

CYCLIC PLASTICITY – NUMERICAL AND EXPERIMENTAL SOLUTIONS CYKlická PLASTICITA – NUMERICKÉ A EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ

Karel Frydrýšek¹, Radim Halama², Martin Fusek³

This article is focused on the computational solution of the material tests and their evaluations. Problem deals with torsion and other types of low-cycle fatigue tests of steel specimens. The results acquired by FEM (ANSYS and MSc.MARC software) are compared with experiments. Simulations were done with Chaboche nonlinear kinematic hardening model and the modification of AbdelKarim-Ohno cyclic plasticity model. For verification of the models was used a set of axial/torsional loading paths from Chen. The new model predicts ratcheting strain reasonably well for the almost all test cases.

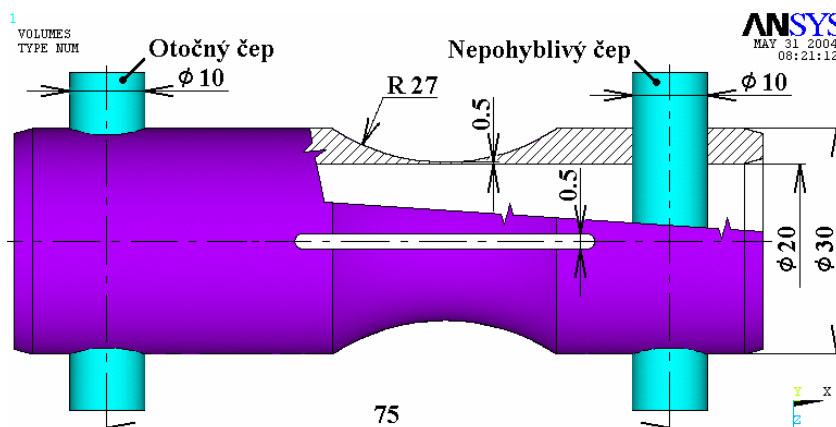
Keywords

Low-Cycle Fatigue, Cyclic Plasticity, Material Tests, Nonlinear Kinematic Hardening Rules.

1. Deformační zatěžování (cyklické kroucení)

Na katedře pružnosti a pevnosti byl navržen nový tvar kovového zkušební vzorku s podélným nařiznutím, viz obr.1. Tento vzorek slouží pro numerické a experimentální řešení jednoduchých nebo kombinovaných zátěžných stavů prováděných na inovovaném zkušebním stroji katedry pružnosti a pevnosti.

Pro cyklické kroucení



Obr.1 Geometrie ocelového zkušební vzorku.

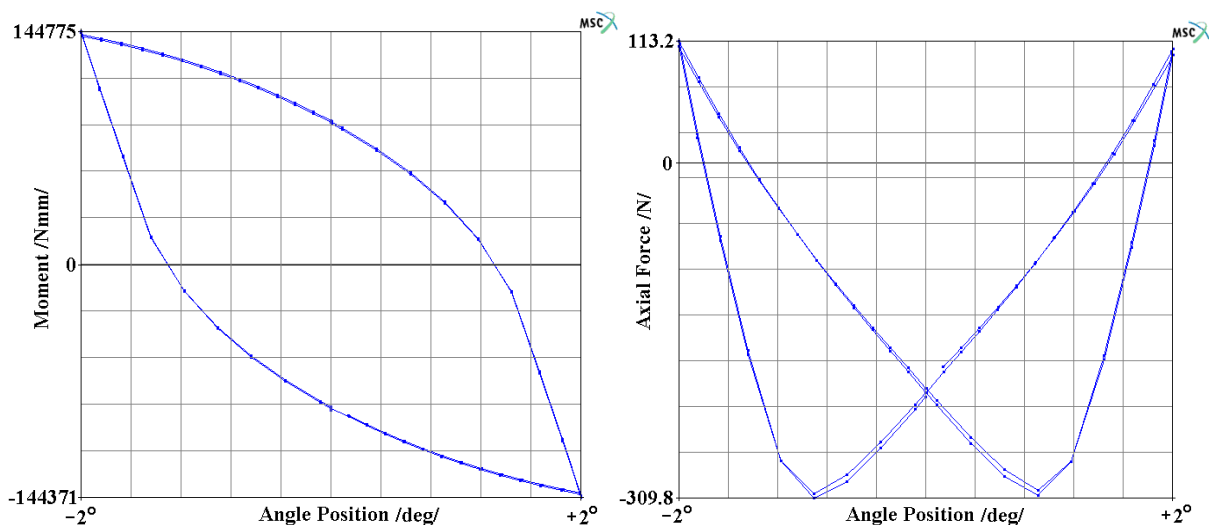
¹ Ing. Karel Frydrýšek, Ph.D., ING-PAED IGIP, FS VŠB-TU Ostrava, katedra pružnosti a pevnosti, Třída 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava – Poruba, +420-597324552, e-mail: karel.frydrysek@vsb.cz.

