

KLINCS KÖTÉS TECHNOLÓGIAI PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA, VÉGESELEMES MODELLEZÉSE

INVESTIGATION AND FINITE ELEMENT MODELLING OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CLINCHED JOINTS

KOVÁCS PÉTER ZOLTÁN¹–TISZA MIKLÓS²

A klincs kötés napjainkban az iparban egyre terjedő eljárás, azonban még mindig számos kérdés merül fel egy újonnan tervezett szerkezet gyártásánál. A technológusok célja az alapanyagok között a legmegfelelőbb kötés létrehozása, de az ehhez szükséges megfelelő technológiai paraméterek gyakran nem ismertek, ezért egy új szerkezet gyártásának kezdetéig sok kísérlet és az ezzel járó pluszköltségek jelentkezhetnek. Az elkészült kötések mechanikai tulajdonságait szintén költséges roncsolásos vizsgálatokkal tudjuk meghatározni, azonban a végeelemes módszer segíthet abban, hogy ezeket a tulajdonságokat ne időigényes és költséges vizsgálatokkal, hanem számítógépes szoftverek segítségével, numerikus módszerekkel szimuláljuk és határozzuk meg. A végeelemes modellezés alkalmazása lehetővé teszi, hogy költséghatékonyabban és egyszerűbben választhassunk az adott folyamatnak legmegfelelőbb szerszámot, alapanyagot, és ha szükséges, optimalizálhassuk a szerszámgeometriát az adott felhasználásra.

Kulcsszavak: lemezalakítás, lemezek egyesítése, klincs kötés, nagyszilárdságú acél

The clinch joints are more and more widely applied in the industry, but in many cases there are still many questions in the production of newly designed structures. Process engineers aim to create the most suitable joints between materials, but the appropriate process parameters are still often missing; thus in producing new structures, a great amount of experiments are required, and thus additional costs may occur. Strength properties of finished joints can be assessed using destructive tests, however, the application of finite element method can provide a cost-effective technique to determine these properties and to select the most suitable tools and materials, to optimise tool geometry for given purposes.

Keywords: sheet metal forming, sheet metal joints, clinching, high strength steels

BEVEZETÉS

A járműiparban alkalmazott lemezanyagok skálája igen széles körű: a gyártók az adott célnak, rendeltetésnek legmegfelelőbb anyagokat széles anyagválasztékból választhatják meg, és az is gyakori, hogy egy szerkezeti elemen belül többféle anyagú, eltérő vastagságú és tulajdonságú lemezt használnak fel. Azonban ezeket a lemezeket valamilyen módon egyesíteniük kell a megfelelő végső termék kialakítása érdekében. A lemezegyesítő eljárások között is nagy a választék. Ezek fő csoportjai: a hegesztés, a különféle forrasztó, ragasztó eljárások és nem utolsósorban a mechanikus egyesítés vagy akár ezek kombinációi (például ragasztott ponthegesztett lemezek). A kötéstípus választását számos tényező befolyásolja: a szükséges berendezés és költségei, a kötendő alapanyagok, az eljárás gépesíthetősége, a szükséges humán erőforrás, végső soron a gyártás gazdaságossága.

¹ Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet
3515 Miskolc Egyetemváros
metkpz@gold.uni-miskolc.hu

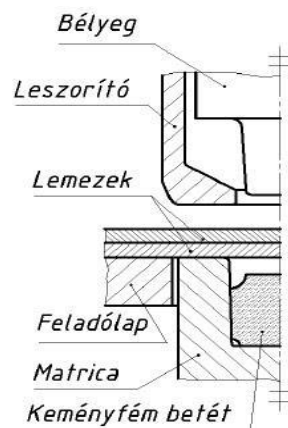
² Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet
3515 Miskolc Egyetemváros
tiswa.miklos@uni-miskolc.hu

1. KLINCSELÉS

A klincselés napjainkban egyre terjedő, korszerű eljárás, amely a mechanikus sajtoló kötések csoportjába tartozik. Lényege, hogy két vagy több lemezt egy speciális, erre a célra kialakított bélyeg – matrica párral egymásba préselünk valamilyen célszerszám vagy présgép segítségével.

