

## KLINCS KÖTÉSEK VIZSGÁLATA

### Jónás Szabolcs

számítási mérnök, Knorr-Bremse Vasúti Jármű Rendszerek Hungária Kft.  
1238, Budapest, Helsinki út 105. e-mail: [szabolcs.jonas@knorr-bremse.com](mailto:szabolcs.jonas@knorr-bremse.com)

### Kovács Péter Zoltán

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet  
Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [metkpz@uni-miskolc.hu](mailto:metkpz@uni-miskolc.hu)

### Tisza Miklós

professor emeritus, Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet  
Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [tisza.miklos@uni-miskolc.hu](mailto:tisza.miklos@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

A cikkünkben bemutatjuk a klincselés technológiáját és összefoglaljuk a Tanszéken az utóbbi években végzett, klincseléssel kapcsolatos kísérleti és végeeselemes szimulációs vizsgálatok eredményét, amelyek egy PhD kutatás részét képezik. Kitérünk a Charpy-féle ütővizsgálatból nyert új eredményeinkre, és néhány fontosabb szimulációs úton nyert következtetésre, továbbá a vegyes kötések (alumínium és nagy szilárdságú acél között létesített kötések) szilárdságára vonatkozó kiegészítő összefüggésünket ismertetjük.

**Kulcsszavak:** klincselés, kötéstechológia, anyagvizsgálat, szimuláció

### **Abstract**

In this study, we introduce the technology of clinch joining technique and summarize the latest research achieved at the Institute on clinch joints via experimental and FE simulation tests, which are part of a PhD research. The paper deals with the results of the Charpy testing method on clinch joints, and some interesting results of simulations, furthermore, we introduce a novel supplementary analytical equation for the estimation of strength of dissimilar joints (between aluminum and high strength steels).

**Keywords:** clinching, joining technique, material testing, simulation

### **1. Bevezetés**

A járműipar, de más területek is számos igényt támasztanak a gyártással szemben; ilyenek például a termék tömegének csökkentése, a termelékenység növelése, az ár csökkentése, stb. Tömeget csökkenteni többféleképpen lehet, így például a topológia optimalásával, új, nagyobb szilárdságú anyagok használatával és eltérő anyagú szerkezetek tervezésével, vagy éppen a kötőelemek számának csökkentésével. A termelékenység növelése létkérdés, de számos problémát vet fel, többek között minőségügyieket. Mindezek mellett az ár csökkentése is kardinális kérdés.

A járművek lemez alkatrészeinek kötésére többféle eljárás létezik, így csavarozás, hegesztés, szegecselés vagy a klincselés. A klincs kötések minden szempontból megoldást kínálnak az új igényekre.

A technológia rugalmasan beépíthető a gyártási folyamatba, automatizálható, rendkívül gyorsan előállítható és reprodukálható a kívánt kötés és különféle anyagok kötése sem okoz különösebb problémát, sőt bevonatos lemezek kötése is lehetséges egy egészen széles lemezvastagsági spektrumon.

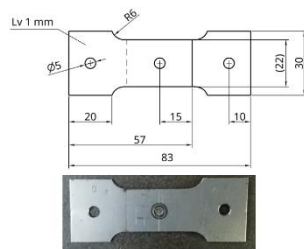
A klincs kötések szerszáma egyszerű felépítésű, emiatt könnyen kezelhető. A szerszámok leggyakrabban körpont alakú kötetést képesek előállítani, de számos változata létezik [1]. A kötés létrehozásakor nem keletkeznek káros anyagok, az alapanyagban pedig nem játszódnak le nem kívánt fázisátalakulások. Mechanikai szempontból a kötések statikus terhelhetősége kisebb, mint a rokontechnológiának számító ellenállás ponthegeztés, azonban kifáradás szempontjából fölülmúlja azt [5][6].

## 2. Kísérleti vizsgálatok

Ebben a fejezetben röviden összefoglaljuk a főbb kísérleti vizsgálatokat, amelyeket klincselte kötések végeztünk.

### 2.1. Dinamikus vizsgálatok

A klincselte kötések dinamikus vizsgálatát Charpy-féle ütővizsgálattal elemeztük. A próbatetek nem szabványosak (1. ábra), így a vizsgálatból nyerhető eredmények csak összehasonlításra alkalmasak. A vizsgálathoz alkalmazott befogót [2] ponthegeztések minősítésére fejlesztették, azonban mivel rokontechnológiáról beszélünk, hasonló elvek szerint ebben az esetben is alkalmazható. Az első kísérletek a [12] kötések optimális fenékvastagságának meghatározására fókuszáltak. Az eredmények szerint 0,5-0,55 mm közötti maradó fenékvastagságok tekinthetők leginkább megfelelőnek.