² Ing. Radim Halama, FS VŠB-TU Ostrava, katedra pružnosti a pevnosti, Třída 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava – Poruba, +420-597323495, e-mail: radim.halama@vsb.cz.

³ Ing. Martin Fusek, FS VŠB-TU Ostrava, katedra pružnosti a pevnosti, Třída 17. listopadu 15, 708 33, Ostrava – Poruba, +420-597324412, e-mail: martin.fusek@vsb.cz.

ocelového vzorku, viz obr.1, byl zvolen Chabocheův model cyklické plasticity s izotropním a kinematickým zpevněním, viz [1]. Pro izotropní zpevnění platí tyto hodnoty: $R_0 = 0$ MPa , $R_\infty = 100$ MPa a koeficient $b = 3.85$. Pro kinematické zpevnění platí: koeficient $\gamma = 60$ a koeficient $c = 30000$. Materiál (ocel 316L) je považován za isotropní a homogenní. V elastické oblasti je: $E = 210000$ MPa , $\mu = 0.3$ a $R_e = 300$ MPa .

Pevný čep se v průběhu výpočtu nepohybuje a otočný čep vyvolává symetrické cyklické zatěžování otáčením o úhel $\pm 2^\circ$ kolem podélné osy vzorku, viz obr.1. Tímto způsobem zatížení se ve vzorku generují cyklické změny krouticího momentu, axiální síly a také deformací a napětí, viz [2] a například obr. 2.



Obr.2 Závislost krouticího momentu M_k /Nmm/ a axiální síly F /N/na úhlu natočení čepu (cyklus 5 a 6).

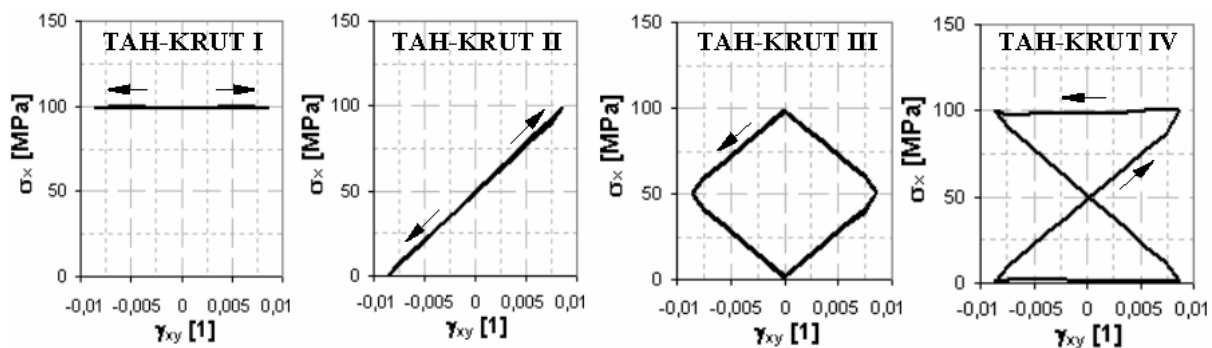
2. Deformačně-silové zatěžování

Inovovaný zkušební stroj katedry pružnosti a pevnosti umožňuje provádět deformačně i silově řízené cyklické zkoušky materiálu. Prozatím jsou převzata experimentální data z literatury.

