



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Gépészmérnök Szak

**Hidrogéntartály hegesztéstechnológiai tervezése és
anyagvizsgálata**

Belső konzulens: Dr.Kári-Horváth Attila
egyetemi docens

Külső konzulens: Filius Balázs
Hegesztőmérnök

Készítette: Bara Adrián
EYCOCA
nappali

Intézet/Tanszék: Anyagtudományi és Gépipari
Folyamatok Tanszék

Gödöllő
2025



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Gépgyártó specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Bara Adrián (EYC0VA)

részére

A szakdolgozat címe:

Hidrogéntartály hegesztéstechnológiai tervezése és anyagvizsgálata

Feladatkiírás:

Bevezetés, cégbemutató, szakirodalom feldolgozása, probléma bemutatása, hegesztéstechnológia tervezése, anyagvizsgálatok, összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi- és Gépipari Folyamatok

Külső konzulens: *Filtusz Balázs*, hegesztőmérnök, Gyémánt Pirazol KFT.

Belső konzulens: *Dr. Kári-Horváth Attila*, egyetemi docens, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Műszaki Intézet

Beadási határidő: 2025. november 04

Gödöllő, 2025. szeptember 08

Jóváhagyom

Átvettem

(tanszékvezető)

(szakfelelős)

(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Gödöllő, 2025. 10. 02

(külső konzulens)

Tartalom

1.	Bevezetés.....	5
2.	Cégbemutató	6
3.	Szakirodalom feldolgozása	7
3.1.	Anyagbemutató.....	7
3.1.1.	Általános bemutatás.....	7
3.1.2.	Szerkezeti acélok	8
3.1.3.	Nyomástartó edények	9
3.2.	Hegesztési technológiák bemutatása.....	10
3.2.1.	121-SAW (Fedett ívű hegesztés).....	10
3.2.2.	141-TIG (Argon védőgázos ívhegesztés,AWI) bemutatása.....	12
3.3.	Anyagvizsgálat.....	14
3.3.1.	Szakítóvizsgálat jellemzői és folyamata.....	14
3.3.2.	Fémek hajlítóvizsgálata	16
3.3.3.	Charpy-féle ütővizsgálat.....	17
3.3.4.	Keménységmérési módszerek	18
3.3.5.	Vickers keménységmérés	19
3.3.6.	Röntgensugaras vizsgálat	20
4.	Probléma bemutatása.....	22
4.1.	A hegesztési eljárások kiválasztásának problémái	23
4.2.	A kötésekkel szemben támasztott követelmények.....	23
4.3.	A vizsgálati módszerek alkalmazásának indoklása	24
4.4.	Megoldási koncepció	24
5.	Hegesztési technológia tervezése	26
5.1.	121-SAW (Fedett ívű hegesztés)	26
5.2.	141-TIG (Argon védőgázos ívhegesztés,AWI)	30

6.	Anyagvizsgálatok	33
6.1.	Vickers keménységmérés.....	33
6.2.	Szakítóvizsgálat	37
6.3.	Charpy-féle ütővizsgálat	48
6.4.	Hajlító vizsgálat	50
6.5.	Röntgen vizsgálat.....	52
7.	Összefoglalás.....	54
8.	Summary	56
9.	Nyilatkozatok	58
10.	Irodalomjegyzék	60
11.	Mellékletek jegyzéke	63

1. Bevezetés

A hegesztett szerkezetek napjainkban kiemelt szerepet töltenek be a gépiparban és a nehéziparban. Számos berendezés, nyomástartó edény és acélszerkezet készül hegesztési technológiák alkalmazásával, mivel ezek lehetővé teszik a nagy szilárdságú, tartós és gazdaságos szerkezetek létrehozását. A hegesztés technológiai tervezése és a helyes kivitelezés kulcsfontosságú a biztonság és a hosszú élettartam szempontjából, különösen a kritikus varratok esetében, amelyek kiemelt igénybevételnek vannak kitéve. Szakdolgozatom témája a Hegesztett szerkezet gyártástervezése, ezen belül a hidrogéntartály hegesztett szerkezetének kritikus varrataira vonatkozó hegesztéstechnológiai tervezés. A hidrogéntartályok gyártása során a biztonság kiemelt jelentőségű, hiszen a tárolt közeg nagy nyomása és a hidrogén sajátos tulajdonságai miatt a legkisebb hegesztési hiba is komoly kockázatot jelenthet. Ezért a megfelelő hegesztési eljárás kiválasztása, a technológiai paraméterek precíz beállítása és a varratok alapos ellenőrzése elengedhetetlen a megbízható és biztonságos működéshez. A dolgozat elkészítését a Gyémánt-Pirazol Kft. tette lehetővé, ahol a gyakorlati vizsgálatok elvégzésére is lehetőségem nyílt. A cég jelentős tapasztalattal rendelkezik nyomástartó berendezések és egyéb hegesztett szerkezetek gyártásában, így ideális környezetet biztosított a technológiai kísérletekhez és a mérésekhez. A munkám során a kiválasztott kritikus varratokra két eltérő hegesztési eljárást alkalmaztam: a fedett ívű hegesztést (SAW) és a volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztést (AWI/TIG). A két technológia összehasonlítása lehetőséget adott annak bemutatására, hogy milyen előnyökkel és korlátokkal rendelkeznek, és miként alkalmazhatók egy kritikus szerkezet, jelen esetben a hidrogéntartály gyártása során. A hegesztési technológiák megtervezését követően a kivitelezett varratok minőségét különböző mérési és anyagvizsgálati eljárásokkal ellenőriztem. A vizsgálatok célja az volt, hogy igazoljam a hegesztési eljárások alkalmasságát, valamint a varratok mechanikai és szerkezeti megfelelőségét a biztonsági követelményeknek. A vizsgálatok középpontjában a keménység, a szakítószilárdság, a folyáshatárok, az ütésállóság, a hajlítóvizsgálatok és a röntgenvizsgálatok álltak, amelyek együttesen biztosították a kritikus varratok teljesítményének alapos értékelését.

2. Cégbemutató

A **Gyémánt-Pirazol Kft.** egy magyar vállalat, amely több mint 30 éves tapasztalattal rendelkezik az egyedi gépgyártás területén. A cég kifejezetten a gyógyszeripar, vegyipar, élelmiszeripar és agráripar számára fejleszt és gyárt speciális berendezéseket, amelyek magas színvonalú mérnöki megoldásokat kínálnak a különféle ipari kihívásokra. A vállalat filozófiája az innováció és a minőség iránti elkötelezettségre épül, amely a folyamatos fejlesztésekben és a modern technológiai megoldások alkalmazásában nyilvánul meg.

A Gyémánt-Pirazol Kft. telephelyei Magyarország több pontján helyezkednek el, így Debrecenben, Budapesten, Vecsésen, Salgótarjánban és Kazincbarcikán is megtalálhatók. Ezek a telephelyek összesen mintegy 7500 m² daruzott gyártóterülettel rendelkeznek, ami lehetővé teszi a vállalat számára, hogy nagy volumenben, ugyanakkor a legapróbb részletekig kidolgozott gépeket és berendezéseket állítson elő. Minden egyes telephely speciális felszereltséggel rendelkezik, amely a különböző iparági igények kielégítésére alkalmas, legyen szó akár kis sorozatú, egyedi gyártásról, akár nagyméretű ipari rendszerek összeszereléséről. A cég vezetését Lantos Zsolt látja el, aki az ügyvezető igazgatói poszt mellett a vállalat 100 %-os tulajdonosa is. Lantos úr vezetése alatt a Gyémánt-Pirazol Kft. jelentős növekedést ért el mind a hazai, mind a nemzetközi piacon, köszönhetően az ügyfélközpontú megközelítésnek és a magas színvonalú szolgáltatásoknak. Az igazgató helyettese, Újfalusi Jolán, szintén jelentős szerepet játszik a cég stratégiájának kialakításában és operatív irányításában. Az igazgató helyettes műszaki szakértelme és menedzsment tapasztalata biztosítja, hogy a vállalat a legmagasabb színvonalon működjön, és folyamatosan megfeleljen a piac változó igényeinek.

A Gyémánt-Pirazol Kft. kiemelkedő nemzetközi kapcsolatokkal rendelkezik, különösen a hajózási iparágban. A vállalat partnerei között olyan neves cégek találhatók, mint a Royal Caribbean, amelynek az Oasis hajócsalád számára gyárt hulladékégető kemencéket. Ezek a kapcsolatok nemcsak a vállalat technológiai színvonalát tükrözik, hanem annak képességét is, hogy alkalmazkodni tud a különböző ipari szabványokhoz és elvárásokhoz a globális piacon. Összességében a Gyémánt-Pirazol Kft. egy olyan dinamikusan fejlődő vállalat, amely elkötelezett az innováció, a minőség és az ügyfélelégedettség mellett. A cég célja, hogy továbbra is vezető szerepet töltsön be az egyedi gépgyártás területén, és hozzájáruljon a magyar ipar és gazdaság növekedéséhez.

3. Szakirodalom feldolgozása

3.1. Anyagbemutató

3.1.1. Általános bemutatás

Az anyagok technológiai tulajdonságai meghatározzák, hogy adott anyag alkalmas-e különböző gyártástechnológiák (öntés, forgácsolás, hegesztés, hidegalakítás) során történő alkalmazásra. Minden technológiánál külön kell vizsgálni az anyag megfelelő tulajdonságait.

Sav- és korrózióállóság A kültéri szerkezetek, mint oszlopok vagy vízvezető csatornák, korrózióálló acélból készülnek. Az acél rézzel, krómmal, nikkellel és foszforral való ötvözése passzíváló réteget képez, amely lassítja a korróziót.

Vegyszerállóság Bizonyos anyagok ellenállnak a vegyszerek károsító hatásainak, és így megfelelőek különböző ipari alkalmazásokhoz.

Önthetőség és hőkezelhetőség Az öntéshez használt anyagok, például acél, öntöttvas és alumíniumötvözetek, jó olvadási tulajdonságokkal és kis zsugorodással rendelkeznek. A hőkezelés javíthatja az anyagok tulajdonságait, például növelheti az acél keménységét, különösen, ha a szénttartalom 0,3%-nál nagyobb.

Forgácsolhatóság Az anyagok forgácsolhatósága nagyban függ azok keménységétől és szerkezetétől. Lágyabb anyagok könnyebben forgácsolhatók, míg keményebb anyagok esetében hőkezelésre lehet szükség.

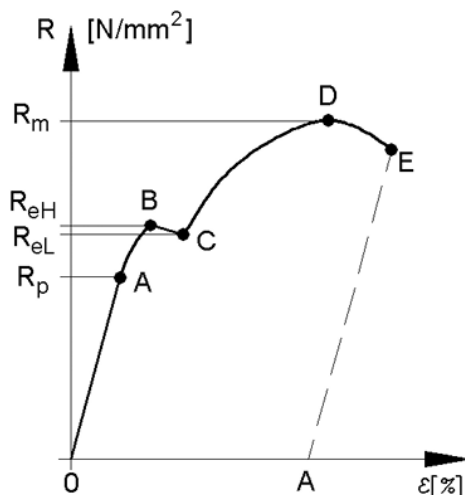
Mechanikai tulajdonságok Az anyagok szilárdsága, ridegsége és keménysége mérhető tulajdonságok. A szilárdság szakítóvizsgálattal, a keménység pedig behatoló szerszámmal végzett vizsgálatokkal határozható meg. Ridegtörés esetén a törést előzően nem történik képlékeny alakváltozás.

A mechanikai tulajdonságok meghatározzák, hogy az anyag hogyan viselkedik különböző igénybevételek alatt, így fontos szerepet játszanak a méretezésben és tervezésben.[3.]

3.1.2. Szerkezeti acélok

Az általános rendeltetésű, ötvöztelen szerkezeti acélok kereskedelmi forgalomba melegalakított, normalizált állapotban, vagy hidegalakított formában kerülnek. Ezek az acélok szilárdsági jellemzőik, mint a folyáshatár (R_{eH}) és a szakítószilárdság (R_m) alapján, elsősorban hegesztett szerkezetekben alkalmazhatók az építőiparban, járműiparban és gépiparban. Az alacsony széntartalmú acélok (0,06–0,3 %C) lágyak, jól hajlíthatók, alakíthatók és hegeszthetők. A közepes széntartalmú acélok (0,3–0,6 %C) jobban megmunkálhatók, forgácsolhatók és nagyobb szilárdságúak.

3.1. ábra lágyacél szakító diagrammja



A 3.1. ábrán a lágyacél szakító diagrammja látható függőleges tengelyen a feszültség és a vízszintes tengelyen a megnyúlás látható és leolvashatóak az anyag szilárdsági tulajdonságai.

Az általános rendeltetésű szerkezeti acélokat hegeszthetőség és ridegtörési hajlam alapján osztályozzák. Az MSz EN 10025-1 szabvány szerint az ötvöztelen szerkezeti acélok S185, S235, S275, S355, E295, E355 és E360 fajtákra vannak bontva, melyek mechanikai tulajdonságaikban eltérnek. Az S235 és S275 acélok minőségi csoportjai JR, J0 és J2, míg az S355 acél JR, J0, J2 és K2 csoportokban érhető el. Az S235 és S275 acélok J2 minőségi csoportján belül további különbséget tesznek a J2G3 és J2G4 között, ahol a G3 és G4 teljesen csillapított acélt jelentenek, míg a G1 csillapítatlan.[21.]

3.2. ábra Húzott szerkezeti acél



A 3.2-es ábrán látható a húzott szerkezeti acél rúdanyag. A hegeszthetőség szempontjából a JR, J0, J2G3, J2G4, K2G3 és K2G4 minőségi csoportba tartozó acélok minden hegesztési eljárásra alkalmasak. Az ilyen típusú acélok különböző profilokban, például lapos lemezek, „I” gerendák, zártszelvények, csövek és rudak formájában állnak rendelkezésre. A lapos lemez termékek akár felcsévélve is elérhetők.[12.]

A finomszemcsés, melegen hengerelt, hegeszthető szerkezeti acélokat az MSz EN 10113 szabvány írja le, amelyek az S275, S355, S420 és S460 fajtákat tartalmazzák. Ezek az acélok a garantált minimális felső folyáshatár alapján különböznek. A normalizált (N) és termomechanikusan kezelt (M) változatok különböző átmeneti hőmérsékleten alkalmazhatók, ahol az NL és ML jelölésű anyagok esetében az átmeneti hőmérséklet -50°C -ig terjedhet.

3.1.3. Nyomástartó edények

A nyomástartó berendezések gyártásában gyakran használnak ötvöztelen minőségi acélokat, amelyek különböző típusai, például a P235, P265, P275, P295, P355 és P460, különböző felső folyáshatár-értékekkel rendelkeznek, melyeket különböző hőmérsékleteken is garantálnak. Az acélok jelölésében a „GH” a nagy hőmérsékletű alkalmazásokra utal, míg az „N” jelölés a

3.3. ábra Nyomástartó edényből készült tartály



normalizált vagy szabályozott hőmérsékleten hengerelt állapotot jelenti. Például a P235GH ötvözetlen minőségi acél, amelynek normalizált állapotban a felső folyáshatára 235 N/mm². A 3.3 ábrán Nyomástartó edényből készült tartály látható.[1.][16.][17.][28.]

Anyagminőségek és Jellemzőik

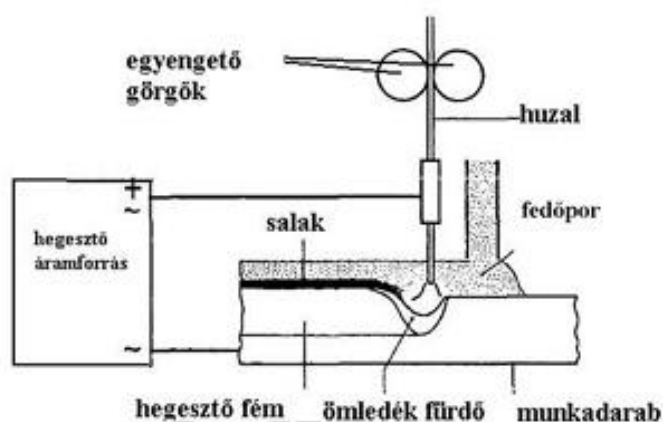
Az acélminőségek további jelölései különböző tulajdonságokat takarnak, mint például az alapminőség, melegszilárd minőség, hidegszívós minőség, és különleges hidegszívós minőség. A nyomástartó berendezések gyártásához használt acélok alacsony oxigéntartalmúak, amit különleges csillapítással érnek el, és garantálják, hogy az alumíniumtartalom meghaladja a 0,02 %-ot. Az acél megfelelő minőségének biztosítása érdekében az összetétel minimum 1,5 % mangánt és 0,25 - 0,4 % molibdént is tartalmaz, így garantálva a magas hőmérsékletű és nyomású alkalmazások során a megbízhatóságot.[22.][27.][29.]

3.2. Hegesztési technológiák bemutatása

3.2.1. 121-SAW (Fedett ívű hegesztés)

A fedettívű hegesztés során a hegesztési ív a fedőpor alatt ég, amely védi az ívet a külső környezeti hatásoktól és minimalizálja a fröcskölést. A folyamat nagy hegesztési teljesítményt, mély beolvadást és kiváló varratminőséget biztosít, de speciális gépeket igényel, és korlátozott pozíciókban alkalmazható. A 3.4 ábrán látható a fedettívű hegesztés elvi ábrája.[6.][26.][29.]

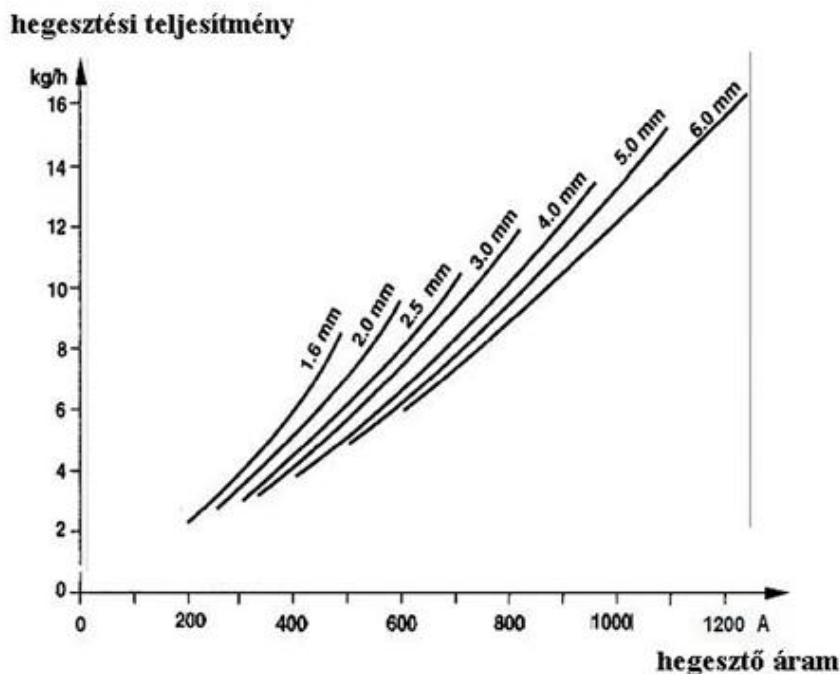
3.4. ábra Fedett ívű hegesztés elvi ábrája



Fedőporok és Szerepük a Hegesztésben

A fedőporok kulcsfontosságúak a fedettívű hegesztési eljárások során, mivel hozzájárulnak az ív stabilizálásához, a salak képződéséhez és a metallurgiai folyamatok szabályozásához. Ezek a porok különböző szemcseméretűk és gyártási módszerek alapján csoportosíthatók. A durva szemcseméretű fedőporokat nagy teljesítményű, gyors hegesztéshez, például rozsdás felületek hegesztéséhez használják. Ezzel szemben a finom szemcseméretű porok tiszta felületeken, kisebb teljesítményű és lassabb hegesztéshez ideálisak. Gyártási módszerük szerint megkülönböztethetünk olvasztott üvegszerű, szintelett és agglomerált fedőporokat. A fedettívű hegesztés ezen anyagokkal rendkívül hatékony és megbízható, különösen nagy mennyiségű és hosszú hegesztési varratok készítésekor. A 3.5 ábrán látható, hogy hogyan alakul az elektróda átmérő a az áram és a teljesítmény függvényében.[2.][5.][13.][14.][24.][25.]