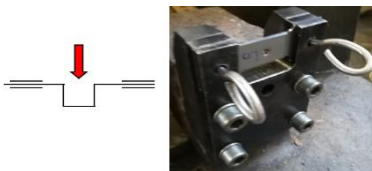


1. ábra. Ütővizsgálatokhoz használt próbatetek geometriája.

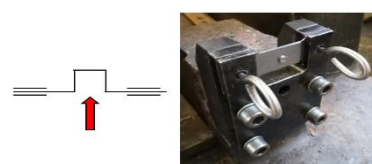


2. ábra. Próbatestek.

Az optimálisnak tekintett kötések további ütővizsgálatai pedig a dinamikus hatás orientációját (3. és 4. ábra) voltak hivatottak feltárni. Feltevéseink szerint, ha az ütőszerszám a dudor felől üti el a próbatestet, akkor az ütőmunka nagyobb lesz, mivel az elütés pillanatában történik egy gyors, a kötés létrehozásával ellentétes irányú zömítésszerű alakítás. Ennek az alakítási folyamatnak az eredménye pedig egy megnövekedett energiaelnyelést kell eredményezzen.



3. ábra. „Normál” irány.



4. ábra. „Fordított” irány.

A kísérleteinkhez DP600-as minőségű acéllemezekből készített próbatesteket használtunk. A vizsgálatok MTS elektro-hidraulikus vizsgálógépen készültek azonos beállítások mellett. Az ütővizsgálatok eredményeit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat. A ütővizsgálatok eredménye.

Próbatest sorszám	1/normál	2/normál	3/normál	4/fordított	5/fordított	6/fordított
Maximális alakítóerő [kN]	41,5	41,51	41,28	41,91	41,88	42,29
Mért fenékvastagság [mm]	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,53
Mért ütőmunka [J]	29,5	30	31	34	35,5	35

Az eredmények alapján igaznak bizonyultak a feltételezéseink. Ennek az eredménynek gyakorlati oldala, hogy a kötések tervezésekor figyelembe lehet venni a várható dinamikus behatás irányát, és az elnyelt energia mennyiségét maximalizálni lehet, például járművek karosszériaelemei esetén.

## 2.2. Eltérő anyagú, statikus vizsgálatok

A statikus vizsgálatokhoz eltérő minőségű lemezanyagokat használtunk. A kötéseket AA6082-es alumínium ötvözet és DP600-as acéllemezek között létrehozott kötésekben végeztük. A vegyes kötések mellett azonos anyagú kötések is vizsgáltak. A vegyes kötések fő kérdése, hogy melyik elrendezés képes nagyobb terhelést elviselni. A szakirodalomból [1],[8] ismert statikus nyíróerő számítási módszert alkalmaztuk a kötések szilárdságának meghatározására.

Mivel az (1) összefüggés heterogén kötésekre érvényes formában ismert, egy redukált szakítószilárdságot (2) kellett meghatározni [12]. Az összefüggésünkben a felső és az alsó lemezek szakítószilárdságának súlyozásával kaphatunk anyagpárosításra és elrendezésre alkalmazható értékeket.

Az összefüggés egyik legfontosabb paramétere a nyakvastagság, azonban azt vagy roncsolásos úton, vagy végeeselemes szimulációkból származtathatjuk. A szimulációkhoz azonban a megfelelő geometriára és anyagtvényre van szükségünk.

$$F_{nyíró} = UTS \cdot \pi \cdot (2 \cdot R_P \cdot t_N + t_N^2) \quad (1)$$

$$UTS_{res.} = \begin{cases} \frac{UTS_{felső} + UTS_{alsó}}{2}, & \text{ha } UTS_{felső} > UTS_{alsó} \\ UTS_{felső} \cdot \left( \frac{UTS_{felső}}{UTS_{alsó}} \right), & \text{ha } UTS_{felső} < UTS_{alsó} \end{cases} \quad (2)$$

A 2. táblázatban összefoglaltuk a mérési eredményeket és a becsléseket. Amint az látható, a közelítő módszerrel nyerhető nyíró-szakító erők értékei közel azonosak, mint az átlagolt vizsgálati eredmények. Egy megfelelően megválasztott biztonsági tényező alkalmazása mellett, és a szabványos anyagjellemzők egyenletbe való behelyettesítésével kedvező kötések tervezhetők.

2. táblázat. A mért és számított nyíró-szakító erő értékek.