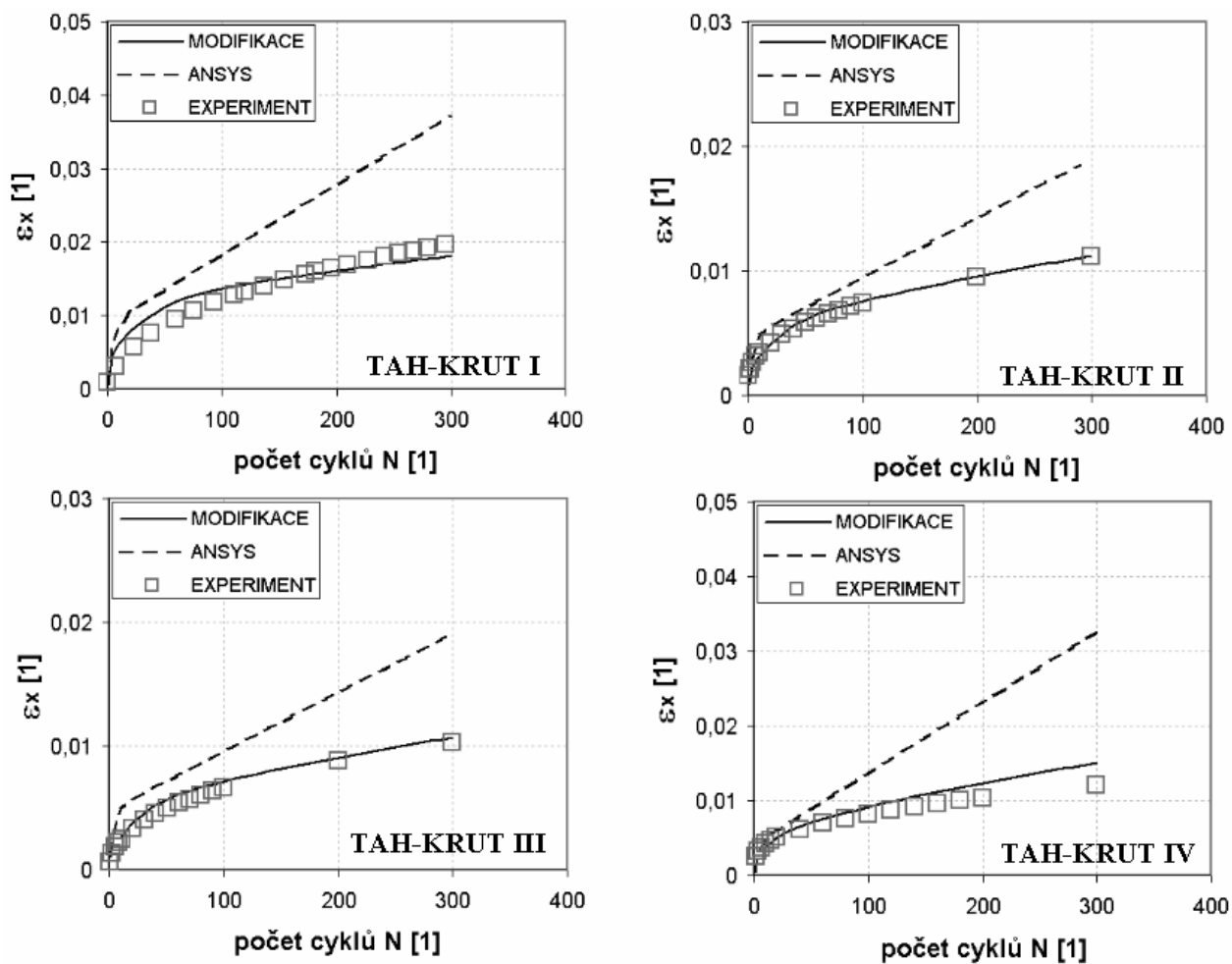
Při numerickém řešení elastoplastických úloh s cyklickým zatěžováním hraje významnou roli použitý model plasticity. Modely cyklické plasticity běžně zahrnuté v komerčních programech popisují správně chování kovových materiálů většinou pouze při deformačně řízeném zatěžování nebo u proporcionálního zatěžování, kdy jsou směry hlavních napětí a hlavních deformací shodné. Z tohoto důvodu byla navržena úprava sofistikovaného modelu plasticity [3] a následně implementována do programu Ansys 8.0 [4]. Navržená modifikace je založena na kinematickém pravidle AbdelKarim-Ohno [5] a je blíže popsána v článku [3].