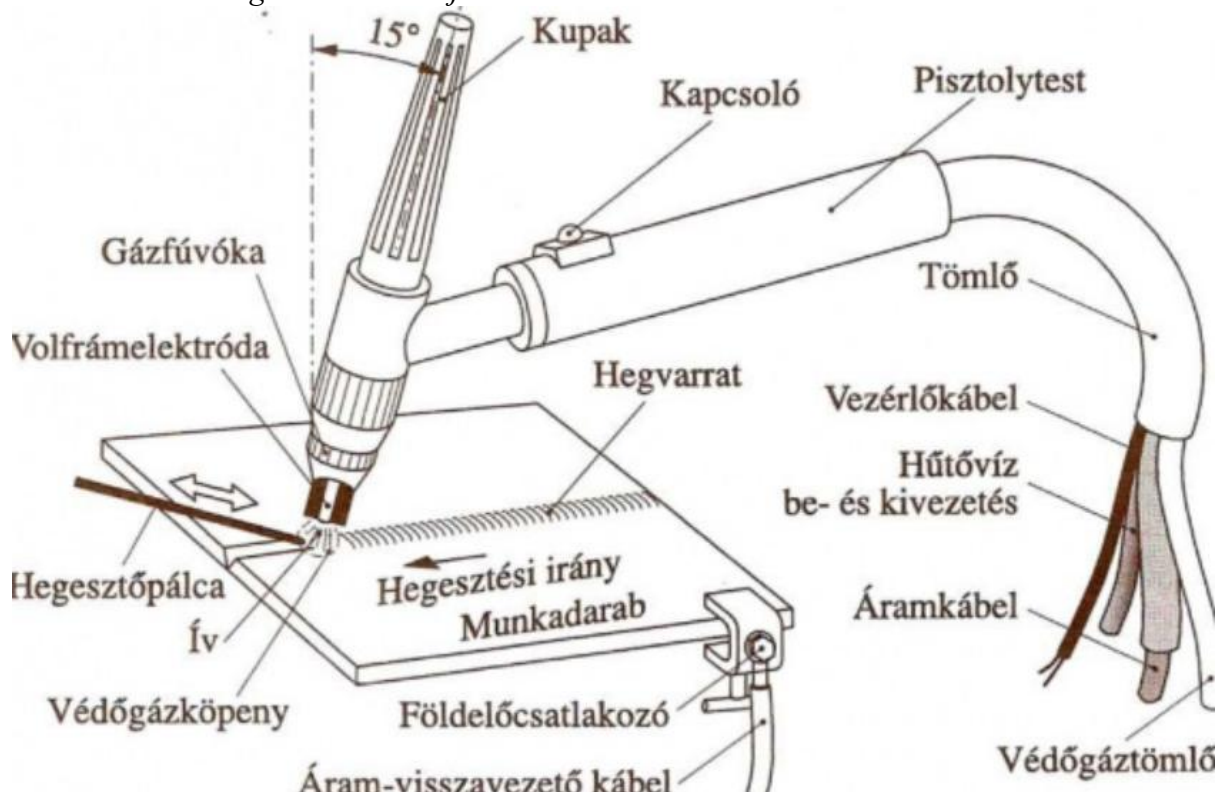
3.5. ábra A fenti diagram megmutatja, hogy a hegesztési teljesítmény (kg/h) hogyan változik a hegesztőáram, valamint az alkalmazott elektróda átmérő függvényében



3.2.2. 141-TIG (Argon védőgázos ívhegesztés,AWI) bemutatása

A volfrámelektrodás, argon védőgázos ívhegesztés (AWI, más néven TIG hegesztés) egy olyan technológia, amely során nem olvadó volfrámelektrodát alkalmaznak. Az elektrodát, az ívet és a hegesztés során keletkező olvadt fémeket semleges gáz védi a levegő oxidáló hatásától. Az AWI hegesztés kiemelkedően tiszta és magas minőségű technológia, amelynek során salakanyag nem képződik, így a varratokban nem marad szennyeződés. A folyamat befejezése után a varrat tisztítása gyakorlatilag felesleges. Az AWI hegesztés különböző fémek hegesztésére is alkalmas, beleértve az alumíniumot és a rozsdamentes acélötvözeteket is, különösen ott, ahol nagy hegesztési precizításra van szükség. Az eljárás kézi és automatikus hegesztési módszerekhez egyaránt alkalmazható, és olyan iparágakban használják, mint a nukleáris, vegyipari, repülőgépipari és élelmiszeripari szektor. A 3.6 ábrán látható az AWI hegesztés elvi ábrája és a hegesztőgép főbb részei. [3.] [15.]

3.6. ábra AWI hegesztés elvi ábrája



Általános felépítése az AWI hegesztőgépeknek:

Az AWI (volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés) berendezés több összetevőből áll, amelyek együttesen biztosítják a minőségi hegesztés kivitelezését. Az egyik legfontosabb alkotóelem a hegesztőpisztoly, amelynek feladata az elektróda és a védőgáz megfelelő pozícionálása a munkadarabon. Két típusát különböztetjük meg: a léghűtéses változatok kisebb teljesítményű munkákhoz alkalmasak, míg a vízhűtéses pisztolyokat nagyobb terhelésekhez fejlesztették ki.

Az áramforrás a hálózathoz tartozó energiát alakítja át hegesztéshez szükséges árammá, amelynek stabilitása elengedhetetlen az ív egyenletes égéséhez. Az AWI hegesztésnél mind egyen-, mind váltakozó áram használható, az áramforrást pedig finoman lehet szabályozni, hogy a megfelelő áramtartományt biztosítsa.[18.][30.][37.]

A nagyfrekvenciás áram gerjesztő berendezés az ívgyújtást segíti, lehetővé téve a hegesztés megkezdését anélkül, hogy az elektróda érintkezne a munkadarabbal. A gázellátó rendszer biztosítja, hogy a hegesztés során folyamatosan áramló védőgáz, mint például argon vagy hélium, megóvja az ívet és az ömledéket az oxidációtól. A rendszer részei közé tartozik a gázpalack, a gázvezeték és a gázsebességmérő, amelyek biztosítják a megfelelő gázáramlást.

A gázterelő egy kerámia fúvóka, amely szabályozza a védőgáz áramlását, míg a gázlencse tovább javítja ezt az áramlást, így lamináris gázáramlást hoz létre az elektróda körül. Nagy teljesítményű hegesztőpisztolyoknál vízhűtéses rendszer használata szükséges a túlmelegedés elkerülése érdekében. Ez a rendszer meghosszabbítja a berendezés élettartamát, és növeli a hegesztési folyamat hatékonyságát is.[4.][19.][31.][38.]

Az argon védőgázos ívhegesztés (AWI) során számos hegesztőanyagot használnak, amelyek kulcsfontosságúak a hegesztési folyamat hatékonysága és minősége szempontjából. A leggyakrabban alkalmazott védőgázok az argon, a hélium, valamint ezek keverékei, amelyek biztosítják a hegesztési ömledék védelmét a levegő oxigénjétől. A gázfogyasztás általában 5-12 liter/perc között változik, míg egy 200 bar nyomású gázpalack 2-3 napig elegendő egy műszakos hegesztési üzemmódban.[32.][35.]

A volfrámelektrodák szintén fontos szerepet játszanak az AWI hegesztés során. Ezek magas olvadáspontjuk (3360 °C) révén kiválóan alkalmasak a hegesztési eljárásra. A volfrámelektrodák lehetnek ötvözetlenek, azaz tiszta színvolfrám alapanyagból készülnek, vagy ötvözöttek, amelyek különféle oxidadalékokkal, például CeO₂ (cérium-oxid), LaO₂ (lantán-oxid), ZrO₂ (cirkónium-oxid) vagy ThO₂ (tórium-oxid) kerülnek dúsításra, hogy növeljék az elektronkibocsátást és ezáltal javítsák a hegesztés hatékonyságát. Emellett léteznek kompozit elektrodák is, amelyek tiszta volfrámmagból és oxidbevonatból állnak, ezzel biztosítva a stabil és hatékony ívhegesztést.[8.][9.][33.][34.]

Az elektróda tulajdonságai és polaritása

Az elektróda áramterhelhetősége függ a használt áramtípustól és polaritástól. Egyenáram esetén az elektróda kb. 10-15%-kal, váltakozó áramnál akár 50%-kal nagyobb árammal terhelhető. Argon védőgáznál jellemzően egyenes polaritást alkalmaznak, kivéve alumínium és magnézium hegesztésénél. Az elektróda hegye különös figyelmet igényel, mivel az ívgyújtás során sérülékeny lehet, és megfelelő köszörülést igényel a tengelyszimmetria érdekében.[10.]

3.3. Anyagvizsgálat

3.3.1. Szakítóvizsgálat jellemzői és folyamata

A szakítóvizsgálat az egyik leggyakrabban alkalmazott statikus teszt, amelyet nem közvetlenül a kész alkatrészen, hanem szabványosított formájú és méretű próbatesteken végeznek. Célja, hogy meghatározza az anyagok ellenállását egytengelyű húzó igénybevétel esetén, valamint az ehhez kapcsolódó anyagjellemzőket, például a szakítószilárdságot és a folyáshatárt.

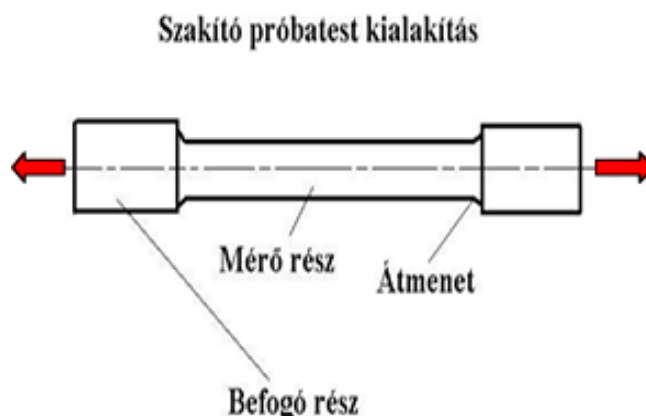
A szakítóvizsgálat menete

A szabványosított próbatestet szakítógépben terhelik, egészen annak szakadásáig. A vizsgálat során mérik a terhelőerőt és a próbatest megnyúlását a jeltávolságon belül. Ezen adatok alapján számítják ki az anyag szilárdsági paramétereit. A tesztet általában szobahőmérsékleten (10-35 °C) végzik, de szükség esetén magasabb vagy alacsonyabb hőmérsékleten is elvégezhető.

Szakító próbatetek kialakítása

A szakítóvizsgálat első lépése a próbatest alakjának és méretének meghatározása, amely a vizsgált anyag mechanikai tulajdonságait reprezentálja. A próbatetek tervezésekor számos szempontot kell figyelembe venni, például az anyag pontos reprezentálását, a próbatest fejének kialakítását, amely illeszkedik a szakítógéphez, valamint a keresztmetszet és a szilárdsági jellemzők megfelelő figyelembevételét a gép mérési tartományában. Ezek a tényezők együttesen biztosítják, hogy a vizsgálni kívánt paramétereket pontosan meg lehessen határozni a vizsgálat során.[23.]

3.7. ábra szakító próbatest részei



A próbatestet a befogó résznél fogjuk meg és a mérőrészen lesz majd a szakadás amiből sok következtetés levonható. A 3.7 ábrán láthatóak a szakító próbatest részei.

Megállapítás:

Megtudjuk állapítani ezzel az eljárással egy anyag vagy anyagkapcsolat szilárdsági és rugalmassági tulajdonságait .[11.]

Szakítószilárdsági mérésből számolható adatok:

(R_m , N/mm²): a szakítóvizsgálat során mért maximális erő (F_m) a próbatest eredeti keresztmetszetének (S_0) hányadosa.

A felső folyáshatár:

(Re_H , N/mm²): a folyást megindító erőnek (Fe_H) és az eredeti keresztmetszet (S_0) hányadosa.

Az alsó folyáshatár:

(Re_L , N/mm²): a folyást fenntartó erőnek (Fe_L) és az eredeti keresztmetszet (S_0) hányadosa.

A kontrakciós szilárdság:

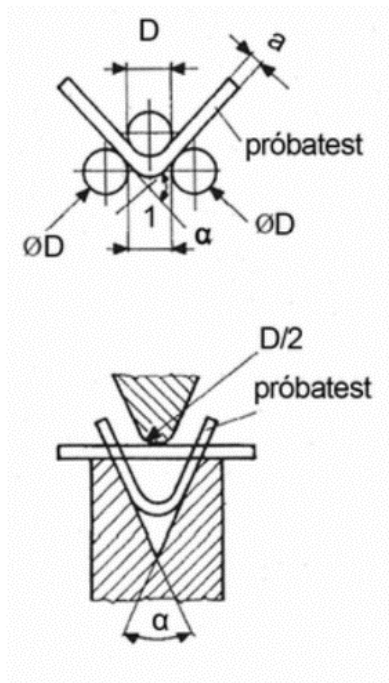
(R_u , N/mm²): a szakadást előidéző erőnek (F_u) és a már kontrahált (lecsökkent) keresztmetszetnek (S_u) a hányadosa.[20.]

3.3.2. Fémek hajlítóvizsgálata

Fémek esetében a hajlítóvizsgálatot az MSZ EN ISO 7438:2006 szabvány szerint kell végezni, míg polimerek esetében az MSZ EN ISO 178:2010 szabvány vonatkozik erre a vizsgálati eljárásra. A hajlítóvizsgálat célja az anyagok rugalmas szakaszának pontos meghatározása, ami fontos a különböző anyagok viselkedésének megértése szempontjából. Szívós, vagyis jól alakítható anyagok esetén a vizsgálatot egy előre megadott határfeszültségig végezzük, és az anyag viselkedését az adott feszültség mellett mérjük. Ezzel szemben rideg, törékeny anyagoknál – például öntöttvas esetében – a vizsgálatot addig folytatjuk, amíg az anyag el nem törik, hiszen ezeknél az anyagoknál a rugalmas szakasz rövid, és a törési jellemzők kiemelten fontosak.

Amennyiben az adott anyag hajlítószilárdsága nem ismert, és nincs lehetőség arra, hogy közvetlen mérési eljárással határozzuk meg, akkor a húzóvizsgálat során kapott paraméterek szolgálnak alapul. Ilyen esetben a húzóigénybevétel során mért maximális feszültség értékének felét szokás megengedni a hajlító igénybevétel meghatározásához. Ez a megközelítés megfelelő iránymutatást nyújt, ha nincs lehetőség a hajlítószilárdság pontos mérésére, és biztosítja, hogy az anyag viselkedése még ilyen esetekben is megbízhatóan becsülhető legyen különböző mechanikai terhelések alatt. A 3.8 ábrán látható a hajlít vizsgálat elvi ábrája a mérést az ábrán látható módon kell elvégezni és a végén ki tudjuk értékelni az anyagot szemrevételezéssel.

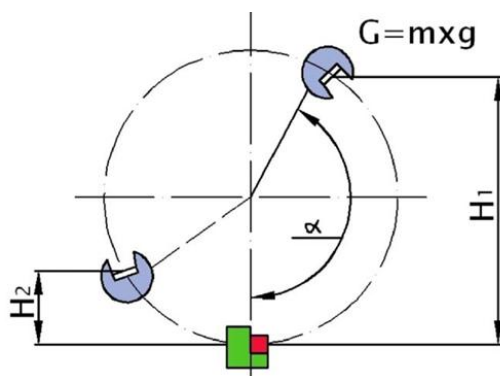
3.8. ábra Hajlító vizsgálat elvi ábrája



3.3.3. Charpy-féle ütővizsgálat

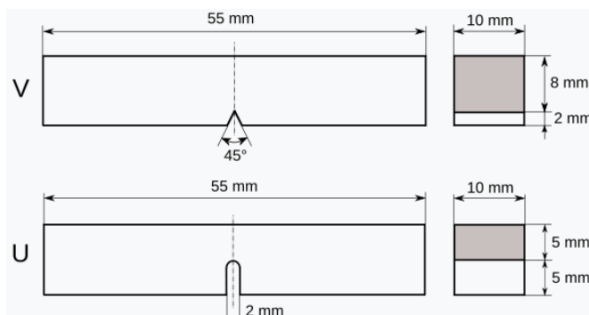
A 3.9 ábrán látható a Charpy-féle ütővizsgálat elvi ábrája. A mérés során a próbatest ütőmunkáját úgy mérjük hogy a kalapácsot 1 adott magasságból elindítjuk és amikor eltöri a darabot egy bizonyos magassáig felmegy és a magasság különbségből lehet következtetni az anyag mechanikai tulajdonságaira.[7.][23.]

3.9. ábra Charpy-féle ütővizsgálat elvi ábrája



$$Kv = m * g * (H_1 - H_2)$$

3.10. ábra Charpy-féle ütővizsgálat próbatest kialakításai



A 3.10. ábrán látható a Charpy-féle ütővizsgálat próbatest kialakítása. Ez egy szabványosított ütőhajlító vizsgálat, amely során egy bemetszett próbatestet törnek el egyetlen kalapácsütéssel. A próbatest szabványos méretű (10 x 10 x 55 mm), és a bemetszés biztosítja, hogy az anyag a kívánt ponton törjön el. A vizsgálat során a kalapács által végzett munkából számítják ki, hogy mennyi energia szükséges a próbatest eltöréséhez.

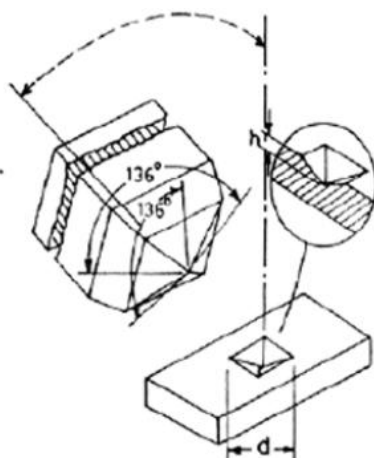
3.3.4. Keménységmérési módszerek

A keménységmérés többféle módszerrel történhet, amelyek különböző anyagtulajdonságokat vesznek figyelembe. Az első módszer a szűrő keménységmérés, ahol egy keményebb szerszámot nyomnak az anyagba, és a keménységet a lenyomat területéből vagy a benyomódás mélységéből határozzák meg. Ilyen például a Brinell, a Vickers, a Rockwell, a Shore és a Poldi kalapácsos módszer. A második eljárás az ejtő keménységmérés, ahol egy mérőtest visszapattanási magasságából állapítják meg a keménységet, például a Shore-féle eljárásoknál (szkleroszkóp, duroszkóp). A harmadik típus a rezgő keménységmérés, amely során a vizsgált anyagba szorított rezgőfej rezgésének fenntartásához szükséges energiát veszik alapul. Végül, a karc keménységmérésnél különböző keménységű anyagokkal megkarcolják az anyagot, és így állapítják meg, melyik anyag keményebb.[36,]

3.3.5. Vickers keménységmérés

A 3.11. ábrán látható a Vickers keménység elvi ábrája. A Vickers-keménységmérést 136°-os csúcsszögű, négyzet alapú gyémántgúlvával végezzük, amely lehetővé teszi a kemény anyagok precíz mérését. A keménység meghatározása a terhelőerő és a lenyomat felületének hányadosán alapul, de a gyakorlatban a keménységértéket táblázatokból olvassák ki az átló mérete alapján.

3.11. ábra Vickers keménység elvi ábrája



A Vickers-keménységmérések esetében az azonos keménységértékek különböző körülmények között eltérhetnek. Például a 640 HV30 értéket mérhetjük 294,2 N terhelés mellett 10 másodpercig 23°C-on, vagy 60 másodpercig 200°C-on. A Vickers-keménységmérés előnyei közé tartozik, hogy gyakorlatilag nincs keménységbeli korlátja, vékony anyagok és rétegek mérésére is alkalmas, valamint a vizsgálat szinte sérülésmentes. A módszer különösen hasznos a betétezett, felületileg edzett és nitridált kérégek keménységének meghatározásában, mivel a kis lenyomat nem károsítja az alkatrészt. Hátrányai közé sorolható a hosszadalmas felület-előkészítés és az optikai értékelés. A gyémánt behatolószerszám érzékeny a törésre, a vizsgált felület minősége pedig befolyásolja a mérési eredményeket. Emellett a kis lenyomat miatt a módszer érzékeny a vibrációkra, különösen mikro-tartományban, és az optikai leolvasásnál jelentős kezelői hibák is előfordulhatnak.

