

# KORSZERŰ NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSÉNEK EREDMÉNYEI A DUNAÚJVÁROSI EGYETEMEN

## RESULTS OF RESISTANCE SPOT WELDING OF AHSS IN UNIVERSITY OF DUNAÚJVÁROS

Dr. Palotás Béla\*, Pogonyi Tibor\*\*

### ABSTRACT

The paper shows the results of resistance spot welding of DP, TRIP, TWIP and HF steels, results proved that they can be welded without any grain growing. The results of research – which will be demonstrated in the paper – proved that these AHS steels shall be welded with complex welding schedules.

In the case of Dual Phase (ferrite + martensitic) steels a post weld heat treatment required for avoiding the high hardness in the weld.

Welding of TRIP steels is not easy task. Some cracks formed in the weld metal. These steels require complex welding schedule.

We investigated the structure and heat treatment of TWIP steels and also we examined the effects of rolling on it. We carried out resistance spot welding of these steels as well. The welds had lower hardness than base materials. The applicable complex welding schedule shall be found.

We carried out some experiments on HF steels. We investigated the effect of heat treatment on structure and also jointed them with resistance spot welding. The welds had higher hardness than base materials. The applicable complex welding schedule shall be found as well.

Experiments of resistance spot welding of Advanced High Strength Steels will continue at University.

### 1. BEVEZETÉS

A nagyszilárdságú szerkezeti anyagokra jellemző a finomszemcsés, sőt ultra-finomszemcsés szerkezet. A gyakorlatban ezeket az anyagokat is kell hegeszteni a szerkezetek gyártása során biztosítva azt, hogy a hegesztéskor ne jöjjön létre szemcsedurulás, vagy ne jöjjenek létre nem kívánt kiválások.

A Dunaújvárosi Főiskolán egy TÁMOP kutatási projekt keretében más ultra-finomszemcsés anyagok kutatása során, a gépjárműiparban már alkalmazott korszerű nagyszilárdságú acélok tulajdonságait is vizsgáltuk.

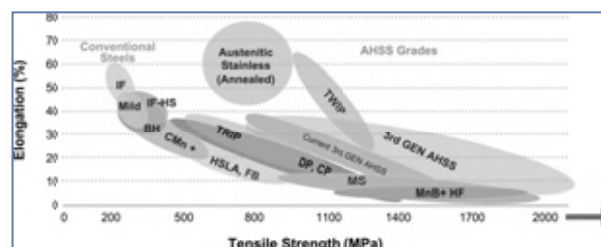
A kutatási program eredményeit az [1] - ben foglaltuk össze.

A korszerű nagyszilárdságú acélok közé tartoznak többek között a DP, TRIP, TWIP és HF acélok. A felsorolt acélok esetében volt lehetőségünk ellenállás ponthegeztési kísérleteket végezni.

A kapott eredmények hasznosíthatók a gyakorlatban, illetve további kísérletek kiindulásai lehetnek.

### 2. KORSZERŰ NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK ÉS HEGESZTÉSÜK

Az ultra-finomszemcsés acélok egyik csoportja az Advanced High Strength Steels (AHSS) acélcsoport, amelyeknél a szilárdságnövelés több mechanizmusát is alkalmazzák (pl. ötvözés, hőkezelés, kiválásos keményítés, diszperziós keményítés, szemcsefinomítás). Ebbe a csoportba tartoznak az általunk vizsgált acélok is. A hagyományos és az AHSS acélok mechanikai tulajdonságai a 1. ábrán és az 1. táblázatban láthatók [2].



1. ábra. Nagyszilárdságú acélok mechanikai tulajdonságai [2] (Conventional Steels: Hagományos acélok, Austenitic Stainless (Annealed): Ausztenites korrózióálló acélok (lágított), AHSS Grades: AHSS minőségek, Current 3rd GEN AHSS: Jelenlegi 3. generációs AHSS)

A mangán - bór ötvözésű melegen alakított és szerszámban hűtött acélokkal (MnB+HF acélok) elérték már az 1900 MPa szakítószilárdságot mérhető alakváltozó képesség mellett.

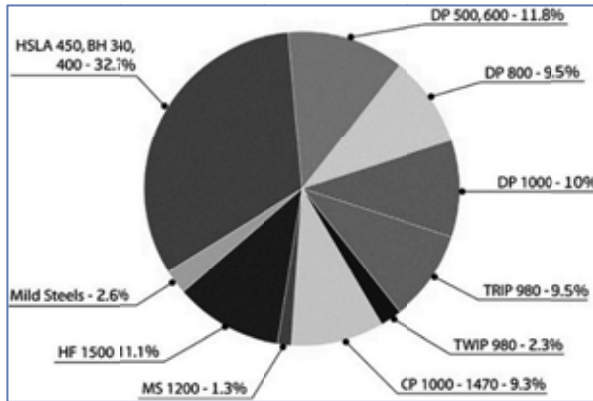
A korszerű nagyszilárdságú acélok széleskörű felhasználását az autókarosszériák gyártásában a 2. ábra szemlélteti. Az autókarosszéria gyártásban alapvető hegesztési eljárás az ellenállás ponthegeztés, így a továbbiakban ezzel az eljárással foglalkozunk.