Anyagpárosítás (felső/alsó lemez)	Mért nyíró-szakító erő [kN]	Mért nyakvastagság [mm]	Becsült nyíró-szakító erő [kN]	Százalékos eltérés [%]
AA6082/AA6082	1,42	0,300	1,35	4,93
AA6082/DP600	0,53	0,301	0,52	1,89
DP600/AA6082	1,44	0,204	1,38	4,17
DP600/DP600	2,85	0,297	2,86	-0,35

### 2.3. A súrlódás hatásának vizsgálata

Vizsgálatainkhoz kétféle súrlódási állapotú próbatestet készítettünk. Az egyik, a kisebb súrlódási együtthatóval rendelkező eset, amelyet PTFE sprayvel kezeltünk, a másik eset pedig a nagyobb súrlódással rendelkező eset, amit 120-as szemcseméretű dörzspapír alkalmazásával kívántunk elérni. Az S1...S4 jelű kötések a dörzspapírral módosított lemezzpárokkal előállított kötéseket jelölik, a C1...C4 jelű kötések pedig a PTFE-vel kezelteteket.



5. ábra. Súrlódási viszony vizsgálatára szánt próbatestek.

A 5. ábra az előkészített lemezeket és a létrehozott kötéseket mutatja. A kötések létrehozásakor mindig az előírt mértékű, előzetesen kalibrált elmozdulást adtuk meg, így a fenékvastagság állandóságát igyekeztünk tartani. A kalibrált elmozdulást a felületek módosítása nélkül állapítottuk meg, akkor  $t_B=0,51$  mm adódott 3,32 mm dugattyú elmozdulás mellett. A 3. táblázatban a kötésekre vonatkozó gyártási adatot olvashatjuk. Amint az látható egyik esetben sem sikerült a kitűzött 0,51 mm-es fenékvastagságot elérni adott beállítás mellett, ami azonban lényeges, hogy a kötések, S2 és S4 kivételével, közel azonos fenékvastagságúak lettek ( $t_B \approx 0,57$  mm) mindkét esetben az adott vezérlés mellett, és emiatt a kötések előállításához szükséges erők egymással összevethetők. A maximális alakításhoz szükséges erők átlagának különbsége 1,46 kN.

3. táblázat. Alakításkor mért erő és fenékvastagságok

„S” kötések	$t_B$ [mm]	$F_{max}$ [kN]	„C” kötések	$t_B$ [mm]	$F_{max}$ [kN]
S1	0,57	40,75	C1	0,57	39,36
S2	0,53	40,94	C2	0,57	39,36
S3	0,57	40,8	C3	0,57	39,36
S4	0,59	40,8	C4	0,57	39,36

A kötések csiszolatán mérhető alámetszések (C) és nyakastagságok ( $t_N$ ) a 4. táblázatban olvashatóak:

4. táblázat. Makro csiszolatokon mért nyakvastagság és alámetszés értékek

	„S” kötések					„C” kötések				
	S1	S2	S3	S4	$S_{\text{átlag}}$	C1	C2	C3	C4	$C_{\text{átlag}}$
$t_N$ [ $\mu\text{m}$ ]	289,5	272,9	264,5	279,1	276,5	291,6	254,1	291,6	256,2	273,4
C [ $\mu\text{mg}$ ]	116,6	108,3	133,3	116,7	118,7	187,5	133,3	139,6	129,1	147,4

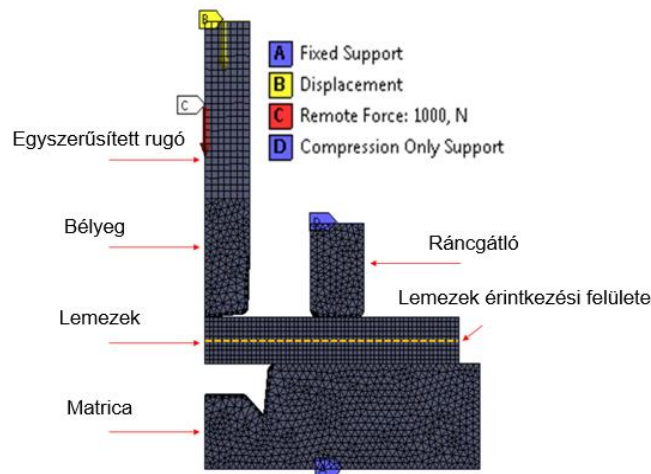
A táblázat adataiból látható, hogy a nyakvastagságot a súrlódás csak kis mértékben befolyásolja, azonban az alámetszések a kezdeti lemezvastagsághoz viszonyítva  $S_{\text{átlag}}$  esetén 12%,  $C_{\text{átlag}}$  esetén azonban 15%.

### 3. Klincselte kötések végeelemes szimulációja

A kísérleti vizsgálatok költségesek, és bizonyos hatásokat nem, vagy csak nehézkesen lehet megvizsgálni, azonban végeelemes szimulációk útján viszonylag egyszerűen és gyorsan elemezni lehet az egyes tényezők hatását.

