

# Klincs kötés vizsgálata kísérleti és szimulációs úton

## Experimental and numerical investigation of clinched joints

SZ. JÓNÁS, M. TISZA

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, szabolcs.jonas@gmail.com

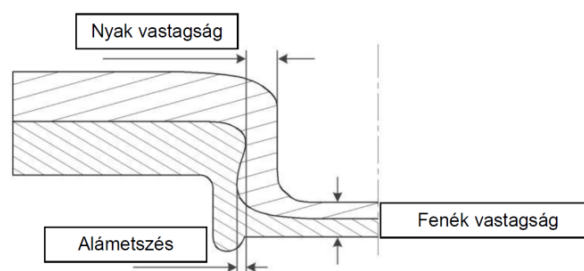
*Absztrakt. Ebben a cikkben DP600 jelű acélok klincs kötését vizsgáljuk kísérleti és szimulációs úton. A klincs kötés egy bélyeg és matrica szerszámpár segítségével, képlékeny alakváltozások során hozható létre vékonylemezek között. A lemezeket a bélyeg adott erővel a matricába nyomja. Az eljárás gyakorlatilag egy sajtolva lemezalakító technológia, amely a szerszámok geometriájának megfelelően hozza létre a kötetést. A folyamat során a lemezek képlékeny alakváltozást szenvednek, és a kötésre jellemző „S” alakú alámetszés alakul ki.*

*Abstract. In this study DP600 type of steel sheets were examined by experimental and numerical simulations. The clinch joint is can be created between thin sheets with a punching tool and a die during plastic deformation. The punching tool is deforming the sheets with a given force. The process is kind of a press forming joining technique which makes the joints defines by the tools. During the process the sheets are plastically deformed and the specific “S” shaped undercut is formed. This shape is one of the most essential geometrical parameter of the joints.*

## Bevezetés

Az iparban az egyre fokozódó igények megjelenése miatt olyan technológiákat kell alkalmazni, amelyek képesek kielégíteni azokat. Ilyen igény a tömegcsökkentés. A tömegcsökkentés számos okból is fontos, így azon túl, hogy kisebb lesz a gyártmány tömege, olcsóbbá tehető mind a gyártási oldalról, mind pedig a vevői oldalról. A szériagyártás során a gyártóeszközöknek sok ezer, millió darab adott tűrést kielégítő terméket kell tudnia elkészíteni. A nagy darabszámú gyártással foglalkozó cégek emiatt a kopásállóságot (gépipari tűrések) és az egyszerű, olcsó cserélhetőséget (termelési költségek alacsonyan tartása, termelési idő maximalizálása) helyezik fontos pozícióba. A megoldáshoz olyan innovatív eljárásokat kell alkalmazni, amelyek a felsoroltakat képesek úgy kielégíteni, hogy a termékek nem csak funkciójukban, hanem mechanikai és egyéb műszaki szempontokból is megfelelőek legyenek. Többek között az autóiiparban a tömegcsökkentés több területén (motor, vázszerkezet, stb.) megjelenik, különféle módszereket ötvözve. A tömegcsökkentést több szempontból is lehet vizsgálni, így az adott szerkezeti elemek kiváltása újabb, nagyobb szilárdságú elemekkel, optimalási eljárásokkal vagy éppenséggel a kötőelemek számának csökkentésével. Jelen cikk ez utóbbit hivatott bemutatni a klincselés technológiáját. Hazai kutatásokról a klincselés témájában [7-9] cikkekben születtek. A kötésnek számos variációja ismert, azonban klasszikusnak a körpontot nevezhetjük. A körpont kötéseknek is egyéb alvariánsai vannak, amelyek az eltérő ipari alkalmazásoknak,

