FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2004. március 26-27.

AUTOMATIKUS PARAMÉTERVIZSGÁLATI ELJÁRÁS SZAKÍTÓKÍSÉRLETEK VÉGESELEMES SZIMULÁCIÓVAL SEGÍTETT KIÉRTÉKELÉSÉHEZ

Tatár Levente, Fekete Tamás

Abstract

Automatic solving of inverse problems during FEM modelling of tensile tests is performed. Results are presented for simulation of tensile tests on notched specimens.

A dolgozat a szakítóvizsgálatok végeselemes módszerrel történő szimulációja során fellépő inverz problémák megoldásának egy lehetséges automatizálási módját tárgyalja. Az eredményeket bemetszett próbatesten végzett szimuláció példájával illusztrálja.

Bevezetés

A mérnöki és kutatási gyakorlatban gyakran vetődnek fel inverz problémák. Az inverz feladatok lényege, hogy egy elméleti modellből kiindulva az abban szereplő paramétereket úgy kell meghatározni, hogy az eredmény a legjobban közelítse a valóságot. Az inverz feladatok megoldása általában összetett feladat, melynek bonyolultsága erősen függ a kiindulási elméleti modelltől. Ezért kézenfekvő, hogy az ilyen problémák vizsgálatába számítógépen jól alkalmazható numerikus módszereket vonjunk be. A témának ma már kiterjedt szakirodalma van. Az inverz problémák közé sorolhatjuk az anyag-vizsgálat számos feladatát is. [1][2]

Inverz problémák az anyagvizsgálatban

A szakítóvizsgálat az egyik legáltalánosabban használt anyagvizsgálati eljárás, melynek célja az anyagok rugalmassági és szilárdsági jellemzőinek meghatározása, melyeket a későbbiekben a mérnöki gyakorlatban felhasználhatnak. A szakítóvizsgálat két lépésből áll:

1. A szakítókísérletből, melyben egy kísérleti mintadarabot egyenletesen szakadásig nyújtanak, közben mérik a nyújtáshoz szükséges erőt, a próbatest megnyúlását és a kontrakcióját
2. A kísérlet kiértékeléséből, melynek során a mérésből nyert eredményekből egy elméleti szilárdságtani modell segítségével kiszámítják a vizsgált anyag keresett jellemzőit.

A szakítóvizsgálat szabványos eljárás; a szabvány viszont csak a legáltalánosabb mérnöki anyag-jellemzők (folyáshatár, szakítószilárdság, kontrakció) meghatározását írja elő. A számítások során használt modell sok egyszerűsítő feltételt tartalmaz, ezért az eljárást végrehajtani könnyű, de az eredmények pontossága korlátozott.

Az elméleti mechanika, a numerikus matematika és a számítástechnika utóbbi fél évszázadban elért eredményei megteremtették a lehetőséget arra, hogy a szerkezetek terhelési viszonyainak elemzése során a deformáció-mezőt igen pontosan határozzuk meg. A lehetőségek kiaknázásához az anyag-tulajdonságok pontosabb leírására is szükség van. Az anyagok tulajdonságainak leírására az utóbbi 50

évben az anyagmodellek sokaságát dolgozták ki. Ma a konstitutív modellek centrális szerepet játszanak az ipari berendezések viselkedését szimuláló számításokban. A fejlettebb anyagmodellek is tartalmaznak olyan jellemzőket, amelyeket kísérletek alapján úgy kell származtatni, hogy az eredmények a legjobbban közelítsék a valós helyzetet. Belátható, hogy az anyagvizsgálati mérések adott konstitutív modellel történő kiértékelése inverz feladat. A probléma bonyolultságát növeli, hogy az újabb anyagmodellek általában több paramétert tartalmaznak

A mérések kellő pontosságú kiértékelésére legcélszerűbb numerikus szimulációt alkalmazni, melyekre ma már akár kereskedelmi forgalomban beszerezhető programok is alkalmasak. Ugyanakkor a legfejlettebb szimulációs szoftvereket sem az inverz problémák igényeit szem előtt tartva dolgozták ki, ezért az ilyen típusú feladatok megoldása további fejlesztések nélkül vagy nagyon nehézkes, vagy gyakorlatilag lehetetlen. A továbbiakban olyan modul fejlesztéséről számolunk be, amely alkalmas a szakító-kísérletek kiértékelése során fellépő paramétervizsgálatok automatikus elvégzésére.

Az anyagvizsgálati probléma

Az anyagvizsgálati probléma fő célkitűzése az volt, hogy határozzuk meg egy 15H2MFA típusú öregített reaktoracél folyási görbét, az anyag szívós töréshez tartozó instabilitásának modellezésével együtt. A folyásgörbe meghatározásához bemetszett próbatesten végzett kísérleti eredmények álltak rendelkezésre.