A klincselte kötések esetén ilyen módon vizsgáltuk a súrlódás hatását, a szerszám geometriájának hatását és az előzőekben tárgyalt alumínium és acél kötését.

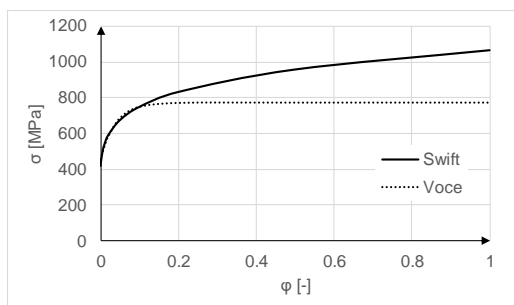
A kellően pontos eredményekhez olyan modellt kell használni, ami jól leírja a valós viselkedést. Ehhez gyakran nem szükséges 3D-s modellt építeni, elegendő a 2D-s modell is. Körponti szerszámmal végzett klincselés esetére a tengelyszimmetrikus megközelítés kielégítően pontos. A modell kalibrálását a DP600-as acélra készítettük el. A modell jóságát az eredményül kapott geometria és az erő - relatív dugattyú elmozdulás görbék méréshez történő összehasonlításával határozhatjuk meg. Mivel a szerszám geometriáját nem ismerjük pontosan, várható, hogy lesznek eltérések. A szerszám geometriáját inverz úton határoztuk meg, tehát egy klincselte kötés keresztmetszetét mértük meg, és származtattuk a szerszámok geometriáját. A mért keresztmetszetet azonban több tényező is befolyásolja. Így a visszarugózást követő geometriaváltozások és a kötések félbevágásakor bekövetkező alakváltozások is. A szimulációk elvégzésére az általános rendeltetésű végeelem rendszerét az ANSYS Workbench 19.2-es verzióját használtuk. A rendszer előnye és hátránya ugyanaz, sokkal több a szabadon állítható paraméter, mint egy dedikált, célorientált rendszerben. A modellt másodfokú elemekből építettük fel (6. ábra) és súrlódásos kontaktokat feltételeztünk az érintkező felületekre, az egyszerűsített rugó és a bélyeg között pedig „bonded” kontaktot feltételeztünk.



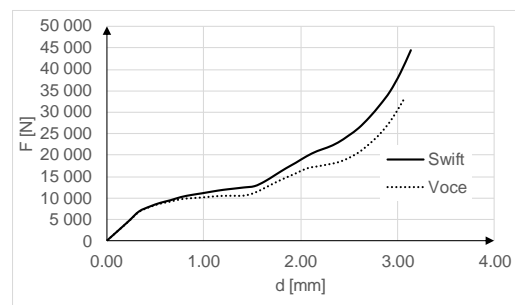
6. ábra. Végeelem modell.

Ezekben a vizsgálatokban két terhelési állapotot vettünk figyelembe: egyrészt egy előterhelést, másrészt pedig az alakítást. A második teherlépcső esetén jóval több időléptékre van felosztva a folyamat a megfelelő konvergencia miatt. A konvergenciát nagyban befolyásolja, hogy nemlineáris

anyagtörvényt kell használni a feladat jellegéből fakadóan, emiatt több iteráció elvégzése szükséges. A súrlódási feltétel Coulomb-féle leírást követ, tehát ennek is van hatása, mivel konstansnak tételezzük fel az alakítás során. A modellben feltételezzük, hogy a szerszámok merevek, azonban a Workbench nem teszi lehetővé 2D-ban a merev testek alkalmazását, ezért a rugalmassági modulus növelésével kerültük ki ezt az akadályt ( $E=200$  GPa helyett  $E=20000$  GPa). Az anyagtörvényt szakítóvizsgálatok eredményeire illesztett függvényekkel extrapoláltuk, mivel klincselés során várható, hogy az alakváltozás jóval meghaladja a szakítóvizsgálatból származó értékeket [8]. A Voce és Swift módszerekkel extrapolált anyagtörvényekkel (7. ábra) elvégezve látható, hogy különböző erő-elmozdulás eredményekre jutunk (8. ábra). Ez a különbség természetesen a geometriára is hatással van.