lemezvastagságoknak felelnek meg. Az elemi kötés létrehozásához tehát nincs szükség egyéb, további kötőelemre ellenben a csavar- vagy szegecskötéskor, hegesztéskor. A gyártás során nem szükséges a lemezeket kifúrni. Ezek alapján a klincselés a hagyományos technikák jó alternatívája. Szükséges kiemelni, hogy megannyi előnyös tulajdonsága mellett a kötés szilárdsága alacsonyabb a többihez képest. Olyan területeken, amelyeken a tömegcsökkentés elvárt cél, de a kisebb teherviselő képesség is indokolható, kiválthatja a korábbi eljárásokat. Mivel ez a törekvés a legtöbb ipari alkalmazásban kijelölt irány, jó eséllyel még inkább el fog terjedni a kötés, és számos alkalmazásban találkozhatunk majd vele. Jelenleg főként az autó-, repülőgép-, űr-, háztartási gép- és számítógépiparban fordul elő. Annak ellenére, hogy a klincselés már az 1980-as években megjelent, csak az utóbbi néhány évben, köszönhetően az ipari igényeknek és a szimulációs technológiák és számítástechnikai fejlődésnek, fejlődött hatalmas mértékben. Az első szabadalom 1897-es [1]. Az első nagy ipari felhasználó az Audi volt 1985-ben. 1986-ban már háztartási eszközök lemezalkatrészeihez használták. Később, az 1990-es években a német Hamburg-Harburg-i Műszaki egyetemen tudományos kutatások indultak a kötéstechnológiára fókuszálva. Az Eckold mutatta be a mai napig legerjedtebb klincs variánst a körpont alakút, majd az első online klincs minőségirányító rendszert és ausztenites acélokhoz szivárgásmentes kötetést (R-DF variáns). Fraunhofer intézet kutatásai alapján elkészültek az első robotizált rendszer. A Mercedes-Benz S-osztálya használja a karosszériákhoz, 645 kötetést tartalmaznak [2]. A kötéshez használt lemezek vastagsága 0,2 és 8 mm (tipikusan 4 mm-ig) között változhat, azonban nem szükséges az azonos vastagság [1]. Az 1. ábra a kötés fő paramétereit mutatja.

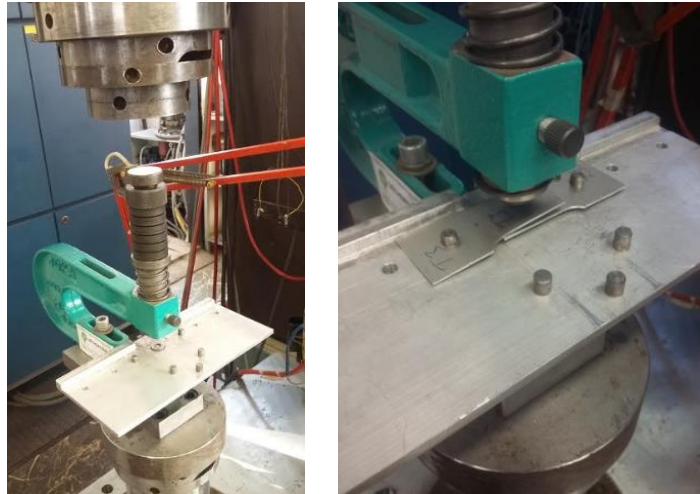


1. ábra. Klincs kötés sematikus ábrázolása a főbb paraméterekkel

## 1. Klincs kötések kísérleti vizsgálata

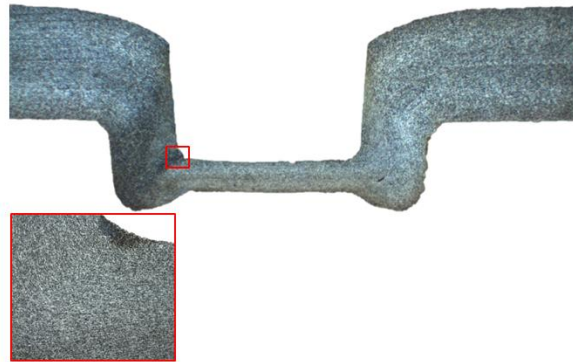
### 1.1. Kötés létrehozása

A méréseket a Miskolci Egyetem Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézetének laboratóriumában lettek elvégezve. A klincs kötések TOX szerszámmal készültek egy MTS elektrohidraulikus gépre felszerelve. A szerszámot és a próbatesteket az ábra mutatja (2. ábra).



2. ábra. Klincs kötések készítése

A mérést követően makro csiszolat készült a próbatestek keresztmetszetéről, hogy mikroszkóp alatt is meg lehessen vizsgálni a lemezeket és a későbbi végelemes szimulációkkal is össze lehessen vetni. Az alábbi ábrákon a DP600-as anyagminőség makro csiszolata látható. A makro csiszolat 3%-os Nitallal készült el. A csiszolaton a szemcsék képlékeny alakításakor elszenvedett megnyúlása jól kivehető (500x-os nagyítású részlet).

