



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
ANYAGTUDOMÁNY ÉS TECHNOLÓGIA TANSZÉK

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

HODONICKI DORIÁN MÁRTON

(GÉPÉSZMÉRNÖKI SZAK BSC, 7. FÉLÉV)

# 111-es eljárással felvitt felületi keménységnövelő rétegek összehasonlító vizsgálata

Konzulensek:

Dr. Katula Levente Tamás

BME, Egyetemi docens

Budapest, 2023

## NYILATKOZATOK

### *Elfogadási nyilatkozat*

Ezen dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Tudományos Diákköri Konferenciára előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek, továbbá a célkitűzésekben megfogalmazottaknak maradéktalanul eleget tesz. Ezen dolgozatot a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja: 2023. 11. 10.

.....

*konzulens*

### *Nyilatkozat az önálló munkáról*

Alulírott, Hodonicki Dorián Márton (YKLLK39), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2023.11.10.

.....

*hallgató*

# TARTALOMJEGYZÉK

|  |    |
|--|----|
| Előszó .....   | iv |
| 1. Összefoglalás .....   | 1  |
| 1.1. Summary .....   | 2  |
| 2. Bevezetés .....   | 3  |
| 3. Szakirodalmi áttekintés .....   | 7  |
| 3.1. Kézi ívhegesztés (111-es eljárás).....  | 7  |
| 3.2. A felrakóhegesztés .....  | 8  |
| Felrakóhegesztés fedett ívű hegesztéssel (12) .....  | 8  |
| Felrakóhegesztés villamos salakhegesztéssel (72) .....   | 9  |
| Felrakóhegesztés tömör huzallal/pálcával végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztéssel (141)..... | 9  |
| Felrakóhegesztés lézerhegesztéssel (52).....   | 9  |
| Felrakó hegesztés kézi ívhegesztéssel (111).....   | 9  |
| 3.3. Ötvözők hatása az acélok tulajdonságaira .....  | 10 |
| 4. Célkitűzés .....  | 13 |
| 5. Kísérleti terv .....  | 15 |
| 6. Hegesztés .....   | 16 |
| 6.1. Próbatestek kivágása.....   | 18 |
| 6.2. Keménységmérés .....  | 18 |
| 6.3. Hőkezelés.....  | 19 |
| 6.4. Hajlítóvizsgálat .....  | 19 |
| 7. eredmények.....   | 20 |
| 7.1. Keménységmérés .....  | 20 |
| 7.2. Hajlítóvizsgálat .....  | 21 |
| 8. Eredmények értékelése/Következtetések .....   | 22 |
| 8.1. Keménységmérés .....  | 22 |
| 8.2. Hajlítóvizsgálat .....  | 24 |
| 8.3. Jövőbeli tervek.....  | 25 |
| 9. Felhasznált források.....   | 26 |

## **ELŐSZÓ**

Az egyetemi tanulmányaim során ismerkedtem meg a hegesztéssel, a hegesztési szakosztályon keresztül. A szakosztályban töltött fél éveim alatt sikerült megismerkednem a legalapvetőbb hegesztési eljárásokkal. A hegesztés iránti érdeklődésem miatt döntöttem úgy, hogy szeretnék egy TDK dolgozatot írni. A téma akkor került kiválasztásra, amikor Dr. Katula Levente tanár úr felhívta a figyelmem rá, hogy az Egyetem korábban több fajta felrakó elektródát kapott és azokkal lehetne kísérleteket végezni. A lehetőséget érdekesnek tartottam és elkezdett foglalkoztatni a felrakó hegesztés elmélete és kivitelezésének gyakorlati végrehajtása.

\* \* \*

### **Köszönetnyilvánítás**

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Katula Levente Tamásnak a rengeteg segítséget és, hogy bármikor rendelkezésre állt bármilyen felmerülő kérdés esetén, valamint Simon Gergelynek is szeretném megköszönni a segítséget a mérésekben való aktív segítségnyújtásért.

Ezen kívül köszönöm az Anyagtudomány és Technológia Tanszéknek a rendelkezésemre bocsátott eszközöket és a kollégáknak a segítséget.

Budapest, 2023. 11. 10.

Hodonicki Dorián Márton

# 1. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásom során három különböző hegesztő elektródával felvitt keménységnövelő réteg tulajdonságait hasonlítom össze. A keményfém rétegeket 6 mm vastag S235 anyagminőségű alaplemezekre készítettem el. A kutatás során használt elektródák a következők: Capilla 2709, Capilla 6500, Capilla 5400.

A Capilla 2709 egy bázikus bevonatú magas kihozatalú elektróda, amely keménységnövelése mellett rendkívül ellenálló kopással szemben, különösen, ha acél súrlódik acéllal. A gyártó hidegalakító szerszámacélok és fröccsöntő szerszámok felrakó és javító hegesztéséhez ajánlja. A Capilla 6500 egy bázikus bevonatú elektróda, amit a gyártó melegalakító szerszámacélok javításához ajánlja.

A Capilla 5400 egy bázikus bevonatú elektróda, ami nagy keménységű és jó kopásállóságú réteg felvitelére képes, ami kiválóan ellen áll az ütésszerű terheléseknek is. A gyártó elsősorban földmozgató nehézgépek alkatrészeinek javításához és gyártásához ajánlja.

A kutatásom során sikerült bemutatnom hogyan tér el a munkadarabokra felvitt rétegek keménysége a katalógusban foglaltaktól. Ezt a jelenséget az erősen ötvözött hozaganyagok nagymértékű keveredése okozza az ötvözetlen alapfémmel. Ez azzal jár, hogy a kialakult varratfém erősen fel hígul és ötvöző tartalma alacsonyabb lesz, mint ami szükséges lenne a katalógusban megadott keménységeknek.

## 1.1. Summary

In my research, I'm comparing the properties of hardness enhancing layers applied with three different welding electrodes. I applied these layers on identical 6mm thick S235 plate. These electrodes are: Capilla 2709, Capilla 6500, Capilla 5400.

Capilla 2709 is a basic coated high-recovery electrode, suitable for welding hard overlays. The weld metal is very resistant to metal-metal friction wear. The manufacturer recommends it for welding of cold forming tool steels and injection molding tools.

Capilla 6500 is a basic coated electrode recommended by the manufacturer for the repair of hot forming tool steels.

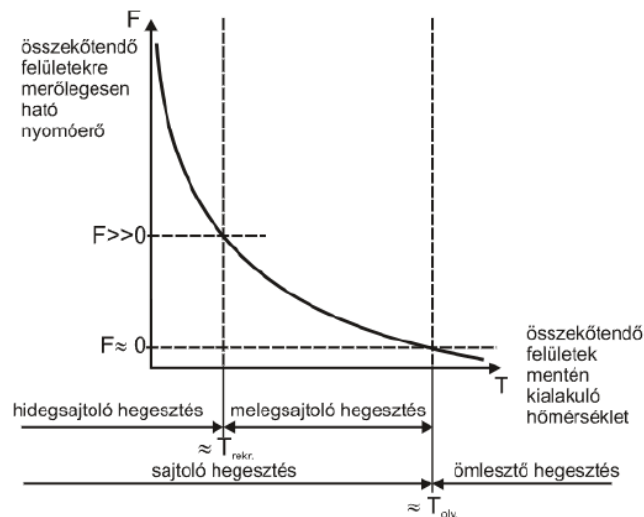
Capilla 5400 is a basic coated electrode capable of applying a layer with high hardness and good wear resistance. It is also excellently resistant to heavy impact-like loads. The manufacturer recommends it primarily for the repair of components of earthmoving machines.

During my research, I managed to show how the hardness of the layers applied to the workpieces differs from what is included in the catalog. This phenomenon is caused by the mixing of high alloyed filler materials with the low alloyed base metal. This means that the formed weld metal will be highly diluted, and its alloying content will be lower than what would be necessary for the hardness specified in the catalog.

