

# TDK Dolgozat



## DP – acélok ellenállás ponthegesztése

Készítette:

**Fürész Balázs**

IV. éves anyagmérnök hallgató

**Rózsahegyi Richárd**

III. éves gépészmérnök hallgató

Konzulens:

**Dr. Palotás Béla** főiskolai tanár

Dunaújvárosi Főiskola  
Műszaki Intézet, Anyagtudományi Tanszék  
2013

## Tartalomjegyzék

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| Bevezetés .....                          | 2  |
| Az ellenállás ponthegeztés .....         | 2  |
| DP – acélok ponthegeztése .....          | 5  |
| A hegesztőgép kalibrálása .....          | 6  |
| A pont-hegesztőgép bemutatása .....      | 6  |
| Erőkalibrálás .....                      | 10 |
| Áramkalibrálás.....                      | 12 |
| Időkalibrálás .....                      | 15 |
| Hegesztési kísérletek .....              | 17 |
| Optimális paraméterek meghatározása..... | 17 |
| A mérési eredmények kiértékelése.....    | 22 |
| Értékelés, következtetések.....          | 24 |
| Összefoglalás .....                      | 25 |
| Irodalomjegyzék .....                    | 26 |

## Bevezetés

A szerkezetek súlycsökkentése általános tendencia napjainkban, különösen igaz ez a gépjárműiparban. A súlycsökkentés követelménye számos új acél kifejlesztését hozta magával. Ilyen acélok a DP-acélok, a TRIP-acélok, a CP-acélok, a TWIP-acélok, a Léces-martenzites acélok, hogy csak a legfontosabbakat említsük. Ezeknek az acéloknak a szilárdsága akár 1500 MPa is lehet. Az ilyen nagy szilárdság elérése, a képlékenység jelentős csökkenése nélkül, különleges gyártási technológiákat igényelnek mind az alapanyagok előállítása, mind a feldolgozásuk során. Ez jelenti ezeknek az acéloknak az ellenállás ponthegesztését is.

Dolgozatunkban megvizsgáltuk egy DP700 típusú 1,6 mm vastag, horganyzott acéllemez ellenállás ponthegesztésének lehetőségeit. A DP - acélok (dualphase) kettős fázisú acélok, amelyek szövetszerkezete ferrit + martenzit. A célunk az, hogy az alapanyag szilárdságának megfelelő ponthegesztett kötést kapjunk.

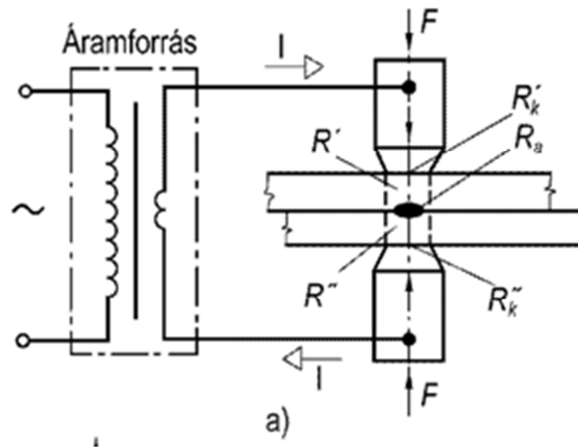
## Az ellenállás ponthegesztés [1]

Az ellenállás hevítés lényege, hogy a darabokon átfolyó áram Joule hője hevíti fel a darabokat. A képződő hő függ az ellenállástól ( $R$ ) és az átfolyó áramtól ( $I$ ):

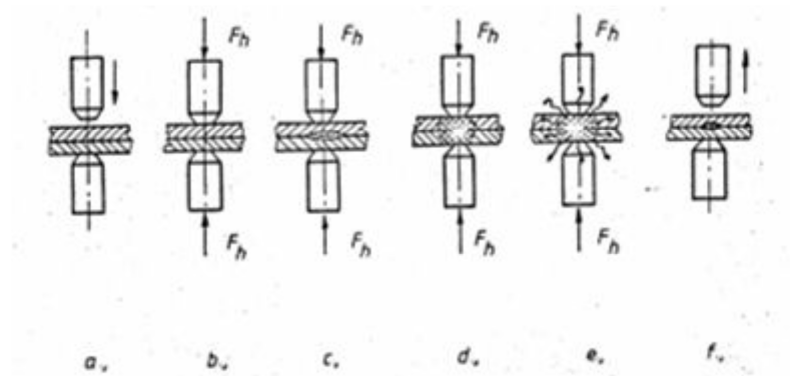
$$Q = \int_0^{th} RI^2 dt \quad (1)$$

A darabok érintkezési felületén az átmeneti ellenállás ( $R_a$ ) kezdetben a legnagyobb. Az elektródák hűtése illetve jó hővezető képessége miatt az elektródák és a darabok közötti érintkezési ellenállás ( $R_k$  és  $R_{k'}$ ) elhanyagolható. A hevítésben így az átmeneti ellenállás és a darabok saját ellenállása ( $R'$  és  $R''$ ) játszik szerepet. Az átmeneti ellenállás a felület megolvadása miatt igen gyorsan nulla lesz (AC áramú hegesztésnél gyakorlatilag  $\frac{1}{4}$  periódus alatt), így a továbbiakban a lemezek ellenállása - amely a hőmérséklet függvényében nő – döntő a hevítésben. A darabok közötti kör keresztmetszetű megolvadt foltból kiindulva lencse alakú olvadt anyag jön létre, amelynek a kristályosodása hozza létre a varratot az áram kikapcsolása után.

Az ellenállás ponthegesztés elrendezése az **1. ábrán**, míg a lejátszódó folyamatok a **2. ábrán** láthatók.



**1. ábra. A hevítés folyamata ellenállás ponthegesztésnél [1]**



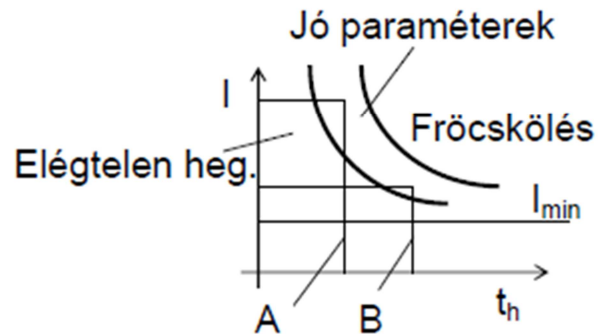
**2. ábra. Az ellenállás ponthegesztés lépései [1]**

A 2. ábrán látható egyes fázisok értelmezése a következő:

- az alsó elektródán fekvő darabokhoz a felső elektróda közelít,
- az elektródákat a darabokhoz nyomjuk,
- az előtartási idő eltelte után az áramot bekapcsolva lencse alakban olvad meg a darabok érintkezési felületén az anyag,
- egyre nagyobb anyagtérfogat hevül fel,
- ha a hegesztőáram túl sokáig folyik, kifröccsenés jöhet létre,
- a megfelelő ideig folyó áram kikapcsolása és az utótartási idő letelte után a felső elektróda távozik.

Ponthegesztést többféle munkarenddel is elérhetünk. Létezik egy minimális áram, amelynél kisebb árammal ( $I_{\min}$ ) nem tudunk hegesztetni, hiszen nem képződik elegendő hő. Nagy áram kis idő az un. kemény munkarend (A) (3. ábra), míg a kisebb áram hosszabb idő jelenti a lágy

munkarendet (B). Kemény munkarendet igényelnek a jó hővezető-képességű anyagok, lágy munkarend pedig kisebb beedződési veszéllyel jár.

