



**NYÍREGYHÁZI EGYETEM
MŰSZAKI ÉS AGRÁRTUDOMÁNYI INTÉZET
NYÍREGYHÁZA**



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**A HŐBEVITEL VÁLTOZTATÁSÁNAK HATÁSA A HEGESZTÉSI
VARRAT MECHANIKAI TULAJDONSÁGAIRA
THE EFFECT OF VARYING THE HEAT INPUT ON THE
MECHANICAL PROPERTIES OF THE WELDED SEAM**

Készítette: Fazekas Csaba

Konzulens: Dr. Szigeti Ferenc, Antal Csaba

NYÍREGYHÁZA

2022.11.25.

Összefoglaló

Munkahelyem már több mint 34 éves gyártói és szerelői tapasztalattal épít nagy és különleges acélszerkezeteket, közúti és vasúti hidakat és épületszerkezeteket a világ számos pontjára. A gyártás elsősorban a megrendelő igényei szerinti technikai dokumentáció alapján zajlik, de hiába a megrendelő igénye, ha az általános előírások, a hegesztési varrat tulajdonságaira vonatkozó szabványok a gyártó kezét is megkötik. Többek között ilyen előírás az MSZ EN ISO 15614-1 szabvány által korlátozott hőbevitel is, mely kimondja, hogy ütőmunka-követelmény esetén, a hegesztéskor alkalmazott hőbevitel felső határa 25%-kal lehet nagyobb, keménységi előírásakor pedig a hőbevitel alsó határa 25%-kal lehet kisebb, mint a próbahegesztésnél korábban alkalmazott érték. Gyártás során a hegesztett kötések elkészítése részben gépi, részben kézi hegesztéssel történik, sokszor feszített tempóban, rövid határidőkkel. Mivel kézi hegesztéskor a hőbevitel értékét meghatározó tényezők között a legbizonytalanabb a hegesztési sebesség, mert az egyedül hegesztő hozzáállására és tapasztalatára van bízva, egyesével ellenőrizni szinte lehetetlen, így a nem megfelelő hozzáállás, vagy kellő tapasztalat hiányában elképzelhető, hogy olyan hegesztett varrat készül, mely a legszigorúbb üzemi roncsolásmentes anyagvizsgálatok során sem mutat hibát, szemrevételezéskor, sőt röntgenfelvétel alapján is megfelel, viszont a csak roncsolásos anyagvizsgálatokkal kimutatható mechanikai tulajdonságok olyan mértékben megváltoznak, hogy azok már nem felelnének meg a követelményeknek egy esetleges vizsgálat folyamán.

Kutatómunkám során a már fent említett MSZ EN ISO 15614-1 szabvány előírásait betartva meghegesztjük a viszonyítási alapot szolgáló „normál” munkapróbákat, majd ezekhez viszonyítva, a szabvány által megengedett 25%-os hőbeviteli értékeket mindkét irányba szándékosan átlépve elkészítjük a kísérleti munkapróbákat is. A kész próbákat mind roncsolásos-, és roncsolásmentes anyagvizsgálatoknak is alávetem, hogy a különböző hegesztéstechnológiával elkészített varratok közötti különbséget feltárjam.

Célom, a hídgyártásban alkalmazható helyes hegesztéstechnológia kidolgozása, a gyártás során keletkező hegesztési hibák számának csökkentése, illetve, hogy rávilágítsak a pontatlanság, és a nem megfelelő szakmai magatartás által hordozott veszélyekre.

Tartalomjegyzék

1	Az ortotróp pályaszerkezetek gyártásakor felmerülő problémák	3
1.1	Méret- és helyzetpontosság	3
1.2	Hő hatására létrejövő változások és repedésképződések	4
1.3	Hegesztési feszültségek és alakváltozások csökkentési lehetőségei	5
2	Anyagminőség választása, elemzése	7
2.1	Szerkezeti acélok	7
2.2	Normalizálás	8
2.3	Hegeszthetőség	8
3	A technológiai folyamat előkészítése	9
3.1	Hegesztési eljárással szemben támasztott követelmények	9
3.1.1	A varrattal szemben támasztott követelmények	9
3.2	Technológiai adatok meghatározása és azok hatása a varrat tulajdonságaira	10
3.2.1	Hegesztési paraméterek meghatározása	10
3.2.2	Fajlagos hőbevitel (Szakaszenergia, vonalenergia)	10
3.2.3	Hegesztési sebességek meghatározása	13
3.3	Hegesztéshez használt berendezések	13
3.3.1	Hegesztőgépek	13
4	Munkapróbák előkészítése, összeállítása, hegesztése	15
5	Eredmények és azok értékelése	21
5.1	Roncsolásmentes anyagvizsgálatok	21
5.1.1	Szemrevételezéses vizsgálat	21
5.1.2	Mágnesezhető poros vizsgálat	21
5.1.3	Ultrahangos vizsgálat	21
5.1.4	Radiográfiai vizsgálat	21
5.2	Roncsolásos anyagvizsgálatok	22
5.2.1	Próbatestek és azok kimunkálása	22
5.2.2	Szakítóvizsgálat	24
5.2.3	Hajlítóvizsgálat	24
5.2.4	Ütővizsgálat	25
5.2.5	Keménységmérés	27
5.2.6	Makrovizsgálat	31
	Következtetések és javaslatok	32
5.3	Internetes források	36

Bevezetés

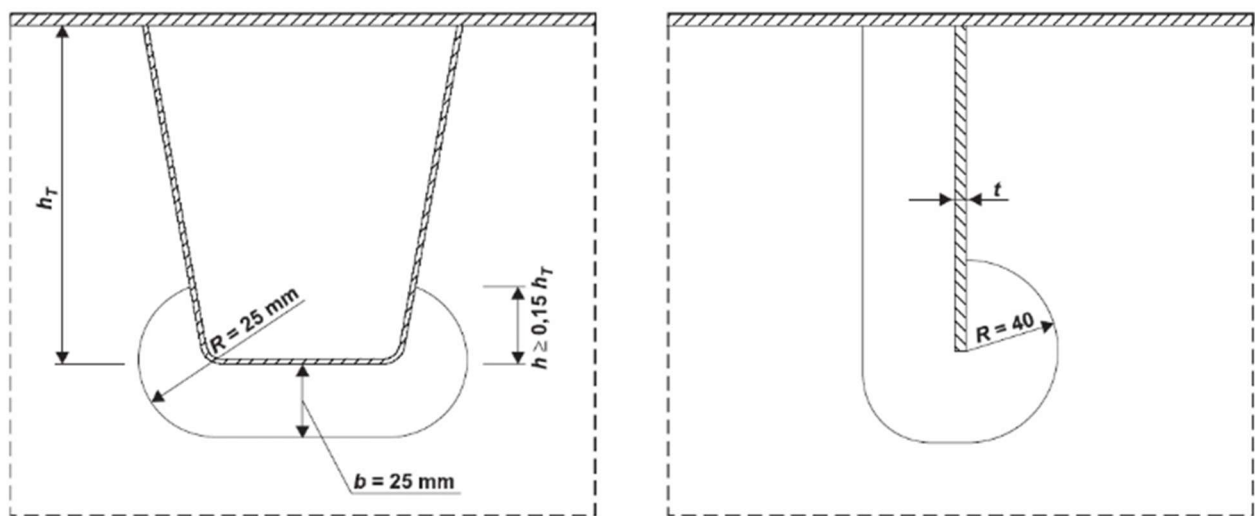
Korábbi munkahelyeimen hegesztőként a termelésben töltött éveim alatt megfigyeltem, hogy a nagyobb termelékenység elérése érdekében az ember olykor hajlamos lehet a hegesztési utasításban előírt paramétereket figyelmen kívül hagyni, vagy a lehető leggyorsabban letudni a kapott munkát, majd dicsekedni „képességeivel”. A másik véglet mikor valaki az órabér kényelmében a lehető leghosszabb idő alatt próbálja elvégezni ugyanazt a munkát szemrevételezés alapján – akár mágneses és ultrahangos anyagvizsgálatok alapján is - még megfelelőnek tűnő varrattal, nem foglalkozva a kötés és az alapanyag mechanikai tulajdonságaival. A kutatómunkám során feltételezem, hogy kézi hegesztéskor a hegesztők a hegesztési utasításban szereplő adatok közül legalább a hegesztőgép által kiírt paramétereket betartják (áramerősség, ívfeszültség, huzalelőtolási sebesség) az egyre modernebb gépeknek köszönhetően, melyek már mentik ezeket a paramétereket, vagy nem is engedik túl nagy mértékben eltérni őket a WPS-ben szereplő adatoktól. A haladási sebesség megfelelésége viszont egyedül a hegesztők hozzáállásán és tapasztalatán múlik, melyet kézi hegesztésnél számszerűleg kiírva nem is lát, így, ha figyelmen kívül hagyja, az nehezen ellenőrizhető és még nehezebben számonkérhető.

E gondolatból kiindulva szeretném vizsgálni a különböző szélsőséges haladási sebességekkel szorosan összefüggő hőbeviteli értékek hatását a varrat mechanikai tulajdonságaira. Hegesztéskor szándékosan olyan haladási sebességet választok, hogy a fajlagos hőbeviteli értékek meghaladják az MSZ EN ISO 15614-1 szabvány által megengedett, egy már korábban elkészített eljárásvizsgálathoz viszonyított 25%-os eltérést. A kutatómunka során -egy már évek óta a gyakorlatban is használt eljárásvizsgálat hegesztési paraméterei alapján és a fent említett szabvány szerint- elkészítjük a későbbiekben viszonyítási alapot szolgáltató munkapróbákat, majd csak a haladási sebesség megváltoztatásával, az ezek hegesztésekor jelentkező hőbeviteli értékekhez képest mindkét irányban a 25%-ot meghaladó hőbevitel eltéréssel elkészítjük a szabvány szerint már nem elfogadható munkapróbákat is, majd a roncsolásos- és roncsolásmentes anyagvizsgálatok után értékelem azok eredményeit. A téma sokszor elméleti mivolta ellenére igyekszem gyakorlati oldalról megközelíteni, a való életben is előforduló problémákkal foglalkozni, a gyártási és helyszíni szerelési szempontokat szem előtt tartani. A dolgozat gyakorlati és tapasztalati részeihez az MCE Nyíregyháza Kft., és a Nyíregyházi Egyetem erőforrásait veszem igénybe.

1 Az ortotróp pályaszerkezetek gyártásakor felmerülő problémák

A hídgyártás egyik legmunkaigényesebb része legtöbbször az ortotróp pálya (1. ábra). A hegesztett hidak többsége ilyen kialakítással készül, függetlenül, hogy gerenda-, ív-, vagy függőhídról beszélünk.

Az ortotróp pályának szerelésekor számos szomszédos elemhez kell pontosan csatlakoznia. Mivel ezek a csatlakozások hegesztettek, a kialakult nagy kiterjedésű, térbeli feszültségállapotban lévő, dinamikus hatásoknak kitett és alacsony hőmérsékleten is üzemelő szerkezetek rideg töréssel szembeni biztonságára igen nagy gondot kell fordítani, szemben a szegecselt vagy csavarozott szerkezetekkel, melyek a gyártás során egyáltalán vagy jóval kisebb mértékű hőhatásnak vannak kitéve, így ezeknél a ridegtörés veszélye is elenyésző. Hogy a hegesztett elemek gyártása gazdaságos és megfelelő minőségű legyen, a hegesztéstechnológia helyes megválasztása igen nagy felkészültséget és tapasztalatot igényel. Mivel hegesztés során az alkatrészek különböző alakváltozásokat szenvedhetnek, így a szigorúan tűrésezett helyzetek és méretek biztosítása a legnehezebb feladat, ezért az egész gyártástechnológiai koncepciót ezek elérésére kell felépíteni [1].



1. ábra - Az ortotróp pályaszerkezet hosszbordái és kapcsolatuk a kereszttartó gerincével.
A hosszbordát folytatólagosan át kell vezetni a kereszttartón. balra: zárt bordakeresztmetszet, jobbra: nyitott bordakeresztmetszet [INTERNET 3]

1.1 Méret- és helyzetpontosság

Az előírt méretek elérése kétféle módon lehetséges:

- A hegesztési és egyengetési zsugorodások előzetes (esetleg próbagyártás útján történő) becslése és az elemek előgyártás során, ezek figyelembevételével, végleges méretre történő szabása, majd a gondosan kidolgozott technológia szigorú betartása melletti összehegesztése.

- Az előzőnél nagyobb biztonságot ígérő, de költségesebb megoldás az elemek egyik végének ráhagyással történő leszabása, majd az ortotróp egység teljes elkészülte után ezeknek a végeknek a kívánt méretre munkálása.

A helyzetek pontosságának két lehetséges módja van:

- Az ortotróp egység készülékben történő összeállítása (Ez leginkább akkor éri meg, ha a híd nagyszámú azonos szerelési egységből áll.)
- Az egymás mellett és egymás után következő egységeket megfelelően kialakított szerelőpadon (fordított helyzetben) együtt állítják össze. Ez a megoldás jóval több hely- és munkaigényt jelent, viszont biztonságosabb, egyszerűbb és akkor is alkalmazható, ha kevés azonos kialakítású egységünk van [1].

1.2 Hő hatására létrejövő változások és repedésképződések

A hegesztéskor hő hatására fellépő alakváltozás nagysága függ:

- a hegesztési hőfolyamattól,
- a hegesztési hőfolyamban végbemenő fázisalakulás körülményeitől,
- a kötés méretétől, alakjától,
- a hegesztett kötésbe jutó hidrogén diffúziós viszonytól,
- az alapanyag folyáshatárától és felkeményedési hajlamtól az alakváltozás hatására,
- a szerkezeti elem merevségétől [4].

Az A1 és a likvidusz hőmérséklet fölé hevült övezetek lehűlésekor időben változó alakváltozó képességűek. Repedés akkor keletkezik, ha ez az alakváltozó képesség kisebb, mint a létrejövő alakváltozás. A felületre kifutó hibák kétszer veszélyesebbek, mint a felület alattiak. Míg a felületi hibák roncsolásmentes vizsgálattal egyértelműen kimutathatók, addig a felület alattiak csak nehezen és pontatlanul. Ezért fontos, hogy a repedésmentességet a hegesztéstechnológia helyes megtervezésével biztosítsuk [5].

A fémek többségében az alakadó technológia miatt, már a gyártás során kialakul egy sajátfeszültség mező. Minden további megmunkálás erre a feszültségmezőre épül rá, azt módosítva hozza létre az új, maradó feszültségállapotot. Az ömlesztő hegesztési eljárások különösen nagy sajátfeszültségeket hoznak létre. A maradófeszültségek - melyek a hőmérséklet kiegyenlítődése után is megmaradnak, - a szerkezet teherbírását és élettartamát jelentősen befolyásolják [3].

A hűlés közben ébredő többtengelyű húzófeszültség jelentősen növeli a repedésveszélyt, ezért hegesztés közben nem csak a feszültségek nagyságát, hanem jellegét is szabályozni kell. A feszültségi állapot hatással van a szövetszerkezet kialakulására is, mivel nagy mértékben hat az ausztenit képződésére, és annak átalakulására is.

Ha a varrat és az alapanyag összetétele eltér, akkor a fázisátalakulás nem egyidőben megy végbe a varratban és a hőhatásövezetben. Az átalakulások sorrendje határozza meg a sajátfeszültségek eloszlását, tehát a kötésben képződő repedés helyét is.

Hidegrepedésnek a hegesztés után 200°C alatt létrejövő repedéseket tekintjük, melyek szerkezet tönkremenetelét okozzák. Általában a hidrogén, a többtengelyű húzófeszültség, illetve a kis alakváltozó képességgel rendelkező szövetszerkezet a felelős. Utóbbi alatt általában a martenzites szövetszerkezetet értjük, de a szemcsedurulás szintén a szívósság csökkenését okozza. Hegesztés során a hidrogén a kis atomátmérőnek köszönhetően könnyen bekerülhet a megolvadt fémbe, a dermedést követően pedig hidegrepedést okoz. A repedések az edződési zónában belső feszültségek hatására keletkeznek, ha a varrat szobahőmérsékletre hűlt.

Kémiai összetételtől és a hűlési sebességtől függően edződés jöhet létre, melyet a technológia költségét jelentősen növelő előmelegítéssel befolyásolhatunk. Szóba jöhetnek még nagy hőbevitelű technológiák, melyek miatt a varrat és a hőhatásövezet lassabban hűl, így segítve a hidegrepedések elkerülését, de ez nem mindig elegendő [15].

