

A TRIP ACÉL PONTHEGESZTÉSÉNEK HATÁSA

RESISTANCE SPOT WELDING EFFECT IN CASE OF TRIP STEEL

Vajdics Dániel¹, Kovács-Coskun Tünde²

^{1,2} Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, 1084 Magyarország, Budapest, Népszínház u. 8; Telefon / Fax: +36-1-666-5327, vajdics.daniel@hotmail.com, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The TRIP steel is a widely applicable advanced high strength steel type, which has good strength and ductile properties besides low carbon and alloying elements. Since its structure is composed by ferrite, bainite, martensite and retained austenite, transformation can happen in its structure during spot welding, where its mechanical properties can change. In our experiments we tried to examine the spot welding effect in an experimental way with several adjustments.

Keywords: resistance spot welding, TRIP steel, microstructure, mikrohardness

Összefoglalás

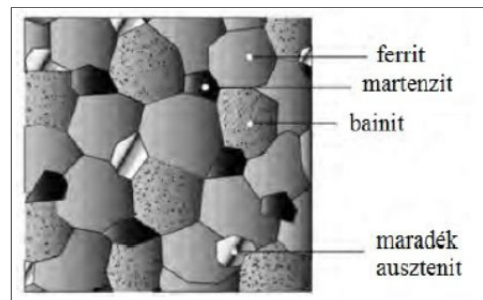
A TRIP acél egy széles körben alkalmazható, növelt szilárdságú acéltípus, mely alacsony karbon- és ötvözőtartalom mellett is jó szilárdsági és szívóssági tulajdonságokkal rendelkezik. Mivel szövetszerkezetét ferrit, bénit, martenzit és maradék ausztenit alkotja, ponthegesztése során a szövetszerkezetben átalakulások jöhetnek létre, melyeknek hatására a mechanikai tulajdonságok is megváltoznak. Kísérleteinkben a ponthegesztés hatását vizsgáljuk kísérleti úton különböző beállítások mellett.

Kulcsszavak: ellenállás-ponthegesztés, TRIP acél, szövetszerkezet, mikrokeménység

1. Bevezetés

A TRIP (Transformation Induced Plasticity) más néven fázisátalakulással kiváltott képlékenységgel rendelkező acél a nagyszilárdságú acélok (Advanced High Strength Steel) családjába tartozik [1]. A nagyszilárdságú acélok kiemelt jelentőséggel bírnak a gépjárműipar számára, általában a karosszériaelemek alkotói. A nagyszilárdságú acélok további fajtái: duál fázisú (DP: Dual Phase), komplex fázisú (CP: Complex Phase), ferrite-bénites (FB: Ferritic-Bainitic), martenzites (MS: Martensitic), valamint a melegen alakított (HF: Hot Formed) és a legújabb fejlesztésű,

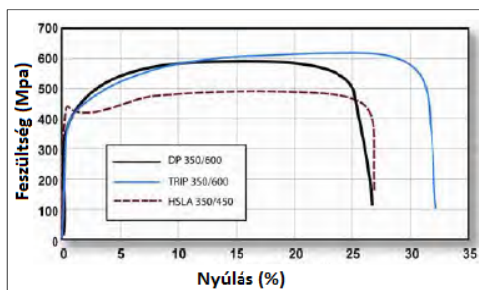
ikerképződéssel előidézett képlékenységgel rendelkező (TWIP: Twinning-Induced Plasticity) acélok [2].



1. ábra. TRIP acél mikroszerkezete [2]

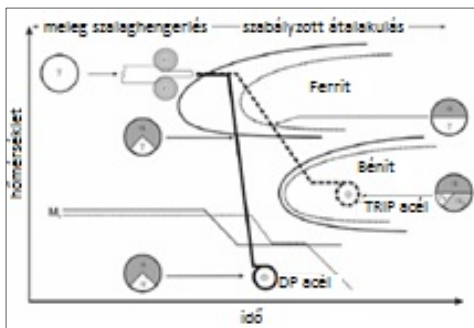
A TRIP acélok mikroszerkezete többfázisú (ferrit, bénit, ausztenit, martenzit), mint ahogy az **1. ábrán** látható.

