EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

NUMERICAL SIMULATION OF MATERIAL TESTS IN PLASTIC REGION AND ITS VERIFICATION

NUMERICKÁ SIMULACE MATERIÁLOVÝCH ZKOUŠEK V PLASTICKÉ OBLASTI A JEJÍ VERIFIKACE

Petruška,J.

The Finite Element system ANSYS 5.0 is used for simulation of tensile and compression tests up to the level of large plastic strains. The results are verified to asses acceptability of the large elastic-plastic software and a possibility to use the simulation for real test evaluation is discussed.

Numerická simulace problémů s velkým plastickým přetvořením je již dlouho předmětem intenzivního vývoje, teprve v současné době se však stávají jeho výsledky dostupné běžnému uživateli - například v poslední verzi systému ANSYS. V předkládaném příspěvku se budeme zabývat využitím této možnosti pro simulaci tahové, resp. tlakové zkoušky tvárného materiálu a dále využitím takové simulace pro vyhodnocení reálného experimentu.

Simulace tahové zkoušky tvárného materiálu, zahrnující vznik a vytváření krčku, představuje klasickou testovací úlohu pro algoritmy řešící velká plastická přetvoření. Fenomén vytváření krčku je, jak známo, výsledkem vzájemné interakce dvou rozdílných typů nelinearity - materiálové a geometrické. Pro úspěšnou simulaci je nutný efektivní algoritmus, zvládající obě nelinearity dostatečně spolehlivě. Uspokojivý výsledek není samozřejmostí ani u programů, které tuto schopnost formálně deklarují. Program ANSYS využívá k popisu plastického chování materiálu asociovanou teorii plastického tečení s Misesovou podmínkou plasticity a izotropním zpevněním [1]. Algoritmus geometrické nelinearity je postaven na aktualizované Lagrangeově formulaci [2],[3]. Doporučuje se využití specielního prvku s interním označením VISCO106. Jedná se o modifikaci čtyřuzlového izoparametrického čtyřúhelníka, vhodnou pro přetvoření přesahující 50%, u níž je nestlačitelnost plastického toku zajištěna metodou Lagrangeových multiplikátorů.

Válcový tvar vzorku pro tahovou zkoušku umožňuje vzhledem k symetrii numerické řešení na oblasti, odpovídající čtvrtině osového řezu o rozměrech L=50mm, ϕD=10mm. Navržená síť prvků je na obr.1. Požadovaná iniciace krčku uprostřed vzorku je

zajištěna snížením průměru o 0,5% v tomto místě, zatížení je realizováno deformačně, předepsáním posuvů na horní hranici řešené oblasti. Výsledky, které budeme podrobněji dále uvádět, byly získány pro materiál s mezí kluzu R_e=200 MPa, závislost skutečného napětí σ na skutečném přetvoření ϵ byla zadána ve tvaru

$$\sigma = 700\ \epsilon^{0,13}\ . \qquad (1)$$

Základním kritériem úspěšnosti testovaného softwaru je schopnost popsat plastickou nestabilitu, tj. vznik a vytváření krčku. Simulaci tohoto procesu ukazují obr. 2-4 postupně pro úroveň smluvního přetvoření ϵ_{sm}=0,2; 0,25; 0,3. Je zřejmé, že použitá síť s extrémním protažením poslední řady prvků už není adekvátní pro úroveň deformace ϵ_{sm}=0,3. Obr.5 uvádí numericky simulovaný smluvní tahový diagram $\sigma_{sm}(\epsilon_{sm})$. Všimněme si nyní kvantitativních hledisek. Pro zvolený materiál dle (1) by mělo skutečné napětí a přetvoření na mezi plastické nestability nabývat hodnot σ_{pn}=537 MPa, ϵ_{pn}=0,13. Ze simulovaného tahového diagramu dle obr.5 lze k tomuto bodu přiřadit smluvní hodnoty σ_{sm}=470 MPa, ϵ_{sm}=0,12. Přepočtem získáme numericky simulované skutečné napětí a přetvoření na mezi nestability