Modelován byl experiment [6] prováděný na tenkostěném vzorku z oceli S45C (český ekvivalent 12050). Kromě sedmi zkoušek s proporcionálním zatěžováním, viz [3], byly simulovány také zkoušky s neproporcionálním zatěžováním (namáhání tahem a kroucením). Každá z těchto zkoušek měla jinou historii zatěžování. Vybrané čtyři případy z těchto sedmi zkoušek jsou znázorněny na obr.3, kde je pro každý případ zobrazena závislost axiálního napětí σ_x na poměrné smykové deformaci γ_{xy} . V důsledku tahového axiálního napětí docházelo u

vzorků k cyklickému nárůstu axiální plastické deformace (ratcheting). Patrné je to také z obr.4, kde je pro každý případ zobrazena závislost celkové axiální deformace ε_x na počtu cyklů N .

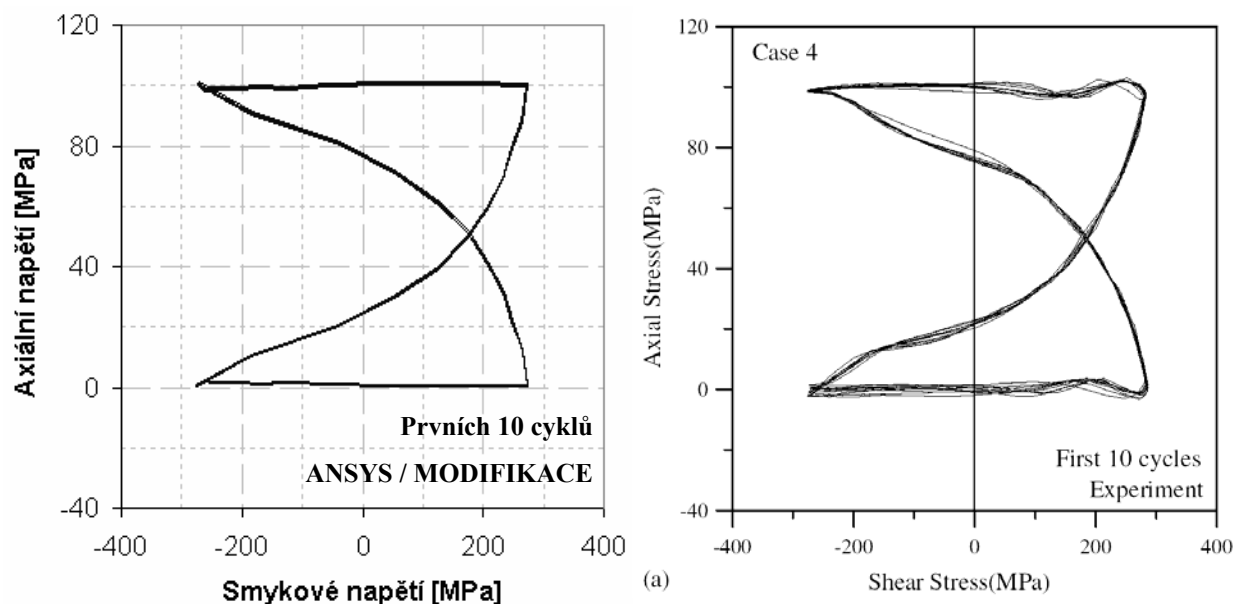


Obr.3 Vybrané řešené případy neproporcionálního zatěžování.



Obr.4 Výsledky vybraných řešených případů neproporcionálního zatěžování (experimentální data pro materiál S45C převzata z [6]).

Všechny případy byly počítány dvakrát, pro Chabocheův model (program Ansys) a vlastní navržený model plasticity (modifikace AbdelKarim-Ohno modelu), viz legendy v obr.4.



Obr.5 Závislost axiálního napětí na smykovém napětí v prvních 10-ti cyklech čtvrtého případu (experimentální data pro materiál S45C převzata z [6]).

Dobrá shoda numerického řešení (navržený model plasticity) s experimentem je vidět také z obr.5, kde je srovnána závislost axiálního napětí na smykovém napětí v prvních 10-ti cyklech u čtvrtého případu neproporcionálního zatěžování.

Závěr

V článku jsou popsány možnosti řešení vybraných případů cyklické plasticity. Na experimentálních datech z literatury byla prezentována vhodnost implementace nového modelu plasticity do komerčních programů založených na metodě konečných prvků. Pro deformačně řízené zkoušky a proporcionální zatěžování lze používat například Chabocheův model, avšak