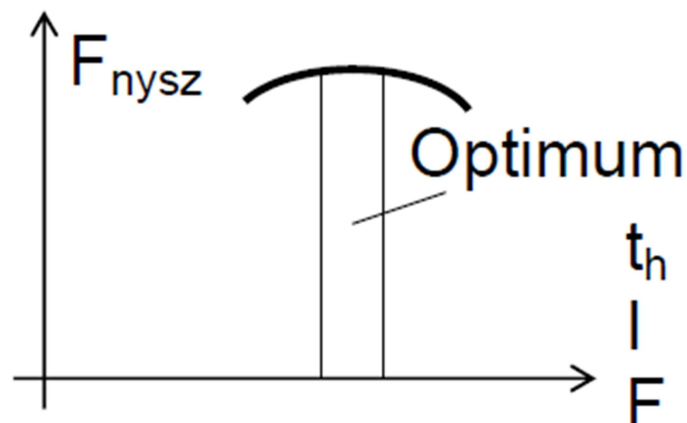


3. ábra. Különböző munkarendek [1]

Az ellenállás ponthegesztés paramétereit:

- Áramerősség:  $I = \frac{j \cdot A_p}{\sqrt{t_h}}$  [A]
- Pontvarrat keresztmetszete:  $A_p = \frac{d_e^2 \cdot \pi}{4}$  [mm<sup>2</sup>]
- Elektroda átmérő:  $d_e = 5\sqrt{s}$  [mm]
- Hegesztési idő:  $t_h$  [ms]
- Elektroda nyomóerő:  $F_h$  [N]

A kötés szilárdsága a hegesztési paraméterektől függ (4. ábra), ahol a paramétereknek optimuma van.



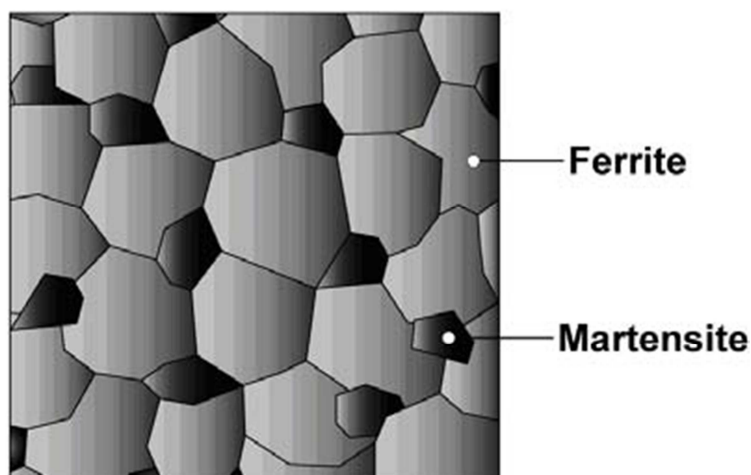
4. ábra. Hegesztési paraméterek optimuma [2]

## DP – acélok ponthegesztése [2]

A DP - acélok (DualphaseStahle azaz duális fázisú) a nagyszilárdságú acélok csoportjába tartozik. Ehhez a csoporthoz tartoznak a TRIP - acélok, CP - acélok, a martenzites acélok, ferrites - bénites acélok, TWIP - acélok, HF – acélok, azaz a melegen alakított acélok és végül a PFHT - acélok, amely az alakítás után hőkezelt acélokat jelenti.

A kettős fázisú acélok 1981 óta kerültek az iparba azon belül is az autókarosszéria gyártásba. A mangán- és szilíciumötvöztetésű, duális fázisú DP – acélokban, a ferrites alapszövetben a hőkezelés után megjelennek másfajta szövetelemek is, pl. a kemény martenzit és ennek hatására a szilárdság növekszik (5. ábra).

### Ferrite-Martensite DP



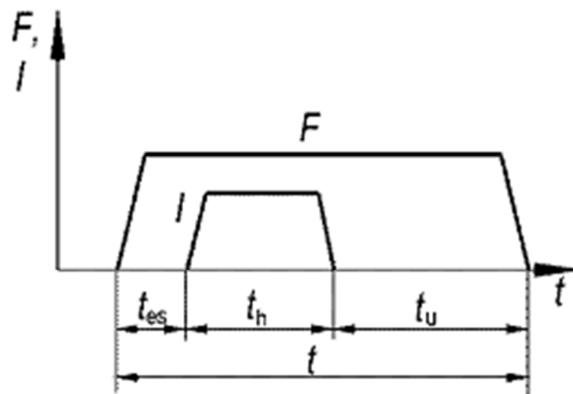
5. ábra. DP - acél szövetszerkezete [2]

A kettős fázisú DP - acél továbbfejlesztett változata a TRIP - acél, amelynél a mikroötvöztetés után kivált vegyületek biztosítják a növelt szilárdságot. A DP és TRIP - acélok melegen és hidegen is jól alakíthatók. DP - acélokra jellemző kémiai összetételek láthatók az 1. táblázatban.

| Acél | C    | Mn  | Si  | Al  | Cr  | Nb   | Egyéb   |
|------|------|-----|-----|-----|-----|------|---------|
| DP   | 0.1  | 1.0 | 0.5 |     |     |      |         |
| "    | 0.1  | 1.0 | 0.1 |     |     |      | P: 0.05 |
| "    | 0.1  | 1.5 | 0.1 | 1.2 | 0.5 |      |         |
| "    | 0.12 | 1.2 | 0.1 |     | 0.8 | 0.04 |         |
| "    | 0.07 | 1.4 |     |     |     | 0.03 | P: 0.03 |

1. táblázat. DP- acélok ötvöztési koncepciói, az egyes komponensek tömeg %-ban [2]

A duális fázisú, nagyszilárdságú acélok ponthegesztésénél elegendő egy egyszerű munkarendet alkalmazni. Ez a munkarend előtartási időből, hegesztési időből és utótartási időből tevődik össze. Az alkalmazott hegesztési erő, illetve áramerősség konstans. Az egyszerű munkarend diagramját szemlélteti a **6. ábra**.



**6. ábra.** Egyszerű munkarend ( $I$ : áramerősség,  $F$ : hegesztési nyomás,  $t_h$ : hegesztési idő,  $t_{es}$ : előtartási idő,  $t_u$ : utótartási idő) [2]

## A hegesztőgép bemérése

Ahhoz, hogy a hegesztési paramétereket reprodukálhatóan beállíthassuk, a gép beállítási adatait ellenőrizni kellett és be kellett azt kalibrálni.

## A pont-hegesztőgép bemutatása [3]

A hegesztőgépünk egy PFP 281 INVERTER középfrekvenciás, háromfázisú táplálású ellenállás-dudor és pont-hegesztőgép. A középfrekvenciás inverter egyenáramú hegesztést tesz lehetővé.

