FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1997, március 21-23

Alakíthatósági határdiagram számítása károsodott anyagok esetén

Fülöp Tibor

Tartalmi összefoglalás

A képlékeny alakváltozást behatároló folyamatok közül az egyik legfontosabb az üregesedési károsodás. Ennek eredményeképpen megváltozik az alakíthatóság, a kezdetben összenyomhatatlan anyag összenyomhatóvá válik. Ezen változások elemzésére, illetve a képlékeny alakítás végén kialakuló képlékeny törés megjósásra új, a képlékeny alakváltozás új elméleti modellezése szükséges. Az elmúlt tíz évben számos elmélet született, az elmúlt években kidolgozott nem-lineáris modellek lehetővé teszik az üregek alakja és térfogat-aránya változásának elemzését. Jelen munka célja a legfontosabb elméleti eredmények áttekintése és a károsodott anyagok alakíthatósági határgörbéjének (FLD) kidolgozása.

Kulcsszavak: Lemezek alakíthatósága, M-K modell, Károsodás, FLD

1. Bevezetés

A károsodott anyagok képlékeny jellemzőinek meghatározása az elmúlt évek egyik fontos problémája volt. Régen ismert az üregesedési károsodás három fő szakasza: az üregek kialakulása, növekedése, egyesülése, ám a folyamat alakíthatóságra gyakorolt hatásának vizsgálatára mindmáig nincs elfogadott elmélet. Az általánosan használt globális törési feltételek számos hátránya miatt - nagy kísérleti igény és elméletileg nem magyarázható állandók bevezetése - egyre inkább előtérbe kerülnek a lokális eljárások, mint például a kontinuum károsodási elméletek. Ezeknek köszönhetően számos eredmény született a lineáris anyagokkal kapcsolatosan. Több, lineáris esetre érvényes eljárás került kidolgozásra, ezek közül az egyik legelfogadottabb a HASHIN - SHTRIKMAN [1] variációs elv. Egyéb modellekkel kapcsolatos összefoglalás található például HASHIN [2] munkájában.

A lineáris esettel ellentétben a nem-lineáris anyagokra vonatkozóan jóval kevesebb elemzés született. A periodikus mikroszerkezettel rendelkező anyagok tulajdonságai határértékmódszerek segítségével számíthatóak, illetve mint például az úttörő GURSON modell [3] esetében, a képlékeny potenciálra vonatkozó általánosított elméletet alkalmazhatjuk. Az elmúlt hat évben PONTE CASTANEDA [4] és

WILLIS az eddigiektől teljesen eltérő módszert javasolt új, nem-lineáris anyagokra érvényes variációs elvek bevezetésével. A következő években ezek segítségével az anyagok számos fajtájának dolgozták ki folyásfüggvényét.

Jelen munkában a károsodott anyagokra érvényes új folyástörvények felhasználásával számítjuk az anyagok alakíthatósági határdiagramját (FLD). A számítások során nem az összenyomható anyagokra kidolgozott JEONG-PAN [5] eljárást alkalmazzuk, mivel ez viszonylag nehezen kezelhető eredményeket ad, így célszerűbbnek tűnik a régebbi NEALE-CHATER [6] elmélet felhasználása. Ez az eredeti Marciniak - Kuzyski modellre épülve lehetővé teszi a porozitás és az üregek alakja FLD-re gyakorolt hatásának elemzését.

2. Az FLD számítása

Miként azt a bevezetésben jeleztük, a továbbiakban a NEALE-CHATER [6] által javasolt eljárást követjük. Az analízis során felhasznált általános folyástörvényt a (3) összefüggés adja meg. A keményedés (n) és az alakítási sebesség (m) hatását a következő keményedési törvény segítségével írhatjuk le:

$$\sigma_e = k \varepsilon_e^{n+m}, \quad (1)$$

ahol k anyagállandó. A folyási felület egyenletét a károsodott anyagokra alkalmazható új, variációs elvek segítségével számított elméletek eredményei szerint adjuk meg. Gömb alakú üregek esetén a Ponte Castañeda [4], hengeres esetben a SUQUET [10] és elliptikus esetben a P-CASTANEDA és ZAIDMAN [9] által megadott folyási felületeket alkalmazzuk. Egyszerűen megmutatható, hogy ezek felírhatóak a következő formában:

$$As_1^2 + Bs_2^2 + Cs_3^2 + Ds_1s_2 + Es_2s_3 + Fs_1s_3 = 2s_y^2 \quad (2)$$

Az egyes folyástörvényekhez tartozó állandók egyszerűen számíthatók. Értékük kíséretileg a JONES és GILLIS [8] által megadott egyenletekkel, egyszerű szakítóvizsgálat alapján meghatározható.