A szövetszerkezete nagyrészt ferritből tevődik össze és minimum 5 térfogatszázalék maradék ausztenitet tartalmaz, valamint kemény szövetelemeket, bénitet és martenzitet [4]. A TRIP acél legfőbb tulajdonsága, hogy jól alakítható, és ugyanakkor nagy szilárdsággal rendelkezik. A nagy szilárdság hidegalakítás hatására alakul ki. Az ausztenit alakítás következtében progresszíven martenzitté alakul át. A **2. ábrán** látható egy TRIP350/600 (folyáshatár=350MPa, szakítószilárdság= 600MPa) típusú acél szakítódiagramja (a feszültség a mérnöki nyúlás függvényében), összehasonlítva a DP350/600 és HSLA350/450 (High Strength Low Alloy) acélokkal.



2. ábra. Nagyszilárdságú acélok összehasonlító szakítódiagramjai. [2]

A TRIP acélok többes fázisú szövetszerkezete többlépcsős hőkezeléssel érhető el (**3. ábra**). A melegszalag utolsó szúrása vagy a hidegszalag felhevítése után úgynevezett interkritikus hőkezeléssel, amely A_1 és A_3 hőmérsékletek között van 50-50% ferrit és ausztenit szövetszerkezet keletkezik. Ezt követően bénites mezőbe 350-500 °C-ra kell hűteni az acélt 15-32 °C/s hűtési sebességgel, összetételtől függően. A bénites mezőből 3-10 perc állandó hőntartást követően megkezdődik a viszonylag lassú (3-8 °C/s) hűtés szobahőmérsékletre.



3. ábra. TRIP acél gyártása. [3]

A TRIP acélokat a gépjárműipar előszeretettel használja karosszériaszervezeti elemekhez, főleg az ütközési energiát elnyelő elemek részeként és az utascella oldalsó elemeiként. Ütközés alkalmával nagy energiát képes elnyelni, az anyag szilárdsága deformáció következtében növekszik, ami a fázisátalakulásnak köszönhető (a maradék ausztenit alakítás következtében martenzitté alakul). A másik ok amiért jól alkalmazható az autóipar számára, nagymértékű alakíthatósága, ami lehetővé teszi bonyolultabb formájú karosszériaelemek gyártását is.

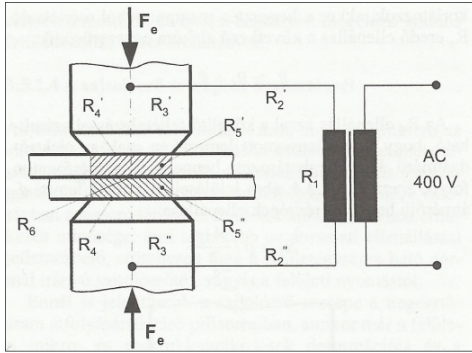
2. Ellenállás-ponthegesztés

Az ellenállás-ponthegesztés vékony lemezek átlapolott kötésére alkalmas eljárás. Hengeres elektródákkal közrefogott lemezekben átfolytatott áram hatására a munkadarabban ellenállás lép fel, aminek következtében hő keletkezik, ez az úgynevezett ellenálláshő. A Joule-Lenz-törvény (1) értelmében a szilárd fázisú elektromos vezetőn fejlődő hő(energia) függ az ellenállástól (R) és az ellenálláson átfolyó (I) áramerősségtől [5]:

$$E_r = \int_{t=0}^{t_h} I(t)^2 \cdot R(t) \cdot dt \quad (1)$$

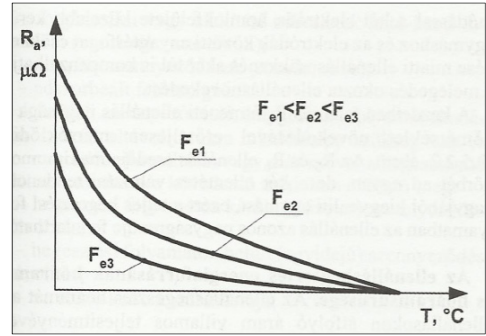
Ellenállásponthegesztésnél kétféle ellenállásnak van szerepe az anyagok belső

ellenállásának és az érintkezésüknél fellépő átmeneti ellenállásnak [4].