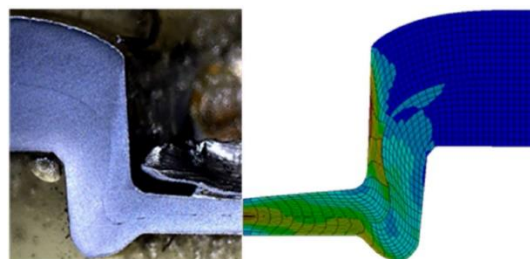
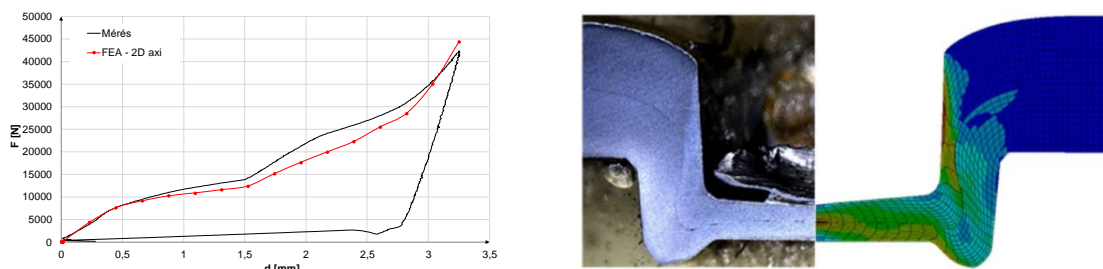


7. ábra. Anyagtörvények.



8. ábra. Erő-elmozdulás görbék.

A továbbiakban a Swift módszerrel történt extrapolációs függvényt használjuk, amely leírás a Nádai féle leíráshoz hasonló eredményre vezet [11]. Az ok, hogy a Swift módszerrel kapott eredmények közelebb állnak a valós mérési eredményekhez, mint a Voce törvény szerinti. Ennek magyarázata lehet, hogy a Voce törvény egy határon túl ideálisan képlékeny jelleggel írja le az anyag viselkedését, ami pedig keményedő, valós anyag esetén alul becsüli a valóságot. Az első szimulációs eredmények azt mutatták, hogy a keresztmetszetek hasonlóak, mint a méréssel nyert keresztmetszetek, azonban az erő-elmozdulás diagramok nem illeszkedtek megfelelően egymásra. A maximális erő értéke és a görbék futásának jellege hasonló volt, de jóval kisebb elmozdulás hatására. Ekkor a szerszámot megvizsgálva arra jutottunk, hogy a bélyeg felett elhelyezkedő laprugó sort figyelembe kell venni. Ezt egy egyszerűsített rugósorral meg tudtuk tenni. Ennek az egyszerűsített rugónak a merevségét addig módosítottuk, míg a megfelelő elmozdulást nem adta eredményül a modellünk. Ebben az esetben  $E=58$  GPa-os rugalmassági modulus vezetett eredményre. Fontos megjegyezni, hogy más anyag esetén ezt a kalibrációt újra el kell végezni, mivel a rugók összenyomódása erősen függ a lemezek anyagától is. Korábbi tanulmányainkban részletesen elemeztük a modellt [10], [11].



9. ábra. Modell kalibráció eredményei.

A 9. ábra jobb és bal oldalán a kalibrált eredmények láthatók. Az inverz geometria meghatározás és a súrlódási törvény pedig a diagramon látható, mint eltérés. Ez az eltérés ~10%, amit még elfogadhatónak találtunk.

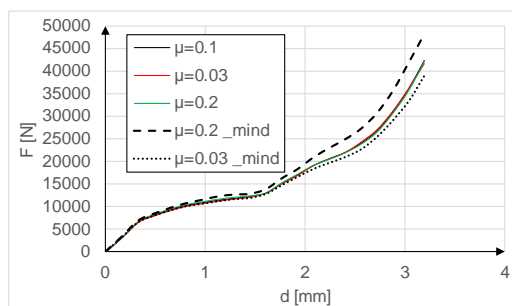
#### 2.4. A súrlódás hatásának modellezése

Mivel a szakirodalmak [7], [8] alapján fontos paraméter a súrlódás, ezért elvégeztük DP600-as lemezek között is ennek a befolyásoló tényezőnek a hatásvizsgálatát. Elsőként szimulációs úton vizsgáltuk. A modell a már korábban (3. fejezet) ismertetett módon épült fel, a különbség mindösszesen a súrlódási tényezőkben jelenik meg.

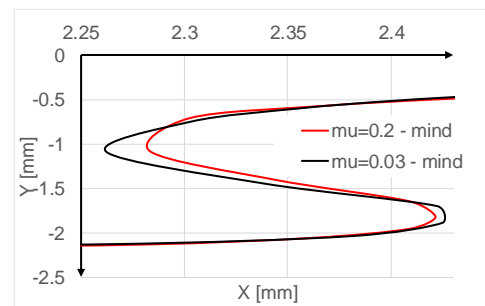
Három esetben megvizsgáltuk, hogy milyen hatása van a lemezek közötti súrlódásnak, és két esetben, amit később használni fogunk, pedig azt, hogy mi történik, ha az összes együttható egységesen változik.

