



## Oponentský posudek disertační práce

**„Study of cooperative dislocation phenomena in solids by the acoustic emission technique“** (Studium kooperativních dislokačních jevů v pevných látkách metodou akustické emise)

Autor: Michal KNAPEK

Cílem práce **Study of cooperative dislocation phenomena in solids by the acoustic emission technique**, autora **Michala Knapka**, bylo vypracování metodiky pro sledování akustické emise při zkouškách vzorků mikroskopických rozměru resp. při zkoumání efektů spojených s plastickou deformací na (sub)mikrometrické úrovni. Navržená metodika byla aplikována jednak na Cu mikropilíře různých rozměrů obrobených fokusovaným iontovým svazkem, jednak na hliníková mikrovlákna a hliníkové a Al<sub>2</sub>Mg pěny vyrobené metodou replikace solných forem. Významná část této práce byla realizována ve spolupráci s Laboratory of Mechanical Metallurgy, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), je proto třeba zdůraznit i tento aspekt mezinárodní spolupráce. Experimentální aparatura byla vyvinuta a použita pro zkoušení mikropilířů během uchazečovy půlroční stáže na Department of Materials Physics, Eötvös Loránd University v Budapešti.

V rešeršní části práce je podán přehled problematiky mechanického chování materiálů s kubickou plošně centrovanou mřížkou na mikronové resp. submikronové úrovni. Dále je uveden popis struktury a vlastností mikrobuněčných pěnových materiálů včetně jejich výroby metodou replikace solných forem. Poté následuje stručný přehled mikroskopických zdrojů akustické emise a popis vybraných metod používaných na zpracování detekovaného signálu akustické emise.

Experimentální část práce je rozdělena na zkoušky miniaturních těles (Cu-mikropilířů a hliníkových mikrovláken) a tlakové zkoušky těles z hliníkových a Al<sub>2</sub>Mg pěn vyrobených metodou replikace solných forem.

V části věnované zkouškám miniaturních těles bylo třeba vyvinout metodiku přípravy vzorků (obrábění Cu-mikropilířů fokusovaným iontovým svazkem) a upravit experimentální zařízení tak, aby bylo možné během zkoušky sledovat

akustickou emisi vytvářenou při plastické deformaci pohybem resp. generováním dislokací. Akustická emise byla sledována při *in-situ* experimentech pomocí indentačního zařízení přímo v komoře řádkovacího elektronového mikroskopu. Obdobný experiment na takto malých vzorcích nebyl (alespoň pokud je mi známo) doposud nikde ve světě proveden. Byl pozorován vliv velikosti (size effect), poklesy na deformační křivce způsobené lavinovitým šířením dislokací (aktivací skluzu) byly přiřazeny k příslušným detekovaným signálům akustické emise.

Tělesa z hliníkových a Al<sub>2</sub>Mg pěn vyrobených metodou replikace solných forem vykazovala obdobné trendy akustické emise jako monokrystalické mikrovzorky, neboť se deformace těchto těles odehrává kolektivní (přerušovanou) deformací jednotlivých (monokrystalických) „nosníků“ tvořících síťoví mezi uzly (obepínající póry). V Al<sub>2</sub>Mg pěnách byl detekován Portevin-Le Châtelierův jev a byl navržen mechanismus, který by přítomnost tohoto jevu mohl vysvětlovat.

Na závěr jsou shrnuty hlavní výsledky práce a předloženy návrhy (perspektivy) na další výzkum. Zejména bych zde zdůraznil význam mikrostrukturních pozorování (ať už *in-situ* nebo při přerušovaných zkouškách), která by (jak sám autor uvádí) pomohla vysvětlit pozorované chování příp. potvrdit vazbu na doprovodnou akustickou emisi.

K vlastnímu textu disertační práce mám několik poznámek resp. námětů k diskusi:

- *Na str. 34 (komentář k obr. 4.3) je uvedeno, že kumulativní počet AE událostí (cumulative AE counts) je téměř zrcadlový obraz tlakové křivky. To úplně neodpovídá zlomu, který se vyskytuje na křivce kumulativního počtu AE událostí např. ve stadiu IV (obr. 4.3). Souvisí v tomto případě akustická emise se zpevňováním (dá se dát do relace např. s koef. zpevňováním  $d\sigma/d\varepsilon$ )? Jaký byl průběh kumulativního počtu AE událostí u ostatních tlakových křivek?*
- *Na str. 39-40 je uvedena pouze průměrná křivka zkoušek 2  $\mu$ m mikropilířů (z důvodu absence AE během zkoušek), na místě by bylo uvést i rozptyl křivek pro porovnání.*
- *Na str. 41, obr. 4.10 (totéž pak na str. 45, obr. 4.14) jsou v histogramech použity rozdílné velikosti tříd četnosti. Má to nějaký důvod?*
- *Na str. 43-44 resp. u obr. 4.13 je uvedeno, že průběh (waveform) akustické emise Al-mikrovláken odpovídá lavinovitému šíření dislokací. Dá se to z tohoto průběhu jednoznačně poznat (a jak)? Jak tomu bylo v porovnání se zkouškami mikropilířů?*

- *Použití vztahu 6.1 na str. 56 na výpočet  $\sigma_0$  základního materiálu kovových pěn vypadá přesvědčivě, nejsem si ale jist, zda lze průběhy na obr. 6.4-6.5 vysvětlit pouze geometricky nezbytnými dislokacemi v důsledku zpevnování Taylorovým mechanismem, resp. zda platí univerzálnost parametrů 1.62 a 2.5. Tato analýza zanedbává např. vliv tvaru příček (nosníků), nemusí tedy jít pouze o vliv velikosti (size effect).*
- *Bylo by zajímavé porovnat pole posuvů resp. deformací určené použitím korelace obrazu (DIC) nejen na Al, ale i na Al<sub>2</sub>Mg pěnách (zejména k jakému průběhu lokalizace deformace dochází v obou typech kovových pěn, které mají jiný průběh resp. mechanismus zpevnování).*
- *V celé práci je poměrně málo pozornosti věnováno vlnovému charakteru akustické emise. Zejména v případě (z hlediska vlnové cesty) rozměrově malých těles (mikropilířů i pěn s jemnými póry) může mít na akustickou emisi převažující vliv útlum a disperze. Toto by si patrně zasloužilo podrobnější komentář.*

Při obhajobě (v rámci rozpravy) by bylo vhodné, aby se kandidát k uvedeným připomínkám vyjádřil.

Závěrem konstatuji, že cíle disertační práce byly splněny. V disertační práci je zahrnuto mnoho výsledků, které mohou sloužit jako základ dalšího výzkumu. Kladně hodnotím, že disertační práce má dobrou grafickou i jazykovou úroveň.

Předloženou disertační prací prokázal autor předpoklady k samostatné výzkumné činnosti, došel k řadě užitečných poznatků a prokázal, že se dokáže správně orientovat v dané problematice. Téma práce je velice aktuální, získané výsledky jsou originální, zvolené metody inovativní.

**Předložená disertační práce splňuje zákonem předepsaná kritéria. Doporučuji proto, aby byla přijata k obhajobě a po jejím úspěšném průběhu byl Michalu Knapkovi udělen akademický titul philosophiae doctor – Ph.D.**

doc.Dr.Ing. Petr Haušild

v Praze

29.8. 2016