A mért adatok kiértékeléséhez szükséges képlet:
$$HV = \frac{2 \cdot F \cdot \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{d^2} \cdot 0,102$$

3.3.6. Röntgensugaras vizsgálat

A röntgensugaras vizsgálat az egyik legelterjedtebb és leghatékonyabb nem roncsolásos anyagvizsgálati módszer, amely széles körben alkalmazott a gépészetben, a hegesztéstechnológiában és az anyagvizsgálat más területein. A módszer lényege, hogy a vizsgálat során a röntgensugarak eltérő mértékben hatolnak át a munkadarab különböző részein, ezáltal feltárva annak belső szerkezetét és esetleges hibáit.

A sugárzás előállítása egy vákuumcsőben történik, ahol az izzó katód elektronokat bocsát ki. Ezeket nagyfeszültségű elektromos térrel felgyorsítják, majd az anódnak ütköztetik. Az ütközés következtében a kinetikus energia túlnyomó része – mintegy 99%-a – hővé alakul, ezért az anód hatékony hűtése elengedhetetlen. A fennmaradó kis hányad röntgensugárzás formájában szabadul fel. A keletkező sugárzás hullámhossza és intenzitáseloszlása az anyag jellemzőire is utalhat, így a vizsgálat nemcsak hibadetektálásra, hanem anyagszerkezeti sajátosságok feltárására is alkalmas.

A munkadarabon áthatoló röntgensugarak intenzitása az anyag sűrűségétől, vastagságától és belső homogenitásától függ. Ahol az anyag tömörebb vagy hibamentes, ott kisebb mértékű gyengülés következik be, míg az üregek, repedések, gáz- vagy salakzárványok, illetve egyéb kötési hibák helyén a sugárzás intenzitása eltérő lesz. E különbségek a röntgenfilmre vagy digitális detektorra vetülnek, így a felvételeken a hibák kontrasztos, jól látható képként jelennek meg. A módszer segítségével kimutathatók például gyökhibák, varratfúziós hiányosságok, repedések, pórusok és egyéb belső szerkezeti eltérések.

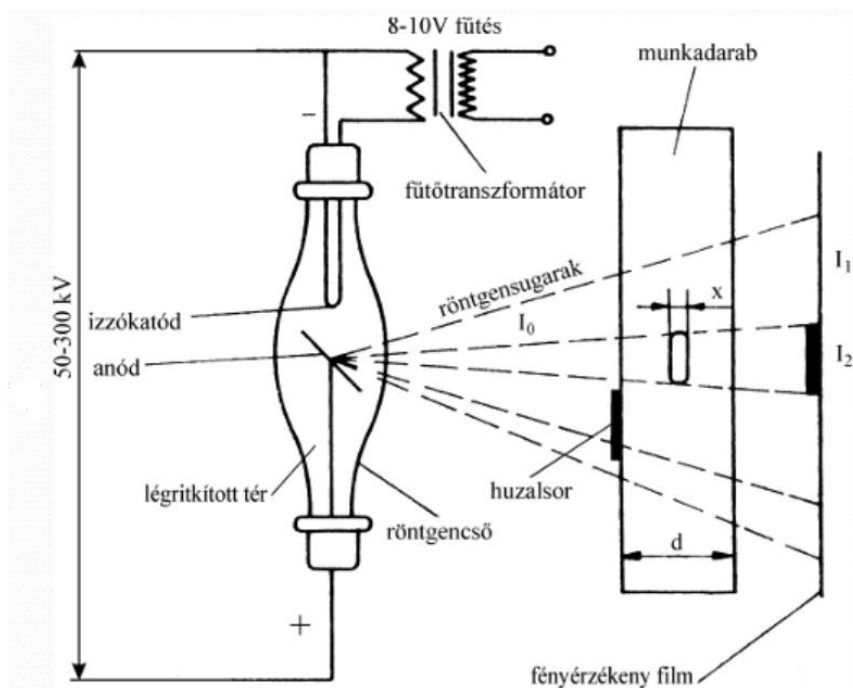
A röntgenfelvétel mindig a vizsgált tárgy egy adott irányú vetületét ábrázolja. Emiatt egyetlen kép nem ad teljes információt a hibák pontos kiterjedéséről és térbeli helyzetéről, ezért a teljes körű hibafeltáráshoz több irányból készült felvételekre van szükség. A vizsgálat pontosságát és a felvételek minőségét számos tényező befolyásolja: az alapanyag minősége és vastagsága, a röntgenső feszültsége, az expozíciós idő, valamint a sugárforrás, a vizsgált tárgy és a film közötti távolság. Ezeknek a paramétereknek a gondos megválasztása alapvetően meghatározza a kép élességét, kontrasztját és részletgazdagságát. A dolgozat 3.12. ábrája szemlélteti a röntgensugaras vizsgálat elvi felépítését.

A módszer egyik legnagyobb előnye, hogy bonyolult geometriájú, nehezen hozzáférhető, illetve összetett felületű alkatrészek vizsgálatára is alkalmas. További előny, hogy szinte minden alapanyag esetében alkalmazható, legyen az acél, öntöttvas, alumínium vagy más fémes szerkezet. A röntgenvizsgálat teljes mértékben roncsolásmentes, így a vizsgált darab később üzemben is felhasználható.

Ugyanakkor a módszernek vannak hátrányai is. A röntgensugárzás az emberi szervezetre káros, ezért a vizsgálat kizárólag megfelelő sugárvédelmi előírások mellett, árnyékolt helyiségben, engedéllyel és képzett szakember közreműködésével végezhető. A berendezések kezelése nagy rutint és tapasztalatot igényel, a vizsgálatok értékelése pedig szintén szakképzett szakembert kíván. Emellett az alkatrész mérete is behatárolja az eljárás alkalmazhatóságát, mivel a túl nagy munkadarabok nem mindig férnek el a vizsgálóberendezésekben. Végül, mivel a felvételek csak egy irányból adnak képet, a hibák teljes azonosítása és pontos méretezése több irányból végzett vizsgálatot igényel.

Összességében a röntgensugaras vizsgálat a hegesztett kötések minőségének ellenőrzésére az egyik legmegbízhatóbb módszer, amely lehetővé teszi a belső hibák kimutatását anélkül, hogy a szerkezetet roncsolni kellene. A 3.12. ábrán a folyamat elvi ábrája látható.

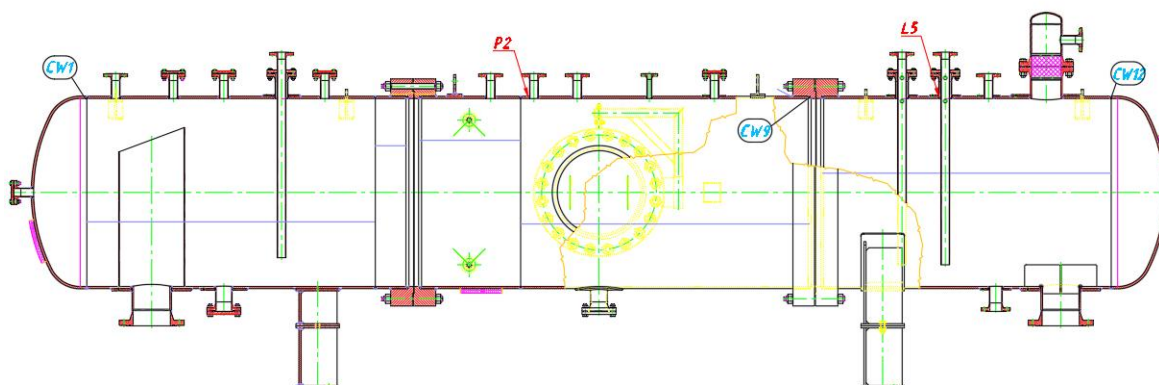
3.12. ábra röntgen sugaras mérés elvi ábrája



4. Probléma bemutatása

A nyomástartó berendezések hegesztett kötéseinek tervezése és kivitelezése az ipar egyik legkritikusabb feladata, mivel a szerkezet üzemi biztonságát, élettartamát és üzembiztosságát nagymértékben a hegesztési varratok minősége határozza meg. A dolgozat keretében vizsgált CW1, CW12, CW9, L5 és P2 jelű varratok esetében több olyan tényező jelentkezett, amely indokoltá tette a gondosan megválasztott hegesztéstechnológia alkalmazását, valamint az elkészített kötések átfogó vizsgálatát. A részletes varratévkép megtalálható a 6. számú mellékletbe.

4.1. ábra Hidrogén separator varratévképnek részlete



A konkrét szerkezet egy **hidrogéntartály** volt ami a 4.1.-es ábrán látható, amelynél az eltérő anyagminőségek és falvastagságok különös kihívást jelentettek.

1. táblázat S355J2 anyag vegyi összetétele

Fokozat	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cu [%]
S355J2	≤ 0,2	≤ 0,55	1,60	0,025	0,035	≤ 0,55

A tartály **testje P355GH** típusú nyomástartó acélból készült aminek összetétele a 2. Táblázatban látható, míg a hozzá kapcsolódó **csonkok S355J2** szerkezeti acélból aminek kémiai összetétele az 1. Táblázatban látható.

2. táblázat P355GH anyag vegyi összetétele

Fokozat	C [%]	Mn [%]	S. [%]	N [%]	Cu [%]	Nb [%]	Ti. [%]	Si. [%]	P. [%]	AL [%]	Kr. [%]	Mo. [%]	Ni [%]	Vi [%]
P355GH	0.10- 0.22	0.10- 1.70	0.015	0.012	0.30	0.020	0.03	0.60	0.025	0.020	0.30	0.08	0.30	0.02

Az eltérő anyagtipusok együttes alkalmazása különös figyelmet követelt a hegesztési technológia kiválasztásakor, mivel biztosítani kellett a megfelelő átmenetet, a hőhatásövezet kontrollált kialakítását, valamint az illesztési pontosságot.

4.1. A hegesztési eljárások kiválasztásának problémái

A vizsgált kötéseknel az elsődleges kérdés a megfelelő hegesztési eljárás kiválasztása volt. A CW1, CW12 és CW9 varratok nagy anyagvastagságú, nagy igénybevételnek kitett elemekhez tartoztak a tartálytesten. Ezek esetében a fedett ívű hegesztés (SAW) bizonyult a legalkalmasabb megoldásnak, mivel nagy beolvadási mélységet, magas termelékenységet és kiváló varrat tisztaságot biztosít. Ugyanakkor a módszer alkalmazásakor figyelembe kellett venni az illesztési pontosságot, az elektródahuzal- és porparaméterek optimális megválasztását, valamint az esetleges hőbevitelből adódó feszültségek és alakváltozások kockázatát. Az L5 és P2 varratok esetében kisebb anyagvastagság, valamint fokozott minőségi és esztétikai követelmények merültek fel. Ezek a csonkok (S355J2) és a tartálytest (P355GH) közötti átmeneti kötések jelentették. Itt a volfrámelektrodás, argon védőgázos ívhegesztés (AWI/TIG) eljárás került alkalmazásra, amely pontos varratkialakítást és alacsony hőbevitel melletti kiváló hegesztési minőséget tesz lehetővé. A módszer hátránya ugyanakkor a kisebb hegesztési sebesség és a fokozott kezelői szaktudás igénye, amelyek a gyártási folyamatot lassíthatták volna, de a vizsgált esetben a minőség elsődlegessége indokoltá tette az AWI alkalmazását.

4.2. A kötésekkel szemben támasztott követelmények

A varratokkal szemben támasztott követelmények több szempontból is jelentkeztek:

- **Szilárdsági követelmények:** biztosítani kellett, hogy a hegesztett kötések mechanikai tulajdonságai (szakitószilárdság, folyáshatár) megfeleljenek az alapanyag paramétereinek, illetve a vonatkozó szabványoknak.

- **Anyagminőségi követelmények:** az S355J2 és P355GH anyagok összehegesztése során különös figyelmet kellett fordítani a hőhatásövezet szerkezetének stabilitására, a szemcsefinomodásra és a repedésveszély elkerülésére.
- **Változó anyagvastagságok:** az eltérő falvastagságok miatt különös figyelmet igényelt a hőbevitel és a varratgeometria megválasztása, hogy elkerülhető legyen a maradó feszültségek koncentrációja, illetve a vetemedés.

Ezen problémák mindegyike közvetlenül hatással volt a technológia megválasztására, valamint a szükséges ellenőrzési és vizsgálati módszerek meghatározására.

4.3. A vizsgálati módszerek alkalmazásának indoklása

A kiválasztott hegesztési technológiák megfelelőségének igazolása érdekében a kötések többféle vizsgálatnak vetették alá. A szakító- és hajlítóvizsgálatok a kötések szilárdságát, a Charpy-féle ütővizsgálat a szívósságot, a Vickers-keménységmérés a hőhatásövezet mechanikai tulajdonságait, míg a röntgenvizsgálat a belső varrathibák kimutatását célozta. A mérések során minden vizsgálatot hét ismétléssel végeztünk el, majd a két szélső érték elhagyásával az öt középső adatot értékeltük ki, a **MSZ EN ISO 9015-1:2011** szabvány előírásainak megfelelően. Ez a módszertan biztosította az eredmények megbízhatóságát, valamint csökkentette a véletlenszerű mérési hibák hatását.

4.4. Megoldási koncepció

A vizsgálatok elsődleges célja annak igazolása volt, hogy az alkalmazott hegesztési eljárások – a fedett ívű hegesztés (SAW) és a volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés (AWI) – megfelelnek mind a szerkezeti igénybevételeknek, mind pedig az anyagminőségi követelményeknek. A hidrogéntartály, mint nyomástartó berendezés, különösen érzékeny a hegesztett kötések minőségére, hiszen ezek biztosítják a szerkezet üzemi terhelésekkel szembeni ellenállását. Ezért a problémára adott megoldás a teljes hegesztéstechnológiai folyamat validálása volt, amelyet laboratóriumi körülmények között végzett mechanikai és nemroncsoló vizsgálatok eredményeinek felhasználásával lehetett megvalósítani.

A kidolgozott koncepció lényege abban állt, hogy először az eltérő anyagminőségű elemekhez – a P355GH tartálytesthez és az S355J2 csonkokhoz – a falvastagságuknak és

igénybevételüknek megfelelő hegesztéstechnológiát kellett kiválasztani. A nagyobb falvastagságú elemek esetében a fedett ívű hegesztés biztosította a kellő beolvadási mélységet és szilárdságot, míg a vékonyabb falú és finomabb illesztéseknél az AWI eljárás garantálta a megfelelő varratminőséget és alakíthatóságot.

A technológia kiválasztását követően a paraméterek optimalizálása következett. Külön figyelmet fordítottunk a hőbevitel megfelelő szinten tartására, mivel ez jelentős hatással van a hőhatásövezet (HAZ) tulajdonságaira és a maradó feszültségek alakulására. Ezen kívül kiemelt szerepet kapott a varratgeometria pontos megtervezése, amely a kötés szilárdságát és a repedésállóságot közvetlenül befolyásolja. A felhasznált védőgáz (AWI esetében) és fedőpor (SAW esetében) összetételének meghatározása szintén kritikus tényező volt, hiszen ezek befolyásolják a varrat fémmínőségét, tisztaságát és mechanikai tulajdonságait.

A kivitelezett hegesztett kötések megfelelőségét átfogó vizsgálatokkal ellenőriztük. Ehhez többféle mechanikai és nemroncsoló vizsgálati módszert alkalmaztunk, és minden esetben ismételt mérési sorozatokat végeztünk annak érdekében, hogy az eredmények megbízhatóságát növeljük és a véletlenszerű hibák hatását kiküszöböljük. A kapott adatokat a vonatkozó szabványok előírásai szerint értékeltük ki, így biztosítottuk az összehasonlíthatóságot és az objektív minősítést.

Az eredmények kiértékelése után egyértelműen megállapítható volt, hogy a választott technológiai megoldások mind a gyártási, mind pedig az üzemi körülményeknek maradéktalanul megfelelnek. Ez azt jelenti, hogy a hidrogéntartály hegesztett kötései nemcsak az előírt szabványkövetelményeknek felelnek meg, hanem biztonságosan ellenállnak a várható terheléseknek és üzemi igénybevételeknek is.

5. Hegesztési technológia tervezése

5.1. 121-SAW (Fedett ívű hegesztés)

Adatok: $s = 30$ mm (anyagvastagság), $c = 3$ mm (varrat magasság), $i = 0,1 \cdot s = 3$ mm.
Választott huzal: **EN ISO 14341-A G 42 2 C Si** (EN756 S 42 3 AC S2N3). Huzal fajsúly: 7,85 kg/dm³. Varratréteg: 2. fedőpr szükséglet: 0,56 kg/m. Huzalsebesség: $v_{\text{huzal}} = 1,6$ m/min; hegesztési sebesség : $v_{\text{heg}} = 0,1$ m/min. Hatásfok (η) = 0,8. üresjárat teljessítmény (Nü) teljessítménye = 0,9 kW. A varrathossz : $\approx 13,5$ m

5.1. ábra az elektróda választás alap elvei

- A hegesztett kötés szilárdsága megegyezzen vagy legyen nagyobb, mint az alapanyag szilárdsága (folyáshatárra kell konkretizálni):

$$R_{eH_{\text{heganyag}}} \geq R_{eH_{\text{alapanyag}}}$$

- A törésveszély elkerülése: az átmeneti hőmérséklet a varratra alacsonyabb legyen, mint az alapanyagra előírt:

$$TTKV_{\text{heganyag}} \leq TTKV_{\text{alapanyag}}$$

- A fedettívű hegesztésnél a mangán beötvözést jól tudni előírni.
 - 1.módszer: a varratba a mangán beötvözést a fedőportól biztosítjuk (MnO tartalom nagyobb 50%-nál), a huzal Mn tartalma 1% alatt van,
 - 2.módszer: olyan huzalt kell használni, amiben a Mn tartalom 2% felett van (a fedőpor MnO tartalma 8-15%).

Az 5.1. ábrán az elektróda választás alapelvei láthatóak.

