

# ÚJ PRÓBATESTKIALAKÍTÁS ALAKÍTÁSI HATÁR- GÖRBE (FLC) MEGHATÁROZÁSÁHOZ

## NEW SPECIMENFORMING TO DETERMINE OF THE FORMING LIMIT CURVE (FLC)

Tisza Miklós \*, Kovács Péter Zoltán \*\*

### ABSTRACT

*Car manufacturing is one of the main target fields of sheet metal forming: thus sheet metal forming is exposed to the same challenges as the automotive industry. The continuously increasing demand on lower consumption and lower CO<sub>2</sub> emission means the highest challenges on materials developments besides design and construction. As a general requirement, the weight reduction and light weight construction principles should be mentioned together with the increased safety prescriptions which require the application of high strength steels. However, the application of high strength steels often leads to formability problems. Forming Limit Diagrams (FLD) are the most appropriate tools to characterize the formability of sheet metals. Theoretical and experimental investigations of forming limit diagrams are in the forefront of today's research activities. In this paper, an up-to-date research methodology elaborated and applied at the Department of Mechanical Technology at the University of Miskolc will be shown.*

### 1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedek autóiipari fejlesztéseit mind az alkalmazott anyagokat, mind pedig az új technológiai eljárásokat illetően, alapvetően azok a folyamatosan növekvő követelmények határozták meg, amelyeket a világméretű globális versenyben az autóiipar egészét érintettek. E követelmények között egyre nagyobb szerepet játszanak gyakran egymásnak is ellentmondó olyan követelmények, amelyek minél gazdaságosabban üzemeltethető és minél inkább környezetbarát járművek fejlesztését irányozzák elő, egyidejűleg a biztonsági és kényelmi követelmények fokozódó törvényi előírásaival együtt.

Ezek a folyamatosan fokozódó követelmények egyre kisebb fogyasztású (kisebb káros anyag kibocsátású) gépjárművek fejlesztését igénylik, amely a konstrukciós fejlesztések mellett a legnagyobb kihívást az anyagfejlesztésekkel szemben fogalmazzák meg. Általános követelmény a jelentős tömegcsökkentés, amely könnyű szerkezetes konstrukciós megoldásokat, ehhez a fokozott biztonsági előírások betartásával együtt pedig egyre nagyobb szilárdságú anyagok alkalmazását igényli.

Az elmúlt évtizedekben e versenynek és a fokozódó követelményeknek is köszönhetően új anyagok különle-

ges típusai láttak napvilágot: a tömegcsökkentési követelmény szempontjából kívánatos növelt szilárdságú anyagok alkalmazása azonban gyakran alakíthatósági problémákat vet fel és megmunkálásuk természetesen új technológiai megoldásokat is igényelnek. Az alakíthatóság vizsgálata ezért is kiemelten fontos kutatási terület napjainkban. Az alakíthatóság mai, korszerű jellemzésére szolgálnak az alakíthatósági határdiagramok (FLD).

Napjainkban az alakítási határdiagramok (Forming Limit Diagram-FLD) elméleti elemzése és kísérleti vizsgálata a lemezalakítás, a lemezek alakíthatóságának egyik központi témája. Az elmúlt évtizedekben számos vizsgálati eljárást dolgoztak ki.

A lemezalakítás során végbemenő alakváltozási folyamatok következményeként az anyag alakváltozó képessége fokozatosan csökken. Egy adott deformáció történettel jellemezhető alakváltozások során a határérték elérése után bekövetkezik a károsodás, tönkremenetel. A károsodás lehet helyi instabilitás, kontrakció, vagy szakadás. Az alakítási határdiagramok a valódi főalakváltozások ( $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ) koordináta rendszerében ábrázolják a különféle károsodási határeseteket. A töréshez tartozó károsodási pontokat összekötő görbét nevezik alakítási határgörbének (FLC).

Tanszékünkön hazai és nemzetközi projektek támogatásával létrehoztunk egy komplex alakíthatósági vizsgálati rendszert, amely egy számítógépes vezérlést lehetővé tevő elektro-hidraulikus vezérlésű, alakíthatósági vizsgálóegységet és egy optikai alakváltozás-mérő rendszert tartalmaz.