1.1. A klincs kötés jellemzői

A klincs kötés napjainkban egyre gyakrabban alkalmazzák az autóiparban különböző anyagú, eltérő vastagságú, bevonatos vagy bevonat nélküli vékony lemezek egyesítésére. Példaként megemlítjük az Audi TT modellt, amelynek egyes karosszériaelemeinél sorozatgyártásban is alkalmazták a klincselést. Az eljárásnál két vagy akár három lemezt átlapolva egymásra helyeznek, és képlékenyalakítással egyesítik a lemezeket. Az egyesítendő lemezeket a bélyeggel belesajtoltják a matricába, ami kismértékben alakítja az alul lévő fenékrészt, létrehozva így egy oldhatatlan kötést (1. ábra). Az eljárásnak több változata is van, de ezek közül az egy lépésben történő körpontos klincselést, az úgynevezett TOX® és Tog-L-Loc® eljárást használják leggyakrabban.



1. ábra.
A klincselő szerszám főbb elemei

1.1.1. Az eljárás előnyei

A klincselés az innovatív kötő-alakító eljárások közé tartozik. Alkalmazzák az autóiparban és számos műszaki cikk gyártásánál. Gyakran alkalmazzák a ponthegeztés kiváltására, főleg alumíniumlemezek esetében. Nagy előnye a ponthegeztéshez képest, hogy gazdaságosabb (akár 60%-os költségmegtakarítást eredményez). További előnye, hogy környezetbarát eljárás, úgynevezett tiszta eljárásnak is hívják. Néhány fontosabb jellemző, amely a klincselés előnyeit támasztja alá:

- 30–60%-os költségmegtakarítás a ponthegeztéshez képest;
- a TOX kötés dinamikus terheléssel szembeni ellenálló képessége nagyobb, mint az ellenállás hegesztéssel létrehozott kötéseké;
- az eljárás kiválóan automatizálható, a folyamat jól nyomon követhető, dokumentálható; egyszerű, roncsolásmentes minőségellenőrzés lehetséges;

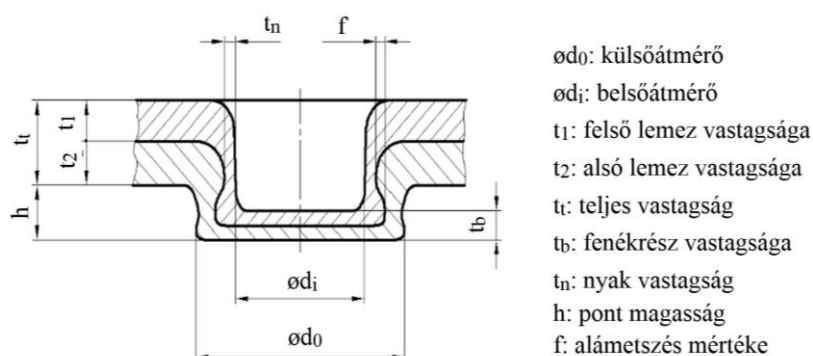
- a kötés során semmilyen metallurgiai változás nem lép fel;
- a galvanizált, festett, illetve különböző felületvédő réteggel ellátott anyagok sem károsodnak, mert a réteg az anyaggal együtt alakváltozik;
- nincs magas hőmérséklet, így például ragasztott kötéssel is párosítható;
- a lemeztavagság 0,1 mm és 12 mm között választható;
- közbenső rétegek is használhatók, például papír vagy ragasztó;
- mivel nincs szennyeződés, a kötés nem igényel utólagos megmunkálást;
- rendkívül környezetbarát eljárás;
- a lézeres hegesztésnél jóval olcsóbb.

1.1.2. Az eljárás hátrányai

Az eljárás hátrányaként említhető, hogy a kötés mechanikai tulajdonságai gyengébbek, mint a ponthegesztésé (a TOX technológiával kialakított kötés szilárdsága csak mintegy 70 %-a a pontkötéssel létrehozott kötés mechanikai tulajdonságainak), de sok esetben nem is szükséges nagyobb kötésszilárdság.

1.2. A klincs kötés minőségi tényezői

A kötés erősségét a nyakvastagság, és az alámetszés nagysága határozza meg, ezeket a méreteket pedig a szerszám kialakítása befolyásolja, mint például a bélyegátmérő, a matrica mélysége és az üreg átmérője. Ezeket a paramétereket a 2. ábra mutatja.

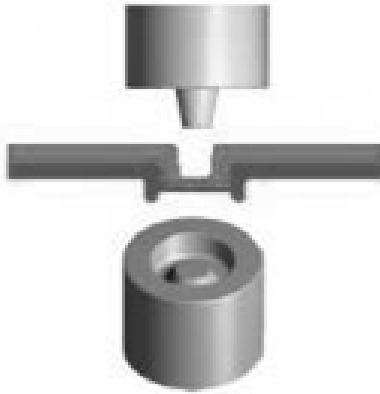


2. ábra.

