

Nagyszilárdságú acélok törésig elviselt nyíró alakváltozásának vizsgálata

Investigation of shear fracture strain of high strength steels

GÁL Viktor¹, Dr. LUKÁCS Zsolt², BÉRES Levente³, Dr. KOVÁCS Péter Zoltán⁴,

^{1,3} Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Anyagvizsgáló Osztály, H-3519 Miskolc, Iglói út 2.,
e-mail: viktor.gal2@bayzoltan.hu, levente.beres@bayzoltan.hu.

^{2,4} Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet, H-3515 Miskolc, Egyetem út 1.,
e-mail: zsolt.lukacs@uni-miskolc.hu, metkpz@uni-miskolc.hu.

Abstract

In our previous research, a tensile loaded shear specimen was developed (which can be manufactured by drilling or milling), and investigated. The results of this new specimen show good correlation with the literature. In this paper the geometry of the new specimen was optimized with FEM for DP 600, DP800 and DP 1000. The relation between the strength and the geometry required for pure shear was examined based on the three specimens. The results of the simulations were validated by physical measurements. The relation between the shear fracture strain and the strength were also examined.

Keywords: Fracture strain, Shear fracture strain, DP steels, Shear specimen, FEM

Kivonat

Korábbi kutatásaink során kifejlesztésre került egy olyan nyíró igénybevételi próbatest, ami egyszerű geometriai elemeket tartalmaz, gyártása forgácsolással megvalósítható és a szakirodalmi próbatestekkel korreláló eredményt ad. Ebben a cikkben az említett geometriát optimalizáljuk vége-selemes modellezés segítségével három anyagminőségre (DP 600, DP800 és DP 1000). Az így meghatározott három próbatesten vizsgáljuk a szilárdság és a tiszta nyíráshoz szükséges geometria közötti kapcsolatot. A szimulációk eredményeit fizikai mérés-sel támasztjuk alá, emellett vizsgáljuk a törésig elviselt alakváltozások és a szilárdság közötti kapcsolatot is.

Kulcsszavak: Törési alakváltozás, Nyíró törési alakváltozás, DP acélok, Nyíró próbatest, Vége-selemes modellezés

1. BEVEZETÉS

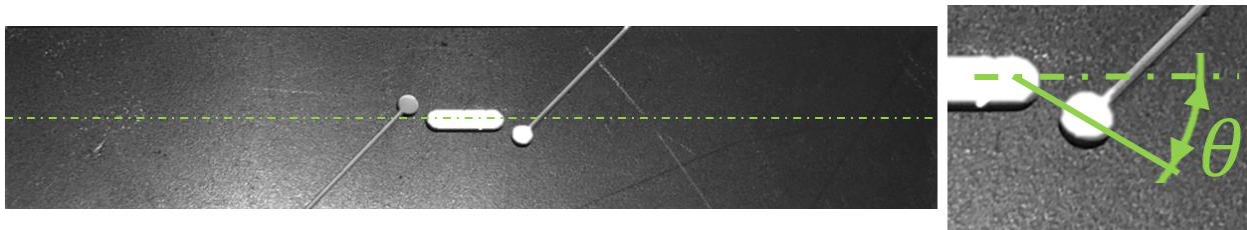
Autóipari alkalmazásokban lemezalkatrészek képlékeny alakításánál, széles körben használják az alakítási határgörbét (FLC- Forming Limit Curve) a várható tönkremenetel definiálására. Napjainkban a karosszéria elemek gyártása egyre összetettebb, többlépéses alakító műveleteket igényelnek. A bonyolult geometriájú több alakítási lépéssel készülő alkatrészek gyártásánál a folyamat során megváltozhat az alakítási út vonal, aminek következtében az FLC alul, vagy túlbecsülheti az anyag valódi alakíthatóságát [1]. A kis rádiuszú, egyenes falú, mélyhúzott lemezalkatrészek gyártásánál a rádiusz környékén a nyíró igénybevétel hatására szakadás következhet be [2], amit az alakítás határát kontrakcióval definiáló FLC nem képes előre jelezni.