A 10. ábra mutatja, hogyan hat a szimulációkban a súrlódási tényező az erő-elmozdulás görbékre. A szakirodalmakkal egybevágóan ebben az esetben is a kent állapotnak megfelelő állapotban ( $\mu=0,03\_mind$ ) a legkisebb az alakításhoz szükséges erő szükséglete, míg a másik végletet ( $\mu=0,2\_mind$ ) a legnagyobb erőt igényli. Az adódó különbség ~10kN-ra adódott a számításokban. Ez a terhelésbeni bizonytalanság akár a szerszámok tönkremeneteléhez is vezethet, így a gondos előkészítés javasolt. Mivel az ipari gyakorlatban erre nem igazán van lehetőség, ezért a folyamatos monitorozás segíthet elkerülni a nem kívánatos szerszámcsereket, ezzel elkerülhetővé válik a termelésekiesés.

A fő geometriai méretek közül az alámetszést vizsgáltuk részletesebben, mivel a nyakvastagság elhanyagolható mértékben módosult a szimulációs eredmények alapján. Amint az a diagramról (11. ábra) leolvasható, az alámetszés ebben az esetben is a szakirodalmi adatoknak megfelelően viselkedik, tehát a kisebb súrlódási állapotban nagyobb az alámetszés mértéke,



10. ábra. Súrlódási tényező hatása az erő-elmozdulás görbékre.



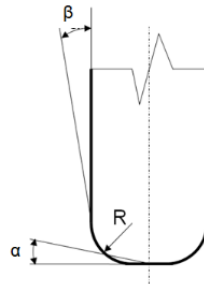
11. ábra. Alámetszés (C) változása – szélsőértékekben vizsgálva.

Az alámetszés mértéke a kezdeti lemezvastagsághoz viszonyítva  $\mu=0,03\_mind$  esetén 17%, míg  $\mu=0,2\_mind$  esetén 14%.

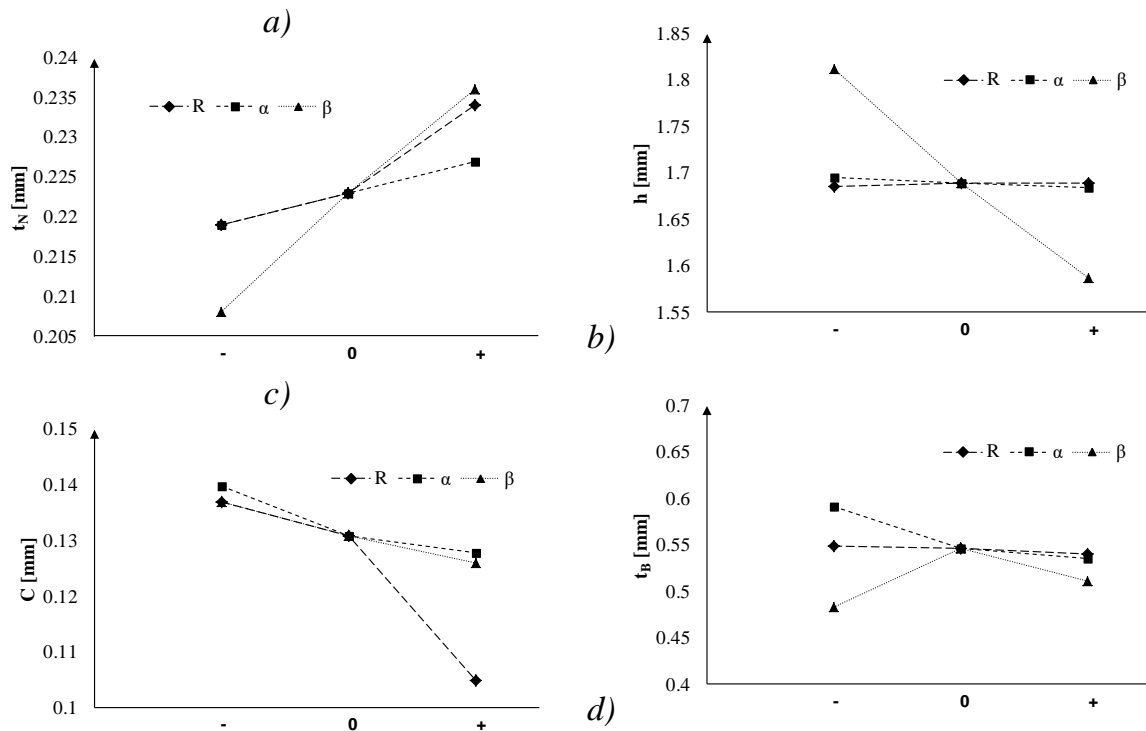
#### 2.5. A szerszám geometriájának hatása

Számos vizsgálatot végeztünk szimulációs úton a bélyeg hatásának vizsgálataihoz. Arra jutottunk, hogy a leginkább befolyásoló tényező a szerszám kúpossága és a szerszám csúcsának sugara. A [11] cikkünkben részletesen bemutattuk az egyes hatásokat, itt összefoglaljuk röviden az eredményeinket.