A klincs kötés fontos technológiai és minőségi paramétere

A klincs kötésnek számos típusa ismert: ebben a cikkben a vizsgálatainknál használt körpont kötését mutatjuk be (3. ábra).

A körpont kialakítás a legegyszerűbb, legtisztább lemezkötés. Nincs szükség előmunkálatokra, kötőelemre. A szerszámok nem tartalmaznak problémát okozó vágó vagy mozgó elemeket. A körpont egy speciális kivitele a MICRO-pont, amit kiválóan lehet miniatűr fémlemezdarabok összekapcsolására is használni. Nagy hatékonysággal használható az elektronikában és az elektrotechnikában, valamint a mechatronikában.



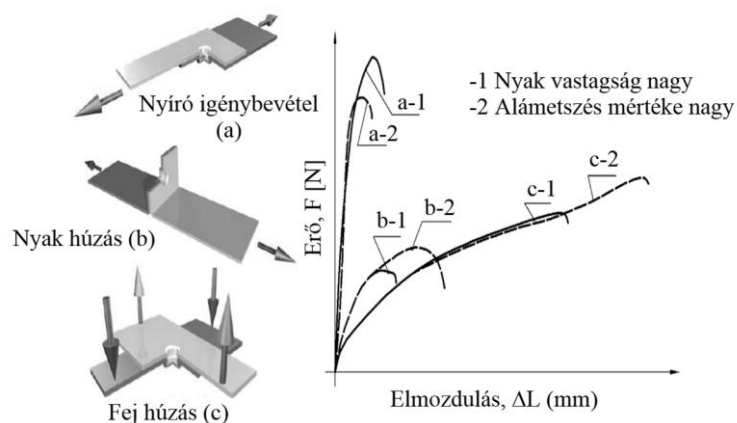
3. ábra.
Körpont kötés

1.3. A klincselés folyamata

Az egylépéses körpontos klincselés folyamata alapvetően négy fázisból áll. Először a lemezeket belenyomjuk a matricába, majd mikor az alsó lemez eléri a matrica alját, zömülés megy végbe, és az anyag radiális irányban megfolyik. Ezután a matricaüreg „megtelik”, végül pedig a visszاسajtólással fejeződik be a folyamat.

1.4. A kötések vizsgálata

Ahhoz, hogy egy gyártási folyamat elkezdődhessen, költséges vizsgálatokat kell elvégezni: az adott alkalmazáshoz a megfelelő szerszámegyüttes kiválasztásához több kötést is el kell készíteni változó szerszámgeometriákkal. A kötéseket statikus és dinamikus terhelésekkel is tesztelik. A vizsgálatok megegyeznek a ponthegeesztett kötések roncsolásos vizsgálataival, azaz alapvetően nyíró és húzó szakító vizsgálatokat alkalmaznak (4. ábra). E vizsgálatokkal párhuzamosan tengelymetszetes makrociszolaton mérik a nyak szélességet és az alámetszést, vizsgálva a geometriai jellemzők hatását a kötés szilárdságára.