1.3 Hegesztési feszültségek és alakváltozások csökkentési lehetőségei

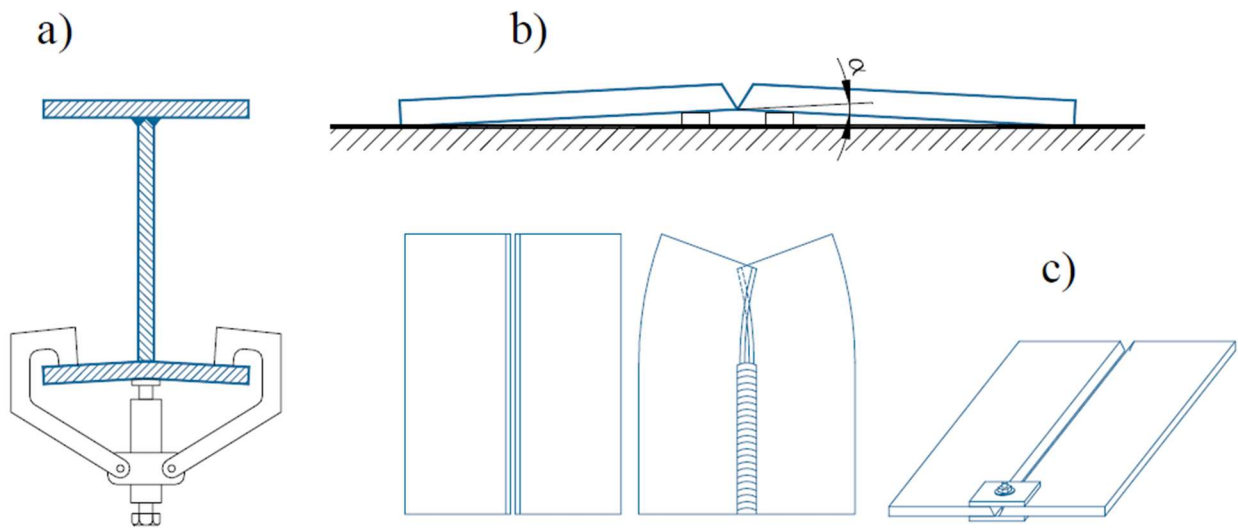
Már a tervezés során számos lehetőség van a feszültségek és alakváltozások csökkentésére:

- A hegesztett kötések a legkisebb igénybevételű helyen legyenek
- A részegység megfelelő merevségének biztosítása
- Lehetőség szerint kedvező hegesztési pozíció megválasztása
- Minél egyszerűbb készülékezés
- Az egyengetést és a hőkezelést egyszerűen lehessen végezni
- A lehető legkevesebb hegesztett kötés alkalmazása.
- Szimmetrikusan elhelyezett varratok
- Varratok kereszteződésének kerülése
- Szakaszos varrat is tervezhető (ha nincs fárasztó igénybevétel) [INTERNET 1]

Technológiai lehetőségek:

- a) előfeszítés (úgy, hogy a készítendő varrat helyén húzófeszültség ébredjen)
- b) elődöntés (zsugorodási szöggel egyenlő nagyságú, ellentétes irányú)

c) Keresztirányú alakváltozás megakadályozása csavaros szorítóval (egyéb megoldás: ékkel)[2]



2. ábra - Alakváltozások csökkentésének technológiai lehetőségei [INTERNET 1]

A hegesztett szerkezetek alakváltozásának csökkentésére még utókezelésekkel van lehetőségünk:

- Egyengetéssel:

A hegesztéskor keletkező vetemedések, görbülések megszüntethetők az alakváltozással ellentétes irányban kifejtett azonos nagyságú alakváltozással.

- Hideg egyengetés:

- Statikus erőhatással (sajtolók, szorítók) nyújtás, csavarás
- Dinamikus erőhatással (A nyomott rész nyújtása kalapálással)

A hidegegyengetés után az alkatrészt hőkezelné csak indokolt esetben szabad, mert az maradé alakváltozással jár együtt.

- Meleg egyengetés

Ha hidegegyengetéssel nem megoldható az alakváltozás megszüntetése, akkor a termikus feszültségeket használjuk fel. Ilyenkor az anyagban a hegesztéshez hasonló folyamatok mennek végbe. Acetilénégő semleges lángjával történő felmelegítés. A munkadarab megválasztott részeinek 600-800 °C-ra történő gyors felhevítése és gyors lehűtése. Ez történhet pontokban, pontsorban, sávokban vagy ékalakban.

Hőkezeléssel nem csak a hegesztési hőhatások okozta feszültségeket tudjuk csökkenteni, de a varrat és a hőhatásövezet szövetszerkezetét is kedvező irányba változtathatjuk.

- magas hőmérsékletű megeresztés: 500÷700 °C-ra történő hevítés és rövid idejű hűtőtartás
- lágyítás
- normalizálás [INTERNET 1][2]

2 Anyagminőség választása, elemzése

Az anyagok kiválasztásakor mindenféleképpen olyan anyagminőséget szerettem volna választani, melyeknél a roncsolásos anyagvizsgálatok eredményeiből megállapított mechanikai tulajdonságokat elemezve hasznos tanulsággal szolgálhatnak a jövőbeli tanulmányaim és pályafutásom során. Így a széles körben alkalmazott **S355J2+N Z15 anyagminőséget választottam**. Általánosságban elmondható, hogy a nagy igénybevételű fémszerkezetek esetén alkalmazott lemezvastagság $10 < t < 60\text{mm}$. Ezt figyelembe egy már tekintélyes, de még nem fölöslegesen vastag **$t = 30\text{mm}$ -es lemezvastagságot** választottam. Vágás előtt külön kérésem volt, hogy azonos adagszámú lemezből kerüljenek kivágásra, hogy ezzel is biztosítsam az azonos feltételeket, és minél több hibalehetőséget zárjak ki az esetlegesen különböző anyagtulajdonságok miatt.

1. táblázat: **S355J2+N Z15 anyagminőség elemzése**

	S355J2+N Z15	
Főjel	S	Szerkezeti acél
Fő tulajdonságjel	355	Garantált legkisebb folyáshatár értéke $R_{eH} = 345\text{ MPa}$ ($16 < t < 40$)
Kiegészítő tulajdonságjel	J2	Garantált ütőmunka értéke: 27J, -20 °C-on
Kiegészítő felhasználásjel	N	Normalizált
Kiegészítő tulajdonságjel	Z15	Minimális kontrakció ¹ értéke: 15%

Forrás: Saját táblázat az MSZ EN ISO 10025 előírásai alapján

2.1 Szerkezeti acélok

Szerkezeti acélnek a 0,6%-nál kevesebb szént tartalmazó acélokat tekintjük. A hídgyártásban is ezeket használják, de természetesen sok más területen szolgálnak alapanyagként. (Pl.: épületszerkezetek, daruk, hajók, vasúti szerelvények stb.) Ezek lehetnek mechanikai tulajdonságokra vagy vegyi összetételre garantált acélok [8].

¹ Felületre merőleges irányú százalékos szakadási keresztmetszetszökkenés minimális értéke

2.2 Normalizálás

A normalizálás célja, hogy javítsuk az edzhetőséget, finomítsuk a szemcseszerkezetet, javítsuk a mechanikai tulajdonságokat.

Lépései:

- hevítés ausztenites mezőbe
- 5-10perc hőntartás
- levegőn való hűtés

Ez a folyamat az ötvözetlen vagy gyengén ötvözött acélok esetén létrehozza az egyensúlyi állapotot, úgy, hogy finomabb szemcseszerkezet keletkezik, mint lágyítás során. Ez fontos szempont lehet nem csak hegesztés, de forgácsolhatóság szempontjából is. [INTERNET 2]

2.3 Hegeszthetőség

A nagyszilárdságú acélok gyártása során kialakult nem-egyensúlyi szövetszerkezetet hegesztés után visszaállítani már nem lehet, azt a hegesztési folyamat visszafordíthatatlanul megváltoztatja. A hőhatásövezetben és a varratban létrejövő keménységi értékek jelentős megváltozása szívósság- és szilárdságcsökkenéssel párosulva rontja az eredeti mechanikai tulajdonságokat. Szélsőséges esetben akár edződési és hidrogén okozta repedés is előfordulhat. Az ilyen típusú hibák kockázata előmelegítés alkalmazásával csökkenthető. Ezért szükséges minden esetben egy olyan hegesztéstechnológia kidolgozása, mely a lehető legkisebb mértékű szövetszerkezeti változást okozza, és biztosítja a megfelelő szívóssági és szilárdsági tulajdonságokat. Ezért fontos, hogy az elkészített varrat a lehető legjobb tulajdonságokkal rendelkezzen, azaz a varrat és a hőhatásövezet tulajdonságai is megegyezzenek az alapanyag tulajdonságaival. Ez a hőbevitel és a vonalenergia szabályozásával, és a varrat lehetőség szerinti minél több sorból történő elkészítésével érhető el [11] [12][13]. A hegeszthetőség alatt nem csak a megfelelő munkarenddel elkészített folytonos kötést értjük, mely kielégíti a követelményeket. Nem hagyható figyelmen kívül a tény, hogy a gyártókat leginkább a termelékenység és a gazdasági versenyképesség foglalkoztatja. Az anyagok hegeszthetőségénél fontos szempont tehát, hogy termelékeny eljárással, lehetőség szerint előmelegítés és utóhőkezelés nélkül legyen kialakítható a követelményeknek megfelelő kötés. Mivel a termomechanikusan kezelt acélok hegesztése után az eredeti állapotot visszaállítani már nem lehet, így ez az imént említett szempontokból nézve ez előnyt is jelenthet, mivel utóhőkezelést már nem igényelnek. Viszont, hogy megelőzzük a hőhatásövezetben a nemkívánatos változásokat, ahhoz korlátoznunk kell a vonalenergiát, az ív hőáramát, és a varratszélességet [14]. A vonalenergia hatását a 3.2.2 fejezetben tárgyalom.

3 A technológiai folyamat előkészítése

3.1 Hegesztési eljárással szemben támasztott követelmények

Technológiai szempontból első lépés a hegesztési eljárás kiválasztása, mert az egy összetett fémszerkezetnél kihathat a hegesztés sorrendjének helyes megválasztására és a leélezések kialakítására is.

Vastag lemezek hegesztésekor igen fontos szempont a nagy termelékenységi és leolvadási sebesség. Továbbá, jelen esetben fontos még számomra, a hegesztési sebesség egyenletes tartása és a széles tartományban való állíthatósága. Ezeket a követelményeket és az erőforrásokat figyelembe véve hegesztési eljárásként szóba jöhetnek:

- Fedett ívű hegesztés huzalelektrodával
- Fogyóelektrodás kézi ívhegesztés (tömör vagy porbeles huzallal)
- Bevont elektrodás kézi ívhegesztés (nagyhozamú elektrodával)

Mivel a fentiek közül a nagy leolvadási teljesítménynek és a nagy elérhető hegesztési sebességnek köszönhetően a fedett ívű hegesztés a legtermelékenyebb, így a gyártásban is leginkább ezt használják hosszú, nagy keresztmetszetű varratok, általában toldások elkészítéséhez. További fontos érv a fedett ívű hegesztés mellett, hogy a munkapróbák varratainak készítése közben szeretnék minél stabilabb és egyenletesebb sebességet tartani, mely a gépesített hegesztéssel a legegyszerűbb. Viszont ez magával hozza azt a problémát, hogy a gyöksor nagyon precíz leélezést és az illesztési hézag pontos beállítását követeli meg, melynek nem megfelelése automata hegesztésnél komoly varrathibákat okozhat, ezért a gyöksor hegesztéséhez fogyasztóelektrodás kézi ívhegesztést választok, hogy könnyebben kiküszöböljük az előkészítés esetleges pontatlanságait. Illetve ezek mellett még a kerámiamegtámasztás is gátat szabhat a hegesztési sebesség megválasztásának a gyöksornál, mivel, ha hegesztés közben véletlenül kilépünk az ömledékből, akkor azt a huzal könnyedén lelökheti, így esetemben ennek elkerülése miatt is jobb választás az **első sor hegesztésekor a fogyasztóelektrodás aktív védőgázos kézi ívhegesztés**. Majd a további **töltő és takaró soroknál**, -melyek a hőbevitel nagy részét adják, - már bátran alkalmazható a **fedett ívű (121-es) eljárás**.

3.1.1 A varrattal szemben támasztott követelmények

A már nagynak számító lemezvastagságok ($lv = 30\text{mm}$) tompakötésekor a műszaki gyakorlatban V-varrat helyett lehetőség szerint érdemes X-varratot választani, hogy kisebb varratkeresztmetszettel kelljen dolgozni, és gyorsabban, olcsóbban elkészüljön az adott varrat. Ezen kívül még fontos szempont szokott lenni, hogy a hegesztéskor keletkező hőt jobban elosszuk, ezzel csökkentve az alakváltozásokat és a hőbevitelt, hogy a munkadarab forgatásával könnyebben tartsuk a sorközi hőmérsékletet. Viszont szeretném, hogy a kutatómunkám során a hőbevitel és a

vonalenergia által okozott különbségek hatásai minél egyértelműbbek és szembetűnőbbek legyenek, így a V-varratok mellett döntöttem. Ráadásul a műszaki gyakorlatban is előfordulhat, hogy a helyszíni varratok elkészítése csak egy oldalról megoldható.

3.2 Technológiai adatok meghatározása és azok hatása a varrat tulajdonságaira

3.2.1 Hegesztési paraméterek meghatározása

Hogy a viszonyítási alapot szolgáló munkapróbánál (P1) alkalmazott technológia helyességét biztosítsam, annak hegesztési paramétereinek meghatározásához egy már évek óta a gyakorlatban is használt és több alkalommal bizonyított eljárásvizsgálat paramétereit vettem alapul. Ezek előírt hegesztési paramétereit a 2. táblázatban (Normál paraméterekkel hegesztett munkapróbák hegesztési paramétereit) foglaltam össze.

2. táblázat - Normál paraméterekkel hegesztett munkapróbák hegesztési paramétereit

S355J2+N	Varratsor	I [A]	U [V]	Huzalelőtolási seb. [m/min]	Haladási seb. [mm/min]	Fajlagos hőbevitel [kJ/mm]
P1 (normál)	gyök	220-260	24-28	9,0-11,0	90-140	1,81-3,88
	töltő	480-520	28-29	-	400-500	1,61-2,26
	takaró	520-550	29-30	-	280-380	2,38-3,54

Forrás: [Saját táblázat]

3.2.2 Fajlagos hőbevitel (Szakaszenergia, vonalenergia)

Ömlesztő hegesztési eljárásoknál a hőenergiát kémiai vagy villamos energiából állítják elő, melyek hővé alakításának-, és a hő munkadarabba juttatásának módja a hegesztési folyamat számos tulajdonságát jelentősen befolyásolja. Kezdve a hőforrás energiasűrűségével, az energia hasznosításának mértékén át, egészen az eljárás termelékenységéig. A hőforrás koncentráltságának növelése ugrásszerűen növeli a hevítés sebességét, így a megolvasztásig eltelt időtartam csökken, tehát nő a hegesztési sebesség, ami csökkenti a szakaszenergiát. A felhasznált primer energia egy része veszteségként a környezetbe távozik, másik része közvetve vagy közvetlenül jut a munkadarabba. Ezek aránya adja a termikus hatásfokot:

$$k = \frac{E_a}{E}$$

ahol:

k – termikus hatásfok

E_a – az alapanyagban elnyelt hőmennyiség [J]

E – a hegesztéshez felhasznált energia [J]

Fogyóelektródás védőgázos ívhegesztéskor használt viszonylag kis átmérőjű huzalok koncentráltak, azaz az általuk létrehozott ív, nagy energiasűrűséggel rendelkezik. Ennek hátránya, hogy a huzal végén található cseppek nagyobb mértékben hevülnek túl, mely növeli a párolgási és fröcskölési veszteséget.

Fedett ívű hegesztéssel szinte teljes mértékben megszüntethetjük ezeket a veszteségeket, mivel az ív és az elkészült varrat is salak, illetve fedőpor alatt van, mely megakadályozza a párolgás és a fröcskölés eltávozását, így az a hegfürdőbe visszacsöpög [9].

Az MSZ EN ISO 15614-1 szabványban megfogalmazott keménységi előírások esetén a fajlagos hőbevitel alsó határától való eltérés 25%-ra korlátozása, arra enged következtetni, hogy túlzottan alacsony fajlagos hőbevitel esetén a keménységi értékek megfelelősége romolhat, míg az ütőmunka-követelmény esetén 25%-ra korlátozott felső határ arra, hogy túlzott hőbevitel hatására az ütőmunka értékei nem lesznek megfelelőek.