Tekintettel arra, hogy a feladat során célként tűztük ki az anyag szívós töréshez tartozó stabilitásvesztésének leírását is, elméleti modellként az ún. módosított Gurson modellt választottuk. A modell részletes leírása [3]-ban megtalálható, e helyen csak központi összefüggéseit ismertetjük vázlatosan. A módosított Gurson modell maga a következő folyási feltétel:

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

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 károsodási paraméter, q_1 a folyási paraméter. A módosított Gurson modellben az f^* károsodási paraméter értéke:

$$\begin{aligned} f^* &= f & \text{ha} & & f \leq f_c \\ f^* &= f_c + \frac{f_u - f_c}{f_F - f_c} (f - f_c) & \text{ha} & & f > f_c \end{aligned} \quad (2)$$

f a mikroüreg térfogati hányad az anyagban, f_c azt a kritikus térfogati hányadot jelöli amelynél a mikro-üregek 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. Az üregfejlődés két részből, az üreg képződésből és az üreg-növekedésből tevődik össze a következők szerint:

$$\dot{f} = \dot{f}_{nu} + \dot{f}_{gr} \quad (3)$$

Automatizált paramétervizsgálat

Tekintettel arra, hogy az előző pontban ismertetett anyagegyenlet meglehetősen bonyolult, és a károsodás leírására több paramétert tartalmaz, olyan paramétervizsgálatot végző modul kifejlesztését kezdtük meg, amely a paraméterek optimalizálását is elvégzi. A rendszer tömbvázlata az (1) ábrán látható.

1. ábra: Automatizált paramétervizsgálat tömbvázlata

A rendszert a MARC-Mentát 2001 végeselemes programrendszerhez illesztettük, Windows 2000 operációs rendszer alatt. A modulok Cygwin környezetbe illeszkedő shell scripteket és Fortran forrásnyelvű bináris rutinokat tartalmaznak.

Eredmények

Az alábbiakban egyszerűség kedvéért egy, az f_0 kezdeti üreghányad értékeire végzett paramétervizsgálat eredményeit mutatjuk be. A szakító próbatest részletének geometriája és a végeselemes háló a (2.) ábrán látható.

2. ábra: A vizsgálat során használt végeselemes háló

A számítások indításához szükséges Gurson-paraméterek megegyeznek a [3]-ban megadott értékekkel; kivéve az f_0 kezdeti üreghányadot, melyet a működtető keretrendszer határozott meg. A számítást akkor tekintettük kellően pontosnak, ha a szakítás szimulációját valamely f_0 -ról indítva a szakadás megindulásához tartozó elmozdulás 2 %-on belül megegyezett a kezdeti értékkel. A kezdeti üreghányadot 0.00001 és 0.1 között változtatva, $f_0 = 0.06$ mellett a pontossági kritérium teljesült.

3. ábra: Az automatizált paramétervizsgálat eredményei

Továbbifejlesztési lehetőségek

A keretrendszer jelenlegi formájában még nem alkalmas több, a Gurson modellben alkalmazott paraméter egyidejű illesztésére, de moduláris felépítése lehetővé teszi, hogy az architektúra megváltoztatása nélkül azt is implementáljuk a megoldó algoritmusba.

Irodalom:

- 1 Corigliano Alberto, Mariani Stefano, Orsatti Barbara: Identification of Gurson-Tvergaard matériái model parameters via Kalman filtering technique. I. Theory, International Journal of Fracture Vol. 104, Issue 4 p.349-373 August 2000
2. Igor Grešovnik: A General Purpuse Computational Shell for Solving Inverse and Optimisation Problems, Application for Metál Forming Processes, ph. D. thesis, University of Wales Swansea, Dept. of Civil Engineering, April 2000, <http://www.c3m.si/inverse/doc/phd/> 2003. 07. 18.
3. Krállics György, Tatár Levente.: Sima próbatest szakítóvizsgálata a módosított Gurson-féle szívós törési elmélet alapján. Anyagvizsgálók Lapja, 1996.

Tatár Levente

KFKI Atomenergia Kutatóintézet
Konkoly Thege M. út. 29-33.
Tel: +36 1 395 2222 / 3403
e-mail: tatar@sunserv.kfki.hu

Fekete Tamás

KFKI Atomenergia Kutatóintézet
Konkoly Thege M. út. 29-33.
Tel: +36 1 395 2222 / 3403
e-mail: feketek@sunserv.kfki.hu