4. ábra.
Nyíró, nyak- és fejhúzás ábrája, illetve az előforduló hibák okai

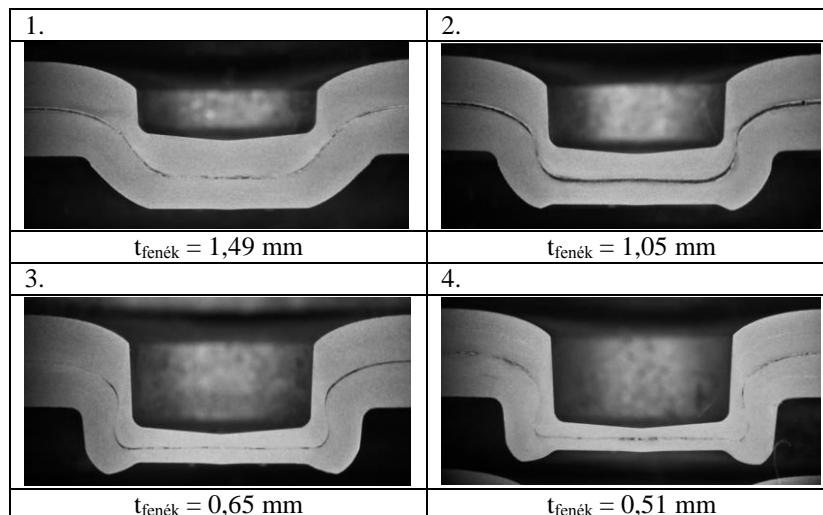
A klincs kötések vizsgálatára az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetben beszerzésre került egy TOX szerszám-pár, amely körpontos klincs kötés létrehozására alkalmas. A kialakított szerszámmal nagyszilárdságú, DP 600-as anyagminőségű, 1 mm vastagságú lemezek közt lehet mechanikus kötést létrehozni. A legkedvezőbb tulajdonságú kötések ennél az anyagminőség-nél a gyártó szerint akkor lehet elérni, ha a fenékvastagságot 0,5 mm-re állítjuk be. A vizsgálatokat az Intézet MTS típusú, elektro-hidraulikus, számítógép vezérlésű, univerzális anyagvizsgáló gépén végeztük. A berendezés maximális nyomóereje: $F_{max} = 250$ kN. Az 5. ábra a vizsgálati berendezést a szakítógépre felszerelt klincselő szerszámmal együtt mutatja.



5. ábra.

MTS típusú, 250 kN mérés-határú elektro-hidraulikus szakító-gép a klincselő szerszámmal

A vizsgálataink során először az alakítás folyamatának elemzését tűztük ki célul, ezért előkísérleteket végeztünk, különböző bélyeg elmozdulásokkal: ezáltal különböző fenékvastagságokat hoztunk létre. Az így létrehozott kötések-et, közép-en kettévágva az alakítás lépéseit a 6. ábra fényképsorozatán szemléltetjük.

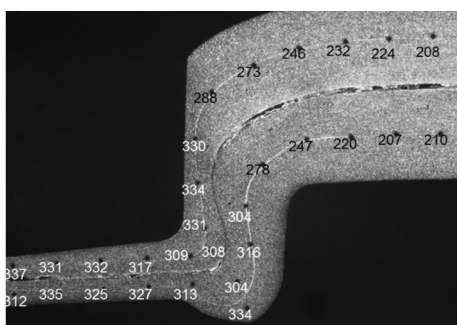


6. ábra.

Az alakítás folyamata DP 600 anyagminőségű, 1mm vastagságú lemezek-nél

A technológiai folyamat elemzéséhez a létrehozott próbatest sorozaton lehetőség van a fontosabb technológiai paraméterek meghatározására, mint például a fenékvastagág, alámet-szés, nyakvastagság mérése az egyes alakítási lépésekben.

A kettévágott próbatestekből csiszolatokat készítettünk, és a 0,5 mm fenékvastagságú da-rabon mikro-keménységmérést is végeztünk (HVM 0,5). A keménységi értékeket a két lemez semleges szálában, a középpontból kiindulva 0,5 mm-enként mértük. A 0,5 mm-es fenékvastagságnál kapott keménységértékeket a 7. ábrán mutatjuk meg.



7. ábra.

A keménységmérés eredményei 0,5 mm-es fenékvastagságnál, DP 600-as anyag-minőség párnál (lemezvastagságok: 1 mm)

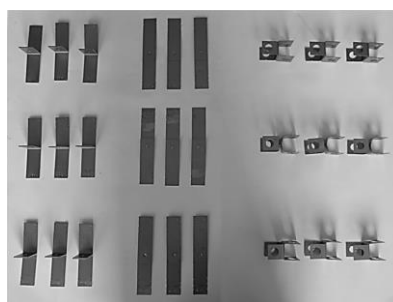
A továbbiakban a gyártó által javasolt fenékvastagságot, illetve ezen érték megváltozásá-nak a kötés szilárdsági tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgáltuk. Az elkészült próbada-rabokon háromféle vizsgálatot végeztünk. A vizsgálatok típusai: 1. Nyíró-szakító vizsgálat, 2. Fejhúzó vizsgálat, 3. Nyakhúzó vizsgálat. A kötéshez használt próbatestek előkészítésének első lépése a darabok kimunkálása, 1000x2000x1 mm méretű lemeztáblákból. A darabokat lézervágással készítettük el az Industar Kft.-nél, Felsőzsolcán. A táblákból 30x100 mm pró-batesteket vágunk ki.