pro složitější případy cyklického namáhání je výbava komerčních programů pro cyklickou plasticitu nevyhovující. Jednou z možností řešení tohoto problému je implementace libovolného modelu plasticity pomocí uživatelských podprogramů [4]. Dříve navržený model plasticity [3], který byl implementován v programu Ansys, se poměrně dobře shoduje s experimentem.

Poděkování: Příspěvek využil výsledků z projektů FRVŠ 3413/2005/F1/A a FRVŠ 2052/2005/F1/A a byl finančně podpořen z grantu GAČR 101/04/0475.

Literatura

- [1] Chaboche, J. L., Lemaitre, J.: *Mechanics of Solid Materials*. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- [2] Frydrýšek, K., Halama, R., Fuxa, J.: *Low-Cycle Fatigue and Torsion Test* – In: 7th International Scientific Conference „Applied Mechanics 2005“, ISBN: 80-214-2373-0, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, 2005, pp.19-20.
- [3] Halama, R.: *Modifikace modelu cyklické plasticity s ohledem na multiaxiální ratcheting, Část I. Základní popis a srovnání simulace s experimenty* – In: 7th International Scientific Conference „Applied Mechanics 2005“, ISBN: 80-214-2373-0, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, 2005, pp.31-32.
- [4] Halama, R., Fusek, M.: *Modifikace modelu cyklické plasticity s ohledem na multiaxiální ratcheting, Část II. Implementace v programu Ansys* – In: 7th International Scientific Conference „Applied Mechanics 2005“, ISBN: 80-214-2373-0, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, 2005, pp.33-34.
- [5] Abdel-Karim, M., Ohno, N.: *Kinematic Hardening Model Suitable for Ratchetting with Steady-State*, International Journal of Plasticity, 16, 2000, pp. 225-240.
- [6] Chen, X., Jiao, R., Kim, K.S.: *On the Ohno-Wang Kinematic Hardening Rules for Multiaxial Ratchetting Modeling of Medium Carbon Steel*, International Journal of Plasticity, 21, 2005, pp. 161–184.