3. ábra - A vonalenergia hatása [14]

A különböző munkapróbák hőbevitelének meghatározásakor első körben a minél szélsőségesebb, de legalább az MSZ EN ISO 15614-1 által megengedett maximum 25%-os eltérést szerettem volna meghaladni, így a számítások során a viszonyítási alapnak vett „normál” paraméterekkel hegesztett munkapróba (P1) hőbeviteléhez képest történő 50%-os hőbeviteli eltérés elérését tűztem ki célul.

A normál paraméterekkel hegesztett munkapróbák hegesztésekor bevitt hő meghatározása az *MSZ EN ISO 15614-1*-nek megfelelően alábbi képlettel történt: [10]

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \text{ [kJ/mm]}$$

ahol:

- k – a hegesztési eljárás termikus hatásfoka: $0,6 \div 1$
 135 - fogyasztóelektródás kézi ívhegesztésnél (aktív védőgázzal): $0,8$
 121 - fedett ívű hegesztésnél (huzalelektrodával): 1
 U – ívfeszültség [V]
 I – hegesztőáram [A]
 v – hegesztési sebesség [mm/s]

3. táblázat – A munkapróbák hegesztési paramétereit összefoglaló táblázat

S355J2+N	Varratsor	I [A]	U [V]	Huzalelőtolási seb. [m/min]	Haladási seb. [mm/min]	Fajlagos hőbevitel [kJ/mm]
P1 (normál)	gyök	220-260	24-28	9,0-11,0	90-140	1,81-3,88
	töltő	480-520	28-29	-	400-500	1,61-2,26
	takaró	520-550	29-30	-	280-380	2,38-3,54
P2 (lassú)	gyök	220-260	24-28	9,0-11,0	≤ 60	$5,82 \leq$
	töltő	480-520	28-29	-	≤ 238	$3,39 \leq$
	takaró	520-550	29-30	-	≤ 170	$5,32 \leq$
P3 (gyors)	gyök	220-260	24-28	9,0-11,0	$462 \leq$	$\leq 0,9$
	töltő	480-520	28-29	-	$1138 \leq$	$\leq 0,8$
	takaró	520-550	29-30	-	$835 \leq$	$\leq 1,19$

Forrás: Saját táblázat

A lassú, nagy hőbevitelű próba (P2) fajlagos hőbevitelének meghatározásakor a P1 (normál haladási sebességű) próba fajlagos hőbeviteli tartományainak a legnagyobb értéket vettem alapul, majd ehhez képest határoztam meg a célul kitűzött 150%-os értékeket, míg a gyorsan, kis hőbevitellel hegesztett próba (P3) esetén, a normálnak tekintett tartományok legkisebb megengedett fajlagos hőbeviteli értékeiből (P1 hőbeviteli értékei) számítottam az 50%-ot meg nem haladó értékeket. Az eredményeket a 3. táblázat tartalmazza. A számítások menete az [M5] – Fajlagos hőbeviteli értékek meghatározása mellékletben látható.

3.2.3 Hegesztési sebességek meghatározása

Hegesztéskor a haladási sebesség a varrat alakját és a beolvadási mélységet befolyásolja. Minél inkább növeljük, a beolvadási mélység és a varrat szélessége annál inkább csökken, míg a sebesség csökkentésekor növekednek. Nagyon kicsi hegesztési sebesség értéknél a hőbevitel jelentősen megnő, ami a tárgy felhevülését és átrokkadását okozhatja, ha pedig nagyon nagy hegesztési sebességet alkalmazunk, akkor összeolvadási hibák jöhetnek létre az alapanyag és a varratfém között, illetve nő a porozitás és szélkiolvadás veszélye is [11].

A kis és nagy hőbeviteli munkapróbák hegesztési sebességének meghatározása a már korábban használt és ismertett

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \text{ [kJ/mm]}$$

képlet átrendezésével történt:

$$v = k \cdot \frac{U \cdot I}{Q} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \text{ [mm/min]}$$

A nagy hőbevitelű munkapróba esetén csak a maximális haladási sebességet számoltam ki, melyek az előző pontban meghatározott minimális fajlagos hőbeviteli értékek eléréséhez szükségesek. A kis hőbevitelű próba esetén pedig épp fordítva, csak a minimális sebességet határoztam meg, hogy a célul kitűzött alacsony hőbevitelt tartani tudjuk. A számítások pontos menetét az [M6] – *Hegesztési sebességek meghatározása* mellékletben ismertetem, az eredményeket pedig a fenti 2. táblázatban foglaltam össze.

A számított eredmények alapján a WPS-eket és a pWPS-eket ([M1] ÷ [M3] mellékletek) a Weldeye nevű programmal készítettem, melyek a hegesztéshez használt egyéb anyagokat is tartalmazzák, mint a hozaganyagok és a védőgáz típusa.

3.3 Hegesztéshez használt berendezések

3.3.1 Hegesztőgépek

A hegesztő berendezések fő kiválasztási szempontjai között szerepelt a több műszakban történő gyártás biztosítása. A WPS által előírt nagy hegesztőáramokkal történő folyamatos munkavégzés csakis nagy bekapcsolási idővel rendelkező berendezések esetén valósulhat meg. Ez magával hozza a hegesztőpisztoly túlmelegedésének problémáját is, ezért fontos szerepet kapott annak vízűtési lehetősége is. Kézi hegesztéshez egy Fronius TransSteel 5000 Syn, míg fedett ívű hegesztéshez egy ESAB LAF635 típusú hegesztő áramforrást választottam. Az említett berendezések műszaki paraméterei tökéletesen kielégítik a munkapróbák és a több műszakos munkarendben történő folyamatos gyártás igényeit is.

4. táblázat - ESAB LAF 635 műszaki paraméterei

Hegesztő berendezés	LAF 635
Hálózati feszültség	400/415V 3~50Hz
Megengedhető terhelés: Bekapcsolási idő: X[%] = 100% X[%] = 60%	630A / 44V 800A / 44V
Állíthatósági tartomány	75A / 18V ÷ 800A/44V (46V)
Üresjárat feszültség	54V
Üresjárat teljesítmény	150W
Hatásfok	0,84
Teljesítménytényező	0,90

Forrás: ESAB katalógus

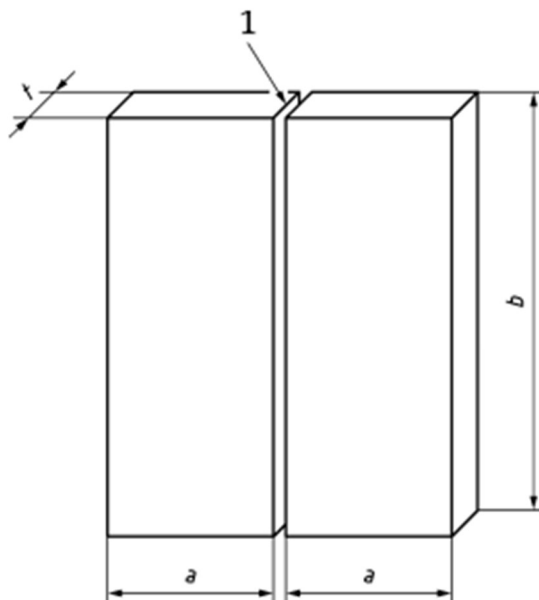
5. táblázat – Fronius TS5000 műszaki paraméterei

Hegesztő berendezés	Fronius TS 5000
Hálózati feszültség	400V 3~50Hz
Megengedhető terhelés: Bekapcsolási idő: X[%] = 100% X[%] = 60% X[%] = 40%	360A 420A 500A
Hegesztőáram-tartomány	10-500A
Üresjárat feszültség	65V
Hatásfok (360A 32V)	91%
Teljesítménytényező	0,99

Forrás: Fronius katalógus

4 Munkapróbák előkészítése, összeállítása, hegesztése

A munkadarabok az MSZ EN ISO 15614-1 szerint (4. ábra - *Munkapróbák szabványos minimális méretei a 15614-1:2020 szerint teljes beolvadású tompakötés esetén*) minimum 150 mm x 350 mm méretűek kell legyenek, de kifutólemezek elhagyása, a megfelelő számú próbatest biztosítása és a vizsgálatok esetleges megismétlése miatt 700 mm-es hossz választottam.



4. ábra - Munkapróbák szabványos minimális méretei a 15614-1:2020 szerint teljes beolvadású tompakötés esetén

1 – Élőlkészítés és összeállítás feleljen meg az előzetes hegesztési utasításnak

a – legalább 150 mm

b – legalább 350 mm

t – Anyagvastagság [6]

A próbadarabok élőlkészítése a pWPS-ek, a WPS ([M1]-[M3] mellékletek) és az „elelokeszites” ([M4] – *Élőlkészítés melléklet*) szerint történt. Mindkét fél munkadarab 30°-os leélezésével, majd összeállításával kiadva a varrat 60°-os nyílásszögét. Mivel köztudott, hogy szennyeződött (zsíros, olajos, festékes, vizes, rozsdás stb) felületet tilos hegeszteni, így összeállítás előtt sarokcsiszolóval lett fémtisztára csiszolva a varrat helyének és környezetének felülete.

Összeállításkor ügyeltem az élszalagok párhuzamosságára és a (p)WPS-ekben szereplő 6mm-es hézag pontos beállítására. A fűzővarratok elkészítése is az előírásoknak megfelelően történt: A munkapróbák két végén kb. 80mm hosszúságban (5. ábra – Fűzővarratok és az illesztési hézag). Hogy elkerüljem a nagy hőbevitel által okozott szögzsugorodást, a megfelelő alaktartás érdekében, a munkapróbák mindkét végétől számítva 200 mm távolságra, munkapróbánként 2 db, a varratnál kivágott, később eltávolításra kerülő merevítőborda lett felhegesztve bordák mindkét végén 50mm hosszán a5-ös méretű sarokvarrattal (6. ábra – Alakváltozás csökkentése merevítő bordákkal). Továbbá a kerámia megtámasztás is felhelyezésre került a gyökoldalon.



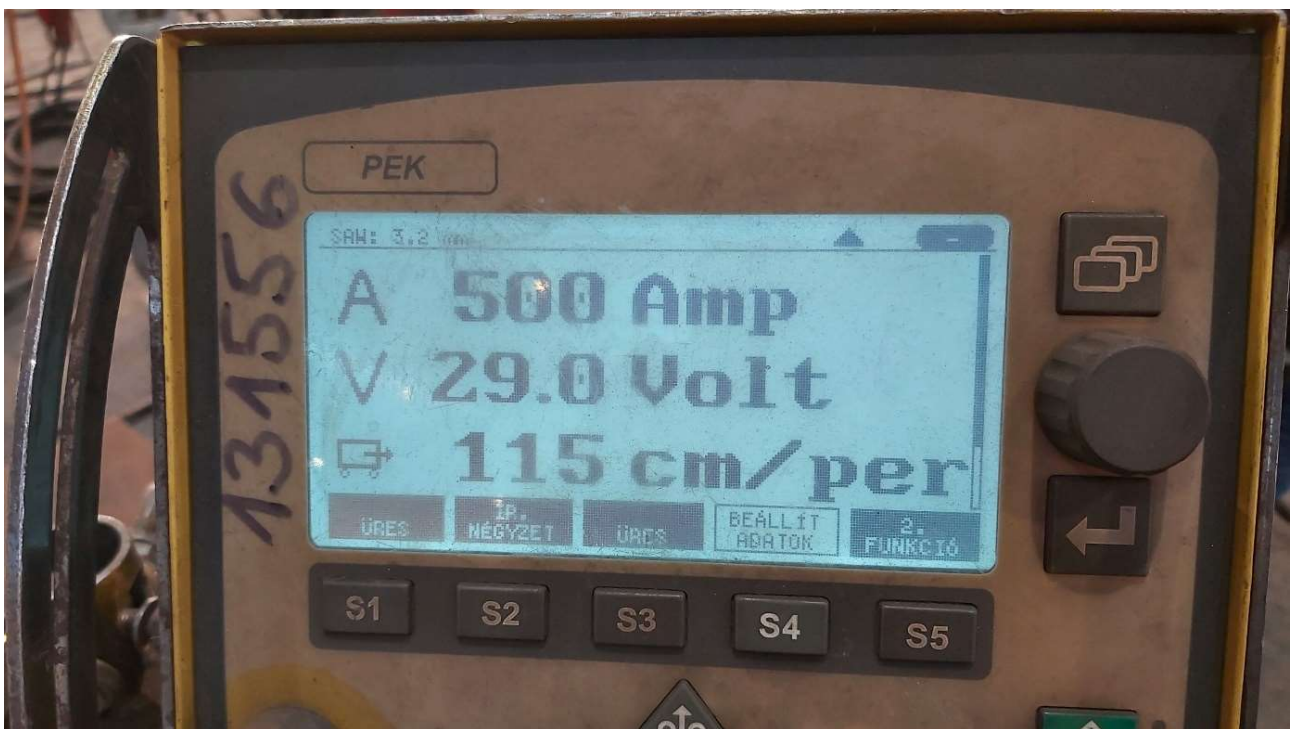
5. ábra – Fűzővarratok és az illesztési hézag [Saját ábra]



6. ábra - Alakváltozás csökkentése merevítő bordákkal [Saját ábra]

A munkapróbák hegesztése a pWPS-ek és WPS-ek ([M1] - [M3] mellékletek) szerint történt. Előkészítés és összeállítás után a munkadarabok felületén kicsapódott pára (40°C-os előmelegítéssel) eltávolításra került.

Az első sor az esetleges leélezési és összeállítási hibák elkerülésének érdekében **az összes munkapróba esetén kézi hegesztéssel, 135-ös eljárással készült.** Mivel itt a hegesztési sebesség betartása a hegesztő tapasztalatára és kezére volt bízva, illetve a már korábban említett kerámia alátét is határt szab a haladási sebességnek, így, ha a kézi hegesztésnél -a valós életviszonyokhoz hasonlóan- teljes pontossággal nem is, de árnyalni tudtuk a különböző hőbeviteli értékeket a különböző munkapróbák esetén. **Az első sorok kézzel történő hegesztésekor a „normál” sebességgel hegesztett munkapróba (P1) esetén sikerült az előírt haladási sebesség tartományon, és ezáltal a korábban meghatározott fajlagos hőbeviteli értékeken belül is maradni.** A pWPS-ekben szereplő paraméterek beállítása után, hegesztésükkor, a fogyóelektródás hegesztéskor jól megszokott sercegő hangtól kissé eltérő hangot hallottam, ezért a további munkapróbák (P2, P3) első sorainak az előzőleg meghatározott hegesztési paraméterein kis mértékben változtattam. (I=260A; huzalelőtolási sebesség: 8,2m/min helyett I=278A; huzalelőtolási sebesség: 9m/min) Később, a nagy és kis hőbevitelű munkapróbák első sorainak kézi hegesztésekor sem tudtunk olyan szélsőséges haladási sebességeket elérni, hogy a célul kitűzött $\pm 50\%$ -os hőbevitel kialakuljon, **sőt a „normál” hőbevitelnek tekintett (1,81-3,88 kJ/mm) értékeket is csak a lassan hegesztett P2-es munkapróba esetén haladtuk meg +30%-kal.** A hegesztéskor keletkező fajlagos hőbeviteli értékek pontos értékeit és a normálhoz viszonyított eltéréseket az 5.táblázat – *Valós hegesztési paraméterek* tartalmazza.

