

## AZ ALAKÍTÁSI KEMÉNYEDÉS HATÁSA A HÚZÁSI VISZONYRA MÉLYHÚZÁSNÁL

### EFFECT OF HARDENING ON THE LIMIT DRAWING RATIO

Ugró Máté, Gonda Viktor

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest, Népszínház u. 8. Tel. +36-1-6665310, [gonda.viktor@bgk.uni-obuda.hu](mailto:gonda.viktor@bgk.uni-obuda.hu)

#### Abstract

Determination of the limit drawing ratio by finite element modeling is presented for deep drawing without a blank holder. First we examined the effect of the hardening for linear hardening material model at different specific sheet thicknesses, and then we applied real flow curves for the calculations. We demonstrated, that limit drawing ratio increases for increasing hardening, decreasing static yield limit, and decreasing sheet thickness (if wrinkling not considered).

**Keywords:** deep drawing, limit drawing ratio, finite element method.

#### Összefoglalás

A húzási viszony meghatározásának vége-selemes módját mutatjuk be ráncgátló nélküli mélyhúzás esetére. Vizsgáljuk a keményedés hatását egyrészt idealizált esetben lineárisan keményedő anyagmodell alkalmazásával, különböző fajlagos lemezvastagságok esetén, valamint valós anyagmodell alkalmazásával. Megállapítható, hogy a húzási viszony-nak kedvez a nagyobb keményedési együtttható, kisebb statikus folyáshatár, valamint a kisebb lemezvastagság (a ráncosodás figyelembe vétele nélkül).

**Kulcsszavak:** mélyhúzás, húzási viszony, vége-selemes módszer.

#### 1. Bevezetés

A mélyhúzás technológiai tervezése során a húzási viszony az egyik fontos kiinduló adat, amely közvetett módon mutatja, hogy pl. a kezdőhúzásnál egy adott csésze-átmérőhöz milyen palástmagasságot lehet létrehozni. A húzási viszonyt (limit drawing ratio, LDR) konkrétan a terítékátmérő és a csészeátmérő hányadosával határozzuk meg, ajánlott értékeit ráncgátlós vagy ráncgátló nélküli, első- vagy továbbhúzás esetére, különböző fajlagos lemezvastagság értékekhez táblázatokban adják meg a tervezési segédletek [1]. Elméleti úton egyszerűsítések alkalmazásával meghatározható egy ideális érték (amely:  $e = 2,7182$ ). Kísér-

letileg egy adott vastagságú és anyagminőségű lemezanyagra csészehúzó vizsgálattal határozható meg a húzási viszony, mely jellemzően 1,5-2,3 körüli értékű. A húzási viszony értéke növelhető, ha a teríték csésze-fenek közeli részét helyileg keményítjük, vagy a perem felőli részét lágyítjuk pl. lokális lézeres hőkezeléssel [2]. A húzási viszony itt becsülhető numerikus számítással.

Különböző anyagminőségek húzhatóságának vizsgálatával megmutatható, hogy jellemzően a nagyobb alakítási keményedé-sű lemez jobban mélyhúzható [3].

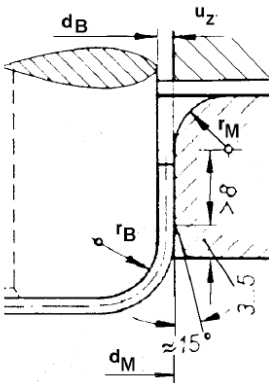
Ebben a dolgozatban a húzási viszony meghatározásának vége-selemes módját mutatjuk be ráncgátló nélküli mélyhúzás

esetére. Vizsgáljuk a keményedés hatását egyrészt idealizált esetben lineárisan keményedő anyagmodell alkalmazásával, különböző fajlagos lemeztavastságok esetén, valamint valós anyagmodell alkalmazásával.

## 2. A modell felépítése

A tengelyszimmetrikus csésze mélyhúzásának a modellezéséhez a meridián metszetben a húzás geometriai adatai felvehetőek (1. ábra). A MARC student edition végeleemes programban egy paraméteres ún. procedure fájlból generáltuk a geometriát, az alábbi paramétereket definiálva:

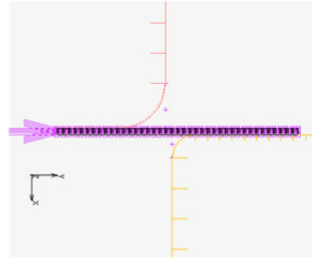
- $d_B$ : csésze belső átmérő, bélyegátmérő
- $r_B$ : bélyeg lekerekítési sugár
- $d_M$ : húzógyűrű átmérő
- $r_M$ : húzógyűrű lekerekítési sugár
- $D_0$ : terítékátmérő
- $s_0$ : lemeztavastság



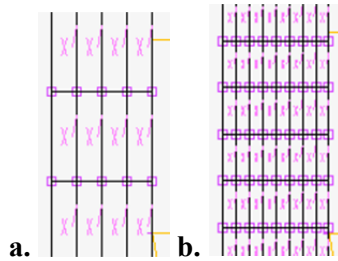
1. ábra. A geometriai paraméterek mélyhúzásnál

Alapvetően a 17 mm-es bélyegátmérő húzáshoz 0,5 mm és 1 mm-es lemeztavastság esetén (kb. 1,5 és 3 fajlagos lemeztavastság) kerestük a terítékátmérőt. A szimetriát kihasználva a meridián metszet felét modelleztük síkban, a szerszámot (húzóbélyeg és húzógyűrű) merevnek, a lemezt izotróp, rugalmas-képlékeny anyagnak tekintettük Mises folyási feltételt használva.