Ebben a cikkben ismertetjük a lemezanyagok alakíthatóságának minősítésében alkalmazott korszerű vizsgálati módszereket és részletesen bemutatjuk a tanszékünkön működő vizsgálati rendszert.

### 2. ALAKÍTÁSI HATÁRDIAGRAMOK ÉS ALAKÍTÁSI HATÁRGÖRBEK ELMÉLETE

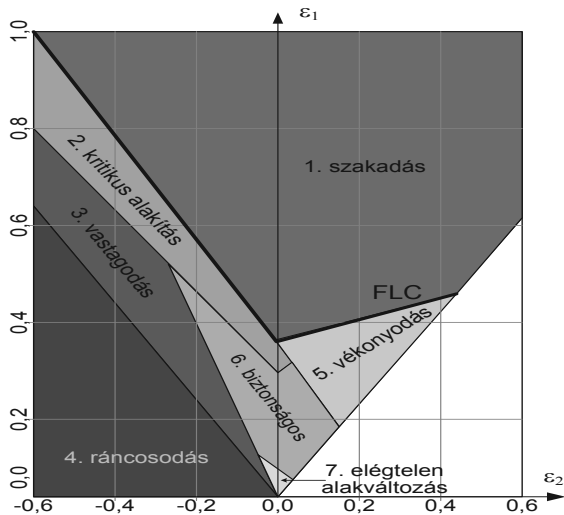
Az alakítási határdiagramokkal (FLD) és az alakítási határgörbékkel (FLC) számos cikk foglalkozik.

Az alakítási határdiagramok a legnagyobb és a legkisebb valódi főalakváltozások ( $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ) koordináta rendszerében ábrázolják a károsodási határeseteket. A károsodást leggyakrabban a töréshez, a tönkremenetelhez tartozó határgörbével jellemezzük. Ugyanakkor az is nyilvánvaló, hogy az ipari gyártás körülményei között már a látható

\* egyetemi tanár, tanszékvezető; \*\* egyetemi adjunktus

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros, honlap: <http://www.met.uni-miskolc.hu>

lokális befűződés, kontrakció sem megengedhető, sem a megjelenés (esztétikai okok) sem pedig az alkatrész funkcionális működése, üzemvitele (terhelhetőség, teherbírás) szempontjából. Ezért az alakítási határdiagramokon a töréshez tartozó alakítási határgörbén kívül, a lokális befűződés bekövetkezéséhez tartozó határgörbét is fel szoktuk tüntetni. Ilyen diagramot szemléltet az 1. ábra a jellemző főalakváltozásokat és alakváltozási alapeseteket is feltüntetve.



1. ábra. Hagyományos lemezalakításra érvényes alakíthatósági határdiagrama jellegzetes tartományokkal

### 3. AZ INTEGRÁLT LEMEZVIZSGÁLÓ BERENDEZÉS

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológia Tanszékén hazai és nemzetközi kutatási projektek támogatásával egy integrált lemezalakíthatósági vizsgáló rendszert valósítottunk meg, amely egy elektro-hidraulikus, számítógép vezérelt lemezvizsgáló gépet és egy automatizált optikai alakváltozás-mérő rendszert foglal magába (2. ábra.).



2. ábra. Az univerzális lemezvizsgáló berendezés az optikai mérőrendszerrel

### 4. AZ ALAKÍTÁSI HATÁRDIAGRAMOK MEGHATÁROZÁSA

Mind az ipar, mind pedig a kutatás oldaláról egyre nagyobb igény mutatkozik az alakítási határgörbék gyors és megbízható meghatározására.

Az alakítási határgörbék meghatározásához több próbatetet (optimális esetben 5 darabot, 3. ábra.) használnak az alakítási útvonalak lefedése érdekében (minimum 3db). Az  $\varepsilon_1 > 0$  és  $\varepsilon_2 < 0$  tartományban lévő határgörbe meghatározásához 3 különböző hídszélességű próbatestet használunk: 20 mm, 40 mm, 80 mm. Az  $\varepsilon_1 > 0$  és  $\varepsilon_2 > 0$  tartományban 2 próbatestet használunk: 125 mm, 200 mm.