Utóbbi példa a magyarázata annak, hogy jelentős kutatások folynak a károsodási határesetek meghatározására a kisebb főalakváltozás (φ_2) negatív tartományában. A károsodás jellemzésére ebben az esetben a nyíró igénybevétel hatására létrejövő, törésig elviselt alakváltozást alkalmazzák. A nyíró alakváltozás vizsgálatára létezik szabványosított próbatest, azonban nagyobb alakváltozásoknál a próbatest zónája elfordul [3], így a tiszta nyíró igénybevétel nyíró-húzó igénybevételre módosul. A probléma kiküszöbölésére, vagyis a tiszta nyíró alakváltozás törésig történő fenntartására több módszer került kidolgozásra az utóbbi években. Ezek közös jellemzője, hogy a próbatest kontúr változtatásával, illetve a lemezvastagság csökkentésével próbálják fenntartani a folyamatos tiszta nyíró igénybevételt.

Az állandó vastagságú húzó igénybevétellel terhelt nyíró próbatetek nyíró zónájának kontúrja általában bonyolult geometriai megoldásokat tartalmaz, így gyártásuk költséges és időigényes folyamat. További problémát jelent, hogy az optimális geometria, anyagminőségtől függően változik. A korábbi kutatásaink során kifejlesztettünk egy olyan próbatestet [4], ami egyszerűen gyártható, és a szakirodalmi próbateteknek megfelelő eredményeket ad. Jelen cikkünkben ezt a kísérleti geometriát optimalizáljuk véges elemes modellezés segítségével három nagyszilárdságú DP acélra (Dual Phase), majd vizsgáljuk az optimális geometria és a szilárdság kapcsolatát. Az így optimalizált próbatetek után fizikai méréseket végzünk és vizsgáljuk a törési elviselt alakváltozás kapcsolatát a szilárdsággal.

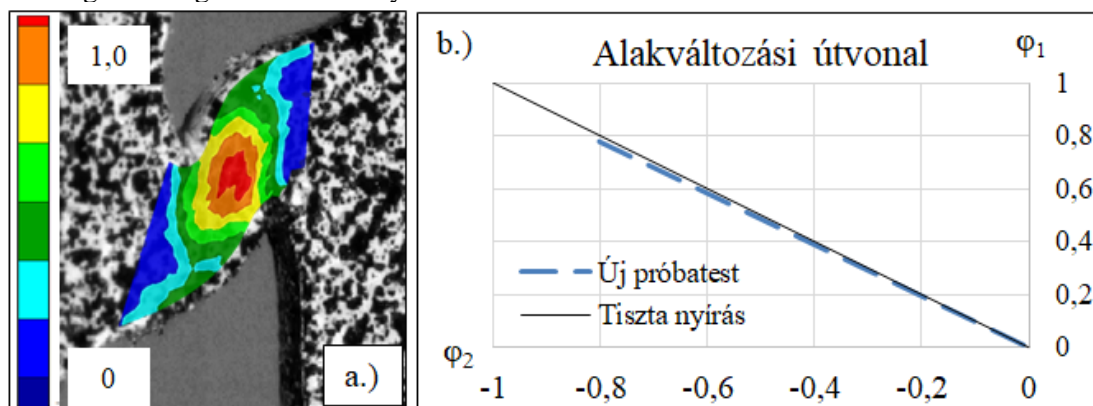
2. AZ ÚJ NYÍRÓ PRÓBATEST

Az állandó lemezvastagságú próbatetek esetében a kontúron fellépő húzófeszültség hatására hamarabb létrejöhethet a károsodás, mint a vizsgált nyíró zónában, ami a törési alakváltozás érték alulbecsléséhez vezet. Korábbi vizsgálataink [4] megmutatták, hogy a különböző technológiával legyártott szakirodalmi próbatetek eltérő eredményt adnak a törési alakváltozás szempontjából. A jelenség megértése céljából három különböző gyártástechnológia (lézervágás, szikraforgácsolás, forgácsolás) kontúrja gyakorolt hatását vizsgáltuk meg. Összehasonlítva az eredményeket, gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve a forgácsolást választottuk az új kialakítású próbatest gyártástechnológiájának. Az 1. ábra szemlélteti a kezdeti, 1mm vastag DP800 lemezből legyártásra került próbatestet, amin látható, hogy a kritikus nyíró zóna kontúr marással, illetve akár fűrésszel is elkészíthető.