A különböző geometriájú próbatestek elkészítéséhez egy speciális, erre a célra készült felfo-gólap készült (8. ábra), amelyeken a csapok kicserélésével változtathatunk attól függően, hogy szakító, fejhúzó vagy nyakhúzó vizsgálatra készítjük el a kötetést. A különböző vizsgá-latokra kialakított próbatesteket mutatja a 9. ábra.



8. ábra.

A kísérleti klincselő szerszám a befogó készülékkel

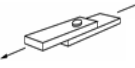
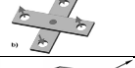



9. ábra.

Szakító, fejhúzó és nyakhúzó vizsgálatra kialakított próbatestek

A szakítóvizsgálatok eredményeit a következő táblázatban foglaljuk össze.

1. táblázat
A szakítóvizsgálatok eredményei

	$t_{\text{fenék}} = 0.55 \text{ mm}$			$t_{\text{fenék}} = 0.50 \text{ mm}$			$t_{\text{fenék}} = 0.45 \text{ mm}$		
	F [kN]	F [kN]	F [kN]	F [kN]	F [kN]	F [kN]	F [kN]	F [kN]	F [kN]
	2,6	2,8	2,9	2,9	2,9	2,95	3,05	2,95	2,95
	1,7	1,6	1,6	2	2,2	1,9	1,8	2,4	1,9
	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,82	0,82	0,82

Az eredmények alapján megalapítható, hogy a legjobb kötést a 0,45 mm-es fenékvastagságnál kaptuk, de a kötés létrehozásakor fellépő alakítási erő és ezáltal a bevitt alakítás mértékét figyelembe véve, a szilárdsági jellemzők javulása nem számottevő, ezért a javasolt 0,5 mm-es fenékvastagságú kötés elégségesnek bizonyul.

2. A KLINCS KÖTÉS VÉGESELEMES MODELLEZÉSE

Ahhoz, hogy minél jobban megértjük az eljárás közben lejátszódó alakítási, alakváltozási folyamatokat, a végeselemes módszer segítségével számítógépes szimulációt végeztünk.

2.1. A végeselemes modell elkészítése

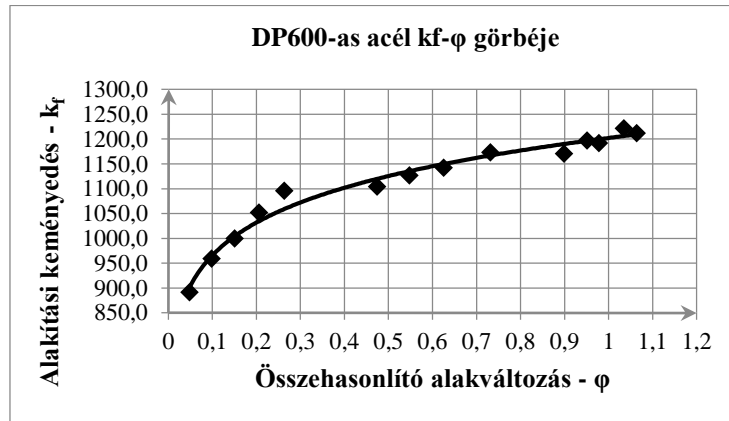
A modellezést az Intézetünkben elérhető DEFORM végeselemes szoftver segítségével végeztük el. A modellezésnél a szerszámgyártó a DP600-as lemezpárhoz, a legjobb minőségű kötés eléréséhez 0,5 mm fenékvastagságot ajánl, ezért ezt a kötéstípust elemeztük a numerikus szimulációval is.

2.1.1. Szerszámgeometria

A modellezéshez szükségünk van a szerszámok geometriájára, amit a már bemutatott makrofotók alapján a mintakötésekről készült csiszolatok alapján készítettünk el, mivel a gyártótól nem kaptunk leírást a szerszám geometriájáról.

2.1.2. Az anyagtörvény meghatározása

A modell elkészítéséhez szükségünk volt a vizsgálatokhoz használt DP600-as acél anyagtörvényére is. Mivel a klincselés folyamatát tekintve mind zömülés, mind nyúlás lejátszódik, valamint nagy alakváltozások következnek be, ezért a folyási görbe meghatározására a Watts–Ford-vizsgálatot alkalmaztuk. A Watts–Ford-vizsgálat eredményeit diagram formában a 10. ábra tartalmazza.