\* Főiskolai tanár, Dunaújvárosi Egyetem

\*\* Gépészmérnök, műszaki ügyintéző, Dunaújvárosi Egyetem

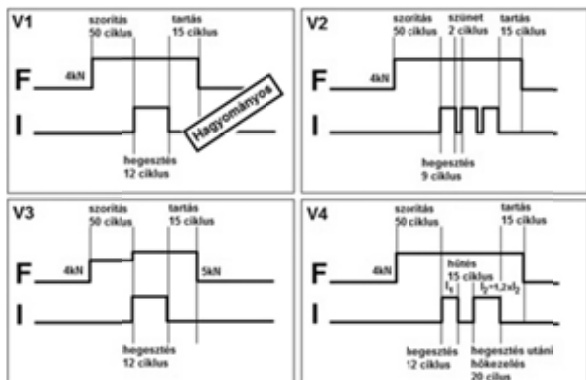
1. táblázat. AHSS acélok mechanikai tulajdonságai [2]

Acél minőség	R <sub>p0.2</sub> (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>80</sub> (%)
HSLA 350/450	350	450	23-27
DP 300/500	300	500	30-34
DP 350/600	350	600	24-30
TRIP 450/800	450	800	26-32
DP 500/800	500	800	14-20
CP 700/800	700	800	10-15
DP 700/1000	700	1000	12-17
MS 1250/1520	1250	1520	4-6



2. ábra. Nagyszilárdságú acélok alkalmazása az autó karosszériagyártásban százalékosan lebontva [2]

Az AHSS acélok ellenállás ponthegeesztése nem egyszerű feladat, előnyben részesítik az összetett munkarendet. Összetett munkarend megvalósítható előmelegítéssel, előmelegítés és utólagos hőkezeléssel és az áramimpulzusokkal történő hegesztés is előnyös lehet. A nyomóerő vonatkozásában is összetett munkarendet célszerű használni, amikor is az áram bekapcsolása előtt megnövelt nyomás elősegíti a darabok felfekvését, a csökkentett nyomóerő az áram bekapcsolása után csökkenti az elektródák benyomódását, míg az utólagos erőnövelés nagyobb szilárdságú kötést eredményez. Az összetett munkarendekre példát a 3. ábrán mutatunk be [2].

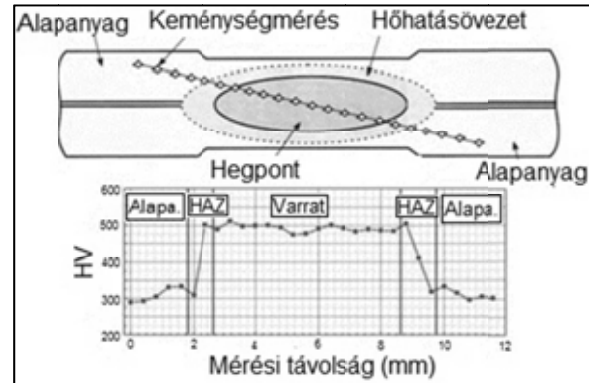


3. ábra. Összetett munkarendek ellenállás ponthegeesztésénél [2]

A továbbiakban ez egyes alapanyagokon végzett kísérletek eredményeit foglaljuk össze.

### 3. DP ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE

A DP acélokon végzett kísérleteink során az egyik célunk az volt, hogy megvizsgáljuk, hogy a szilárdsági szempontból megfelelő kötéseken létrejön-e szemcsedurvulás a hőhatás övezetben, vagy sem. Vizsgálataink másik célja az volt, hogy meghatározzuk azt, hogy hogyan tudjuk elkerülni a varratfémekben általában tapasztalható felkeményedést (4. ábra).



4. ábra. DP acélokon tapasztalt keménység eloszlás ellenállás ponthegeesztésénél [2]

#### 3.1 A szemcseméret ellenőrzése

Lehetőségünk volt megvizsgálni azt, hogy a DP 500, DP 600, DP 800 és DP 1000 acélok, nem okoz-e szemcsedurvulást az ellenállás ponthegeesztés a hőhatás övezetben.

A hegesztőgép egy PFP 281 típusú inverteres ellenállás ponthegeesztő gép volt, amelynek a beállítását statisztikus mérőeszközökkel ellenőriztük és meghatároztuk adott beállításhoz tartozó paramétereket. A berendezés középfrekvenciás áramú hegesztést tesz lehetővé, ez előnyös a váltakozó áramú hegesztéshez képest [2].

