

---

# Nagyszilárdságú acéllemezek ellenállás-ponthegesztett kötéseinek optimalizálása

## Optimization of the resistance spot welded joints of high strength steel sheets

KISS László<sup>1,2</sup>, MÁJLINGER Kornél<sup>1,3</sup>, VARBAI Balázs<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Anyagtudomány és Technológia Tanszék  
1111, Budapest, Bertalan Lajos utca 7.

Tel.+36 1 463 1115, Fax: +36 1 463 1366 E-mail: matsci@att.bme.hu, www.att.bme.hu  
E-mail: laci93811@gmail.com<sup>2</sup>, welding@att.bme.hu<sup>3</sup>, varbai.balazs@gmail.com<sup>4</sup>

### ABSTRACT

*Sheets of high strength steel; TRIP 800 (Transformation Induced Plasticity) and ultra high strength steel; S 1300 were resistance spot welded. The welding parameters for both steel types were optimized to achieve maximal shear tensile strength, firstly without spattering and eventually with spattering. In case of TRIP 800 sheets the achieved maximal shear tensile strength was ~11,1 kN, in case of S1300 steel ~20 kN with sputtering.*

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Nagyszilárdságú TRIP 800 (Transformation Induced Plasticity) acéllemezek és ultra-nagyszilárdságú S 1300-as acéllemezek ellenállás-ponthegesztését optimalizáltuk két szempontrendszer szerint. Elsőként a fröcskölés nélkül elérhető majd a fröcskölés mellett elérhető maximális szilárdság érdekében. A TRIP 800 kötések esetében ~11,1 kN maximális szakítóerőt míg az S 1300-as acéllemezeknél ~20 kN maximális szakítóerőt sikerült elérni fröcskölés mellett.*

**Kulcsszavak:** nagyszilárdságú acél, ultra-nagyszilárdságú acél, TRIP acél, ellenállás-ponthegesztés

## 1. BEVEZETÉS

A különböző mozgó gépelemek energiaigényének csökkentése érdekében, egyre kisebb önsúlyú alkatrészek gyártása a cél. Különösen érdekes ez tömeggyártásban például az autóiparban, ahol az önsúly csökkentése üzemelés során jelentős üzemanyag-felhasználás csökkenéssel és ezáltal kevesebb károsanyag-kibocsátással is jár. Az egyre kecsesebb de egyre nagyobb teherbírású szerkezetek építéséhez értelemszerűen egyre nagyobb teherbírású acélok felhasználása indokolt, pl.: nagyszilárdságú szerkezeti acélok, melyek folyáshatára már eléri az 1300 MPa-t is [1] vagy épp nagy alakváltozó képességű TRIP (Transformation Induced Plasticity; fázisátalakulás indukálta képlékenység) [2]. Ezen acélok hegesztése, így ellenállás ponthegesztése szövetszerkezetük, vagy éppen összetételük okán nehézségekbe ütközhet [3-7]. Éppen ezért jelen cikkünkben kettő nagyszilárdságú acéllemez ponthegesztéssel készített kötéseit vizsgáltuk.

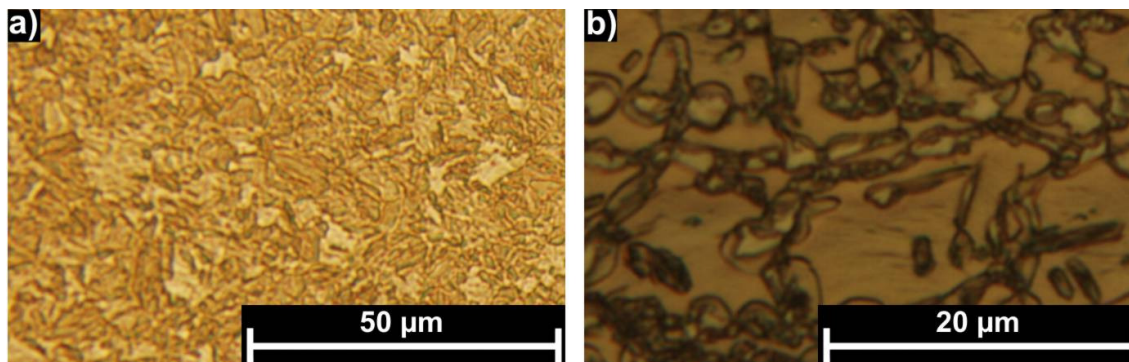
## 2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