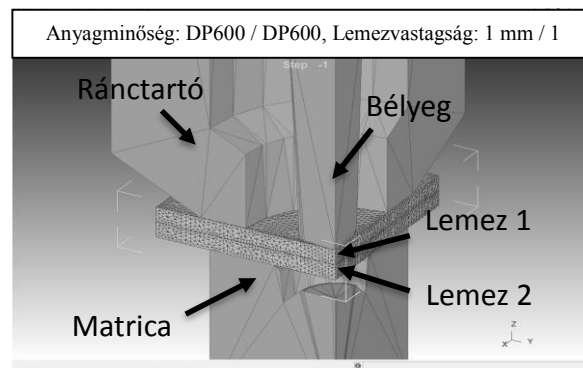


10. ábra.

Folyási görbe meghatározása Watts-Ford vizsgálattal

2.1.3. A végeleemes modell

A modellezést a hosszadalmas futási idők miatt a DEFORM 2D moduljában végeztük, amely tengelyszimmetrikus alakváltozásnál megfelelő a kötés vizsgálatára. (A DEFORM Integrated 2D/3D moduljával a 2D-s modellt egyszerűen és viszonylag gyorsan 3D-s modellé alakíthatjuk (11. ábra).

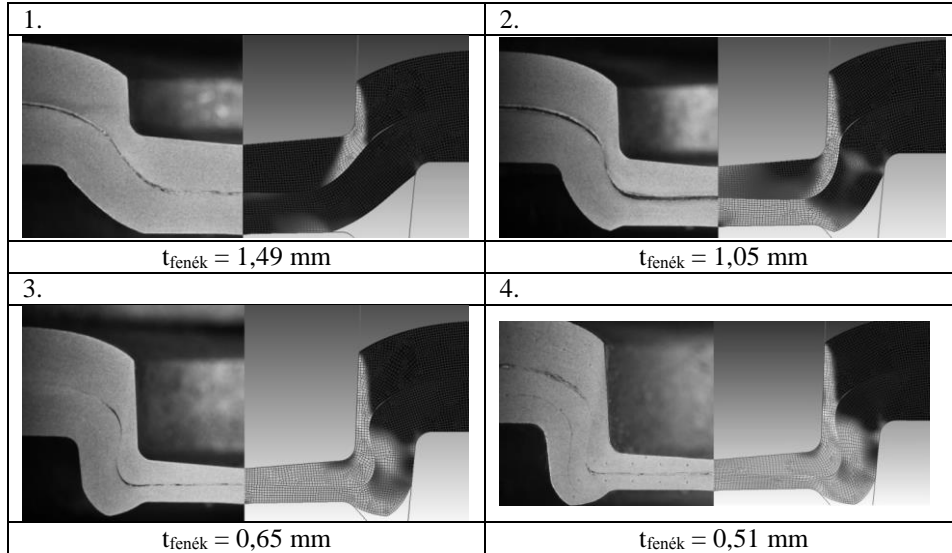


11. ábra.

A DEFORM programban összeállított modell

A modellezésnél használt fontosabb paraméterek: elemszám = 3000 / lemez, $\mu = 0,12$, bélyegsebesség: 1 mm/s, újraráhálózás: 0,65/s, modellezés lépésköze: 0,01 mm

A következő ábrán szemléltetjük a DEFORM végeleemes szoftverben elkészített modell alakítási lépéseit, és mellette feltüntettük az azonos fenékvastagságoknál a kísérleti kötések is.

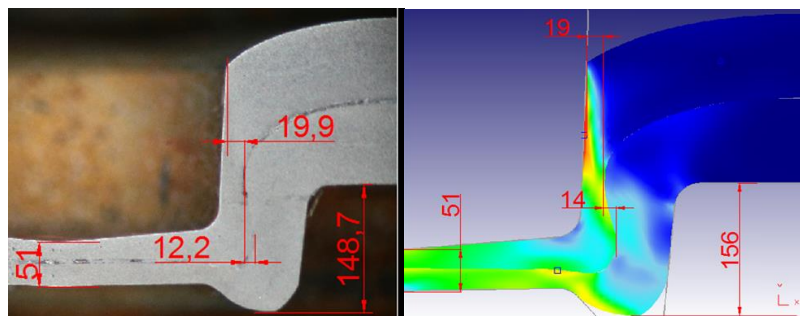


12. ábra.

