FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1999. március 19-20.

Károsodásmechanika alkalmazása szívós törési problémák modellezésében

Dr.Krállics György

Tatár Levente

Fekete Tamás

Abstract: The importance of the ductile fracture phenomena and its major role in nuclear technology are briefly outlined. Gurson damage model is used for modelling the ductile fracture of smooth bar specimens. Future trends and actual problems in the damage mechanics field are presented.

Bevezetés

Energetikai létesítmények (konvencionális és atomerőművek) biztonságának, “élettartam-tartalékának” megítélése a létesítmény üzemeltethetősége szempontjából alapvető kérdés, melynek komoly ökológiai és gazdasági következményei vannak. Az élettartam és a kockázatok becslésére szolgáló biztonsági számításokban nagy a bizonytalanság, mely nem kis részben a szerkezeti anyagokra vonatkozó tudásunk hiányos voltából következik.

A dolgozatban röviden bemutatjuk az úgynevezett Gurson modellt; amely az eddigi kutatások szerint a szívós anyagok viselkedését az anyag tönkremenetelig nagy pontossággal írja le, ezáltal lehetővé téve a bizonytalanság csökkentését.

Mikroüreg fejlődésen alapuló *meso-damage* elmélet

Szerkezetek terhelésekor nagyon gyakran fellép a maradó alakváltozás. Ezen jelenség leírására alapvetően két módszer terjedt el. Az egyik esetben, amely alapvetően fenomenológikus, a klasszikus kontinuum-mechanikát alkalmazzuk. A másik esetben a képlékeny alakváltozás vizsgálatába bevonjuk az adott anyagban végbemenő fizikai folyamatok elemzését, az anyagszerkezet hatását is. A fent említett két terület összekapcsolásával egy új határterületi tudományág a *continuum damage mechanics* (a károsodások kontinuum - mechanikája) alakult ki, összekapcsolva az anyagtudomány és a szilárd testek mechanikája eredményeit.

A fémes anyagok szívós törési jelenségeinek megértésében fontos szerepet játszanak a mikroüregek keletkezésével, növekedésével és összenövésével kapcsolatos folyamatok. (1. ábra) Az üregek keletkezése elsősorban az anyagban lévő második fázisú kiválásokkal függ össze, amikor is az alakváltozás során az alapfém mátrix és a második fázis kohéziós kapcsolata megszűnik (1.a. ábra). Az alakváltozás folyamán a mikroüregek növekednek (1.b. ábra), majd a terhelés egy kritikus állapotában a mikroüregek összenőnek (1.c. ábra) és egy makroszkopikus repedést alkotnak, amely megjelenése a szerkezet terhelhetőségének drasztikus csökkenését eredményezi.

1. ábra Mikroüregek keletkezése (a), növekedése (b) és összenövése (c)

McClintok[1], Rice és Tracey[2] munkájára alapozva Gurson[3] dolgozott ki egy komplett elméletet porózus anyagok alakváltozására és törésére. Gurson szerint a gömb alakú mikroüregeket tartalmazó testben a σ_{ij} makroszkopikus feszültségek az alábbi folyási feltételt elégítik ki:

$$\phi = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_M^2} + 2f \cosh\left(\frac{\sigma_{kk}}{2\sigma_M}\right) - 1 - f^2 = 0 \quad (1)$$

ahol σ_M -a hibátlan mátrix anyag egyenértékű feszültsége, σ_e -a makroszkopikus egyenértékű feszültség σ_{kk} ,-a makroszkopikus feszültségtenzor első skalár invariánsa, f - a mikroüregek térfogati hányada.

Az üregfejlődés fizikai folyamata két részből áll..

$$\dot{f} = \dot{f}_{nu} + \dot{f}_{gr} \quad (2)$$

A fenti egyenlet első tagja az üregképződés, a második tagja az üregnövekedés sebességét határozza meg. Gurson eredeti elmélete nem foglalkozott a mikroüregek összenövésének problémájával, ami a szívós törés folyamatának egyik fontos eleme. Tvergaard és Needleman [4] ezért úgy változtatta meg a Gurson féle elméletet, hogy az előbb említett jelenséget is beépítették egyenleteikbe. Ebben az esetben a folyási feltétel az alábbiak szerint alakul:

$$\phi = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_M^2} + 2f^* \cosh\left(\frac{\sigma_{kk}}{2\sigma_M}\right) - 1 - (q_1 f^*)^2 = 0 \quad (3)$$

ahol a q_1 paraméter értéke Tvergaard szerint 1.5, az f^* károsodási paraméter a következő:

$$f^* = f \quad \text{ha} \quad f \leq f_c$$

$$f^* = f_c + \frac{f_u^* - f_c}{f_F - f_c} (f - f_c) \quad \text{ha} \quad f > f_c \quad (4)$$

f_c azt a kritikus térfogati hányadot jelöli amelynél a mikroüregek összenövése megkezdődik, f_F - mikroüreg térfogati hányad a törésnél, f_u^* - a károsodási paraméter a törésnél $f_u^* = 1/q_1$, ekkor a mátrix teherviselő képessége kimerül.