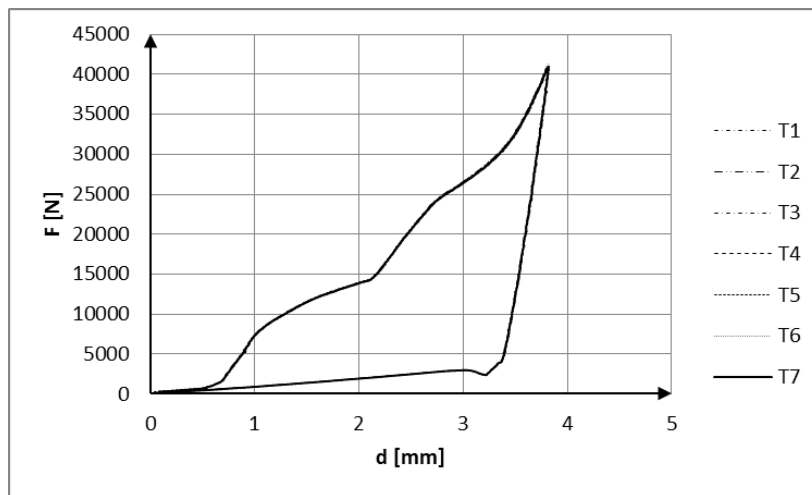


3. ábra. DP600 – makro csiszolata (12,5X és 500x-os nagyítás, 3%-os Nital)

A 3. ábra jobb oldalán az alámetszést jelző „S” alak látható. A kötés alakzárását az alámetszés mértéke befolyásolja, így ez a klincs kötés egyik meghatározó geometriai jellemzője. Minél nagyobb az alámetszés mértéke (az anyag károsodása nélkül), annál nagyobb erőre van szükség a kötés tönkremeneteléhez. A másik lényeges minőségi paraméter a nyakvastagság. Ez minél kisebb, annál kisebb terhelés hatására megy tönkre a kötés. Ezek alapján világos, hogy a két paraméter maximumát keressük a gyártás során. A harmadik lényeges geometriai paraméter a fenékvastagság.

A kötések létrehozása során felvett erő – benyomódás görbék láthatóak 4. ábra. A [6]-ban ismertetett jellegzetes szakaszok ebben az esetben is felismerhetők. A kötés létrehozását többször is megismételve közel azonos eredményeket kapunk. A görbe első szakasza az előterhelésből adódik, amit a későbbi szimulációk során nem veszünk figyelembe, feltételezzük, hogy ekkor csak a gép

rugalmassága, a lemezek és egyéb alkatrészek felütközése történik meg. Illetve a mérés során a dugattyú elmozdulását ismerjük, ezért majd kompenzálni szükséges az eredményt, mivel a szimulációkban a bélyeg lesz elmozdulással vezérelve.

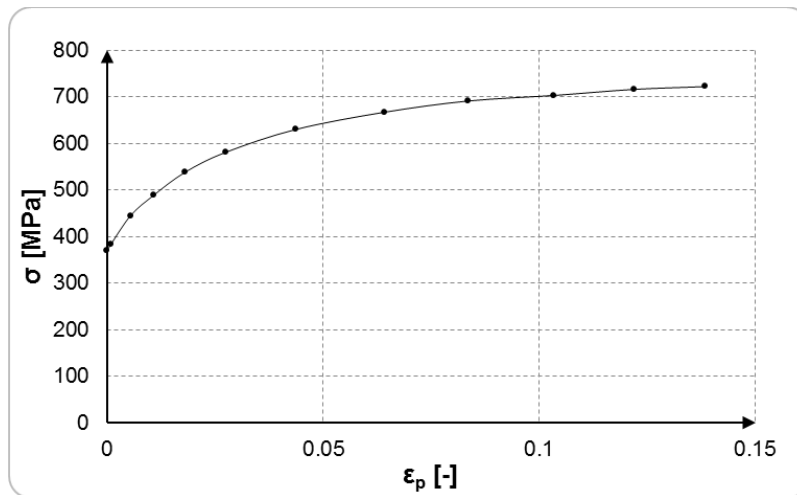


4. ábra.  $t=0,55$  mm fenékvastagságú kötések

A második és harmadik szakaszban történik a lemezek hajlítása, a negyedikben elérjük a maximális erőt, amivel még a szerszám és a lemezek tönkremenetele nélkül létrehozható a klincs kötés. A diagramról leolvasható, hogy az 1-1 mm vastag DP600-as lemezek kötésének erőigénye  $\sim 40$  kN nagyságú. A maximális erő elérése után a már kötésben lévő lemezekből eltávolítjuk a bélyeget.

