

Program pro kalibraci parametrů Chabocheova modelu plasticity

Úvod

Program slouží ke kalibraci parametrů Chabocheova modelu plasticity na základě experimentálních měření hysterezních smyček na různých hladinách rozkmitu deformace. Využívá kombinaci simulace experimentů pomocí MKP v softwaru Abaqus spolu s optimalizačním algoritmem. Jeho použití je vhodné, zejména pokud jsou zkušební vzorky neprizmatického průřezu a užití analytických vztahů by bylo příliš komplikované.

Parametry jsou stanoveny iterativním postupem. K jejich nalezení je použita simplexová metoda. Cílovou funkcí, která je touto metodou minimalizována, je míra shody silově deformační odezvy (hysterezní smyčky v polovině životnosti) změřené a vypočtené, tedy:

$$e = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \left(1 - \left| \frac{F_{exp}^i}{F_{comp}^i} \right| \right)_j, \quad (1)$$

kde M je počet hladin zatížení a N je počet bodů vypočtené hysterezní smyčky.

Vstupy a modely

Potřebným vstupem je experimentálně stanovená silově deformační odezva v polovině životnosti vzorku. Ta má charakter hysterezní smyčky. Jak horní tak dolní větev hysterezní smyčky je nutno proložit mocninnou funkcí typu:

$$F = A(\Delta l + 1)^B + C(\Delta l + 1) + D, \quad (2)$$

kde A , B , C a D jsou parametry stanovené metodou nejmenších čtverců, F je síla odpovídající prodloužení Δl . Toto je třeba provést pro všechny hladiny.

Parametry A , B , C a D jsou pro další využití zapsány v textovém souboru *exp_params_f_u.txt* s danou strukturou. Ta je taková, že každá zkoušená hladina rozkmitu deformace je uvedena svým názvem ve tvaru **název_hladiny*. Následuje další řádek s označením, zda se jedná o horní či spodní větev - **up* / **down* - a na dalším řádku následují hodnoty parametrů oddělené čárkami. Pro ilustraci, je část souboru s daty pro popis závislosti síly na prodloužení je uvedena níže.

...

**eps_300e-4*

**up*

-2532, -8.87, 2163, 1.594e+04

**down*

1024, 14.67, 1.076e+04, -2.729e+04

*eps_200e-4

...

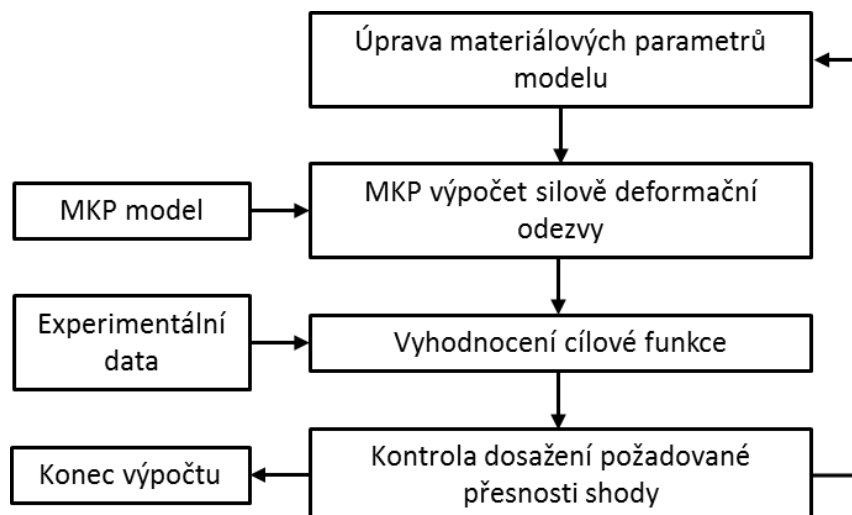
Dále je potřeba pro každou hladinu vytvořit MKP model experimentu uložit ho v podobě *.inp souboru. Je třeba zatěžovat kinematicky sinusovým průběhem ve shodě s posuvem extenzometru a pro řešení využít proceduru direct cyclic. Jednotlivé modely by se měly lišit pouze ve velikosti zatížení. Názvy modelů musí být shodné s názvem hladiny v souboru *exp_params_f_u.txt*, tedy *název_hladiny.inp*.

Materiálové parametry Chabocheova modelu plasticity (spolu s elastickými konstantami) jsou pro snadnější úpravu a zachování historie iteračního procesu zapsány v souboru *material.data* mimo *název_hladiny.inp* soubor definující celý model. Materiálové parametry je pak třeba do modelu zahrnout pomocí klíčového slova **include*.

Program

Proces stanovení parametrů je schematicky znázorněn na Obr.1. Procedura optimalizace je řízena programem *main_1.py*. Ten obsahuje následující funkce:

- Vytvoření aktuálního souboru materiálových parametrů (*material.data*) a přejmenování předchozího souboru přidáním čísla proběhlé iterace do jeho názvu. Tím je zajištěno zachování historie iteračního procesu.
- Načítání parametrů ze souboru *exp_params_f_u.txt*, které popisují změřené hysterezní smyčky.
- Spouštění výpočtového jádra programu Abaqus včetně kontroly ukončení výpočtu.
- Tvorbu textového souboru se silově deformační odezvou extrakcí těchto dat z výsledkové databáze *.odb pomocí externího modulu *get_U_F_název_hladiny.py*. Pro každou hladinu je třeba mít vytvořený příslušný modul. Jednotlivé moduly se liší tím, že je v nich definován příslušný název výsledkové databáze *název_hladiny.odb*.
- Vyhodnocení cílové funkce, které je voláno optimalizačním algoritmem, který je zapsán v samostatném modulu *simplex.py*.



• Obr. 1 – Schema programu

Procedura je koncipována tak, že umožňuje paralelní výpočet na všech vybraných hladinách zatížení, se kterými má být porovnávána shoda výpočtu a experimentu. Také je umožněno modifikovat jen některé materiálové parametry, např. mez kluzu může být dána jako fixní hodnota a mění se jen parametry příslušející daným „backstressům“.

Seznam parametrů a proměnných k nastavení uživatelem

Pro každou hladinu mít vytvořený model s názvem *InpFileName_N.inp*, kde *N* odpovídá *n*-té hladině zatížení.

V souboru *exp_params_f_u.txt* je třeba zapsat číselné hodnoty parametrů *A*, *B*, *C* a *D* pro horní a dolní větev hysterezní smyčky na příslušných hladinách.

V souboru *material.data* zapsat materiálové parametry dle konvence.

V souboru *get_U_F_InpFileName_N.py* definovat proměnné:

filesPath,
odbFileName,
stepName.

V souboru *main_1.py* definovat proměnné:

loadAmplMarks – seznam názvů jednotlivých *.inp souborů,
pathMatParams
abaScriptPath
expParamsPath
compDataPath

je vhodné aby *pathMatParams = abaScriptPath = expParamsPath = compDataPath*

abaPath
start_guess
guess_perturb