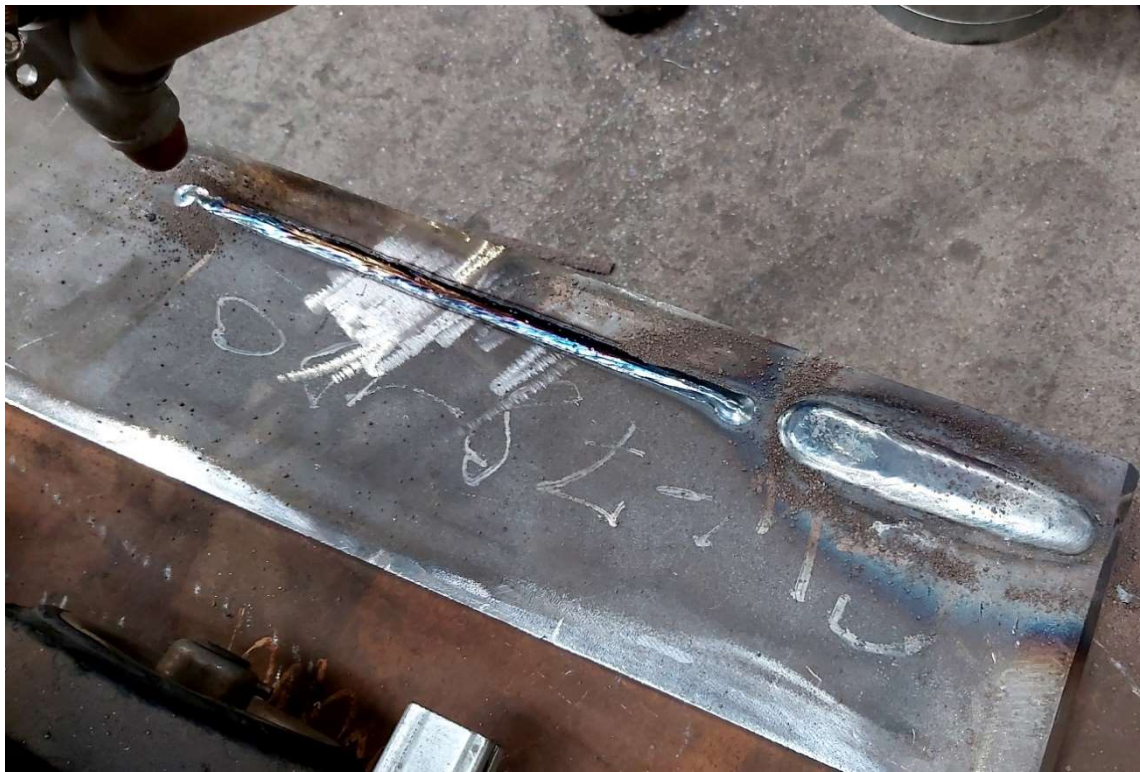


7. ábra – ESAB LAF 631 típusú fedett ívű hegesztőgép szabályozó egysége. A hegesztőkocsi haladási sebessége a P3 jelű munkapróba töltő varratsorainak hegesztésekor: 115cm/perc [Saját ábra]

Fedett ívű hegesztésnél a varratirányú előrehaladás gépesített, és a hegesztőkocsi sebességét a szabályozó egység kijelzőjén számszerűleg megjelenítve látom, amit egy potenciométer segítségével könnyedén a kívánt értékre állíthatok, így az előbb említett pontatlanságok a második sortól már megszűntek.

Normál körülmények között az általam meghatározott extrém haladási sebességekkel nem igazán találkozni, így ez nem csak nekem, de a több tíz éves tapasztalattal rendelkező kollegáknak is ismeretlen terep volt, ezért először kísérleti jelleggel egy próbalemezen végeztünk felrakó varratokat, hogy lássuk, fizikailag megvalósítható-e a varrat a megadott paraméterekkel.

A 8. ábrán jól látható a varrat szélessége és a haladási sebesség közötti összefüggés. A gyors varrat esetén (bal oldalon) meglehetősen vékony varratot kaptunk, míg az áramerősség és feszültség változatlanul hagyása mellett, csupán a sebesség tizedakkorára választásával készített varrat (jobb oldalon) szélessége a sokszorosa lett a nagy sebességgel készített varrathoz képest.



8. ábra – Balra a gyors (1200mm/min), jobbra pedig a lassú (120mm/min) haladási sebességgel készített varrat fedett ívű hegesztés esetén [Saját ábra]

Először nagy haladási sebességgel, a kis hőbevitelű munkapróbákat készítettük el. A varratsorok kis térfogata miatt a mellékidők nagyok voltak. Mikor a hegesztőkocsi a munkapróba végére ér, az új varratsor elkezdéséhez kézzel kell visszatolni azt a munkapróba elejére. Ennek gyakorisága miatt, -amellett, hogy fizikailag fárasztó- a mellékidők jelentősen növelték a teljes varrat elkészítésének idejét.

A lassú haladási sebességgel készített, nagy hőbevitelű munkapróbák varratsorainak nagy térfogatának köszönhetően a hegesztőkocsi visszatolásának számát és a mellékidőket ugyan sikerült csökkenteni, cserébe viszont a varratsor elkészítési ideje nőtt a többszörösére. Hegesztés során ügyeltünk az előírt sorközi hőmérséklet (230°C) betartására, ezért a nagy hőbevitellel készült varratoknál többször is meg kellett állni és várni, míg az a megfelelő hőmérsékletre hűl. Hosszabb varratoknál természetesen ez elkerülhető, viszont 1m alatt, ezzel érdemes számolni. A fokozott hőbevitel hatása, már hegesztés közben is jól érzékelhető jeleket mutatott: A gyökoldalra felhelyezett bordák fűzővarratai elrepedtek, így ezeknél a próbánál (P2) szemmel jól látható szögzsugorodás jött létre (9.ábra – A kész munkapróbák szögzsugorodása).



9. ábra – A kész munkapróbák szögzsugorodása [Saját ábra]

Jól látható, hogy a legkisebb szögzsugorodás a gyorsan, kis hőbevitellel készült munkapróbáknál keletkezett (P3, P6), míg a legnagyobb, a lassan, nagy hőbevitellel hegesztett daraboknál jött létre. (P2, P5)

A munkapróbák elkészülte után a korábban a 3. táblázatban ismertetett előírt paramétereket tartalmazó táblázatot a menet közben kis mértékben megváltoztatott és valós paraméterek szerint módosítottam, majd azok alapján számítottam ki a keletkező fajlagos hőbevitel értékeit és azok eltérését a tervezett normál haladási sebességű fajlagos hőbevitelekhez képest, mely adatokat a 6.táblázatban foglaltam össze.

6. táblázat – Valós hegesztési paraméterek

S355J2+N	Sor	I [A]	U [V]	Huzalelőtolási seb. [m/min]	Haladási seb. (beállított) [mm/min]	Hőbevitel [kJ/mm] WPS szerint	Számított hőbevitel (beállított értékből) [kJ/mm]	Hőbevitel eltérés (normálhoz képest) [%]
P1 normál	gyök	260	26,5	8,2	154,5	1,81-3,88	2,14	-
	töltő	500	29	-	450	1,61-2,26	1,93	-
	takaró	535	30	-	350	2,38-3,54	2,75	-
P2 lassú	gyök	278	26,5	9	69,9	5,82 ≤	5,06	+30%
	töltő	500	29	-	230	3,39 ≤	3,78	+67%
	takaró	535	30	-	160	5,32 ≤	6,02	+70%
P3 gyors	gyök	278	26,5	9	191,5	≤ 0,9	1,85	-
	töltő	500	29	-	1150	≤ 0,8	0,76	-52%
	takaró	535	30	-	840	≤ 1,19	1,15	-51%

Forrás: [Saját táblázat]

5 Eredmények és azok értékelése

5.1 Roncsolásmentes anyagvizsgálatok

A roncsolásmentes anyagvizsgálatokban az MCE Nyíregyháza Kft. (VT, MT, UT) és a Nyíregyházi Egyetem (RT) anyagvizsgálói segítettek.

5.1.1 Szemrevételezéses vizsgálat

A P1, P3 jelű munkapróbák a szemrevételezéses vizsgálat során megfeleltek az előírásoknak, míg a nagy hőbevitellel hegesztett varrat (P2) gyöksora nem jött át teljes mértékben, csak szakaszosan, kis szigetekben sikerült elkészíteni, illetve varratkoronája a megengedett 5mm-es magasság felett volt. (7mm) (Hiba: 502) Ennek oka a kis haladási sebesség, mely során a varratsor keresztmetszete felülmúlta a várákozásokat, és túlzott mértékben töltötte fel a varratot.

5.1.2 Mágnesezhető poros vizsgálat

A mágnesezhető poros vizsgálat során az összes varrat megfelelt. Felületi repedés nem volt kimutatható.

5.1.3 Ultrahangos vizsgálat

Az ultrahangos vizsgálatok során az összes varrat megfelelt. Folytonossági hiány a vizsgálati módszerrel nem volt kimutatható.

5.1.4 Radiográfiai vizsgálat

A radiográfiai vizsgálatok előtt első körben a hulladék területeket (10. ábra – Roncsolásos anyagvizsgálatok próbatestei – 1-es számmal jelölt területek) távolítottam el, majd csak ezután készültek el a röntgenfelvételek, hogy azok 100%-ban ráférjenek a filmre. A felvételeket a minél jobb minőség elérése érdekében, először kék filmre szeretnénk volna készíteni, de nagy lemezvastagságnál jelentkező túl hosszú expozíciós idő miatt kénytelenek voltunk végül fehér (701 μ m-es) filmet választani, mellyel ugyan valamivel gyengébb minőségű, de még látható és értékelhető felvételeket kaptunk belátható időn belül. A felvételeket az [M7] – *Radiográfiai vizsgálatok eredményei* melléklet tartalmazza.

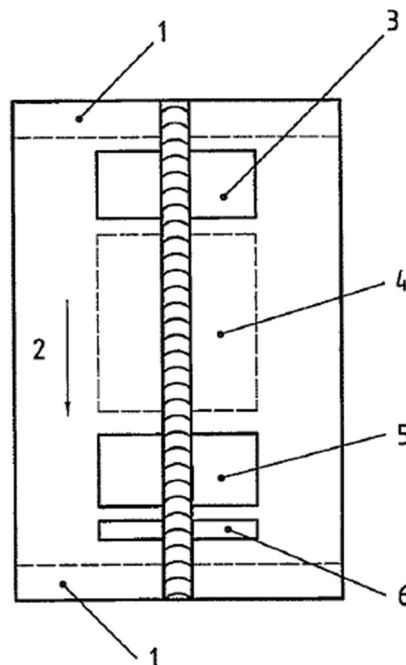
5.2 Roncsolásos anyagvizsgálatok

5.2.1 Próbatestek és azok kimunkálása

A próbatestek kimunkálása szintén az MSZ EN ISO 15614-1 szerint történt. Munkapróbánkként kimunkált próbatestek:

- 2db szakító próbatest
- 4db hajlító próbatest
- 9db ütő próbatest
- 1db keménységmérési próbatest
- 1db makrovizsgálati próbatest

3db munkapróba esetén kimunkált próbatestek összesen: 51 db

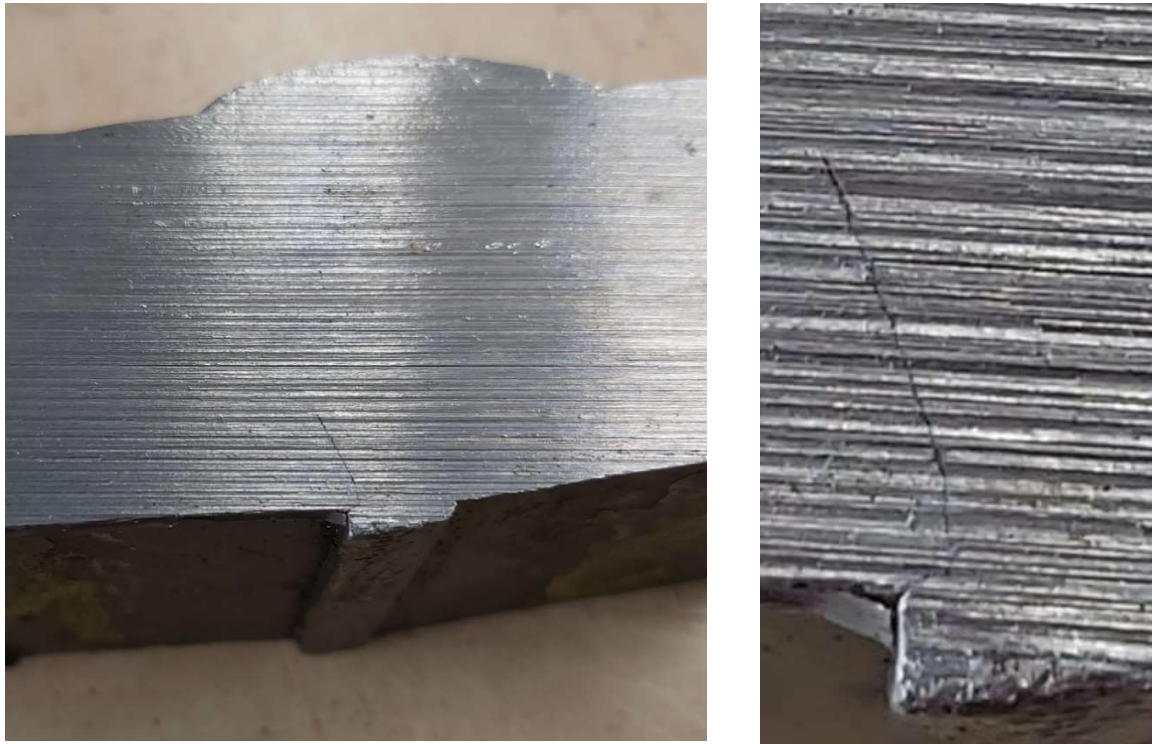


10. ábra - Roncsolásos anyagvizsgálatok próbatestei

1. Hulladék (25mm), 2. Hegesztési irány, 3. 1db szakító próbatest, 2db hajlító próbatest, 4. Ütőpróbatestek és kiegészítő próbatestek, 5. 1db szakítópróbatest, 2db hajlító próbatest, 6. 1db makrovizsgálati próbatest, 1db keménységmérési próbatest [7]

A különböző technológiákkal hegesztett munkapróbák között már a roncsolásos anyagvizsgálatok előtt, a kimunkálás kezdetekor jól érezhető volt a különbség. A nagy hőbevitellel hegesztett darabok esetén olyan hosszirányú feszültség keletkezett az anyagban, hogy már az első területek (10. ábra – Roncsolásos anyagvizsgálatok próbatestei) fűrészelése közben annyira összeszorította a fűrészlapot, hogy hiába a 3 fázisú fűrészgép nagy teljesítménye, az teljesen állóra megállt. Egy esetben pedig a fűrészlap törésére is sor került.

A P2-es (nagy hőbevitelű) munkapróba darabolásakor szabad szemmel jól látható repedésre lettem figyelmes a gyöksorban. Az összes próbatest lefűrészelése után vált világossá számomra, hogy a kötésihiba szinte a varrat teljes hosszában megtalálható. Benne volt az előzetesen kimunkált hajlítós próbatestekben és mindkét oldali szakító próbatestben is. A szakító- és ütő próbatesteket a szabvány szerint is a kötés középvonalából kell kimunkálni, így ezeket a próbatesteket a varrathiba nem érintette és el tudtam végezni a vizsgálatokat. A hajlítós- és makrovizsgálat során pedig látványos és tanulságos eredmények születtek.



11. ábra - A P2 jelű munkapróba gyöksorában létrejövő kötésihiba szabad szemmel is jól látható a még csak előzetesen kimunkált munkadarabokon is. [Saját ábra]

Mivel a próbatestek kimunkálása csak a röntgenfelvételek elkészítése után kezdődhetett meg, újból visszanéztük e munkapróbáról készült felvételt, melyen a hiba nem látszik. Elképzelhető, hogy pont olyan szögben érhetette a sugárzás és olyan szögben keletkezett a hiba, melynél az nem mutatható ki.

5.2.2 Szakítóvizsgálat

7. táblázat - A szakítóvizsgálat eredményei

Próbatest jele	Szakítás előtt			Maximális terhelőerő F_m [kN]	Szakítószilárdság [MPa]	Szakadás helye
	szélesség [mm]	vastagság [mm]	keresztmetszet [mm ²]			
P1SZ1	25,04	4,99	124,95	68	544	alapanyag
P1SZ2	25,04	5,03	125,95	67,5	535	alapanyag
P2SZ1	25,12	4,87	122,33	66,5	543	alapanyag
P2SZ2	25,12	4,85	121,83	65,5	537	alapanyag
P3SZ1	25,02	5,10	127,6	70,5	552	alapanyag
P3SZ2	25,06	5,03	126,05	68	539	alapanyag

Forrás: Saját táblázat

Szakítóvizsgálat során a szakítószilárdság értéke 470 és 630MPa között kell, hogy legyen és az alapanyagban kell, hogy szakadjon, mivel ez azt jelenti, hogy a varrat is rendelkezik legalább ilyen szakítószilárdsági értékkel. Az eredményeket a 7. táblázatban foglaltam össze. A követelményeket az összes próbatest teljesítette: Szakítószilárdság értékét tekintve kis szórással mindegyik az előírt tartományon belül, az alapanyagban szakadt.