A 12. ábrán a főbb vizsgált geometriai paramétereket mutatjuk be. Az egyes szimulációk esetén a paraméterek hatásait külön-külön vizsgáltuk plusz és mínusz irányban eltérve az eredeti értéktől („0”-val jelölt érték az eredeti méret).



12. ábra. Sematikus bélyeg a főbb geometriai jellemzőkkel.



13. ábra. Geometriai paraméterekre gyakorolt hatások

a) Nyakvastagság; b) Dudor magassága; c) Alámetszés; d) Fenékvastagság.

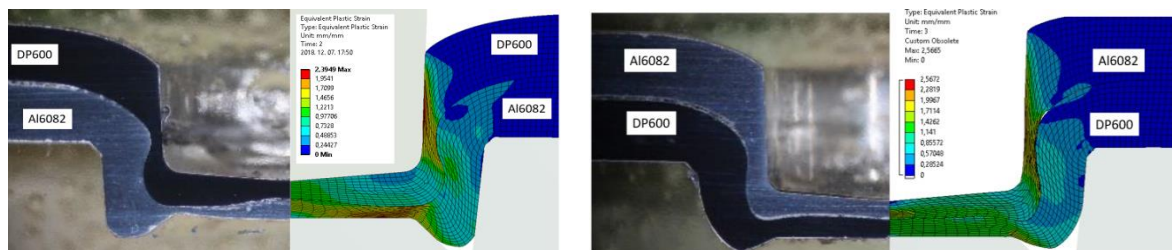
A kötések főbb paramétereit hasonlítottuk össze a 13. ábrán. Az eredményekből következik, hogy az  $\alpha$ -val jelölt csúcsszög a rádiuszhoz és a  $\beta$ -val jelölt kúpszöghöz képest kicsiny mértékben van hatással a kötések geometriájára. A rádiusz (R) a nyakvastagságot és alámetszést befolyásolja leginkább, míg a  $\beta$  kúpszög a nyakvastagságot és a dudor magasságát.



## 2.6. Eltérő anyagok klincselése

Ebben az összesítő tanulmányunkban az alumínium-acél lemezpárosítást vizsgáljuk, de például [9] cikkben az eltérő szilárdságú lemezek kötéseiről írtunk.

A lemezek anyaga a vizsgálatokhoz hasonlóan DP 600 acél és AA6082 alumínium volt. A kötések hasonlóképpen viselkednek, mint a korábban bemutatott mérések. A [12] cikkünkben részletesen beszámoltunk az anyagpárosítás során fellépő nehézségekről és nemcsak ANSYS-szal, de DEFORM 2D végeelem rendszerrel is elemeztük a kötéseket. A különbségek a két rendszer között szembe tűnnek, mivel míg az ANSYS-ban az újrahálózás külön paranccsal írható le, addig a DEFORM-ban az újrahálózás, mivel célszoftverről van szó, automatikusan megtörténik. Az újrahálózásnak hatása van az erőelmozdulás diagram alakjára. Ezt ANSYS-ban elemeztük, és azt tapasztaltuk, hogy minden újrahálózási pontban ugrás következik be az erő értékében, de alapvetően követi a mérési görbét, és ezektől a pontoktól el lehet tekinteni, természetesen a futási idő emiatt jelentősen megnő, ami viszont kedvezőtlen.



14. ábra. Vegyes kötések szimulációs eredményei és a valós kötések összehasonlítása.

A 14. ábra bal és jobb oldalán az egyes kötések összehasonlítása látható a méréssel. Ebből az látszik, hogy a kedvezőbb elrendezés az alumínium-acél sorrend, mivel nagyobb a nyakvastagság, azonban ebben az esetben kisebb az alámetszés mértéke, tehát kisebb erő hatására ki tud gombolódni a kötés. Tehát nemcsak a nyakvastagságtól függ a kötés szilárdsága, hanem az anyagi sorrendtől is. Acél-alumínium elrendezésű kötés elkészítése gondosabb előkészítést igényel, mivel a repedések ebben az esetben megjelenhetnek.