## 2. BEVEZETÉS

A hegesztés, a kötési eljárások csoportjában anyaggal záró, azon belül is kohéziós kötés. A hegesztés az oldhatatlan kötések közé tartozik, a forrasztáshoz, ragasztáshoz és a mechanikai kötések egy részéhez hasonlóan, ugyanis a kötés, illetve az azt alkotó anyagok roncsolása, deformálása nélkül nem választhatók szét egymástól az összekötött darabok. Az anyaggal záró kötések igen fontos jellemzője a hőmérséklet-tartomány, ami a kötés részét képző anyagokban alakul ki, ez alapján jól elválaszthatók a különböző kötés típusok egymástól.

A hegesztési eljárásoknál a kötésképződés mechanizmusa szerint megkülönböztetünk ömlesztő-, illetve sajtolóhegesztéseket. A sajtoló hegesztés gyűjtő kifejezés, ami olyan eljárásokat foglal magába, amik megfelelő mértékű külső erőhatást alkalmaznak annak érdekében, hogy a két érintkező felületen képlékeny alakváltozás jöjjön létre. Bizonyos esetekben az érintkező felületeket hevítik is, ami elősegíti a hegesztett kötés kialakulását. Az összekötendő felületek mentén kialakuló hőmérséklet és az anyag rekristallizációs hőmérséklet viszonya szerint megkülönböztetünk hideg és meleg sajtoló hegesztést. Az ömlesztőhegesztés egy olyan gyűjtő elnevezés, amely külső erőhatás nélküli, hozaganyaggal vagy anélküli, helyi megömléssel járó hegesztési eljárásokat foglalja magába. Az 1. ábrán az ömlesztő és sajtoló hegesztések egymáshoz képesti relatív elhelyezkedése látható hőmérséklet és kötés kialakításához szükséges erő szerint.



1. Ábra - Hegesztő eljárások ábrázolása hőmérséklet és a kötés kialakításhoz szükséges erő függvényében [1]

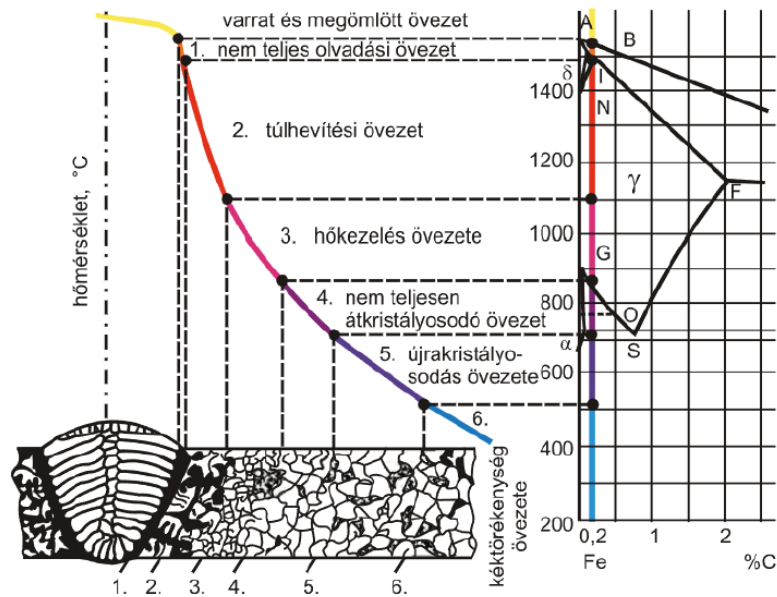
Ömlesztőhegesztés során az összehegesztendő anyagok lokálisan átlépik az olvadási hőmérsékletet, ahol homogén halmazállapotú olvadék (hegfürdő) jön létre. A hőközlés megszüntetése után az ömledék megdermed és létrejön a hegesztett kötés, vagy más néven a varrat. Az ömlesztő hegesztéssel létrehozott varratok szerkezete heterogén, az öntött anyagok szerkezetéhez hasonlítható, azzal a lényeges különbséggel, hogy a kis tömegű hegfürdő nagy sebességgel hűl le és dermed meg a közvetlen közelében lévő jelentősen nagyobb tömegű hidegebb és szilárd anyagrészek hőelvezetése miatt. A 2. ábrán a hőmérséklet szerinti csoportosítása látható a hegesztő eljárásoknak.

|  |                                |  |
|--|--------------------------------|--|
| <b>SAJTOLÓ HEGESZTÉS</b><br>(SZILÁRD FÁZISÚ KÖTÉS)<br>nyomóerő alkalmazásával  |                                | <b>ÖMLESZTŐ HEGESZTÉS</b><br>(OLVADÉK FÁZISÚ KÖTÉS)<br>nyomóerő alkalmazása nélkül |
| <b>HIDEG-SAJTOLÓ HEGESZTÉS</b>   | <b>MELEG-SAJTOLÓ HEGESZTÉS</b> |  |
| összekötendő felületek mentén kialakuló T hőmérséklet az anyag $T_{rekr.}$ és $T_{olv.}$ adataihoz viszonyítva         |                                |  |
| $T < T_{rekr.}$  | $T_{rekr.} < T < T_{olv.}$     | $T_{olv.} < T$   |
| az anyag $k_f$ alakítási szilárdsága, ami az összekötendő „A” felületekre ható $F=k_f \cdot A$ nyomóerőt meghatározza: |                                |  |
| $k_f \neq \text{áll.} >> 0$  | $k_f \approx \text{áll.} > 0$  | $k_f \approx 0$  |

2. Ábra - Hegesztő eljárások csoportosítása hőmérséklet-tartomány szerint [1]

A varrat melletti hőhatásövezetben az alapanyag hőkezelődik. Acélok esetében felhevül olyan hőmérsékleti tartományig, ahonnan, ha elég gyorsan hűl le, nem egyensúlyi szerkezetűvé válik. Az acéloknál jelentkező edződés (martenzitképződés) és az ezzel járó ridegedés, illetve repedésveszély, csökkenthető vagy akár megszüntethető kisebb szén tartalmú anyagok alkalmazásával, vagy előmelegítéssel. A varrattól bizonyos távolságig a rekrisztallizációs hőmérsékletnél nagyobb hőmérséklet alakul ki, ami az anyag előzetes hidegalakításának mértékétől függően megváltoztathatja a szemcseméretet, kedvezőtlenebb esetben szemcsedurvuláshoz is vezethet. A 3. ábrán a hőhatás övezet részletes ábrája látható.





3. Ábra - Ötvözetlen acélok ömlesztőhegesztésekor kialakuló hőhatásövezet vázlatja [5]

Az ömlesztőhegesztéseket csoportosíthatjuk még a hőt biztosító energiafajta és energiaforrás alapján.

1. Táblázat

| Energiafajta  | Energiaforrás       | Eljárás                   |
|---------------|---------------------|---------------------------|
| Villamos áram | Villamos ív         | Ívhegesztések             |
|               | Villamos ellenállás | Villamos salakhegesztés   |
| Termokémiai   | Kémiai reakció      | Lánghegesztés             |
| Sugárzás      | Elektronnyaláb      | Elektronsugaras hegesztés |
|               | Lézernyaláb         | Lézersugaras hegesztés    |

Ezek közül az egyik legjelentősebb a villamos energiaforrással rendelkező ívhegesztés. Sokszínűsége és széleskörű alkalmazhatósága miatt az iparban a leggyakrabban használt eljárás csoportok ívhegesztő eljárások.

A hegesztési eljárások rendszerezhetők rendeltetés szerint is, ami alapján megkülönböztetünk kötőhegesztést, felrakóhegesztést és javítóhegesztést.

Kötő hegesztés során kettő vagy több alkatrész egyesítése a cél, hogy egy kész vagy félkész terméket állítsanak ezzel elő.