Alkalmazások

Jelen munkánkban bemutatjuk saját számításunk eredményeit,[5] amikor is a módosított Gurson-féle elméletet alkalmaztuk sima hengeres szakító próbatest alakváltozási és törési folyamatainak elemzésére. A mátrix anyag keményedési görbáját a (2. ábra) mutatja.

2. ábra 22NiMoCr37 jelű anyag alakítási szilárdság görbéje

A mikroüreg hatását kifejező modellen kívül a számításokat a hagyományos (mikroüreg nélküli) mechanikai modellel is elvégeztük. A szakítás számítógépes modellezésére a MARC végeselemes rendszert használtuk.

A számítási és a mérési eredmények összevetésére a húzóerő változásnak a próbatest legkisebb átmérőjének függvényében felvett diagramját használtuk (3. ábra)

3. ábra A mért és számított húzóerő (Fo-károsodás nélküli eset, Fv-károsodásos eset) és a szakítópróbatétel átmérőváltozásának kapcsolata

A mérési és számítási eredmények nagyon jó egyezést adtak, ugyanakkor a klasszikus mechanika alapján létrehozott modell nem volt képes a szakítási folyamat végét követni.

A módosított Gurson féle modellel a repedés keletkezés és terjedés folyamata is követhetővé vált, aminek a hatása a szakítódiagram menetének erőteljes megváltozásával van kapcsolatban (diagram vége).

Problémák, megoldandó feladatok

A Gurson-féle modellel izotrop károsodási jelenség vizsgálatát lehet elvégezni. egy skalár változó, a mikroüreg térfogati hányad f segítségével. Elképzelhető olyan eset amikor a károsodási folyamat irányfüggő, a kezdeti gömb alakú mikroüreg eltorzul, ekkor az f paraméter helyett egy vektoriális mennyiséget lehet alkalmazni.

A szakirodalomban található publikációk nagy része ezeket a paramétereket valamely előző publikációból ismertnek tételezi fel és módszeres paraméter meghatározásra gyakorlatilag alig található példa. Az sem eléggé ismert, hogy a termomechanikai paraméterek (a hőmérséklet, az alakváltozási sebesség és a feszültségállapot) miképp befolyásolják a mikromechanikai paramétereket.

Irodalom

- [1] McClintock, F.A., A Criterion for Ductile Fracture by the Growth of Holes. Journal of Applied Mechanics, Vol.35,1968, pp. 363-371.
- [2] Rice, J.R. and Tracey, D.M., On the Ductile Enlargement of Voids in Triaaxial Stress Fields. Journal of Mechanics and Physics of Solids, Vol.17, 1969, pp. 201-217.
- [3] Gurson, A.L., Continuum Theory of Ductile Rupture by Void Nucleation and Growth: Part I- Yield Criteria and Flow Rules for Porous Ductile Media. Journal of Engineering Materials and Technology. Vol.99, 1977, pp. 2-15.
- [4] Tvergaard, V. and Needleman, A., Analysis of the Cup-cone Fracture in Round Tensile Bar. Acta Metallurgica. Vol.32, 1984, pp.157-169.
- [5] Krállics, Gy., Tatár, L., Fekete T., Szívós törési problémák károsodásmechanikai megközelítése. 6. Törmech szeminárium, Miskolc, 1997. okt. 8.

Dr. Krállics György
docens
Budapesti Műszaki Egyetem
Mechanikai Technológia és
Anyagszerkezet-tani tanszék
Budapest, Bertalan L. u. 7.
e-mail: krallics@eik.bme.hu

Tatár Levente
tud. segédmunkatárs
Központi Fizikai Kutató-
intézet AEKI
Budapest, Konkoly Thege
M. u. 29-33
e-mail:
tatar@sunserv.kfki.hu

Fekete Tamás
tud. munkatárs
Központi Fizikai Kutató-
intézet AEKI
Budapest, Konkoly Thege
M. u. 29-33
e-mail:
fekete@sunserv.kfki.hu