen varratdudor esetén.



44. Ábra: Ferritszkópos mérés, mérési pontok helye a munkadarabon

A mérési eredmények hitelességét statisztikai módszerrel ellenőriztük. A mérési sokaságok relatív szórását vizsgáltuk. Amennyiben a relatív szórás nem haladja meg a 0,1-et a mérést kellően pontosnak tekinthetjük.

7.5.2 A mérési eredmények kiértékelése

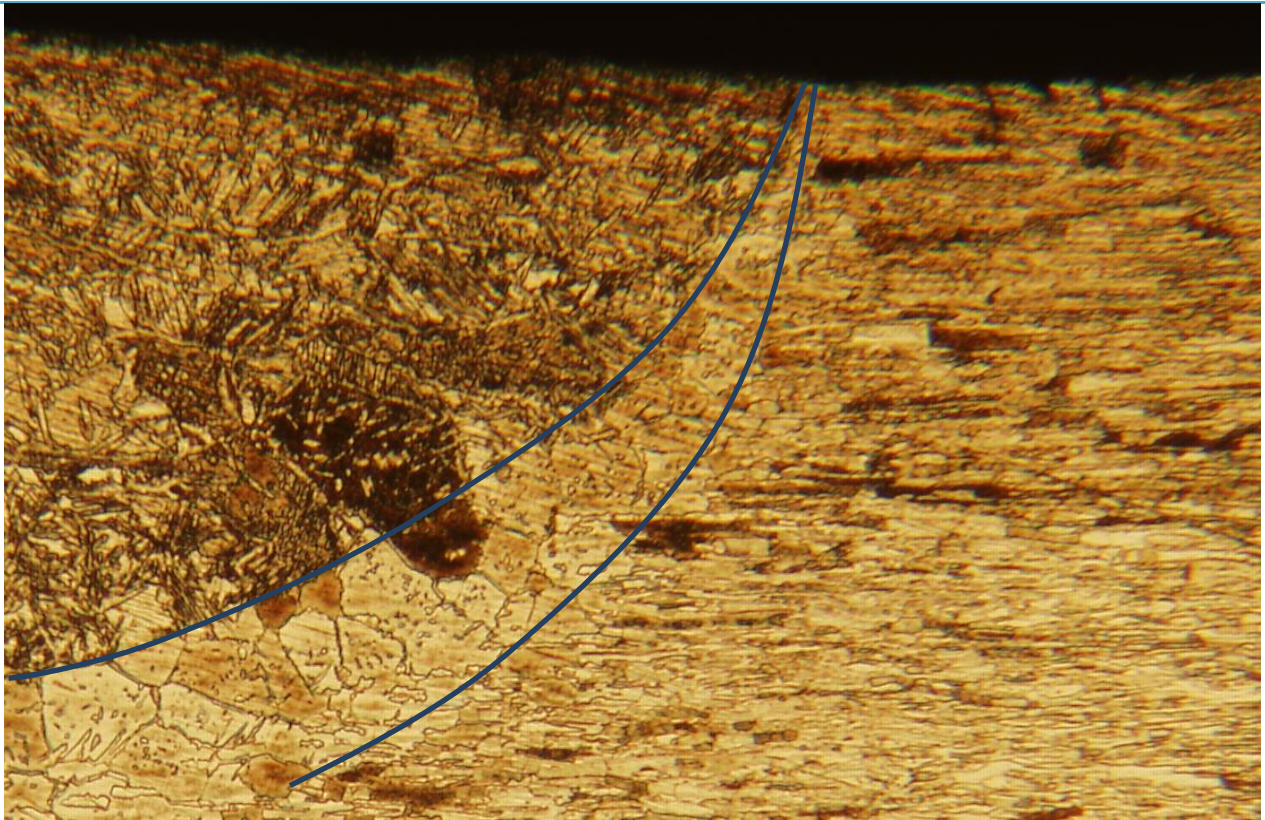
A mérés során a ferritszkóp kijelzőjén egyből a ferrittartalom százalékos értékét olvashatjuk le. Az eredményeket táblázatos formában összesítettük és számítógép segítségével értékeltük ki. Az értékelés módszerét a 2-1 próbadarab mérési eredményein mutatjuk be.

2-1	Varrat δ %					H.H.Ö. δ %		Alapa. δ %
	korona		gyök		k.m.	korona	gyök	
	flexelve	natúr	flexelve	natúr				
1	24,4	30,0	42,0	40,7	25,2	35,1	35,3	35,6
2	22,9	20,5	41,0	41,0	23,5	35,1	37,6	33,3
3	24,9	22,5	44,9	39,0	25,8	35,0	33,5	35
4	22,0	22,7	42,3	45,0	23,7	34,6	33,2	37,1
5	23,9	25,3	42,9	44,0	27,3	35,9	33,2	35,1
6	25,5	22,9	45,9	43,7	26,4	35,6	33,7	35,9
7	23,4	23,1	42,7	42,0	25,5	36,4	33,7	34,4
8	27,7	23,3	41,2	44,6	31,9	36,7	36,5	36,7
9	24,3	24,7	47,0	45,3	29,2	36,7	34,7	37,3
10	23,9	24,1	44,5	45,0	27,8	34,0	36,0	35,4
átlag	24,3	23,9	43,4	43,0	26,6	35,5	34,7	35,6
szórás	1,6	2,5	2,0	2,2	2,6	0,9	1,6	1,2
rel.szór.	0,06	0,10	0,05	0,05	0,10	0,03	0,04	0,03

9. Táblázat: A 2-1 próbatest ferritszkópos szövetelem mérésének eredményei

Érdekesnek mondható, hogy a varakozással szemben a csiszolt felület mérési eredményei nagyobb szórást mutatnak, mint a „natúr” varratfelületek. Ugyanez mondható el a keresztmetszetek mérési eredményeiről is. Az eredeti varratfelületek kicsi szórását az magyarázhatja, hogy a nagy egyenetlenségeket kikerülve igyekeztünk mérni, hogy jó felfekvést biztosítsunk a szondának és az egyértelmű mérési hibák helyett egyből új mérést végeztünk, így valószínűleg csak a relatíve kevesebb számú (megközelítőleg öt mérésből két értékelhető), de pontosabb mérési eredmény került feljegyzésre, míg a csiszolt felületen a relatíve nagyobb számú (öt mérésből négy) pontatlanabb mérés került regisztrálásra. A keresztmetszeti mérések pontatlanságát az ronthatta, hogy a ferritszkópszonda nagyobb felületen vett mintát, mint a varrat keresztmetszet, ezért hozzá mérte a hőhatási övezetet illetve az alapanyagot is. Továbbá a mérési eredmények pontosságában a varratsorok eltérő ferrittartalma is szerepet játszott.

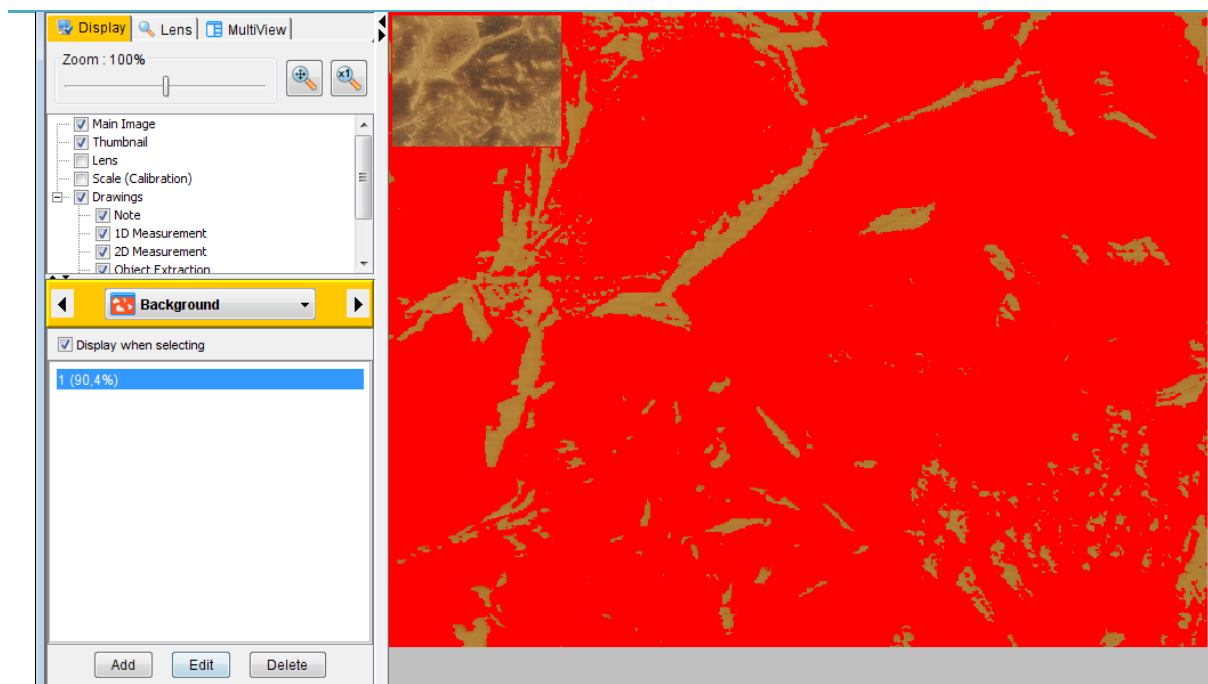
Mivel a gyártói előírások az esetek túlnyomó többségében nem a ferrit részarányát írják elő, hanem az ausztenitét, a továbbiakban az ausztenit részarányára vonatkozó értékeket közöljük. Ha eltekintünk a különböző kiválásoktól és szennyeződésektől, akkor az ausztenit mennyiségét egy egyszerűen megkaphatjuk, ha a 100%-ból kivonjuk a ferrit arányát. A táblázatban látható, hogy a hőhatás övezetben alacsony ferrittartalmat mutatott a mérőműszer. Ennek oka, hogy a szonda sokkal nagyobb területet mér, mint a hőhatásövezet, ezért annak mérési eredményeit az alapanyag és a varratfém is torzítják.