1. ábra. Új, gazdaságosan gyártható nyíró igénybevételi próbatest

A próbatest meghatározó geometriai eleme a nyíró zóna, terhelés tengelyével bezárt szöge (θ). A nyíró zóna "túlforgatásának" hatására, a terhelés során az alakváltozás két stádiumra oszlik. Első lépésben a rugalmas alakváltozás szakaszában a zóna elfordul, így a második stádiumban – a képlékeny alakváltozás során –, a zóna oldalai párhuzamosan fognak elmozdulni a terhelés tengelyével, ezzel biztosítva a tiszta nyíró igénybevételt a teljes képlékeny alakváltozás során. A legyártott próbatesten optikai alakváltozásmérő rendszerrel végzett vizsgálatok eredményeit a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. Az új próbatesten végzett fizikai mérések eredményei

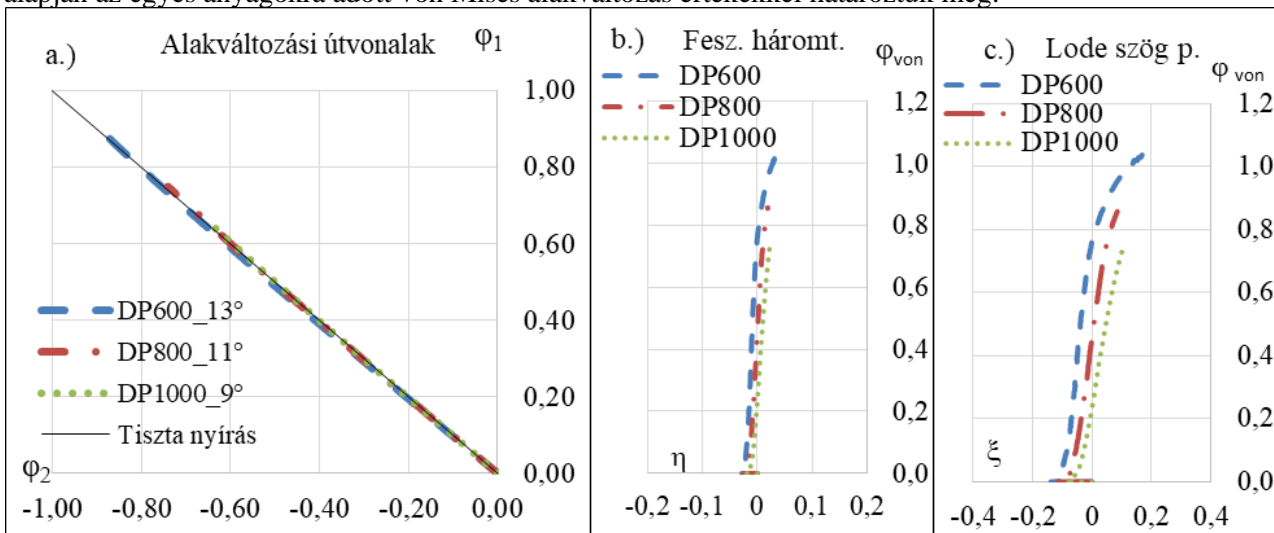
Az állandó vastagságú próbatetek jellemző problémája, hogy az alakváltozások a nyíró zóna nem egy, hanem két pontjában koncentrálnak, ami megnehezíti a mérhető legnagyobb alakváltozás értelmezését. Az ábra a.) része az alakváltozás eloszlást szemlélteti a törés előtti utolsó rögzített felvételen. Ahogy az látható, az új próbatest esetében az alakváltozások maximuma a zóna közepére koncentrálnak. Az ábra b.) része a főalakváltozások arányát szemlélteti növekvő terhelés mellett, vagyis az alakváltozási útvonalat. Az ábrán vékony fekete vonal jelzi a tiszta nyíró igénybevételhez tartozó irányt, amihez képest a

mért alakváltozási útvonal a nyomó-nyíró igénybevétel irányában eltér. Ez az eltérés a nyíró zóna kezdeti szögének végeselemes optimalizálásával korrigálható.

3. NYÍRÓ PRÓBATEST OPTIMALIZÁLÁSA

Ebben a cikkben az 1. ábrán szemléltetett próbatestet optimalizáljuk három különböző szilárdságú DP acélra (DP600, DP800, DP1000), azonos lemezvastagságot feltételezve (1 mm). A végeselemes optimalizálás során a terhelés tengelyéhez képest különböző mértékben elforgatott nyíró zónákon vizsgáltuk alakváltozás illetve a feszültség szempontjából a tiszta nyírás teljesülését. Alakváltozás szempontjából tiszta nyírásról akkor beszélünk, ha az alakváltozási útvonal meredeksége, vagyis a kisebb és nagyobb főalakváltozás inkrementek hányadosa (φ_2/φ_1) az alakváltozás során végig -1 értéket vesznek fel. Feszültségállapot szempontjából akkor beszélünk tiszta nyírásról, ha a feszültség háromtengelyűség (η) –ami a feszültségtenzor első invariánsának és az egyezményes Mises feszültségnek a hányadosa (σ_m/σ_v)–, illetve az ebből származtatott Lode-szög paraméter az alakítás során végig 0 értékűek.