A kísérleti és a modellezett kötések összehasonlítása

2.2. A modellezés eredményeinek értékelése

A modell validálását a kapott kötés geometriájának és a keménységi értékeinek a kísérletek során mért értékekkel való összehasonlításával végeztük el. A modell geometriája az alakítás egyes pontjaiban a vizsgált próbadarabok geometriájával jó egyezést mutatott. Az összehasonlítást a makrofotók és a DEFORM-ból készített képernyőképek összehasonlításával végeztük (13. ábra). A klincs kötés során a fenékvastagságot hossz mérő eszközzel mértük, a többi fő paramétert, az alámetszést, a nyakvastagságot, a fenékmélységet pedig a makrofotókról az AutoCAD program segítségével határoztuk meg.



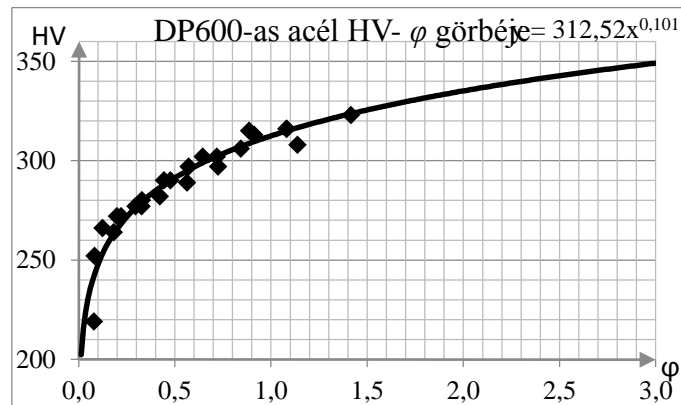
13. ábra.

A kísérleti és a modellezett kötés geometriájának összehasonlítása 0,51 mm fenékvastagságnál 0,01 mm-es értékekkel

A kísérleti kötések és a modellezés között az összehasonlítást a geometriai összehasonlítás mellett az alakváltozások összehasonlításával is elvégeztük.

Az alakváltozás mértékét a próbaköteknél használt DP 600-as anyagminőségű acél-lemezen, az ún. ékpróbával és a mikrokeménység mérésével határoztuk meg. Mivel a DEFORM nem képes keménységi értékek megjelenítésére, a keménységmérésre azért is szükségünk van, hogy ebből meg tudjuk határozni az alakváltozás mértékét, ami a valós és a modellezett adatok összehasonlítását segíti majd.

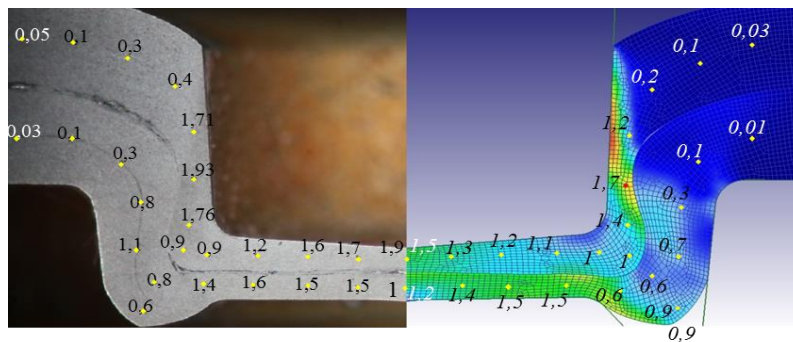
A keménység (HV) és a valódi összehasonlító nyúlás (φ) kapcsolatát a 14. ábra mutatja, amelynek segítségével a kísérleti alakítás és a vége-selemes modellezés eredményei összehasonlíthatók.



14. ábra

DP600 acél HV- φ görbéje és egyenlete

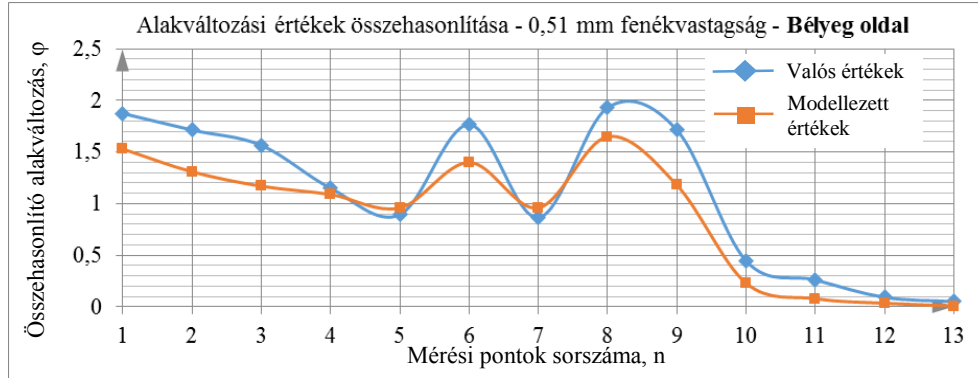
A kísérleti és a modellezett kötés alakváltozási értékeinek összehasonlítását a 15. ábra szemlélteti.



