

Oponentní posudek disertační práce Ing. Slavomíra Parmy s názvem „Development and Calibration of Elasto-Plasticity Models with Directional Distortional Hardening“.

M. Španiel

15. 1. 2019

Dosažení stanovených cílů práce

Předložená disertační práce se zabývá fenomenologickým modelováním plasticity se směrovým zpevněním a s distorzí plochy plasticity - directional distortional hardening (DDH). Autor se zaměřil na kalibraci parametrů α -modelu z práce Feigenbaum a Dafalias: Simple model for directional distortional hardening in metal plasticity within thermodynamics (2008). V kapitole 3 formuluje (kromě obecného hlubšího pochopení a vysvětlení vztahu mezi jednotlivými parametry α -modelu a jeho odezvou) následující cíle: 1) Nalezení analytického vyjádření (v uzavřeném tvaru) závislosti napětí na plastické deformaci pro α -model při monotónním zatěžování; 2) Nalezení analytického vyjádření stabilizované hysterezní smyčky a cyklické deformační křivky pro α -model při proporcionálním cyklickém zatěžování; 3) Vývoj analytických kalibračních postupů; 4) Citlivostní analýzy navržených kalibračních postupů. Splnění cílů 1 a 2 představovalo jednak nalezení analytického řešení soustavy evolučních rovnic vyjadřujících isotropaní a kinematické zpevnění, zákon plastického tečení a algebraické rovnice vyjadřující podmínku plasticity α -modelu. Autorovi se povedlo nalézt řešení pro případ monotónního proporcionálního zatěžování (popsáno v kapitole 5.1) a pomocí něj pak nalézt analytické vyjádření saturované hysterezní smyčky při zatěžování cyklickou deformací jako limitu posloupnosti zatěžovacích a odlehčovacích větví a cyklickou deformační křivku (popsáno v kapitole 6.1). Dále autor navrhl dva postupy kalibrace materiálových parametrů α -modelu:

- Kalibraci založenou na datech z tahových reverzních zkoušek a proporcionální biaxiální zkoušky tah-krut (popsáno v kapitole 5.2). Navržený postup je schopen vyjádřit všech šest parametrů α -modelu jako funkce deseti pomocných parametrů jednoduše definovaných na základě experimentů.
- Kalibraci založenou na cyklické deformační křivce (popsáno v kapitole 6.2). Navržený postup je schopen vyjádřit čtyři ze šesti parametrů α -modelu jako funkce tří pomocných parametrů jednoduše definovaných z cyklické deformační křivky, nikoli však všechny v uzavřeném tvaru. Parametr a_1 musí být stanoven numerickým řešením autorem odvozené nelineární rovnice. Disertant ovšem prokázal existenci i jednoznačnost řešení této rovnice v oboru fyzikálně přípustných vstupů.

V obou případech je patrná (úspěšná) snaha o pochopení a vysvětlení vazby mezi parametry modelu a významnými charakteristikami experimentální odezvy. To poskytuje spolu s citlivostní analýzou (kapitoly 5.4 a 6.4) komplexní představu o vztahu mezi parametry modelu a jeho odezvou. Funkčnost kalibračních procedur byla testována na vhodných příkladech. Lze konstatovat, že vytyčené cíle disertační práce byly splněny.

Rozbor aktuálního stavu řešené problematiky.

Autor provádí rozbor aktuálního stavu problematiky distorzního zpevnění v modelech plasticity v kapitole 2. Postupuje při tom metodicky od experimentálních evidencí, které potvrzují distorzi plochy plasticity i její závislost na „směru“ zatěžování, přes experimentální metody vedoucí k přímému stanovení tvaru funkce plasticity (včetně diskuse definice meze kluzu), až k pojednání o modelování plastické odezvy materiálů s uvažováním distorze a směrové závislosti, které končí podrobnějším rozбором výše zmíněného α -modelu. Aktuální stav problematiky je popsán výstižně a je bohatě vybaven relevantními citacemi z literatury. Vyváženost rozsahu a obsahu svědčí o hlubokém vhledu autora do řešené problematiky.