A hegesztendő anyag Carbon egyenértéke:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} = 0,2\%$$

A 4.1 ábrán az elektróda választás alap elvei láthatóak amik alapján a megfelelő elektróda az EN ISO 14341-A G 42 2 C Si

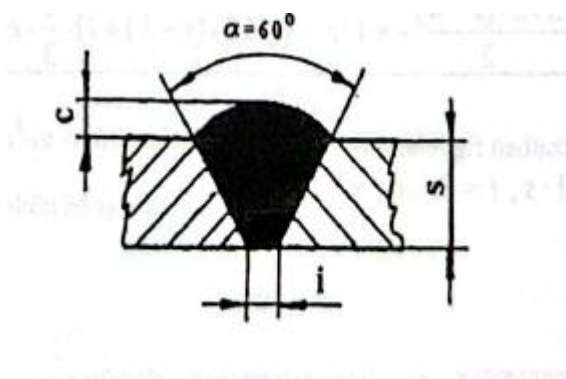
választott huzal és fedőport:

EN ISO 14341-A G 42 2 C Si

EN756 S 42 3 AC S2N3

Varrat térfogat meghatározása:

5.2. ábra a varrat paraméterei



Az ábrán a varrat paraméterei áthatóak

$$V_v = \frac{0,577 \cdot s^2 + i \cdot s + (1,154 \cdot s + i) \cdot \frac{2}{3} \cdot c}{1000} \cdot 1000 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{m}} \right] = 684,54 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{m}} \right]$$

$$c = 3 \text{ mm}$$

$$i = 0,1 \cdot s = 3$$

Varrathossz meghatározása:

$$(D + 2s) \cdot \pi = 4200 \text{ mm} = 4,2 \text{ m}$$

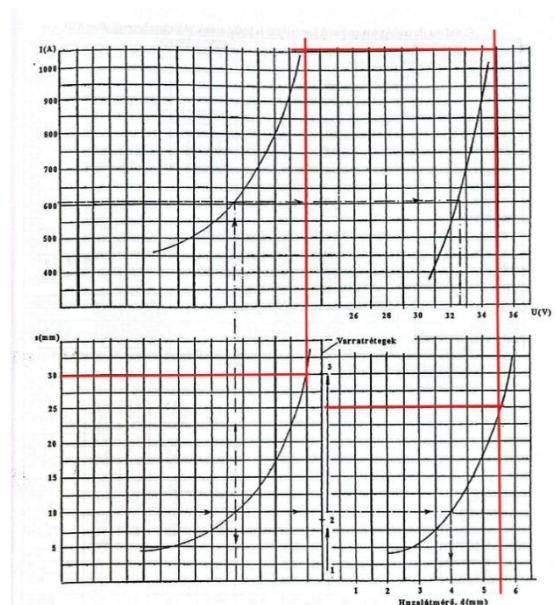
Huzal mennyiség meghatározása:

$$V_v \cdot \text{varrathossz} = 2875 \text{ cm}^3$$

$$M = \frac{\text{huzal mennyiség} \cdot n}{10^3} \cdot 7,85 \left[\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right] = 46 \text{ kg}$$

Fedőpor mennyiség meghatározása:

5.3. ábra összefüggés a huzal átmérő a varratrétegek száma a feszültség és az anyagvastagság között



Az 5.3. ábrán látható a összefüggés a huzal átmérő a varratrétegek száma a feszültség és az anyagvastagság között.

$$I = 1100 \text{ A}$$

$$U = 35 \text{ V}$$

$$\text{Huzal átmérő} = 5,5 \text{ mm}$$

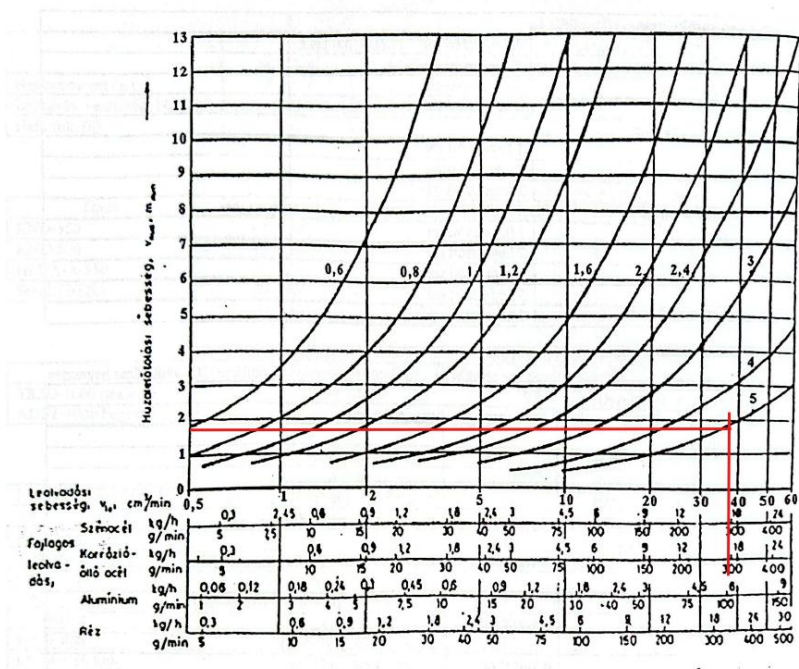
$$\text{Varratréteg} = 2$$

Fedőpor szükséglet:

Tapasztalati összefüggés alapján:

$$1,3 * \text{elektroda szükséglet} = 60 \text{ kg}$$

5.4 ábra összefüggés a fajlagos leolvadás a huzal és a hegesztési sebesség között



Az 5.4. ábrán látható az összefüggés a fajlagos leolvadás a huzal és a hegesztési sebesség között

$v_{huzal} = 1,6$ m/min

$v_{heg} = 0,36$ m/min (tapasztalati érték szerint)

fajlagos leolvadás 3-60 kg/h 15 re vettem

$I = 1100$ A

$U = 35$ V

Varratréteg = 2

$\eta = 0,8$

$Nü = 0,9$ (Kw)

$v_{huzal} = 1,6$ m/min

$$t_{hegfoido} = 1/v_{heg} * n * l = 24 \text{ min}$$

$v_{heg} = 0,1$ m/min

$$EA = EM + Eü \text{ [kWh]} = 19,304 \text{ kWh}$$

$$EM = \frac{U \cdot I \cdot t_{\text{hegfőidő}}}{\eta \cdot 1000} = 19,25 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{ü}} = N_{\text{ü}} \cdot t_{\text{ü}} = 0,054 \text{ kWh}$$

$$t_{\text{ü}} = t_{\text{hegf. főidő}} \cdot 0,15 = 0,06 \text{ h}$$

5.2. 141-TIG (Argon védőgázos ívhegesztés,AWI)

s= 15 mm (anyagvastagság)

dcs: 60mm (csenk külső átmérője)

Alapanyag: S355J2

Elektróda: X2CrNiMo18 15

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} = 0,39\%$$

1 varrat térfogata:

$$V_v = \frac{\frac{1,192 \cdot (s-k)^2}{2} + i \cdot s + (1,192 \cdot (s-k) + i) \cdot \frac{2}{3} \cdot c}{1000} * 1000 \left[\frac{cm^3}{m} \right] = 630 \left[\frac{cm^3}{m} \right]$$

$$V = V_v \cdot L = 126 \text{ cm}^3$$

$$L = dcs \cdot \pi = 188,45 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

tömege:

$$m = \rho \cdot V = 1 \text{ kg}$$

Szükséges huzal mennyiség:

$$M = m \cdot 0,95 = 1,1 \text{ kg}$$

5.5. ábra anyagvastagság aránya különböző paraméterekhez

81.táblázat Rozsdamentes acélok kötőhegesztése A W1-ejjarassal (tompavarratokra)

Anyagvastagság, s [mm]	Elektróda-átmérő, d _w [mm]	Pálcaátmérő, d _p [mm]	Áramerősség, I [A]	Argonfogyasztás, V _{Ar} [lit/min]	Hegesztési sebesség, v _h [m/min]
1	1	1,5	40	2,5	0,35
1,5	1,5	2	80	3	0,30
2	1,5	2	100	4	0,25
3	2	2,5	120	4	0,22
4	2	3	150	4	0,18
5	3	4	180	5	0,16
6	3	4	240	5	0,15
8	3	4	280	6	0,12
10	4	5	320	6	0,10

ez alapján:

A legnagyobb választottam mert az van a legközelebb a valós értékekhez.

dw= 4 mm

dp=5 mm

I=320 A

U=33 V

Var= 6[l/min]

vh=0,1 [m/min]

n=4 varratsorok száma

Védőgáz szükséglet:

Tapasztalati összefüggés szerint :

10*elektróda szükséglet= 10 kg

Technológiai adatok:

$$t_{hegfoido} = 1/v_{heg} * n * l = 8 \text{ min}$$

$$EM = \frac{U * I * t_{hegfoido}}{\eta * 1000} = 1,76 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{ü}} = N_{\text{ü}} \cdot t_{\text{ü}} = 0,016 \text{ kWh}$$

$$t_{\text{ü}} = \text{thegef. főidő} \cdot 0,15 = 0,02 \text{ h}$$

$$E_{\text{A}} = E_{\text{M}} + E_{\text{ü}} = 1,776 \text{ kWh}$$

Fedett ívű hegesztés (121-SAW):

- Anyagvastagság: $s = 30 \text{ mm}$
- Alapanyag: P355GH
- Varrat térfogata: $684,5 \text{ cm}^3/\text{m}$
- Varrathossz: $4,2 \text{ m}$
- Összes varrat térfogata: 2875 cm^3
- Huzalszükséglet: $46 \text{ kg}/\text{varrat}$
- Fedőpor szükséglet: $60 \text{ kg}/\text{varrat}$
- Feszültség: 35V
- Áramerősség: 1100 A
- Hegesztési főidő: $24 \text{ perc}/\text{varrat}$
- Energiaigény: $68,2 \text{ kWh}/\text{varrat}$

AWI hegesztés (141-TIG):

- Anyagvastagság: $s = 15 \text{ mm}$
- Alapanyag: S355J2
- Varrat térfogata: 630 cm^3
- Huzalszükséglet: $1,1 \text{ kg}$ (4 mm átmérőjű huzal) /varrat
- Védőgáz szükséglet: $10 \text{ kg}/\text{varrat}$ (argon) /varrat
- Hegesztési főidő: $8 \text{ perc}/\text{varrat}$
- Energiaigény: $50,8 \text{ kWh}/\text{varrat}$
- Feszültség: 33V
- Áramerősség: 320A
- *Huzal előtolás mivel kézi adagolás van ezért $8-12 \text{ mm}/\text{min}$*

Az erről készült WPS-ek megtalálhatóak a 7. és 8. számú mellékletbe.

6. Anyagvizsgálatok

A vizsgálatok során minden mérést hétszeres ismétléssel az az MSZ EN ISO 9015-1:2011 szerint végeztem el annak érdekében, hogy a mérési eredmények megfelelő pontosságát és megbízhatóságát biztosítsam. Az így kapott adatsorok kiértékelésekor a két szélső értéket elhagytam, így a középső öt mérési eredmény átlaga szolgált az értékelés alapjául. Ezzel a módszerrel minimalizálható a mérési hibák és a véletlenszerű szórások hatása, ezáltal pontosabb képet kaphattam a vizsgált varratok tényleges mechanikai tulajdonságairól.

A mérések elsődleges célja a hegesztések minőségének ellenőrzése volt. Ennek érdekében a vizsgálatokat azokon a varratokon végeztem el, amelyek a szerkezet szempontjából kritikusnak tekinthetők. Összesen öt varrat – CW1, CW12, CW9, P2 és L5 – került értékelésre. A kiválasztás alapját az jelentette, hogy ezek a varratok a tervezett berendezés legnagyobb igénybevételnek kitett részein helyezkednek el, így minőségük közvetlen hatással van az üzembiztonságra és a hosszú távú megbízhatóságra.

A CW1, CW12 és CW9 jelű varratokat fedett ívű hegesztési (SAW) eljárással készítettem, 30 mm-es anyagvastagság mellett, P355GH alapanyagon. Ezek a varratok a nyomástartó berendezés nagy falvastagságú, erősen terhelt részein találhatóak, ezért kiemelten fontos volt a minőségük részletes ellenőrzése. A másik két vizsgált varrat, az L5 és P2, AWI (argon védőgázos volfrámelektrodás ívhegesztés) technológiával készült S355J2 acélon, 15 mm-es anyagvastagság mellett. Ezek a varratok szintén kritikus helyeken helyezkednek el, így bevonásuk a vizsgálatba elengedhetetlen volt.

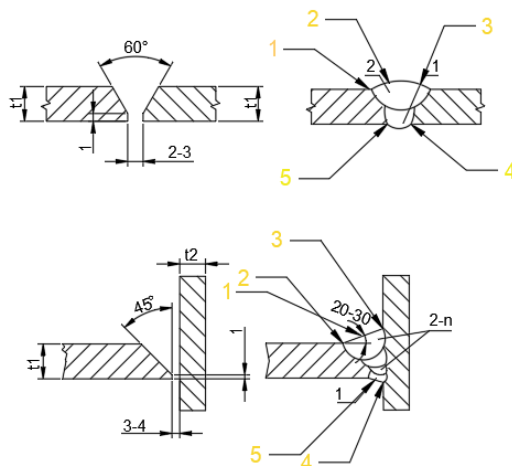
A vizsgálati módszer és a mérési pontosság biztosítására alkalmazott eljárások lehetővé tették, hogy az általam tervezett hegesztéstechnológia megbízhatóságát objektíven értékeljem, és részletes képet kapjak a varratok mechanikai tulajdonságairól, illetve azok megfelelőségéről a tervezési követelményekhez viszonyítva.

6.1. Vickers keménységmérés

Az 6.1. ábrán látható a mért pontok helyzete, amely a mérések eredményeit mutatja, láthatók a mérési pontok elhelyezkedései, illetve az ezekhez tartozó keménységi értékek. Ezek az adatok grafikus formában szemléltetik a hegesztett varratok keménységi eloszlását a különböző

területeken, így lehetővé téve az anyag tulajdonságainak térbeli változásainak pontosabb megértését.

6.1. ábra mért pontok általános ábrája



Az ábrák segítenek abban, hogy az esetleges gyengeségek vagy eltérések helyei könnyebben azonosíthatók legyenek, ami a hegesztési minőség javításában és a biztonságos működés fenntartásában is fontos szerepet játszik.

Mérés körülményei:

Az 6.2. ábrán látható Digitális Vickers keménységmérő 8~2900HV – Insize mérőgép. A mérést 20 °C-os közegben, megfelelő páratartalom mellett végeztük, az MSZ EN ISO 9015-1:2011 , MSZ EN ISO 6507-1 illetve MSZ EN ISO 9015- 1szabványoknak megfelelően, amelyek biztosították, hogy a környezeti feltételek optimálisak legyenek a pontos és megbízható keménységvizsgálathoz.

A keménységi mérésekhez Digitális Vickers keménységmérőt használtunk, amely 8 és 2900 HV közötti mérési tartománnyal rendelkezik. Az elemzést egy Insize típusú mérőgépen végeztük, amely magas precizitást biztosított az eljárás során. A vizsgálatban részt vevő hegesztési varratok között a P2 és L5 varratok AWI (Argon-Wolfram-Inertgáz) eljárással készültek, míg a többi varrat fedőporos hegesztési eljárással.

6.2. ábra Digitális Vickers keménységmérő 8~2900HV - Insize



A mérőgép technikai adatai kiemelkedő pontosságot biztosítottak a mérésekhez: a terhelési tartomány 0,5 és 50 kgf között mozgott, és a terhelésvezérlés teljesen automatikus volt, amely magába foglalta a terhelés felhelyezését, fenntartását és levételét is. A terhelési idő 1 és 99 másodperc között állítható volt, ami rugalmasságot adott a vizsgálat során. A szemlencse 10-szeres nagyítással, a tárgylencse pedig 10 x-es és 20 x-os nagyítással dolgozott, így a teljes nagyítás 100 x-os és 200 x-os volt. A hossz mérés felbontása rendkívül finom, 0,01 μm volt, az adatok rögzítése pedig USB memória kártyán történt, megkönnyítve az adatok tárolását és elemzését. A munkadarab maximális magassága 180 mm, míg a szélessége 160 mm lehetett a benyomófej központjától a gép testének széléig.

A vizsgálat tárgyát képező próbatestek S355J2 vagy P355GH anyagminőségű hegesztett acélok voltak, amelyek közepes szilárdságú szerkezeti anyagokként ismertek. Ezek az acélok gyakran találhatók teherhordó szerkezetekben és különféle ipari berendezésekben, ezért fontos, hogy a hegesztési varratok minősége megfelelő legyen. A mérések célja az volt, hogy pontos képet kapjunk a varratok keménységi jellemzőiről, így felmérve a hegesztés minőségét és a varratok viselkedését különböző terhelési feltételek mellett. Az összes mért adat meghalálható az 1. mellékletbe

6.3. ábra Vickers keménységmérés



Az ábra 6.3. a keménységi mérések trendjét mutatja be, amely szemléletesen ábrázolja a különböző hegesztési varratokon mért keménységi értékek alakulását. A grafikon alapján jól megfigyelhető, hogy az egyes varratok bizonyos mértékben eltérnek egymástól, ami több tényezőre vezethető vissza. Ezek közé tartozik egyrészt az alkalmazott hegesztési technológia típusa (fedett ívű vagy AWI), másrészt az eltérő anyagvastagságok és az ezekből adódó hőbevitel, amelyek közvetlen hatással vannak a varrat és a hőhatásövezet mechanikai tulajdonságaira. A mérési pontok összehasonlítása lehetőséget ad arra, hogy meghatározzuk, mely varratok esetében tapasztalható nagyobb szórás vagy eltérés az átlagértékhez képest. Ez különösen fontos a kritikus pontok azonosításában, hiszen ezeknél a helyeknél nagyobb eséllyel fordulhat elő kedvezőtlen szerkezet vagy a mechanikai tulajdonságok gyengülése. Az ábra ezért nemcsak az eredmények grafikus szemléltetésére szolgál, hanem hozzájárul a vizsgált technológiák összehasonlításához és értékeléséhez is. A részletes, számszerű eredmények a 3. táblázatban találhatóak, amely az egyes hegesztési varratokra vonatkozó átlagos keménységi értékeket és szórásokat tartalmazza. A teljes mérési jegyzőkönyvek és az egyes mérések dokumentációja A 13. számú mellékletben megtalálható az alkalmazott makro csiszolat és a mért pontok.

3. A keménységmérés eredményei

	Varratok				
	L5	P2	CW1	CW9	CW12
1. mérés[HV]	178	167	210	185	197
2. mérés[HV]	177	168	200	183	188
3. mérés[HV]	176	170	173	170	173
4. mérés[HV]	201	204	172	172	176
5. mérés[HV]	199	206	171	174	177
átlag[HV]	186,2	183	185,2	176,8	182,2
szórás[-]	12,63725	20,12461	18,43095	6,760178	10,03494
%-os szórás	7%	11%	10%	4%	6%
elvárás[HV]	150	150	150	150	150

Értékelés:

A keménységmérések eredményei minden vizsgált varratnál meghaladják a 150 HV elvart értéket, így a varratok minősége megfelelőnek tekinthető. Ez azt mutatja, hogy az alkalmazott hegesztési technológia alkalmas a feladat ellátására. A P2 és CW1 varratok esetében tapasztalt nagyobb szórás valószínűleg a varratképződés közben bevitt másodlagos ötvözők hatására vezethető vissza, azonban ez a minőséget nem befolyásolja. A többi varrat kiegyensúlyozottabb keménységeloszlást mutatott, ami tovább erősíti a technológia megbízhatóságát.

6.2. Szakítóvizsgálat

Mérés körülményei:

A szakítóvizsgálat során egy P355GH és S355J2 anyagminőségű acélból készült, hegesztett próbatestet vizsgáltunk. Ezek az acélfajták közepes szilárdságú szerkezeti acélok, amelyeket gyakran használnak ipari és építési alkalmazásokban. A próbatest hegesztett volt, így a vizsgálat nemcsak az alapanyag, hanem a hegesztett varratok szilárdságát is vizsgálta. A próbatesten 5 különböző hegesztett varratot mértünk meg, mindegyiket összesen 7 alkalommal. A mérési eredmények értékelése során a kapott értékek közül a legkisebb és legnagyobb, tehát

a két szélső értéket kizártuk, hogy az esetleges mérési hibákat vagy extrém értékeket kizárjuk az értékelésből. Az 6.4. ábrán szakító próbatestek közül 1 minta darab látható láthatóak. A mérést a MSZ EN ISO 9015-1 illetve MSZ EN ISO 6892-1 szabványok szerint végeztem

6.4. ábra Szakító próbatest



Az így fennmaradó 5 mérési eredmény átlagát használtuk fel a végső értékeléshez, amely pontosabb képet ad a hegesztett varratok szilárdsági jellemzőiről.

A vizsgálatot szobahőmérsékleten végeztük, általában 20-23°C között. A próbatestet a szakítógép befogópofái közé gondosan rögzítettük, hogy biztosítsuk az egyenletes, központi terhelést, és elkerüljük az esetleges ferde vagy egyenlőtlen igénybevételt. A szakítógép folyamatosan növelte a próbatest terhelését egészen addig, amíg a próbatest meg nem szakadt. A vizsgálat során rögzítettük a maximális szakítószilárdságot (R_m), amelyet az az erő jelzi, amelyet a próbatest elviselt a törésig. Ezen kívül mértük a folyáshatárt (R_{eH} vagy R_{eL}) és a kontrakciós szilárdságot (R_u), amely az a pont, ahol az anyag maradé alakváltozást szenvedett, valamint a törés utáni nyúlást ($A\%$), amely az anyag alakváltozásának mértékét jelzi a törés előtt. Az összes mért adat megtalálható a 2. mellékletbe.

Mérésre használt gép:

Ez a Servo-Plus automata szabályozású, univerzális négyoszlopos szakító- és törőgép alkalmas 6-25 mm átmérőjű betonacél, valamint legfeljebb 25×15

5.5. ábra Univerzális szakító- és törőgép



mm-es sík minta szakítására. Továbbá, törési vizsgálatokhoz is használható, legfeljebb 150 mm-es betonkocka vagy 160×320 mm-es hengeres minta esetén. A készülék tartalmazza a befogó tartót, de a tartozékokat külön kell megrendelni. Az 5.3. ábrán látható egy Univerzális szakító- és törőgép .[17.]