A felső elektróda pneumatikus működtetésű. Minden részegység vízhűtésű. A gép felső részén egy levegő-előkészítő egység található, ami biztosítja a pneumatikus munkahengerek számára az egyenletes levegőnyomást. A hegesztési folyamat lábkapcsolóval vagy biztonsági kétkezes nyomógommbal indítható el. Az alsó elektródatartó megerősítéssel rendelkezik, biztosítva a stabilitást ellenállás dudorhegesztésnél is. PX1500P plus vezérlést építettek a gépbe, amelyben 9 programhely áll rendelkezésünkre, itt adhatjuk meg a különböző hegesztési paramétereket. A hasznos karkinyúlás  $L = 270$  mm. A gép névleges teljesítménye ( $\eta = 20\%$ ) 180kVA, a maximálisan kifejezhető elektródaerő 1200 daN. A berendezés fényképe a **7. ábrán** látható.



**7. ábra. PFP 281 INVERTER ellenálláspont- és dudor-hegesztőgép**

A gép üzembehelyezése alkalmával megkaptuk az üzemeltetéshez szükséges kellő oktatást. Az áramerősség, az elektródaerő és a hegesztési idő a hegesztés legfontosabb paraméterei. Az erő kifejtése az előtartási idő, hegesztés idő és az utótartási idő alatt szükséges. A hegesztési folyamat fázisait a vezérlőegység szabályozza, az időbeállítás egysége 1/100 s, vagyis 10 ms. A hegesztési folyamat megkezdése előtt áram alá kell helyezni a hegesztőgépet, a hűtőegységet, valamint a kompresszort, mely biztosítja a levegő-előkészítő egység folyamatos levegő utánpótlását. Ezen gépek bekapcsolása után meg kell győződnünk a gép hátulján lévő mérőcsövek segítségével, hogy a hűtővíz egyenletesen be-, illetve kiáramlik a gépből. A vízhűtő - egységet a **8. ábra**, míg a kompresszort a **9. ábra** mutatja.



**8. ábra. Kompresszoros vízhűtő-egység**



**9. ábra. Levegő utánpótlást biztosító kompresszor**

A kiválasztott indító eszközt megnyomva (lábpedállal vagy a nyomógombokkal) az elektródák a hegesztendő tárgyhoz érnek, a vezérlőegység indító jelet kap és a beállított paramétereknek megfelelő hegesztési ciklust végrehajtja. Az előtartási idő elteltével az áram áthalad a lemezeken és létrehozza a hegesztett pontot, majd utolsó ciklusként utánnyomást biztosít a gép. A pedál vagy a kétkézes nyomógombok felengedésével a folyamat bármikor megszakítható.

A hegesztés előtt elvégzendő feladatok:

- Kapcsoljuk be a hegesztőgépet a főkapcsolóval és ellenőrizzük, hogy a „SET VALUE” kijelzés felgyulladt-e és az összes kijelző tesztelése megtörténik-e.
- Ellenőrizzük a sűrített levegő nyomását.
- Ellenőrizzük a hűtővíz áramlását.
- Ellenőrizzük, hogy a beállított hegesztési paraméterek megfelelnek-e a hegesztendő munkadarabnak és az elektródák közötti távolságnak.
- Felvesszük a szükséges személyi védőfelszerelést (kesztyű, szemüveg, kötény).

A vezérlőegység kezelőpanelén beállítható paramétereknél figyelembe kell venni, hogy 1 periódus = 10 ms ennél a vezérlésnél. A beállítandó hegesztési paraméterek a következők:

- Előtartási idő (0-99 periódus): Ez az az idő, amelyre az elektródáknak szüksége van a hegesztendő darabokkal való érintkezésre és a hegesztési nyomás kifejtésre.
- Áram felfutási idő (0-20 periódus): Hegesztési idő növekvő áramértékkel. Ha ez az érték nem 0, akkor a felfutási idő alatt a hegesztőáram fokozatosan éri el a kívánt értéket.
- Hegesztési idő (0-99 periódus): Az az idő, amíg a hegesztő áram átfolyik a hegesztendő darabokon.
- Teljesítmény beállítás (0-99%): A hegesztőáram értékét a teljesítmény százalékértékeként határozza meg.
- Impulzusszám (1-3): A hegesztési idő a beállított értéknek megfelelően az elektródák szétnyitása nélkül megismétlődik.
- Impulzus-szünet idő (0-99 periódus): A hegesztési impulzusok közötti szünetidő.
- Utótartási idő (0-99 periódus): Az az idő, amíg a hegesztési idő után az elektródák zárva maradnak.
- Szünetidő (0-99 periódus): Ha ez az érték 0, akkor a gép egy hegesztési ciklust fog elvégezni.

## Erőkalibrálás

A mérés célja: Meghatározni a gép szabályozószelepén beállított erő valódi kifejtett nagyságát az elektródavégek összenyomásakor.

A méréshez használt erőmérő műszer, a gép gyári tartozéka. Egy mechanikus mérőórával szerelt nyomóerő mérésére alkalmas műszer. Mérési tartománya: 0...1600 daN.

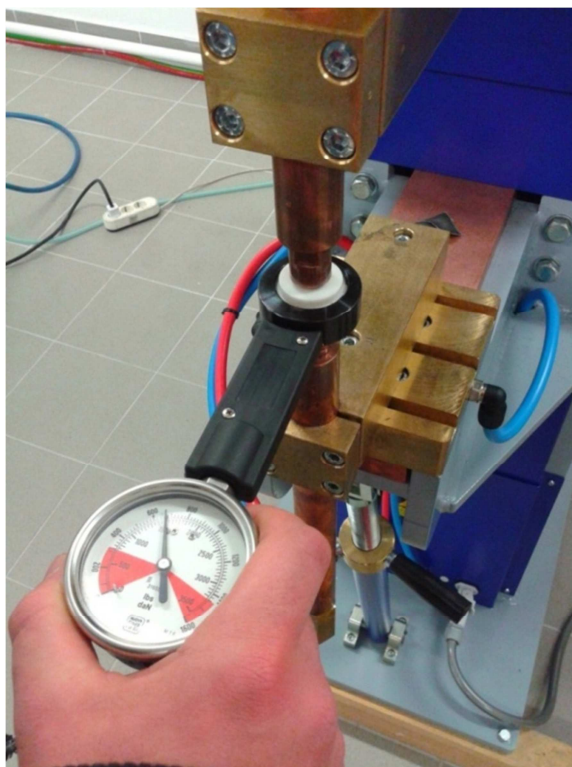
A mérés menete: A hegesztőgép, hűtőegység, kompresszor áram alá helyezése és helyes bekapcsolása, ellenőrzése után beállítottuk a kezelőpanelen a következő adatokat, melyek a mérés során végig állandóak voltak:

- Előtartási idő: 99periódus,
- Áramfelfutási idő: 20 periódus,
- Hegesztési idő: 90 periódus,
- Teljesítmény beállítás: 0%,
- Impulzusszám: 1,
- Impulzus-szünet idő: 0 periódus,
- Utántartási idő: 90 periódus,
- Szünetidő: 0 periódus.

Első lépésként meghatároztuk azt a legkisebb nyomásbeállítást, amely képes a munkahengert működésbe hozni, vagyis a felső elektróda képes megközelíteni az alsót. A mérőműszer megfelelően kialakított végét ráhelyeztük az alsó elektródára, majd a lábkapcsoló lenyomásával a felső elektróda erőt fejtett ki a műszer érzékelőjére és a mérőóra segítségével leolvastuk a nyomóerő nagyságát (daN). Miután megállapítottuk a legkisebb erő kifejtésre képes nyomásértéket, 0,5 bar léptékkal haladva végeztük a mérést. Minden értéknél három mérést végeztünk és a mérőműszerről leolvasott erőt feljegyeztük (**10. ábra**).