A megfelelő alakváltozási és feszültségállapot az 1. ábrán látható próbatestet nyíró zónájának terhelés tengelyével bezárt szögének változtatásával optimalizáltuk. Ehhez $\theta = 0^\circ - 30^\circ$ közötti tartományban készítettünk különböző geometriákat, és vizsgáltuk azokat a későbbi fizikai vizsgálatoknak megfelelően létrehozott virtuális környezetben MSC Marc szoftverben. A próbatesteket lemezalkatrészek vizsgálatánál jellemző nyolcsomópontú hálóelemmel hálóztuk, a nyíró zónában az átlagos hálóelem-élhossz 0,08 mm volt. Az egyes anyagok rugalmas viselkedését a Hill 48 folyási feltétellel és a rugalmassági moduluszokkal, a képlékeny tulajdonságukat pedig egytengelyű szakítóvizsgálattal meghatározott folyásgörbéikkel adtuk meg a programban. Jelen kutatásnak nem volt célja a törési viselkedés vizsgálata, így a törést szakirodalmi adatok alapján az egyes anyagokra adott von Mises alakváltozás értékekkel határoztuk meg.



3. ábra. A végeselemes optimalizálás eredményei

Ahogy az korábban említésre került, az optimális geometria állandó vastagságú nyíró próbatestek esetében függ az anyagtulajdonságoktól, az egyes vizsgált anyagok esetében az optimális nyíró zóna szög ennek megfelelően a következőre adódott: DP600 $\theta = 13^\circ$; DP800 $\theta = 11^\circ$; DP 1000 $\theta = 9^\circ$. Az optimális geometriák alakváltozási illetve feszültségállapotát jellemzi a 3. ábra. Az ábra a.) részén a három anyag alakváltozási útvonala látható, összevetve a tiszta nyírással. Az ábra b.) illetve c.) részein a feszültség háromtengelyűség illetve a Lode szög paraméterek értékei láthatóak a növekvő von Mises alakváltozás összefüggésében. A három próbatestgeometria alakváltozása az ábra alapján megfeleltethető a fejezet elején leírt feszültségi illetve alakváltozási kritériumoknak. A szimulációk eredményei alapján arra lehet következtetni, hogy az optimális nyíró zóna szög a szilárdság növekedésével csökken.