A hegesztési kísérleteinkhez kettő gyengén ötvözött de nagy szilárdságú acélt választottunk. Az egyik egy hazai gyártású TRIP (transformation induced plasticity, fázisátalakulás indukálta képlékenység) acéltípus volt. A szakítóvizsgálatok alapján (ld. 1. táblázat) ez TRIP 800-as acélminőségnek felelt meg. A másik alapanyag Svéd gyártású 1300 MPa minimális folyáshatárral rendelkező (gyártói adat[1] S 1300-nak megfelelő szerkezeti acél. A TRIP 800 1.2 mm míg az S 1300 1 mm vastagságú vékonylemezek voltak. Az alapanyagok főbb mechanikai tulajdonságai az 1. táblázatban míg kémia összetételük – PMI Master sort emissziós spektrométerrel mérve a – 2. táblázatban látható.

1. táblázat. A felhasznált acélok főbb mechanikai tulajdonságai

Acéltípus	Hosszirányú szakítópróba			Keresztirányú szakítópróba			Keménység (HV1)
	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>10</sub> (%)	Z (%)	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>10</sub> (%)	Z (%)	
<b>S 1300</b>	1840±35	4±1	9±2	1805±23	4±1	9±2	463±25
<b>TRIP 800</b>	896±88	33±1	37±1	894±72	28±3	34±4	277±20

A miroszkópos felvételekhez Olympus SZX16 típusú sztereomikroszkópot és Olympus PMG 3 típusú fémmikroszkópot használtuk.



1. ábra. Mikroszkópos felvételek az alapanyagok szövetszerkezetéről; a) S 1300 (2%-os Nitál marószerral maratva), b) TRIP 800 (Marder & Bernscoter marószerral maratva)

A varratok keménységprofilját Buehler 1105 típusú mikrovickers keménységmérővel 1000 g terheléssel határoztuk meg. Az alapanyagok szövetképei az 1. ábrán láthatók, ezek alapján mindkét acél finomszemcsés volt a TRIP 800 ~60% ferritet, 25 % bénitet ~10 % maradék ausztenitet és martenzitet. tartalmazott az S 1300-as acél szövete bénites volt.

2. táblázat. A felhasznált acélok kémiai összetétele és számolt szénegyenétékei

Acéltípus	Kémiai összetétel (tömeg%)										
	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Co	Cu	Ti	CET
<b>S 1300</b>	98,4	<0,05	0,23	1,04	0,036	0,024	0,037	0,017	0,133	0,032	<b>0,18</b>
<b>TRIP 800</b>	97,4	0,062	0,42	1,48	0,016	0,011	0,540	-	0,045	-	<b>0,21</b>

A hegesztési kísérleteket P.E.I.-POINT PN25 ellenállás ponthegeztő berendezéssel végeztük egyszerű munkarenddel. 12 mm átmérőjű rézelektrodával, 1600 N-os szorítóerővel, a változó paraméterek az áramerősség és a hegesztési idő voltak. A kötéseket maximális szilárdság elérésére optimalizáltuk teljes faktoriális tervek módszerrel két szempontrendszer alapján. Elsőként a fröcskölés nélkül elérhető maximális szakító erő elérésére (ez fontos szempont például karosszériaelemek gyártásánál) majd akár a fröcsköléssel elérhető maximális szakító erő elérésére végeztünk hegesztési kísérleteket. A szakításokat Tiratest 2000 típusú univerzális anyagvizsgáló géppel végeztük. Az AWS D8.1M szabvány ajánl az autóipar számára minimális nyíró szakítóerő értékeket (STS<sub>min</sub>) a következő összefüggés szerint:  $STS_{min}=[t^{1,5} \times (-2,544 \times 10^{-8} \times R_m^3 + 2,632 \times 10^{-5} \times R_m^2 + 6,696 \times R_m)]/1000$  (kN), ahol t az anyagvastagsága mm-ben és R<sub>m</sub> az alapanyag szakítószilárdsága MPa-ban megadva. A kötéseket ezen összefüggés alapján is ellenőriztük.