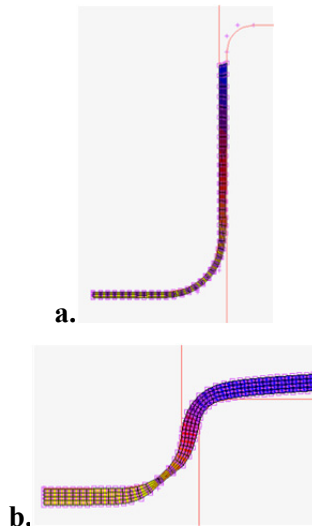
A szimetriát egyrészt az elemtípusban, másrészt kényszerrel határoztuk meg (2. ábra). A bélyeg mozgását állandó sebességűnek vettük, a folyásgörbék nem sebességfüggők. A súrlódási tényezőt 0,1-re vettük fel.



2. ábra. A végeleemes modell felépítése



3. ábra.: Durva (a) és sűrített háló (b)



4. ábra.: Sikeres (a) és sikertelen (b) húzás

A modell hálófüggését két hálózással vizsgáltuk (**3. ábra**): a lemezvastagságban 4 vagy 8 elemet létrehozva. Lényeges különbséget nem találtunk az eredményekben, a sűrűbb hálózást használtuk a továbbiakban. A számítást adott lemezvastagság és szerszámgeometria esetén a terítékátmérő változtatásával futtattuk, jellegzetes kimenetek a **4. ábrán** láthatók. A 4a ábrán sikeresnek tekintjük a húzást, ha a peremet teljesen be tudjuk húzni, valamint sikertelennek (4b ábra), ha peremet nem tudjuk behúzni. A kialakuló feszültséget nem vizsgáljuk, tehát szakítószilárdságot nem definiáltunk. A húzási viszonyt a még éppen sikeres húzás terítékátmérőjével számítjuk.

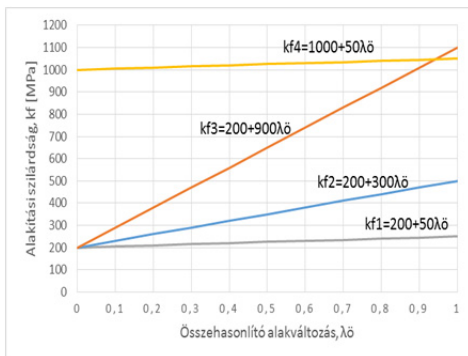
### 3. Eredmények és következtetések

#### 3.1. Elméleti folyásgörbék

A lineáris folyásgörbe modellje:

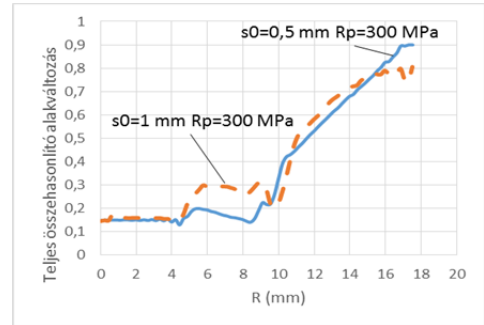
$$k_f = R_p + H\lambda_0 \quad (1)$$

ahol  $k_f$  [MPa] az alakítási szilárdság,  $R_p$  [MPa] a statikus folyáshatár,  $H$  [MPa] a lineáris keményedési együttható,  $\lambda_0$  az összehasonlító alakváltozás. Három féle keményedési együtthatót definiáltunk: 50, 300, 900 MPa értékekkel, valamint kétféle statikus folyáshatárt 200 és 1000 MPa értékekkel, összesen négy folyásgörbét meghatározva (**5. ábra**).

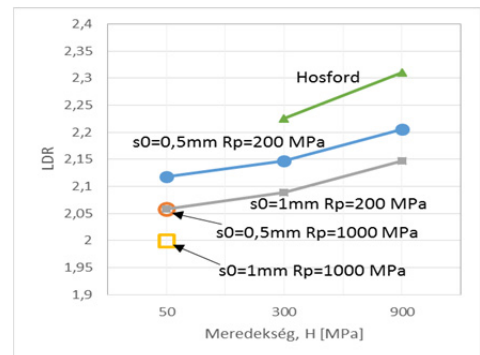


**5. ábra.** Folyásgörbék a lineárisan keményedő anyagmodell esetén

A **6. ábra**  $k_{f2}$  folyásgörbéjével 0,5 és 1 mm-es lemezvastagság és 18 mm-es terítékátmérő esetén a az összehasonlító alakváltozást ábrázoltuk a teríték sugarának a függvényében a húzás végén.