A mérési eredmények kiértékelése:

Megállapítottuk, hogy a minimális levegőnyomás 1,5 bar. Ennél kisebb nyomás mellett a henger nem képes munkát végezni. A kapott eredményeket átlagoltuk, majd az átlag értékek és a levegőrendszer nyomásának függvényében diagramot készítettünk (**1. diagram**).



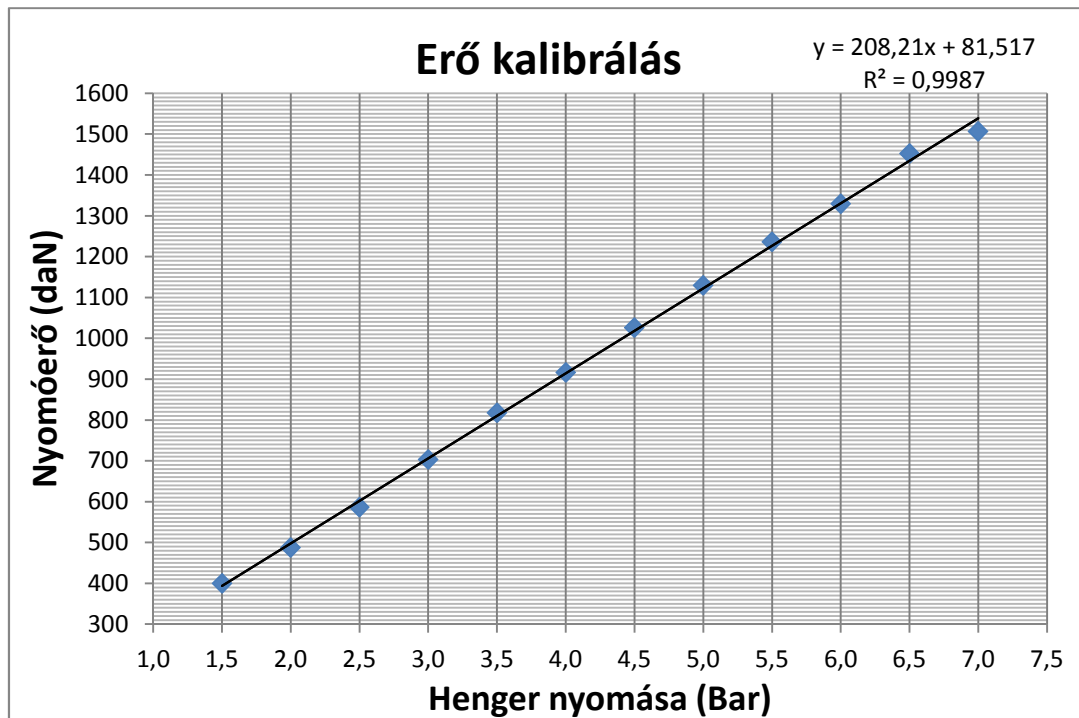
**10. ábra. Erőmérő műszer használat közben**

A mért eredmények a **2. táblázatban** láthatók:

| Henger<br>nyomása (Bar) | Nyomóerő (daN) |          |          |         |
|-------------------------|----------------|----------|----------|---------|
|                         | 1. mérés       | 2. mérés | 3. mérés | Átlag   |
| 1,5                     | 400            | 400      | 400      | 400,00  |
| 2,0                     | 480            | 485      | 500      | 488,33  |
| 2,5                     | 590            | 590      | 580      | 586,67  |
| 3,0                     | 700            | 700      | 710      | 703,33  |
| 3,5                     | 820            | 810      | 825      | 818,33  |
| 4,0                     | 920            | 920      | 910      | 916,67  |
| 4,5                     | 1040           | 1020     | 1020     | 1026,67 |
| 5,0                     | 1130           | 1130     | 1130     | 1130,00 |
| 5,5                     | 1220           | 1230     | 1260     | 1236,67 |
| 6,0                     | 1320           | 1330     | 1340     | 1330,00 |
| 6,5                     | 1460           | 1460     | 1440     | 1453,33 |
| 7,0                     | 1520           | 1500     | 1500     | 1506,67 |

**2. táblázat. Erőkalibrálás mérési eredményei**

Mivel a hegesztőerő nagyságát egy mechanikus szabályozószeleppel állíthatjuk be a kívánt értékre, ezért diagramunknak fontos szerepe van a gyors beállítandó érték meghatározásában.



**1. diagram. Erőkalibrálás**

## Áramkalibrálás

A mérés célja: A vezérlőegység kezelőpanelén beállítható hegesztési teljesítmény egyes százalékos értékének, az elektródavégeken leadott hegesztési áramerősségének megállapítása, kalibrálása.

A méréshez használt műszert a REHM Hegesztéstechnika Kft. bocsátotta rendelkezésünkre. Ez egy WA1 WeldAnalyser típusú ellenállás-hegesztés paramétereinek mérésére és adatgyűjtésre szolgáló, hordozható készülék (**11. ábra**).

Műszer fő paramétere, mérhető értékek:

- Mérestartománya: 2...60kA,
- pontossága:  $\pm 2\%$  a teljes skálán,
- hegesztőáram (50-60Hz AC/DC), hegesztési idő, gyújtásszög mérésére és rögzítésére akár félperiódusonként,
- hegesztési idő 0,01s...199,9s tartományban, fél periódus vagy 10ms lépésekben,



**11. ábra. WA1 WeldAnalyser mérőműszer, a hozzá tartozó mérőővvel és  
akkumulátortöltővel**

A mérés menete: Mivel az erőkalibrálást már elvégeztük, a hegesztőgép, hűtőegység, kompresszor helyes bekapcsolása, ellenőrzése már megtörtént. Ezután beállítottuk a következő adatokat, melyek a mérés során végig állandóak voltak:

- Nyomás: 2 bar,
- Előtartási idő: 20 periódus,
- Áramfelfutási idő: 20 periódus,
- Hegesztési idő: 15 periódus,
- Impulzusszám: 1,
- Impulzus-szünet idő: 0 periódus,
- Utántartási idő: 20 periódus,
- Szünetidő: 0 periódus.

Műszert telepítése során a WA1 műszerhez csatlakoztattuk az áramszenzort, a mérőhurkot az alsó elektródaszárra akasztottuk, majd beállítottuk a paramétereket a műszeren. Első lépésként meghatároztuk azt a legkisebb teljesítményt, amivel két darab 1 mm vastag acéllemezt össze tudunk hegeszteni. Ezután a hegesztőáram teljesítményét 5 százalékonként mértük. Minden értéknél három mérést végeztünk és a mérőműszerről leolvasott áramerősség (kA), illetve periódusidő (ms) értékeket feljegyeztük.

A méréseredmények:

12 %-os teljesítmény beállítás mellett jött létre az első jó kötés.

A mérés során 50 %-ig tudtuk növelni a teljesítményt, ekkor már igen nagymértékű volt a kifröccsenés. A mérési eredmények a **3. táblázatban** láthatók.