Műszaki adatok: – Maximális szakítóerő: 500 kN – Maximális nyomóerő: 1500 kN – Befogók közötti távolság: minimum 300 mm, maximum 400 mm – Nyomólapok közötti távolság: 340 mm – Oszlopok közötti távolság: 270 mm – Dugattyú lökethossza: 100 mm – Pontosság és ismételhetőség: ±1% a mért értékekhez képest – Tápellátás: 230 V, 1 fázis, 50 Hz, 750 W – Méretek: 780×420×1700 mm – Tömeg: 850-900 kg

Szakító szilárdság (R_m , N/mm²):

A szakítóvizsgálat során mért maximális erő (F_m) a próbatest eredeti keresztmetszetének (S_0) hányadosa.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

4. táblázat Szakítószilárdság mérései eredményei

<u>Szakító szilárdság</u>	L5	P2	CW1	CW9	CW12
1. mérés[N/mm ²]	520,86	523,76	517,35	519,46	522,73
2. mérés[N/mm ²]	519,66	525,3	522,25	511,53	528,08
3. mérés[N/mm ²]	511,58	526,83	519,71	519,54	512,52
4. mérés[N/mm ²]	515,52	518,63	526,85	529,67	521,86
5. mérés[N/mm ²]	511,41	523,94	513,55	514,34	525,81
átlag[N/mm ²]	515,806	523,692	519,942	518,908	522,2
szórás[-]	4,4063	3,087178	5,016903	6,925068	5,952004
%-os szórás	1%	1%	1%	1%	1%
elvárás [N/mm ²]	500	500	500	500	500

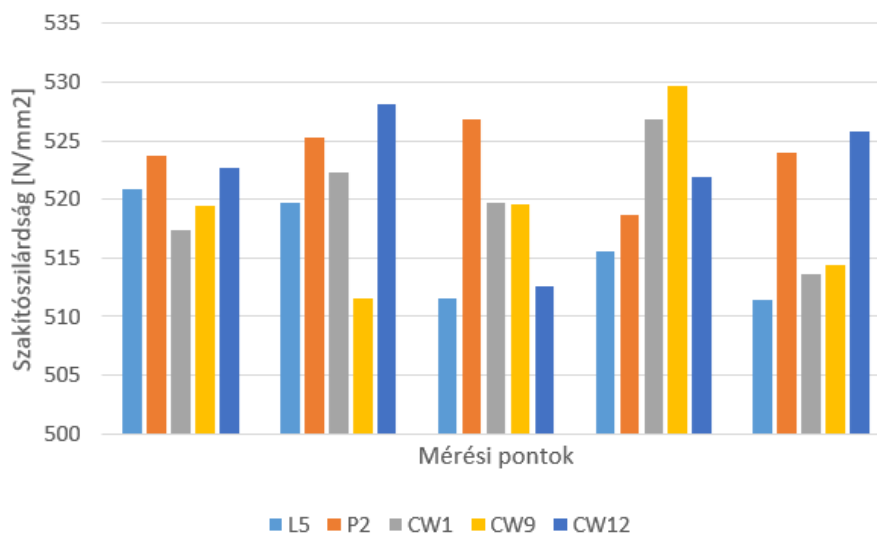
A 4. táblázatban a szakítószilárdság méréseinek eredményei láthatók, amelyek részletes információt nyújtanak a vizsgált anyagok és hegesztett varratok mechanikai tulajdonságairól. A szakítószilárdság (tensile strength) az anyag egyik legfontosabb jellemzője, amely megmutatja, hogy mekkora húzóerő hatására képes még ellenállni anélkül, hogy maradandó alakváltozás következne be, illetve elszakadna. Ez a paraméter alapvető szerepet játszik mind a tervezésben, mind a szerkezetek biztonságos üzemeltetésében, különösen nyomástartó edények és nagy igénybevételnek kitett alkatrészek esetén.

A mérések során kapott értékek lehetővé teszik a különböző varratok és alapanyagok összehasonlítását, így jól látható, hogy az alkalmazott hegesztési technológiák mennyire biztosítanak egyenletes és megbízható kötéseket létrehozásuk. Az eredmények rámutatnak arra is,

hogy a vizsgált anyagok maximálisan mekkora húzóerőt képesek elviselni, ami közvetlenül összefügg a szerkezet tervezésénél alkalmazandó biztonsági tényezők meghatározásával.

Az 6.6. ábra szemléletesen mutatja be a szakítószilárdsági vizsgálatok eredményeit grafikus formában, amely jól kiegészíti a táblázatos adatokat, és egyértelműen ábrázolja az egyes varratok közötti különbségeket. Ez hozzájárul a hegesztett kötések minőségének átfogó értékeléséhez, valamint a technológiai megfelelés alátámasztásához.

6.6. ábra Szakítószilárdság mérési eredményei



Értékelés:

A szakítóvizsgálati eredmények szerint az öt vizsgált hegesztési varrat (L5, P2, CW1, CW9, CW12) átlagos szakítószilárdsága mindegyik esetben meghaladja az 500 N/mm²-es elvárást. A L5 varrat átlagos szakítószilárdsága 515,8 N/mm², míg a P2 varrat 523,7 N/mm²-t mutat. A CW1 varrat 519,9 N/mm² átlagos értékkel rendelkezik, míg a CW9 és CW12 varratok esetében ez 518,9 N/mm² és 522,2 N/mm².

A mért értékek szórása is alacsony, ami a mérési folyamat stabilitását és megbízhatóságát tükrözi. A L5 varratnál a szórás 4,41 N/mm², míg a P2 varratnál 3,09 N/mm², ami mindkét esetben 1 %-os szórást jelent. A CW1, CW9 és CW12 varratok szórása szintén 1%-os, ami szintén kedvező mutató. Az összes varrat tehát nemcsak hogy megfelel a minimális

követelményeknek, hanem a szórásalapú elemzés is azt mutatja, hogy az eredmények konzisztensek és megbízhatóak.

A felső folyáshatár (ReH, N/mm²):

a folyást megindító erőnek (FeH) és az eredeti keresztmetszet (S0) hányadosa.

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

6.7. ábra Felső folyáshatár mérései eredményei



A 6.7. ábra a felső folyáshatár méréseinek eredményeit szemlélteti grafikon formájában, ahol az adatpontok mértékegységgel feltüntetve jelennek meg. A felső folyáshatár (ReH) az a feszültség szint, amelynél az anyag a rugalmas viselkedésből hirtelen átmegy a képlékeny alakváltozás tartományába. Meghatározása különösen fontos, mert ez az érték jelzi azt a határt, amely felett az anyag már maradandó deformációt szenved, így közvetlen összefüggésben áll a szerkezet üzemi biztonságával és terhelhetőségével. A grafikon lehetővé teszi a különböző vizsgált hegesztési varratok és alapanyagok felső folyáshatár értékeinek gyors és áttekinthető

összehasonlítását. Az egyes mérési pontok precíz ábrázolása jól szemlélteti az eredmények közötti kisebb eltéréseket, valamint a terhelés hatására bekövetkező változásokat. Ez segít annak megállapításában, hogy az alkalmazott hegesztési technológiák mennyire biztosítanak homogén és szabványkövetelményeknek megfelelő varratokat. Az 5. táblázat részletesen tartalmazza a felső folyáshatár mérési eredményeit numerikus formában, amelyek a grafikon adatait kiegészítve pontos képet adnak a vizsgálatok során tapasztalt szilárdsági jellemzőkről. Az ábra és a táblázat együttes vizsgálata átfogó értékelést nyújt a hegesztett kötések anyagminőségéről és terhelhetőségéről.

5. táblázat Felső folyáshatár mérési eredményei

Felső folyáshatár	L5	P2	CW1	CW9	CW12
1. mérés[N/mm ²]	505,64	500,37	507,92	499,85	495,35
2. mérés[N/mm ²]	501,82	506,64	508,15	497,76	506,18
3. mérés[N/mm ²]	508,67	499,48	507,69	505,74	495,03
4. mérés[N/mm ²]	504,37	509,63	495,99	501,75	503,36
5. mérés[N/mm ²]	509,99	496,05	507,47	496,91	496,66
átlag[N/mm ²]	506,098	502,434	505,444	500,402	499,316
szórás[-]	3,288612	5,550102	5,291038	3,528111	5,114238
%-os szórás	1%	1%	1%	1%	1%
elvárás [N/mm ²]	490	490	490	490	490

Értékelés:

A felső folyáshatár vizsgálati eredményei alapján az öt vizsgált hegesztési varrat (L5, P2, CW1, CW9, CW12) átlagos értékei mind meghaladják a 490 N/mm²-es elvárást. A L5 varrat esetében az átlagos felső folyáshatár 506,1 N/mm², míg a P2 varrat 502,4 N/mm²-t mutat. A CW1 varratnál az átlag 505,4 N/mm², amely szintén megfelel a követelményeknek, míg a CW9 varrat 500,4 N/mm², és a CW12 varrat 499,3 N/mm² értéket mutat, ami szintén kedvező.

A mérések szórása az összes varrat esetében alacsony, jelezve a mérések stabilitását. A L5 varratnál a szórás 3,29 N/mm², a P2 varratnál 5,55 N/mm², míg a CW1 varratnál 5,29 N/mm²,

ami 1 %-os szórást eredményez mindegyik esetben. A CW9 és CW12 varratok szórása szintén 1 %-os, 3,53 N/mm² és 5,11 N/mm² értékekkel.

Összességében megállapítható, hogy a mért értékek minden esetben meghaladják a minimális elvárásokat, és a szórásértékek alacsony volta a vizsgálati eljárás következetességét és megbízhatóságát tükrözi.

Az alsó folyáshatár (R_{eL} , N/mm²):

A folyást fenntartó erőnek (F_{eL}) és az eredeti keresztmetszet (S_0) hányadosa.

6. táblázat Alsó folyáshatár mérési eredményei

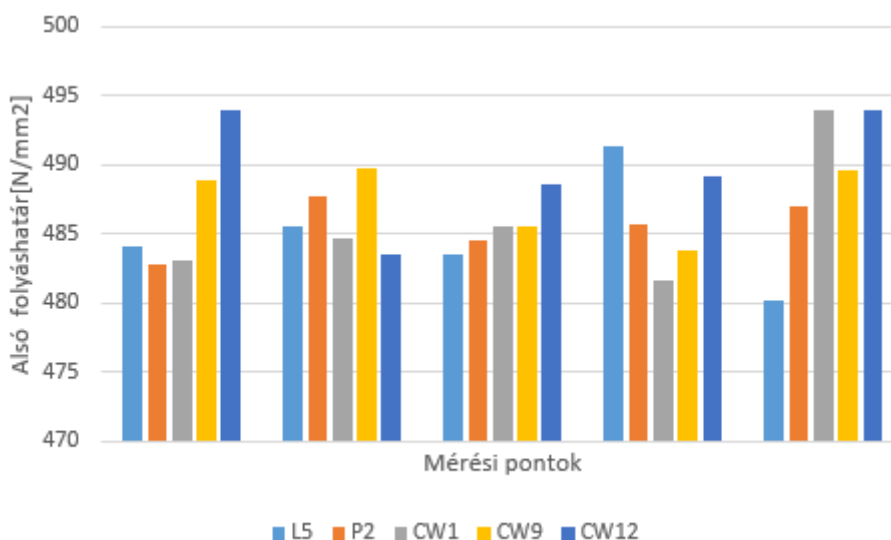
Alsó folyáshatár	L5	P2	CW1	CW9	CW12
1. mérés[N/mm ²]	484,02	482,71	483,02	488,89	493,97
2. mérés[N/mm ²]	485,56	487,77	484,65	489,75	483,47
3. mérés[N/mm ²]	483,5	484,48	485,48	485,6	488,53
4. mérés[N/mm ²]	491,34	485,74	481,64	483,72	489,22
5. mérés[N/mm ²]	480,21	486,97	493,9	489,64	494,01
átlag[N/mm ²]	484,926	485,534	485,738	487,52	489,84
szórás[-]	4,081554	2,011847	4,797126	2,714342	4,390991
%-os szórás	1%	0%	1%	1%	1%
elvárás [N/mm ²]	480	480	480	480	480

A 6. táblázatban a mért alsó folyáshatár értékek találhatóak, amelyek a vizsgált hegesztett varratok és alapanyagok egyik legfontosabb mechanikai jellemzőjét adják meg. Az alsó folyáshatár az a feszültség szint, amely felett az anyagban maradandó, vissza nem fordítható alakváltozás indul meg, ezért meghatározása alapvető fontosságú a szerkezet üzemi biztonságának szempontjából. A nyomástartó edények, így a hidrogéntartály esetében különösen lényeges, hogy ez az érték a szabványokban előírt követelményeknek megfeleljen, hiszen a túl alacsony folyáshatár a szerkezet idő előtti alakváltozásához vagy tönkremeneteléhez vezethetne. Az így kapott adatok lehetőséget biztosítanak arra, hogy összehasonlítsuk az egyes varratok szilárdsági tulajdonságait, valamint megállapítsuk, mennyiben felelnek meg az elvárt értékeknek. Az összehasonlítás segítségével azonosíthatók a

technológiai paramétereiből adódó eltérések, illetve megerősíthető, hogy az alkalmazott eljárások egyenletes és megbízható kötéseket eredményeznek. A 6.8. ábrán az alsó folyáshatár mérési eredményei szemléltethetők grafikus formában, amely a táblázatos adatokhoz képest áttekinthetőbb módon mutatja be a varratok közötti különbségeket. Az ábra és a táblázat együttesen segíti a vizsgált kötésekről alkotott teljes kép kialakítását, hozzájárulva a hegesztési technológia megfelelőségének igazolásához.

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

6.8. ábra Alsó folyáshatár mérési adatai



Értékelés:

A vizsgálat során mért alsó folyáshatár értékek alapján az öt vizsgált hegesztési varrat (L5, P2, CW1, CW9, CW12) átlagos alsó folyáshatár értékei szintén megfelelnek a 480 N/mm²-es elvárásnak. Az L5 varrat átlagos alsó folyáshatára 484,9 N/mm², míg a P2 varrat 485,5 N/mm²-t mutat. A CW1 varrat esetében az átlagos érték 485,7 N/mm², a CW9 varratnál 487,5 N/mm², míg a CW12 varrat 489,8 N/mm² értéket mutat.

A mérések szórása alacsony, jelezve a mérések stabilitását és megbízhatóságát. Az L5 varratnál a szórás 4,08 N/mm², a P2 varratnál 2,01 N/mm², míg a CW1 varratnál 4,80 N/mm². A CW9 és CW12 varratok szórása 2,71 N/mm² és 4,39 N/mm², ami szintén kedvező.

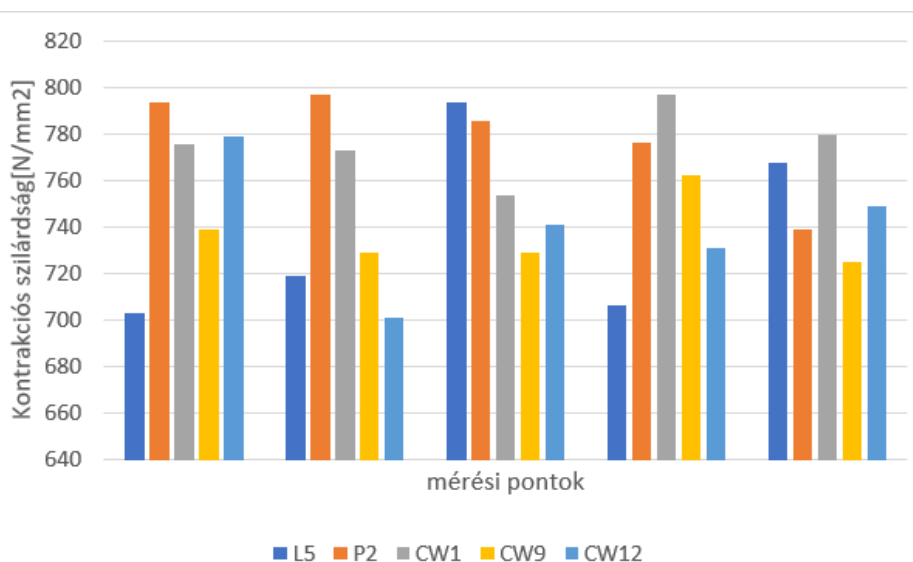
Összességében megállapítható, hogy az alsó folyáshatár értékek minden esetben meghaladják a minimális elvárásokat. A szórásértékek alacsony volta a vizsgálati eljárás következetességét és megbízhatóságát is tükrözi. Az eredmények alapján a hegesztési varratok mechanikai teljesítménye jónak tekinthető, amely hozzájárul a hidrogén szeparátor megbízható működéséhez.

A kontrakciós szilárdság (R_u , N/mm²):

A szakadást előidéző erők (F_u) és a már kontrahált (lecsökkent) keresztmetszetnek (S_u) a hányadosa.

$$R_u = \frac{F_u}{S_u} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

6.9. ábra Kontrakciós szilárdság mérési adatai



Az 6.9. ábrán a kontrakciós szilárdság mérési eredményeit mutatja, amelyek az anyag szilárdságát és alakváltozási képességét jellemzik a terhelés alatti összehúzódás során. Ezek az eredmények fontosak a vizsgált anyag viselkedésének és deformációs tulajdonságainak

megértéséhez, különösen a terhelés alatti anyagkárosodás megelőzése szempontjából. A diagram lehetővé teszi az egyes mérési pontok összehasonlítását, valamint a szilárdság és kontrakció közötti összefüggések vizsgálatát különböző anyagok és varratok esetében.

7. táblázat Kontrakciós szilárdság mérési eredményei

szakítászilárdság	L5	P2	CW1	CW9	CW12
1. mérés[N/mm ²]	703,2	793,73	775,38	739,05	778,59
2. mérés[N/mm ²]	718,9	797,05	773,07	728,79	700,82
3. mérés[N/mm ²]	793,73	785,66	753,69	728,96	740,93
4. mérés[N/mm ²]	706,49	776,2	797,09	762,21	731,15
5. mérés[N/mm ²]	767,65	739,05	779,68	724,97	748,9
átlag[N/mm ²]	737,994	778,338	775,782	736,796	740,078
szórás[-]	40,47742	23,39221	15,5306	15,13527	28,20739
%-os szórás	5%	3%	2%	2%	4%
elvárás [N/mm ²]	650	650	650	650	650

A 7. táblázatban látható a táblázat Kontrakciós szilárdság mérési eredményei. A kontrakciós szilárdság vizsgálati eredményei alapján az öt vizsgált hegesztési varrat (L5, P2, CW1, CW9, CW12) átlagos értékei meghaladják a 650 N/mm²-es elvárást. Az L5 varrat átlagos kontrakciós szilárdsága 737,99 N/mm², míg a P2 varrat esetében ez az érték 778,34 N/mm².

A CW1 varrat átlagos kontrakciós szilárdsága 775,78 N/mm², a CW9 varrat 736,80 N/mm², és a CW12 varrat 740,08 N/mm²-t mutat. A mérések szórása az egyes varratok esetében változó, de összességében alacsonynak mondható, ami a mérések megbízhatóságát jelzi. Az L5 varratnál a szórás 40,48 N/mm², míg a P2 varratnál 23,39 N/mm², amely kedvező stabilitást mutat. A CW1 varrat szórása 15,53 N/mm², a CW9 varratnál 15,14 N/mm², míg a CW12 varrat 28,21 N/mm²-es szórása szintén elfogadható. Összességében megállapítható, hogy a kontrakciós szilárdság értékek minden esetben jelentősen meghaladják a minimális elvárásokat, és a szórásértékek alacsony volta a vizsgálati eljárás következetességét és megbízhatóságát tükrözi. Az eredmények alapján a hegesztési varratok mechanikai teljesítménye kiválóan tekinthető, amely hozzájárul a hidrogén szeparátor megbízható és hatékony működéséhez. A készült diagrammok a 9. mellékletben vannak.