4. ábra. Az ellenállás-ponthegesztés hevítési szakaszában érvényre jutó ellenállások [5]

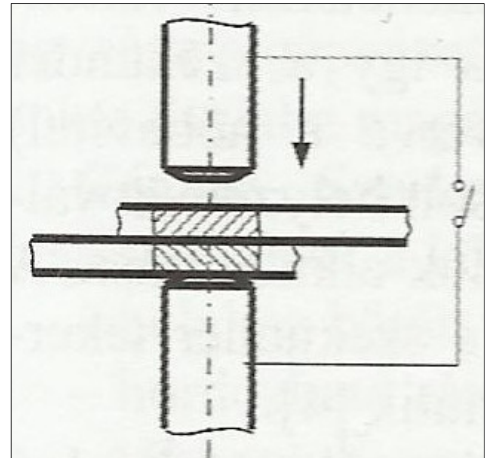
A 4. ábrán az R_4 az érintkezési és R_6 az átmeneti ellenállást, az R_5 az anyag belső ellenállását jelöli. Az érintkezési ellenállás az elektródák és a darabok érintkezési felületein van jelen, ami elhanyagolható az elektródák jó hővezető-képessége, ill. hűtése miatt. A lemezek belső ellenállása a hőmérséklet növekedésével számottevően nő, amit a számításoknál figyelembe kell venni. Az átmeneti ellenállás a nem tökéletesen sík felületek pontszerű érintkezési helyein létrejövő helyi áramsűrűség-növekedésből és a felületi szennyezettségéből ered. Az átvezetett áram Joule-hője az alkalmazott nyomóerővel együtt a felületi érdességsúcsokat ellapítja, a felületi szennyeződéseket roncsolja. Ilyen módon a két anyagdarab rövid idő múlva szinte tökéletes fémes érintkezésbe kerül egymással, aminek következtében az átmeneti ellenállás megszűnik. Ezt mutatja az 5. ábra [5].



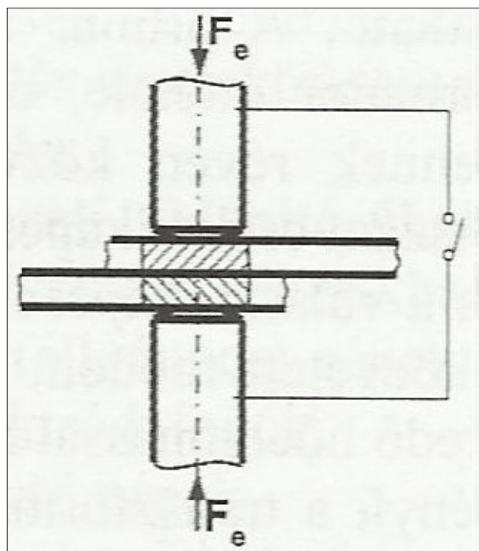
5. ábra. R_a átmeneti ellenállás a T hőmérséklet és az elektródaerő F_e függvényében [5]

A hőfejlődés az érintkezési zóna hőmérsékletét növeli, miáltal a fémes anyagok ellenállását is növeli, vagyis az áramkörnek továbbra is a darabok érintkezésénél lesz a legnagyobb ellenállása, itt fejlődik a legtöbb hő [5].

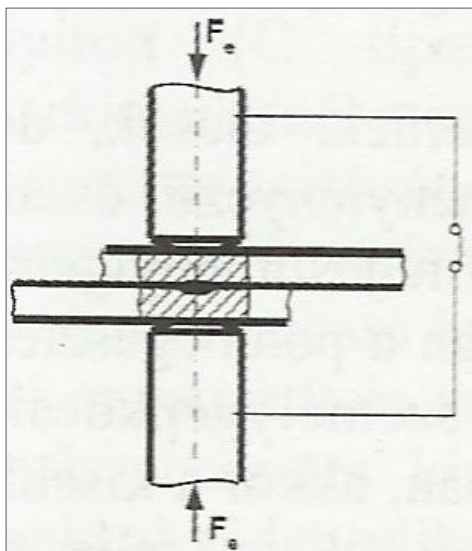
A ponthegesztett kötés létrehozásának fázisait a következő ábrák (6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f) szemléltetik:



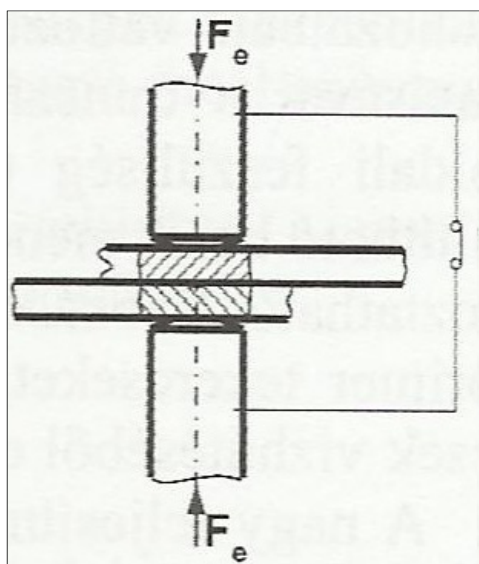
6a. ábra. A munkadarab pozicionálása az alsó elektróda érintkezésével, majd a felső elektróda elmozdulásával összezárás megkezdése [5]



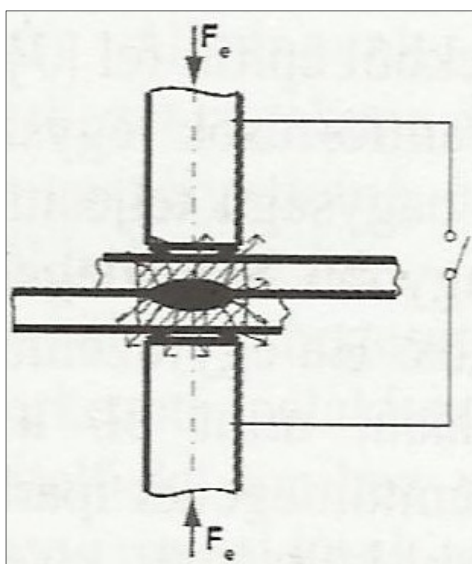
6b. ábra. Elektrodák zárása, a szükséges elektrodaerő kifejtése a munkadarabra [5]



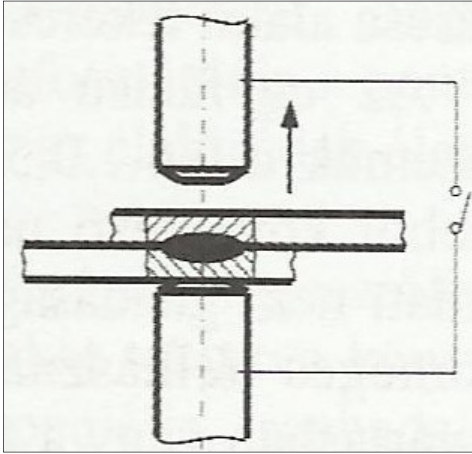
6d. ábra. Lencse alakú ömledék létrejötte és növekedés. [5]



6c. ábra. Az elektrodaerő hatása alatt a szekunder áramkör zárása [5]



6e. ábra. A szekunder áramkör nyitása után az elektrodaerő fenntartása mellett a hegfűrdő dermedése megkezdődik [5]



6f. ábra. Az elektródák szétnyitása [5]

Az ellenállás-ponthegesztés technológiáját megkülönböztethetjük lágy, illetve kemény munkarenddel. Ugyanazt a bevitt hőenergiát előállíthatjuk rövidebb ideig tartó nagyobb árammal és hosszabb ideig tartó kisebb árammal is. Az előbbi a kemény munkarend, amelyet jó hővezető fémeknél alkalmaznak, mint például az alumíniumnál, a réznél és ötvözeteinél. A lágy munkarend edződésre hajlamos acélokra ajánlott, de akkor is alkalmazható, ha a hegesztőberendezés nem képes megfelelő teljesítményre. Ha lehet választani a két munkarend közül, akkor a kemény munkarend javasolt inkább, mert kevesebb veszteséggel jár, gazdaságosabb folyamat [5].