### 3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

A teljes faktoriális tervek módszerrel optimalizált kötés elkészítéséhez használt két változó értékét és a mért nyíró-szakítóerő értékeket a 3. táblázat tartalmazza. Mint várható volt a fröcskölésmentes lágyabb munkarend kisebb nyíró-szakítóerő értékeket eredményezett – S 1300 esetében ~40% TRIP 800-nál ~20% elérés – de minden esetben így is az STS<sub>min</sub> –nél nagyobb értékeket kaptunk, így ilyen szempontból a kötések megfelelőnek tekinthetők. Mindkét acél esetében a keményebb munkarend nagyobb varratlencsét és kisebb hőhatásövezetet eredményezett (2. ábra).

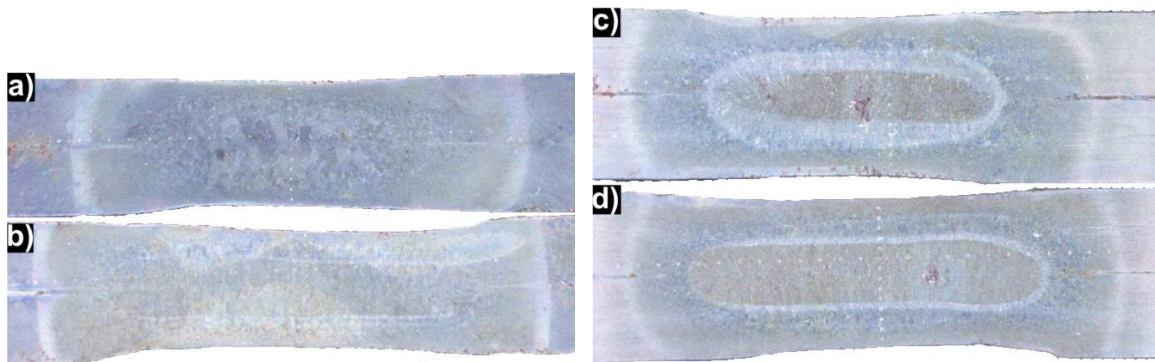
3. táblázat. Az optimalizált kötések hegesztési paramétereit és a kötések főbb tulajdonságait

Kötéstípus	Hegesztő- áram (kA)	Hegesztési idő (ms)	Nyíró- szakító erő (kN)	Lencseát- mérő (mm)	Szakítóerő/ Varratfelület (N/mm <sup>2</sup> )
S 1300 fröcskölés nélkül	4,8	1200	15,7±1,6*	4,7±0,2	890±81
S 1300 fröcsköléssel	8,0	400	20,1±4,8*	5,6±0,4	803±91
TRIP fröcskölés nélkül	4,5	2000	9,6±0,6**	5,6±0,5	388±60
TRIP fröcsköléssel	5,6	1000	11,5±1,5**	5,9±0,3	404±61