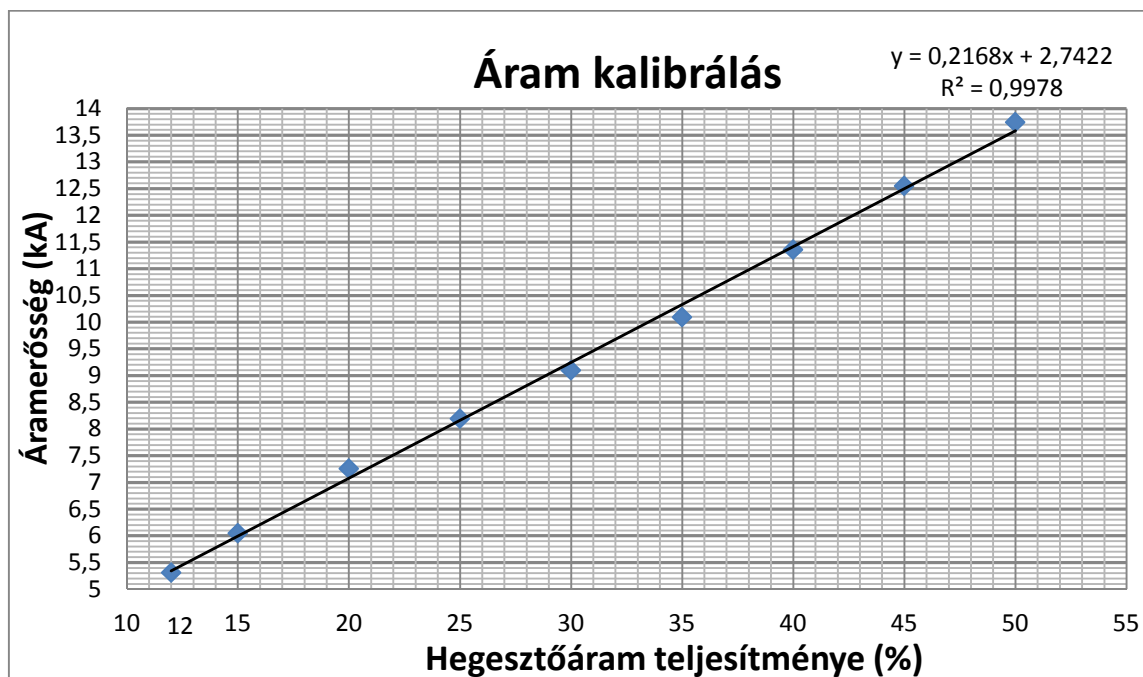
| Hegesztőáram teljesítménye (%) | Áramerősség (kA) | Periódusidő (ms) |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| 12                             | 5,31             | 143              |
| 15                             | 6,05             | 181              |
| 20                             | 7,26             | 220              |
| 25                             | 8,19             | 251              |
| 30                             | 9,10             | 261              |
| 35                             | 10,09            | 275              |
| 40                             | 11,36            | 283              |
| 45                             | 12,55            | 294              |
| 50                             | 13,74            | 295              |

**3. táblázat. Áramkalibrálás mérési eredményeinek átlagértékei**

A mérési eredmények kiértékelése:

Megállapítottuk, hogy a legkisebb hegesztési teljesítmény, amivel hegeszteni tudtunk: 12 %.

A mérési eredmények átlagértékeiből diagramot készítettünk, amely segítségével egy hegesztőmunka során könnyedén meghatározható a kívánt áramerősséghez tartozó teljesítmény százalékos értéke. Az áramkalibrálás a **2. diagramon** látható.



**2. diagram. Áramkalibrálás diagramja**

## Időkalibrálás

A mérés célja: Megállapítani az egyes periódusértékekhez tartozó tényleges hegesztési időtartamot.

A méréshez felhasznált mérőeszköz, a már bemutatott WA1 WeldAnalyser műszer.

A mérés menete: Miután elvégeztük az erő, illetve az áramkalibrálás vizsgálatát, a hegesztőgép és a hozzá kapcsolt készülékek már bekapcsolt állapotban, ellenőrzött üzemben működnek. Beállíthattuk a következő paramétereket, melyek a mérés során végig állandóak voltak:

- Nyomás: 2 bar,
- Előtartási idő: 20 periódus,
- Áramfelfutási idő: 20 periódus,
- Teljesítmény beállítás: 15%,
- Impulzusszám: 1,
- Impulzus-szünet idő: 0 periódus,
- Utántartási idő: 20 periódus,
- Szünetidő: 0 periódus.

A telepített WA1 műszeren ellenőriztük a paraméterek helyes beállítását. Először meghatároztuk azt a legkisebb hegesztési időt, amivel az 1 mm vastag próbadarabjainkat össze tudunk hegesztetni. Ezután a hegesztési idő értékét 5 periódusonként növeltük. Minden értéknél három mérést végeztünk és a mérőműszerről leolvasott periódusidő (ms), periódus és áramerősség (kA) értékét feljegyeztük.

A mérési eredmények a **4. táblázatban** láthatók.

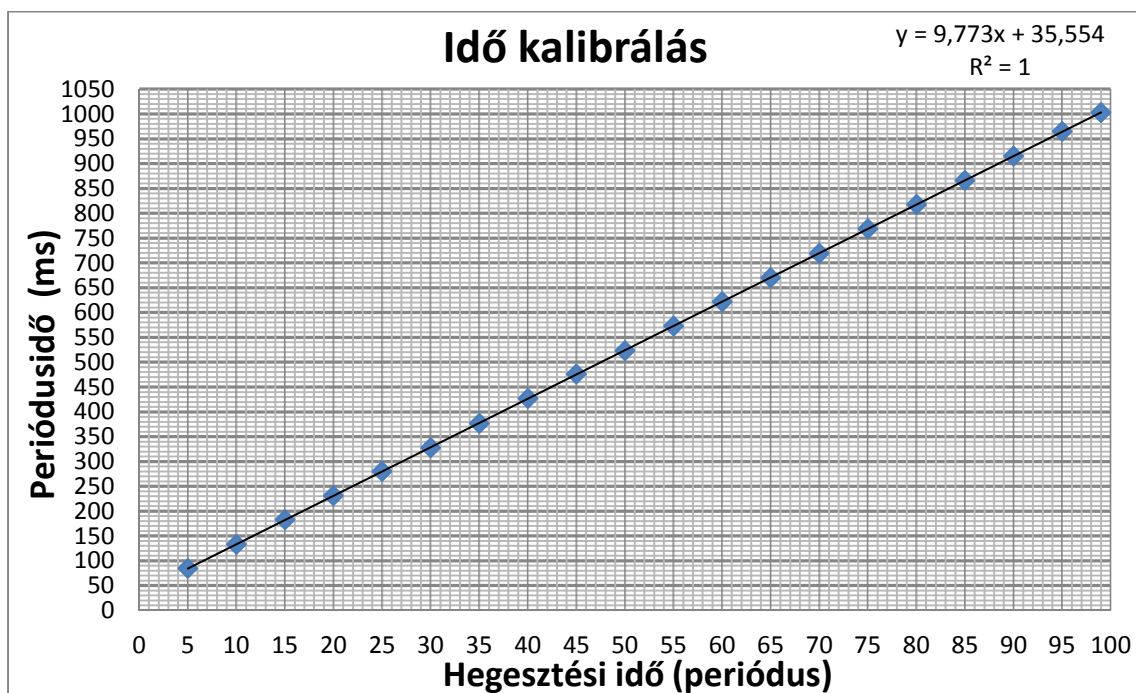
| Hegesztési idő | Periódusidő (ms) | Periódus | Áramerősség (kA) |
|----------------|------------------|----------|------------------|
| 5              | 85               | 4        | 6,07             |
| 10             | 133              | 7        | 6,09             |
| 15             | 183              | 9        | 6,11             |
| 20             | 231              | 12       | 6,15             |
| 25             | 280              | 14       | 6,13             |
| 30             | 328              | 16       | 6,14             |
| 35             | 377              | 19       | 6,10             |

| Hegesztési idő | Periódusidő (ms) | Periódus | Áramerősség (kA) |
|----------------|------------------|----------|------------------|
| 40             | 427              | 21       | 6,17             |
| 45             | 476              | 24       | 6,17             |
| 50             | 523              | 26       | 6,17             |
| 55             | 573              | 29       | 6,17             |
| 60             | 622              | 31       | 6,17             |
| 65             | 670              | 34       | 6,15             |
| 70             | 719              | 36       | 6,17             |
| 75             | 769              | 38       | 6,18             |
| 80             | 818              | 41       | 6,18             |
| 85             | 866              | 43       | 6,18             |
| 90             | 915              | 46       | 6,2              |
| 95             | 965              | 48       | 6,2              |
| 99             | 1003             | 50       | 6,2              |