Javító hegesztés során a cél, hogy a használat közben meghibásodott alkatrészt a megfelelő kötés kialakításával újra működőképessé tegyék.

Felrakóhegesztéssel a cél nem új alkatrészek készítése fémekből, hanem már meglévő és használatban lévő elemek javítása és élettartam növelése. Kopott, elhasznált alkatrészek felrakóhegesztéssel még felújíthatók. Felrakóhegesztést használnak plattírozásra is, amikor gyengébb minőségű, de olcsóbb alapanyagra hegesztünk fel jobb minőségű és ezáltal drágább anyagot.

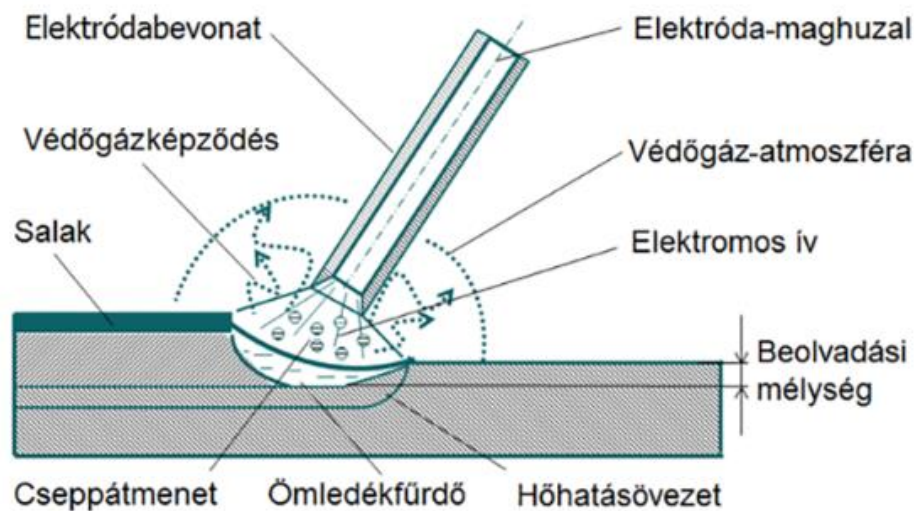
### 3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

#### 3.1. Kézi ívhegesztés (111-es eljárás)

Az MSZ EN ISO 4063:2023 [8] szerinti 1-es számjelű ívhegesztések során a hegesztendő anyagok megolvasztásához szükséges hőmennyiséget elektromos ív. A villamos ív, két elektróda közötti gázközegben hosszan tartó elektromos kisülés, aminek hatására a két elektróda közötti térben jelen lévő atomok plazma állapotba kerülnek. A hegesztő ív stabil égését hegesztőanyagok segítik, például a védőgáz.

[8] szerinti 111-es számjelű kézi ívhegesztés alapvető jellemzője a hegesztő anyaga, ami maghuzalból és az arra koncentrikusan rásajtolt elektróda bevonatból áll. A bevonat segíti az ívgyújtást, növeli az ívstabilitást, gáz és salak képzéssel védi a varratot a légkörben található nemkívánt gázoktól, ötvözőket juttat a varratfémbe, alkalmanként az elektróda kihozatalát növeli. Ennél az eljárásnál az áramforrásra kapcsolt munkadarab(ok) és a bevont elektróda között létrejövő 3500-5000 °C hőmérsékletű ív olvasztja meg az összehegesztendő anyagokat és az elektródavéget, aminek közös ömledékéből alakul ki a varrat. A 4. ábrán a kézi ívhegesztést mutatom be.

#### A bevont elektróda leolvasztásakor lejátszódó folyamatok



4. Ábra - Kézi ívhegesztés bemutatása [3]

Az elektródabevonatok típusai: savas, bázikus, cellulózos és rutilos.

A Savas bevonat: vas-oxidok, ferromangán. Finomcseppes anyagátvitel, sima varratfelszín, gyenge pozícióhegesztési alkalmasság, erős melegrepedési hajlam. Tisztán savas bevonat évtizedek óta nem használatos.

A **cellulózós elektródák** bevonata 15-30% éghető szervesanyagot tartalmaz (Cellulóz, keményítő, liszt, faliszt). Intenzíven égő ív jellemzi, kitűnően alkalmas PG pozícióban való hegesztésre. A salak durva, híg folyós, és nehéz eltávolítani. Kimondottan nagy átmérőjű olaj- és gáztávvezetési csövek szabadtéri, fentről lefele halapó (PJ) hegesztésére fejlesztették ki, és a mai napig ez a legfontosabb alkalmazása.

A **rutilos elektródák** bevonata nagy mennyiségben tartalmaz titán-oxidot (rutilt). A titán-oxid elősegíti az ívgyújtást, stabil ívet eredményez, és a fröcskölést is minimalizálja. Salakja metallurgiai jellege: savas. Emiatt a varratfém szívóssága legfeljebb -20 °C-ra előírt ütőmunka követelményeit elégíti ki. Mind egyenáramú, mind váltóáramú áramforrásról jól leolvasható.

A **bázikus elektródák** bevonata nagy mennyiségben tartalmaz kalcium-karbonátot (mészke), kalcium-fluoridot, rutilt és kvarcot. Ez a salakot erősen folyóssá teszi, és gyorsan megszilárdul, ami miatt kiválóan alkalmazható PG, PD és PE pozíciókban is. Kitűnő szívósságú varratot ad: a -40 °C-ra előírt ütőmunka követelményét is teljesíti. Az ívgyújtási képessége rossz, ezért az elektróda végét grafitozzák.

### 3.2. A felrakóhegesztés

A felrakóhegesztő eljárások vastagabb rétegek létrehozásának módszerei, amelynek során egy valamilyen szempontból kedvezőbb anyagot visznek fel egy alapfémre. Ezeknek leggyakrabban keménység-növelés, saválló, hőálló, vagy kopásálló réteg kialakítása a célja. Ezen kívül felrakóhegesztést lehet javításra is használni. A már korábban megismert ömlesztőhegesztések közül elsősorban ívhegesztéssel lehet felrakó hegesztést végezni.

#### Felrakóhegesztés fedett ívű hegesztéssel (12)

Fedett ívű hegesztéskor a tekercselhető (huzal vagy szalag) fogyó, csupasz elektróda (bevonat nélküli) és a munkadarab között létrejövő elektromos ív fedőpor alatt ég. A fedőpor salakot hoz létre, hogy megvédje a hegesztési varratot a légkör káros hatásaitól.

## Felrakóhegesztés villamos salakhegesztéssel (72)

A villamos salakhegesztés ömlesztő hegesztések közé tartozik. A hegesztés során az elektróda és a munkadarab között az áramkör egy olvadt salakrétegen keresztül záródik. A hegesztéshez szükséges hőmennyiség a salakba vezetett áram hatására keletkezik, a salak villamos ellenállása miatt.

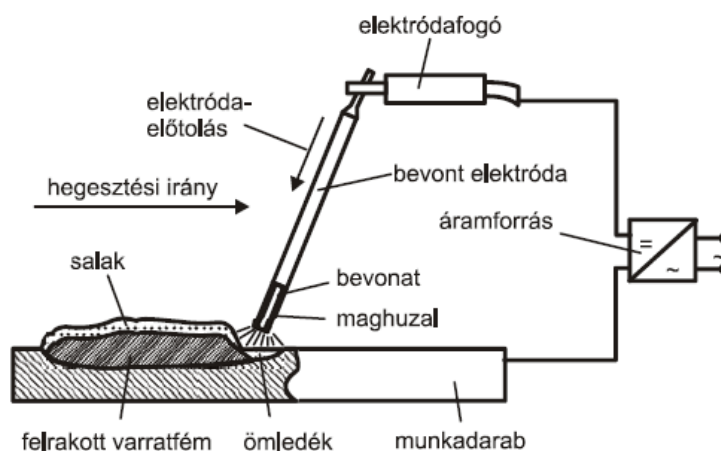
## Felrakóhegesztés tömör huzallal/pálcával végzett volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztéssel (141)

Az elektromos ív a volfrám elektróda és a munkadarab között ég, ami az elektródát nem olvasztja le. A volfrámelektroda csak az ív fenntartásáért felel. A hozaganyag külső hozzavezetéssel kerül a hegfürdőbe. Ez lehet gépi vagy kézi adagolással, illetve áram hozzavezetéssel vagy anélkül. A megömlesztett anyag védelmét a gázterelőn kiáramló semleges védőgáz (nemesgáz, leggyakrabban argon) biztosítja.