$$\sigma = \sigma_{sm}\ (\ 1 + \epsilon_{sm}) = 470\ (\ 1 + 0,12\ ) = 526\ \text{MPa},$$

$$\epsilon = \ln\ (\ 1 + \epsilon_{sm}) = \ln\ (\ 1 + 0,12\ ) = 0,113\ .$$

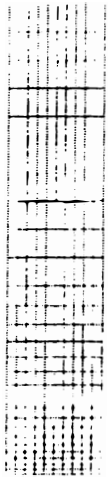
Tyto výsledky představují relativní chybu lokalizace bodu nestability zhruba o 13% v přetvoření a 2% v napětí. Větší chyba přetvoření se dá očekávat vzhledem k plochému vrcholu křivky $\sigma(\epsilon)$, přesná lokalizace ϵ_{pn} představuje proto numericky nestabilní problém.

O kvalitě simulace geometrických veličin v oblasti krčku vypovídá tab.1. Jsou v ní v závislosti na smluvním přetvoření ϵ_{sm} uvedeny hodnoty skutečného axiálního přetvoření v nejužším místě, získané dvojím způsobem. Jednak jako standardní výstup řešení MKP - veličina ϵ_a, poté z aktuální hodnoty nejužšího průřezu S, získaného týmž numerickým řešením - veličina ϵ_{aS} = $\ln(S_0/S)$. Tyto výsledky jsou v dobré korelaci zhruba do úrovně ϵ_{sm}=0,25 , což je v souladu s konstatováním neadekvátnosti použité sítě pro větší přetvoření (viz obr.4). Vztah ϵ_a-ϵ_{aS} se tedy nabízí jako jako míra vhodnosti použité sítě

ϵ_{sm}	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
ϵ_a	0,215	0,46	0,65	0,90	1,28	1,60	2,00	2,21
ϵ_{aS}	0,216	0,44	0,66	0,92	1,27	1,77	2,61	3,60

Tab.1

pro konkrétní výpočet. Rozsah příspěvku neumožňuje uvedení variantních výsledků pro jiné sítě, ty budou prezentovány při jednání na konferenci. Tamtéž uvedeme i výsledky simulace tlakové zkoušky olověných vzorků, k jejichž verifikaci byly užity výsledky reálných experimentů [4]. Zaměřme se v závěru na možnost využití simulace při vyhodnocení výsledků reálného experimentu.