6.3. Charpy-féle ütővizsgálat

Az ütővizsgálat célja a hegesztett varratok minőségének ellenőrzése volt, különböző anyagvastagságú mintákon, amelyeket szabványos körülmények között teszteltünk egy Hoytom Charpy-féle ingás ütőmű gép segítségével. A vizsgálat során a hegesztési varratok törésállóságát és az anyag energiaelnyelő képességét mértük. A próbatesteket előre meghatározott módon készítettük el, és az ütési vizsgálatnál a szabványoknak megfelelően járunk el. Az ismétlések száma hétszeres volt, hogy megfelelő statisztikai megbízhatóságot érjünk el. Az eredmények elemzése során a szélső két értéket elhagytuk, így az értékelésre öt középső adat maradt. Ez a módszer lehetővé tette, hogy az esetlegesen kiugró értékek ne torzítsák az eredményeket, biztosítva ezzel a varratok minőségének pontosabb értékelését. Az öt minta közül mindegyiket különböző varratokon végeztük el, így a vizsgálat szélesebb körű áttekintést nyújtott a hegesztett szerkezetek viselkedéséről különböző anyagvastagságok esetében. A teszt során mért adatok segítettek az anyag viselkedésének megértésében különböző terhelések hatására, és a varratok minőségének javítására vonatkozó következtetések levonásában. A mérés során az MSZ EN ISO 148-1:2011 illetve MSZ EN ISO 9016:2022 szabványok szerint mértem. A használt mérő eszköz a 14. számú mellékletben látható.

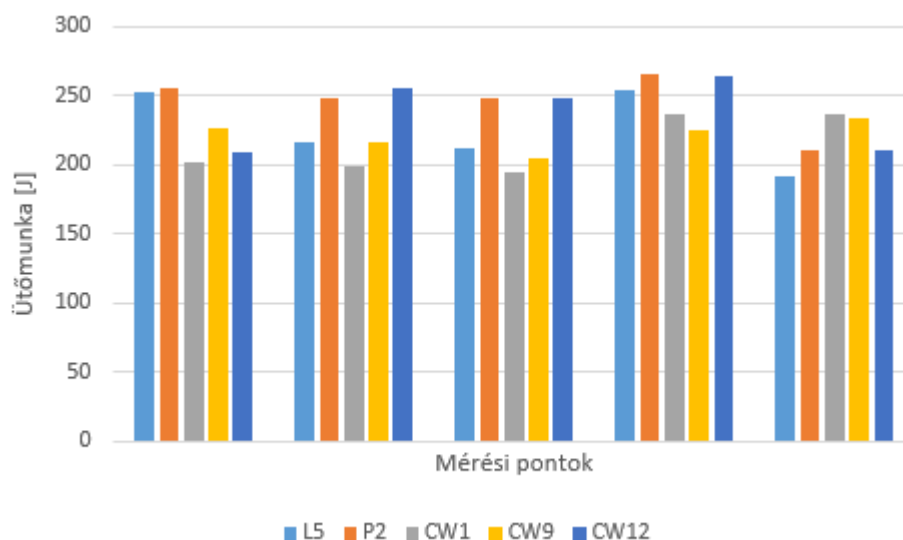
8. táblázat Charpy-féle ütővizsgálat mérési adatai

Ütővizsgálat	L5	P2	CW1	CW9	CW12
1. mérés[J]	252,72	254,82	202,08	226,08	208,76
2. mérés[J]	216,36	248,4	199,41	216,82	254,96
3. mérés[J]	211,48	248,43	194,72	205,3	247,4
4. mérés[J]	254,18	265,86	236,09	224,6	263,41
5. mérés[J]	191,43	210,54	236,7	233,74	209,8
átlag[J]	225,234	245,61	213,8	221,308	236,866
szórás[-]	27,40429674	20,85982	20,79502	10,77685	25,81403
%-os szórás	12%	8%	10%	5%	11%
elvárás[J]	160	160	160	160	160

A 8. táblázatban látható a Charpy-féle ütővizsgálat mérési eredményei. Az összes mérési eredmény az 3. mellékletben van

A mérések értékelése során megállapítható, hogy az L5 és P2 AWI varratok, valamint a CW1, CW12 és CW9 fedett ívű varratok ütőmunka értékei mind meghaladják az elvárt 160 J-t. Az átlagos ütőmunka értékek a következőképpen alakulnak: az L5 varrat esetében 225,234 J, a P2 varratnál 245,61 J, a CW1-nél 213,8 J, a CW12-nél 221,308 J, míg a CW9 esetében 236,866 J. Ezek az értékek azt jelzik, hogy a vizsgált varratok jó mechanikai teljesítményt mutatnak, és képesek ellenállni a terheléseknek.

6.10. ábra Charpy-féle ütővizsgálat mérési eredményei



Az 6.10. ábrán látható a Charpy-féle ütővizsgálat mérési eredményei diagrammos formában. A mérések szórása az egyes varratoknál eltérő, a legnagyobb szórás 27,4 J az L5 varratnál, míg a legkisebb 10,8 J a CW12 varrat esetében. A %-os szórás 5% és 12% között mozog, amely viszonylag alacsonynak számít, jelezve, hogy a mérések stabilak és konzisztens eredményeket adnak. Az ütött próbatestek közül pár darab minta példa megtalálható a 10. számú mellékletbe.

A vizsgált AWI és fedett ívű varratok teljesítménye tehát megerősíti, hogy az elvárt ütőmunka értékekhez képest mindkét varratcsoport kiválóan teljesít. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a varratok minősége megfelelő, és alkalmasak különböző alkalmazásokra.

6.4. Hajlító vizsgálat

A hajlító vizsgálatot egy ZD100 típusú szakítógépen végeztük el, amely lehetővé teszi a vizsgált anyagok mechanikai tulajdonságainak alapos és részletes elemzését. A vizsgálatot szabványos körülmények között hajtottuk végre, biztosítva, hogy minden szükséges feltétel és protokoll teljesüljön a megbízható eredmények érdekében.

6.11. ábra ZD100 típusú szakítógép



Az 6.11 ábrán látható a ZD100 típusú szakítógép. A vizsgálat során azonban nem tudtuk a mért adatokat számszerűsíteni, mivel a célunk a repedésmentesség ellenőrzése volt. Ez azt jelenti, hogy a hajlító vizsgálat során az anyagok felületi és belső hibáit, például repedéseit és egyéb szerkezeti gyengeségeit azonosítottuk. A vizsgálat során a repedésmentesség vizsgálata elsődleges szempont volt, mivel a repedések jelenléte jelentős hatással van az anyagok mechanikai teljesítményére és tartósságára.[15.]

A hajlító vizsgálat tehát fontos lépés volt a vizsgált anyagok integritásának és megbízhatóságának értékelésében, lehetővé téve számunkra, hogy a potenciális gyengeségeket és hibákat azonosítsuk anélkül, hogy konkrét numerikus adatokat állítottunk volna elő. Ez a megközelítés különösen hasznos lehet a hegesztett varratok és a szerkezeti elemek minőségének

biztosításában, ahol a repedésmentesség kritikus fontosságú. A részletes mérési adatok megtalálhatóak az 5. mellékletben.

9. táblázat Hajlító vizsgálat mérési adatai

Próbatest azonosító	Próbatest helyzete	Próbatest szélessége [mm]	Próbatest vastagsága [mm]	Nyomógörgő átmérője [mm]	Görgők távolsága [mm]	Hajlítási szög [°]	Megjegyzés
CW1	SBB	12,5	16	30	50	180	repedésmentes
CW9	SBB	12,5	16	30	50	180	repedésmentes
CW12	SBB	12,5	16	30	50	180	repedésmentes
L5	SBB	12,5	15	30	50	180	repedésmentes
P2	SBB	12,5	15	30	50	180	repedésmentes

A 9. táblázatban láthatóak Hajlító vizsgálat mérési eredményei. A hajlító vizsgálat eredményeként megállapítottuk, hogy a vizsgált varratok tökéletesen repedésmentesek maradtak. Ez az eredmény rendkívül fontos, mivel a repedésmentesség a hegesztett varratok minőségének egyik legfontosabb mutatója. A varratok állapotának és megbízhatóságának értékelése során a repedések jelenléte komoly aggályokat vethet fel a szerkezeti integritással és a hosszú távú tartóssággal kapcsolatban. A hajlított próbatestek megtalálhatóak a 11. és 12.-dik számú mellékletekben.

A hajlító vizsgálat során a varratokat különböző terheléseknek és feszültségeknek tettük ki, hogy megfigyelhessük azok viselkedését a mechanikai igénybevétel alatt. A varratok repedésmentessége azt jelzi, hogy a hegesztési eljárás során megfelelően kezeltük az anyagokat, és hogy a varratok kialakítása és a felhasznált anyagok kiválasztása optimális volt.

Ez az eredmény nemcsak a varratok kiváló mechanikai tulajdonságait bizonyítja, hanem a hegesztési folyamatok és technikák hatékonyságát is megerősíti. A repedésmentes varratok garanciát nyújtanak arra, hogy a szerkezetek hosszú távon képesek ellenállni a különböző terheléseknek és igénybevételnek, ami különösen fontos ipari alkalmazásokban, ahol a megbízhatóság és a biztonság elsődleges szempont. Összességében a hajlító vizsgálat során elért repedésmentes eredmény kiválóan tükrözi a varratok minőségét és a hegesztési eljárás sikerességét, valamint hozzájárul a jövőbeni alkalmazásokhoz és a szerkezeti elemek

megbízhatóságának biztosításához. A mérés során az MSZ EN ISO 148-1:2011 illetve MSZ EN ISO 9016:2022 szabványok szerint mértem.

6.5. Röntgen vizsgálat

A vizsgálat célja a hegesztett varratok minőségének ellenőrzése volt, különös tekintettel a belső hibák, mint zárványok és repedések feltárására.

6.12. ábra A Röntgen gép



A 6.12. ábrán a vizsgálatokhoz használt röntgengép látható, amely lehetővé tette a hegesztett kötések belső hibáinak nemroncsoló ellenőrzését. A vizsgálat során öt varratot elemeztünk: CW1, CW12 és CW9, amelyek fedett ívű hegesztéssel (SAW), valamint L5 és P2, amelyek AWI (argon védőgázos volfrámelektrodás ívhegesztéssel) készültek. A két eltérő technológia összehasonlítása fontos volt annak igazolására, hogy a hegesztési eljárás helyesen lett megválasztva az adott anyagminőséghez és vastagsághoz.

A röntgenvizsgálat során célunk az volt, hogy feltárjuk az esetlegesen előforduló belső hibákat, mint például pórusok, salakzárványok, gyökhibák vagy repedések. A felvételek kiértékelése alapján megállapítható, hogy a vizsgált varratokban nem jelentkeztek olyan számottevő hibák, amelyek a szerkezet üzembiztonságát veszélyeztették volna. Ez egyértelműen igazolja, hogy mind a SAW, mind az AWI eljárással készített kötések megfelelő minőségben valósultak meg,

és megfeleltek a szabványos előírásoknak. A röntgen felvételek közül pár minta megtalálható a 4. mellékletbe.

6.13. ábra A Röntgen felvétel



Az 6.13. ábrán látható röntgenfelvétel egyértelműen igazolja, hogy a vizsgált varratok mindegyike kifogástalan állapotban van. A felvételen semmilyen hiba, mint például repedés, légzárvány, vagy deformáció nem található. A varratok illeszkedése és a hegesztés minősége teljes mértékben megfelel az előírt követelményeknek. Ezek az eredmények nemcsak egyetlen varrat esetében figyelhetők meg, hanem az összes, vizsgálat alá vont varratnál is, amelyek egyaránt hibátlanok. A röntgenvizsgálat során felmerülő hibamentesség rendkívül fontos, mivel az esetleges hibák, mint például szerkezeti repedések vagy anyagiányok, hosszú távon jelentős problémákat okozhatnak a szerkezet stabilitásában és megbízhatóságában.

A vizsgálat célja, hogy a hegesztési varratok belső szerkezetét is ellenőrizték, és biztosítsák, hogy még a szemmel nem látható hibák se maradjanak rejtve. A jelen esetben azonban minden varrat hibátlan, ami azt jelenti, hogy a hegesztési folyamat a legmagasabb minőségi színvonalat képviselte, és semmilyen eltérés nem mutatható ki a kívánt paraméterektől. Az ilyen eredmények garantálják, hogy a hegesztett szerkezetek hosszú távon is stabilak és megbízhatóak lesznek.

7. Összefoglalás

A dolgozat célja a hegesztési technológiák vizsgálata és ellenőrzése volt egy hidrogéntartály szerkezeti elemein, különös tekintettel az eltérő anyagminőségű és falvastagságú alkatrészek összekapcsolására. A tartály testje P355GH nyomástartó acélból, a hozzá kapcsolódó csomópontok pedig S355J2 szerkezeti acélból készültek. A hegesztett kötések megbízhatósága kiemelt jelentőséggel bír ilyen jellegű szerkezeteknél, ezért a tervezés és az ellenőrzés minden lépését részletesen kidolgoztam.

A munka során elsőként áttekintettem a hazai és nemzetközi szakirodalmat, amely a hegesztéstechnológia alapelveit, a fedett ívű és volfrámelektrodás ívhegesztés elméleti hátterét, valamint a különböző mechanikai és nemroncsoló anyagvizsgálatok alkalmazhatóságát mutatta be. Ezen források feldolgozása után fogalmaztam meg a vizsgálat fő célját: annak igazolását, hogy a kiválasztott technológiák (fedett ívű hegesztés – SAW, illetve volfrámelektrodás argon védőgázos ívhegesztés – AWI) alkalmasak a hidrogéntartály kötéseinek biztonságos és tartós kivitelezésére.

A dolgozatban bemutattam a vizsgált probléma lényegét is, amelyet az eltérő anyagminőség és a változó falvastagság okozott. A tartálytesten jelentkező vastagabb keresztmetszetek esetében a fedett ívű hegesztés bizonyult megfelelőnek, míg a kisebb méretű csomópontok csatlakoztatásánál az AWI eljárás alkalmazása volt indokolt. A technológia tervezése során elvégeztem a szükséges számításokat: meghatároztam a hegesztendő anyagok szénttartalom-egyenértékét, a varrat térfogatát és tömegét, a szükséges huzal- és fedőpor mennyiségét, valamint a hegesztési fűdőt és az energiaigényt. Az AWI varratok esetében szintén kiszámítottam a huzal-, gáz- és energiafelhasználást. Ezek az eredmények képezték alapját a hegesztési technológiai utasításoknak (WPS-ek), amelyeket a melléklet tartalmaz. A WPS-ek tartalmazzák az alkalmazott eljárások részletes paramétereit, a hegesztési sorrendet és a beállításokat, amelyek biztosítják a kötések megfelelő minőségét.

A tervezési szakaszt anyagvizsgálatok követték, amelyek célja a hegesztett kötések minőségének ellenőrzése és a technológia megfelelőségének igazolása volt. Ennek keretében keménységmérést (Vickers) végeztem a hőhatásövezet és a varrat mechanikai tulajdonságainak ellenőrzésére, szakítóvizsgálatot a szilárdsági jellemzők meghatározására, valamint a

folyáshatár mérést a maradó alakváltozással szembeni ellenállás vizsgálatára. A kontrakciós szilárdság mérése a varrat szívósságára adott információt, míg a Charpy-féle ütővizsgálatok a dinamikus igénybevételek elleni ellenállást értékelték. A hajlítóvizsgálatok során a próbatestek 180°-os hajlítást repedés nélkül teljesítettek, ami a kötés alakíthatóságát és repedésállóságát igazolta. Végül röntgenvizsgálattal ellenőriztem a belső szerkezeti hibák jelenlétét, amely során számottevő eltérést nem találtam. Az anyagvizsgálatokhoz tartozó jegyzőkönyvek szintén a dolgozat mellékletében található.

Az eredmények összességében igazolták, hogy a kiválasztott hegesztési technológiák minden esetben megfeleltek az előírt követelményeknek. A mért értékek teljesítették, illetve több esetben meghaladták a szabványokban rögzített határértékeket. A vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a CW1, CW9 és CW12 jelű varratok fedett ívű hegesztési eljárással, míg az L5 és P2 varratok AWI technológiával megfelelően kerültek kialakításra, és a hidrogéntartály üzemi igénybevételeinek biztonságosan ellenállnak.

8. Summary

The aim of this thesis was to investigate and verify welding technologies applied to the structural elements of a hydrogen storage tank, with particular emphasis on the joining of components made from different materials and wall thicknesses. The tank body was manufactured from P355GH pressure vessel steel, while the attached nozzles were made from S355J2 structural steel. The reliability of welded joints is of key importance in such structures; therefore, every step of the design and verification process was elaborated in detail.

The work began with a review of national and international literature, which provided the theoretical background of welding technologies, including submerged arc welding (SAW) and argon shielded tungsten arc welding (AWI/TIG), as well as the applicability of various mechanical and non-destructive testing methods. Based on this review, the main objective of the study was formulated: to demonstrate that the selected technologies (SAW and AWI) are suitable for producing safe and durable joints for the hydrogen tank.

The core of the problem lay in the differences between the base materials and their wall thicknesses. For the thicker sections of the tank body, the submerged arc welding process was chosen, while the thinner nozzle connections were welded using the AWI method. During the design process, a series of technological calculations were performed. These included the determination of the carbon equivalent of the base materials, the calculation of weld volume and mass, the required filler wire and flux quantities, and the welding time and energy demand. For the AWI welds, the required wire, shielding gas, and energy consumption were also calculated. Based on these results, the welding procedure specifications (WPS) were prepared, which are included in the appendix. The WPS documents contain the detailed process parameters, welding sequence, and settings required to ensure adequate joint quality.

The design phase was followed by material testing, carried out to verify the quality of the welded joints and to confirm the adequacy of the chosen technologies. Hardness testing (Vickers) was conducted to evaluate the properties of the weld metal and the heat-affected zone. Tensile testing provided information on the strength of the joints, while yield strength measurements assessed resistance against permanent deformation. Contraction strength testing gave insight into the toughness of the weld metal, and Charpy impact tests evaluated the

resistance to dynamic loading. Bend tests showed that all specimens withstood 180° bending without cracks, confirming their ductility and crack resistance. Finally, radiographic inspection revealed no significant internal defects in the welds, thus verifying the structural integrity of the joints. The test reports are included in the appendix of this thesis.

Overall, the results confirmed that the selected welding technologies fulfilled all the prescribed requirements. The measured values consistently met or exceeded the limit values specified in the relevant standards. Based on these findings, it can be concluded that the CW1, CW9, and CW12 welds, produced using the SAW process, as well as the L5 and P2 welds, produced using the AWI method, were appropriately designed and executed. Their joints are therefore capable of safely withstanding the operational loads of the hydrogen tank.

9. Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseről és eredetiségéről

A hallgató neve: BARX ADRIÁN

A Hallgató Neptun kódja: EYLOVA

A dolgozat címe: HIDROGÉN TARTALÉK HELESZTÉS TECHNOLÓGIÁI TERVEZÉS ÉS ANYAGVIZSGÁLATA

A megjelenés éve: 2022

A tanszék neve: ANYAGTUDOMÁNYI ÉS GÉPIPARI FOLYAMTANI TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s az irodalomjegyzékben szerepeltettem.


Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a Záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

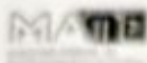
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: 2025 év 10 hó 02 nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.
² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő.