## Felrakóhegesztés lézerhegesztéssel (52)

Lézerhegesztés során egy monokromatikus fénysugár olvasztja meg a munkadarabot és hozaganyagot egyaránt. A hozaganyag lehet huzal vagy por, utóbbi az automatizált eljárás változatnál jellemző. A por formában adagolt hozaganyagot inertgázzal keverve fújják a hegfürdőbe.

## Felrakó hegesztés kézi ívhegesztéssel (111)



5. Ábra - Kézi ívhegesztés [4]

Az 5. ábrán látható bevont elektródás kézi ívhegesztés során a hegesztőív megömleszti az alapanyag felületi rétegét és a bevont elektródát, amelyek közös hegfürdőjéből alakul ki a felrakott varratfém. A bevonat által képzett salak és védőgáz rendkívül alkalmassá teszi helyszíni javítások elvégzésére, mivel nincs szükség külön védőgázra, csupán áramforrást kell biztosítani.

### 3.3. Ötvözők hatása az acélok tulajdonságaira

**Szén – C:** Az acélok legnagyobb részének a legfontosabb ötvözőeleme, a legerősebben befolyásolja az anyag tulajdonságait. A széntartalom és hőkezelésmegválasztásával az ötvözött és ötvözetlen acélok tulajdonságai széles tartományban változtathatók. A magasabb széntartalom növeli a szilárdságot és edzhetőséget, illetve csökkenti a nyúlást, az alakíthatóságot és a hegesztést

**Szilícium – Si:** A szilícium dezoxidál. Növeli a szilárdságot, kopásállóságot és elősegíti a grafitkiválást. Erősen növeli a rugalmassági határt és a reveállóságot. Erősen korlátozza a hideg és melegalakíthatóságot egyaránt, ezért mennyisége ötvözőként korlátozott. Erősen csökkenti az elektromos vezetőképességet.

**Mangán – Mn:** A mangán dezoxidál. A kénnel mangán-szulfidot képez így csökkentve a vas szulfidok hatását a vöröstörékenység valószínűségének csökkentésével. Nagyon erősen csökkenti a kritikus hűtési sebességet így javítja az edzhetőséget. Növeli a szilárdságot és folyáshatárt. A 12% feletti mangán tartalommal rendelkező magas széntartalmú acélok ausztenitesek. Ezek a fajta acélok ütésszerű igénybevétel hatására nagymértékben szilárdulnak a felületükön miközben a mag szívós marad. Csökkenti az elektromos vezetőképességet, a hővezető képességet és növeli a hőtágulási együtthatót.

**Króm – Cr:** A króm az acélt lég-, illetve olajban edzhetővé teszi. A kritikus hűlési sebesség csökkentésével javítja az edzhetőséget és nemesíthetőséget. Csökkenti az ütőmunkát. A króm karbidképző, ami hozzájárul az anyag jó éltartásához és kopásállóságához. Javítja a reveállóságot, hidrogénnyomás-állóságot és a melegszilárdságot. Az acélok korrózióállóságához 13% krómtartalom szükséges. Csökkenti a hő-, és elektromos vezető képességet, illetve a hőtágulási együtthatót.

**Molibdén – Mo:** A molibdén legtöbbször más ötvözőkkel közösen fordul elő. Javítja az edzhetőséget a kritikus hűlési sebesség csökkentésével. Jelentősen csökkenti a ridegséget és segíti a finom szemcsék kialakulását. Növeli a szilárdságot és folyáshatárt. Erős karbidképző, javítja a gyorsacélok vágótulajdonságait. Javítja a korrózió állóságot, ezért gyakran fordul elő

erősen ötvözött króm-acélokban és az ausztenites króm-nikkel acélokban. Csökkenti a lyukkorróziós hajlamot, reveállóságot és növeli a melegszilárdságot.

**Nikkel – Ni:** Jelentősen növeli az ütőmunkát szerkezeti acéloknál, alacsony hőmérséklet esetén is. Betétben edzhető, nemesíthető és hidegszívós acélokban szívósságot növeli. Minden átalakulási hőmérsékletet csökkent. Erősen kibővíti a  $\gamma$ -mezőt, így a 7% feletti magas krómtartalmú, vegyileg ellenálló acéloknál ausztenites szövetszerkezetet biztosít szobahőmérséklet alatt is. A nikkel önmagában nagy mennyiségben is csak lassítja a korróziót, viszont az ausztenites króm-nikkel acéloknál ellenállást ad a redukáló vegyi anyagokkal szemben. Erősen csökkenti a hővezető képességet és az elektromos vezető képességet.

**Vanádium – V:** Erős karbid képző így kiválóan növeli a kopásállóságot, melegszilárdságot és az éltartósságot. Jellemzően gyorsacélok és melegalakító szerszámacélok kiegészítő ötvözője. Jelentősen javítja a megeresztésállóságot és csökkenti a túlhevítési érzékenységet. Szemcsefinomító és karbidképző hatása miatt megakadályozza a légedződést és kedvezően hat a nemesíthető acélok hegeszthetőségére.

**Volfrám – W:** Rendkívül erős karbid képző, karbidja nagyon erősek. Javítja a szívósságot és megakadályozza a szemcsenövekedést. Ezen kívül növeli a melegszilárdságot és megeresztés állóságot, valamint a kopásállóságot is növeli még magas hőmérsékleten, ami pozitív hatással van a vágó képességre. Ezek miatt elsősorban gyors és melegalakító acélokba, valamint melegszilárd acéltípusokba ötvözik.

**Kobalt – Co:** Nem képez karbidokat. Megakadályozza a szemcse növekedést és erősen javítja a megeresztés állóságot, illetve a melegszilárdságot. Emiatt gyakori ötvözője gyors és melegalakító szerszámacéloknak, illetve melegszilárd acéloknak. Elősegíti a grafit képződést

**Titán – Ti:** Erősen dezoxidáló, erősen denitráló, kénmegkötő és karbidképző. Szemcse finomító tulajdonságai vannak. Különleges nitridek képzésével javítja a kúszásállóságot.

A 6. ábrán egy összefoglaló található az ötvözők hatásáról az acélok tulajdonságaira.