5.2.3 Hajlítóvizsgálat

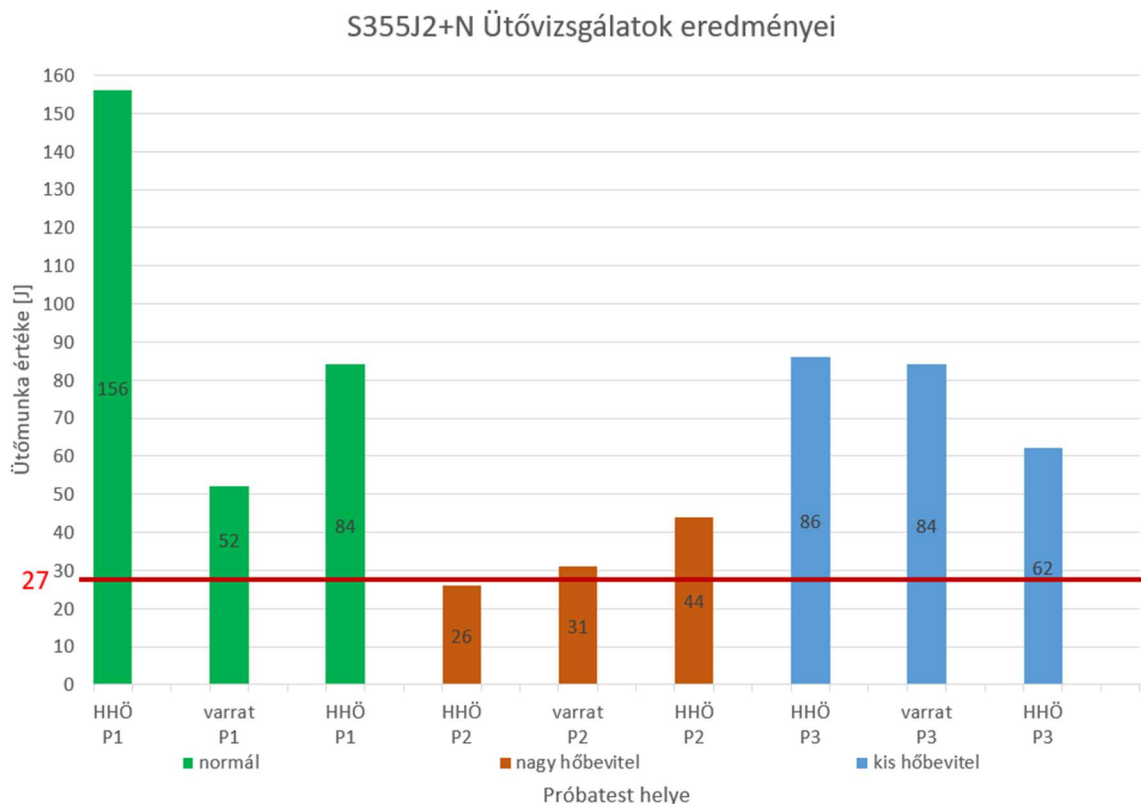
Hajlítóvizsgálat során azt vizsgáltam, hogy a kötésből kimunkált próbatest elvisel-e egy adott hajlítási sugarat, adott terhelő erő hatására, a hajlítási irány megváltoztatása és repedés megjelenése nélkül. Esetemben a 180°-os hajlítási sugár elérése volt cél. A normál (P1) és gyors (P3) haladási sebességgel hegesztett kötések (2x4db próbatest) ezt kivétel nélkül teljesítették, míg a P2-es, nagy hőbevitelű próbatestek kötéshibája miatt a repedések hatása már a hajlítás megkezdésekor jelentkezett. A kötéshibák hegesztés során keletkeztek és már a darabolás során szemmel láthatóak voltak, így a P2-es hajlítóvizsgálat eredményeinek összehasonlítása a többi próbatesttel ez esetben nem releváns. Az összehasonlításhoz célszerű lenne a kötést újból, hibamentesen elkészíteni. Viszont érdemes megfigyelni, hogy a kimunkálás helyétől függően a próbatestek két oldalán lévő repedések más-más terjedelemben mutatkoztak, így attól függően, hogy honnan munkáltam ki, és melyik irányból hajlítottam, úgy változott a hajlítás utáni eredmény is. A P2H3 jelű próbatest repedéssel megegyező oldali terhelése esetén a túlsó oldalon nem történt meg - a többi próbatestnél jellegzetes repedés szétnyílása. A vizsgálatról készült képeket az [M8] – Hajlítóvizsgálat eredményei melléklet tartalmazza.

5.2.4 Ütővizsgálat

Az ütővizsgálat eredményeit a 8. táblázat tartalmazza, grafikusán pedig a 12. ábra szemlélteti. A vizsgálatokat -20°C-os 10x10 mm-es próbatesteken végeztem.

8. táblázat - Az ütővizsgálat eredményei

Próbatest jele	Próbatest helye	Ütőmunka KV [J]	Átlagos ütőmunka KV _{átlag} [J]
P1/1/1	hőhatásövezet	160	156
P1/1/2		150	
P1/1/3		160	
P1/2/1	varrat	52	52
P1/2/2		52	
P1/2/3		52	
P1/3/1	hőhatásövezet	92	84
P1/3/2		80	
P1/3/3		82	
P2/1/1	hőhatásövezet	26	26
P2/1/2		28	
P2/1/3		26	
P2/2/1	varrat	30	31
P2/2/2		34	
P2/2/3		30	
P2/3/1	hőhatásövezet	40	44
P2/3/2		40	
P2/3/3		52	
P3/1/1	hőhatásövezet	58	86
P3/1/2		102	
P3/1/3		100	
P3/2/1	varrat	98	84
P3/2/2		56	
P3/2/3		100	
P3/3/1	hőhatásövezet	68	62
P3/3/2		62	
P3/3/3		58	



12.ábra – Az ütővizsgálatok eredményei [Saját ábra]

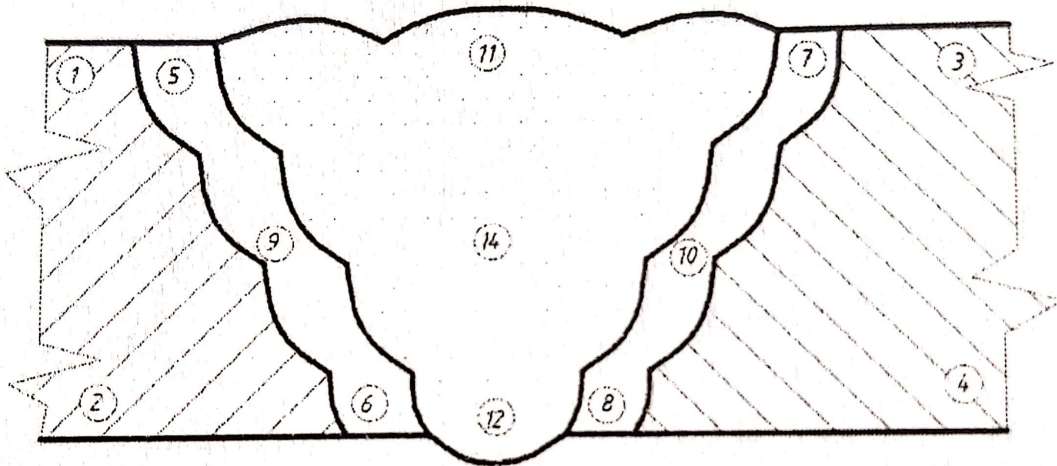
A diagramon bejelöltem a minimális 27J ütőmunka értéket, melyet a megfelelőséghez teljesítenie kell a kötésnek. A diagramra pillantva egyből szembetűnő, hogy a P2-es, nagy hőbevitelű próba egyik hőhatásövezetbeli ütőmunkája nem érte el a minimális szintet. Az eljárásvizsgálatok előkészítésekor ügyeltem rá, hogy próbák azonos adagszámú lemezből kerüljenek kivágásra és értelemszerűen, hogy műbizonylatában szereplő értékek is megfeleljenek az elvárásoknak. A többi kötés sikerrel teljesítette a minimális ütőmunka értékét. Ugyan a P2-es varrat gyökében valóban kötéshiba keletkezett hegesztés során, de az ütő próbatestek kimunkálása hibamentes területről történt és a P2 jelű próba többi vizsgálati próbateste is hasonló értékeket produkált, így ezek alapján kijelenthető, hogy a kis haladási sebesség által okozott nagy fajlagos hőbeviteli érték rontja a hegesztett kötés ütőmunka értékét, míg a nagy haladási sebességgel készített varrat közel azonos értékeket mutatott az ütővizsgálatok során, mint a normál paraméterekkel hegesztett, viszonyítási alapot szolgáló P1-es munkapróba. Továbbá, a P1 és P3-as próbatestek töretein látszott a törés előtti nyúlás nyoma, míg a P2-es próbatestek ridegen törtek, nyúlás jelét szinte egyáltalán nem mutatva (13. ábra – Eltört ütő próbatestek).



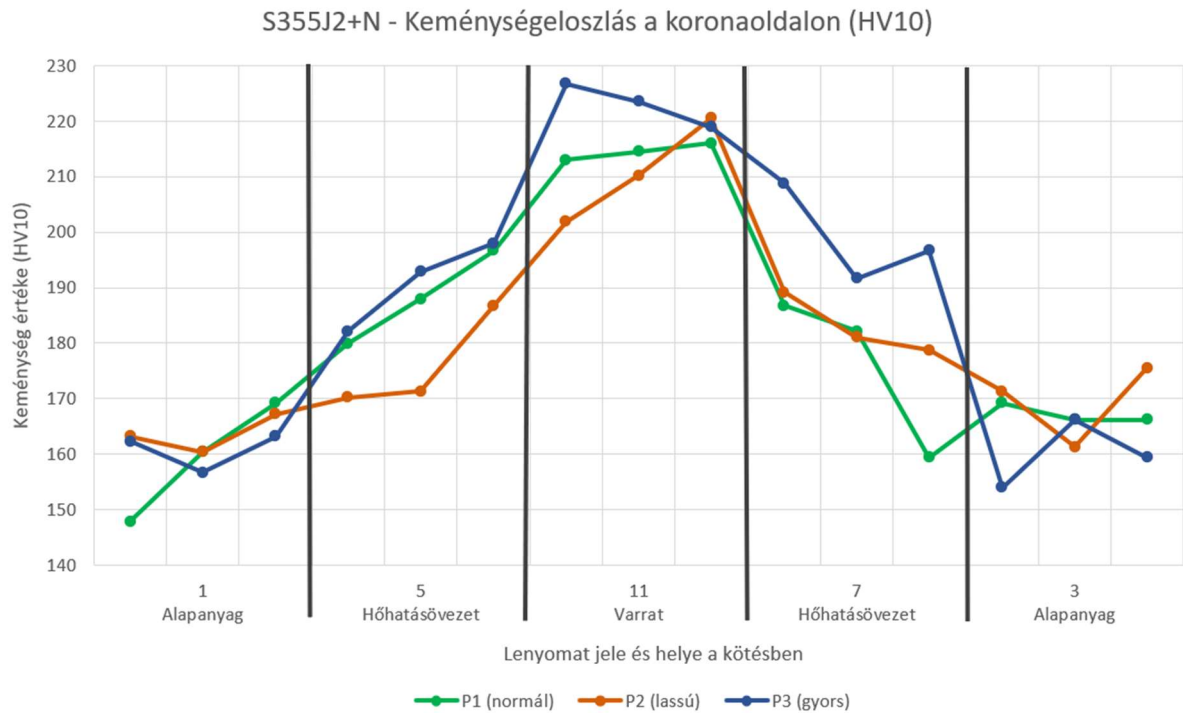
13. ábra – Eltört ütő próbatestek (Balról: P1, P2, P3) [Saját ábra]

5.2.5 Keménységmérés

A Vickers keménységmérést 10-15 másodpercig tartó 10kp-os terheléssel végeztem. A nagy hőbevitelű próbák hőhatásövezetében lévő mérések elvégzésekor a három mérési pont kényelmesen elfért egymás mellett, míg a kis hőbevitelű, jóval keskenyebb hőhatásövezettel rendelkező próbák esetén volt, hogy kénytelen voltam a harmadik mérést kissé a másik két mérési pont felett elvégezni. A mérési pontok helye a 14. ábra alapján értendőek, az eredményeket az [M9] – *Keménységvizsgálat eredményei* mellékletben foglaltam össze, melyeket az alábbi diagramokon ábrázoltam (15.÷17. ábra).

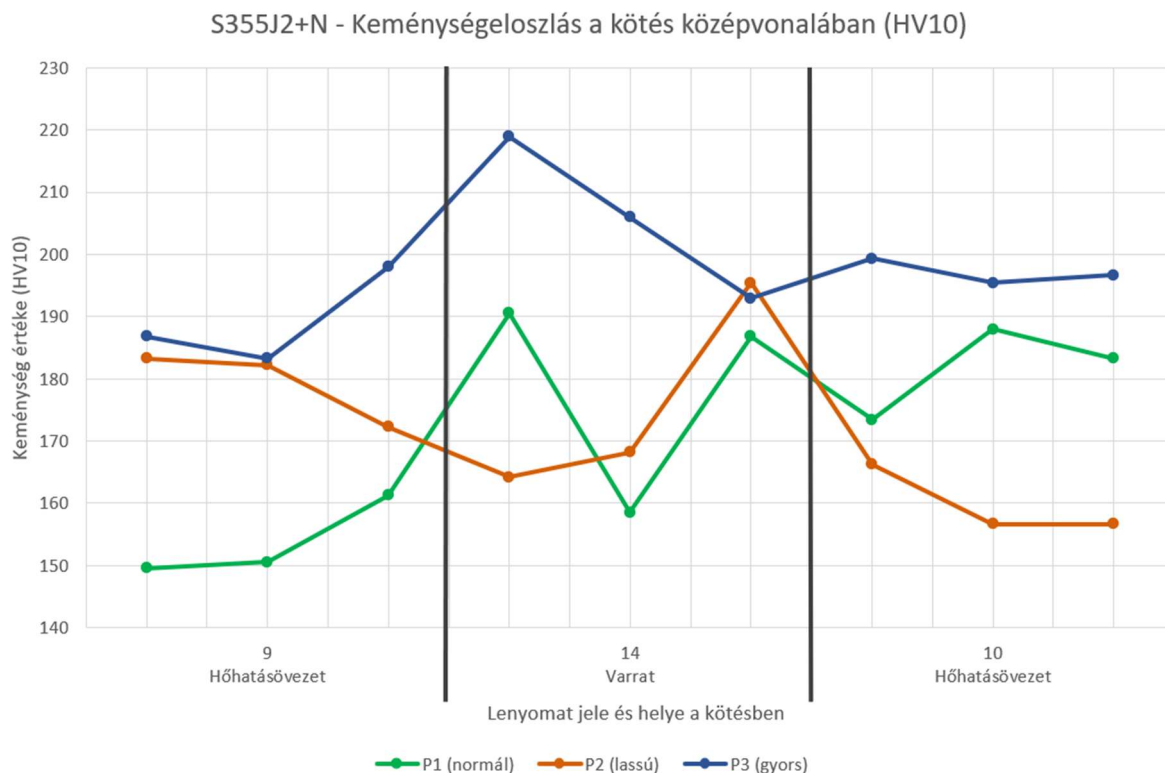


14. ábra – Keménységlenyomatok elhelyezkedése [Nyíregyházi Egyetem]



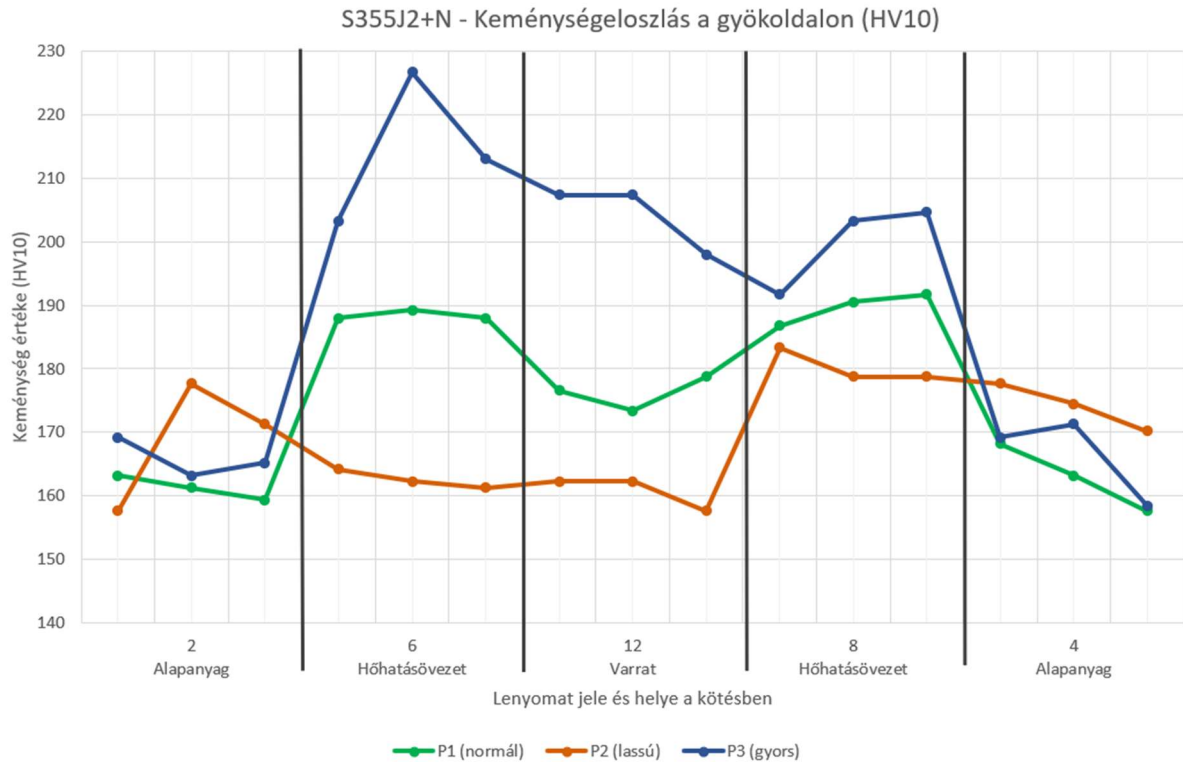
15. ábra – Keménységeloszlás a koronaoldalon [Saját ábra]

S355J2+N anyagminőség esetén a koronaoldalon jelentkező keménységeloszlás azt mutatja, hogy az alapanyagtól a varrat közepe felé haladva a keménységek értéke mindhárom esetben egyenletesen nőtt, viszont a különböző sebességekkel hegesztett varratok közötti különbség nem jelentős. A várakozásoknak megfelelően a gyorsan hegesztett kötés hőhatásövezete és varrata valamennyivel jobban felkeményedett, mint a lassabban hegesztett munkapróbák esetén, de jelentős eltérés nem tapasztalható.