**4. táblázat. Időkalibrálás mérési eredményeinek átlagértékei**

A mérési eredmények kiértékelése:

Megállapítottuk, hogy a legkisebb hegesztési idő, amivel hegeszteni tudtunk: 5 periódus. A mérési eredmények átlagértékeiből diagramot készítettünk (**3. diagram**), amely segítségével megállapíthatjuk a hegesztéshez szükséges periódusidő (ms), kezelőfelületen beállítandó periódusértékét.



**3. diagram. Időkalibrálás diagramja**

## Hegesztési kísérletek

A hegesztőgép beállításának kalibrálása lehetővé tette hegesztési kísérletek elvégzését.

### Optimális paraméterek meghatározása [4]

**Első kísérletsorozat:** DP 700 anyagjelű,  $s = 1,6$  mm vastag lemezek egy pont-kötésének optimális hegesztési paramétereit kerestük. Az optimalizációs paraméternek a kötés nyíró – szakító erejét tekintjük, ennek a maximumára törekedtünk. Hegesztés közben lemezek egytengelyűségét biztosítani kell. Az eljárás elsőrendű paraméterei a szekunder áramerősség ( $I$ ), a hegesztési idő ( $t_h$ ) és az elektródaerő ( $F_h$ ). A másodlagos paramétereket állandó értéken tartottuk (előtartási-, utótartási idő, elektróda átmérő). Szakirodalmi adatok alapján szűkítettük a paramétertartományt és elkészítettük az első kísérleti tervet (**5. táblázat**).

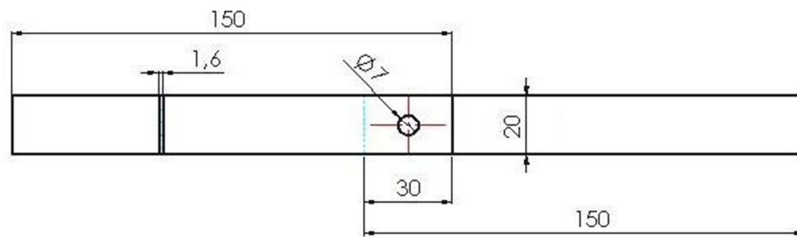
| Faktor                | Egység | Tervközéppont<br>(0) | Variációs<br>int. | Alsó szint<br>(-1) | Felső szint<br>(+1) |
|-----------------------|--------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| $I \rightarrow x_1$   | kA     | 12                   | 1,5               | 10,5               | 13,5                |
| $t_h \rightarrow x_2$ | s      | 0,5                  | 0,15              | 0,35               | 0,65                |
| $F_h \rightarrow x_3$ | kN     | 4                    | 1                 | 5                  | 6                   |

**5. táblázat. Első kísérleti terv**

A következő paramétereket állandó értéken tartottuk (1 periódus = 10 ms):

- Előtartási idő: 20 periódus,
- Áram felfutási idő: 20 periódus,
- Impulzusszám: 1,
- Impulzus-szünet idő: 0 periódus,
- Utótartási idő: 20 periódus,
- Szünetidő: 0 periódus.

Az elektróda átmérő:  $\varnothing 7$  mm. Kétszintes kísérlettervezésről lévén szó:  $N = q^n = 2^3 = 8$  beállítást kell ellenőrizni. Vagyis 8 kísérletsorozat elvégzésére volt szükség. Véletlen szám táblázat alapján, az alábbi beállítási sorrendet követtük: 2, 4, 8, 3, 7, 0, 5, 1, 6. Minden egyes beállításnál 3 párhuzamos kísérletet végeztünk, a tervközéppontban 5 kísérletre került sor. A próbatest geometriai adatai a **12. ábrán** láthatók.



**12. ábra. Próbatess méretei**

A kötésekben mérettük a nyíró – szakító erőt, 10 tonnás mérési tartományú szakítógépen. Sajnos a darabok nagy része alapanyagban szakadt, ami arra utal, hogy a választott 20 mm lemezszélesség nem volt elegendő.

Az alapanyagból mintát küldünk szakítóvizsgálatok elvégzésére, melynek eredményeként megkaptuk az agyag szakítószilárdságát:  $R_m = 782 \text{ MPa}$ , egyezményes folyáshatárát:  $R_{p0,2} = 535 \text{ MPa}$ , szakadási nyúlását: 20 %.

Az elszakított darabok a **13. ábrán** láthatók. Az elvégzett kísérletekből csak minőségi következtetéseket tudtunk levonni. A kötéseknel csak úgy tudtuk elérni, hogy a varratok vizsgálhatók legyenek, hogy a varratokba furatokat fúrtunk.

Az eredmények azt mutatták, hogy az erőt állandó és minimális értéken célszerű tartani. Ennek figyelembe vételével terveztük meg a második kísérletsorozatot.



**13. ábra. Az első kísérletsorozatban elkészített próbatess**

## Második kísérletsorozat

Ellenőriztük a pontvarrat és az alapanyag keresztmetszetét és meghatároztuk azt az erőt, amit elérve elérjük az egyáltalán elérhető maximális nyíró szakító erőt.

Ø 6,5 mm-es szegecselt feltételezve:

$$A = \frac{\varnothing 6,5^2 \cdot \pi}{4} = 33,18 \text{ mm}^2 \quad (2)$$

A második kísérletsorozat során 30 mm lemezvastagságot feltételezve:

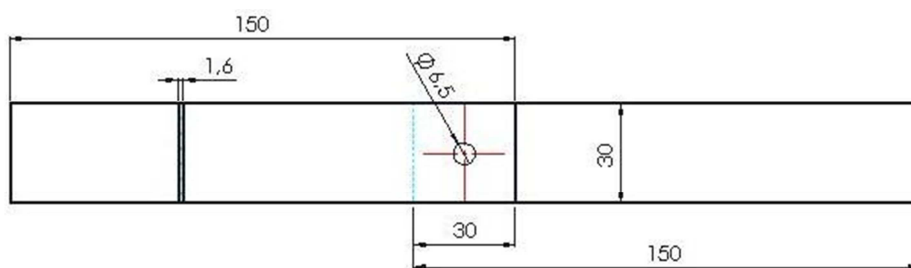
$$A = 30 \cdot 1,6 = 48 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

Az alapanyag keresztmetszete már nagyobb a pontvarrat keresztmetszeténél, így az első kísérletsorozat során elkövetett hibát már nem követtük el.