45. Ábra: Takarósor varrata és hőhatásövezete (kék vonalak között)

A mikroszkópi felvételeken szabad szemmel is jól látható, hogy a valós ferrittartalom 60-70% fölött van. Illetve, hogy a hőhatás övezet szélessége a koronaoldal felé csökken, a lemez felületénél szinte teljesen el is tűnik.

Szoftveres képelemzés segítségével megállapíthatjuk, hogy a hőhatás övezet ferrittartalma 90% körülire tehető. A szoftveres képelemzés lányege, hogy a kép kontrasztja alapján a kép sötétebb vagy világosabb részeit, ahogy a felhasználó dönt, megszínezzük és a megszínezett részek aránya mutatja jelen esetben a ferrit arányát.



46. Ábra: Képelemző módszeres ferrittartalom-vizsgálat

Tehát a ferritszkópos mérés hőhatásövezetre vonatkozó eredményeit nem tekinthetjük hitelesnek. A többi mérési eredmény túrése, 99%-os konfidencia intervallumhoz, az alábbi módon számítható, értéke 0,4%. [24]

$$\sigma = \frac{s * t}{\sqrt{n}}$$

σ	Túrésmező nagysága
s	Átlagszórás
t	Konfidencia szinthez tartozó konstans
n	Kísérlet elemszáma

47. Ábra: Túrés számítás képlete

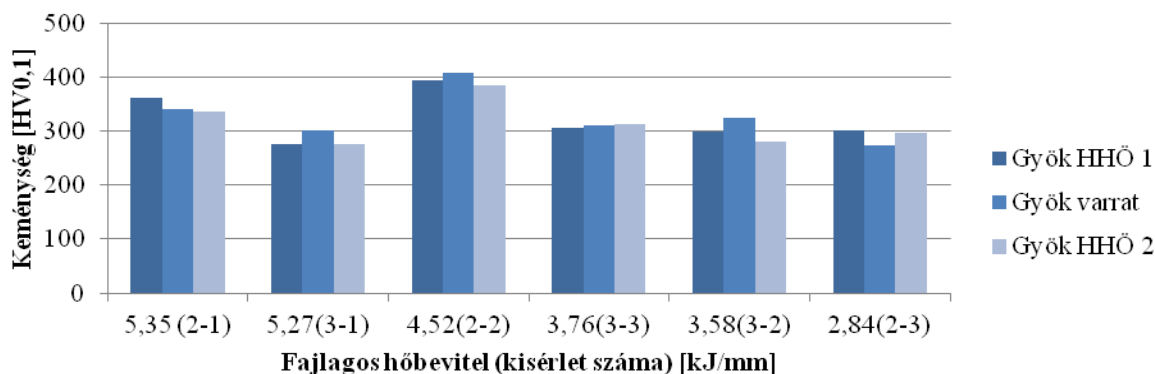
2-1	γ (%)					3-1	γ (%)				
	Varrat		HHÖ		Alapanyag		Varrat		HHÖ		Alapanyag
	Korona	Gyök	Korona	Gyök			Korona	Gyök	Korona	Gyök	
1	70,0	59,3	64,9	64,7	64,4	1	76,2	61,4	65,8	70,6	58,3
2	79,5	59,0	64,9	62,4	66,7	2	73,9	60,6	65,8	68,5	61,1
3	77,5	61,0	65,0	66,5	65,0	3	76,5	60,8	68,0	69,3	60,1
4	77,3	55,0	65,4	66,8	62,9	4	76,5	64,0	66,9	69,8	60,2
5	74,7	56,0	64,1	66,8	64,9	5	76,7	62,0	67,3	69,2	60,5
6	77,1	56,3	64,4	66,3	64,1	6	75,8	63,6	68,4	69,6	58,1
7	76,9	58,0	63,6	66,3	65,6	7	77,9	60,6	68,1	67,1	57,5
8	76,7	55,4	63,3	63,5	63,3	8	79,3	59,2	68,2	69,5	60,5
9	75,3	54,7	63,3	65,3	62,7	9	74,3	62,0	66,9	69,0	59,2
10	75,9	55,0	66,0	64,0	64,6	10	74,2	58,6	69,0	69,6	59,6
Átlag	76,1	57,0	64,5	65,3	64,4	Átlag	76,1	61,3	67,4	69,2	59,5
2-2	γ (%)					3-2	γ (%)				
	Varrat		HHÖ		Alapanyag		Varrat		HHÖ		Alapanyag
	korona	gyök	korona	gyök			korona	gyök	korona	gyök	
1	69,4	61,6	59,3	69,1	62,9	1	70,2	58,8	68,2	66,2	55,9
2	68,1	68,9	65,9	63,8	65,4	2	62,5	59,8	66,1	64,9	55,9
3	67,8	61,6	67,7	65,6	67,3	3	57,9	60,1	64,9	66,4	58,0
4	67,6	63,3	66,0	64,9	66,0	4	60,4	64,4	64,2	67,1	60,0
5	65,0	60,9	66,3	65,2	65,5	5	65,2	58,9	66,3	66,7	59,3
6	69,3	63,8	63,9	64,1	66,0	6	67,6	55,1	63,1	65,0	59,3
7	68,2	58,3	66,3	65,4	64,1	7	65,7	57,1	64,7	66,1	58,9
8	67,5	64,6	65,2	67,1	64,9	8	64,4	57,1	67,0	66,9	57,8
9	70,0	59,6	62,0	65,7	65,4	9	61,5	59,0	66,1	66,3	58,5
10	67,3	59,2	65,5	68,0	65,8	10	62,3	59,3	66,5	67,0	58,9
Átlag	68,0	62,2	64,8	65,9	65,3	Átlag	63,8	59,0	65,7	66,3	58,3
2-3	γ (%)					3-3	γ (%)				
	Varrat		HHÖ		Alapanyag		Varrat		HHÖ		Alapanyag
	korona	gyök	korona	gyök			korona	gyök	korona	gyök	
1	64,3	53,1	65,7	62,8	65,8	1	70,5	59,1	67,1	68,7	60,4
2	64,7	56,3	66,2	61,4	64,3	2	71,8	57,8	67,0	69,0	55,6
3	66,3	58,8	66,5	64,3	64,8	3	68,5	56,2	68,2	67,6	59,2
4	67,3	54,1	64,9	64,6	66,2	4	69,8	58,5	66,9	68,8	58,3
5	65,9	59,8	63,9	64,7	66,6	5	68,3	59,4	68,1	67,6	58,8
6	62,2	53,0	64,2	64,4	65,0	6	66,6	59,9	68,6	68,9	60,0
7	63,0	56,7	62,3	61,7	64,6	7	70,0	63,0	66,2	68,1	61,5
8	63,0	53,7	64,9	64,0	65,3	8	69,1	60,2	67,9	67,1	59,9
9	64,6	57,9	65,1	65,0	64,5	9	66,8	59,2	66,9	67,2	58,3
10	64,9	58,5	65,4	63,0	64,7	10	65,8	64,3	66,3	67,8	60,2
Átlag	64,6	56,2	64,9	63,6	65,2	Átlag	68,7	59,8	67,3	68,1	59,2

10. Táblázat: Ferritzskópos mérés eredményei

10. Táblázat: Ferritszkópos mérés eredményei

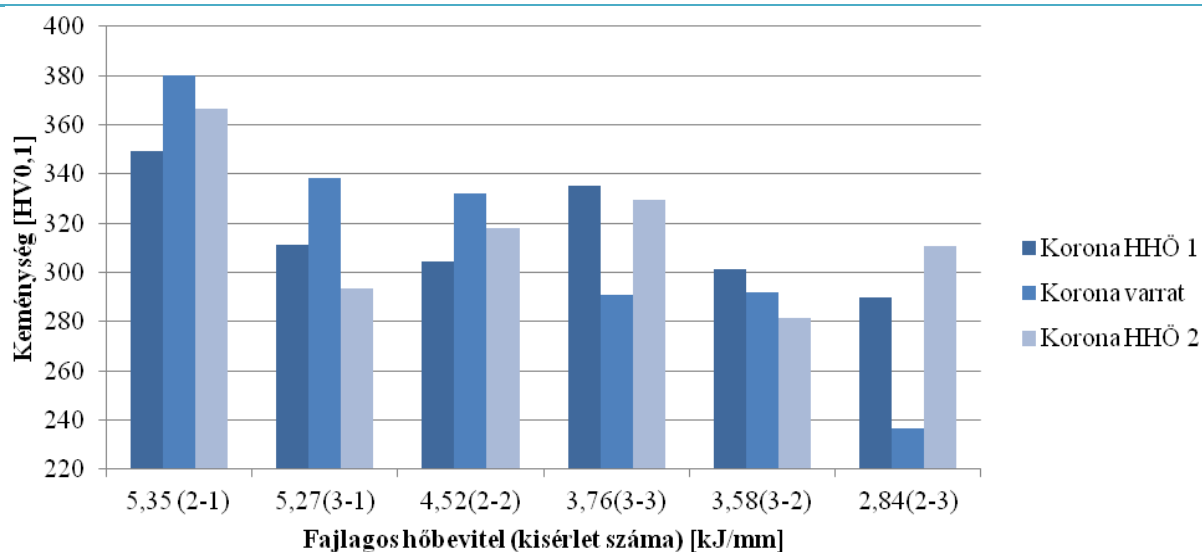
8 Vizsgálati eredmények összegzése

A vizsgálati eredményeket diagramok formájában összegeztük, ahol az elsődleges paraméter a fajlagos hőbevitel. A szemléletesség és a könnyebb összehasonlíthatóság miatt az ábrázoláshoz oszlopdiagramot választottunk.