16. ábra – Keménységeloszlás a kötés középvonalában [Saját ábra]

A kötés középvonalában mért értékek hasonló eredményt mutatnak a koronaoldali eredményekhez. A gyorsan, kis hőbevitellel hegesztett próbák varratai valamivel keményebbnek mutatkoztak a normál és lassú sebességgel hegesztett munkapróbák varrataihoz képest. Itt viszont nem mondható el határozottan, hogy a varrat felé haladva nőtt a keménység értéke. A hőhatásövezetben és a varratban mért keménységek közötti különbségek jóval kisebbek, mint ahogy az a koronaoldalon megfigyelhető



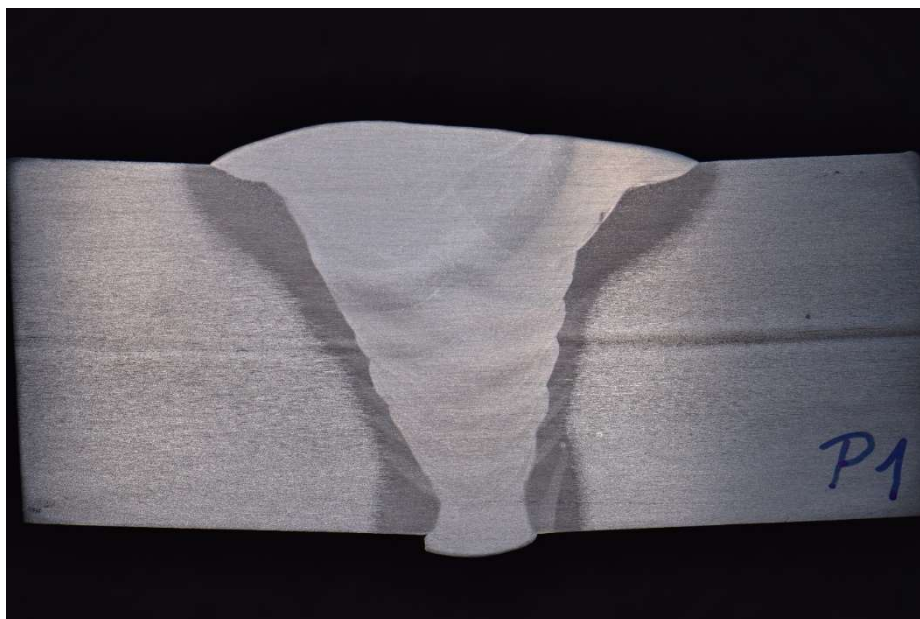
17. ábra – Keménységeloszlás a gyökoldalon [Saját ábra]

A gyökoldali keménységeloszlás diagramján kirajzolódó görbék szemléltetik a legjobban a várakozásoknak megfelelő eredményeket, azaz, hogy a kis hőbevitelű (P3) varrat, és annak hőhatásövezete nagyobb keménységi értékeket mutatott, mint a normál hőbevitelű (P1) munkapróbából kimunkált vizsgálati test, míg a lassan, nagy hőbevitellel hegesztett P2 jelű munkapróbán elkészített kötés lágyulást mutat a viszonyítási alapként szolgáló P1-hez képest.

A haladási sebességek változtatásának irányának a hatása keménységértékekre valamelyest már a koronaoldalon és a varrat középvonalaiban is kirajzolódni látszódtak, de ott határozott eltérést nem mutattak, csak a gyökoldalon. Míg a különböző technológiákkal való hegesztéskor nagy mértékben átléptük az MSZ EN ISO 15614-1 által meghatározott maximálisan 25%-os eltérést a fajlagos hőbevitelt illetően, addig a keménységi értékek az S355J2+N anyagminőség 1.2-es anyagcsoportjára vonatkozó maximális 320 HV10 keménységi értéket nem haladták meg.

5.2.6 Makrovizsgálat

A makrovizsgálatról készült fotókat az [M10] – *Makroszkópikus vizsgálat felvételei melléklet* tartalmazza. A fotókon jól látszik a már korábban említett különbség varratsorok térfogata között, illetve a keménységmérésnél említett hőhatásövezetek méretbeli különbsége. Nagy haladási sebességgel való hegesztéskor a varratsorok száma jelentősen megnőtt, illetve a hőhatásövezet jelentősen lecsökkent. A kis haladási sebességnél a varratsorok száma csökkent, viszont a hőhatásövezet lényegesen szélesebb lett. Ez különösen a varrat középvonalában és a koronaoldalon látványos. Érdekes megfigyelni, hogy a P2-es kötéshibás munkapróbáról készült makrocsiszolaton szinte alig látható a kötéshiba, viszont a vizsgálati próbatest másik oldalán egy második csiszolat is készült (P2/2), melyen látható, hogy egy elsőre aprónak tűnő repedés, mekkora hibát is rejthet valójában.



18. ábra – P1 makrocsiszolata [Saját ábra]

Következtetések és javaslatok

A kutatás számos tanulsággal szolgál a jövőbeli tanulmányaim és szakmai pályafutásom során, illetve hasonló témában kísérletezők számára:

- A hegesztés során keletkező hő a munkadarab **nagymértékű alakváltozásával** járhat. A fémszerkezetek pontos illesztései és előírt tűréseinek tartása miatt nagy gondot kell fordítani a helyes hegesztéstechnológia kidolgozására.
- A V-varratlak elérte a kutatómunka során kitűzött célját: A hőbeviteli különbségek által létrehozott szögzsugorodások szemmel jól láthatóak voltak az ellenoldalra felhegesztett merevítőbordák ellenére is, melyek fűzővarratait el is tépte. Üzemi gyártás során a nagy lemezvastagságoknál lehetőség szerint érdemes a kétoldalról történő hegesztést, azaz az X-varratlakot választani.
- A **nagy hőbevitel** hatása nem csak az alaktartásra, de a próbatestek kimunkálására és a fémszerkezetek szilárdsági tulajdonságaira is jelentős hatással van. A túlzott hőbevitel olyan mértékű **hosszirányú feszültségek kialakulásához vezetett**, hogy a próbatestek kimunkálásakor a munkadarab többször is összeszorította és megállította a mozgó fűrészlapot, ennek következtében pedig egy esetben pedig el is törte azt.
- A nagy hőbevitelű próba hegesztésekor a varrat sokszor túlságosan felmelegedett, ezért többször is meg kellett állni és várni, míg az a megfelelő hőmérsékletre hűl.
- Ugyan a varratlakok nem minden esetben lettek tökéletesek, de a P2 jelű munkapróba gyökében létrejövő kötéshibát több tapasztalt szakember sem vette észre. Azt már csak a daraboláskor sikerült észlelni.
- **Ütővizsgálat során a várakozásoknak megfelelően a normál és kis hőbevitelű próbatestek közel azonos ütőmunkaértékeket mutattak, mindegyik teljesítette az előírt követelményeket. A nagy hőbevitelű munkapróbákból kimunkált próbatestek ütőmunka értékei viszont radikálisan csökkentek**, volt olyan próbatest, amelynek ütőmunkája **a garantált értéket sem érte el**, de a többi is csak éppen meghaladta azt.
- **Keménység vizsgálat** során kapott eredmények már nem mutattak ekkora eltérést. A **koronaoldalon és a kötés középvonalában** ugyan valamivel nagyobb keménységi értékek jelentkezték a **kis hőbevitelű próbatestnél**, de **az eltérés nem számottevő**. Nem úgy, mint a **gyökoldalon**, ahol a *16.ábrán* ábrázolt eredményeken, **határozottan látszik a várakozásoknak megfelelő keményebb felület a kis hőbevitellel készített munkapróbák esetén**. Az értékek még itt sem haladták meg a szabványban 320HV10-re korlátozott értéket, de szigorúbb előírások esetén mindenféleképpen figyelni kell rá. Érdekes összefüggés lehet

még, hogy **a legnagyobb keménységi eltérés a kézzel készített varratsornál jelentkezett**, ahol ugyan nem sikerült elérni a célul kitűzött 50%-os eltérést, de lehetőségekhez képest igyekeztünk a lehető legnagyobb hegesztési sebességet elérni, hogy legalább árnyalni tudjuk a hőbevitel értékeit, de ezzel a sebességgel sajnos még a normál hőbeviteli értékeket sem sikerült átlépni. **Úgy gondolom hasznos lehet még egy csak kézi hegesztéssel készített kísérlet elvégzése is**, olyan kötésnél és olyan technológiával melyekkel nagyobb haladási sebesség érhető el. (pl.: sarokvarrat, melynél nem szab határt a kerámia megtámasztás, vagy a bemutatott tompakötésekhez hasonló, de végig kézi hegesztéssel történő technológia) Ezek során, ha nem is sikerül teljes mértékben tartani az előzőleg meghatározott haladási sebesség értékeit, de árnyalni mindenféleképpen lehet azokat, **hogy a keménységi értékek változásának tendenciája kirajzolódjon.**

- **Szakítóvizsgálat** során az eredmények eltérést nem mutattak. **Közel azonos szakítószilárdsággal, mindegyik próbatest az alapanyagban szakadt.**

Összefoglalás

Kutatómunkám során megvizsgáltam, hogy a különböző haladási sebességek milyen hatással vannak a hegesztési varrat mechanikai tulajdonságaira. Figyelembe vettem az MSZ EN ISO 15614-1 előírásait, többek között a fajlagos hőbevitel értékének 25%-ban korlátozott megengedhető eltérését, majd azt szándékosan átlépve nagy és kis hőbevitelű technológiákkal is elkészítettem az eljárásvizsgálat munkapróbáit, melyeket hegesztés után roncsolásos és roncsolásmentes anyagvizsgálatoknak vettem alá. A dolgozat eredményei a következőképpen foglalhatók össze:

A hőbevitel változtatásának hatása a várakozásoknak megfelelően leginkább a keménység- és ütvizsgálat során mutatott eredményeket. Utóbbi vizsgálatnál a nagy hőbevitelű technológiával hegesztett próbatesteivel a szabvány által garantált értéket sem sikerült elérni, így ez különösen veszélyes lehet nagy igénybevételű fémszerkezetek esetén. A keménységmérés eredményeiben ugyan kisebb eltérések voltak, és a szabvány által meghatározott értéken belül maradtak még ilyen nagy hőbeviteli eltérések esetén is. A kis hőbeviteli technológiával készített kötések kivétel nélkül megfeleltek az anyagvizsgálatok során, míg a nagy hőbevitellel készített kötések csak részben.

- [1] Dr. DOMANOVSKY S. - Hegesztéstechnika (1997) – VII. évfolyam 3. szám – A hegesztett szerkezetek, főként hegesztett hidak építésének 60 éve Magyarországon
- [2] SZUNYOGH L. – Hegesztés és rokon technológiák (2007. a) – A hegesztett szerkezetek utókezelése 640-642.o. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest
- [3] SZUNYOGH L. – Hegesztés és rokon technológiák (2007. b): 6. Fémszerkezetek hegesztésénél ébredő feszültségek és alakváltozások. 615.o, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest
- [4] SZUNYOGH L. – Hegesztés és rokon technológiák (2007 c.) – 2.3.2. Alakváltozási folyamat hegesztéskor 44.o, Gépipari tudományos Egyesület, Budapest
- [5] SZUNYOGH L. – Hegesztés és rokon technológiák (2007 d.) – 2.6. Repedésképződés – 72. o, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest
- [6] OENORM EN ISO 15614-1:2020 – Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe – Schweißverfahrensprüfung Teil 1: Lichtbogen- und Gasschweißen von Stählen und Lichtbogenschweißen von Nickel und Nickellegierungen – Bild 1 – Prüfstück für einen Stumpfstoß am Blech mit voller Durchschweißung - 13.o
- [7] MSZ EN ISO 15614-1:2004 – Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata- 1.rész: Acélok ív és gázhegesztése, valamint nikkal és ötvözetek ívhegesztése -12.o
- [8] Dr. PÉK L. – Anyagszerkezet és anyagismeret (2000) – 6.1.1.3. Szerkezeti acélok - 296. o, Dinasztia Kiadó, Budapest
- [9] KOMÓCSIN M. – Anyagok hegeszthetősége (2010) – 2.1. Hőbevitel és a termikus hatások (elektronikus verzió), Dunaújvárosi Egyetem
- [10] MSZ EN 1011-1 Hegesztés. Ajánlások fémek hegesztéséhez -19. Hőbevitel – 11.o.
- [11] SZUNYOGH L. – Hegesztés és rokon technológiák (2007. e) – 3.2.3.4.3. Hegesztési paraméterek és hatásuk, Gépipari tudományos Egyesület, Budapest
- [12] GÁSPÁR M., Dr. BALOGH A. – Nagyszilárdságú acélok hegesztéstechnológiájának fejlesztése a hűlési idő elemzésével – Hegesztési megfontolások - 54.o – 55.o, Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék
- [13] DOBOSY Á. – A vonalenergia hatása a nemesített, nagyszilárdságú acél vastaglemezek hegesztett kötéseire (2012) – A nagyszilárdságú acélok hegeszthetősége - 6.o, Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék
- [14] KOMÓCSIN M. – Nagyszilárdságú acélok és hegeszthetőségük – Hegesztéstechnika, 2002/1.
- [15] Dr. KOVÁCS T., Dr. GÁTI J. - Hegesztéstechnika (2016) – XXVII. évfolyam 2016/2 - Előmelegítési hőmérséklet meghatározása a Séférián összefüggés alkalmazásával 37.o
- [16] Anyagvizsgálatok során alkalmazott szabványok: MSZ EN ISO 5817:2014; MSZ EN 16371-2:2018; MSZ EN ISO 17636-2:2013; MSZ EN ISO 4136:2013; MSZ EN ISO 5173:2010; MSZ EN ISO 5173:2010/A1:2012; MSZ EN ISO 9016:2013; MSZ EN ISO 17639:2014; MSZ EN ISO 9015-1:2011

5.3 Internetes források

[INTERNET 1] Dr. Németh György – Hegesztési alakváltozások és sajátfeszültségek c. előadásvázlat, <http://www.sze.hu/~nemethgy/alakvaltozasok.pdf> (letöltés dátuma: 2022.04.16.)

[INTERNET 2] Ferromark-ker.com – Acél lehűtés három típusa – Normalizálás (letöltés dátuma: 2022.10.22.)

[INTERNET 3] Kis László – Hídépítés – 4.előadás - <https://docplayer.hu/12018263-4-eload-szlo-2012.html> (letöltés dátuma: 2023.01.08.)