A szükséges erő nagysága, amely esetében jó kötés jön létre:

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = \sigma \cdot A = 782 \cdot 33,18 = 25947 \text{ N} \quad (4)$$

A második kísérletsorozat során alkalmazott próbatest geometriai adatai a **14. ábrán** láthatók.



**14. ábra. Próbatest méretei**

A második kísérletsorozatot is az elsőnek megfelelő módon terveztük meg. Az első kísérlet eredményei alapján a terhelőerő értékét állandó 4 kN értéken tartottuk. A kísérleti terv értékei a **6. táblázatban** láthatók

| Faktor                | Egység | Tervközéppont<br>(0) | Variációs<br>int. | Alsó szint (-<br>1) | Felső szint<br>(+1) |
|-----------------------|--------|----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| $I \rightarrow x_1$   | kA     | 13                   | 1                 | 12                  | 14                  |
| $t_h \rightarrow x_2$ | s      | 0,3                  | 0,1               | 0,2                 | 0,4                 |

**6. táblázat. Második kísérleti terv**

A másodlagos paramétereket továbbra is állandó értéken tartottuk. Kétszintes kísérlettervezésről lévén szó:  $N = q^n = 2^2 = 4$ , azaz most 4 kísérletsorozat elvégzésére volt

szükség. A véletlen szám táblázat alapján, az alábbi beállítási sorrendet követtük: 2, 4, 3, 0, 1. Szintén 3 párhuzamos kísérletet végeztünk minden egyes beállításnál, a tervközéppontban továbbra is 5 kísérletre került sor. Egy próbatest páron  $I = 14 \text{ kA}$  és  $t_h = 0,1 \text{ s}$  paraméterű kemény munkarenddel végeztünk egy kísérletet, valamint további egy kötésről csiszolatot készítettünk.

A kísérleteket a **7. táblázat** szerint végeztük el.

|    | $x_1$ | $x_2$ |
|----|-------|-------|
| 2. | -1    | +1    |
| 4. | +1    | +1    |
| 3. | +1    | -1    |
| 0. | "0"   | "0"   |
| 1  | -1    | -1    |

**7. táblázat. Második kísérletsorozat elvégzésének terve**

A hegesztés végrehajtásakor jellemző volt nagy fröcskölés (**8. táblázat**).

| Sorszám | $x_1$ | $x_2$ | Megfigyelés          |
|---------|-------|-------|----------------------|
| 2.      | 12kA  | 0,4s  | fröcskölés           |
| 4.      | 14kA  | 0,4s  | fröcskölés           |
| 3.      | 14kA  | 0,2s  | fröcskölés           |
| 0.      | 13kA  | 0,3s  | fröcskölés           |
| 1       | 12kA  | 0,2s  | legkisebb fröcskölés |

**8. táblázat. A második kísérletterv paraméterei és viselkedésük a hegesztés során**

A hegesztések során többször tapasztaltunk fröcskölést, egy nagymértékű fröccsenés látható a **15. ábrán**.



**15. ábra. Látványos anyagfröccsenés hegesztés közben**

A második kísérletsorozat során hegesztett kötések a **16. ábrán** láthatók.



**16. ábra. A második kísérletsorozatban elkészített próbatestek**

## A mérési eredmények kiértékelése

A kötéseken ismét megmérettük a nyíró – szakító erőt, melynek eredményeit a **9. táblázat** tartalmazza.

| DP_acél |               |         |          |                |                                                      |
|---------|---------------|---------|----------|----------------|------------------------------------------------------|
|         | Anyag jelölés | Fm (kN) | Rm (Mpa) | Szakadás helye | Megjegyzés                                           |
| "0"     | 0.1           | 27,27   | 359      | varratban      | kigombolódott a hőhatás övezetben szakadtak el (HAZ) |
|         | 0.2           | 28,52   | 609      | alapanyag      |                                                      |
|         | 0.3           | 28,56   | 600      | alapanyag      |                                                      |
|         | 0.4           | 28,54   | 598      | alapanyag      |                                                      |
|         | 0.5           | 28,25   | 592      | alapanyag      |                                                      |
| "1"     | 1.1           | 20,80   | 418      | varratban      | kigombolódott varratban elnyíródtak                  |
|         | 1.2           | 21,58   | 452      | varratban      |                                                      |
|         | 1.3           | 22,68   | 475      | varratban      |                                                      |
|         | 1.4           | 23,28   | 494      | varratban      |                                                      |
| "2"     | 2.1           | 27,36   | 572      | varratban      | kigombolódott HAZ HAZ                                |
|         | 2.2           | 27,77   | 583      | alapanyag      |                                                      |
|         | 2.3           | 26,28   | 560      | alapanyag      |                                                      |
| "3"     | 3.1           | 24,85   | 519      | varratban      | varratban HAZ kigombolódott                          |
|         | 3.2           | 28,38   | 595      | alapanyag      |                                                      |
|         | 3.3           | 22,01   | 468      | varratban      |                                                      |
| "4"     | 4.1           | 18,90   | 408      | varratban      | kigombolódott                                        |
|         | 4.2           | 26,56   | 556      | varratban      | kigombolódott                                        |
|         | 4.3           | 26,40   | 553      | varratban      | kigombolódott                                        |

**9. táblázat. A második kísérletsorozat szakítóvizsgálatának eredményei**

A terveközéppontban kapott nyíró – szakító erő:  $F_m = 28,23$  kN. Ez bizonyult a legnagyobb. A szakítás során egy varrat kigombolódott, négy pedig a hőhatás övezetben szakadt el. A szilárdság alapján jól eltaláltuk a terveközépponttal az optimális paramétereket.

Az "1" jelű hegesztésiművelet során kapott átlagos nyíró – szakító erő:  $F_m = 22,51$  kN. A varratban elnyíródott az anyag, semmiképpen sem jó paraméter beállítás.