2.1. Pontheesztő-berendezés

A TRIP acélok kísérleti pontheesztése egy PFB 116 típusú, párhuzamos löketű asztali pontheesztőgépen történt (7. ábra).

Főbb jellemzői:

- névleges teljesítmény 50% $x = 15\text{kVA}$;
- max. hegesztőáram: 9,2kA;
- elektródaerő (6 bar esetén): 185daN;
- üresjáratú feszültség: 3,5V;
- hasznos karkinyúlás: 275mm.



7. ábra. PFB 116 ellenállás pontheesztőgép [6]

A felső elektróda mozgatása pneumatikus működtetésű. Az elektródák vízhűtéssel vannak ellátva. A hegesztőgép PX1500 plus vezérléssel rendelkezik a hegesztési ciklus irányítására. Az időzítő egységidejét a hálózati periódus (50Hz) határozza meg, mely megfelel a másodperc 1/50-es részének.

A gépen 9 programhely található:

- előtartási idő (0-99 periódus);
- áram felfutási idő (0-20 periódus);
- hegesztési idő (0-99 periódus);
- teljesítmény (0-99)
- impulzusszám (1-20)
- impulzus-szünet idő (0-99 periódus)
- utótartási idő (0-99 periódus)
- nyugalmi idő (0-99 periódus)
- energia funkció (0-1)

2.2. Hegesztési paraméterek

A pontheesztésnél három paraméter változott, az áramerősség (I), hegesztési idő (t_h), valamint a hűtés jellege (vízhűtéssel vagy levegőn hűtve).

1. táblázat. Beállított hegesztési paraméterek

Jelölés	I [kA]	t_h [s]
T1 (levegőhűtéssel)	5,9	30
T2 (levegőhűtéssel)	6,3	25
T3 (vízhűtéssel)	5,9	30
T4 (vízhűtéssel)	6,3	25

A gépen beállítható többi érték állandó:

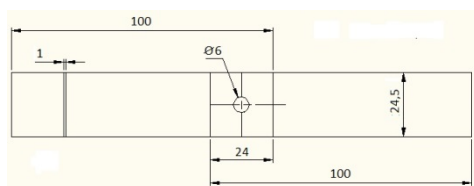
- előtűrtási idő: 99 periódus
- áramfelfutási idő: 20 periódus
- impulzusszám: 1
- impulzusszünet idő: 0
- utótűrtási idő: 5 periódus
- nyugalmi idő: 0
- energiafunkció: 0
- elektródaerő (F_h): 1,85kN

3. Vizsgálatok

A hegesztett próbadarabok minősítése nyíró-szakítóvizsgálattal történt. A pontkötésekhez ez a legáltalánosabban használt roncsolásos vizsgálat. A vizsgálat szakítógépen történik, amelynek során regisztrálásra kerül az erő, illetve az elmozdulás.

Az elnyírt próbatestek mikroszkópi vizsgálattal és keménységméréssel is minősítésre kerültek.

A hegesztett próbadarabok geometriai méretei a 8. ábrán láthatóak:



8. ábra. Próbatest geometriai méretei

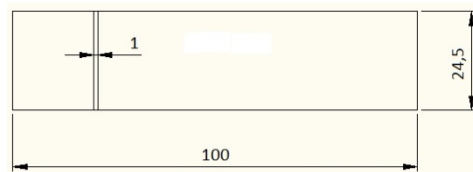
A kémiai összetétel a 2. táblázatban látható tömegszázalékban kifejezve:

2. táblázat. TRIP700 kémiai összetétele (%-ban) [3]

C	Mn	Si	Al	P	S
0,2	1,7	0,35	0,5	0,112	0,008

A vizsgált próbatestek korrózióvédelmi okok miatt cinkbevonattal is el vannak látva.

A TRIP700 acél szakítóvizsgálatához felhasznált próbatestek geometriai méreteit a 9. ábra mutatja.



9. ábra. Szakítópróbatest geometriai méretei.

A vizsgálat egy 130kN mérési tartományú szabályozott hajtású orsós szakítógépen került végrehajtásra. A szakítás során az erő és a hozzá tartozó elmozdulás regisztrálása történt, amelyből számítható volt a szakítószilárdság. A szakítógép a próbatesteket 12 mm/min sebességgel húzta.

