

A FERRIT-MARTENSITES DP ACÉLOK ELLENÁLLÁS-PONTHEGESZTETT KÖTÉSEI DINAMIKUS VISELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA SAJÁT TERVEZÉSŰ DINAMIKUS VIZSGÁLÓ BERENDEZÉSSSEL

INVESTIGATION OF DYNAMIC BEHAVIOUR OF RESISTANCE SPOT WELDED JOINTS IN FERRITE-MARTENSITIC DP STEELS WITH A NEWLY DEVELOPED DYNAMIC TESTING EQUIPMENT

Prém László, Balogh András***

ABSTRACT

In recent decades the toughness of welded structures has been forcefully appreciated. This trend is particularly valid for the advanced high strength steels (AHSS), which have reduced toughness comparing to the low strength structural steels. Dynamic characteristics of the welded joints of the newly developed high strength steel sheets required by the automotive industry have been neglected for a long time and the welding procedures were optimized on the static joint properties, mainly on tensile-shear force. Up to the present time testing of dynamic properties of the spot welded joints was performed by the increased testing speed. Started from the lateral load which is substantial for the crash test of the passenger cars authors developed a new dynamic testing method and designed new testing equipment, which can give a numeric result to characterise the resistance of the spot welded joints against the lateral dynamic load.

1. BEVEZETÉS

Az autóiipari nagyszilárdságú acélokból ponthegeesztett átlapolt kötésekre ritkábban statikus, gyakrabban ismétlődő, vagy dinamikus igénybevételek hatnak. A kötések tervezéséhez az egyes pontkötések teherbírási határainak az ismerete szükséges [1]. Egyes frekvenciált járműalkatrészek a gépkocsik üzeme közben különböző nagyságú, gyakoriságú és fajtájú dinamikus igénybevételeknek vannak kitéve. Ezen alkatrészek beépítésekor kockázatos lenne, ha csak a ponthegeesztett kötések általánosan jó minőségére és a korábbi kedvező tapasztalatokra, valamint a szokásos statikus vizsgálatok eredményeire hagyatkoznánk. Ahhoz, hogy a próbapályára és a sorozatgyártásba már kiforrott alkatrészek

kerülhessenek, a konstruktóri és gyártástechnológiai variánsokat előzetesen tesztelni és összehasonlítani képes vizsgáló eljárásokra van szükség. Geometriai, szerkezeti és igénybevételi különbségeik miatt az ömlesztő hegesztéssel készült kötésekre szabványosított vizsgálatok ellenállás-ponthegeesztett vékonylemezek pontkötéseikhez közvetlenül nem, vagy egyáltalán nem alkalmazhatóak. Ebből következik, hogy a szóban forgó kötések vizsgálatához új eljárásokat kell kidolgozni és nemzetközileg egységesíteni.

2. LEMEZRE MERŐLEGES IRÁNYÚ TERHELÉSBŐL LEVEZETETT DINAMIKUS HAJLÍTÓVIZSGÁLAT SZÜKSÉGESSÉGE

Annak érdekében, hogy minél pontosabb és alaposabb képet kaphassunk az autóiipari acél vékonylemezekből ponthegeesztett kötések dinamikus viselkedéséről, a személygépkocsi vázák és ráépítmények hegesztett pontkötéseinek merőleges irányú ütközési terheléseiből levezetett dinamikus hajlítóvizsgálatra van szükség. A jelenleg érvényben lévő szabvány (MSZ EN ISO 14323:2015) csak a pontkötések ütve-nyíró és ütve-szakító vizsgálatára vonatkozóan tartalmaz előírásokat. Az ellenálláshegesztéssel feldolgozandó DP acélokból azonban a leggyakrabban a gépjárművek oldalsó merevítő elemeit állítják elő, ezért is szükséges olyan vizsgálat kifejlesztése, amelynek eredménye arról tájékoztat, hogy egy oldalirányú ütközés során hogyan viselkednek ezen acélok ponthegeesztett kötései.