1. Diagram: A gyökoldali keménységek összevetve az eredő fajlagos hőbevittel

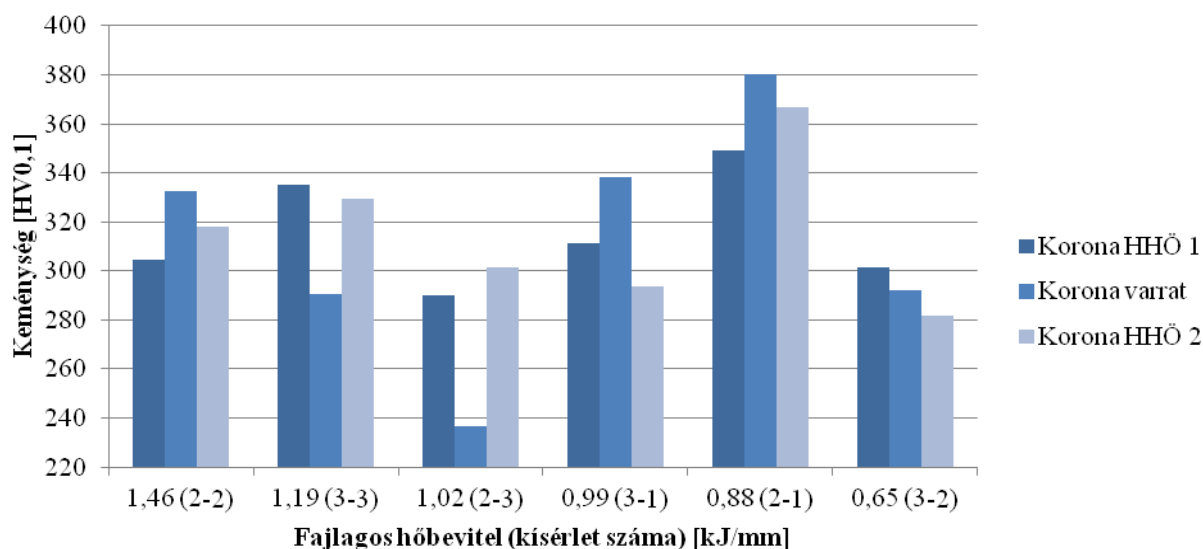
A 2-1 és 3-1 próbatest közel azonos eredő hőbevitel mellett látható, hogy a 3-as anyag (NSSC2120), melynek az „eco” és a „green”, jelzőket adta gyártója kevésbé reagált érzékenyen a nagyobb hőbevitelekre. Ugyanez elmondható, a 2-2 és 3-2 próbatestek vonatkozásában, azonban szem előtt tartandó, a 2-2 munkadarab javítása, ami valószínűleg kihatással volt az eredményekre. Ugyanakkor, a 2-es anyagot (NSSC DX1) ért majd 1 kJ/mm többlet hőbevitel a 3-ashoz képest, szintén eredményezhette ezt. A 3. táblázatban látható, hogy azonos számú sorból épül fel, ezek elrendezése más. A 2-2 esetében alkalmazott lengetett takarósor okozta a nagy hőbevitt.



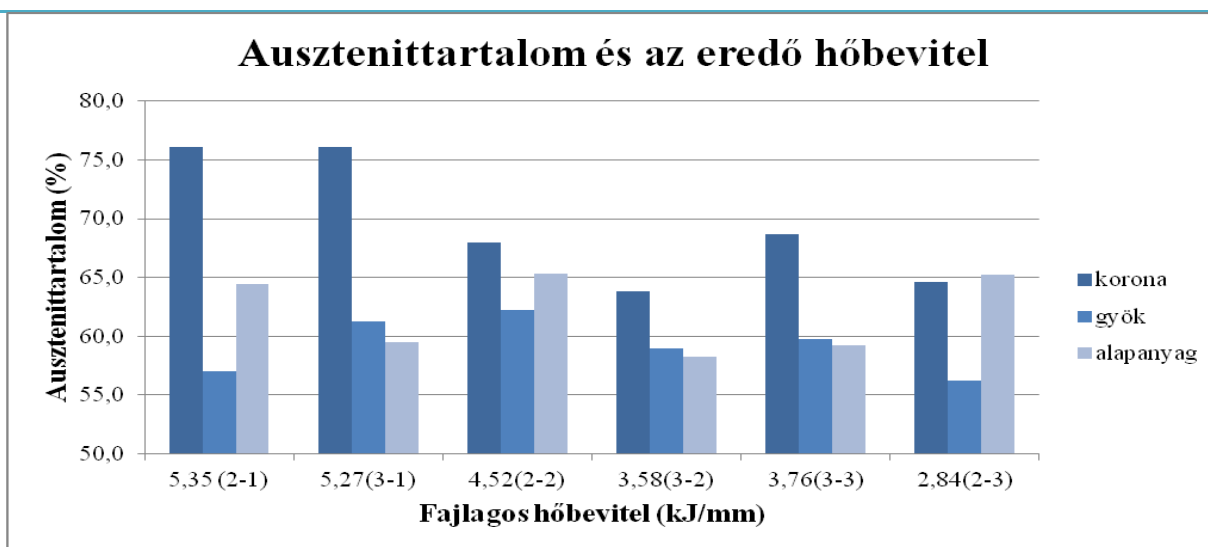
2. Diagram: A koronaoldali keménység az eredő fajlagos hőbevitel szerint sorba rendezve

Annak figyelembevételével, hogy a 2-3 és 3-3 próbatestek fajlagos hőbevitel között is hasonló a különbség, csak abban az esetben a 3-as anyagot érte nagyobb fajlagos hőbevétel, mégis közel azonosak a keménység eredményeik, biztosabbak lehetünk abban, hogy a javítás hatása kevésbé erős a keménységnövekedésben. Illetve az is teljesen egyértelművé válik, hogy a 3-as anyag sokkal jobban reagál a nagyobb fajlagos hőbevételre.

A 2. és 3. számú diagrammok összehasonlításából jól látható, hogy habár nem a 2-1 próbatest takaró sora készült a legnagyobb hőbevittel mégis ennek a varratnak a legnagyobb a koronaoldali keménysége a varrat hőhatásövezetében. Ugyanakkor annak figyelembevételével, hogy az eredő fajlagos hőbevétel ennél a hegesztésnél volt a legnagyobb megállapítható, hogy a korona oldali keménységre kisebb hatással van a takaró sor hőbevitel egymagában, mint az eredő hőbevétel. Ennek az lehet az oka, hogy habár a hegesztés során, például a gyöksor hegesztésénél, a leendő koronaoldal alapanyaga nincs közvetlen kapcsolatban a varrattal, a hegesztés termikus folyamata mégis kihatással van rá, és ezek a kihatások a további sorok hegesztése során felhalmozódnak.



3. Diagram: A koronaoldal keménység a munkadarabok takaró sorának fajlagos hőbevitel szerint növekvő sorba rendezve



4. Diagram: Az egyes munkadarabok auszténittartalma az eredő fajlagos hőbevitelére növekvő sorba rendezve

A gyártói ajánlások szerint az auszténittartalom 30-70% között kell maradjon a hegesztés után, hogy az anyag megőrizze ellenállóságát a korrózióval és a mechanikai hatásokkal szemben is.

A gyökvarratok auszténittartalma relatív alacsony, és kevésbé függ a gyöksor fajlagos hőbevitelétől mint a varrat összes hőbevitelétől. Habár a bevont elektródával készített varratoknál ez kevésbé érzékelhető, ez meglátásunk szerint a technológia sajátossága. A töltő és takaró sorok kisebb beolvadási mélységük miatt kisebb hatást gyakorolnak a mélyebben fekvő varratso-rokra. A huzalelektrodás ívhegesztéseknél azonban jól látható, hogy a 2-2 és 3-2 próbatest, közel azonos hőbevitellel hegesztett gyökvarratai, eltérő auszténittartalma a töltő és takaró sorok eredő fajlagos hőbevitelére miatt lehet más. Ugyanakkor a gyökutánhegesztett varratok esetében látható, hogy itt garantálható legkönnyebben a megfelelő auszténittartalom.

Látható, hogy a bevont elektródával készült varratok, korona oldali auszténittartalma a megengedett határon kívül esik, holott a hegesztőanyag gyártója által megengedett legnagyobb fajla-gos hőbevitelt nem léptük túl a takaró sorok hegesztése során.

Az is látható, hogy a huzalelektrodás ívhegesztéssel készített varratok koronaoldali auszténittartalma kevésbé érzékeny a takaró sor hőbevitelére.

9 Következtetések, javaslatok

9.1 Élelőkészítéssel kapcsolatos javaslatok

A kísérlet során arra a következtetésre jutottunk, hogy a hegesztési nehézségek miatt, ahol lehet, kerülni kell az alátámasztás nélküli egyoldali varratokat. Ezért az egyoldali varratok esetében gyökálátámasztást javasolunk maximum 3mm gyökhézaggal, 1-2mm magas gyökorral. Amennyiben alátámasztás sem alkalmazható, minél gyakorlottabb hegesztőre kell bízni a gyök hegesztésének feladatát.

A kétoldali varratok esetében 0,5-1,5mm hézag és 2-3mm magas gyökorr hagyható. Érdemes az alapanyagok tisztítására nagy hangsúlyt fektetni és alaposan végezni a sorok közti tisztítást.