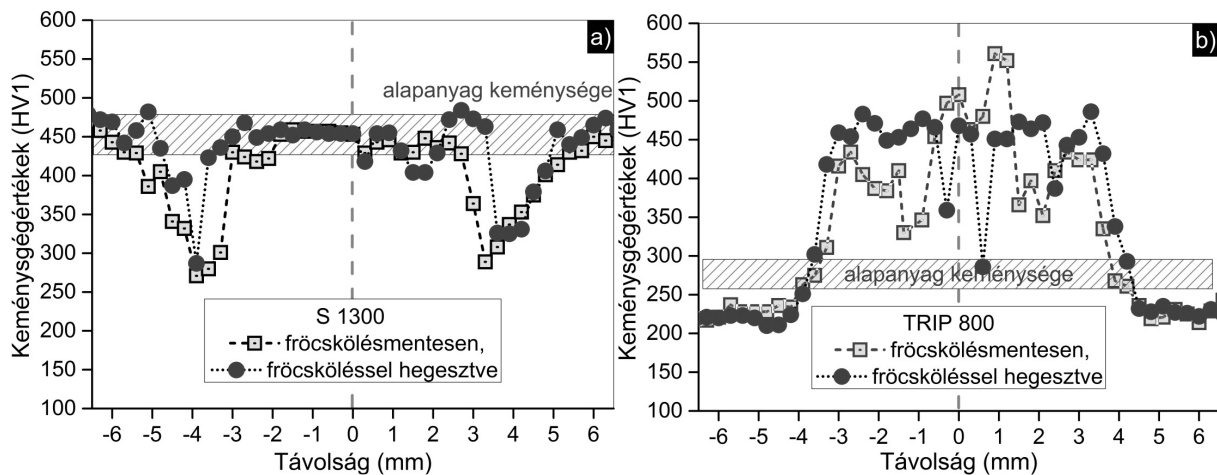
\*STS<sub>min</sub>=12,25 kN

\*\*STS<sub>min</sub>=7,89 kN

A varratok keménységeloszlása (3. ábra) gyakorlatilag acéltípusonként megegyező volt, az S 1300-nál a hőhatásövezetben (2-3 mm szélességben) 450 HV1-ről ~270 HV1-re csökkent a keménység, a varratlencse bénites maradt (4. ábra). A TRIP 800 esetében a varrat és hőhatásövezete jelentősen felkeményedett 280 HV1-ről ~470 HV1-re a varrat martenzites lett a hőhatásövezetben szemcsedurulás volt megfigyelhető és gyakorlatilag az egész beágyazott minta szélességében ~20 HV1-el kiláglyult az alapanyag keménységéhez képest.



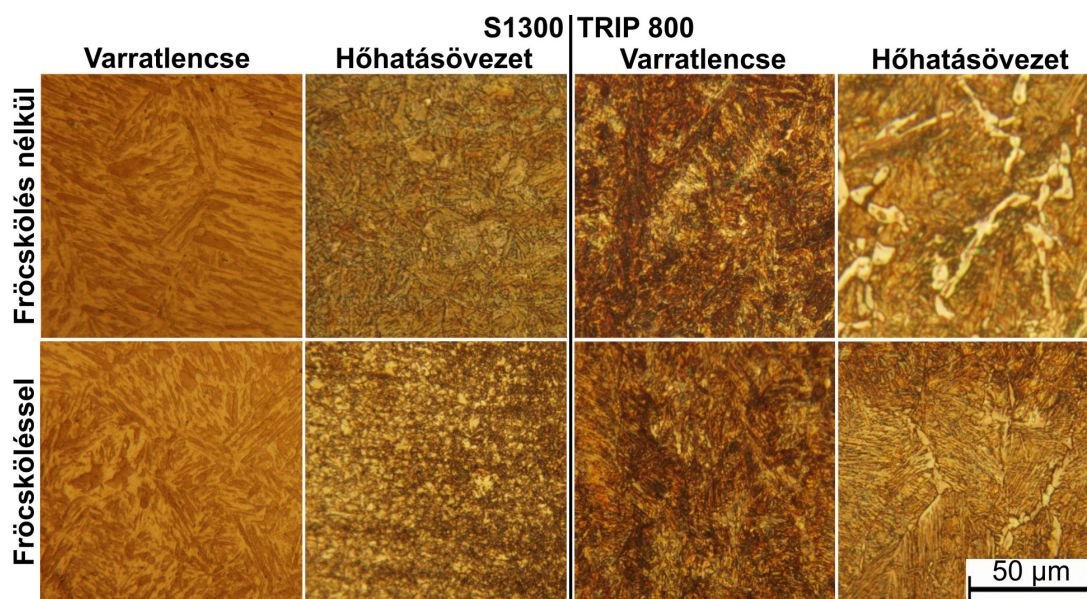
2. ábra. A varratlencsék keresztcsiszolatainak sztereomikroszkópi felvételei; S 1300 acél a) fröcskölés nélkül, b) fröcsköléssel; TRIP 800 acél c) fröcskölés nélkül és d) fröcsköléssel hegesztve