| ötvözőelem |                                    | mechanikai tulajdonságok |            |             |        |            |          |             | hűtési sebesség | karbidképződés | kopásállóság | kovacsolhatóság | forgácsolhatóság | revésedés | nitridálhatóság | korrozóállóság |                 |
|------------|------------------------------------|--------------------------|------------|-------------|--------|------------|----------|-------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|------------------|-----------|-----------------|----------------|-----------------|
|            |                                    | keménység                | szilárdság | folyáshatár | nyúlás | kontrakció | ütőmunka | rugalmasság |                 |                |              |                 |                  |           |                 |                | melegszilárdság |
| Si         | szilícium                          | ↑                        | ↑          | ↑↑          | ↓      | ~          | ↓        | ↑↑↑         | ↑               | ↓              | ↓            | ↓↓↓             | ↓                | ↓         | ↓               | -              |                 |
| Mn         | mangán perlites acéloknál          | ↑                        | ↑          | ↑           | ~      | ~          | ~        | ↑           | ~               | ↓              | ~            | ↓               | ↓                | ~         | -               | -              |                 |
| Mn         | mangán ausztenites acéloknál       | ↓↓↓                      | ↑          | ↓           | ↑↑↑    | ~          | -        | -           | -               | ↓↓             | -            | ↓↓↓             | ↓↓↓              | ↓↓        | ~               | -              |                 |
| Cr         | króm                               | ↑↑                       | ↑↑         | ↑↑          | ↓      | ↓          | ↓        | ↑           | ↑               | ↓↓↓            | ↑↑           | ↑               | ↓                | -         | ↓↓↓             | ↑↑             | ↑↑↑             |
| Ni         | nikkel perlites acéloknál          | ↑                        | ↑          | ↑           | ~      | ~          | ~        | -           | ↑               | ↓↓             | -            | ↓↓              | ↓                | ↓         | ↓               | -              | -               |
| Ni         | nikkel ausztenites Cr-Ni acéloknál | ↓↓                       | ↑          | ↓           | ↑↑↑    | ↑↑         | ↑↑↑      | -           | ↑↑↑             | ↓↓             | -            | ↓↓↓             | ↓↓↓              | ↓↓        | ↓               | -              | ↑↑              |
| Al         | alumínium                          | -                        | -          | -           | -      | ↓          | ↓        | -           | -               | -              | -            | -               | ↓↓               | -         | ↓↓              | ↑↑↑            | -               |
| W          | volfrám                            | ↑                        | ↑          | ↑           | ↓      | ↓          | ~        | -           | ↑↑↑             | ↓↓             | ↑↑           | ↑↑↑             | ↓↓               | ↓↓        | ↓↓              | ↑              | -               |
| V          | vanádium                           | ↑                        | ↑          | ↑           | ~      | ~          | ↑        | ↑           | ↑↑              | ↓↓             | ↑↑↑↑         | ↑↑              | ↑                | -         | ↓               | ↑              | ↑               |
| Co         | kobalt                             | ↑                        | ↑          | ↑           | ↓      | ↓          | ↓        | -           | ↑↑              | ↑↑             | -            | ↑↑↑             | ↓                | ~         | ↓               | -              | -               |
| Mo         | molibdén                           | ↑                        | ↑          | ↑           | ↓      | ↓          | ↑        | ↑↑          | ↑↑              | ↓↓             | ↑↑↑          | ↑↑              | ↓                | ↓         | ↑↑              | ↑↑             | -               |
| Cu         | réz                                | ↑                        | ↑          | ↑↑          | ~      | ~          | ~        | -           | ↑               | -              | -            | -               | ↓↓↓              | ~         | ~               | -              | ↑               |
| Si         | kén                                | -                        | -          | -           | ↓      | ↓          | ↓        | -           | -               | -              | -            | -               | ↓↓↓              | ↑↑↑       | -               | -              | ↓               |
| P          | foszfor                            | ↑                        | ↑          | ↑           | ↓      | ↓          | ↓↓↓      | -           | -               | -              | -            | -               | ↓                | ↑↑        | -               | -              | -               |
| C          | szén                               | ↑↑↑                      | ↑↑↑        | ↑↑↑         | ↓      | ~          | ↓        | ↓           | ↓               | -              | -            | -               | ↓                | ↑↑        | ↓               | -              | -               |

6. Ábra - Ötvöző elemek hatása acélok tulajdonságaira [7]



## 4. CÉLKITŰZÉS

A vizsgálataim célja, hogy megállapítsam, a rendelkezésemre bocsájtott felrakóhegesztő elektródák közül melyikkel, milyen keménységű felrakott réteget lehet elérni egy 6 mm vastag S235 anyagminőségű alaplemezen. A kutatás során használt elektródák a következők: Capilla 2709, Capilla 6500, Capilla 5400.

A Capilla 2709 egy bázikus bevonatú nagykihozatalú elektróda, amely a gyártói adatlap alapján a keménység növelése mellett rendkívül ellenálló kopással szemben, különösen acél-acél kopópárokon. A gyártó hidegalakító szerszámacélok és fröccsöntő szerszámok felrakó és javító hegesztéséhez ajánlja. Az elérhető keménység 38 és 40 HRC között van hegesztés után.

A 7. ábrán a katalógusban szereplő jellemző varrat összetétel található.

|             | <b>C</b>    | <b>Ni</b> | <b>Co</b> | <b>Mo</b>  | <b>Mn</b>  | <b>Si</b>  | <b>Ti</b> | <b>Al</b> | <b>Fe</b>   |
|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-------------|
| <b>Min.</b> |             | <b>17</b> | <b>10</b> | <b>4</b>   |            |            |           |           |             |
| <b>Max.</b> | <b>0,03</b> | <b>19</b> | <b>12</b> | <b>4,5</b> | <b>0,3</b> | <b>0,8</b> | <b>+</b>  | <b>+</b>  | <b>Bal.</b> |

7. Ábra - Capilla 2709 jellemző varrat összetétel katalógus szerint

A Capilla 6500 egy bázikus bevonatú elektróda, amit a gyártó melegalakító szerszámacélok javításához ajánl. Az elérhető keménység 55 HRC hegesztés után. A 8. ábrán a katalógusban szereplő jellemző varrat összetétel található.

|             | <b>C</b>   | <b>Cr</b>  | <b>Mo</b>  | <b>V</b>   | <b>Fe</b>   |
|-------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| <b>Min.</b> | <b>0,4</b> | <b>5</b>   | <b>1,2</b> | <b>0,8</b> |             |
| <b>Max.</b> | <b>0,6</b> | <b>6,5</b> | <b>1,8</b> | <b>1,2</b> | <b>Bal.</b> |

8. Ábra - Capilla 6500 jellemző varrat összetétel katalógus szerint

A Capilla 5400 egy bázikus bevonatú elektróda, ami nagy keménységű és jó kopásállóságú réteg felvitelére képes, ami kiválóan ellen áll az ütésszerű terheléseknek is. A gyártó elsősorban földmozgató nehézgépek alkatrészeinek javításához ajánlja. Az elérhető keménység 57 és 60 HRC között van hegesztés után. A 9. ábrán a katalógusban szereplő jellemző varrat összetétel található.

|             | <b>C</b>   | <b>Cr</b> | <b>Mo</b>  | <b>V</b>   | <b>Fe</b>   |
|-------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|
| <b>Min.</b> | <b>0,8</b> | <b>9</b>  | <b>1,5</b> | <b>1</b>   |             |
| <b>Max.</b> | <b>1</b>   | <b>10</b> | <b>2,5</b> | <b>1,5</b> | <b>Bal.</b> |

9. Ábra - Capilla 5400 jellemző varrat összetétel katalógus szerint

A vizsgálataim során felhasznált valamennyi elektróda típust a gyártó szerszámacélokhoz ajánlja. Az összehasonlító vizsgálatommal szeretném kimutatni és számszerűsíteni az egyes elektróda típusokkal elérhető keménységeket, melyeket – várakozásom szerint – az ötvözetlen, kis széntartalmú alapanyag csökkenteni fog a gyártó által megadott értékekhez képest.

## 5. KÍSÉRLETI TERV

A felrakott rétegek mechanikai tulajdonságait keménységméréssel és hárompontos hajlítóvizsgálattal tervezem jellemezni. Ennek figyelembevételével három 150 mm x 200 mm méretű alaplemezre készítem el a felrakott rétegeket. A lemezméreteket úgy választottam meg, hogy azokból 4 db 150 mm x 30 mm méretű hajlító próbatest kivágható legyen. Számítottam rá, hogy a kis lemezméret miatt a felrakott réteg hülése esetleg nem lesz elég intenzív a valós felhasználási körülményekhez képest, ezért az alaplemez méreténél a hőkezelési vizsgálatokhoz is terveztem 2 db 150 mm x 30 mm méretű próbatestet is figyelembe vettem.