Mint a keménységmérési eredményekből látható, a varratok javítása igen kockázatos, hőkezeléssel helyre nem hozható hibákat véthetünk. Ezért sokkal fontosabb, mint más esetekben, hogy a kötések már elsőre jól legyenek kivitelezve.

9.2 Hőbevitellel kapcsolatos javaslatok

A hegesztési kísérletek során szerzett tapasztalatok alapján a 136-os eljárást javasoljuk az ilyen anyagok kézi és gépi hegesztéséhez egyaránt. Amennyiben alátámasztás nélküli egyoldali gyökvarratot kell hegeszteni, a volfrámelektrodás kézi ívhegesztést javasoljuk, a gyöksor hegesztéséhez.

Javasoljuk továbbá, hogy az egyes varratsorokat, hőbevitelük nagyságának szempontjából csökkenő sorrendben érdemes lehegeszteni. Így a gyöksort kisebb hőhatás éri, így kisebb valószínűséggel lép fel nem kívánatos szemcsedurvulás, kiválások keletkezése, túlzottan nagy arányú ausztenitképződés. A javasolt változtatásokat tartalmazó pWPS megtalálható a mellékletben.

10 Tervek további kísérletekre

További kísérletként javasoljuk a 7. fejezetben javasolt technológia vizsgálatát, az ebben a dolgozatban is felhasznált módszerek mellett más mechanikai vizsgálatokkal, mint például: szakító vizsgálat, Charpy-féle ütővizsgálat, hajlítóvizsgálat.

Véleményünk szerint érdemes lenne vizsgálni az ebben a dolgozatban használt eszközökkel, hogy PF pozícióban miként lehet hegeszteni ezeket a lemezeket, hogy a 7. fejezetben foglaltakhoz hasonló javaslatot lehessen tenni az ilyen anyagok pozícióhegesztésére.

További kísérletezés céljából érdemes vizsgálni az aktiváló poros volfrámelektrodás ívhegesztést (ATIG). Mivel ezzel az eljárással kifejezetten ilyen vastag anyagokat lehet egy sorban, vagy két oldalról két sorban összehegeszteni.

11 Szakirodalom-jegyek

11.1 Irodalomjegyzék

- [1] Jan Olsson and Mats Liljas: **60 Years of Duplex Stainless Steel Applications**, Avesta (1996.)
- [2] M. Liljas: **80 years with duplex steels, a historic review and prospects for the future**, Outokumpu, Sweden
- [3] S.Wen, C.D.Lundin, G.Batten: **Metallurgical evaluation of cast duplex stainless steels and their weldments**, Knoxville, USA (2005.)
- [4] Balázs János: **LDX2101-es duplex acél volfrámelektrodás hegesztése** Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudomány Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék. 2009
- [5] Komocsin Mihály: **Duplex szerkezetű korrózióálló acélok és hegesztásük**. Miskolc: Miskolci Egyetem.
- [6] Nippon Steel and Sumikin Stainless Steel Corporation: **NSSC 4 meters wide duplex**. Nippon Steel & Sumikin Stainless Steel Corporation Head Office, 2-6-1 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan, 2014
- [7] Nippon Steel and Sumikin Stainless Steel Corporation: **World first! New Lean Duplex „NSSC2120”**. Japan 2014
- [8] Nippon Steel and Sumikin Stainless Steel Corporation: **Stainless steel plates and sheets**. Nippon Steel & Sumikin Stainless Steel Corporation Head Office, 2-6-1 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan, 2013.06.
- [9] Stainless Steel World Volume 25 (10. oldal): **Duplex NSSC® 2120 chosen for shipbuilding**. KCI Publishing B.V. Jacob Damsingel 17, NL-7201 AN Zutphen, The Netherlands, 2013.05.
- [10] <http://nssc-global.com/en/campaigns/duplex/about.php>
- [11] MSz EN 1011-1:2009 Hegesztés. Ajánlások fémek hegesztéséhez. 1. rész: Általános irányelvek ívhegesztéshez. Magyar Szabványügyi Testület, 1091 Budapest, Üllői út 25. 2009. ICS 25.160.10
- [12] MSz EN 1011-2:2001 Hegesztés. Ajánlások fémek hegesztéséhez. 2. rész: Ferrites acélok ívhegesztése. Magyar Szabványügyi Testület, 1091 Budapest, Üllői út 25. 2001. ICS 25.160.10
- [13] Szabó Péter János, Berecz Tibor: **A σ -fázis és az ausztenit orientációs kapcsolatának vizsgálata duplex acélokban**. Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék. 2004
- [14] Archives of Material Science and Engineering vol. 28: **Microstructural Evolution in duplex cast steel after quench ageing process**. old.: Issue 9, Page 557-564. 2007
- [15] M. Sadeghian, M. Shamanian, A. Shafyei: **Effect of heat input on microstructure and mechanical properties of dissimilar joints between super duplex stainless steel and high strength low alloy steel**. Materials and Design journal homepage: www.elsevier.com/locate/matdes Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan 8415683111, Iran. 2014.04.13.

- [16] ESAB: **Best seller hegesztőanyagok**. Második kiadás. ESAB Kft. 1117 Budapest, Budafoki út 95-97. www.esab.hu 2010
- [17] Böhler Welding: **Welding guide**. 2-219-old. Böhler Schweißtechnik Austris GmbH, Böhler-Welding-St. 1. 8605 Kapfenberg, Austria 2009.06.
- [18] Böhler Welding: **Welding guide**. 2-260-old. Böhler Schweißtechnik Austris GmbH, Böhler-Welding-St. 1. 8605 Kapfenberg, Austria 2009.06.
- [19] CorWeld: **Hegesztőanyagok erősen ötvözött acélokhoz**. 1. kiadás. Corweld Plus Kft. 1119 Budapest, Andor utca 60. 2005
- [20] Bakos Levente: **LDX2404 duplex korrózióálló acél hegesztése**. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány És Technológia Tanszék, Budapest 2011.
- [21] Szerk.: Dr. Gáti József. **Hegesztési Zsebkönyv**, Szerzők: Dr. Béres Lajos, Dr. Gáti József, Dr. Gremesberger Géza, Dr. Komócsin Mihály, Dr. Kovács Mihály. 2. átdolgozott kiadás. Miskolc: Cokom Mérnökiroda Kft., 2003, 805 oldal. ISBN: 978 963 04 8287 5
- [22] Avesta: **Avesta welding wires: solid wires for all methods**. Avesta Welding AB. P.O. Box 501, Koppardalen, Svédország, 2007, SE- 774 27 Avesta.
- [23] Avesta: **The Avesta welding manual**. Avesta Welding AB. P.O. Box 501, Koppardalen, Svédország, 2004
- [24] http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0046_valoszinusegszamitas_es_statiztika/ch07s07.html
- [24] Outokumu: **How to weld: Type 2205 code plus two duplex stainless steel**. Outokumpu High Performance Stainless 500 Park Blvd., Suite 40, Itasca, IL 60143 USA 2013

11.2 Ábrajegyzék:

1.-ábra: A rozsdamentes acélok jellegzetes típusainak elhelyezkedése a kritikus lyukkorróziós hőmérséklet és a folyáshatár képezte anyag kiválasztási térképen	6
2. Ábra: Elérhető önsúlycsökkenés	7
3. Ábra: NSSC2120 tankerhajó Japánban	7
4. Ábra: S32101 használatával elérhető falvastagság-csökkenés.....	8
5. Ábra: PRE _N - lyukkorrózió-állósági együttható	8
6. Ábra: Fajlagos hőbevitel számítási módja	9
7. Ábra: Korróziós tömegvesztés összehasonlítása	11
8. Ábra: A hőhatásövezet korrózióállósága és króm-nitridek keletkezése a fajlagos hőbevitel függvényében	11
9. Ábra: Az NSSC duplex anyagainak kínálata [8].....	12
10. Ábra: Volfrámelektrodás ívhegesztéshez használt áramforrás	15

11. Ábra: Gyökvédőgáz-elosztó készülék.....	16
12. Ábra: Huzalektródás ívhegesztéshez használt áramforrás és előtoló.....	17
13. Ábra: Bevont ektródás ívhegesztéshez használt áramforrás	18
14. Ábra: Vegyszeres mosás	20
15. Ábra: Élelőkészítés egyoldali hegesztéshez [23]	20
16. Ábra: Élelőkészítés gyökutánhegesztéssel készült varratokhoz [23].....	21
17. Ábra: Bevont elektródás töltősor, nehéz salakleválással	21
18. Ábra: Bevont elektródás töltő-takaró sor, könnyű salakleválással	21
19. Ábra: Bevont elektródás és huzalektródás varratok tisztítás előtt	22
20. Ábra: Huzalektródás töltő varrat.....	22
21. Ábra: Elfogadható gyökoldali átolvadás.....	23
22. Ábra: Gyöksor korona oldala.....	23
23. Ábra: 2-1 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	24
24. Ábra: 3-1 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	25
25. Ábra: 2-2 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	26
26. Ábra: 3-2 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	27
27. Ábra: 2-3 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	28
28. Ábra: 3-3 Kötés makroszerkezeti képei és értékelésük	29
29. Ábra: Alapanyag mikroszerkezete	30
30. Ábra: Durvult szemcsék a hőhatásövezetben.....	31
31. Ábra: Hall-Petch egyenlet.....	32
32. Ábra: 2-1 koronaoldali hőhatás övezete.....	33
33. Ábra: 2-1 töltősora és hőhatásövezete	33
34. Ábra: 2-1 gyök és töltősora.....	33
35. Ábra: 2-1 gyök és töltősora.....	33
36. Ábra: 2-2 takaró sorának hőhatásövezete	33
37. Ábra: 2-2 finomszemcsés ausztenit.....	33
38. Ábra: 3-2 töltősor és hőhatásövezete	34
39. Ábra: 2-2 2.-3. sor kapcsolata	34
40. Ábra: 2-1 gyök és első töltősor	34
41. Ábra: 2-2 gyöksor hőhatásövezete.....	34
42. Ábra: 2-3 1.-4.(gyökutánhegesztett) sor kapcsolata.....	35
43. Ábra: 3-3 gyöksor mikroszerkezete	35