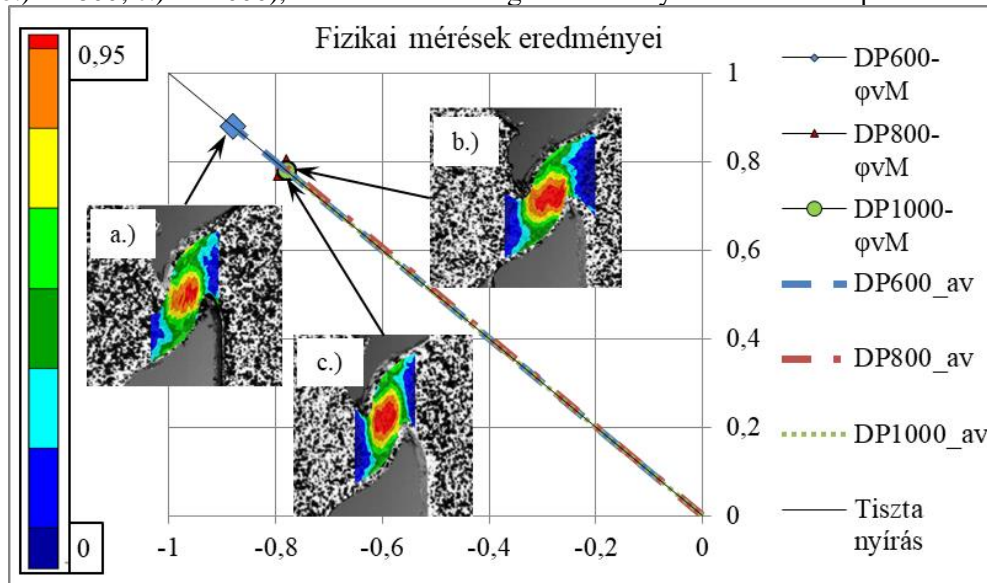
4. VIZSGÁLATI KÖRNYEZET

Az előző fejezetben optimalizált próbatestek legyártásra kerültek, és ezeken fizikai méréseket végeztünk a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Anyagvizsgálati Osztályán. A 0,2 mm/min húzóterhelést egy Instron E 10000 biaxiális elektro-dinamikus vizsgálóberendezés biztosította. A nyíró zóna alakváltozását a terhelés során Photron Fastcam mini wx50 kamerával és Titanar 5,6/1000

objektívvel vettük fel, az alakváltozási állapotnak megfelelően 5, 8 majd 15 fps-el. A két nyírózó zóna közötti távolság miatt, a megfelelő felbontás érdekében a próbatesten csak egy nyírózó zónára fókuszáltunk.

5. FIZIKAI MÉRÉSEK EREDMÉNYEI

A fizikai méréseket az előzőekben leírt paraméterekkel elvégeztük, az eredményeket a 4. ábra foglalja össze. Ahogy az az ábrán látható, az alakváltozási útvonalak (DP600_av, DP800_av, DP1000_av) mind a három esetben megfelelnek a tiszta nyírásnak. Az alakváltozások eloszlása mind a három esetben (az ábrán: a.) DP600; b.) DP800; c.) DP1000), az elvártaknak megfelelően a nyírózó zóna közepén koncentrálódnak.



4. ábra. Az új próbatesteken végzett fizikai mérések eredményei: alakváltozás eloszlás, alakváltozási útvonal, törési alakváltozás

Az ábrán feltüntetettük továbbá a töréshez tartozó alakváltozásokat is amit az optikai mérőrendszer rögzített, a szakadás előtti utolsó képen mértünk. A töréshez tartozó von Mises alakváltozás ennek megfelelően a következő értékekre adódott: DP 600 $\varphi_{vM} = 1,02$; DP 800 $\varphi_{vM} = 0,9$; DP 1000 $\varphi_{vM} = 0,9$. Érdekes megfigyelni, hogy a törésig elviselt nyíró alakváltozások – a szakirodalmi adatokkal szemben – nem adnak egyértelmű összefüggést a szilárdság növekedésével.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben bemutattunk egy új egytengelyű húzó igénybevétellel terhelhető egyszerű, forgácsolással gyártható nyíró próbatestet, majd a próbatest nyírózó zónájának a terhelés tengelyével bezárt szögének változtatásával optimalizáltuk három különböző szilárdságú DP acélra, végeelemes modellezéssel. A szimulációk azt mutatták, hogy az optimális szög a növekvő szilárdsággal fordított arányosságban van. Az optimalizált próbatestek kimunkálásra kerültek, és optikai mérőrendszer alkalmazása mellett szakadásig lettek terhelve. A fizikai mérések során a főalakváltozások aránya megfelelt a szimulációk alapján elvártaknak. A törésig elviselt alakváltozás és a szilárdság között nem volt egyértelmű összefüggés, a DP 800 és DP1000 anyag azonos törési alakváltozása további vizsgálatokat igényel. Jövőbeni terveink közé tartozik a károsodási folyamat végeelemes vizsgálata.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] P. Hora, B. Berisha, D. Hirsiger, T. Komischke, R. Schober, *Critical aspects of the experimental and theoretical crack prediction in sheet and bulk metal forming*, Forming Technology Forum (2018) pp.: 1-14
- [2] M. Gorji, B. Berisha, N. Manopolo, P. Hora, *Effect of through thickness strain distribution on shear fracture hazard and its mitigation by using multilayer aluminium sheets*, Journal of Materials Processing Technology 232 (2016) pp.: 19–33; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.01.014>
- [3] A. Brosius, Q. Yin, A. Güner, and A.E. Tekkaya, *A new shear test for sheet metal characterization*, steel research int. 82 (2011) Issue 4, No.4 DOI: 10.1002/srin.201000163
- [4] V Gál, Zs Lukács, *A new specimen for investigating shear fracture strain*, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. (2021) 1157 012060, doi:10.1088/1757-899X/1157/1/012060