Tapasztalatból tudtam, hogy a tervezett nagy felhegesztett varratömeg deformálná az alaplemez, ezért a lemezekre merevítőbordaként zártszelvényeket rögzítettem fűzővarratokkal. Az előkészítő munkálatokat a lemezfelület mechanikus tisztításával fejeztem be. A felrakóhegesztésre előkészített lemezeket a 10. ábra mutatja.



a.) alaplemezre felhegesztett zártszelvény

b.) lemezfelület fémtisztára lemunkálva

10. ábra Kísérletre előkészített alaplemez

## 6. HEGESZTÉS

A vizsgálati próbatestek hegesztését megelőzően próbahegesztéseket végeztem mindhárom elektródával. Céлом az volt, hogy megtaláljam azt a legkisebb áramerősséget, amivel a legkisebb hőbevitel mellett jó minőségű varratokat tudok készíteni.

Hegesztés előtt, a katalógus ajánlása szerint, az elektródákat 300°C-on szárítottam 2 órán át. Ezen kívül minden varrat után megvártam míg a munkadarab visszahűl, hogy a túlmelegítést, megeresztődést elkerüljem. Megfelelő hőmérő nem állt rendelkezésemre ezért minden alkalommal azt vártam meg hogy a munkadarab hőmérséklete elég alacsony legyen, hogy azt kézzel meg lehessen érinteni diszkomfort nélkül.

**Capilla 5400:** A rendelkezésre álló elektróda magátmérője 5 mm volt, a három vizsgált elektróda közül a legnagyobb. Az áramerősségre a gyártói katalógus 190-250 A-t ajánlott. Előzetes kísérleteim alapján a hegesztéseket 205 A áramerősséggel készítettem el. Hegesztés után a keletkező salak könnyen eltávolítható volt, elegendő volt salakoló kalapáccsal leverni a salakot és utána drótciszolóval letisztítani a varratot. Egy munkaközi állapotot a 11. ábra mutat – az a.) ábra a tisztítatlan, míg a b.) a letisztított varratot mutatja.



a.) Capilla 5400 elektródával készített hernyóvarrat tisztítás előtt



b.) Capilla 5400 elektródával készített hernyóvarrat tisztítás után

11. ábra a.) Capilla 5400 elektródával készített hernyóvarrat

**Capilla 2709:** Az elektróda magátmérője 3,25 mm volt. Az áramerősségre a katalógus ajánlása 100-160 Amper volt. Én 145 Ampernél találtam meg az optimális áramerősséget. Ennél kisebb áramerősségnél az elektróda már alkalmanként letapadt. A három vizsgált elektróda közül ennél az elektróda típusnál kaptam a legnehezebben eltávolítható salakot. Itt drótciszolóval nem volt elegendő letakarítani a varratot, hanem vissza is kellett köszörülni, hogy a salakzárványok keletkezését elkerüljem. A 12. ábra egy munkaközi állapotot mutat, az a.) ábra a salakoló kalapáccsal való tisztítás után míg a b.) a visszaköszörült varratot mutatja.



a.) Capilla 2709 elektródával készített hernyó varrat a salak eltávolítása után

b.) Capilla 2709 elektródával készült varrat vissza köszörülve.

12. Ábra – Capilla 2709 elektródával készült hernyó varratok

**Capilla 6500:** Az elektróda magátmérője 4 mm volt. Az áramerősségre a katalógus ajánlása 160-220 Amper volt. Számomra, a próbahegesztések alapján, a 170 A-es áramerősség volt az optimális. A másik két elektródával készített varratok salakjához képest a Capilla 6500 elektróda által képzett salak felszíne nagyon durva érdességet mutatott és nem takarta le a teljes varratfelszínt.

Az elektródának ezt a sajátosságát már a próbahegesztések során tapasztaltam. Annak érdekében, hogy kizárjam az elektróda esetleges kiszáritási elégtelenségéből adódó hibát, ezeket az elektródákat 10 órás szárításnak is alávettem. Mivel a 10 órás szárítás után sem tapasztaltam változást sem a hegesztési tulajdonságokban, sem a salak viselkedésében, és vizuálisan sem utalt semmi arra, hogy a varratminősége ne lenne megfelelő, a kísérleteket 2 órás szárítási idővel folytattam. Az elektróda salakja a varratfelszínről könnyen eltávolítható volt, elegendő volt csak drótcsiszolóval letakarítani a varratot. A 13. ábrán a látható a varrat, az a.) képen a salak eltávolítása előtt a b.) képen pedig a teljes tisztítás után.



a.) Capilla 6500 elektródával készített hernyó varrat salakkal

b.) Capilla 6500 elektródával készített varrat a tisztítás után

13. Ábra – Capilla 6500 elektródával készített hernyó varratok

## 6.1. Próbatetek kivágása

A munkadarabokból 30 mm széles és 150 mm hosszú próbatetek lettek kivágva Struers Discotom 10 gép segítségével. A géphez tartozó vágókorongok közül, a 60A25 jelű korongot használtam. Ez a vágókorong nagyszilárdságú acélok vágásához készült, akár 600 Vickers feletti keménységhez is használható. A vágáshoz 1,50 mm/s előtolást használtam.

A vágás közben megfigyeltem, hogy a Capilla 2709 elektródával hegesztett munkadarab jelentősen jobban koptatja a vágókorongot mint a másik kettő, pedig a három elektróda közül az adatlap szerint ennek a felrakott rétegnek a legkisebb a keménysége.

## 6.2. Keménységmérés

A keménységméréshez a Rockwell-eljárást választottam két ok miatt. Először is ez az eljárás a legkevésbé érzékeny a felületi minőségre, illetve a gyártói katalógus is HRC-ben adta meg a keménység értékeket így azt átváltás nélkül össze lehet hasonlítani.

Mivel a gyorsvágóval vágott felületek egymással párhuzamosak és síkok a munkadarabot az oldalára fordítottam és a varratfém keménységét így mértem le. A keménységmérés végrehajtását a 14 ábra mutatja be.



14. ábra Keménységmérés

### 6.3. Hőkezelés

A katalógus alapján a Capilla 6500 és Capilla 5400 elektródák magas széntartalommal rendelkeznek, ezért lehetséges, hogy a munkadarabok kis tömege miatt nem éri el a kritikus hűlési sebességet a varrat, és így nem alakul ki martenzites szövetelem. Egy másik lehetséges ok, a varratfém hígulása. Ennek a kérdésnek az eldöntésére a hőkezelés egy lehetséges megoldás. Ha a hőkezeléssel, edzéssel el lehet érni a katalógusban megadott keménységet, akkor a próbadarabok hűlési sebessége volt a kritikus alatti, ha azonban a hőkezeléssel sem érhető el a megadott keménység, akkor a hígulás okozza ezt az eltérést.

A két elektróda közül a katalógus a Capilla 6500-hoz tett javaslatot edzési hőmérsékletre, ami 1050°C volt. Mivel a másik elektródára nem találtam javaslatot ezért mindkettőt 1050°C-ra hevítettem és egy órát töltöttem a kemencében. Ezután Isorapid 277 HM edzőolajban hűtöttem szobahőmérsékletre. A hőkezelés elvégzése után ismét elvégeztem a keménységméréseket.

### 6.4. Hajlítóvizsgálat

A hárompontos hajlító vizsgálat során a próbadarabokat úgy helyeztem el, hogy a lemez varrat felőli oldalát terhelje húzófeszültség. A hajlítást a lehető leglassabban végeztem a varrat megrepedéséig, tönkremenetelig. A 15. ábrán látható a hajlító vizsgálatnál a munkadarab gépbe helyezve.



15. Ábra – Hajlító vizsgálat

A próbadarabok közül az összesnél a varratfémekben jelentkezett repedés, A próbadarabok tönkremeneteléhez tartozó hajlítási szögek lemérése után valamennyi munkadarabból egyet kiválasztva tovább hajlítottam azokat, hogy jobban meg tudjam figyelni a töretfelületet.

