

## MÉLYHÚZÁS VÉGESELEMES MODELLEZÉSÉNEK TECHNOLÓGIAI ÉS ELMÉLETI FELHASZNÁLÁSA

### TECHNOLOGICAL AND THEORETICAL APPLICATION OF FINITE ELEMENT MODELING OF DEEP DRAWING

Bertók Ádám<sup>1</sup>, Gonda Viktor<sup>2</sup>, Széll Károly<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,  
1081 Budapest, Népszínház utca 8.

<sup>3</sup>Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, 8000 Székesfehérvár, Budai út 45.

<sup>1</sup>[adambertok94@gmail.com](mailto:adambertok94@gmail.com); <sup>2</sup>[gonda.viktor@bkg.uni-obuda.hu](mailto:gonda.viktor@bkg.uni-obuda.hu)

#### Abstract

For metal forming problems, even for a simple forming technology, finite element analysis can provide a solution for calculating deformations, determining stress and strain distributions. The aim of this study is to create a parametric finite element model for deep drawing technology, by which technological optimization as well as theoretical problems can be solved. By performing parameter studies, numerous cases can be analyzed.

**Keywords:** metal forming, finite element modeling, deep drawing.

#### Összefoglalás

A képlékeny alakítási feladatok esetén még az egyszerűbb technológiák vizsgálatánál is nagy segítséget nyújt a végeselemes modellezés az alakváltozások és feszültségek analizéséhez. Célunk a mélyhúzás technológiájára vonatkozóan egy olyan végeselemes alapmodell megalkotása volt paraméteresen, aminek a segítségével technológiai és elméleti problémák is megoldhatóvá válnak, a paraméterek változtatásával könnyen és gyorsan több eset vizsgálata is lehetővé válik.

**Kulcsszavak:** képlékeny alakítás, végeselemes modellezés, mélyhúzás.

#### 1. Bevezetés

A mélyhúzás az egyik legelterjedtebben alkalmazott lemezalakító művelet, mely során a sík lemezből üreges test állítható elő. A mélyhúzás technológiájának vizsgálatánál is nagy segítséget nyújt a végeselemes modellezés az alakváltozások és feszültségek analizéséhez, és ezekből származtatható technológiai paraméterek számításához. Célunk a mélyhúzás technológiájára vonatkozóan egy olyan végeselemes alapmodell megalkotása volt paraméteresen, aminek a segítségével tech-

nológiai és elméleti problémák során előforduló paramétervizsgálatok könnyen elvégezhetőek. Jelen dolgozatban a tengelyszimmetrikus végeselemes modell felépítését, mutatjuk be, majd a modell felhasználását egyrészt egy technológia tervezési példán keresztül, másrészt pedig az elméleti húzási fokozat becslésén keresztül, melyhez a csészehúzó vizsgálat modellezését használtuk fel.

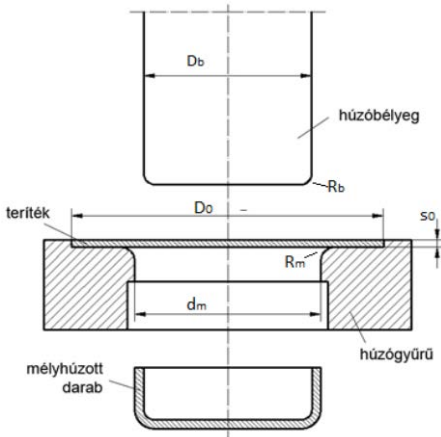
#### 2. A végeselemes modell felépítése

Az alapmodellt ráncgátló nélküli mélyhúzás szimulációjához készítettük, ahol

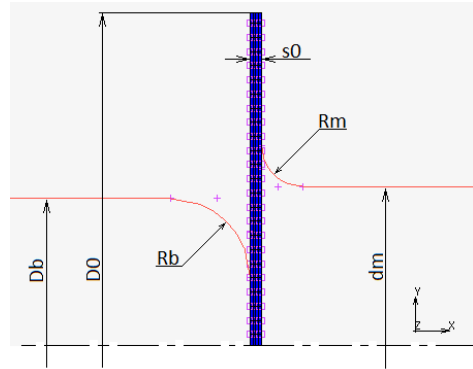
bélyeg, matrica és a teríték található meg, melynek elméleti vázlata az **1. ábrán** látható. A bélyeg és a matrica lekerekítési sugarait tervezési segédletben ajánlott optimális értékek közé vettük [1].

A modellezéshez a MSC MARC Mentat programot használtuk. Ahhoz, hogy a végeleemes szimulációt elvégezhessük, először a vizsgálni kívánt modell geometriáját kellett megalkotnunk. A tengelyszimmetriát kihasználva síkbeli modellt hoztunk létre (**2. ábra**). Az alapmodellt paraméteresen építettük fel, így elősegítve a későbbi könnyebb felhasználhatóságot.