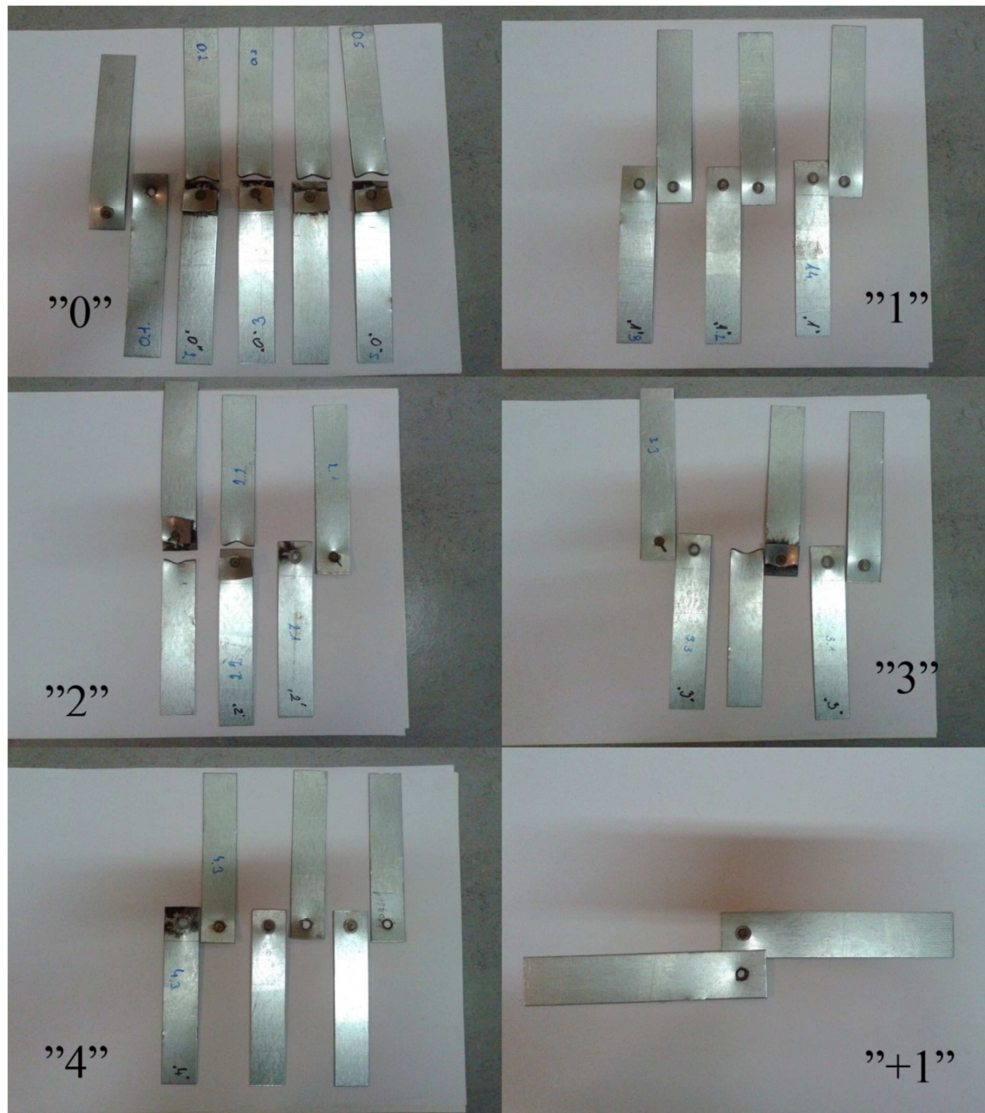
Az "2" jelű hegesztésiművelet során kapott átlagos nyíró – szakító erő:  $F_m = 27,14$  kN. Egy varrat kigombolódott, kettő a hőhatás övezetben szakadt el. A számított szükséges erő nagysága (25,95 kN) alapján ezekkel a beállításokkal jó kötés hozható létre.

Az "3" jelű hegesztésiművelet során kapott átlagos nyíró – szakító erő:  $F_m = 25,08$  kN. Ez esetben egy varrat szakadt el a hőhatás övezetben, kettő pedig varratban elnyíródott. Nem jó paraméterek.

Az "4" jelű hegesztésiművelet során kapott átlagos nyíró – szakító erő:  $F_m = 23,95 \text{ kN}$ . Az összes kötés kigombolódott, rossz paraméterek.

A plusz egy kísérlet során végzett hegesztési nyíró – szakító erő:  $F_m = 20,8 \text{ kN}$ . Szakításkor kigombolódás történt a varratban. Ezzel a kísérleti beállítással igen rossz kötést hoztunk létre.

A második kísérletsorozatban hegesztett DP – acéllemezek kötésének elszakított darabjait a **17. ábrán** mutatjuk be.



**17. ábra. A második kísérletsorozat elszakított kötése**

A **18. ábra** mutatja az általunk készített ponthegeesztett kötés csiszolatának képét 100x-os nagyítás alatt (a kötés a „2-es” beállítással készült). Az ábra szerint az elektróda benyomódása igen nagy, így a hegesztési nyomóerő további csökkentésére van szükség.



**18. ábra. Pontheesztett kötés csiszolata 100x-os nagyítás alatt**

## **Értékelés, következtetések**

A második kísérletsorozatunk jól sikerült, jól szemlélteti az egyes paraméterek változásának hatását a varrat szilárdságára. Ezt a kísérletsorozatot az első kísérletsorozattal összevetve és a második kísérletsorozatban elvégzett plusz egy kísérletet tekintve, arra a következtetésre jutottunk, hogy az általunk alkalmazott kemény munkarend helyett, lágy munkarenddel kell hegesztetni az 1,6 mm vastagságú, DP 700 típusú acéllemezeket. A hegesztések során a nagymértékű fröcskölést az acéllemez horganyzottságának tudtuk be, a kiértékelések elvégzése után azonban megbizonyosodtunk arról, hogy a nagy áramerősség és rövid hegesztési idő miatt következtek be fröccsenések. Továbbá a hegesztési erőt is csökkenteni kellene a nagy benyomódás miatt, erre azonban esetünkben nem volt lehetőség.

Az általunk vizsgált acéllemez egyponthoz átlapolt kötésére a következő paramétereket javasoljuk:

$$\mathbf{I = 12\ kA}$$

$$\mathbf{t_h = 0,5\ s}$$

$$\mathbf{F = 4kN}$$

A pontos hegesztési paraméterek meghatározásához, azonban további kísérletek szükségesek, melyeket a közeljövőben szeretnénk kivitelezni.

## Összefoglalás

A Főiskola hegesztőlaboratóriumának felújítása során újonnan beszerzett PFP 281 INVERTER ellenállás pont- és dudor-hegesztőgép üzembe helyezésén és kezelési oktatásán részt vettünk, majd kísérletsorozatok alkalmával elvégeztük a hegesztőgép kalibrálását. Ez a hegesztési erő, -áramerősség, illetve, -idő kalibrálásából tevődött össze. A mérési folyamatok kiértékelése alkalmával elkészített diagramok laminált formában megtalálhatók a berendezés munkaterületén, ezek segítséget a későbbi hegesztési munkához, megkönnyítik a szükséges paraméterek beállítását.

Megvizsgáltuk dolgozatunkban egy DP700 típusú 1,6 mm vastag, horganyzott acéllemez ellenállás ponthegesztésének lehetőségeit. A kísérlettervezéssel, két hegesztési kísérletsorozatban az optimálisnak tekinthetőparamétereket 14 beállítással és 46 db vizsgálattal próbáltuk meghatározni. A kísérletek során nagyon sok tapasztalatra tettünk szert, sikerült szilárdsági számításoknak megfelelő kötéseket létrehozni, illetve jó támpontokat szerezni a továbblépéshez. Mivel az autóiparban, a karosszériagyártásban jelentős szerepe van a nagy szilárdságú szerkezeti acéloknak, ezért mindenképpen szeretnénk kísérleteinket folytatni, további előrelépéseket elérni.

## Irodalomjegyzék

[1] B. D. ORLOV: Ellenálláshegesztés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980

[2] Dr. PALOTÁS Béla: Nagyszilárdságú acéllemezek ellenállás ponthegeztése című előadása, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

[2] Dr. VERŐ Balázs: Többes fázisú acélok című előadása

[3] Hegesztési kézikönyv, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1985

[3] Hegesztés és rokontechnológiák Kézikönyv, 2007, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest

[4] Dr. Palotás Béla: Gyakorlati alkalmazási példa a kísérlettervezésre című előadása, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

### **További felhasznált irodalmak:**

Enyingi Kálmán: Könnyűszerkezetes karosszéria című cikke, Autótechnika folyóirat, 2002/11

REHM Hegesztéstechnika: Párhuzamos löketű ponthegeztő PF 136 - PF 181 INVERTER KEZELÉSI UTASÍTÁS