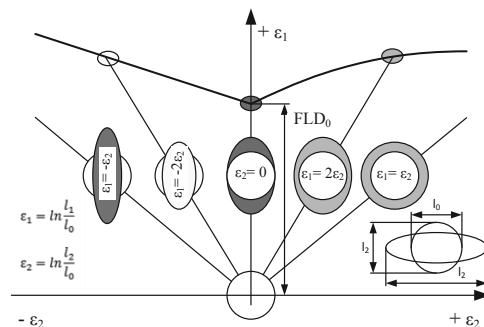
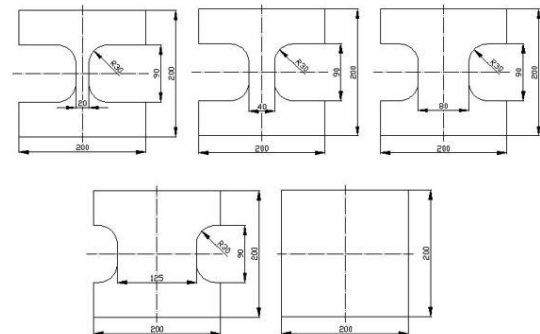
Az ismertetésre kerülő kutatás célja, hogy a határgörbe  $\varepsilon_1 > 0$  és  $\varepsilon_2 < 0$  tartományban lévő részét egy próbatettel határozzuk meg, így egy határgörbe meghatározásához minimálisan 2 darab próbatestet elegendő lehet.

Ennek érdekében egy olyan próbatestet kialakításán dolgoztunk, amelyen kettő vagy több alakítási útvonalat is megvalósíthatunk az adott tartományban.

#### 4.1. A próbatestet kialakításának szempontjai

A próbatestet kialakításának meghatározó szempontjai az alábbiakban összegezhetjük.

- A Tanszéken megtalálható univerzális lemezvizsgáló berendezésen alkalmazható legyen.
- Erichsen vizsgálatnak megfelelő próbatestet kialakítás (100 mm-es alakítóbélyeg, hozzá tartozó számszám-elemek, 100 mm-es nyújtva húzható terület).



3. ábra. Az alkalmazott próbatestek geometriája és az általuk meghatározott lineáris alakváltozási útvonalak

#### Próbatest kialakítások meghatározási szempontjai:

Az alakítási útvonalak száma (hídszélességek száma) kettő, három, vagy több hídszélesség.

A különféle alakítási útvonalak meghatározásához szükséges próbatestek számának csökkentését a próbatestek összevonásával valósíthatjuk meg. Az új próbatest geometriai paraméterek korlátainak figyelembevétele alapján (100 mm-es nyújtva húzható terület), egy próbatesten kettő hídszélesség kialakítását vizsgáltuk.

#### 4.2. A vizsgált hídszélességek:

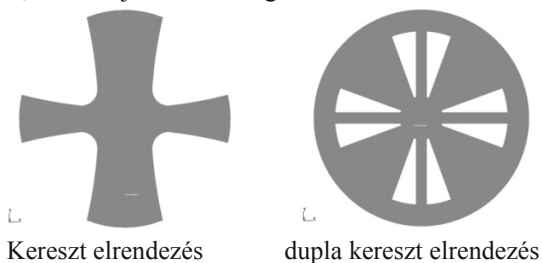
A 10 mm - 100 mm hídszélesség tartomány lefedi a szükséges  $\epsilon_1 > 0$  és  $\epsilon_2 < 0$  tartományt.

A legkisebb hídszélesség, amire hálót tudunk felvinni és még optimális mérést tudunk rajta végezni az a 10 mm-es hídszélesség, ezért célszerűen ehhez közeli kialakítást választunk. A második hídszélességet minél nagyobb értékre tudjuk választani annál pontosabban meghatározható az FLC meredeksége ebben a tartományban.

#### 4.3. A hídszélességek elrendezésének módjai:

Az elrendezési tervek kialakításánál használhatjuk a kereszt kialakítást, egymásra merőlegesen kialakított hídszélességekkel, vagy a dupla kereszt kialakítást, amely a 4. ábrán látható.