A lemezt rugalmas-képlékenynek kezelve modelleztük. Az a lemez anyagát a modellben DC03-as minőségű lemezacélnak adtuk meg. Táblázatos formában adtuk meg a folyásgörbe függvényét a lemez anyagra vonatkozóan. A tengelyszimmetrikus modellben az anyagot izotrópnek tekintettük. A szerszámelemeket merevnek modelleztük. A mozgó szerszámelemhez, azaz a bélyeghez, táblázatos formában egy egyszerű lineáris függvényt rendelünk hozzá, amivel a szerszámmozgás időfüggvényét írtuk le.



**1. ábra.** Mélyhúzás elméleti vázlata



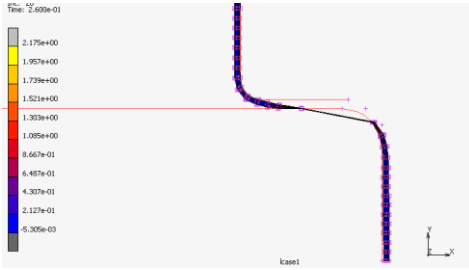
**2. ábra.** A végeleemes modell felépítése

A modell megalkotásával párhuzamosan egy úgynevezett eljárás (procedure) fájlt is létrehoztunk azért, hogy az alapprogramunkat könnyebben tudjuk aktualizálni a konkrét feladatokhoz. Ezzel könnyedén módosíthatunk a geometrián, továbbá felgyorsította az eredmények kiértékelését.

## 3. A modell alkalmazása

### 3.1. Technológia tervezés

A kiinduló esetben a terítékátmérőt  $D_0 = 82,5$  mm, a bélyeg átmérőjét pedig  $D_b = 27$  mm értékkel modelleztük. A számítást lefuttatva, az eredményeket vizsgálva látható, hogy a peremet ezzel a geometriával nem lehet teljesen behúzni, a csésze palástjának fenékhez közeli részén található elem megnyúlik, majd elkezdi vékonyodni, a valóságban a fenék leszakadása itt megtörténik (**3. ábra**). A perem behúzásakor annak anyaga felkeményedett, ezáltal a behúzásához szükséges erő úgy megnőtt, hogy a fenék közelében a palást már nem tudta ezt átvinni, a perem „rögzült”. A fenék leszakadna, de a szimulációban nincs tönkremeneteli feltétel, ezért a perem irreális vékonyodását figyelhettük meg.



3. ábra. Fenéklészakadás esete

Ezt az esetet az elméleti húzhatósági határnak tekinthetjük és meg kell különböztetnünk attól a fenéklészakadástól, ami a behúzás során ébredhet, amikor a palástban a feszültség eléri a szakítószilárdságot.

A következő próbánál növeltük az alakítandó csésze belső átmérőjét  $D_b = 49$  mm-re, ezzel együtt a matrica átmérőjét is növeltük, de a többi geometriai adaton (húzóerős, lekerekítések) nem változtattunk.

A szimulációt lefutattva, a perem behúzása megtörtént. Itt számítható a húzási fokozat (egyszerűsített számítással a bélyegátmérő és terítékátmérő hányadosaként):

$$m = \frac{D_b}{D_0} = \frac{49}{82,5} = 0,59 \quad (1)$$

Ezt követően különböző technológiai adatokat vizsgáltunk meg. Ilyen a húzás erő karakterisztikája. Ehhez a bélyeg erő-út diagramját kirajzoltattuk (4. ábra). Az ábráról leolvasott maximális erőigény:

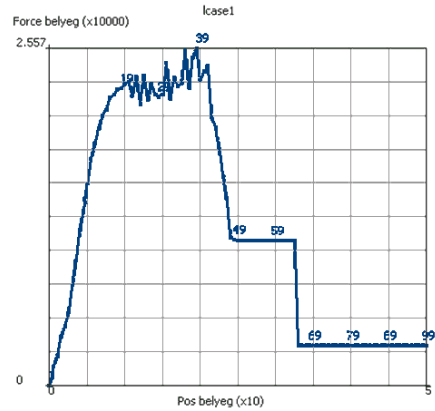
$$F_{\max} = 25570 \text{ N} \quad (2)$$

A fenéklészakadáshoz tartozó kritikus erő ( $F_{\text{krit}}$ ) ebben az esetben becsülhető az alábbi képlettel:

$$F_{\text{krit}} = A \cdot R_m = 25658 \text{ N} \quad (3)$$

ahol:

- $A$ : a palást keresztmetszeti felülete [ $\text{mm}^2$ ],
- $R_m$ : szakítószilárdság, 330 [MPa].