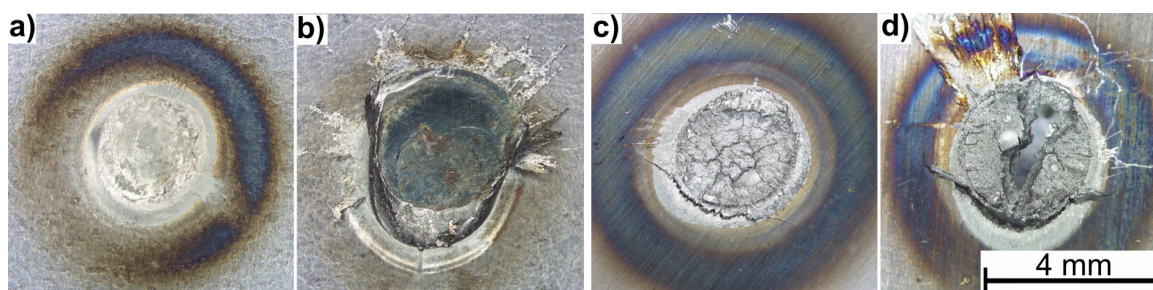
3. ábra. A varratlencsék hosszmetzeti keménységeloszlás-profiljai:  
a) S 1300 és b) TRIP 800 acél esetén

Mindkét acél esetében a hőhatásövezet a keményebb munkarend esetében finomabb szövetszerkezetű lett. A töretfelületi képek (5. ábra) és a metallográfia alapján a TRIP acél esetében repedések keletkeztek a varratban lágyabb munkarend esetében a hőhatásövezetben keményebb munkarendnél a varratban tört a kötés. Mindkét acéltípus esetében sikerült a kötéseket optimalizálni miszerint fröcskölésmentesen és fröcskölés nélkül is elérik a minimális (STS<sub>min</sub>) értékét ami autópári felhasználásra már megfelelő.





4. ábra. Mikroszkópos szövetszerkezetfelvételek a kötések különböző helyeiről



5. ábra. A varratlencsék töretfelületeinek sztereomikroszkópi felvételei; S 1300 acél a) fröcskölés nélkül, b) fröcsköléssel; TRIP 800 acél c) fröcskölés nélkül és d) fröcsköléssel hegesztve

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült (BO/00294/14). A Projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával az NKFI Alapból valósult meg (NKTH OTKA PD 120865).

## HIVATKOZÁSOK

- [1] [www.ssab.com/hardox](http://www.ssab.com/hardox) – 2017.01.01
- [2] Gulyás József, Baross Botond. TRIP acélok tulajdonságainak vizsgálata. *Mechatronika, Anyagtudomány, Miskolc* (2005)1/2 37-46.
- [3] Pasquale Russo Spena, Luca Cortese, Manuela De Maddis, Franco Lombardi. Effects of Process Parameters on Spot Welding of TRIP and Quenching and Partitioning Steels. *Steel Research International* (2016)87/12 1592–1600.
- [4] Pasquale Russo Spena, Manuela De Maddis, Gianluca D'ntonio, Franco Lombardi. Weldability and Monitoring of Resistance Spot Welding of Q&P and TRIP Steels. *Metals* (2016)6 270-85.
- [5] Balogh András, Dobosy Ádám, Frigyk Gábor, Gáspár Marcell, Kuzsella László, Lukács János, Meilinger Ákos, Nagy Gyula, Pósalaky Dóra, Prém László, Török Imre. Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tulajdonságai: Kutatások járműipari acél és alumíniumötvözet anyagokon, Miskolc, Miskolci Egyetem (2015).
- [6] Balogh András, Gáspár Marcell. A matching kérdéskör: hozaganyagválasztás a konvencionális és korszerű nagyszilárdságú acélok hegesztéséhez. *Hegesztéstechnika*. (2014)3 75-80.
- [7] Gáspár Marcell, Balogh András. Fizikai szimulátorral előállított S960QL hőhatásövezeti sávok szívósságának elemzése műszerezett ütővizsgálatok segítségével. *Hegesztéstechnika* (2015)26/4 51-64.