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

NYILATKOZAT

Alulírott BALAI ADRIÁN a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, SZENT ISTVÁN Campus, GEPESE MÉRŐK szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2025 év 10 hó 02 nap


Hallgató

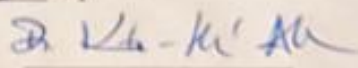
NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom áttekinttem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2025 év 10 hó 02 nap


Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

10. Irodalomjegyzék

- [1.] AWS D1.1 / D1.1M:2020 – Structural Welding Code – Steel, American Welding Society, 2020.
- [2.] AWS Welding Handbook, 10th Edition, Volume 2: Welding Processes, American Welding Society, 2010.
- [3.] Bagyinszki Gyula Dr., Borossay Béla, Kári-Horváth Attila Dr., Kovács-Coskun Tünde, Mucsi András, Németh Árpád Dr., Pálinkás István, Szakál Zoltán Dr., Zsidai László Dr.: Anyagtechnológiák, Typotex Kiadó, H.n., 2012
- [4.] Baránszky-Jób Imre: Hegesztési kézikönyv, Műszaki könyvkiadó Budapest, 1985
- [5.] Beckert-Neumann - A hegesztés alapismeretei-Hegesztési eljárások
- [6.] Beckert-Neumann: A hegesztés alapismeretei, Hegesztési eljárások, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977
- [7.] Bevezetés az anyagtudományba I. Nemzeti Tankönyvkiadó-Tankönyvmester Kiadó
- [8.] Blodgett, O. W. – Welding Metallurgy and Weldability, ASM International, 2001.
- [9.] [chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://att.bme.hu/neptuncode/BMEGEMTBTA2/segedletek/Kemenysegeres_sillabusz.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://att.bme.hu/neptuncode/BMEGEMTBTA2/segedletek/Kemenysegeres_sillabusz.pdf)
- [10.] Dabi Ágnes Egyéb hegesztő eljárások paraméterei, anyagai, hozaganyagai
- [11.] Dr. Szakál Zoltán egyetemi docens Anyagismeret BSc Anyagvizsgálatok Gödöllő 2020
- [12.] Dr. Szakál Zoltán egyetemi docens Anyagismeret BSc Vas alapú ötvözetek Készítette: Gödöllő 2020
- [13.] Fledrich G., Kári-Horváth A., Pataki T. I., Zsidai L.; Mechanikai technológiák, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar; Gödöllő, 2017
- [14.] Gáti József: Hegesztési Zsebkönyv, Cokom Kft. Mérnökiroda 2003.
- [15.] Gerstner, F. & Kurz, F. – Schweißtechnik: Verfahren, Werkstoffe, Anwendungen, Springer, 2017.
- [16.] Gillemot László: Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat.
- [17.] Hatch, J. E. – Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, ASM International, 1984.

-
- [18.] Hegesztéstechnológia I. - KÉZI ÍVHEGESZTÉS + Hegesztéstechnológia
- [19.] Hegeszthetőség és hegesztett kötések vizsgálata
- [20.] <https://grimas.hu/termek/inspekt-table-10-20-50-100-250-kn-asztali-szakitogepek/>
- [21.] <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/mezogazdasag/muszaki-alapismeretek/alapfogalmak/technologiai-es-mechanikai-tulajdonsagok>
- [22.] <https://www.korteszt.hu/univerzalis-szakitogep-es-torogep/>
- [23.] https://www.mbcaltibr.hu/kemenysegerok/digitalis-vickers-kemenysegero-8-2900hv-insize/?srsltid=AfmBOooA_0eg3F5MavwgG4J0Y2WDFQ7CdRqy8jY6imEviOZRuId92RbFg
- [24.] III.-FEDETTÍVŰ AUTOMATIKUS HEGESZTÉS. VILLAMOS SALAKHEGESZTÉS. VÉDŐGÁZAS HEGESZTÉSEK
- [25.] Jánossy Gy.-Kári-Horváth A.-Keresztes R.- Zsidai L.: Szereléstechnológiák, NSZFI, NS 108 0276 06 004-4 Budapest, 2008
- [26.] Kou, S. – Welding Metallurgy, 2nd Edition, Wiley-Interscience, 2003.
- [27.] Kovács Mihály: Hegesztés, Nemzeti Tankönyvkiadó-Tankönyvmester Kiadó 2002.
- [28.] Kún Csaba A hegesztés fogalma, fajtái, ábrázolása. A hegesztés gépei, segédesszközei.
- [29.] Lancaster, J. F. – Metallurgy of Welding, 6th Edition, Woodhead Publishing, 2013.
- [30.] Lippold, J. C. & Kotecki, D. J. – Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels, 2nd Edition, Wiley, 2005
- [31.] Márton Tibor-Plósz Antal-Vincze István: Anyag- és gyártásismeret a fémipari szakképesítések számára, KIT Képzőművészeti Kiadó és Nyomda 1999.
- [32.] Mikló István: Hegesztő szakismeret 3., Műszaki Könyvkiadó 1988.
- [33.] Miller, J. & Denny, H. – “Mechanical Testing of Welded Joints”, Materials Science and Technology, 2015.
- [34.] Orlov B. D.: Ellenállás hegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980
Gelman A. Sz. : Sajtolóhegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973

-
- [35.] Plósz Antal-Vincze István: Kézi ívhegesztés, Tankönyvmester 2000.
- [36.] Prohászka János: Bevezetés az anyagtudományba, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975
- [37.] Thomas, B. G. & Dong, P. – “Modeling of Submerged Arc Welding Process”, Welding Journal, 2007, Vol. 86.
- [38.] Vincze István: Volfrámelektrodás védőgázos ívhegesztés elve, eszközei, berendezései, Nemzeti Tankönyvkiadó-Tankönyvmester Kiadó 2002

11. Mellékletek jegyzéke

1. számú melléklet Varratok keménységmérése
2. számú melléklet szakító vizsgálat eredményei
3. számú melléklet ütővizsgálat
4. számú melléklet röntgen felvételek
5. számú melléklet hajlító vizsgálat
6. számú melléklet a hidrogén tartály varratétképének részlete
7. számú melléklet SAW WPS
8. számú melléklet TIG WPS
9. szakító diagrammok
10. számú melléklet ütött próbatestek
11. melléklet hajlított próbatestek hajlítás előtt
12. melléklet hajlított próbatestek hajlítás után
13. számú melléklet makró csiszolat, Vickers keménységméréshez
14. számú melléklet charpy ütőmű

MELLÉKLETEK

1. számú melléklet Varratok keménységmérése

	varratok				
Alk.technológia	AWI	AWI	SAW	SAW	SAW
	L5	P2	CW1	CW9	CW12
1. mérés[HV]	178	167	302	185	197
2. mérés[HV]	178	168	304	185	197
3. mérés[HV]	177	170	210	183	188
4. mérés[HV]	176	204	200	170	173
5. mérés[HV]	201	206	173	172	176
6. mérés[HV]	199	250	172	174	177
7. mérés[HV]	322	323	171	435	233
átlag[HV]	186,2	183	185,2	176,8	182,2
elvárás[HV]	150	150	150	150	150

2.számú melléklet szakító vizsgálat eredményei

	L5	P2	CW1	CW9	CW12
Alk.technológia	AWI	AWI	SAW	SAW	SAW
1. mérés[N/mm ²]	520,86	523,76	517,35	519,46	522,73
2. mérés[N/mm ²]	519,66	525,3	522,25	511,53	528,08
3. mérés[N/mm ²]	511,58	526,83	519,71	519,54	512,52
4. mérés[N/mm ²]	515,52	518,63	526,85	529,67	521,86
5. mérés[N/mm ²]	511,41	523,94	513,55	514,34	525,81
6. mérés[N/mm ²]	540,54	560,35	134,42	452,56	653,52
7. mérés[N/mm ²]	214,65	563,53	3468,42	534,54	234,53
átlag[N/mm ²]	515,806	523,692	519,942	518,908	522,2
szórás[-]	4,4063	3,087178	5,016903	6,925068	5,952004
%-os szórás	1%	1%	1%	1%	1%
elvárás [N/mm ²]	500	500	500	500	500

	L5	P2	CW1	CW9	CW12
Alk.technológia	AWI	AWI	SAW	SAW	SAW
1. mérés[N/mm ²]	505,64	500,37	507,92	499,85	495,35
2. mérés[N/mm ²]	501,82	506,64	508,15	497,76	506,18
3. mérés[N/mm ²]	508,67	499,48	507,69	505,74	495,03
4. mérés[N/mm ²]	504,37	509,63	495,99	501,75	503,36
5. mérés[N/mm ²]	509,99	496,05	507,47	496,91	496,66
6. mérés[N/mm ²]	324,34	710,43	324,54	342,42	134,12
7. mérés[N/mm ²]	700,21	920,54	600,12	700,43	522,43
átlag[N/mm ²]	506,098	502,434	505,444	500,402	499,316
szórás[-]	3,288612	5,550102	5,291038	3,528111	5,114238
%-os szórás	1%	1%	1%	1%	1%
elvárás [N/mm ²]	490	490	490	490	490

	L5	P2	CW1	CW9	CW12
Alk.technológia	AWI	AWI	SAW	SAW	SAW
1. mérés[N/mm ²]	484,02	482,71	483,02	488,89	493,97
2. mérés[N/mm ²]	485,56	487,77	484,65	489,75	483,47
3. mérés[N/mm ²]	483,5	484,48	485,48	485,6	488,53
4. mérés[N/mm ²]	491,34	485,74	481,64	483,72	489,22
5. mérés[N/mm ²]	480,21	486,97	493,9	489,64	494,01
6. mérés[N/mm ²]	546,65	334,53	324,13	346,25	633,54
7. mérés[N/mm ²]	510,63	532,42	545,52	345,54	435,52
átlag[N/mm ²]	484,926	485,534	485,738	487,52	489,84
szórás[-]	4,081554	2,011847	4,797126	2,714342	4,390991
%-os szórás	1%	0%	1%	1%	1%
elvárás [N/mm ²]	480	480	480	480	480

	L5	P2	CW1	CW9	CW12
Alk.technológia	AWI	AWI	SAW	SAW	SAW
1. mérés[N/mm ²]	703,2	793,73	775,38	739,05	778,59
2. mérés[N/mm ²]	718,9	797,05	773,07	728,79	700,82
3. mérés[N/mm ²]	793,73	785,66	753,69	728,96	740,93
4. mérés[N/mm ²]	706,49	776,2	797,09	762,21	731,15
5. mérés[N/mm ²]	767,65	739,05	779,68	724,97	748,9
6. mérés[N/mm ²]	832,34	873,43	840,56	234,54	462,56
7. mérés[N/mm ²]	853,42	456,54	811,64	854,45	943,46
átlag[N/mm ²]	737,994	778,338	775,782	736,796	740,078
szórás[-]	40,47742	23,39221	15,5306	15,13527	28,20739
%-os szórás	5%	3%	2%	2%	4%
elvárás [N/mm ²]	650	650	650	650	650

3. Ütővizsgálat:

	L5	P2	CW1	CW9	CW12
Alk.technológia	AWI	AWI	SAW	SAW	SAW
1. mérés[J]	252,72	254,82	202,08	226,08	208,76
2. mérés[J]	216,36	248,4	199,41	216,82	254,96
3. mérés[J]	211,48	248,43	194,72	205,3	247,4
4. mérés[J]	254,18	265,86	236,09	224,6	263,41
5. mérés[J]	191,43	210,54	236,7	233,74	209,8
6. mérés[J]	635,56	345,64	341,87	352,32	140,64
7. mérés[J]	637,56	234,64	542,53	124,24	533,12
átlag[J]	225,234	245,61	213,8	221,308	236,866
szórás[-]	27,40429674	20,85982	20,79502	10,77685	25,81403
%-os szórás	12%	8%	10%	5%	11%
elvárás[J]	160	160	160	160	160

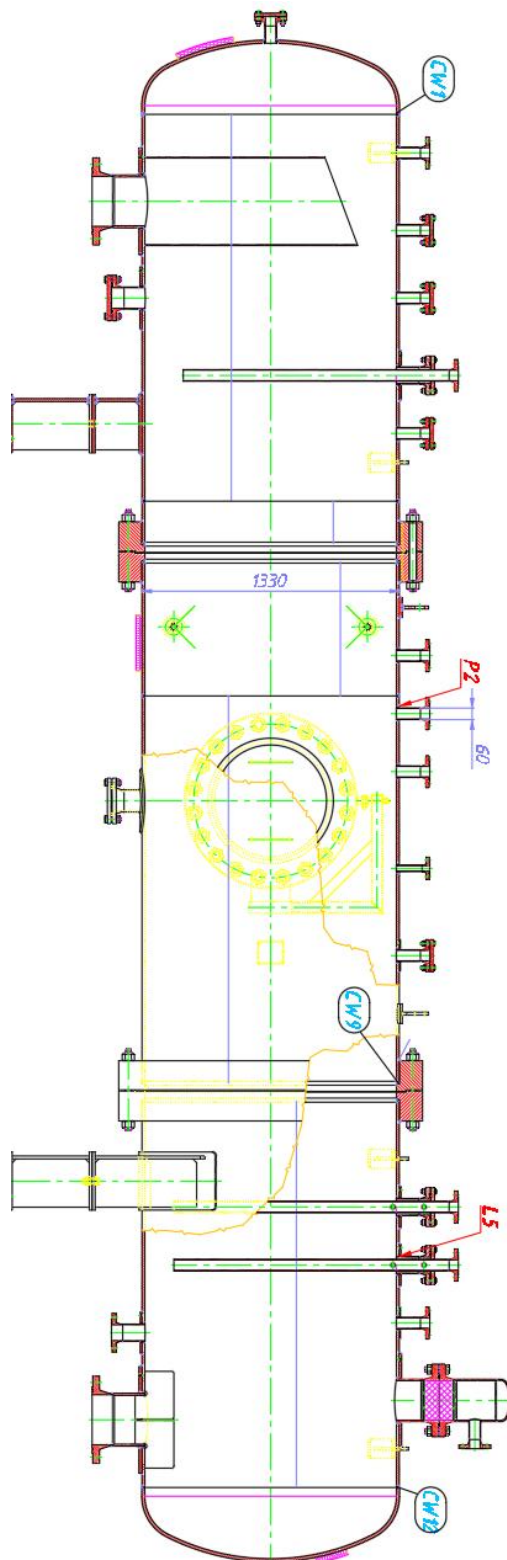
4. számú melléklet röntgen filmek



5. számú melléklet hajlító vizsgálat

Próbatest azonosító	Próbatest helyzete	Próbatest szélessége [mm]	Próbatest vastagsága [mm]	Nyomógörgő átmérője [mm]	Görgők távolsága [mm]	Hajlítási szög [°]	Megjegyzés
CW1	SBB	12,5	16	30	50	180	repedésmentes
CW9	SBB	12,5	16	30	50	180	repedésmentes
CW12	SBB	12,5	16	30	50	180	repedésmentes
L5	SBB	12,5	15	30	50	180	repedésmentes
P2	SBB	12,5	15	30	50	180	repedésmentes

6. számú melléklet a hidrogén tartály varratképének részlete



7. számú melléklet SAW WPS

WPS - hegesztési utasítás Welding Procedure Specification (ISO 15609-1)		GYÉMÁNT-PIRAZOL KFT.						
Gyártó Manufacturer	Gyémánt-Pirazol Kft.	Hegesztési eljárás (ISO 4063) Welding process	121-SAW					
WPS szám / verzió WPS No. / version	WPS-GYP-0000_rev0	Hegesztési gép / Welding machine	-					
WPS/Eljárás WPS/No.		Hegesztési helyzet (ISO 6947) Welding position	PB					
A kötés kialakítása / Joint details								
Kötés típus / Weld type	FW	Előkészítés / Joint preparation	Levegőtlen, zsírtalanítás, hevelés					
Alapanyag 1 / Material 1		Alapanyag 2 / Material 2						
Alapanyag / Base material	P355	Alapanyag / Base material	P355					
Anyagcsoport / Material group	1.1 / 1.2 (IR/ISO 15608)	Anyagcsoport / Material group	1.1 / 1.2 (IR/ISO 15608)					
Melegség / Thickness (mm)	25-30	Melegség / Thickness (mm)	25-30					
Átmérő / Diameter (Ø) (mm)	>=25	Átmérő / Diameter (Ø) (mm)	>=25					
Hegesztő anyagok, fedőpor / Filler materials, SAW flux								
Hegesztési eljárás Welding process	Gyártó, típus Brand, type	Stabványos megnevezés Standard designation	Szintje (°C, h) Drying					
121	-	EN/ISO 423 AC S203	-					
121	-	EN ISO 1434 1-A-G-42 2 C B	-					
Védőgázok / Shielding gas								
Hegesztési eljárás Welding process	Név, szabványos jelölés Name, specification	Gázcsatlakozás átmérője (mm) Nozzle diameter	Gázáramlás (l/min) Gas flow					
-	-	-	-					
Hegesztéstechnológiai adatok / Welding parameters								
Veremréteg Layer	Hegesztési eljárás Welding process	Hegesztőanyag átmérője Filler metal diameter (Ø) (mm)	Áramerősség Current (A)	Működési hőmérséklet Voltage (V)	Áramerősség jelölése Current type and polarity	Huzalvezetési sebesség Wire feed speed (mm/min)	Hegesztési sebesség Travel speed (mm/min)	Hegesztési hőbemenet Heat input (kJ/mm)
1	121	5,5	1000 - 1200	32 - 37	DC+	1,6	0,1	15,00
2-n	121	5,5	1000 - 1200	32 - 37	DC+	1,6	0,1	15,00
Vulnérabilitás típusa és mérete (ISO 6848-a mm) Thruputability type and diameter		-		Praktikus előkészítés Practical angle		-		-
Az áramlás és az érintkezési csatlakozás (mm) Distance contact tube / work piece		-		Működési max. szelvény (mm) Working max. width of run		-		-
Előmelegítési hőmérséklet / Pre heat temperature (°C) Hegesztés közbeni hőmérséklet / Preheat maintenance temp.		-		Varrósáma (number of rows)		2		-
Hőkezelés nélküli meghőmésztés / Heat treated max. temp. (°C)		260		Ellátás ellenőrzése (Quality Check)		Számreviziók: 100% Folyadék penetráció: 35%		-
Hegesztés utáni hőkezelés / Postweld heat treatment								
Hőmérséklet / Temperature (°C)		-		Hőkezelési idő / Holding time (min)		-		-
Hőkezelési sebesség / Temp. rate rate (°C/min)		-		Hőkezelési sebesség / Temp. fall rate (°C/min)		-		-
Ellenőrző Checking by	 F. Balázs							
Készítette Author(s) by	 Bara Adrián		Pecsel Stamp					
Dátum Date	2025-06-17							