Teoretický přínos disertační práce

Za hlavní teoretický přínos práce pana Ing. Slavomíra Parmy považuji zejména příspěvek k vysvětlení významu jednotlivých parametrů modelu z hlediska vlivu na výslednou závislost mezi napětím a deformací v průběhu zatěžování. I když disertant v práci nepředkládá úplný rozbor všech aspektů, analytickým vyřešením odezvy α -modelu vytvořil nástroj pro další studium vlastností tohoto modelu. Kromě toho postupy, které aplikoval, mohou metodicky posloužit při studiu komplikovanějších modelů plasticity s DDH.

Přínosy práce pro praxi.

Praktickým přínosem jsou zejména navržené postupy kalibrace, které lze chápat jako základní návody na to, jaké experimenty pro kalibraci provádět, jaké meziparametry přímo z experimentů vyhodnotit a jak z nich vypočítat odhady parametrů α -modelu. Tyto odhady pak mohou být buď přímo použity při modelování materiálu s α -modelem plastické odezvy například v MKP nebo jako vstup (první odhad řešení) do iteračního zpřesnění parametrů modelu nelineární metodou nejmenších čtverců.

Vhodnost použitých metod a správnost jejich aplikace.

Velmi kladně hodnotím, že se autor se vyhnul možnosti stanovit parametry modelu bez analytického řešení pomocí možná i poměrně robustních optimalizačních metod. Rozhodnul se k naplnění cílů využít analytické řešení, což je cesta bez zaručeného úspěchu, s velmi omezenou možností plánování, cesta, která vyžaduje nejen matematické schopnosti ale i velkou trpělivost a pokoru. Jsem rád, že mohu konstatovat o tom, že toto základní východisko je vhodné a bylo správně aplikováno podpořit tím, že se disertantovi podařilo analytické řešení najít a to téměř

zcela v uzavřeném tvaru. Také citlivostní analýza byla vhodně aplikována. Autor nalezená řešení a postupy verifikoval na kalibraci parametrů simulovaného a skutečného (z literatury převzatého) experimentu.

Formální úroveň práce

Práce je psána v anglickém jazyce. Strukturování a grafická úprava jsou na vysoké úrovni. Práce je logicky členěná do kapitol a podkapitol obsahuje obrázky, grafy a tabulky, které vhodně doplňují text. Autor používá jasné a výstižné formulace a správnou terminologii. Tam, kde se odkazuje na práce jiných autorů důsledně a korektně cituje zdroje. Se zájmem a potěšením jsem se seznámil s disertantovým pohledem na historii experimentů a modelování v oboru plastické odezvy materiálů v Úvodu (kapitola 1).

Závěrečné hodnocení

Disertační práce Ing. Slavomíra Parmy je jednoznačně přínosem v oboru fenomenologického modelování cyklické plasticity. Cíle práce byly beze zbytku splněny. Odborná úroveň práce je vysoká a to i v mezinárodním srovnání. Autor má kromě vynikajících znalostí v oboru i schopnost tyto znalosti aplikovat v tvůrčí výzkumné nebo vědecké činnosti. **Práci doporučuji k obhajobě** a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělit panu Ing. Slavomíru Parmovi titul „doktor“ (Ph.D.)

15. 1. 2019
Miroslav Španiel

Dotazy pro disertanta

1. Navrhl jste dva postupy kalibrace. Jeden založený na proporciónálních monotónních reverzních zkouškách v tahu, respektive v tahu–krutu, druhý na cyklické deformační křivce. První postup kalibruje všech 6 parametrů α -modelu, druhý pouze 4 parametry (bez počáteční meze kluzu k_0 a prvního parametru isotropního zpevnění κ_1). Jak byste přistoupil ke kalibraci parametrů α -modelu, pokud byste měl experimentální podklady pro oba postupy?
2. Pokoušel jste se analogicky zpracovat postup kalibrace některé z modifikací α -modelu, které navrhl Váš kolega Ing. René Marek? S jakými výsledky ?