A 2.2 fejezetben bemutatott összefüggést ebben az esetben megkötések mellett lehet csak igénybe venni, mivel tudjuk, hogy az alkalmazott modell szimulációiból nyerhető nyakvastagságok kisebbek, mint a valóságban. Ha feltételezzük, hogy a pontatlanság a szimulációkban állandó, amit egyébként a korábbi mérési és szimulációs összehasonlítás alá is támaszt, egy korrekciós faktorról növelt nyakvastagsági értéket használhatunk.

## Összefoglalás

A cikkünkben összefoglaltuk a klincseléshez köthető, az utóbbi időből származó főbb eredményeinket.

A kötések minősítésére alkalmas dinamikus vizsgálatot határoztunk meg. Az eltérő orientációs vizsgálatokból látható, hogy az energiaelnyelőképeség függ a külső dinamikus hatás irányától, és javaslatot tettünk a kedvező beépítésre. A szakirodalomban elérhető analitikus nyíró-szakító erő értéket becslő összefüggést kiterjesztettük eltérő anyagú lemezekre, és alumínium – acél párosítással alátámasztottuk az alkalmazhatóságát; további vizsgálatokkal más anyagcsoportokra is ellenőrizhető, pontosítható. Megvizsgáltuk a súrlódás tényező hatását, amelynek eredménye, hogy a megfelelő kenés kedvezőbb a kötés szilárdságának szempontjából.

Végelem számításokat végeztünk a kötések súrlódási állapotának vizsgálata céljából, ellenőriztük az eltérő anyagú kötések és meghatároztuk a bélyeg geometriájának legfontosabb befolyásoló tényezőit, és megállapítottuk, hogy a rádiusz és a kúposág módosítása jól mérhetően befolyásolja a végső geometriát, ezáltal áttételesen a kötés szilárdságát. Jövőbeli tervünk, hogy vizsgálatokat végezzünk a módosított geometriájú szerszámokkal, és a kötések szilárdságát ezáltal maximalizálni tudjuk, illetve az itt is alkalmazott AA6082-as alumínium ötvözetre optimális geometriát tudjunk meghatározni.

## Köszönetnyilvánítás

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.



## Irodalom

- [1] He X.: Clinching for sheet materials, *Science and Technology of Advanced Materials* 2017, 18(1):381-405. <https://doi.org/10.1080/14686996.2017.1320930>
- [2] Dobosy Á., Gáspár M., Prém L.: Nagyszilárdságú acélok hegesztett kötéseinek műszerezett ütvizsgálatai. AGY (2016), Miskolctapolca
- [3] Jónás, Sz., Felhős, D., Tisza, M.: Clinching of High Strength Steels – Tests and simulation, In: NAFEMS, NAFEMS World Congress 2017, Svédország, 2017
- [4] Jónás, Sz., Tisza, M., Experimental study on DP600 clinched joints, *Metallurgy and Foundry Engineering* 2018, 44:31-40. <https://doi.org/10.7494/mafe.2018.44.1.31>
- [5] Balawender, T. Sadowski T., Kneć M.: Technological problems and experimental investigation of hybrid: clinched-adhesively bonded joint, *Archives of Metallurgy and Materials* 2011, 56(2):439-446. <https://doi.org/10.2478/v10172-011-0047-3>
- [6] Nordberg, H.: Fatigue Properties of Stainless Steel Lap Joints. Spot welded, adhesive bonded weldbonded, laser welded and clinched joints of stainless steel sheets – a review of their fatigue properties, SAE International, 2015
- [7] Sadowski T., Balawender T., Golewski, P.: Technological Aspects of Manufacturing and Numerical Modelling of Clinch-Adhesive Joints, *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, Computational Mechanics* 2015, 1-59. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14902-8>
- [8] Coppiters, S.: Experimental and numerical study of clinched connections, PhD dissertation,
- [9] Jónás, Sz.; Tisza, M., Determination of different parameters of high strength steel clinch joints by FEA, *International Journal of Engineering and Management Sciences* 2019, 4:341-347. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.1.42>
- [10] Jónás, Sz., Tisza, M., Numerical Investigation of Clinched Joints, *Materials Science and Engineering: a Publication of the University of Miskolc* 2018, 43(1):62-70. <https://doi.org/10.24867/ATM-2018-1-001>
- [11] Jónás, Sz.; Tisza, M., Influencers of clinched joints, In: Kékesi, Tamás (szerk.) *Multiscience XXXII. MicroCAD International Multidisciplinary Scientific Conference*, 2018 Miskolc-Egyetemváros, pp. 1-8. <https://doi.org/10.26649/musci.2018.036>
- [12] Jónás, Sz.; Tisza, M.; Felhős, D.; Kovács, P. Z., Experimental and numerical study of dissimilar sheet metal clinching, *AIP Conference Proceedings* 2019: 050021. <https://doi.org/10.1063/1.5112585>