Mellékletek jegyzéke

[M1]-[M3] – WPS, pWPS-ek

[M4] – Élelőkészítés

[M5] – Fajlagos hőbeviteli értékek meghatározása

[M6] – Hegesztési sebességek meghatározása

[M7] – Radiográfiai vizsgálatok felvételei

[M8] – Hajlítóvizsgálat fotói

[M9] – Keménységmérés eredményei

[M10] – Makroszkópikus vizsgálati minták felvételei

HEGESZTÉSI
ELJÁRÁSSPECIFIKÁCIÓ (WPS)

Hivatkozott szabványok
EN ISO 15614-1
Gyártó
MCE Nyíregyháza Kft.
Hely

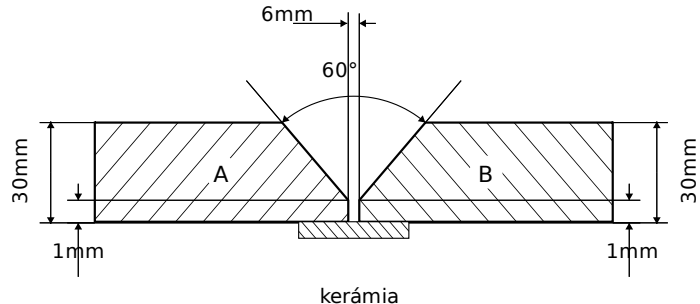
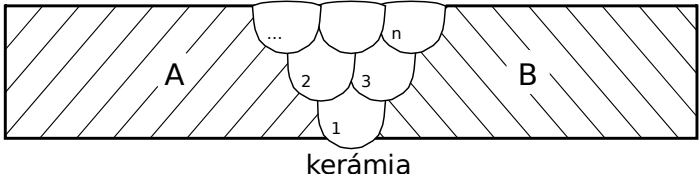
Hivatkozott WPQR-ek
HTM 000 715
Ügyfél

Referencia-specifikáció

Átdolgozás dátuma
14.11.2022
Projekt
Szakdolgozat

DETAILS	Kötés típusa	Termék típusa	Megtámasztás	Oldalak	Rétegek	Fűzővarrat-készítési elj.
	BW Hegesztési pozíció PA	P	ceramic Gyökfaragás Not applicable	ss	ml	135 Kötések előkészítése és tisztítása Cutting, grinding, brushes

ALAPANYAG AZONOSÍTÁSA	Alapanyagok	Anyagcsoport	Szabvány	Szállítási állapot	Vastagság [mm]	Átmérő [mm]
	A Név/osztály S355J2+N+Z15	1.2	EN 10025-2	Blech, sheet metal	15.0 – 60.0	
	B Név/osztály S355J2+N+Z15	1.2	EN 10025-2	Blech, sheet metal	15.0 – 60.0	

KÖTÉS TÍPUSA	HEGESZTÉSI MŰVELETSOR
	

HEGESZTÉSI PARAMÉTEREK	Sor	Hegesztési pozíció	Elektróda	Hegesz... Ø [mm]	Hegesztési folyamat	Huzalelőtolási sebesség [m/min]	Áramerősség [A]	Feszültség [V]	Áramtípus és polaritás	Haladási sebesség [mm/min]	Hőbevitel [kJ/mm]
	1	PA		1.2	135	9.0 – 11.0	220 – 260	24.0 – 28.0	DC+	90 – 140	1.81 – 3.88
	2-	PA		3.2	121		480 – 520	28.0 – 29.0	DC+	400 – 500	1.61 – 2.26
	Takaró	PA		3.2	121		520 – 550	29.0 – 30.0	DC+	280 – 380	2.38 – 3.54

A MIG/MAG HEGESZTÉS RÉSZLETEI	Hegesztési folyamat	Technika	Fémátvitel módja	HEGESZTŐANYAG
	135	Manual		Márkanév ESAB OK Autrod 12.63
	Elektródakitolás hossza [mm]	Pisztoly szöge [°]		Besorolás(ok)
	Hegesztőberendezés			VÉDŐGÁZ
				Név Corgon 16
				Gázáram [l/min] 14.0 – 18.0
				Csoport M21

A FEDETT ÍV HEGESZTÉS RÉSZLETEI	Hegesztési folyamat	Védőpor jelölése	HEGESZTŐANYAG
	121	OK Flux 10.71 - SA AB 1 67 AC H5	Márkanév ESAB OK Autrod 12.24
	Elektródakitolás hossza [mm]	Pisztoly szöge [°]	Besorolás(ok)
	Hegesztőberendezés	A pisztolyok közötti távolság [mm]	
	UP-Schweißmaschine		

HŐKEZELÉS	Előmelegítési hőm. min. [°C]	Sorközi hőm. max. [°C]	PWHT	Lágyítás
	40.0	250.0	Hőmérséklet [°C]	Hőmérséklet [°C]
	Hőmérséklet-szabályozás	Módszer	Eljárás sz.	Időtartam
				Hevítési sebesség
				Hűtési sebesség

MEGJEGYZÉSEK	ALÁÍRÁSOK
	Készítette Jóváhagyta

ELŐZETES HEGESZTÉSI
ELJÁRÁSSPECIFIKÁCIÓ (pWPS)

Hivatkozott szabványok

EN ISO 15614-1

Gyártó

MCE Nyíregyháza Kft.

Hely

Átdolgozás dátuma

14.11.2022

Ügyfél

Referencia-specifikáció

Projekt

Szakdolgozat

DETAILS

Kötés típusa
BW
Hegesztési pozíció
PATermék típusa
PMegtámasztás
ceramic
Gyökfaragás
Not applicableOldalak
ssRétegek
mlFűzővarrat-készítési elj.
135
Kötések előkészítése és tisztítása
Cutting, grinding, brushes

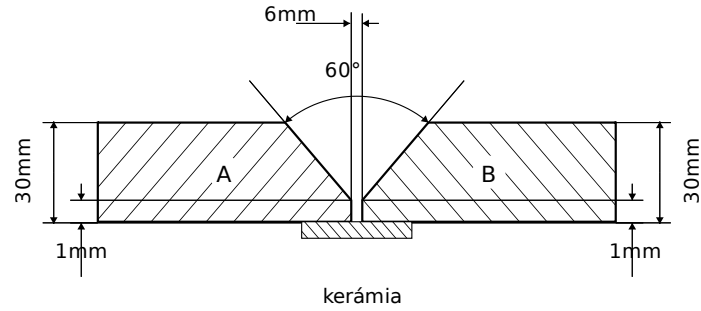
ALAPANYAG AZONOSÍTÁSA



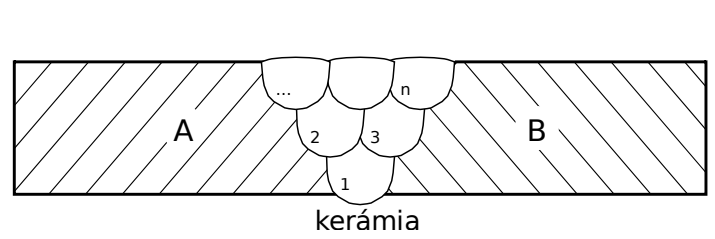
Alapanyagok

Név/osztály
A S355J2+N+Z15
Név/osztály
B S355J2+N+Z15Anyagcsoport
1.2
Anyagcsoport
1.2Szabvány
EN 10025-2
Szabvány
EN 10025-2Szállítási állapot
Blech, sheet metal
Szállítási állapot
Blech, sheet metalVastagság [mm]
15.0 – 60.0
Vastagság [mm]
15.0 – 60.0
Átmérő [mm]
Átmérő [mm]

KÖTÉS TÍPUSA



HEGESZTÉSI MŰVELETSOR



HEGESZTÉSI PARAMÉTEREK

Sor	Hegesztési pozíció	Elektróda	Hegesz... Ø [mm]	Hegesztési folyamat	Huzalelőtolási sebesség [m/min]	Áramerősség [A]	Feszültség [V]	Áramtípus és polaritás	Haladási sebesség [mm/min]	Hőbevitel [kJ/mm]
1	PA		1.2	135	9.0 – 11.0	220 – 260	24.0 – 28.0	DC+	≤ 43	5.89 ≤
2-	PA		3.2	121		480 – 520	28.0 – 29.0	DC+	≤ 238	3.39 ≤
Takaró	PA		3.2	121		520 – 550	29.0 – 30.0	DC+	≤ 170	5.32 ≤

A MIG/MAG HEGESZTÉS RÉSZLETEI

Hegesztési folyamat
135
Elektródakitolás hossza [mm]
HegesztőberendezésTechnika
Manual
Pisztoly szöge [°]

Fémátvitel módja

HEGESZTŐANYAG

Márkanév
ESAB OK Autrod 12.63
Besorolás(ok)

VÉDŐGÁZ

Név
Corgon 16
Gázáram [l/min]
14.0 – 18.0
Csoport
M21

A FEDETT ÍV HEGESZTÉS RÉSZLETEI

Hegesztési folyamat
121
Elektródakitolás hossza [mm]
Hegesztőberendezés
UP-SchweißmaschineVédőpor jelölése
OK Flux 10.71 - SA AB 1 67 AC H5
Pisztoly szöge [°]
A pisztolyok közötti távolság [mm]

HEGESZTŐANYAG

Márkanév
ESAB OK Autrod 12.24
Besorolás(ok)

HŐKEZELÉS

Előmelegítési hőm. min. [°C]	Sorközi hőm. max. [°C]	PWHT Hőmérséklet [°C]	Időtartam	Lágyítás Hőmérséklet [°C]	Időtartam
40.0	250.0				
Hőmérséklet-szabályozás	Módszer	Eljárás sz.		Hevítési sebesség	Hűtési sebesség

MEGJEGYZÉSEK

ALÁÍRÁSOK

Készítette

ELŐZETES HEGESZTÉSI
ELJÁRÁSSPECIFIKÁCIÓ (pWPS)

Hivatkozott szabványok
EN ISO 15614-1
Gyártó
MCE Nyíregyháza Kft.
Hely

Átdolgozás dátuma
14.11.2022

Ügyfél
Referencia-specifikáció

Projekt
Szakdolgozat

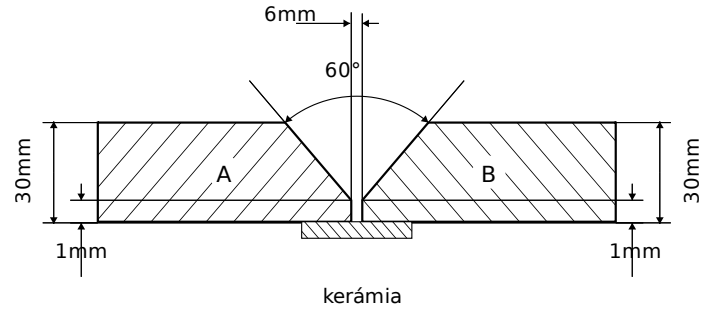
DETAILS

Kötés típusa BW Hegesztési pozíció PA	Termék típusa P	Megtámasztás ceramic Gyökfaragás Not applicable	Oldalak ss	Rétegek ml	Fűzővarrat-készítési elj. 135 Kötések előkészítése és tisztítása Cutting, grinding, brushes
--	---------------------------	--	----------------------	----------------------	--

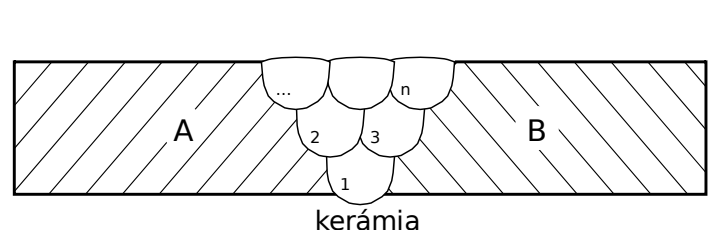
ALAPANYAG AZONOSÍTÁSA

Alapanyagok Név/osztály A S355J2+N+Z15 Név/osztály B S355J2+N+Z15	Anyagcsoport 1.2 Anyagcsoport 1.2	Szabvány EN 10025-2 Szabvány EN 10025-2	Szállítási állapot Blech, sheet metal Szállítási állapot Blech, sheet metal	Vastagság [mm] 15.0 – 60.0 Vastagság [mm] 15.0 – 60.0	Átmérő [mm] Átmérő [mm]
---	--	--	--	--	--------------------------------

KÖTÉS TÍPUSA



HEGESZTÉSI MŰVELETSOR



HEGESZTÉSI PARAMÉTEREK

Sor	Hegesztési pozíció	Elektróda	Hegesz... Ø [mm]	Hegesztési folyamat	Huzalelőtolási sebesség [m/min]	Áramerősség [A]	Feszültség [V]	Áramtípus és polaritás	Haladási sebesség [mm/min]	Hőbevitel [kJ/mm]
1	PA		1.2	135	9.0 – 11.0	220 – 260	24.0 – 28.0	DC+	387 ≤	≤ 0.90
2-	PA		3.2	121		480 – 520	28.0 – 29.0	DC+	1138 ≤	≤ 0.80
Takaró	PA		3.2	121		520 – 550	29.0 – 30.0	DC+	835 ≤	≤ 1.19

A MIG/MAG HEGESZTÉS RÉSZLETEI

Hegesztési folyamat 135	Technika Manual	Fémátvitel módja
Elektródakitolás hossza [mm] 135	Pisztoly szöge [°]	
Hegesztőberendezés		

HEGESZTŐANYAG

Márkanév
ESAB OK Autrod 12.63

VÉDŐGÁZ

Név
Corgon 16

Gázáram [l/min]
14.0 – 18.0

Csoport
M21

A FEDETT ÍV HEGESZTÉS RÉSZLETEI

Hegesztési folyamat 121	Védőpor jelölése OK Flux 10.71 - SA AB 1 67 AC H5	
Elektródakitolás hossza [mm] 121	Pisztoly szöge [°]	A pisztolyok közötti távolság [mm]
Hegesztőberendezés UP-Schweißmaschine		

HEGESZTŐANYAG

Márkanév
ESAB OK Autrod 12.24

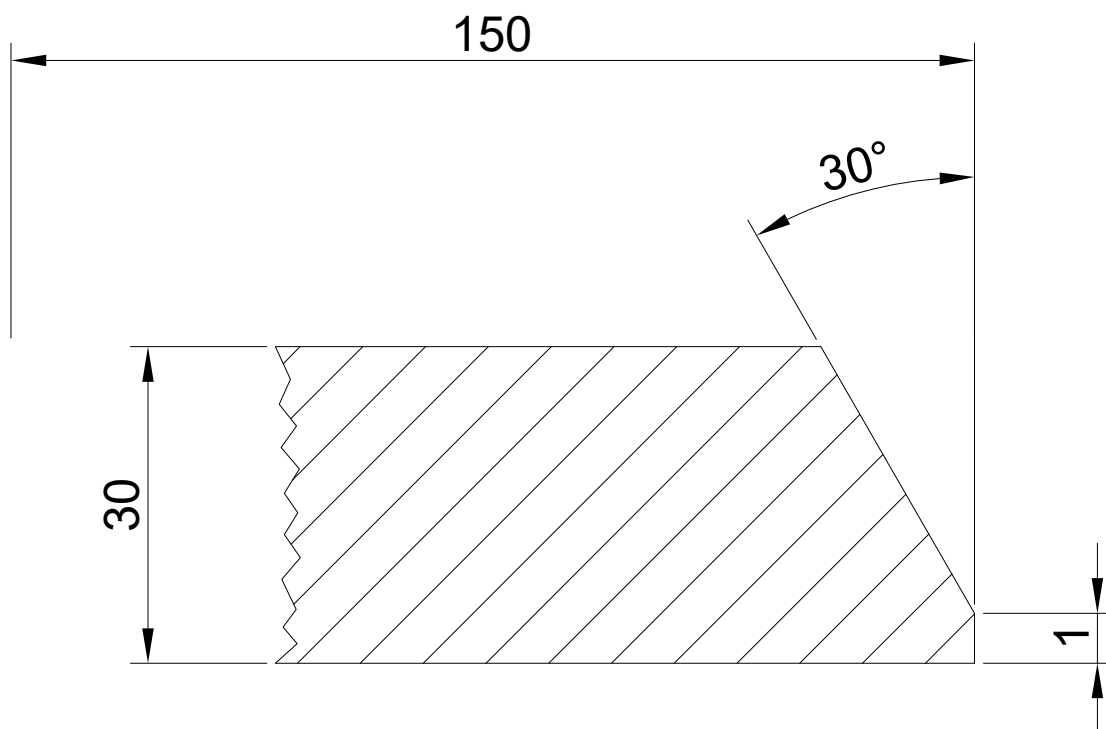
HŐKEZELÉS

Előmelegítési hőm. min. [°C] 40.0	Sorközi hőm. max. [°C] 250.0	PWHT Hőmérséklet [°C]	Időtartam	Lágyítás Hőmérséklet [°C]	Időtartam
Hőmérséklet-szabályozás	Módszer	Eljárás sz.		Hevítési sebesség	Hűtési sebesség

MEGJEGYZÉSEK

ALÁÍRÁSOK

Készítette



Mennyiség: 12 db

Hely:
MCE NYÍREGYHÁZA Kft
H 4400 Nyíregyháza
Tünde u. 10/A

Tárgy:

Munkapróbák_vázlat

Anyagminőség:
6x S355J2+N
6x S460M

Rajzsám:
elelokeszites

Készítette:
Fazekas Csaba

Aláírás:

Dátum:
2022.08.17.