4. ábra. A mélyhúzás erőkarakterisztikája ( $D_0 = 82,5$  mm;  $D_b = 49$  mm)

Mivel:

$$F_{\max} < F_{\text{krit}} \quad (4)$$

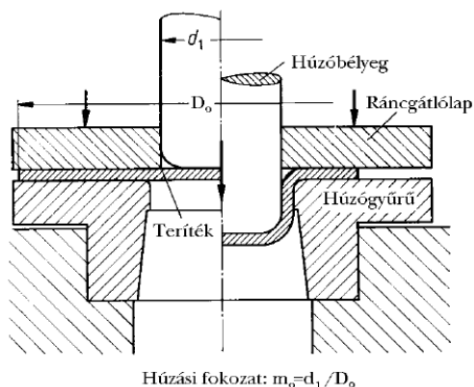
ezzel a paraméter kombinációval elvégezhető a húzás.

Az elvégzett vizsgálatokkal a technológiai tervezés egy lehetséges megoldását mutattuk be.

### 3.2. Csészehúzó vizsgálat

A csészehúzó vizsgálat a mélyhúzás technológiai próbája. A vizsgálatot az MSZ 5731 szabvány írja le [2]. A vizsgálat tulajdonképpen kísérleti húzásnak tekinthető. Az 5. ábrán a csészehúzó vizsgálat modelljét láthatjuk.

A vizsgálat elvégzésének a menete, hogy egy adott lemezanyagra vonatkozóan, abból több különböző átmérőjű terítéssel elvégezzük a mélyhúzó próbát, és meghatározzuk azt a legnagyobb csészeátmérőt, ami még károsodás nélkül kihúzható. A vizsgálatból a húzási fokozat számítható, így jellemezhető az adott vastagságú, adott anyagú lemez mélyhúzhatósága.



5. ábra. A csészehúzó vizsgálat sematikus ábrája

1. táblázat. Az csészehúzó vizsgálat szimulációjának eredményei a két lemezvastagságra

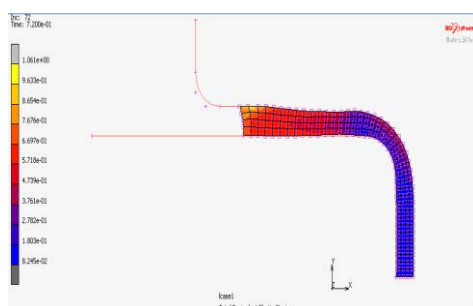
|              | Még húzható átmérő | Húzási fokozat (m) |
|--------------|--------------------|--------------------|
| Vékony lemez | 68 mm              | 0,49               |
| Vastag lemez | 66 mm              | 0,5                |

A vizsgálat modellezésével az elméleti húzási fokozat értéke becslhető egy adott folyási görbével rendelkező, adott vastagságú lemezanyagra vonatkozóan.

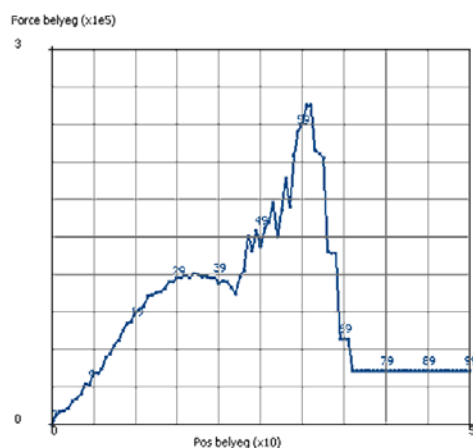
A vizsgálat modellezését egy adott anyagminőségű, két különböző vastagságú (0,5 mm; 3 mm) lemezzel végeztük el. Előzetes várakozásunk az, hogy a vastagabb lemez jobb húzhatósággal rendelkezik ezért nagyobb terítékátmérő lesz behúzható.

A csészehúzó vizsgálat szimulációjának eredményei a két lemezvastagságra az 1. táblázatban láthatók. Az eredmények alapján a várakozással ellentétesen a vékonyabb lemez bizonyult jobban húzhatónak, mivel itt nagyobb a még behúzható terítékátmérő. Ennek oka a húzás során a perem nagymértékű megvastagodása a 3 mm-es terítés esetében, mely a mély csésze esetén olyan mértékű, hogy az anyag kitölti a húzórést, sőt a perem vasalása is létrejön. Ez jól megfigyelhető a 3 mm-es lemez csészehúzásának szimulációja során (5. ábra). Továbbá érdemes még az éppen húzható átmérők

esetén a bélyegre ható erőket megvizsgálni, az erőkarakterisztika csúcsosodása jól mutatja a vasaláshoz szükséges erő többlet megjelenését (7. ábra).



6. ábra. A perem vasalása



7. ábra. A bélyegerő a 3 mm-es lemez behúzása során

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-I-OE-779/15 pályázati támogatásának, valamint az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 pályázati támogatásnak.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Horváth László: *Mélyhúzás technológia tervezése*, Oktatási segédlet, Óbudai Egyetem, 2009.
- [2] Sárvári József: *Képlékeny hidegalakítás*. Nemzeti Tankönyvkiadó.