B08

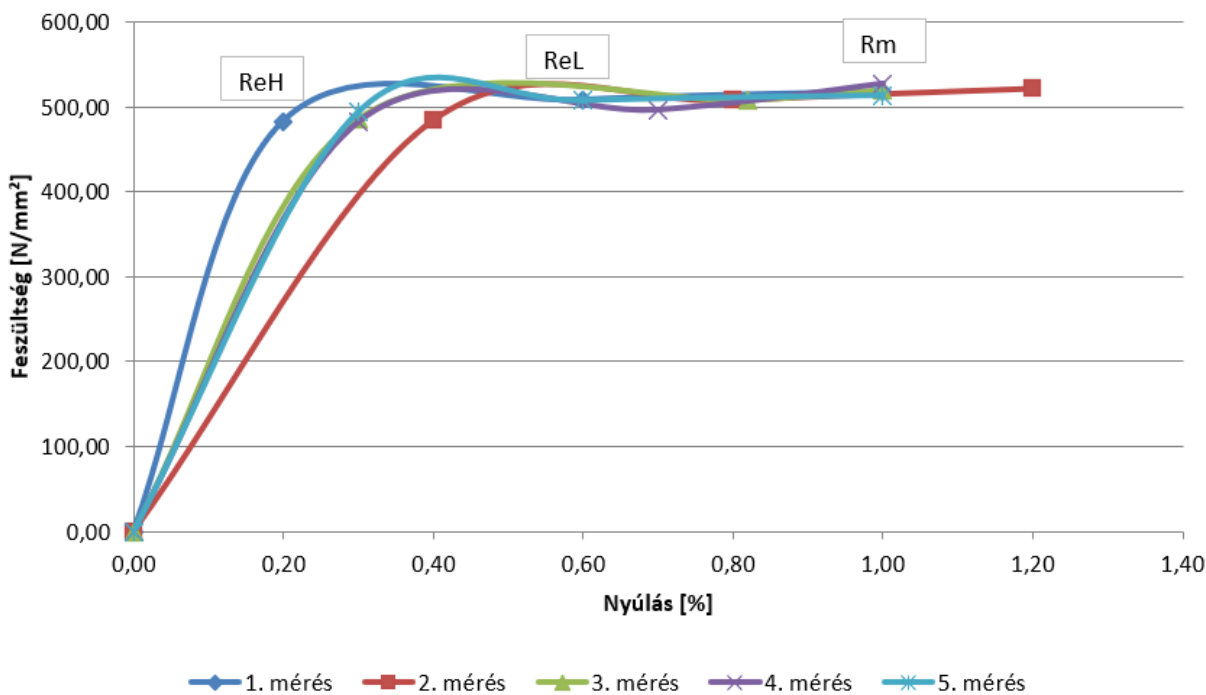
8. számú TIG WPS

WPS - hegesztési utasítás Welding Procedure Specification (ISO 15609-1)		GYÉMÁNT-PIRAZOL KFT.						
Gyártó Manufacturer	Gyémánt-Pirazol Kft.	Hegesztési eljárás (ISO 4063) Welding process	141-TIG					
WPS szám / revízió WPS No. / revision	WPS-GYP-0000_rev0	Hegesztő gép Welding machine	-					
WFOR száma WFOR No.		Hegesztési helyzet (ISO 6947) Welding position	PC					
A kötés kialakítása / Joint details								
Kötéstípus / Weld type	BW	Előkészítés / Joint preparation	Levezés szitalanítás, heftelés					
Alapanyag 1 / Material 1		Alapanyag 2 / Material 2						
Alapanyag / Base material	S355	Alapanyag / Base material	P355					
Anyagcsoport / Material group	1.1 / 1.2 (TR/ISO 15608)	Anyagcsoport / Material group	1.1 / 1.2 (TR/ISO 15608)					
Vastagság / Thickness t (mm)	15-30	Vastagság / Thickness t (mm)	15-30					
Átmérő / Diameter d (mm)	>=25	Átmérő / Diameter d (mm)	>=25					
Hegesztő anyagok, fedőpor / Filler metals, SAW-flux								
Hegesztési eljárás Welding process	Gyártó, típus Brand, type	Standard megnevezés Standard designation	Szállítás (°C, h) Drying					
141	-	XQC NiMo 18 15	-					
Védőgázok / Shielding gas								
Hegesztési eljárás Welding process	Név, szabványos jelölés Name, specification	Gázlevegő átmérője (mm) Nozzle diameter	Gázmenyiség (l/min) Gas flow					
141	Argon védőgáz	4	6					
Hegesztéstechnológiai adatok / Welding parameters								
Varrátori Layers	Hegesztési eljárás Welding process	Hozaganyag átmérője Filler metal diameter (ø mm)	Áram erősség Current (A)	Hőszigettség Voltage (V)	Áramnem, polaritás Current type and polarity	Húzósebesség Wire feed speed (m/min)	Hegesztési sebesség Travel speed (mm/min)	Felleges hőbevitel Heat input (kJ/mm)
1	141	4	300 - 340	33 - 35	DC+	1,8	8-12 (by handle)	15,00
2-n	141	4	300 - 340	33 - 35	DC+	1,8	8-12 (by handle)	15,00
Változóelektroda típusa és mérete (ISO 6948-a mm) Thungsten electrode type and diameter		-		-		Féltőlcsúsi szög Torch angle		-
Az áramtató és a munkadarab távolsága (mm) Distance contact tube / work piece		-		-		Ivvelés max. szélessége (mm) Weaving max. width of run		-
Előmelegítési hőmérséklet / Preheat temperature (°C) Hegesztés közbeni hőmérséklet / Preheat maintenance temp.		-		-		Varratszám (number of Rows)		5
Rétegek közötti max. hőmérséklet / Interpass max. temp. (°C)		-		250		Előírt ellenőrzés (Quality Check)		Szemrevételezés: 100% Folyadék penetráció: 35%
Hegesztés utáni hőkezelés / Postweld heat treatment								
Hőmérséklet / Temperature (°C)		-		Hőntartási idő / Holding time (min)		-		
Hévízállási sebesség / Temp. fall rate (°C/min)		-		Hűlési sebesség / Temp. fall rate (°C/min)		-		
Ellenőrizte Checked by	 Filius Balázs							
Készítette Authorized by	 Bara Adrián							
Dátum Date	2025-06-17							

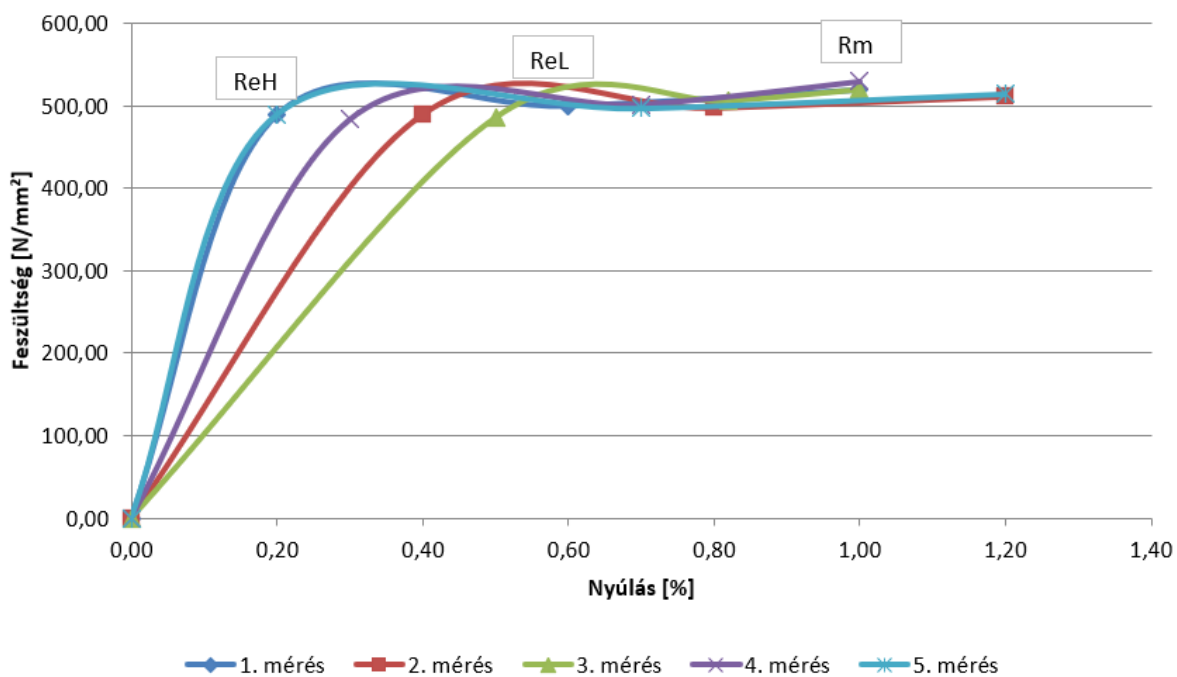
E08

9. számú melléklet Szakító diagrammok

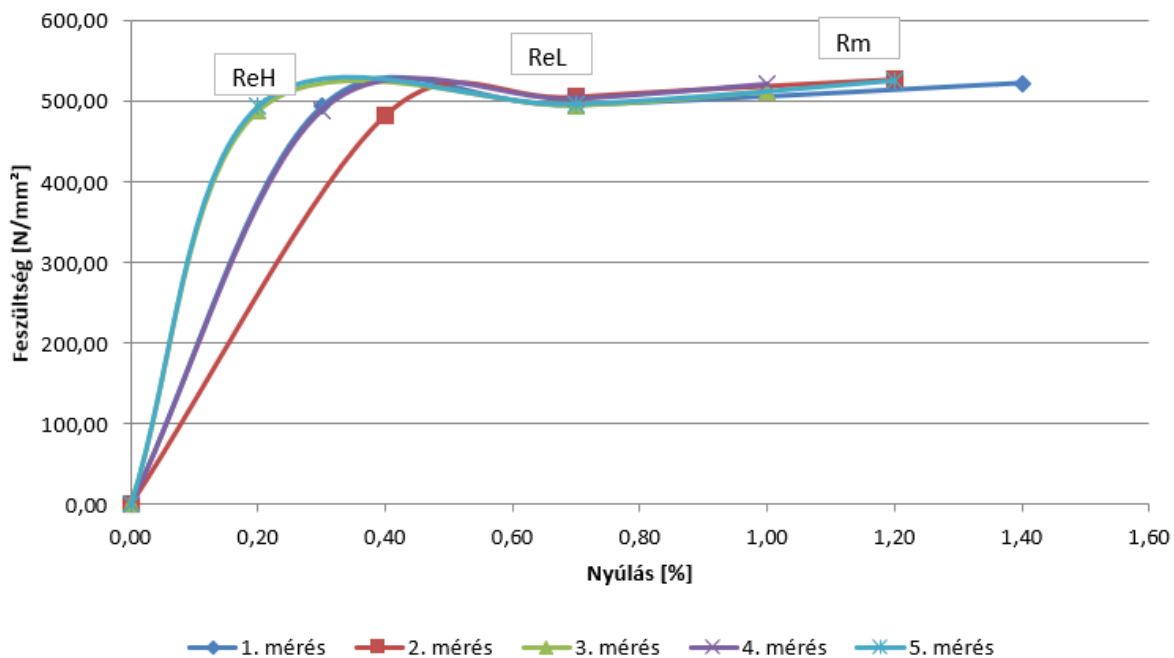
Szakító diagramm CW1 varratra



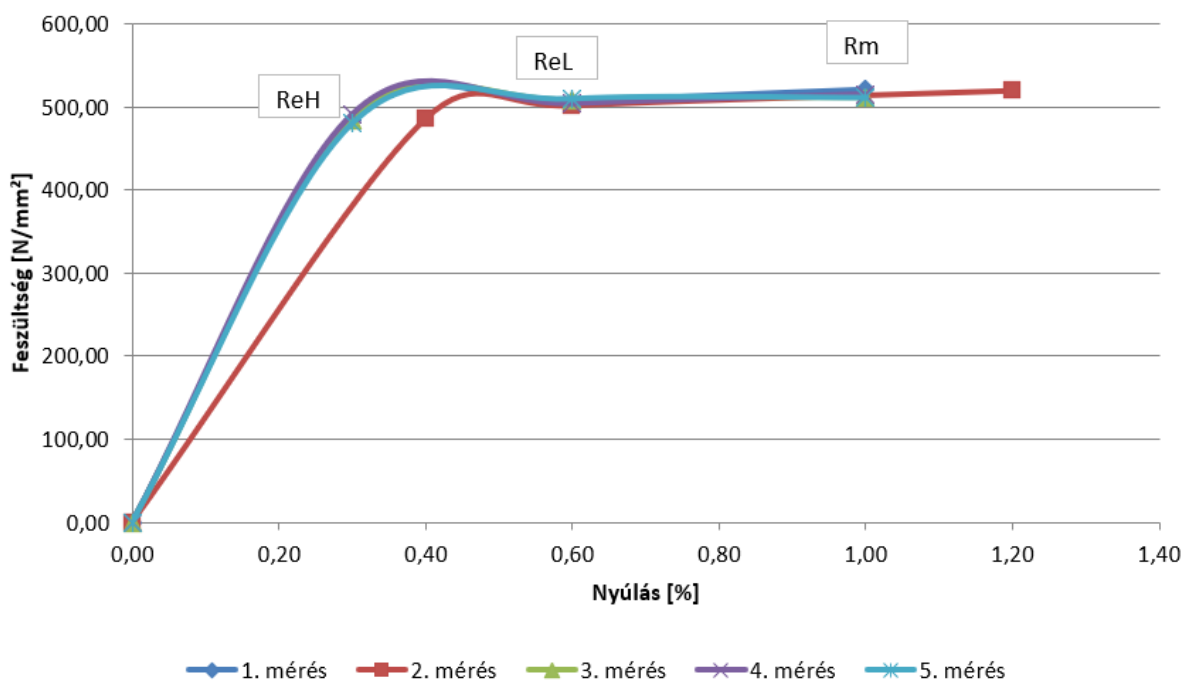
Szakító diagramm CW9 varratra



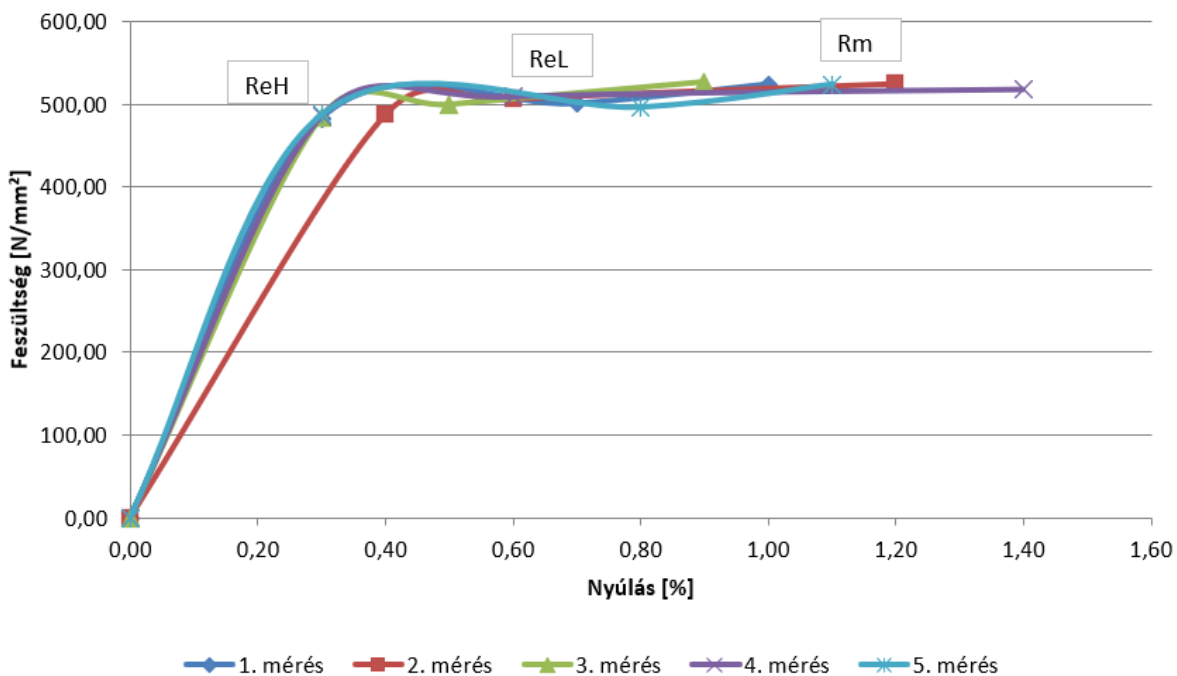
Szakító diagramm CW12 varratra



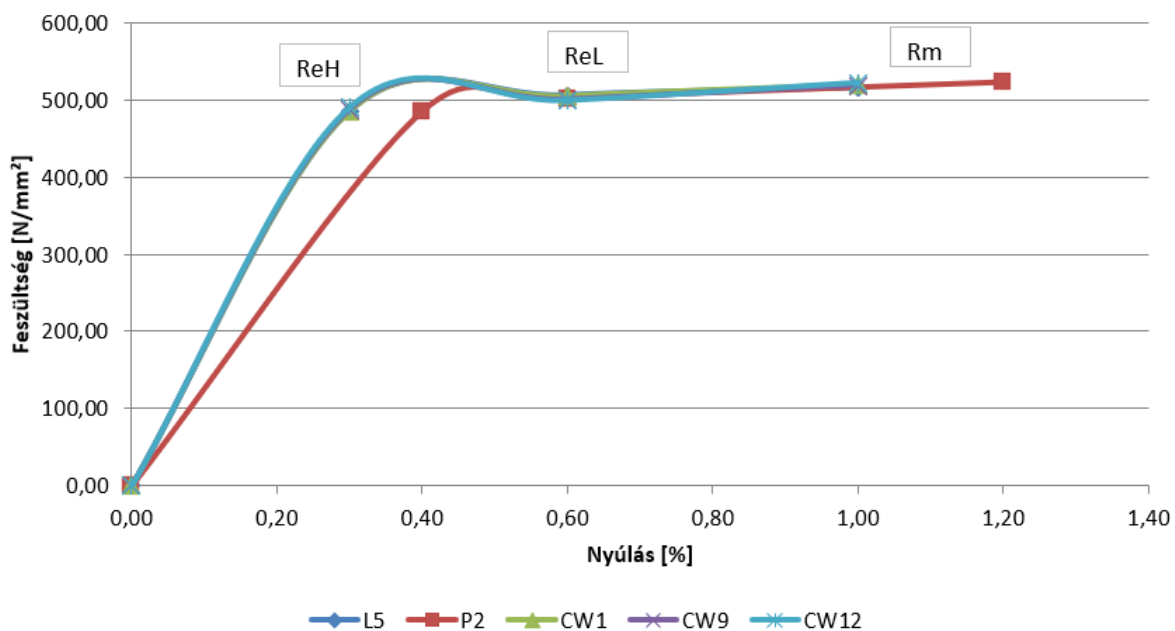
Szakító diagramm L5 varratra



Szakító diagramm P2 varratra



Szakító diagram(átlag)



10. számú melléklet ütött próbatetek



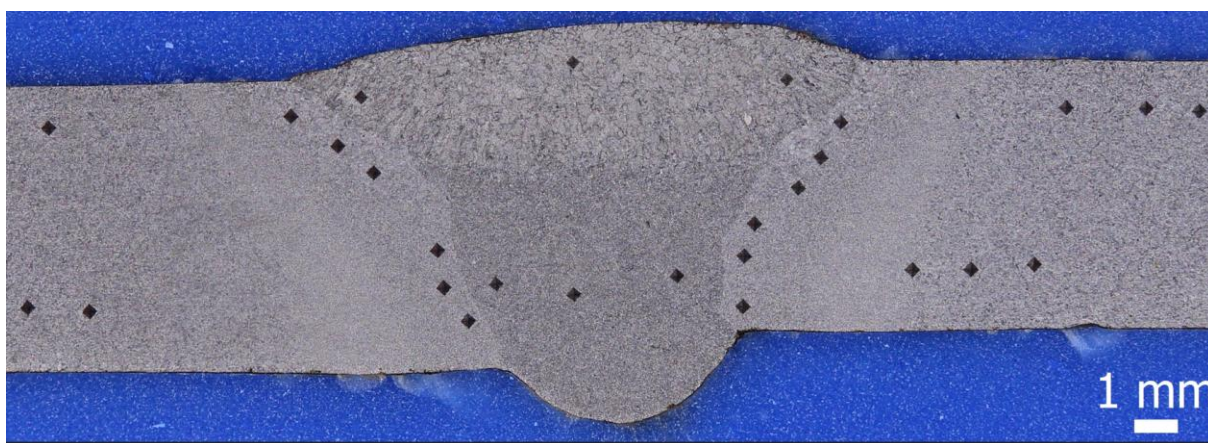
11. számú melléklet hajlított próbatetek hajlítás előtt



12. számú melléklet hajlított próbatestek hajlítás után



13. számú melléklet makró csiszolat, Vickers keménységméréshez



14. számú melléklet charpy ütőmű



Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Bara Adrián
Neptun-kódja:	eyc0va
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat készítés 1.
A munka címe:	Hidrogéntartály hegesztéstechnológiai tervezése és anyagvizsgálata

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
szakirodalom keresés és átfogalmazás	Chatgpt	

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
-	-	-	-	-

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

A MATE-K/13-12/2025 iktatószámú 11/2025 (VIII. 29.) számú rektori utasítás: a **MESTERSÉGES INTELLIGENCIA HASZNÁLATÁRÓL SZÓLÓ SZABÁLYZAT** hatályba lépése előtt 2025. szeptember 1. előtt az MI használata engedélyezett.

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helyállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Gödöllő, 2025. 10 hó 24 nap

Bava

Hallgató aláírása

Konzulens/Témavezető aláírása

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI)
alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Bara Adrián
Neptun-kódja:	eyc0va
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat készítés 2.
A munka címe:	Hidrogéntartály hegesztéstechnológiai tervezése és anyagvizsgálata

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
-	-	-

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka **mellékletében való csatolása szükséges.**)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
-	-	-	-	-

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

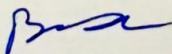
Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

A MATE-K/13-12/2025 iktatószámú 11/2025 (VIII. 29.) számú rektori utasítás: a **MESTERSÉGES INTELLIGENCIA HASZNÁLATÁRÓL SZÓLÓ SZABÁLYZAT** hatályba lépése előtt 2025. szeptember 1. előtt az MI használata engedélyezett.

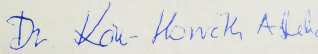
4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Gödöllő, 2025. 10 hó 24 nap


.....

Hallgató aláírása


.....

Konzulens/Témavezető aláírása