[M5] – Fajlagos hőbeviteli értékek meghatározása

A hőbevitel meghatározása során az alábbi indexelést követtem:

Index pozíciója	1	2	3
	Hőbeviteli technológia	Varratsor	Fajlagos hőbevitel határértéke
Index pozíciójának jelentése	N – normál hőbevitel L – lassú, nagy hőbevitel G – gyors, kis hőbevitel	G – Gyöksor T – Töltősor F – Fedő/Takarósor	A – minimális fajlagos hőbeviteli érték (Alsó határ) F - maximális fajlagos hőbeviteli érték (Felső határ)
Példa: Q _{NTA}	Normál hőbevitelű munkapróba (P1, P4)	Töltősorának	minimális fajlagos hőbeviteli értéke

P1 jelű munkapróba fajlagos hőbevitelének meghatározása

A P1 jelű munkapróba fajlagos hőbevitelének meghatározása az alábbi képlet szerint történt:

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \text{ [kJ/mm]}$$

ahol:

<i>k</i> –	<i>a hegesztési eljárás termikus hatásfoka:</i>	<i>0,6 ÷ 1</i>
	<i>135 - fogyóelektródás kézi ívhegesztésnél (aktív védőgázzal):</i>	<i>0,8</i>
	<i>121 - fedett ívű hegesztésnél (huzalelektródával):</i>	<i>1</i>
<i>U</i> –	<i>ívfeszültség [V]</i>	
<i>I</i> –	<i>hegesztőáram [A]</i>	
<i>v</i> –	<i>hegesztési sebesség [mm/s]</i>	

Gyöksor legkisebb fajlagos hőbevitele:

$$Q_{NGA} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NGA} = 0,8 \cdot \frac{24 \cdot 220}{2,33} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NGA} = 1,81 \text{ kJ/mm}$$

Gyöksor legnagyobb fajlagos hőbevitele:

$$Q_{NGF} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NGF} = 0,8 \cdot \frac{28 \cdot 260}{1,5} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NGF} = 3,88 \text{ kJ/mm}$$

Töltő varratsorok legkisebb fajlagos hőbevitele:

$$Q_{NTA} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NTA} = 1 \cdot \frac{28 \cdot 480}{8,33} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NTA} = 1,61 \text{ kJ/mm}$$

Töltő varratsorok legnagyobb fajlagos hőbevitele:

$$Q_{NTF} = \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NTF} = 1 \cdot \frac{29 \cdot 520}{6,667} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NTF} = 2,26 \text{ kJ/mm}$$

Takaró varratsorok legkisebb fajlagos hőbevitele:

$$Q_{NFA} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NFA} = 1 \cdot \frac{29 \cdot 520}{6,33} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NFA} = 2,38 \text{ kJ/mm}$$

Takaró varratsorok legnagyobb fajlagos hőbevitelle:

$$Q_{NFF} = \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NFF} = 1 \cdot \frac{30 \cdot 550}{4,667} \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{NFF} = 3,54 \text{ kJ/mm}$$

P2 jelű munkapróba (+50%-os) minimális fajlagos hőbevitelének meghatározása

Gyöksor minimális fajlagos hőbevitelle

$$Q_{LGA} = Q_{NGF} \cdot 1,5$$

$$Q_{LGA} = 3,88 \cdot 1,5$$

$$Q_{LGA} = 5,82 \text{ kJ/mm}$$

Töltő varratsorok minimális fajlagos hőbevitelle

$$Q_{LTA} = Q_{NTF} \cdot 1,5$$

$$Q_{LTA} = 2,26 \cdot 1,5$$

$$Q_{LTA} = 3,39 \text{ kJ/mm}$$

Takaró varratsorok minimális fajlagos hőbevitelle

$$Q_{LFA} = Q_{NFF} \cdot 1,5$$

$$Q_{LFA} = 3,54 \cdot 1,5$$

$$Q_{LFA} = 5,32 \text{ kJ/mm}$$

P3 (S355J2+N) jelű munkapróba (-50%-os) maximális fajlagos hőbevitelének meghatározása

Gyöksor maximális fajlagos hőbevitele

$$Q_{GGF} = Q_{NGA} \cdot 0,5$$

$$Q_{GGF} = 1,81 \cdot 0,5$$

$$Q_{GGF} = 0,9 \text{ kJ/mm}$$

Töltő varratsorok maximális fajlagos hőbevitele

$$Q_{GTF} = Q_{NTA} \cdot 0,5$$

$$Q_{GTF} = 1,61 \cdot 0,5$$

$$Q_{GTF} = 0,8 \text{ kJ/mm}$$

Takaró varratsorok maximális fajlagos hőbevitele

$$Q_{GFF} = Q_{NFA} \cdot 0,5$$

$$Q_{GFF} = 2,38 \cdot 0,5$$

$$Q_{GFF} = 1,19 \text{ kJ/mm}$$

[M6] – Haladási sebességek meghatározása

A normál hőbevitelű (P1) munkapróba esetén a hegesztési sebességet egy korábbi eljárásvizsgálat alapján határoztam meg. A további munkapróbák esetén a(z) [M5] – Fajlagos hőbeviteli értékek meghatározása mellékletben meghatározott értékek eléréséhez szükséges haladási sebességeket a már korábban használt és ismertetett

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \text{ [kJ/mm]}$$

képlet átrendezésével kapott

$$v = k \cdot \frac{U \cdot I}{Q} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \text{ [mm/min]}$$

képlettel határoztam meg.

ahol:

k – a hegesztési eljárás termikus hatásfoka: $0,6 \div 1$

135 - fogyóelektrodás kézi ívhegesztésnél (aktív védőgázzal): $0,8$

121 - fedett ívű hegesztésnél (huzalelektrodával): 1

U – ívfeszültség [V]

I – hegesztőáram [A]

v – hegesztési sebesség [mm/min]

A haladási sebességek meghatározásakor a(z) alábbi indexelést követtem:

Index pozíciója	1	2	3
	Hőbeviteli technológia	Varratsor	Fajlagos hőbevitel határértéke
Index pozíciójának jelentése	L – lassú, nagy hőbevitel G – gyors, kis hőbevitel	G – Gyöksor T – Töltősor F – Fedő/Takarósor	A – minimális haladási sebesség (Alsó határ) F - maximális haladási sebesség (Felső határ)
Példa: v_{GFA}	Kis hőbevitelű munkapróba (P3)	Takaró varratsorának	minimális haladási sebességének értéke

P2 jelű munkapróba maximális haladási sebességeinek meghatározása

Gyöksor maximális haladási sebessége

$$v_{LGF} = k \cdot \frac{U \cdot I}{Q_{LGA}} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{LGF} = 0,8 \cdot \frac{24 \cdot 220}{5,82} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{LGF} = 43,55 \text{ mm/min}$$

Töltő varratsorok maximális haladási sebessége

$$v_{LTF} = k \cdot \frac{U \cdot I}{Q_{LTA}} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{LTF} = 1 \cdot \frac{28 \cdot 480}{3,39} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{LTF} = 237,87 \text{ mm/min}$$

Takaró varratsorok maximális haladási sebessége

$$v_{LFF} = k \cdot \frac{U \cdot I}{Q_{LFA}} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{LFF} = 1 \cdot \frac{29 \cdot 520}{5,32} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{LFF} = 170,07 \text{ mm/min}$$

P3 jelű munkapróba minimális haladási sebességeinek meghatározása

Gyöksor minimális haladási sebessége

$$v_{GGA} = k \cdot \frac{U \cdot I}{Q_{GGF}} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{GGA} = 0,8 \cdot \frac{28 \cdot 260}{0,9} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{GGA} = 388,26 \text{ mm/min}$$

Töltő varratsorok minimális haladási sebessége

$$v_{GTA} = k \cdot \frac{U \cdot I}{Q_{GTF}} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{GTA} = 1 \cdot \frac{29 \cdot 520}{0,8} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{GTA} = 1131 \text{ mm/min}$$

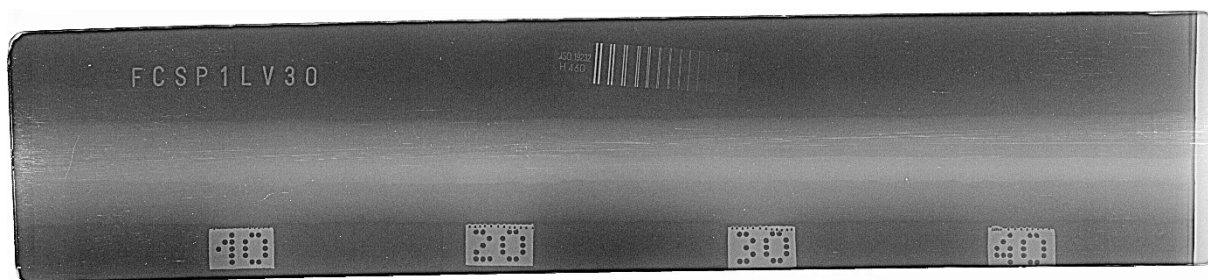
Takaró varratsorok minimális haladási sebessége

$$v_{GFA} = k \cdot \frac{U \cdot I}{Q_{GFF}} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

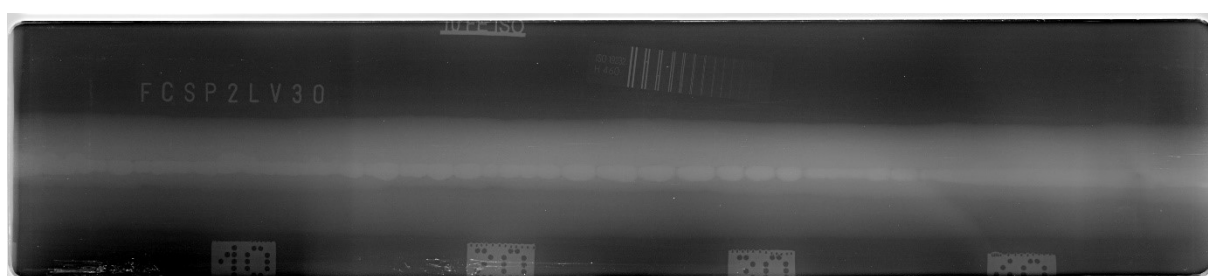
$$v_{GFA} = 1 \cdot \frac{30 \cdot 550}{1,19} \cdot 60 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{GFA} = 831 \text{ mm/min}$$

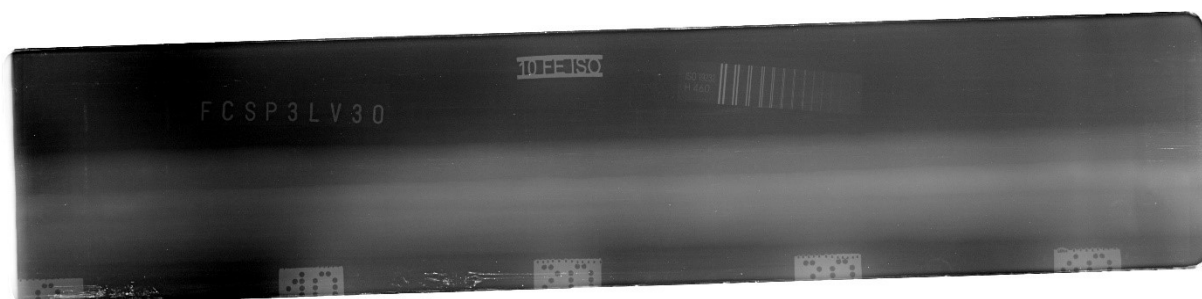
[M7] – Radiográfiai vizsgálatok felvételei



P1-RT



P2-RT

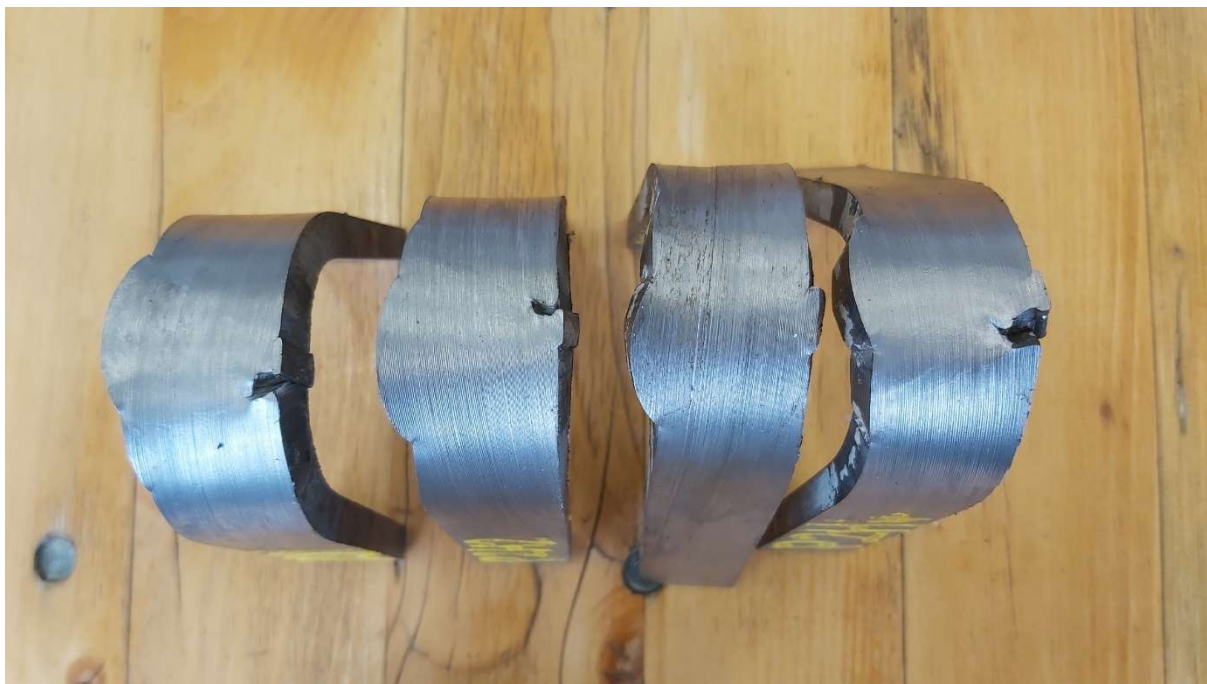


P3- RT

[M8] Hajlítóvizsgálat fotói



Balról: P1H1, P1H2, P1H3, P1H4



Balról: P2H1, P2H2, P2H3, P2H4



P2H4



Balról: P3H1, P3H2, P3H3, P3H4

[M9] – Keménységmérés eredményei

P1 - S55J2+N - normál					
Jel	Keménység (HV10)	Jel	Keménység (HV10)	Jel	Keménység (HV10)
1	147,9	6	188,0	11	213,0
	160,4		189,2		214,5
	169,2		188,0		216,0
2	163,2	7	186,8	12	176,6
	161,3		182,2		173,4
	159,4		159,4		178,8
3	169,2	8	186,8	13	-
	166,2		190,5		-
	166,2		191,7		-
4	168,2	9	149,6	14	190,5
	163,2		150,5		158,5
	157,6		161,3		186,8
5	179,9	10	173,4	-	-
	188,0		188,0		-
	196,7		183,3		-

P2 – S355J2+N - lassú					
Jel	Keménység (HV10)	Jel	Keménység (HV10)	Jel	Keménység (HV10)
1	163,2	6	164,2	11	201,9
	160,4		162,3		210,2
	167,2		161,3		220,5
2	157,6	7	189,2	12	162,3
	177,7		181,1		162,3
	171,3		178,8		157,6
3	171,3	8	183,3	13	-
	161,3		178,8		-
	175,5		178,8		-
4	177,7	9	183,3	14	164,2
	174,5		182,2		168,2
	170,2		172,3		195,4
5	170,2	10	166,2	-	-
	171,3		156,7		-
	186,8		156,7		-

P3 – S355J2+N - gyors					
Jel	Keménység (HV10)	Jel	Keménység (HV10)	Jel	Keménység (HV10)
1	162,3	6	203,3	11	226,7
	156,7		226,7		223,5
	163,2		213,0		218,9
2	169,2	7	208,8	12	207,4
	163,2		191,7		207,4
	165,2		196,7		198,0
3	154,0	8	191,7	13	-
	166,2		203,3		-
	159,4		204,6		-
4	169,2	9	186,8	14	218,9
	171,3		183,3		206,0
	158,5		198,0		192,9
5	182,2	10	199,3	-	-
	192,9		195,4		-
	198,0		196,7		-

[M10] – Makroszkópikus vizsgálat felvételei