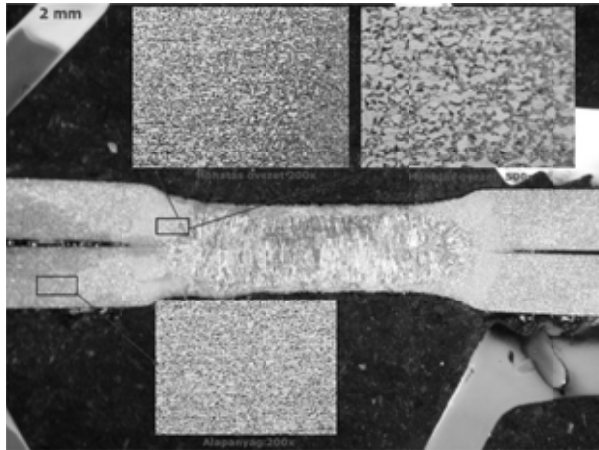
A ponthegeesztési kísérleteket Ø 5 mm-es elektródával az 1 mm vastag DP 600 és az 1,1 mm vastag DP 800 acélok végeztük. A DP 500 és DP 1000 acélok Ø 6 mm-es elektródával készítettük a kötéseket, mert a lemezvastagság 1,4 illetve 1,2 mm volt. Az alkalmazott hegesztési paraméterek a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat. Alkalmazott hegesztési paraméterek

Jellemzők	I <sub>heg</sub> (kA)	t <sub>heg</sub> (ms)	F <sub>heg</sub> (daN)
DP 500, s = 1,4 mm	10	400	400
DP 600, s = 1,0 mm	8,5	400	400
DP 800, s = 1,1 mm	9	400	400
DP 1000, s = 1,2 mm	9,5	400	400

A kötéseknel nyíró - szakító vizsgálatot végeztünk és mértük a szemcsefinomságot az alapanyagban és a hőhatás övezetben. A kötések a szakadás helyei alapján megfelelőnek voltak minősíthetők, a kötések általában kigömbölyödással szakadtak.

A kötésekben kimunkált mikroszkópi csiszolatokon mértük a szemcseméretet az alapanyagban és a hőhatás övezetben is, illetve készítettünk összefoglaló ábrákat is. A DP 500 típusú acél esetében az 5. ábra mutatja a makro- és mikro szerkezetet. A felvétel szerint az ellenállás ponthegeztés nem okozott szemmel látható szemcsedurvulást a hőhatás övezetben. A szemcsefinomságot képelemző szoftverrel is ellenőriztük.



5. ábra. DP 500 jelű acél hegesztett kötésének makro és mikro szerkezete

A különböző esetekben kapott szemcsefinomságokat a 3. táblázatban gyűjtöttük össze, a szemcsefinomsági mérőszámok legalább 5 pontban elvégzett elemzés eredményeinek az átlagai.

3. táblázat. DP acéllemezek szemcsefinomságai

Jellemzők	$I_{\text{heg}}$ (kA) $t_{\text{heg}} = 400$ ms] $F_{\text{heg}} = 400$ daN]	„n” alap- anyagban	„n” hőhatás övezetben
DP 500, $s = 1,4$ mm	10	15,6	15,3
DP 600, $s = 1,0$ mm	8,5	15,9	15,1
DP 800, $s = 1,1$ mm	9	15,2	15,6
DP 1000, $s = 1,2$ mm	9,5	13,5	13,5

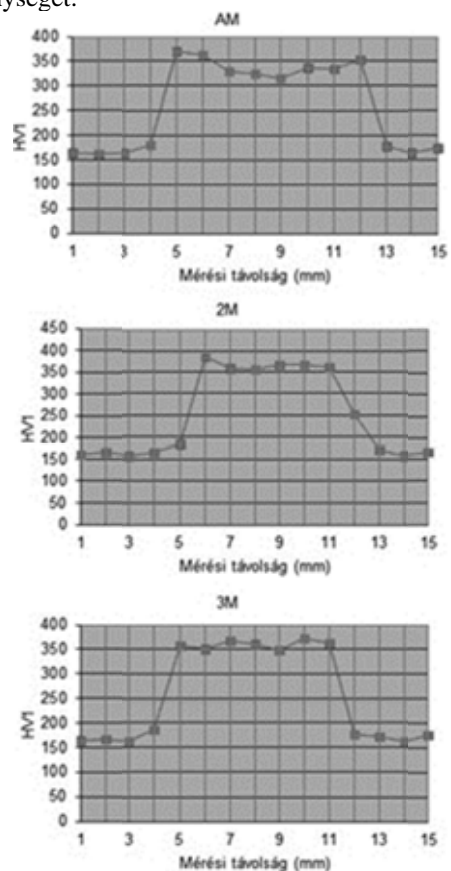
„n”: a szemcsefinomsági mérőszám

Az eredmények azt mutatják, hogy lényeges szemcsedurvulás nem jött létre, ha a tizedes értékekben látható eltéréseket nem vesszük figyelembe. Vizsgálataink azt igazolták, hogy az ellenállás ponthegeztés nem hoz létre szemcsedurvulást az ultrafinomszemcsés DP acélokban.

### 3.2 A keménység csökkentése a varratban

A keménység eloszlását ellenőriztük különböző esetekben. Alapesetben, előmelegítéssel és utólagos hőkezeléssel is, sőt áramimpulzusok alkalmazásával is készítettünk kötések.

DP 500 típusú,  $s = 1,4$  mm vastag acéllemezekon áramimpulzusok alkalmazásával készítettünk kötések. Az ezekről kapott keménységeloszlások a 6. ábrán láthatók. Az alapparaméterekkel, 1 impulzussal készített kötés az „AM” jelet kapta ( $d_e = 6$  mm,  $I_{\text{heg}} = 10$  kA,  $t_{\text{heg}} = 400$  ms,  $F_{\text{heg}} = 400$  daN). A „2M” két impulzus, a „3M” jelölés három impulzus alkalmazását jelenti ( $d_e = 6$  mm,  $I_{\text{heg}} = 10$  kA,  $t_{\text{heg}} = 150$  ms,  $F_{\text{heg}} = 300$  daN, szünetidő: 230 ms). A kapott eredmények kiértékelése után megállapítottuk, hogy az áramimpulzusok alkalmazása nem csökkentette a varratban a keménységet.