44. Ábra: Ferritszkópos mérés, mérési pontok helye a munkadarabon	37
45. Ábra: Takarósor varrata és hőhatásövezete (kék vonalak között).....	39
46. Ábra: Képelemző módszeres ferrittartalom-vizsgálat.....	40
47. Ábra: Tűrés számítás képlete	40

11.3 Diagram és táblázatjegyzék

1. Diagram: A gyökoldali keménységek összevetve az eredő fajlagos hőbevitellel.....	42
2. Diagram: A koronaoldali keménység az eredő fajlagos hőbevétel szerint sorba rendezve	42
3. Diagram: A koronaoldal keménység a munkadarabok takaró sorának fajlagos hőbevitelére szerint növekvő sorba rendezve	43
4. Diagram: Az egyes munkadarabok ausztenittartalma az eredő fajlagos hőbevitelére szerint növekvő sorba rendezve	44

Táblázat 1: Kísérlet során felhasznált anyagok mechanikai tulajdonságai	12
Táblázat 2: Felhasznált hegesztőanyagok és gyártói használati javaslat	13
Táblázat 3: Pórbatestek varratsorai és az azokhoz tartozó fajlagos hőbevétel	19
Táblázat 4: Hegesztési eljárás és alapanyag összesítő	19
Táblázat 5: A hegesztett kötések okozta vetemedés	23
Táblázat 6: Szemcsenagyság a koronaoldali hőhatásövezetben	32
Táblázat 7: Szemcsenagyság a gyökoldali hőhatásövezetben.....	32
Táblázat 8: Keménységmérési eredmények (HV0,1)	36
Táblázat 9: A 2-1 próbatest ferritszkópos szövetelem mérésének eredményei	38
Táblázat 10: Ferritszkópos mérés eredményei	41

12 Melléklet

12.1 Varratkisérő lap 2-1

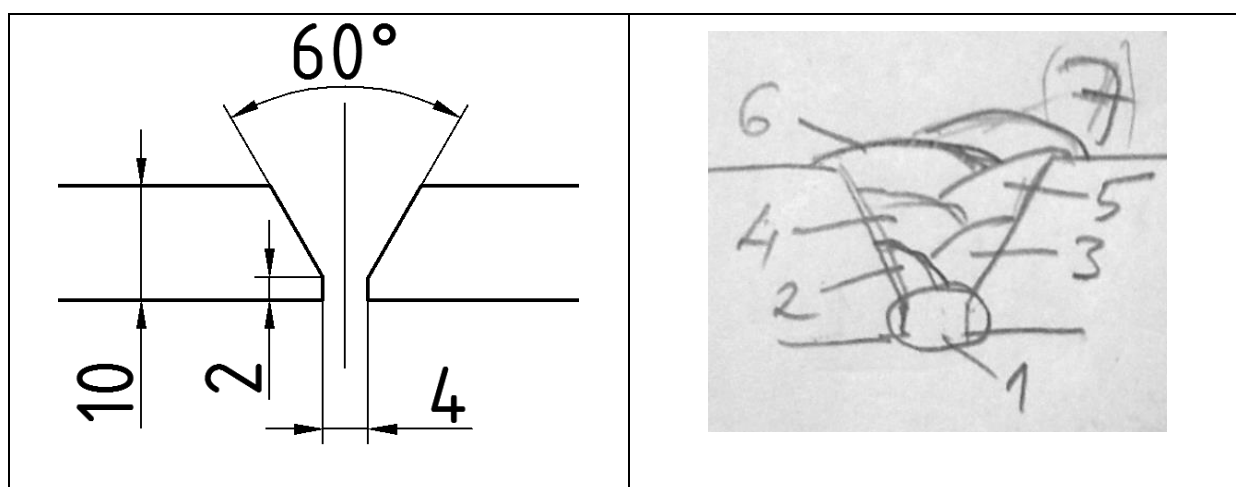
No:2-1

Varratkisérő lap

Alapanyag	Védőgáz		Heganyag	141	111
2	Korona	Gyök	Típus	BÖ CN 22/9 N-iG	CW E2209
	Ar	Ar	Jelölés	W 22 9 3 NL	E 22 9 3 N L R 32
t=10	100%	100%	átmérő	2	3,2
l=120	12 l/min	2 l/min	Elhasznált	1	4

Kötés Vázlata

Varratfelépítés



Sor	I	U	huzal		v		T0	Qfajlagps	T1
No	[A]	[V]	[m/min]	[mm/s]	[cm/min]	[mm/s]	[C°]	[kJ/mm]	[C°]
1	133	14	0,35	5,9	6,15	1,03	25	1,09	150
2	100	25	0,25	4,22	22,50	3,75	60	0,53	216
3	100	25	0,27	4,51	19,46	3,24	60	0,62	238
4	100	25	0,28	4,72	20,00	3,33	65	0,60	260
5	100	25	0,24	3,95	18,95	3,16	75	0,63	280
6	100	28	0,31	5,19	13,58	2,26	40	0,99	150
7	100	26	0,28	4,71	14,12	2,35	45	0,88	260
Sor	theg	lheganyag	Megjegyzés						
No	[s]	[mm]	[-]						
1	117	690	-						
2	32	135	-						
3	37	167	-						
4	36	170	-						
5	38	150	lengetés 5mm						
6	53	275	lengetés 10mm						
7	51	240	lengetés 10mm						

Dátum:2014.10.13.

Hegesztette: Uzonyi Sándor

Ellenőrizte: Asztalos Lilla

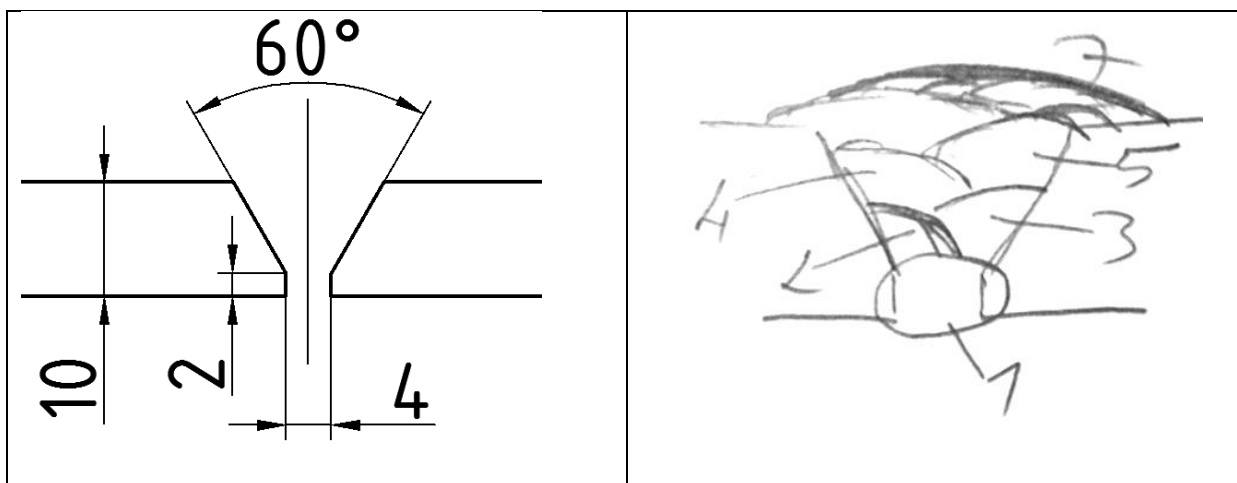
12.2 Varratkisérő lap 3-1

No: Varratkisérő lap

Alapanyag	Védőgáz		Heganyag	141	111
3	Korona	Gyök	Típus	BÖ CN 22/9 N-iG	CW E2209
	Ar	Ar	Jelölés	W 22 9 3 NL	E 22 9 3 N L R 32
t=10	100%	-	átmérő	2	3,2
l=120	12 l/min	2 l/min	Elhasznált	1	4

Kötés Vázlata

Varratfelépítés



Sor	I	U	huzal		v		T0	Qfajlagps	T1
No	[A]	[V]	[m/min]	[mm/s]	[cm/min]	[mm/s]	[C°]	[kJ/mm]	[C°]
1	125	13	27,69	4,62	6,15	1,03	60	0,95	170
2	100	25	26,25	4,38	22,50	3,75	60	0,53	160
3	100	25	36,77	6,13	23,23	3,87	65	0,52	240
4	100	25	27,63	4,61	18,95	3,16	70	0,63	220
5	100	24	32,25	5,38	18,00	3,00	35	0,64	190
6	100	27	28,39	4,73	12,86	2,14	60	1,01	190
7	100	29	29,41	4,90	14,12	2,35	80	0,99	270
Sor	theg	lheganyag	Megjegyzés						
No	[s]	[mm]	[-]						
1	117	690	-						
2	32	135	-						
3	37	167	-						
4	36	170	-						
5	38	150	lengetés 5mm						
6	53	275	lengetés 10mm						
7	51	240	lengetés 10mm						

Dátum:2014.10.13.