A nagyszilárdságú acélokból ponthegeesztett kötések törésig rendelkezésre álló alakváltozási tartalékának meghatározásához az ütmunka ismeretén túl szükségünk van az erő-behajlás (erő-idő) diagramok görbe alatti területének, valamint a görbe jellegének ismeretére is. Ehhez az információkhoz az átlapolt vékonyleme-

* *folyamatmérnök, Thyssenkrupp Components Technology Hungary Kft.*

** *c. egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagszerkezteti és Anyagtechnológiai Intézet*

zek ponthegeesztett kötéseinek műszerezett ütővizsgálóval juthatunk el. Az első műszerezett ütővizsgálókat 1925-ben végezték, az igazán gyors fejlődés azonban csak a második világháborút követően indult meg, ami a mérőbéli technika megjelenésével van összefüggésben [2].

3. ÚJ TÍPUSÚ DINAMIKUS PONTKÖTÉS-VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS TERVEZÉSE

Az átlapolt vékonylemezes kötések és a közepvastag, illetve a vastag lemezek tompakötései geometriailag olyan nagymértékben különböznek egymástól, hogy az ömlesztőhegesztett kötésekre kidolgozott és szabványosított dinamikus vizsgáló eljárások a ponthegeesztett kötésekre nem alkalmazhatóak.

A Charpy vizsgálatnál megszokott ütési sebesség 3...5 m/s nagyságrendű. Az adott kinetikus energia a próbatestek tönkremenetelét okozó dinamikus (hárompontos) hajlításakor a próbatestek rugalmas és képlékeny alakítására, valamint a kötések törésére fordítódik. A hagyományos, szabványosított vizsgálatokhoz használt $m=19,8$ kg-os eső tömeggel és $h=1,55$ m esés magassággal jellemzett ingás ejtőgépen a maximális ütési energia 300 J, amelyhez 5,5 m/s ütéssebesség társult.

Az előzetes kísérletek tapasztalatai azt mutatták, hogy a nagyszilárdságú DP acélok 1 mm + 1 mm-es átlapolt lemezkötéseikhez a 300 J maximális ütési energia túlzottan nagy, ezért a Miskolci Egyetem Anyag-szerkezettani és Anyagtechnológiai Intézetében található Heckert típusú, szabványos, Charpy-ütőművet kisebb kinetikus energiájúvá alakítottuk át. Az eső tömeget a kalapács két oldalán lévő „sonka” elhagyásával csökkentettük, ezáltal a maximális ütési energia 118 J-ra módosult.

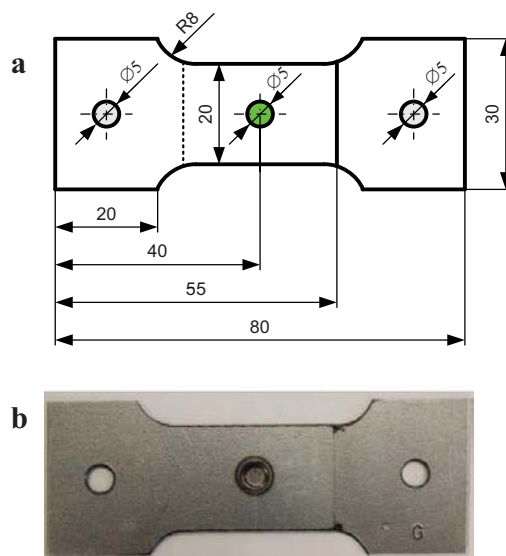
A pontkötések minél pontosabb vizsgálatához az ütőél kialakítását úgy módosítottuk, hogy a pontkötés átmérője (~5 mm) és az ütőél szélessége közel azonos legyen (1. ábra). A kalapács ütőélét az erő regisztrálása érdekében mérőbélikeggekkel láttuk el.