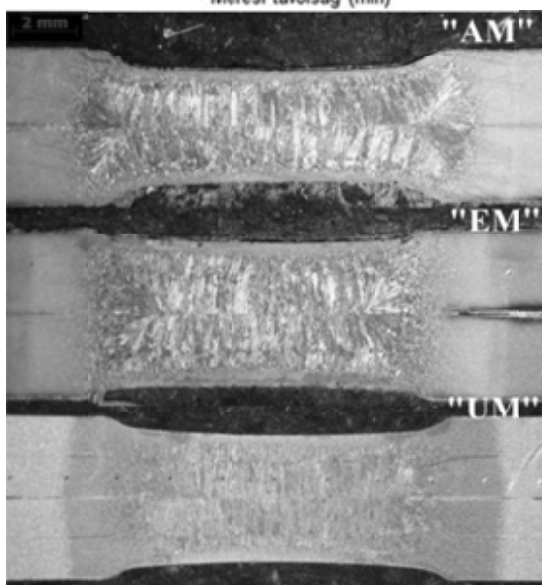
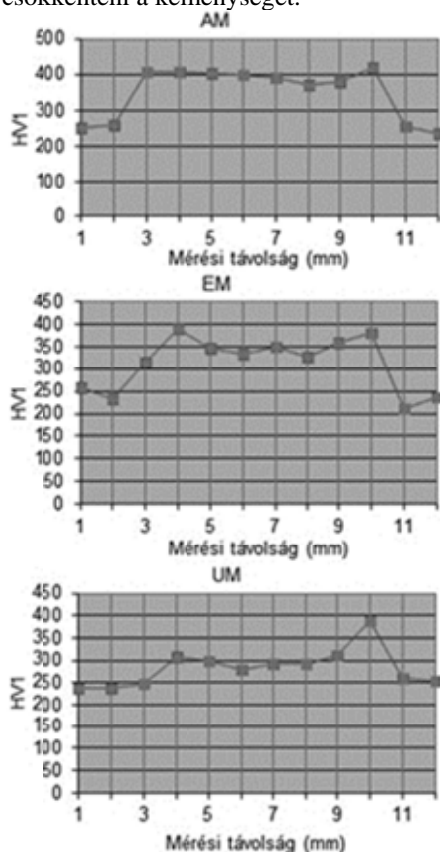


6. ábra. A keménységeloszlás diagramjai DP 500 acélnál áramimpulzusok alkalmazása esetén

További kísérleteket végeztünk DP 800 jelölésű  $s = 1,6$  mm vastag acéllemezekon, ezek keménységeloszlása látható a 7. ábra diagramjain.

Itt az „AM” alapeset kötését három áramimpulzus alkalmazásával készítettük ( $d_e = 6$  mm,  $I_{\text{heg}} = 10$  kA,  $t_{\text{heg}} = 3 \times 150$  ms,  $F_{\text{heg}} = 300$  daN, szünetidő: 230 ms). Előmelegítés során a darabokat  $200$  °C-ra hevítettük kemencében, majd ugyanazokkal a paraméterekkel hegesztettük, mint az alapesetnél. Ennek diagramja az

„EM” jelölést kapta. Az ábrán „UM” jelölésű diagram mutatja az utólagos hőkezelési cikluson átesett munkadarabok keménységeloszlását. Az alapeseti paraméterekkel hegesztett kötések lehűlés után végeztük el a hőkezelést a hegesztőgépen, síkelektrodák között ( $d_e = 16 \text{ mm}$ ,  $I_{hök} = 9 \text{ kA}$ ,  $t_{hök} = 1 \text{ s}$ ,  $F_{hök} = 300 \text{ daN}$ ). Az előmelegítés nem hozott létre keménység csökkenést, míg az utólagos hőkezeléssel jelentősen tudtuk csökkenteni a keménységet.



7. ábra. Keménységeloszlás diagramjai DP 800 acélnál alapesetben (AM), előmelegítéssel (EM) és utólagos hőkezeléssel (UM)

#### 4. TRIP ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE

A TRIP típusú acélok ellenállás ponthegesztése igen bonyolult feladat, a paramétere tervezés nagy odafigyelést igényel. Az anyag kristályosodási repedésképződése miatt mindenképpen utólagos hőkezeléssel tervezett összetett munkarend alkalmazása javasolt a szakirodalmak szerint [3].

TRIP acélon végzett hegesztési kísérleteink célja az, hogy olyan hegesztési paramétereket találjunk, mellyel elkerülhető a varrat és a hőhatásövezet keménységnövekedése, valamint a varratban és a varrat határán létrejövő kristályosodási repedésképződés.

Az általunk vizsgált TRIP acélok szakítószilárdsága  $R_m = 725 \text{ MPa}$ , egyezményes folyáshatára  $R_{p0,2} = 452 \text{ MPa}$ , az átlagos szakadási nyúlása pedig  $A_{80} = 31 \%$  volt.