A mérési eredmények átlagából számolt szakítószilárdság 695 MPa.


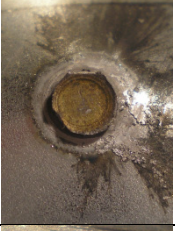


3.1 Nyíró-szakítóvizsgálat

A 3. táblázatban összesítve vannak a vizsgálat eredményei, a szakítóerő átlagolt értékei, illetve a heglencseátmérő átlagai.

3. táblázat. Vizsgálat eredményei

Jel	F(kN)	Heglencseátmérő (mm)
T1	11,3	5
T2	11	5,6
T3	10,6	5,3
T4	11,3	5,1

4. táblázat. A vizsgálat utáni hegpontok

Jel	Hegesztett kötés képei	F(kN)
T1		11,3
T2		11
T3		10,6
T4		11,3

A 4. táblázatban látható a szakítóerő és a hegesztett kötés szakítás utáni fényképe a négy különböző beállítás esetén.

4.2 Keménységmérés



10. ábra. Mikrokeménység-mérés helye

A hegesztett pontvarratok keresztmetszetének közepén Vickers-mikrokeménység mérést végeztünk. A 10. ábrán a mérés helye látható. A mérés ZWICK 3212 típusú optikai keménységmérő berendezésen történt. A keménységmérés 1,2 kg terheléssel történt.

5. táblázat. Keménységértékek

Jel	Áram-erősség (kA)	Víz-hűtés	Keménység (HV1,2)
T1	5,9	-	500
T2	6,3	-	470
T3	5,9	van	510
T4	6,3	van	585

5. Megállapítások

1. A kötés nyíróerejét nem befolyásolta nagymértékben a hegesztés során az elektrodahűtés, amely jól látható a 3. táblázatból.

2. A hegpont átmérője az alkalmazott paraméterektől kismértékben függött.

3. Keménység a hegpont közepén (5. táblázat) a hűtött próbadarab esetében megnőtt.

4. Magasabb áramerősséggel hűtés nélkül végzett kísérletnél a hegközep pontban mért keménység alacsonyabb, valószínűleg a nagyobb bevitt hő megeresztette a kialakult hegpont szerkezetét, míg azonos áramerősséggel (nagyobb hőbevitel) és hűtéssel is végzett ponthegesztés esetén a keménység jelentősen nőtt.

5. Feltételezhető, hogy a hegesztett varrat mechanikai tulajdonságai javulnak, ha hegesztés után nem történik gyors hűtés, hanem biztosított a lassú lehűlés.

Amennyiben a hegesztés során biztosítani tudnánk az acél gyártása során alkalmazott hűlési körülményeket, akkor a heg-

pont és a hőhatásövezet szívóssága az alapanyagnak megfelelő lehetne.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Zsoldos I.: *Különleges autóipari acélötvözetek, karosszériaelemek lemezanyagai*. Széchenyi István Egyetem.
http://www.sze.hu/~zsoldos/valogatott_fejezete_k_az_anyagtudomanybol_MSc_leckek/Korszer%C5%B1_ac%C3%A9lok_lecke.pdf
- [2] Keeler, S., Sc.D. Mechanical Metallurgy, Menachem Kimchi, M.Sc. Welding Engineering: Advanced High-Strength Steels Application Guidelines Version 5.0. 2014.május.
- http://309fbf2c62e8221fbaf0-b80c17cbaf20104b072d586b316c6210.r88.cf1.rackcdn.com/AHSS_Guidelines_V5.0_20140514.pdf
- [3] Orosz Cs.: *Nagyszilárdságú TRIP-acélok hegesztett kötéseinek vizsgálata*. 2006.
- [4] Bagyinszki, Gy.; Bitay, E.: *Hegesztéstechnika I. eljárások és gépesítés*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010.
- [5] Szunyogh, L.: *Hegesztés és rokon technológiák*. Kézikönyv. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007.
- [6] REHM hegesztéstechnika: Ellenálláshegesztés katalógus 2013.
http://www.rehm.hu/download/dokumentumok/EH_katalogus_2013_1.pdf