Az MK eljárás alapfeltevése szerint feltételezzük, hogy a lemez alakváltozásának kezdetén létezik egy kontrakciós zóna, amely merőleges a legnagyobb főnyúlás irányára. A kontrakció értékét, amely például a felületi érdességgel hozható összefüggésbe. [11], x -vel jellemezhetjük. Feltételezzük, hogy a lemez alakváltozásra igaz, hogy:

$$r = e_2 / e_1, \quad (3)$$

ahol e_2 és e_1 a homogén - nem kontrahált - zónában mérhető főnyúlások. Feltételezzük továbbá, hogy a kontrakció vonalával párhuzamos alakváltozások az egyes zónákban egyenlőek:

$$e_{2a} = e_{2b}. \quad (4)$$

A számítások során De_{1b} alakváltozást feltételezve a kontrakciós övezetben számítjuk az ehhez tartozó De_{1a} és De_{2a} értékét. Ezek után a számításokat addig ismételjük, amíg a homogén zónában mérhető alakváltozások elhanyagolhatóan kicsinyek lesznek. A gyakorlatban a számításokat addig folytatjuk, amíg:

$$De_{1a} / De_{1b} < 0.1 \quad (5)$$

1. Ábra
A porozitás hatása a folyási törvényben szereplő állandókra

2. Ábra
A porozitás hatása a károsodott anyag folyási felületére - Gömb alakú üregek

3. Eredmények

A számításokat a Maple V [13] rendszer segítségével végeztük. A keményedési kitevő értékét egységesen $n=0.1$ -nek feltételeztük, a sebesség-érzékenységi kitevőt $m=0.01$ -re vettük fel.

Az általánosított folyási törvény állandóinak elemzése alapján megállapítható, hogy nulla porozitás esetén - $f=0$ - az anyagtörvény visszaadja a mátrix tulajdonságait. A porozitás növekedése az állandók növekedését vonja maga után - 1. ábra -. Ez azt jelzi, hogy a képlékeny alakváltozás kisebb terhelések esetén is beköbvekezhethet, ami összhangban van a 2. ábrán látható folyási görbékkel. Ezen görbék jelzik egyébként azt is, hogy a porozitás növekedtével az anyagra többé nem igaz a térfogat-állandóság. Az 1. ábra mutatja az üregek alakjának hatását is. A hengeres üregek veszélyesebbek, mint a gömb alakúak, jelenlétükben az alakítási határ nagyobb mértékben csökken. Ez összhangban van a szemlélettel, hiszen a henger alak közelebb áll a repedésszerű alakhoz, mint a gömb. A folyási felületek segítségével meghatározott alakítási határdiagram - FLD - alakja összhangban van az előző megállapításokkal. A 3 ábrán látható a porozitás hatása a lemez alakíthatóságára. A szemlélettel, illetve az előző eredményekkel egyezően, az üregek térfogatarányának növelése az alakíthatóság romlását hozza magával. Hasonló eredményeket mutat a 4. ábra is. Ez alapján is kiemelhetjük az üregalak hatását: a hengeres üregeket tartalmazó anyag FLD-je lejjebb helyezkedik el, mint az ugyanannyi, de gömb alakú üreget tartalmazó anyag FLD-je.

3. ábra

A porozitás hatása az FLD-re - hengeres alak

4. ábra

Az FLD és az alak kapcsolata - gömb (PC'91) és hengeres (Suquet'92) üreg

4. Köszönetnyilvánítás

A kutatási munkát az F019002. sz. OTKA program finanszírozta.

Irodalom

- [1] Hashin, J. Appl. Mech., V50, pp.481-505, 1983
- [2] Hashin-Shtrikman, J. Mech. Phys. Solids, V11, pp.127-140, 1963
- [3] Gurson, J. Engng. Mater. Tech. Trans. ASME, V90, pp.2., 1977
- [4] Ponte Castañeda P., J. Mech. Phys. Solids, V40 No.8, pp.1757-1788, 1992
- [5] Yeong-Pan, Int. J. of Solids and Structures. V32 pp.3669-3693, 1995
- [6] Neale-Chater, Int. J. Mech. Sci. V22. pp.563-574, 1980
- [7] Hill, Math Proc. Cambridge Philos. Soc., 1979, vol.75, pp.179-191
- [8] Jones-Gillis, Metall. Trans., V15A, pp. 133-138, 1984
- [9] Ponte Castañeda P.- Zaidman, J. Mech. Phys. Solids, V42 No.9, pp.1459-1497, 1994
- [10] Suquet, Mech. Res. Commun, 19, pp.51-58
- [11] Gronostajski-Zimniak, J. of Mat. Proc. Tech, V32, pp. 263-270, 1992
- [12] <http://fulop/irix.met.uni-miskolc.hu/~fulop/>

Fülöp Tibor, okl. gépészmérnök, DEA,

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, H3515, Miskolc - Egyetemváros,
Miskolc, Magyarország, Tel/Fax: (36-46)-363-929, E-Mail: metft@gold.uni-miskolc.hu,
<http://irix.met.uni-miskolc.hu/~fulop/>