## 2. Végeselemes szimuláció

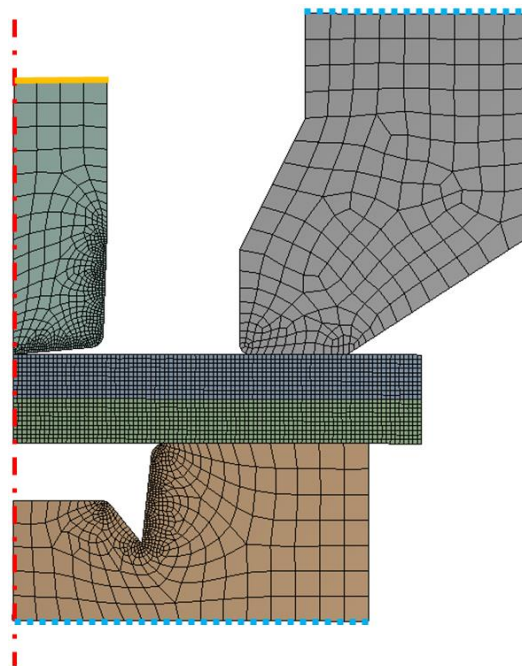
A végeselemes szimulációs modell ANSYS 17.2-ben lett felépítve. A geometria a korábbi tanszéki kutatások során, inverz úton lett meghatározva [7,8]. Az így megismert geometria az ANSYS Design modeller-ben parametrikusan lett megrajzolva. Ennek előnye, hogy a további paraméterérzékenység vizsgálatok során a geometria rugalmasan módosítható. Mivel a feladat jó közelítéssel hengersizmetrikus, az anizotrop jelenségektől pedig el lehet tekinteni, a modell 2D-s tengelyszimmetrikusként lett megfogalmazva. Másodfokú, négyszög elemekből épül fel. A szerszámok lemezzel érintkező élein lokális hálósűrítés lett alkalmazva. A szerszámok rugalmas anyagként lettek definiálva ( $E=210$  GPa és  $\nu=0,3$ ), míg a két lemez rugalmas-képlékeny anyagtörvényt követ. A DP600-as anyagminőséget leíró folyásgörbét a diagram mutatja (5. ábra). Az anyagmodell izotrop keményedő, multi-lineáris. Az anyagtörvény szakítóvizsgálatra illesztett szakaszokból épül fel.



5. ábra. DP600 – valódi feszültség – valódi képlékeny alakváltozás görbe

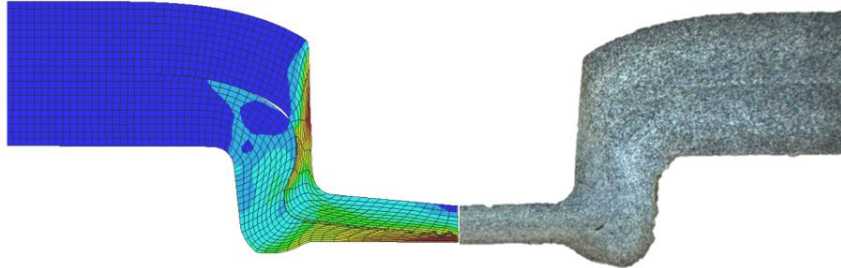
A végelem modell hálója és peremfeltételei a következő ábrán láthatóak (

6. ábra). Az ábrán szaggatott vonallal a forgástengely, pontvonallal a függőleges és vízszintes irányú elmozdulás elleni kényszer, míg folytonos vonallal a bélyeg függőleges elmozdulás kényszere látható. A modell elmozdulás vezérelt. Az elmozdulás a mérésekből származtatva -2,75 mm. Ez később a méréssel történő összehasonlításkor a kompenzáláshoz szükséges. A ráncgátló 5300 N függőleges irányú erővel terhelt, ami az előfeszítést hivatott figyelembe venni. A ráncgátló függőleges elmozdulását csak pozitív irányban gátoljuk („compression only support” peremfeltétel). A kontaktok Augmented Lagrange formalizmust követnek, a felületek között Coulomb-féle súrlódási törvény szerint  $\mu=0,2$  a súrlódási tényező, míg a bélyeg és lemez között 0,3. A szimuláció 2 terhelési lépcsőben lett definiálva, így az elsőben a leszorító erő, majd a leszorító erő konstans és a bélyeg elmozdulása.