Hegesztette: Uzonyi Sándor

Ellenőrizte: Asztalos Lilla

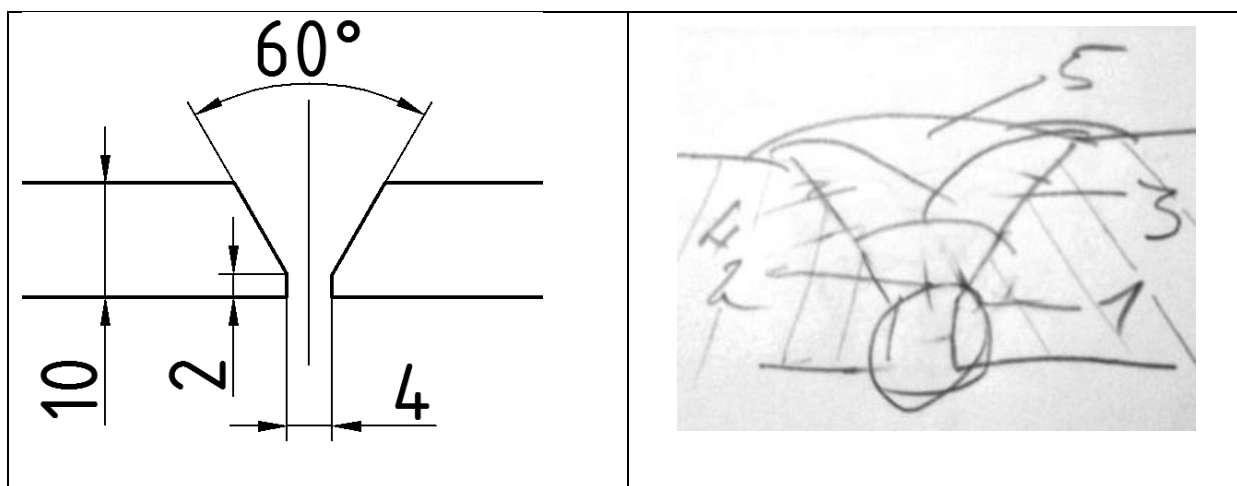
12.3 Varratkísérő lap 2-2

No: Varratkísérő lap

Alapanyag	Védőgáz		Heganyag	141	136
2	Korona	Gyök	Típus	BÖ CN 22/9 N-iG	BÖ CN24/9 LDX PW-FD
	Ar 100%	Ar	Jelölés	W 22 9 3 NL	T Z 24 9 N L P M 21
t=10	Ar+CO2 82/18	100%	átmérő	2	1,2
l=120	12 l/min	2 l/min	Elhasznált	1	-

Kötés Vázlata

Varratfelépítés



Sor	I	U	huzal		v		T0	Qfajlagps	T1
No	[A]	[V]	[m/min]	[mm/s]	[cm/min]	[mm/s]	[C°]	[kJ/mm]	[C°]
1	125	13	0,3	5	5,33	0,89	40	1,02	127
2	155	27	5,5	92	37,89	6,32	33	0,59	200
3	191	30	10	167	42,35	7,06	24	0,76	170
4	190	30	9,9	165	42,35	7,06	50	0,68	230
5	144	25	5,5	92	42,35	7,06	30	1,46	220
6									
7									
Sor	theg	lheganyag	Megjegyzés						
No	[s]	[mm]	[-]						
1	126	595	-						
2	21	1925	-						
3	20	3333	-						
4	18	2970	-						
5	61	5592	lengetés 15mm						

Dátum:2014.10.13.

Hegesztette: Uzonyi Sándor

Ellenőrizte: Asztalos Lilla

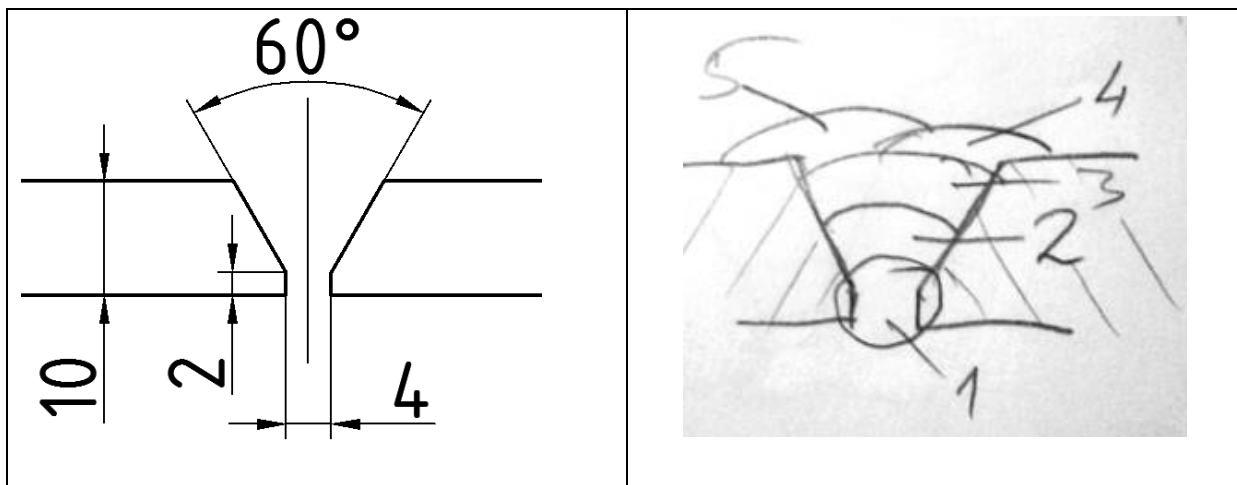
12.4 Varratkisérő lap 3-2

No: Varratkisérő lap

Alapanyag	Védőgáz		Heganyag	141	136
3	Korona	Gyök	Típus	BÖ CN 22/9 N-iG	BÖ CN24/9 LDX PW-FD
	Ar 100%	Ar	Jelölés	W 22 9 3 NL	T Z 24 9 N L P M 21
t=10	Ar+CO2 82/18	100%	átmérő	2	1,2
l=120	12 l/min	2 l/min	Elhasznált	1	-

Kötés Vázlata

Varratfelépítés



Sor No	I [A]	U [V]	huzal		v		T0 [C°]	Qfajlagps [kJ/mm]	T1 [C°]
1	125	13	0,28	4,59	5,33	0,89	45	1,10	245
2	155	27	7,5	125,00	37,89	6,32	60	0,53	270
3	191	30	10	166,67	42,35	7,06	60	0,65	350
4	191	30	9,9	165,00	42,35	7,06	35	0,65	260
5	191	30	5,5	91,67	42,35	7,06	45	0,65	150
6									
7									
Sor No	theg [s]	lhanyag [mm]	Megjegyzés [-]						
1	135	620	-						
2	19	2375	-						
3	17	2833	-						
4	17	2805	-						
5	17	1558	-						

Dátum:2014.10.13.

Hegesztette: Uzonyi Sándor

Ellenőrizte: Asztalos Lilla

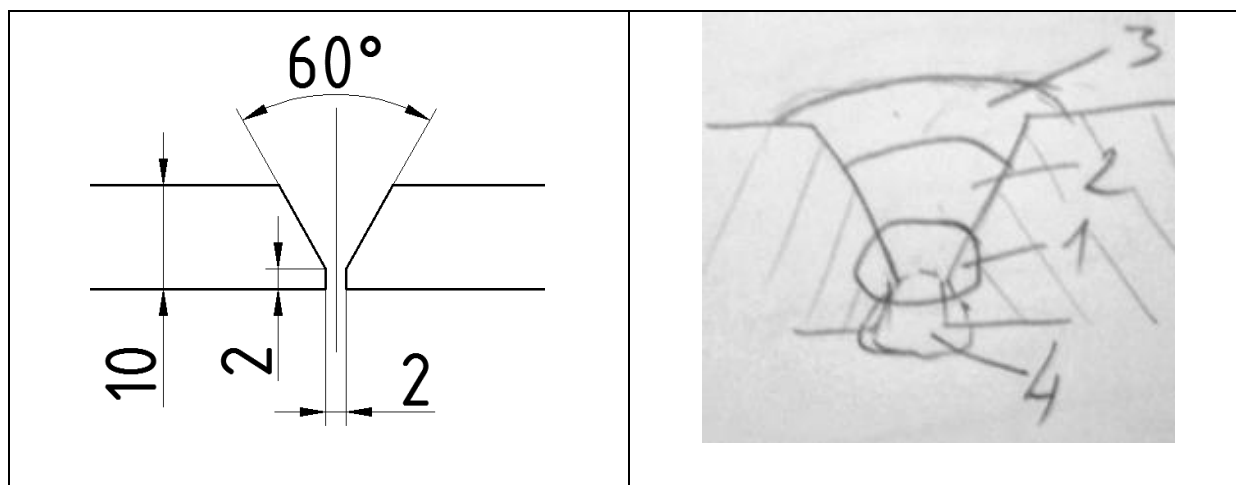
12.5 Varratkisérő lap 2-3

No: Varratkisérő lap

Alapanyag	Védőgáz		Heganyag	141	136
2	Korona	Gyök	Típus	BÖ CN 22/9 N-iG	BÖ CN24/9 LDX PW-FD
	Ar 100%	Ar	Jelölés	W 22 9 3 NL	T Z 24 9 N L P M 21
t=10	Ar+CO2 82/18	100%	átmérő	2	1,2
l=120	12 l/min	2 l/min	Elhasznált	1	-

Kötés Vázlata

Varratfelépítés



Sor No	I [A]	U [V]	huzal		v		T0 [C°]	Qfajlagps [kJ/mm]	T1 [C°]
			[m/min]	[mm/s]	[cm/min]	[mm/s]			
1	125	13	0,1	2	6,26	1,04	50	0,93	200
2	155	27,5	5,5	92	37,89	6,32	55	0,54	120
3	290	33	10,0	167	45,00	7,50	26	1,02	240
4	125	24,5	9,9	165	42,35	7,06	26	0,35	140
5									
6									
7									

Sor No	theg [s]	lheganyag [mm]	Megjegyzés [-]
1	115	255	-
2	19	1742	-
3	16	2667	-
4	17	2805	lengetés 10mm

Dátum:2014.10.13.