Mivel a Dunaújvárosi Egyetem hegesztőbázisán található ellenállás ponthegesztő géppel összetett munkarenddel nem tudunk hegesztetni, így ezeken az acéllemezeken a REHM Kft. inverteres áramú NIMAK billenőkaros ellenállás ponthegesztő fogójával végeztük a kísérleteket. A berendezés 20 kA maximális áramerősségre képes. A szükséges elektrodaerőt pneumatikus vezérlés adja, melyhez a sűrített levegőt gázpalackról biztosítják. A hegesztési paraméterek a hegesztőgéphez kapcsolt számítógépen állíthatók be. A hegesztéshez használt sapkaelektroda CuCrZr anyagú,  $d_e = 6 \text{ mm}$  átmérőjű, kúpos kialakítású típus volt.

Az anyag lemezzavastagsága  $s = 1 \text{ mm}$  volt. Négy különféle hegesztési paramétert állítottunk össze, szakirodalmi ajánlásokból kiindulva [3]. Ezeket a 4. táblázatban foglaltuk össze, a vizsgált acél kémiai összetétele az 5. táblázatban látható. A T1 jelölésű kötés összetett munkarendje egy hegesztési és egy hőkezelési ciklust tartalmaz, folyamatos elektrodaerő mellett. A T2 jelzésű kötés hőkezelés nélküli egyszerű munkarenddel készítettük, hogy jól szemléltethető legyen az acél repedésérzékenysége. A T3 kötés esetében a hőkezelő ciklus előtt 3 áramimpulzussal hegesztettük össze a lemezeket, a T4 jelölésű kötésnél pedig 2 áramimpulzust alkalmaztunk a pontvarrat létrehozásához. A T1 és T2 jelű paraméterekkel készítettünk próbatesteket nyíró – szakító vizsgálatra, ezen felül mind a 4 paraméterrel készítettünk 1 - 1 kötés keménységmérésekhez.

A következő paramétereket állandó értéken tartottuk:

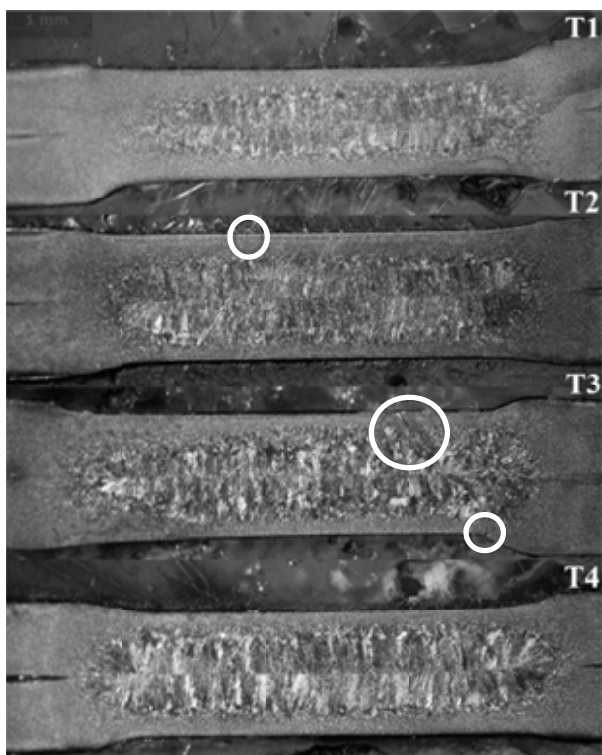
- Előtartási idő: 78 periódus,
- Áram felfutási idő: 20 periódus,
- Impulzusszám: 1,
- Impulzus-szünet idő: 0 periódus,
- Utótartási idő: 47 periódus,

A T1 jelű kötés esetében  $F_m = 11,61 \text{ kN}$ , a T2 kötés esetében pedig  $F_m = 10,87 \text{ kN}$  nyíró - szakító erő mértünk. A kapott nyíró – szakító erők mindkét esetben meghaladják a [2] alapján kiszámított minimális nyíró – szakító erő értékét (7,21kN), így azok szilárdsági szempontból megfelelőnek minősíthetők.

4. táblázat. TRIP acél hegesztésének paraméterei

Hegesztési paraméterek	Próbadarab jelölése			
	T1	T2	T3	T4
$I_{\text{heg}}$ (kA)	10	10	3 x 10	2 x 10
$t_{\text{heg}}$ (ms)	260	260	3 x 180	2 x 210
$F_{\text{heg}}$ (daN)	385	385	385	385
$t_{\text{szünet}}$ (ms)	60	0	60	60
$I_{\text{hök}}$ (kA)	4	0	4	4
$t_{\text{hök}}$ (ms)	600	0	600	600

A kötésekben készített csiszolatok a 8. ábrán láthatóak. A képen pirossal bekarikáztuk a felfedezett repedéseket, melyek a T2 és T3 kötésekben jelentek meg. A repedések a szakirodalmi adatokkal összhangban kristályosodási repedések és korábbi vizsgálataink során is hasonló repedéseket tapasztaltunk [4].