1. ábra Az áttervezett 5 mm-es szélességű ütőél a csökkentett tömegű kalapáccsal, a mérőbélikeggek nélkül

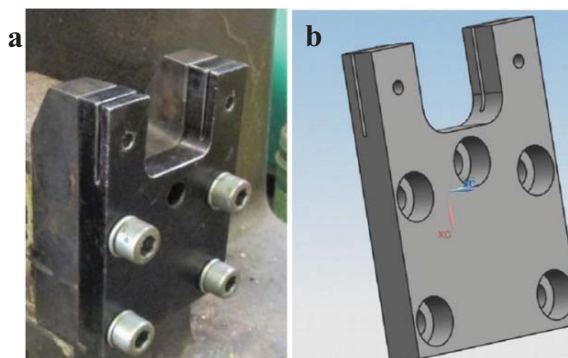
4. A PRÓBATEST KIALAKÍTÁSA ÉS MÉRETEI

A lemezpróbatess geometriájának kifejlesztése során az volt a célunk, hogy olyan híd szélességet határozzunk meg, amellyel az alapanyag helyett a teljes hegesztett kötés (heglencse + hőhatásövezet + alapanyag) dinamikus viselkedéséről kaphatunk képet. Ennek feltétele az, hogy vizsgálat során ne az alapanyag repedjen fel, hanem a hegesztett pont váljon ketté. A kezdeti kísérletek eredményei azt mutatták, hogy az alapanyag a vizsgálati eredményre gyakorolt hatása 20 mm-es híd szélességnél még kvázi elhanyagolható (ez 1+1 mm lemezvastagságnál az ideálisnak tekintett 5 mm-es pont-átmérő négyszerese), így a 30 mm-es lemezsávokból hegesztett lemez próbatesteket a vizsgálati szakaszon forgácsolással 20 mm-re könnyítettük ki (2. ábra).



2. ábra a) A próbatest vázlatja, b) a próbatest fotója

A lemezpróbatess geometriája miatt szintén szükséges volt egy olyan új ülék megtervezése és legyártása, amely a próbatestek azonos pozíciójú megfogását biztosítja (3. ábra).



3. ábra a) Az ütővizsgálathoz kifejlesztett ülék makrofotója, b) 3D modellje

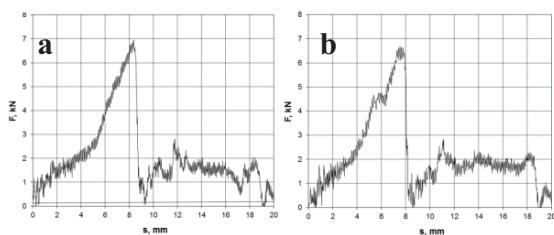
5. A DINAMIKUS VIZSGÁLATTAL ÖSSZEHASONLÍTOTT TECHNOLÓGIAI VARIÁNSOK

A dinamikus vizsgálatok során az egyszerűsége miatt széles körben elterjedt folyamatos energiabeviteli ponthegesztési technológiát hasonlítottuk össze a korábbi vizsgálataink szerint kedvezőbb szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabeviteli variánsal. A statikus szilárdságra optimalizált kötések dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállásának vizsgálata során valamennyi próbatétel kettévált, vagyis a készülék kialakítása és tervezési méretei alkalmasnak bizonyultak a nagyszilárdságú ferrit-martensites DP acélok 1+1 mm-es kötéseinek dinamikus vizsgálatára. A különbség a próbatetek tönkremeneteli módjában és tönkremeneteli pontátmérőjében, valamint a mérőbéllyeges vizsgálatok során felvett erő-elmozdulás, erő-behajlás diagramok alakjában és görbe alatti területében mutatkozott meg [3].

6. A FERRIT-MARTENSITES DP ACÉLOK PONTHEGESZTETT KÖTÉSEINEK DINAMIKUS VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI

A folyamatos és szakaszos energiabevitellel készült ponthegesztett kötések dinamikus ütve hajlító vizsgálatánál mind a regisztrált erő-idő és erő-behajlás diagramok jellegében, mind pedig a kötések tönkremenetelének típusában szembetűnő különbség figyelhető meg.