Hegesztette: Uzonyi Sándor

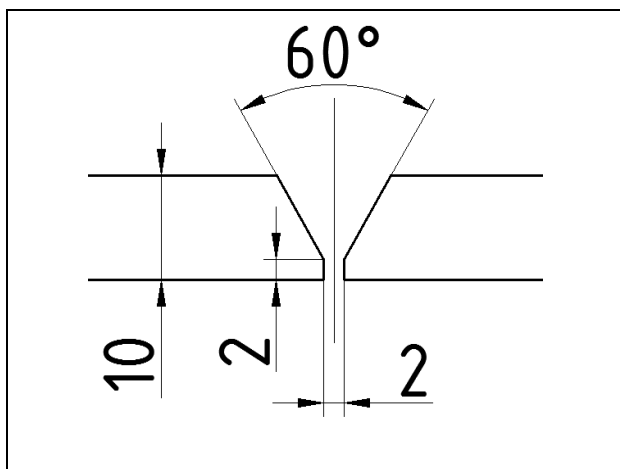
Ellenőrizte: Asztalos Lilla

12.6 Varratkisérő lap 3-3

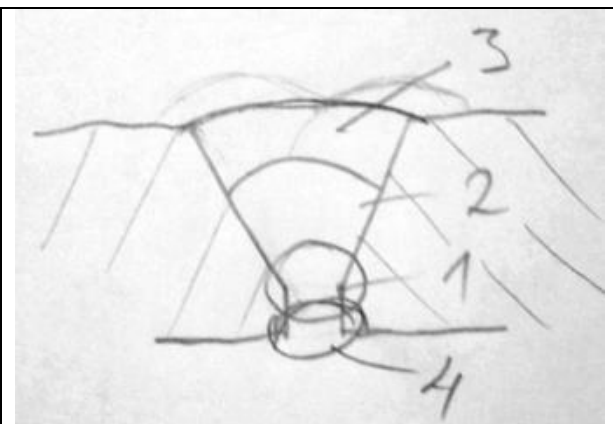
No: Varratkisérő lap

Alapanyag	Védőgáz		Heganyag	141	136
3	Korona	Gyök	Típus	BÖ CN 22/9 N-iG	BÖ CN24/9 LDX PW-FD
	Ar 100%	Ar	Jelölés	W 22 9 3 NL	T Z 24 9 N L P M 21
t=10	Ar+CO2 82/18	100%	átmérő	2	1,2
l=120	12 l/min	2 l/min	Elhasznált	1	-

Kötés Vázlata



Varratfelépítés



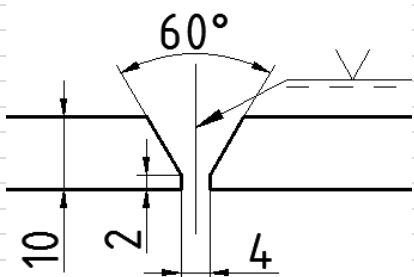
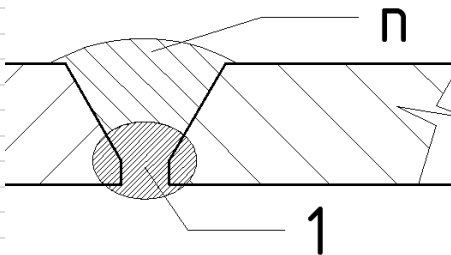
Sor	I	U	huzal		v		T0	Qfajlagps	T1
No	[A]	[V]	[m/min]	[mm/s]	[cm/min]	[mm/s]	[C°]	[kJ/mm]	[C°]
1	140	14	0,14	2,28	5,76	0,96	40	1,23	220
2	155	28,5	5,5	91,67	26,67	4,44	30	0,80	170
3	291	36	10	166,67	42,35	7,06	37	1,19	230
4	125	30	9,9	165,00	32,73	5,45	50	0,55	200
5									
6									
7									
Sor	theg	lheganyag	Megjegyzés						
No	[s]	[mm]	[-]						
1	125	285	-						
2	27	2475	-						
3	17	2833	-						
4	22	3630	lengetés 10mm						

Dátum:2014.10.13.

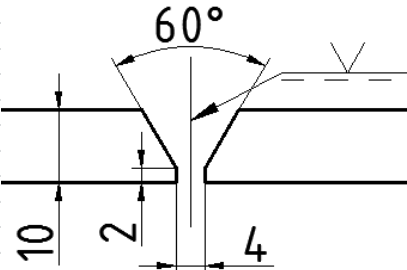
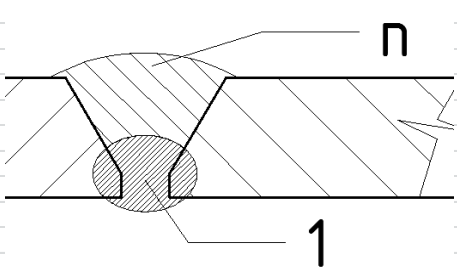
Hegesztette: Uzonyi Sándor

Ellenőrizte: Asztalos Lilla

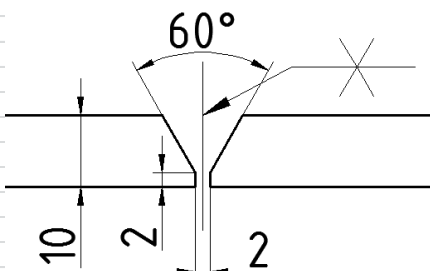
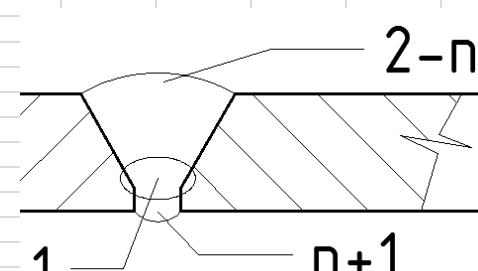
12.7 pWPS Egyoldali, bevont elektródás varratokhoz

		Tudományos Diákköri Konferencia Anyagtudomány Szekció				WPS: ss_nb_E Rev.: 0 Oldal: 1/1					
előzetes Gyártói Hegesztéstechnológiai Utasítás (pWPS)											
Telephely:		BME ATT G épület Hegesztési Laboratórium		Alapanyag1		NSSC DX1 (2) vagy NSSC 2120 (3)					
WPQR-szám:		-		Alapanyag2		NSSC DX1 (2) vagy NSSC 2120 (3)					
Gyártó:		Hegesztési Szakosztály		Előkészítés/tisztítás:		forgácsolás, zsírtalanítás					
Hegesztési eljárás:		141/111 TIG/E		Falvastagság [mm]		10					
Anyagátmenet:		-- / N. A.		Külső átmérő [mm]:		-					
Kötéstípus:		BW		Hegesztő minősítés EN287-1:		-					
Hegesztő neve**):				Tanúsító szervezet**):							
Kialakítás (Vázlat)				Varratkialakítás							
											
Hegesztési paraméterek:											
Sor No.	Hegesztési eljárás	Hegesztési pozíció	Hegesztő anyag átmérő [mm]	Hegesztő áram [A]	Feszültség [V]	Polaritás	Huzal-előtolási sebesség [m/min]	Hegesztési sebesség [cm/min]	Fajlagos hőbevitel [kJ/mm]	Előmelegítési hőmérséklet [°C]	Megjegyzés
1	141	PA	2	110-140	13-15	=/-	-	-	-	min RT	I 1
2-n	111	PA	3,25	75-100	20-30	=/+	-	-	-	min RT	-
Hegesztőanyag gyártmánya és szbványos jelölése: W 22 9 3 NL 2 + E 22 9 3 N L R 32								Egyéb információ *) Varrat előkészítése: él kialakítása forgácsolással, majd zsírolás, rozsdamarós és hígítás mosás! Varratokat soronként visszaköszörölni!			
Száritásra vonatkozó követelmények: -- / N. A.											
Védőgáz/fedőpor: - Korona oldal: 11 Ar 4.6 - Gyökoldal: 11 Ar 4.6											
Térfogatáram: - Korona oldal [l/min]: 10-12 - Gyök oldal [l/min]: 2											
Volfrámelektród típusa/átmérője: Ø1,6 WT20								*) Elfogadási szint EN 5817 szerint: class B			
Él előkészítés Gyöktámasz Sorközi Hőmérséklet [°C] 150°C								Megjegyzés: Hegesztés során varratkiserő lap készítése kötelező!			
Hegesztés utáni hőkezelés*) Eljárás: -- / N. A. Hőntartási hőmérséklet [h]: -- / N. A. Fűtési sebesség*) [°C/h]: -- / N. A. Hűtési sebesség*) [°C/h]: -- / N. A.											
Készített: Uzonyi Sándor				Ellenőrizte:		Jóváhagyta:					
Név, dátum, aláírás				Név, dátum, aláírás		Név, dátum, aláírás					
*) Amennyiben szükséges **) Csak WPQR-hez								Minden jog fenntartva EN ISO 15609-1 szerint			

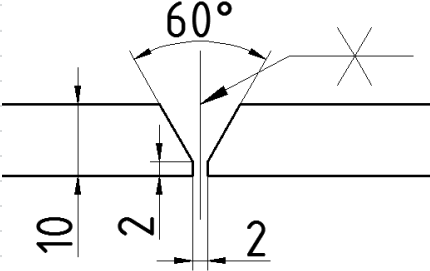
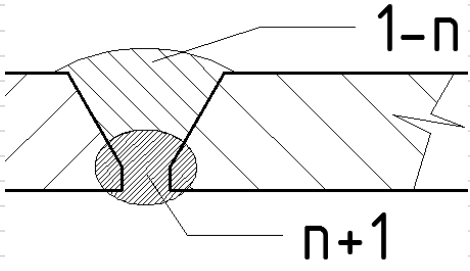
12.8 pWPS Egyoldali, portöltetű huzalelektrodás varratokhoz