8. ábra. TRIP acélok ponthegeesztett kötéseinek makroszerkezete

A repedés akkor jött létre, ha egyszerű munkarendet alkalmaztunk, illetve ha 3 impulzus alkalmazásával készült a kötés. Az utólagos hőkezelés szükséges a repedés elkerülésére, a 3. ábra szerinti V4 munkarend tűnik jól alkalmazhatónak.

A keménységmérés eredményeit a 9. ábrán mutatjuk be. A keménység eloszlásában a hegesztési munkarendtől függetlenül nem találtunk lényeges eltéréseket. Vizsgálataink szerint a varratban lényegesen nagyobb keménység jön létre az alapanyag keménységéhez viszonyítva. Az utólagos hőkezelés alkalmazása nem hozott létre elfogadható keménységet.

Valószínű, hogy az utólagos hőkezelés idejét növelni kell.

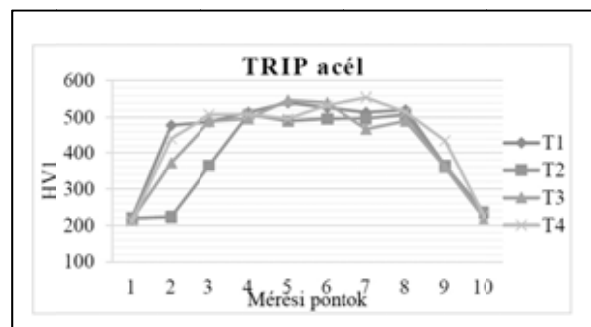
A megfelelő munkarend és hegesztési paraméterek meghatározása további kísérletek elvégzését teszi szükségessé.

## 5. TWIP ACÉLOK ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE

A TWIP acél magas mangántartalommal rendelkező acél, ezért szobahőmérsékleten is ausztenites szövetszerkezetű. Az ausztenites szerkezet és a deformáció hatására megjelenő ikerkristályoknak köszönhetően kiválóan alakítható acél. Emellett a TWIP acél szakítószilárdsága az 1000 MPa-t is meghaladhatja, 20 % -nál nagyobb szakadási nyúlás mellett.

5. táblázat. A vizsgált TRIP acél összetétele

Elem	C	Mn	Si	Al
Tömeg %	0,17	1,77	0,35	1,2



9. ábra. TRIP acélok hegesztett kötéseiben mért keménységeloszlás

A vizsgált TWIP acélt öntött állapotban kaptuk (C = 0,05 %, Si = 2,59 %, Mn = 24 %, S = 0,01 %, P = 0,01 %) és hőkezeléssel alakítottuk ki az anyagra jellemző szövetszerkezetet. Képlékeny hidegalakítással (hengerléssel) hoztuk létre a szükséges szövetszerkezetet.

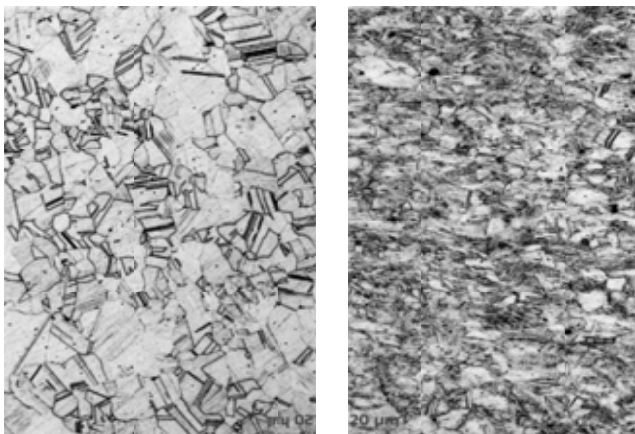
A TWIP acélokra jellemző szövetszerkezet és az alakított szerkezet a 10. ábrán látható.

Hengerlés után  $R_m=1412$  MPa szakítószilárdságot és  $A = 20,3$  % szakadási nyúlást mértünk az alapanyagon.

Az ellenállás ponthegeztési paraméterek az előkísérletek során a következők voltak:  $I_1 = 6$  kA,  $I_2 = 7$  kA,  $I_3 = 8$  kA,  $t = 350$  ms,  $F = 3$  kN (az előtartási idő 60 ms és az utótartási idő, pedig 30 ms) [5] alapján.

A kötések minőségét nyíró - szakítóvizsgálattal ellenőriztük, a szükséges nyíró - szakító erő értéke az alapanyagban mért szilárdság alapján (1412 MPa a három mérés átlagából) a 1 mm-es lemezvastagságot figyelembe véve: 7,54 kN, [2] alapján.

A hegesztett kötésekben  $F_{m1}=8,741$  kN,  $F_{m2}=10,236$  kN és  $F_{m3}=9,731$  kN nyíró - szakító erőt mértünk.