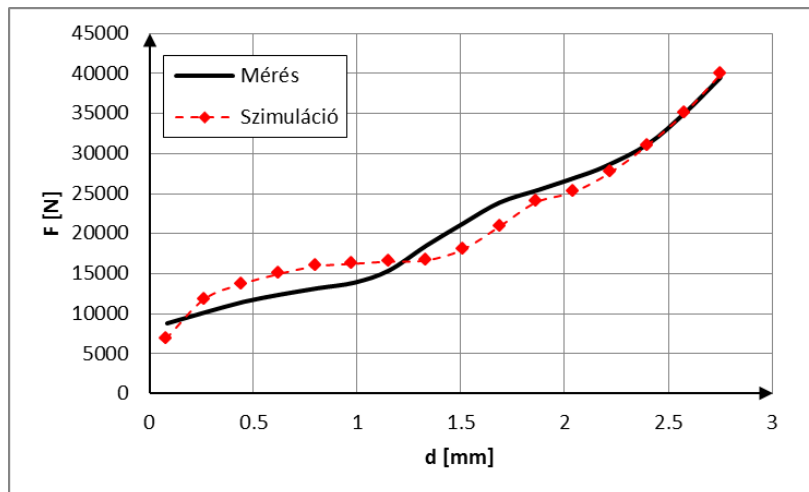
6. ábra. Végelem modell (háló és peremfeltételek)

A modell validálásához a korábban elvégzett vizsgálatok lettek felhasználva. Egyrészt a geometriai hasonlóság, másrészt az erő-elmozdulás diagramok is használhatóak. Mivel elmozdulás vezérelt modell készült, csak az alakok hasonlósága nem kielégítő bizonyossággal támasztja alá azt, hogy a modell közelíti a valós állapotokat, tehát későbbi numerikus vizsgálatokra használható. A szimuláció eredménye és a mért próbatest egymáshoz viszonyítva kellően jó egyezést mutat. Az összehasonlítást az 7. ábra mutatja.



7. ábra. Mérés és szimuláció összehasonlítása (egyenértékű alakváltozás)

A modell megfelelőségét az alábbi erő-bélyeg relatív elmozdulása (F-d görbe - 7. ábra) is alátámasztja. A különbségek ~10%-on belül vannak, amelyek ebben a komplex esetben elfogadhatóak. Az alakítás első szakaszában a mérés többnyire bizonytalanságokkal jár.



8. ábra. Erő-elmozdulás görbék összehasonlítása

## Összefoglalás

A megismert technológia számos lehetőséget biztosít a további tanulmányozásra, ugyanis a modellezés során kiderült, az eredmények érzékenyek az egyes paraméterekre. További mérések és szimulációk szükségesek, hogy fel lehessen térképezni azt a tartományt, amely lefedi a kellően pontos kötésminőséget, továbbá az egyes geometriai paraméterek módosításával vizsgálni lehet az egyes hatásokat, amelyek hasznosak lehetnek az ipar számára is.

## Hivatkozások

- [1] T. Sadowski, T. Balawender, P. Golewski (2015) *Technological Aspects of Manufacturing and Numerical Modelling of Clinch-Adhesive Joints*, Springer.
- [2] X. He (2017) *Clinching for sheet materials, Science and Technology of Advanced Materials (STAM)*, Taylor & Francis.
- [3] X. He, F. Liu, B. Xing, et al. (2014) *Numerical and experimental investigations of extensible die clinching*, Int J Adv Manuf Technol. 74 pp. 1229-1236.
- [4] J. Mucha (2011) *The analysis of lock forming mechanism in the clinching joint*. Mater Des. 32(10) pp. 4943-4954
- [5] J. Mucha, L. Kascak, E. Spisak (2011) *Joining the car-body sheets using clinching process with various thickness and mechanical property arrangements*. Archiv Civil Mech Eng. 2011;11(1) pp. 135-148.
- [6] Y. Tan, O. Hahn, F. Du (2005) *Process Monitoring Method with Window Technique for Clinch Joining*. ISIJ International, Vol. 45 (2005), No. 5, pp. 723-729
- [7] M. Tisza, G. Gaszton, A. Kiss, P. Z. Kovács, Zs. Lukács (2014) *Alakítható nagyszilárdságú lemezanyagok klincs kötése*, Multidiszciplináris tudományok. 4(1) pp. 49-58.
- [8] P. Z. Kovács, M. Tisza (2016) *Klincs kötés technológiai paramétereinek vizsgálata, végelelemes modellezése*, Anyagmérnöki Tudományok, 39(1 ) pp. 7-18.
- [9] G. Béres, J. Danyi, F. Végvári (2015) *Clinching of steel sheets used in automotive industry*, In: Nicolae Balc (szerk.) *Modern Technologies in Manufacturing*. 394 p.