## 7. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben a mérési eredményeimet mutatom be táblázatos formában.

### 7.1. Keménységmérés

Az 2. Táblázat tartalmazza a keménységmérés eredményeit. A mérőszámok HRC-ben értelmezendők.

2. Táblázat Varrat keménységek a három felrakott rétegben

|    | 2709 (HRC) |    |    | 6500 (HRC) |    |    | 5400 (HRC) |    |    |
|----|------------|----|----|------------|----|----|------------|----|----|
| 1. | 38         | 40 | 39 | 49         | 49 | 48 | 49         | 51 | 50 |
| 2. | 39         | 40 | 40 | 49         | 52 | 50 | 51         | 51 | 50 |
| 3. | 37         | 39 | 41 | 47         | 51 | 49 | 50         | 49 | 48 |
| 4. | 37         | 38 | 37 | 48         | 49 | 48 | 52         | 50 | 49 |
| 5. | 40         | 40 | 41 | 47         | 49 | 50 | 50         | 50 | 52 |
| 6. | -          | -  | -  | 49         | 50 | 51 | 50         | 51 | 49 |

A 3. Táblázat az 2. Táblázat mérési eredményeinek átlagát egész értékre kerekítve és szórását tartalmazza.

3. Táblázat A keménységértékek átlaga és szórása

|        | 2709    | 6500    | 5400   |
|--------|---------|---------|--------|
| Átlag  | 39      | 49      | 50     |
| Szórás | 1,38701 | 1,33944 | 1,0786 |

4. Táblázat a hőkezelés után végzett keménységmérés eredményeit mutatja.

4. Táblázat

|    | 6500-E (HRC) |    |    | 5400-E (HRC) |    |    |
|----|--------------|----|----|--------------|----|----|
| 1. | 48           | 47 | 48 | 49           | 48 | 52 |
| 6. | 49           | 48 | 48 | 50           | 48 | 49 |

5. Táblázat a hőkezelt próbatestek keménység méréseinek átlagát mutatja be.

5. Táblázat

|        | 6500-E | 5400-E |
|--------|--------|--------|
| Átlag  | 48     | 49     |
| Szórás | 0,63   | 1,51   |



## 7.2. Hajlítóvizsgálat

6. Táblázat a hárompontos hajlítás eredményeit mutatja. A sárgával kiemelt értékek a hőkezelt munkadarabokon mért értékeket jelölik.

6. Táblázat

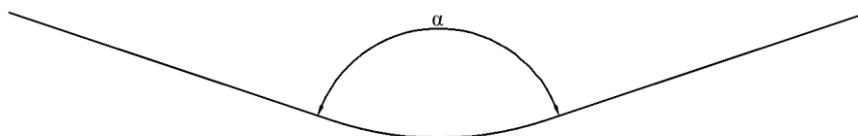
|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
|    | 2709 | 6500 | 5400 |
| 1. | 142° | 163° | 173° |
| 2. | 158° | 175° | 169° |
| 3. | 141° | 165° | 172° |
| 4. | 159° | 174° | 167° |
| 5. | -    | 169° | 172° |
| 6. | -    | 159° | 169° |

A 7. Táblázat az 6. Táblázat mérési eredményeinek átlagát egész értékre kerekítve és szórását tartalmazza.

7. Táblázat

|        | 2709 | 6500 | 5400 |
|--------|------|------|------|
| Átlag  | 150  | 168  | 170  |
| Szórás | 9,83 | 6,31 | 2,33 |

Az 6. Táblázatban a 16. ábrán jelölt  $\alpha$  szög van feltüntetve.



16. ábra Hajlítóvizsgálatok során a hajlítási szög értelmezése

## 8. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE/KÖVETKEZTETÉSEK

A hegesztett varratok elkészülése után szemrevételezéssel győződtem meg, hogy azok alkalmasak a tervezett vizsgálatok elvégzésére. Többek között, hogy megfelelő-e a beolvadás, van-e látható repedés és a következő varrat elkészítése előtt a salak megfelelően el lett-e távolítva a varratról. A beolvadás megfelelőségére a lemez hátoldalán látható hőhatás övezetből tudtam következtetni, illetve a varratdudor geometriájából. Ezen kívül még meggyőződtem, hogy sikerült-e megfelelő vastagságú varratot képeznem a munkadarab felszínén.

### 8.1. Keménységmérés

A keménységmérés során a Capilla 2709 elektródával készült varratok eredményei megegyeztek a katalógus által megadott értékeknek (38-40 HRC hegesztés után). Ezzel szemben a másik két elektródával készített varratok keménysége nem érte el a katalógusban megadott értékeket. Ez azzal magyarázható, hogy a Capilla 2709 elektróda a keménységnövelést karbid képzőkkel éri el míg a Capilla 6500 és Capilla 5400 elektródák a magas széntartalommal. Éppen ezért érzékeny kevésbé az ötvözők hígulására a Capilla 2709 varratfém.

A Capilla 6500 elektródával hegesztett munkadarabok átlagos keménysége 49 HRC lett hegesztés után, ami elmarad a katalógusban ígért 55 HRC-től.

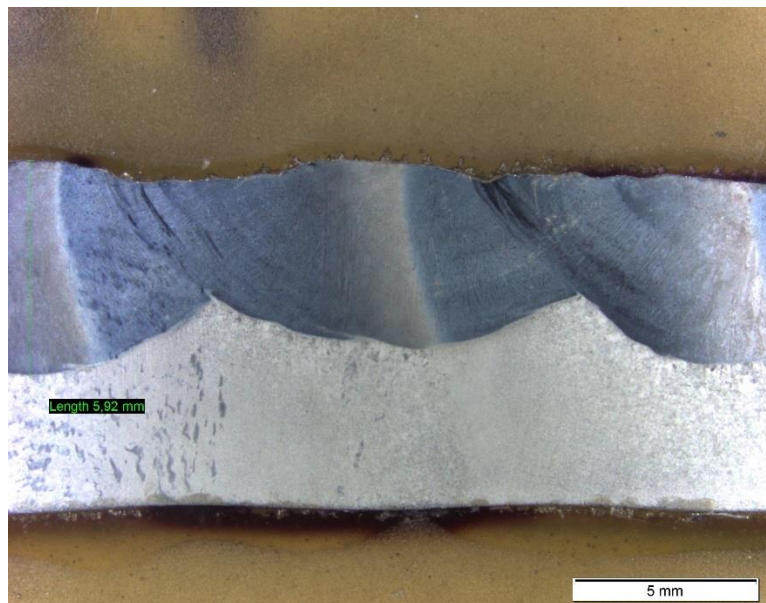
A Capilla 5400 elektródával hegesztett munkadarabok keménysége átlagosan 50 HRC lett hegesztés után, ami elmaradt a katalógusban ígért 57-60 HRC-től.

Mivel mindkét elektróda nagyobb széntartalommal rendelkezik, mint az alapanyagom (S235, melynek széntartalma  $\leq 0,17\%$ ), a Capilla 6500 0,4 - 0,6% között, a Capilla 5400 0,8 - 1,0% közötti, így azt feltételeztem, hogy a keménységet martenzites szövetelem kialakításával érte volna el. A keménységmérés eredményeiből arra következtettem, hogy ez nem történt meg. A feltételezésem szerint ennek oka lehetett, hogy a munkadarabok kis tömege miatt a varrat lehűlése nem érte el a kritikus hűlési sebességet. Ennek ellenőrzésére 2-2 próbadarabot hőkezelttem, edzettem, de így sem értem el a katalógusban megadott eredményt – lásd 4. Táblázat. A hőkezelt munkadarabokon végzett keménységmérés nem mutatott olyan különbséget, ami a mérési eljárás hibahatárán kívül esne.