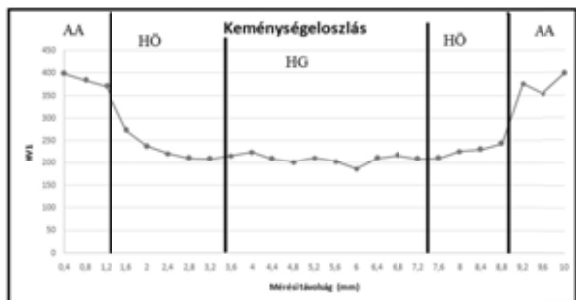


10. ábra. A TWIP acél alakítás nélküli és alakított mikroszerkezete

A második beállítást alkalmazva – ekkor mértük a legnagyobb nyíró – szakító erőt – több kötést is készítettünk és ezeken végeztük el a szükséges vizsgálatokat.

A nyíró – szakító vizsgálat szerint,  $F_{m4}=10,45$  kN;  $F_{m5}=10,36$  kN és  $F_{m6}=9,406$  kN, erőket mértünk, ezek átlaga: 10,07 kN. Az eredmények megfelelnek a korábban már megadott szükséges nyíró - szakító erőnek.

A keménységeloszlást a 11. ábrán mutatjuk be. A varratfémbe kilágyulást tapasztaltuk, a kilágyulás elkerülésére további vizsgálatokat kell elvégezni.



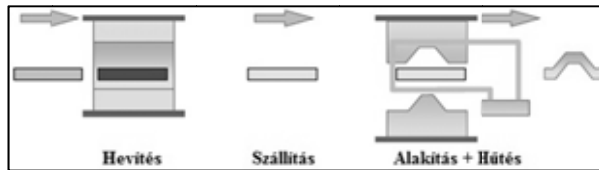
11. ábra. TWIP acél ellenállás ponthegeztett kötésében mért keménységek

## 6. MN – B ÖTVÖZÉSŰ MELEGEN ALAKÍTHATÓ ACÉLOK (HF) ELLENÁLLÁS PONTHEGESZTÉSE

A legnagyobb szilárdságokat a Mn – B ötvözésű acéloknál mérték. Ezekre jellemző, hogy melegen alakítják őket és alakítás után az alakító szerszámban edzik. Az előgyártmány különleges bevonattal van ellátva, ez biztosítja azt, hogy nem revésedik a megalakítás során. A hőkezelés eredményeképpen nagy részében martenzites szövetszerkezetű alkatrészt kapnak (12. ábra).

A martenzites acélokon (C = 0,25 %, Si = 0,35 %, Mn = 1,4 %, Cr = 0,3 %, B = 0,005 %) végzett ellenállás ponthegeztési kísérleteink célja az volt, hogy megfelelő

szilárdságú kötést készítsünk, továbbá vizsgáljuk a hőhatásövezet valamint a varrat keménységét, így az ipari felhasználásra is javasolható megfelelő hegesztési paramétereket határozzunk meg.



12. ábra. Mn - B ötvözésű HF acélok feldolgozásának lépesei [6]

A lemezeket hőkezeltük, ausztenitesítés után olaj és vízű hűtést alkalmaztunk.

A HF acélokon az 6. táblázat szerinti hegesztési paramétereket alkalmaztuk az előkísérletek során. A másodlagos paramétereket állandó értéken tartottuk. (Előtartási idő: 80 periódus, áram felfutási idő: 20 periódus, impulzusszám: 1, impulzus-szünet idő: 0 periódus, utótartási idő: 50 periódus).

6. táblázat. HF acélok hegesztési paramétereit

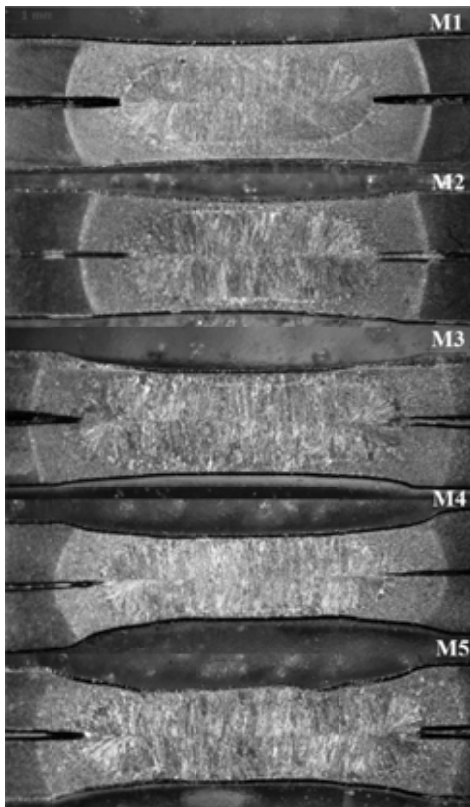
Hegesztési paraméterek	Próbadarab jelölése				
	M1	M2	M3	M4	M5
$I_h$ (kA)	5,3	6	7	7	8
$t_h$ (ms)	400	300	300	240	240
$F_{heg}$ (daN)	500				

A hegesztett kötések makroszerkezetei a 13. ábrán láthatók.