**6. ábra.** Az összehasonlító alakváltozás a teríték sugarának függvényében vékony ( $s_0 = 0,5 \text{ mm}$ ) és vastag ( $s_0 = 1 \text{ mm}$ ) lemez esetén  $H=300 \text{ MPa}$  keményedésnél.



**7. ábra.** A húzási viszony az lineáris keményedési mereedség függvényében

A négy folyásgörbéhez két fajlagos lemezvastagsággal lefutott számítások eredményeként összesen 8 húzási viszonyt határoztunk meg a 2-2,2 közé eső tartományban, melyeket a **7. ábrán** mutatunk be. A futtatások során megfigyeltük a háló sűrűségének hatását. A 8 eredmény közül 3 esetben segített a sűrűbb háló használata, ekkor további 0,5 mm-rel nagyobb terítéket tudtunk lehúzni mely csak kis mértékben növelte a húzási viszony értékét. A **7. ábrán**

további két húzási viszony látható: ábrázoltuk a Logan, Meuleman és Hosford által készített diagram azonos meredekséghez tartozó pontjait is [3].

Az eredményeket összegezve megállapítható, hogy nagyobb keményedési együtthatóval rendelkező anyag jobban húzható, de a nagyobb statikus folyáshatás csökkenti a húzhatóságot. A lemezvastagság csökkentése is növeli a húzási viszonyt. Megjegyzendő, hogy a ráncosodást a modell nem tartalmazza.

### 3.2. Valós folyásgörbék

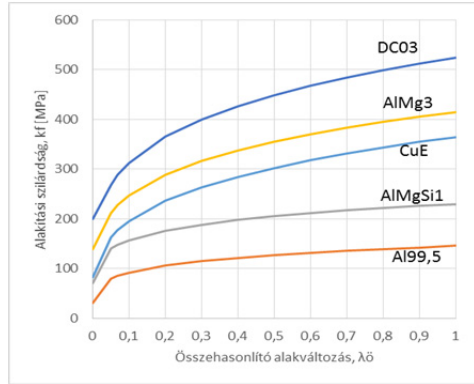
A folyásgörbét az egyszerű hatványgörbével vettük figyelembe:

$$k_f = C\lambda_0^n \quad (2)$$

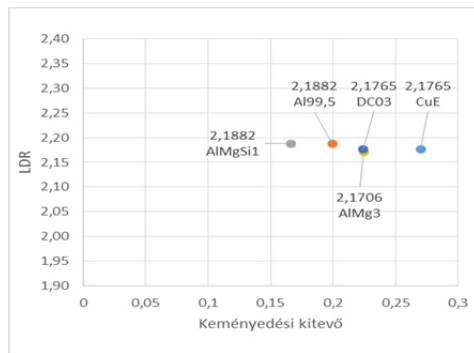
ahol  $C$  a keményedési együttható,  $n$  a keményedési kitevő. A  $\lambda_0 = 0$  értékhez a statikus folyáshatár értékét vettük figyelembe. Az öt vizsgált anyagminőségre az anyagjellemzők az 1. táblázatban találhatóak, a folyásgörbék a 8. ábrán láthatók. A lemezvastagság értékét itt 0,5 mm-nek vettük. A húzási fokozat értékei 2,17-2,19-es tartományba esnek, a keményedési kitevő függvényében a 9. ábrán láthatók. Az eredmények a 7. ábrán a  $H = 300$  MPa meredekséghez kapott értékekkel vehetők össze. A választott anyagminőségekre kapott értékek egy jóval szűkebb eredmény tartományban helyezkednek el, mint az extrém tartományt lefedő idealizált folyásgörbék eredményei.

1. Táblázat. Folyásgörbe paraméterek és statikus folyáshatár a vizsgált anyagminőségekhez

	$C$ [MPa]	$n$	$k_{f0}$ [MPa]
CuE	364,71	0,27	82,4
Al99,5	145,63	0,1995	31,4
AlMgSi1	229,94	0,166	71,3
AlMg3	414,98	0,2245	139,3
DC03	524	0,2243	200



8. ábra. Valós folyásgörbék különböző vizsgált anyagminőségekhez



9. ábra. A húzási viszony értékek a valós folyásgörbékhez

### Köszönetnyilvánítás

A dolgozat a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Horváth László: *Mélyhúzás technológia tervezése*. Oktatási segédlet, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 2009.
- [2] C.J. Tan et al.: *Estimating surface hardening profile of blank for obtaining high drawing ratio in deep drawing process using FE analysis*, IOP Conf: Mat. Sci and Eng 103, 012047, pp. 1-6, 2015.
- [3] W.F. Hosford, R.M. Caddell: *Metal forming, mechanics and metallurgy*. Third Edition. Cambridge University Press, pp. 224-228. 2007.