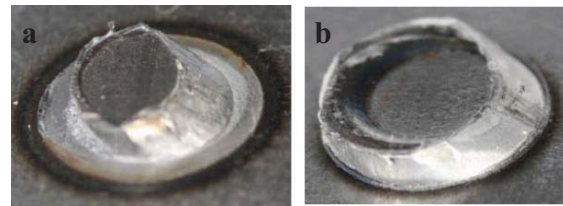
Amennyiben a mérési rendszerből adódó erőingadozásoktól eltekintünk, a műszerezett ütővizsgálat erőnövekedési szakaszán a folyamatos energiabevitellel készült kötések esetében az erőváltozás folyamatos volt, ezzel szemben a szakaszos energiabevitellel hegesztett kötések vizsgálatakor az erőnövekedési szakaszon egy közel állandó erőt mutató elmozdulás-tartomány volt megfigyelhető (4. ábra).



4. ábra A műszerezett ütővizsgálatok erő-elmozdulás diagramjai: a) folyamatos energiabevitel, b) szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitel

Folyamatos energiabevitelnél az ütve-hajlító vizsgálat 1+1 mm vastagságú, átlapolts próbatestjei részleges kigombolódással mentek tönkre, míg szakaszos energiabevitelnél a klasszikus kigombolódással. A törés helyében és a kigombolódott pont átmérőjében egyaránt szig-

nifikáns és egyértelmű különbség mutatkozott, ahogy az az 5. ábrán jól kivehető.



5. ábra Oldalirányú dinamikus erővel vizsgált próbatetek tönkremeneteli módjai: a) folyamatos energiabevitelnél, b) szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitelnél

A hagyományos folyamatos és az általunk javasolt szakaszos energiabeviteli technológiával készült kötések dinamikus energiaelnyelő képességében szignifikáns különbség (95%-os szignifikancia szinten) nem volt kimutatható (1. táblázat). A táblázat adataiból jól látható, hogy az alig különböző átlagos törési energia mellett a szakaszos energiabevitel nagyobb pontátmérője és kigombolódásos tönkremenetele jóval kisebb szórást eredményezett, ami tömeggyártás esetén figyelemre méltó előnynek számít.

1. táblázat A műszerezett ütővizsgálatok során meghatározott ütőmunka értékek folyamatos és szakaszos energiabevitel esetén

Mért vagy számított jellemző	Folyamatos energiabevitel	Szakaszos energiabevitel
1. törési energia (J)	60,00	49,00
2. törési energia (J)	51,00	47,00
3. törési energia (J)	57,00	47,00
4. törési energia (J)	55,00	50,00
5. törési energia (J)	56,50	50,00
6. törési energia (J)	49,00	47,00
7. törési energia (J)	51,00	49,00
8. törési energia (J)	47,00	49,00
9. törési energia (J)	45,00	48,00
10. törési energia (J)	46,00	50,00
11. törési energia (J)	48,00	51,00
Átlag (J)	51,41	48,82
Szórás (J)	5,01	1,40
Relatív szórás (%)	9,75	2,87
Pontátmérő (mm)	4,25...4,60	5,80...6,05
Tönkremenetel jellege	részleges kigombolódás	teljes kigombolódás

Az ütővizsgálattal tesztelt próbatetek pontátmérői folyamatos energiabevitel esetében 4,25 - 4,60 mm mérettartományban szóródtak, míg szakaszos energiabevitelnél az 5,80 - 6,05 mm mérettartomány volt a jellemző. A különböző energiabeviteli módokra jellemző töreketek az 6. ábrán mutatjuk be, ahol jól megfigyelhető, hogy folyamatos energiabevitelnél a törés a nagy