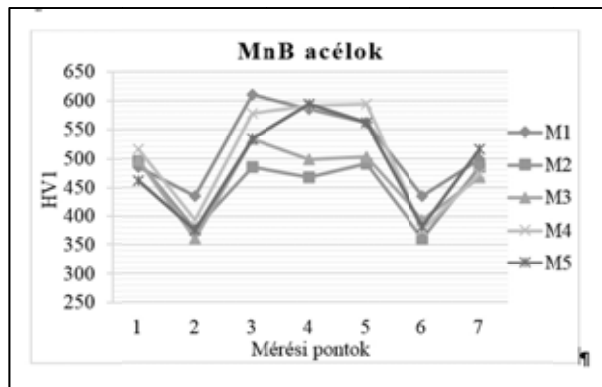
A makroszerkezet alapján az M3, M4 és M5 jelű kötés túlhevítettnek látszik. A [7] irodalom szerint célszerű minél kisebb áramot és minél nagyobb nyomóerőt alkalmazni, ennek megfelelően terveztük meg a kísérletek.

A hegesztett kötésekben kapott nyíró - szakító erő nem érte el a szükséges értéket (28,24 kN). A magas érték az alapanyag nagy szilárdságából adódik. A mért legnagyobb nyíró – szakító erő 18,45 kN volt. A kötések kigombolódással szakadtak el, így lehetséges, hogy a szükséges nyíró - szakító erőre más kritériumot kell adni.

A legjobbnak az  $I_h = 6$  kA,  $t_h = 300$  ms,  $F_h = 500$  daN paramétereket tartottuk. Ezzel a paraméterrel készített kötésekben szilárdsági vizsgálatokat és keménységmérést végeztünk. A szilárdságban nem tudtuk elérni a szükséges értéket. A kapott keménységeloszlás a 14. ábrán látható.



13. ábra. HF acélok ponthegeesztett kötéseinek makroszerkezete



14. ábra. A HF acélok ponthegeesztett kötéseinek keménységeloszlása

A keménységeloszlás szerint a hőhatás övezetben kilágyulás, a varratban pedig az alapanyagnál nagyobb keménység jött létre. A megfelelő hegesztési munkarend meghatározása további kísérleteket igényel.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A műszaki fejlődés egyik jelentős eredménye az ultra-finomszemcsés szerkezetű anyagok kifejlesztése. Ezek előállításának vizsgálatára, feldolgozásukra, tulajdonságaik megismerésére több kutatási program is született. Ilyen program volt a Dunaújvárosi Főiskola TÁMOP 4.2.2.A – 11/1/KONV-2012-0027 számú

projektje. Ennek keretében megvizsgáltuk a különböző módszerrel készített ultra-finomszemcsés anyagok hegesztésének lehetőségeit is. Célunk olyan hegesztési technológia illetve eljárás alkalmazása volt, amely nem okoz szemcsedurvulást, illetve nem hoz létre nem kívánt kiválásokat.

Az autóiparban alkalmazott korszerű nagyszilárdságú acélok kategóriájába tartozó DP, TRIP, TWIP és HF acéloknál megvizsgáltuk, hogy az ellenállás ponthegeztés okoz-e szemcsedurvulást a hőhatás övezetekben, illetve a varratokban mérhető keménységet hogyan tudjuk az alapanyagok keménységéhez közelíteni. Arra a következtetésre jutottunk, hogy célszerű összetett munkarenddel hegesztetni a korszerű nagyszilárdságú acélokot. Eredményeink összhangban vannak a [8] irodalom eredményeivel. A legjobban alkalmazható hegesztési munkarend meghatározásához további kísérleteket kell végezni.

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat különszám, Dunaújvárosi Főiskola, TÁMOP-4.2.2.A - 11/1/KONV-2012-027, 2014. 5. – 6. szám, 147. évfolyam, p. 4 – 50. ([www.ombkenet.hu](http://www.ombkenet.hu))
- [2] Advanced High Strength Steel (AHSS), Application Guidelines, Version 5.0. Written by International Iron & Steel Institute, Committee on Automotive Applications, May 2014. [www.worldautosteel.org](http://www.worldautosteel.org)
- [3] S. KEELER, M. KIMCHI: Advanced High-Strength Steel Application Guidelines Version 5.0. In: [worldautosteel.org \[online\]. \[2014. 05. 14.\] <http://www.worldautosteel.org/projects/advanced-high-strength-steel-application-guidelines/>](http://www.worldautosteel.org/projects/advanced-high-strength-steel-application-guidelines/)
- [4] C. OROSZ, B. PALOTÁS, J. DOBRÁNSZKY: Welding Investigations of Modern High Strength Dual Phase and TRIP – steel for Automotive Industry application, Journal Materials Science Forum, Vols. 537-538 (2007). p.: 431 - 438
- [5] J. YU, D. CHOI, S. RHEE: Improvement of Weldability of 1 GPa Grade Twin-Induced Plasticity Steel, Welding Research, Marc 2014
- [6] ArcelorMittal: Hot Stunkping with USIBOR1500P. In: AP&T Advanced Hot Stunkping Seminar, Detroit, (2010.11.15.)
- [7] Y.-S. JONG, Y.-K. LEE, D.-C. KIM, M.-J. KANG, IN-S. HWANG, W.-B. LEE: Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Ultra High Strength Steel Containing Boron. In: Materials Transactions, Vol. 52, No. 6 (2011) p.: 1330-1333.
- [8] BALOGH A. – PRÉM L.: Hagymányos és korszerű autóipari acéllemezek ponthegeesztetőségének vizsgálata, Hegesztés-technika, XXIV. évf. 2013.4. szám, p.: 41 – 49.