Tovább növelhető a hidak száma, figyelembe véve, hogy minden egyes bővítés a hídszélesség csökkenéséhez vezet, ami rontja az FLC meghatározásának hatáskörét.



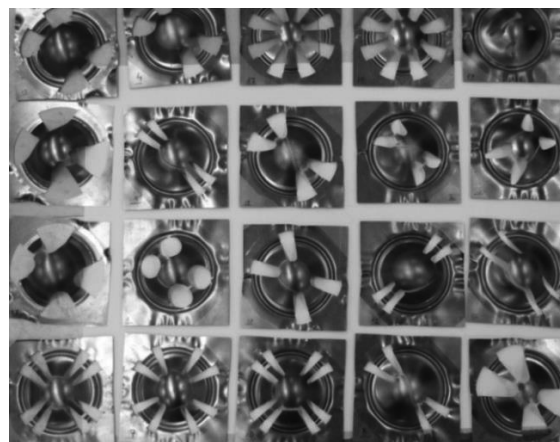
4. ábra. Elrendezési tervek

#### 4.4. Geometriai megvalósítások

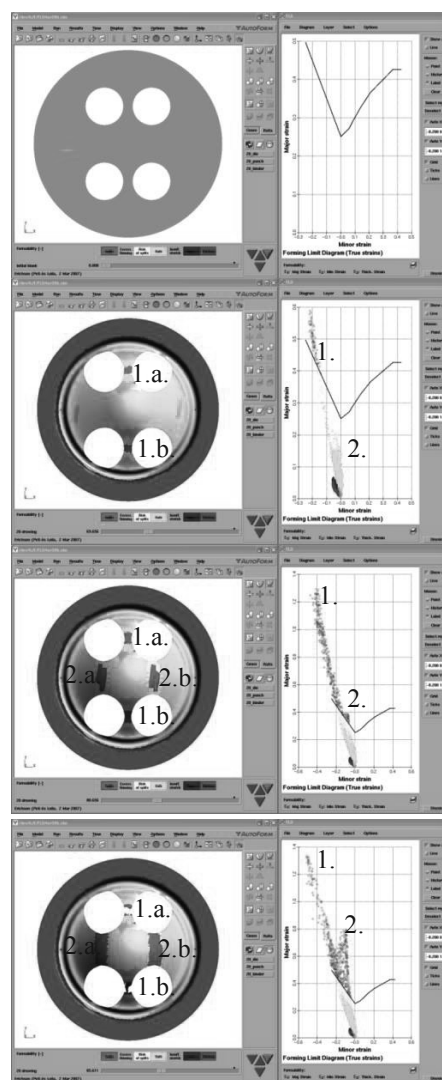
A kialakítható variációk száma miatt úgy döntöttünk, hogy a tényleges kísérletek előtt a megfelelő, helyes geometria megtalálása érdekében végelelemes modellezést végzünk. Erre a célra az AutoForm végelelemes programot használtuk.

Vizsgálataink során számos próbatest kialakítást megvizsgáltunk. Az elemzett próbatest kialakításokat mutatja az 5. ábra.

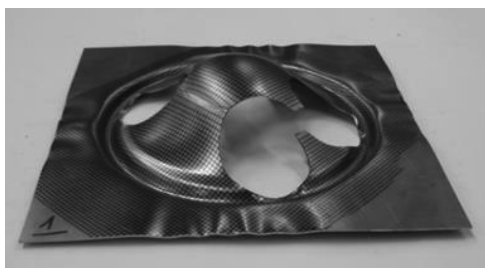
A 6. ábrán különböző próbatest kialakítások alakítási folyamatának végelelemes modellezése és a vizsgált próbatest kialakítással meghatározott alakváltozási út látható.