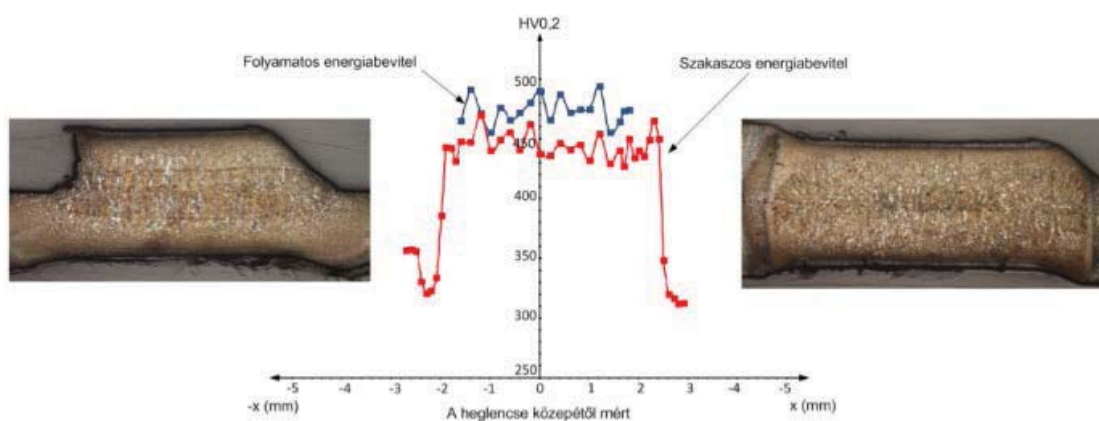
keménységű, dendrites heglencse szélénél haladt, míg szakaszos energiabevitelnél a törés a hőhatásövezet kilágyult részén következett be. Ez a jelenség egyben magyarázattal szolgál a kigombolódott pontok átmérőjének különbségére is.



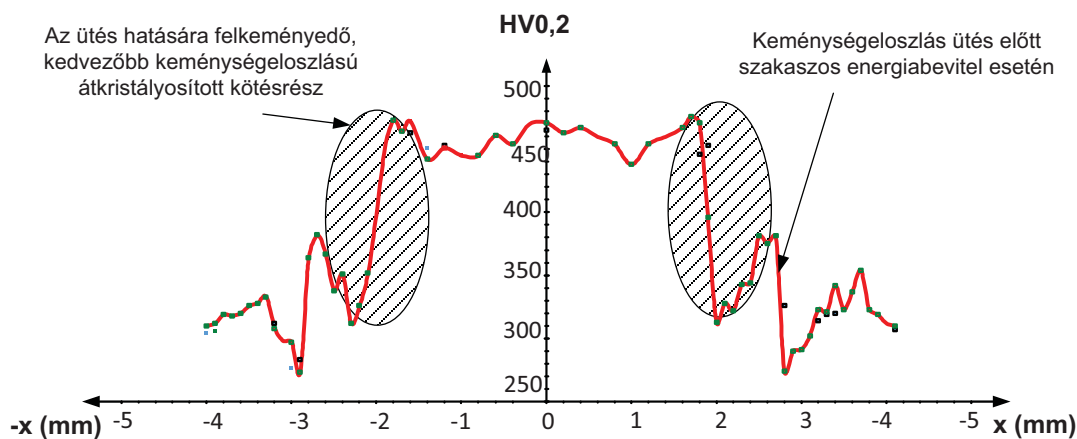
6. ábra Próbatestek törési helyeinek mikroszkópi csiszolatai a) folyamatos energiabevitelnél, b) szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitelnél

A 7. ábra az előző ábrán látható csiszolatok keménységeloszlását mutatja be. A kék pontok a folyamatos, a piros pontok a szakaszos energiabevitellel hegesztett pontkötések mikro-keménységeit jellemzik. Az ábrán jól látható a tönkremeneteli pontátmérők geometriai különbsége. Az is erőteljesen szembevetendő, hogy a szakaszos energiabevitellel készült kötések külső, gyűrű alakban átkristályosított, kedvezőbb keménységeloszlású széle a dinamikus igénybevétel hatására felkeményedik.

A szakaszos energiabevitellel készült kötések erőbehajlás diagramjának erőnövekedési szakaszán megfigyelhető állandó erő megjelenése kapcsolatba hozható a 8. ábra szerinti keménységeloszlás hidegalakítás hatására bekövetkező változásával.