15. ábra.

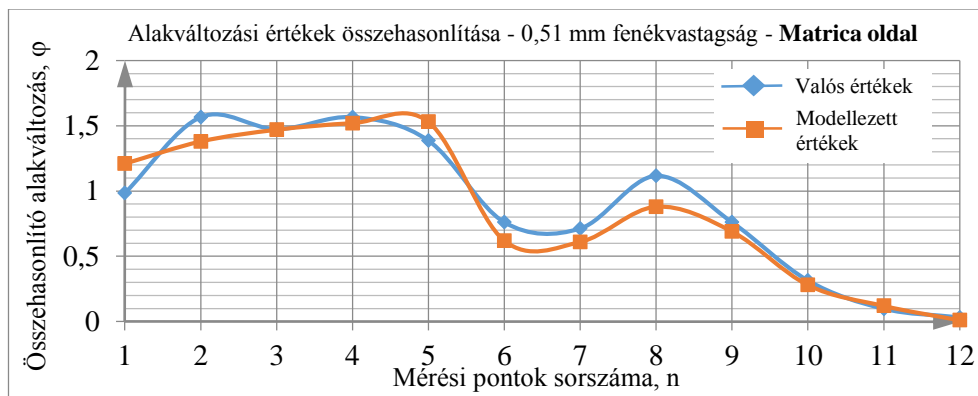
A kísérleti és a modellezett kötés tengelymetszete az alakváltozási értékekkel
 $t_f = 0,51$ mm fenékvastagságnál

Az eredmények összehasonlítását szemléletesen mutatja a következő két diagram (16. és 17. ábra).



16. ábra.

A 0,51 mm fenékvastagságú darab modellezett és mért alakváltozási értékei a megegyező pontokban a bélyeg oldali lemez esetében



17. ábra.

A 0,51 mm fenékvastagságú darab modellezett és mért alakváltozási értékei a megegyező pontokban a matrica oldali lemez esetében

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett vizsgálatok eredményeiből látható, hogy a klincs kötés egyszerűsége ellenére is számos paraméter függvénye, amelyek hatásának elemzésére a végelelemes modellezés egy költséghatékony megoldás. A végelelemes modellezés segítségével ezen paraméterek hatását mind roncsolásos vizsgálatokkal, csiszolatok készítésével és új szerszámok legyártásával kellene elvégezni. Ezek a folyamatok nagyon sok időt és jelentős költségeket vonnának maguk után, mivel az adott szerszámegyüttest optimalizálni kell a kötésben részt vevő lemezvastagságokhoz, valamint sok esetben a lemezek anyaga is befolyásoló tényező. Az eredményekből látszik, hogy a végelelemes modellezés alkalmas a kötés vizsgálatára, és nagyban megkönnyíti a tervezési folyamatot, viszont az előzetes vizsgálatok elvégzése itt is elengedhetetlenül szükséges.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredménye-ire alapozva a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] SAKIYAMA, Tatsuya–NAITO, Yasuaki–MURAYAMA, Gen–SAITA, Kenji–OIKAWA, HATSUHICO–NOSE, TETSURO: Dissimilar Metal Joining Technologies for Steel Sheet and Aluminium Alloy Sheet in Auto Body. *Nippon Steel Technical Report*, No. 103, May 2013.
- [2] GOULD, J. E.: Joining Aluminium Sheet in the Automotive Industry – A 30 Year History. *Welding Research*, January 2012, Vol. 91.
- [3] GREMSPERGER Géza–GÁTI József–BÉRES Lajos–KOVÁCS Mihály–KOMÓCSIN Mihály: *Hegesztési zsebkönyv*. 2003.
- [4] DANYI József–VÉGVÁRI Ferenc: *Gépgyártás és Fenntartás*. Egyetemi tananyag, 2011.
- [5] www.tox-en.com/products/joining-systems/
- [6] <http://www.clinchsystems.com/>
- [7] TISZA M.–GÁL G.–KISS A.–KOVÁCS P.–LUKÁCS Zs.: Alakítható nagyszilárdságú lemezanyagok klincs kötése. *Multidiszciplináris Tudományok*, 4. kötet, 1. sz. (2014) 49–58.