		Tudományos Diákköri Konferencia Anyagtudomány Szekció				WPS: ss_nb_FCAW Rev.: 0 Oldal: 1/1					
előzetes Gyártói Hegesztéstechnológiai Utasítás (pWPS)											
Telephely:		BME ATT G épület Hegesztési Laboratórium		Alapanyag1		NSSC DX1 (2) vagy NSSC 2120 (3)					
WPQR-szám:		-		Alapanyag2		NSSC DX1 (2) vagy NSSC 2120 (3)					
Gyártó:		Hegesztési Szakmunkatárs		Előkészítés/tisztítás:		forgácsolás, zsírtalanítás					
Hegesztési eljárás:		141/136 TIG/FCAW		Falvastagság [mm]		10					
Anyagátmenet:		-- / N. A.		Külső átmérő [mm]:		-					
Kötéstípus:		BW		Hegesztő minősítés EN287-1:		-					
Hegesztő neve**):				Tanúsító szervezet**):							
Kialakítás (Vázlat)				Varratkialakítás							
											
Hegesztési paraméterek:											
Sor No.	Hegesztési eljárás	Hegesztési pozíció	Hegesztő anyag átmérő [mm]	Hegesztő áram [A]	Feszültség [V]	Polaritás	Huzal- előtolási sebesség [m/min]	Hegesztési sebesség [cm/min]	Fajlagos hőbevitel [kJ/mm]	Előmelegítési hőmérséklet [°C]	Megjegyzés
1	141	PA	2	110-140	13-15	=/-	-	-	-	min RT	I 1
2-n	136	PA	1,2	100-200	28-35	=/+	-	-	-	min RT	M21
Hegesztőanyag gyártmánya és szbványos jelölése:								Egyéb információ *)			
W 22 9 3 NL 2 + T Z24 9 N L P M21								Varrat előkészítése: él kialakítása forgácsolással, majd zsírtalanítás, rozsdamarás és hígító mosás! Varratokat soronként visszaközösörlni!			
Szártásra vonatkozó követelmények:								-- / N. A.			
Védőgáz/fedőpor:								Ar 4.6			
Korona oldal: I1 Gyökoldal: I1								Corgon 18			
Térfogatáram:								Ar 4.6			
Korona oldal [l/min]: 10-12 Gyök oldal [l/min]: 2								10-15			
Volfrámelektrod típusa/átmérője:								WT20			
Él előkészítés								Vázlat			
Gyóktámasz								Vázlat			
Sorközi Hőmérséklet [°C]								150°C			
Hegesztés utáni hőkezelés*)								class B			
Eljárás:								-- / N. A.			
Hőntartási hőmérséklet [h]:								-- / N. A.			
Fűtési sebesség*) [°C/h]:								-- / N. A.			
Hűtési sebesség*) [°C/h]:								-- / N. A.			
Készített:				Ellenőrizte:				Jóváhagyta:			
Uzonyi Sándor											
Név, dátum, aláírás				Név, dátum, aláírás				Név, dátum, aláírás			
*) Amennyiben szükséges								EN ISO 15609-1 szerint			
**) Csak WPQR-hez								Minden jog fenntartva			

12.9 pWPS Kétoldali portöltetű huzalelektródás varratokhoz

		Tudományos Diákköri Konferencia Anyagtudomány Szekció				WPS: bs Rev.: 0 Oldal: 1/1					
előzetes Gyártói Hegesztéstechnológiai Utasítás (pWPS)											
Telephely:		BME ATT G épület Hegesztési Laboratórium		Alapanyag1		NSSC DX1 (2) vagy NSSC 2120 (3)					
WPQR-szám:		-		Alapanyag2		NSSC DX1 (2) vagy NSSC 2120 (3)					
Gyártó:		Hegesztési Szakmunkatály		Előkészítés/tisztítás:		forgácsolás, zsírtalanítás					
Hegesztési eljárás:		141/136 TIG/FCAW		Falvastagság [mm]		10					
Anyagátmenet:		-- / N. A.		Külső átmérő [mm]:		-					
Kötéstípus:		BW		Hegesztő minősítés EN287-1:		-					
Hegesztő neve**):				Tanúsító szervezet**):							
Kialakítás (Vázlat)				Varratkialakítás							
											
Hegesztési paraméterek:											
Sor No.	Hegesztési eljárás	Hegesztési pozíció	Hegesztő anyag átmérő [mm]	Hegesztő áram [A]	Feszültség [V]	Polaritás	Huzal-előtolási sebesség [m/min]	Hegesztési sebesség [cm/min]	Fajlagos hőbevitel [kJ/mm]	Előmelegítési hőmérséklet [°C]	Megjegyzés
1	141	PA	2	110-140	13-15	=/-	-	-	-	min RT	I 1
2-n	136	PA	1,2	150-300	25-35	=/+	-	-	-	min RT	M21
n+1	136	PA	1,2	100-150	23-27	=/+	-	-	-	minRT	M21
Hegesztőanyag gyártmánya és szbványos jelölése:						Egyéb információ *)					
W 22 9 3 NL 2 + T Z24 9 N L P M21						Varrat előkészítése: él kialakítása forgácsolással, majd zsírolás, rozsdamarós és hígító mosás! Varratokat soronként visszaköszörölni!					
Száritásra vonatkozó követelmények:						-					
Védőgáz/fedőpor:											
◦ Korona oldal:						I1	M21				
◦ Gyökoldal:						I1	-				
Térfogatáram:											
◦ Korona oldal [l/min]:						10-12	10-15				
◦ Gyök oldal [l/min]:						2	-				
Volfrámelektrod típusa/átmérője:						Ø1,6	WT20				
Élelőkészítés						Vázlat					
Gyöktámasz						Vázlat					
Sorközi Hőmérséklet [°C]						150°C					
Hegesztés utáni hőkezelés*)											
Eljárás:						-- / N. A.					
Hőntartási hőmérséklet [h]:						-- / N. A.					
Fűtési sebesség*) [°C/h]:						-- / N. A.					
Hűtési sebesség*) [°C/h]:						-- / N. A.					
Készített:				Ellenőrizte:		Jóváhagyta:					
Uzonyi Sándor											
Név, dátum, aláírás				Név, dátum, aláírás		Név, dátum, aláírás					
*) Amennyiben szükséges **) Csak WPQR-hez											
Minden jog fenntartva											

12.10 Módosított pWPS a kutatás eredményei alapján

		Tudományos Diákköri Konferencia Anyagtudomány Szekció				WPS: bs					
						Rev.: 1					
						Oldal: 1/1					
előzetes Gyártói Hegesztéstechnológiai Utasítás (pWPS)											
Telephely:	BME ATT G épület Hegesztési Laboratórium			Alapanyag1	NSSC DX1 (2) vagy NSSC 2120 (3)						
WPQR-szám:	-			Alapanyag2	NSSC DX1 (2) vagy NSSC 2120 (3)						
Gyártó:	Hegesztési Szakcsoport			Előkészítés/tisztítás:	forgácsolás, zsírtalanítás						
Hegesztési eljárás:	141/136	TIG/FCAW		Falvastagság [mm]	10						
Anyagátmenet:	-- / N. A.			Külső átmérő [mm]:	-						
Kötéstípus:	BW			Hegesztő minősítés EN287-1:	-						
Hegesztő neve**):				Tanúsító szervezet**):							
Kialakítás (Vázlat)				Varratkialakítás							
											
Hegesztési paraméterek:											
Sor No.	Hegesztési eljárás	Hegesztési pozíció	Hegesztő anyag átmérő [mm]	Hegesztő áram [A]	Feszültség [V]	Polaritás	Huzal-előtolási sebesség [m/min]	Hegesztési sebesség [cm/min]	Fajlagos hőbevitel [kJ/mm]	Előmelegítési hőmérséklet [°C]	Megjegyzés
1-n	136	PA	1,2	150-300	25-35	=/+	-	-	-	min RT	M21
n+1	136	PA	1,2	100-150	23-27	=/+	-	-	-	minRT	M21
Hegesztőanyag gyártmánya és szabványos jelölése:						Egyéb információ *)					
W 22 9 3 NL 2 + T Z24 9 N L P M21						Varrat előkészítése: él kialakítása forgácsolással, majd zsírtalanítás, rozsdadarálás és hígítás mosás! Varratokat soronként visszaköszörölni!					
Szártásra vonatkozó követelmények:											
Védőgáz/fedőpor:											
◦ Korona oldal: M21						Corgon 18					
◦ Gyökoldal: -											
Térfogatáram:											
◦ Korona oldal [l/min]: 10-15											
◦ Gyök oldal [l/min]: -											
Volfrámelektrod típusa/átmérője:						class B					
Élelőkészítés						Vázlat					
Gyöktámasz						Vázlat					
Sorközi Hőmérséklet [°C]						150°C					
Hegesztés utáni hőkezelés*)						Megjegyzés:					
Eljárás: -- / N. A.						Hegesztés során varratkiséreő lap készítése kötelező!					
Hőntartási hőmérséklet [h]: -- / N. A.											
Fűtési sebesség*) [°C/h]: -- / N. A.											
Hűtési sebesség*) [°C/h]: -- / N. A.											
Készített:				Ellenőrizte:		Jóváhagyta:					
Uzonyi Sándor											
Név, dátum, aláírás				Név, dátum, aláírás		Név, dátum, aláírás					
*) Amennyiben szükséges EN ISO 15609-1 szerint											
**) Csak WPQR-hez											
Minden jog fenntartva											