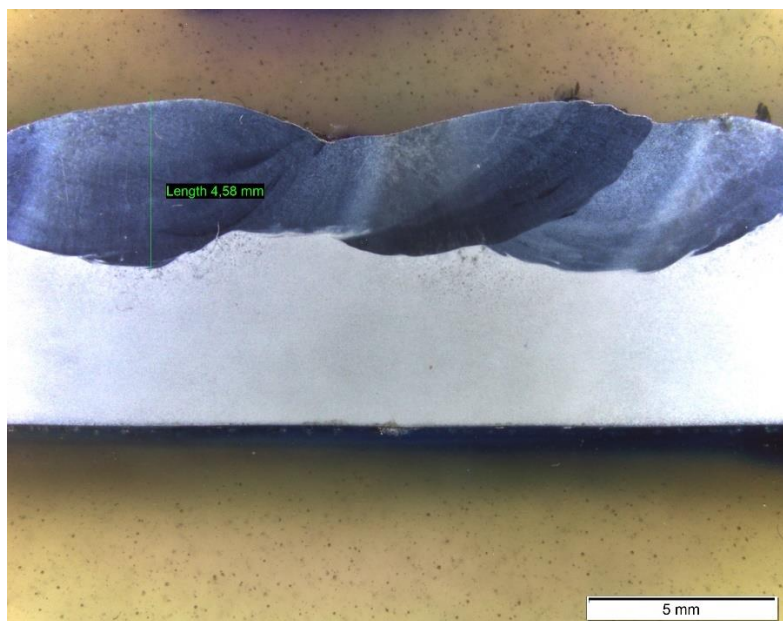
Ezért az alapanyag-varratfém keveredése, és így a varratfém hígulása okozza a keménységben kimutatható eltérést a katalógus értéktől.

Úgy döntöttem, hogy a beolvadási mélység sztereó mikroszkópos vizsgálatával próbálom megnézni, hogy valóban reális elmélet-e, hogy az alapfém nagymértékű varratfémbe való

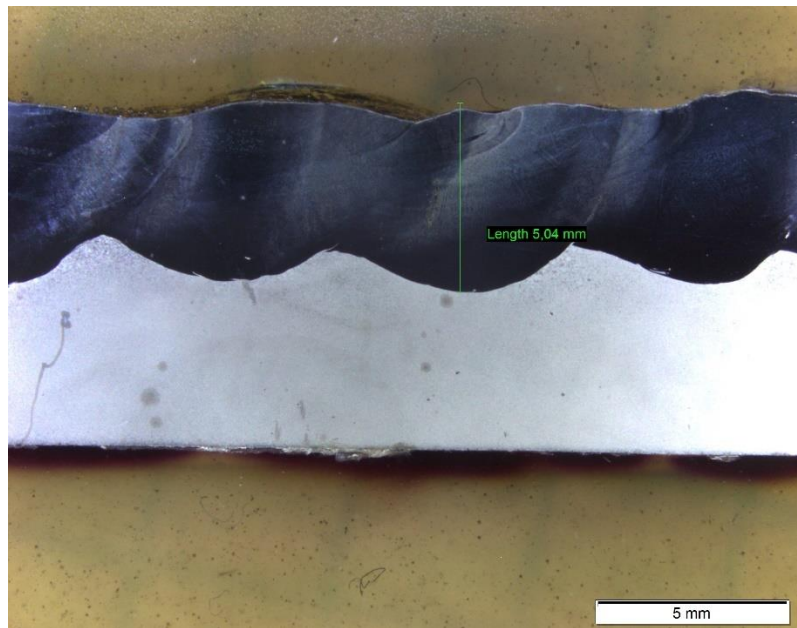
keveredése okozta a keménység csökkenést. A képek és mérések alapján arra a következtetésre jutottam, hogy megközelítőleg 40%-os keveredés valóban okozhatta ezt a fajta változást a varrat tulajdonságaiban. A 17. 18. és 19. ábrán láthatók a beolvadási mélységet vizsgáló képek.



17. Ábra - Capilla 5400 elektródával készített munkadarab beolvadási mélysége



18. Ábra – Capilla 6500 elektródával készített munkadarab beolvadási mélysége



19. Ábra – Capilla 2709 elektródával készített munkadarab beolvadási mélysége

## 8.2. Hajlítóvizsgálat

A hajlítóvizsgálat során megerősítésre kerültek a keménységmérés során kapott értékek. A hajlítóvizsgálat során mindegyik próbatest ridegen tört, de csak a varratfémbe alakult ki törés. A töretfelületek között vizuálisan jelentős különbséget nem véltem felfedezni. Ezeket a töretfelületeket a 20. ábrán mutatom be.



20. Ábra – Hajlító próbatestek töret felülete (próbatestek balról jobbra: 2709, 6500, 5400 ,6500-edzett, 5400-edzett)

A tönkremenetelhez tartozó hajlítási szögek jelentős eltérést mutattak az alacsonyabb keménységű próbatestek (Capilla 2709 elektródával hegesztett) és nagyobb keménységű próbatestek (Capilla 6500 és Capilla 5400 elektródával hegesztett) között. Viszont a Capilla 6500 és Capilla 5400 elektródákkal hegesztett próbatesteket a hajlító vizsgálat eredményei alapján nem lehetne megkülönböztetni. Jól kimutatható volt, hogy az alacsonyabb keménységhez nagyobb alakváltozás tartozik. A hőkezelt próbatestek nem tértek el itt sem olyan mértékben, hogy az a vizsgálat hibahatárán túlmutató eredményt hozzon. A nagymértékű szórást a mérési eredmények között a varratdudorok egyenetlen magasságának tulajdonítom, ami ahhoz vezetett, hogy a hajlítás során a húzott keresztmetszetnél a semleges száltól való legnagyobb távolság erősen eltért. Ez ahhoz vezetett, hogy ugyanakkora hajlítási szögnél a semleges száltól való távolság függvényében erősen eltérő húzófeszültség terhelt a varratokat.

### **8.3. Jövőbeli tervek**

A kutatás során több olyan kérdés is felmerült bennem, amivel ennek a dolgozatnak a keretein belül nem volt lehetőségem foglalkoznom. Felkeltette az érdeklődésem, hogy különböző anyagminőségű lemezek esetén, hogyan változna a mechanikai tulajdonsága, korrózióállósága és kopásállósága a varratfémnek. Illetve nagyon szívesen készítenék csiszolatot ezekből a varratokból, és vizsgálnám a mikroszerkezetet, szövetelemeket.

## 9. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

Források:

- [1] (Bagyinszky, Bitay, 2010) Bagyinszky Gyula, Bitay Enikő: Hegesztéstechnika I.: Eljárások és gépesítés, Erdélyi Múzeum-egyesület, Kolozsvár 2010
- [2] (Voort, George 1984) George F., Vander Voort, Metallography, principles and practice Originally published: New York: McGraw-Hill, 1984.
- [3] (Artinger, Asztalos, Berecz, Fazakas, Ginsztler, Katona, Katula, Keresztes, Májlinger, Mészáros, Pammer, 2019) Mészáros István (szerk.): Anyagismeret, Akadémiai Kiadó, 1117 Budapest, Budafoki út 187–189. A. ép. III. em. 2019
- [4] (Bagyinszky, Bitay, 2009) Bagyinszky Gyula, Bitay Enikő: Felületkezelés, Erdélyi Múzeum-egyesület, Kolozsvár 2009
- [5] (Bitay, 2021) Bitay Enikő: Hegesztési alapismeretek, Erdélyi Múzeum-egyesület, Kolozsvár 2021
- [6] <https://docplayer.hu/197163-Szerszamacelok-nemesacelok.html>
- [7] [https://www.capilla-gmbh.com/wp-content/uploads/Capilla\\_Cat\\_EN\\_WEB\\_100917.pdf](https://www.capilla-gmbh.com/wp-content/uploads/Capilla_Cat_EN_WEB_100917.pdf)
- [8] MSZ EN ISO 4063:2023