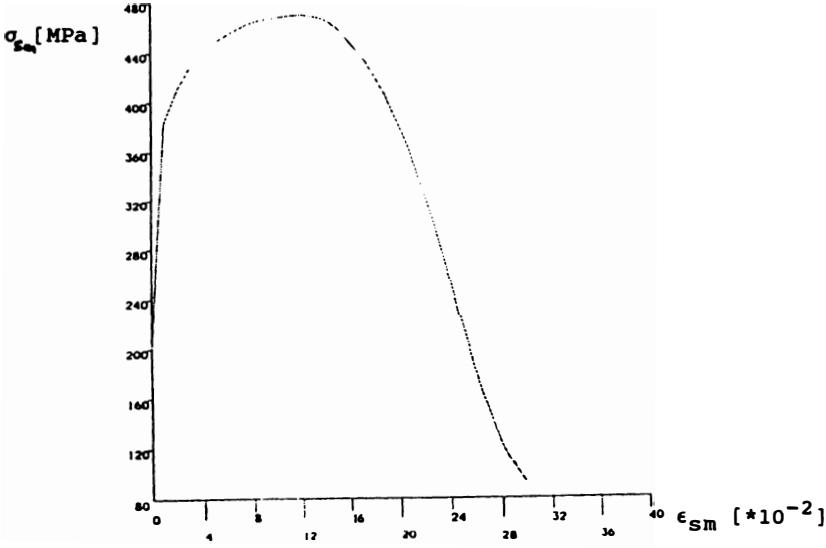


Síť MKP
obr.1

ϵ_{sm}=0,2
obr.2

ϵ_{sm}=0,25
obr.3

ϵ_{sm}=0,3
obr.4



obr.5

Určení závislosti mezi skutečným napětím a přetvořením z tahové zkoušky je problematické od okamžiku vzniku nestabilní plastické deformace. Důvodem je skutečnost, že do získaného smluvního diagramu se promítají vlivy nelinearity materiálové i geometrické, z nichž pouze první je předmětem našeho zájmu. Přirozeným prostředkem separace obou vlivů je průběžné měření tvaru krčku, což je ovšem obtížně realizovatelný a proto nestandardní postup. Nyní se nabízí možnost náhrady průběžného měření numerickou simulací pomocí softwaru, schopného geometrickou nelinearitu korektně modelovat. Uveďme jeden krok takového algoritmu, schopného stanovit závislost skutečných napětí a přetvoření $\sigma(\epsilon)$ ze smluvní křivky $\bar{\sigma}_{sm}(\bar{\epsilon}_{sm})$, získané jako výsledek reálného experimentu. Předpokládejme úspěšnou simulaci experimentu až do kroku n-1, tj. až do úrovně smluvních a skutečných hodnot σ_{sm}^{n-1}, ϵ_{sm}^{n-1}, σ^{n-1}, ϵ^{n-1}. V n-tém kroku pak následují tyto činnosti:

1. Z dosavadního průběhu extrapolujeme závislost $\sigma(\epsilon)$ tak, aby pokryla přírůstek v n-tém kroku.

2. S takto předpokládanou materiálovou závislostí vyřešíme n-tý krok zatížení, získáme tak simulované hodnoty $\sigma_{sm}^{n}, \epsilon_{sm}^{n}$.

3. Určíme rozdíl mezi smluvním napětím takto simulovaným a skutečně změřeným, tedy $\Delta\sigma_{sm}^{n} = \sigma_{sm}^{n} - \bar{\sigma}_{sm}(\epsilon_{sm}^{n})$.

4. Hodnota $\Delta\sigma_{sm}^{n}$ je mírou přesnosti simulace a rozhodne o tom, zda n-tý krok opakovat s korigovanou extrapolací $\sigma(\epsilon)$, nebo přejít na krok n+1 a začít znovu bodem 1.

Výsledkem uvedeného algoritmu je postupné určení závislosti $\sigma(\epsilon)$ i za mezí plastické nestability, strategie predictor-corrector v každém kroku je řízena souhlasem mezi numericky získanou a skutečně změřenou závislostí smluvních veličin $\sigma_{sm}(\epsilon_{sm})$ a může být kontrolována dalšími kritérii, např. srovnáním veličin ϵ_a, ϵ_{aS} dle tab.1. Možnosti prezentovaného softwaru spolu se stále výkonnějším hardwarem dávají předpoklad úspěšného zvládnutí této úlohy, kapacitně nesporně velmi náročné.

LITERATURA

[1] Hill,R.: The Mathematical Theory of Plasticity, Oxford University Press, London, 1950

[2] Bathe,K.-J.: Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice Hall, New York, 1982

[3] ANSYS User's Manual, Rev.5.0, Vol.I - Procedures, Swanson Analysis Systems Incorporated, 1992

[4] Kuthan,J.: Výpočtově experimentální přístup k predikci geometrických charakteristik při lisování rotačně symetrického tělesa z viskoelastického materiálu, Dipl.práce FS VUT Brno, 1991

Jindřich Petruška, Ing., CSc.

Ústav mechaniky těles FS VUT Brno, Technická 2, 61669 Brno

tel.(05) 4114 2863 / fax (05) 745718