5. ábra. Új próbatest kialakítások alakítás utáni állapotban



6. ábra. Célszerű próbatest kialakítás alakítási folyamata és a hozzá tartozó FLD-k



7. ábra. Egy két hídszélességgel alakított próbatest alakítás utáni fényképe

A modellezés és a próbaalakítások után a következő megállapítások tehetők az „új” próbatest kialakításának meghatározásához:

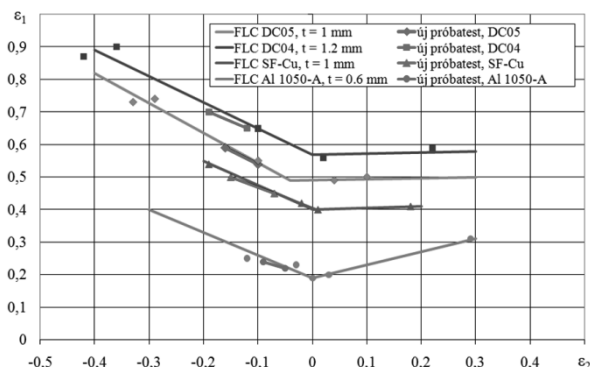
- Egy próbatesten kettő hídszélesség összevonása.
- A kisebb hídszélességnél törekednünk kell a lehető legkisebb hídszélesség megválasztására, illetve a nagyobb hídszélességnél plusz anyagra a darab alakítóbélyegről való „lefordulásának” veszélye miatt.
- Elsődleges szakadás a kisebb hídszélességnél történjen, különben ún. „3 lábú rendszer” jön létre.
- Kerülni kell a kis rádiust a feszültség gyűjtő helyek kialakulása miatt.
- Kerülni kell az ékforma kialakítást a repedések irányítottsága miatt.
- Törekedni kell a szakadás helyének koncentrállására.
- A szakadás jellegét tekintve a repedés a hídszélességek közepéről induljon meg, ne a bemetszéstől.
- A hengerlési irányok figyelembevétele (hengerlési irányra 45°-os kialakítás).

## 5. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Az előzők alapján sikeresnek minősített próbatest kialakítással, az optikai mérőrendszer alkalmazásával meghatároztuk az alakítási határgörbe baloldali szakaszát is, és összehasonlítottuk az ugyanezen anyagon Nakazima vizsgálattal meghatározott alakítási határ diagrammal.

Az eredmények összehasonlítása alapján megállapítható, hogy az új típusú próbatest kialakítással kevesebb próbatest alkalmazásával az alakítási határ diagram megbízhatóan meghatározható.

A vizsgált acéllemezek mellett hasonló eredményre jutottunk Al 1050 alumínium és SF-Cu vörösréz anyagminőségeknél is, amint az a 8. ábrán is látható.



8. ábra. Különböző anyagminőségek módosított Nakazima vizsgálattal és az új típusú próbatestekkel meghatározott alakítási határ diagramja

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk lemezanyagok alakíthatóságának egy speciális területével, az alakítási határ diagramok elméleti és kísérleti elemzésével foglalkozik. Az alakítási határ diagramok napjainkban a lemez alapanyagok alakíthatóságának értékelésében a legáltalánosabban alkalmazott, legalkalmasabb minősítő eszköznek tekinthetők.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Tisza M., Kovács, P. .Z:** Forming Limit Curves – a practical guide to AutoGrid, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2006. pp. 1-55.
- [2] **Banabic, D., Pöhlandt, K., Bunge, H-J., Tekkaya, A. E.:** Formability of Metallic Materials, Springer, Berlin, 2000. pp. 1-334.
- [3] **Tisza, M., Gál, G., Kiss, A., Sárvári, J.:** Metal Forming (in Hungarian), Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 1998. pp. 1-364.
- [4] **Ziaja György:** Az alakítási határ állapotok kutatása (1996/3) Anyagvizsgálók Lapja - Képlékenységi és alakíthatósági anyagjellemzők meghatározása
- [5] **Ziaja György:** Alakítási folyamatok határ állapotai, akadémiai doktori értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék, 1994
- [6] **Lange, K.:** Handbook of Metal Forming, McGraw Hill, New York, (1985)

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton is megköszönik a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 és a TÁMOP-4.2.2.B-10/1/KONV-2010-0008 jelű projektnek a kutatómunkához nyújtott pénzügyi támogatást.