7. ábra A próbatestek makrociszolati képei és keménységeloszlása ütővizsgálat után



8. ábra A sraffozott terület a szakaszos energiabevitellel készült ponthegeztett kötés szélén mért, az ütővizsgálat során bekövetkező felkeményedést szemlélteti

A hegpont közepétől távolodva az első jelentősen lágyabb rész, a kötés gyűrű alakban átkristályosodott része (lásd: 8. ábra) az ütve-hajlítás során kialakuló egyenlőtlen alakváltozás következtében nagyobb mértékben keményedett fel, mint a középtől még távolabb elhelyezkedő (az alapanagtól lágyabb) anyagrész, ahol végül is a törés bekövetkezett. Feltételezésünk szerint az előzőekben említett képlékeny alakváltozás következtében végbement keménységnövekedés okozta az erőbehajlás görbék erőnövekedési szakaszán tapasztalt vízszintes szakaszt, amely a pontkötések törésig rendelkezésre álló alakváltozási tartalékát és tönkremeneteli pontátmérőjét egyaránt megnövelte.

7. KÖVETKEZTETÉSEK

1. Az átlapolt vékonylemezek ponthegesztett kötése és a jellemzően közepes és nagy lemezvastagságú ömlesztőhegesztett tompakötések közötti lényeges eltérések miatt az ömlesztőhegesztett kötésekre kidolgozott és szabványosított dinamikus vizsgáló eljárások a ponthegesztett kötésekre nem alkalmazhatóak.
2. A dinamikus igénybevételnek kitett, AHSS acélokból (köztük a DP acélokból) készülő autóiipari alkatrészek pontkötéseinek hegesztési paramétereit a hagyományos statikus vizsgálatok során tapasztalt előnyös eredmények (magas nyíró-szakítóerő, kedvező tönkremeneteli mód) alapján határozzák meg. A töréskeresztek során azonban a statikus terhekre optimalizált pontkötések gyakran csak elnyíródnak, vagy részlegesen kigombolódnak, azaz kisebb energiaelnyelő képességgel rendelkeznek, annak ellenére, hogy a hagyományos statikus vizsgálatoknál még rendre kigombolódtak.
3. A személygépjárművekre vonatkozó, egyre szigorúbb biztonsági előírások miatt arra van igény, hogy az utasok testi épségét garantáló, nagyszilárdságú acélokból készített merevítő elemek hegesztett kötése egy esetleges ütközés során a lehető legnagyobb energiaelnyelő képességgel rendelkezzenek. Ennek biztosításához arra van szükség, hogy a dinamikus igénybevett kötések hegesztési paramétereit a hagyományos, statikus vizsgálatok helyett az újonnan

kifejlesztett, laterális terhelésű dinamikus vizsgálatok eredményei és tapasztalatai alapján határozzák meg.

4. Laterális terhelésre vonatkozó vizsgálati eredményeink egyértelműen alátámasztják, hogy a dinamikus igénybevett autóiipari alkatrészek ponthegesztett kötéseinél a törésig rendelkezésre álló képlékeny alakváltozási tartalék növelhető, a repedési hajlam pedig mérsékelhető kellően hosszú impulzusok közötti szünetidejű, szakaszos energiabevitelű ellenállás-ponthegesztési technológia alkalmazásával.
5. Vizsgálati eredményeink alapján feltételezhető, hogy az 1000 MPa-nál nagyobb szakítószilárdságú, martensites mátrixú (DP 1200M, DP 1400M) acéloknál a szimmetrikus kétimpulzusú szakaszos energiabevitel hegesztés utáni, kötést áthőkezelő hatása még kedvezőbb lehet, mint a DP 600...1000-es acélok esetében.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a **TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001**, a **TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029** és a **TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001** jelű projekt részeként, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

9. IRODALOM

- [1] BALOGH A.: Korrózióálló CrNi acél ellenálláspont-hegesztése és a pontkötések tulajdonságai, Hegesztéstechnika, II. évfolyam (1991), 2. szám, pp. 28-29.
- [2] GÁSPÁR M.: Nemesített nagyszilárdságú szerkezeti acélok hegesztéstechnológiájának fizikai szimulációra alapozott fejlesztése, (PhD disszertáció), Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, 2016 (témavezető: Balogh A.)
- [3] PRÉM L., BALOGH A., DOBOSY Á.: Nagyszilárdságú DP acélok dinamikus ütve-hajlító vizsgálata, Ellenálláshegesztés 2018 Ankét, Dunaújváros, 2018.11.15.

CLOOS

MAGYARORSZÁG



**MINDEN, AMI
HEGESZTÉS**



www.cloos.hu