

## **Vyjádření školitele k doktorskému studiu pana Mgr. Michala Knapeka**

### **Study of Cooperative Dislocation Phenomena in Solids by the Acoustic Emission Technique**

Pan Mgr. Michal Knapek nastoupil do doktorského studia na katedře fyziky materiálů (KFM) Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy 1. října 2012 jako absolvent studijního oboru Fyzika materiálů na Přírodovědecké fakultě Univerzity Konstantína Filozófa v Nitře. V prvních dvou letech studia se zájmem a úspěšně splnil veškeré studijní požadavky kladené na posluchače doktorského studia oboru 4F3 Fyzika kondenzovaných látek a materiálový výzkum na UK MFF. Doktorská práce Mgr. Michala Knapeka vznikla v rámci mezinárodní spolupráce, zejména s Laboratory of Mechanical Metallurgy, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Švýcarsko (Prof. Andreas Mortensen) a Department of Materials Physics, Eötvös Loránd University (ELU) Budapest, Maďarsko (Prof. István Groma). Na posledním jmenovaném pracovišti absolvoval Michal šestiměsíční pobyt v rámci programu ERASMUS, který mu umožnil získání bohatého experimentálního materiálu pro účely dizertační práce.

Náplní Michalovy doktorské práce je fyzikální studium kolektivního chování defektů krystalové mříže (především dislokací) v kovových materiálech vystavených mechanickému zatížení. Michal zde navázal na nedávné výzkumné práce naší skupiny, ve kterých jsme se zabývali dynamikou dislokací při plastické deformaci materiálů a popsali intermitentní charakter chování dislokačních souborů, pro který je význačné mocinné škálování některých charakteristických veličin, a který často vykazuje znaky kritického stavu ve smyslu teorie dynamických systémů. Michal se své práce zaměřil na tzv. velikostní jev (size effect), což je další významný aspekt dislokační dynamiky, který se projeví, pokud zmenšíme rozměry vzorku či stavebního elementu vzorku alespoň v jednom směru pod cca 10  $\mu\text{m}$ . Charakteristickým znakem velikostního jevu je výrazná nehomogenita procesu plastické deformace na prostorové i časové škále (např. i u takového materiálu, jako je hliník s 12 ekvivalentními skluzovými systémy, budeme pozorovat velmi nepravidelnou křivku napětí – deformace s výraznými skokovými poklesy a nárůsty deformačního napětí). Dalším projevem velikostního jevu je výrazný nárůst napětí potřebného k deformaci materiálu ve srovnání s konvenčními vzorky („co je menší, to je pevnější“). O podstatě velikostního jevu není zatím mnoho známo a jeho výzkum patří k moderním směrům současné fyziky materiálů. Michal si ve své dizertaci vytkl za cíl přispět k rozšíření poznání v této oblasti.

Pro splnění náročného úkolu sestavil Michal originální výzkumné schéma, ve kterém využil možnosti výše zmíněné mezinárodní spolupráce. Konkrétně šlo o unikátní miniaturní kovové monokrystalické vzorky, tzv. *micropillars* dostupné na ELU a kovová monokrystalická mikrovlákná dostupná na EPFL. Jejich studium pak doplnil studiem pěn z obdobných kovů, opět ve spolupráci především s EPFL. Kovové pěny představují poměrně novou třídu materiálů, které nabízejí zajímavé mechanické, teplotní, akustické a elektrické vlastnosti dané kombinací kovového a porézního charakteru. Pro Michalovu dizertaci však byly důležité především tím, že patří k jednomu z mála druhů materiálů, kde může velikostní jev být studován na makroskopické úrovni. Pokud velikost zrna kovové komponenty pěny přesáhne velikost póru, stanou se stěny pěnového materiálu monokrystalickými s tloušťkou stěny několik málo desítek mikrometrů, což znamená, že se může projevit velikostní jev. Srovnání chování micropillars, mikrovláken a kovových pěn v tomto ohledu je z hlediska dostupných literárních výsledků jedinečné. Dalším originálním přínosem dizertace je využití akustické emise (AE) jako hlavní fyzikální metody studia. AE je ultrazvuk, který se uvolňuje v materiálu jako důsledek relaxace napěťových polí vzniklých při průchodu dislokací krystalovou mříží. O

AE je známo, že velmi dobře charakterizuje chování materiálu na mesoskopické úrovni, tj. postihuje kolektivní a nelineární chování souborů dislokací při plastické deformaci, především pak jejich vzájemné interakce. Výsledky měření AE byly hodnoceny s rozsáhlým využitím moderních matematických metod, kde lze vyzdvihnout např. použití metody ASK klastrové analýzy (Adaptive Sequential k-means Clustering Analysis) navržené nedávno Pomponim a Vinogradovem. Studia AE byla doplněna především zobrazovacími metodami (světelná a skenovací elektronová mikroskopie).

Literární poznatky o vlastnostech studovaných materiálů a použitých metodách jsou náplní kapitol 1-2 předložené práce. Zbylé kapitoly jsou pak věnovány pečlivému uvedení vlastních experimentů, získaných výsledků, jejich diskusí (včetně obecného shrnutí) a závěrům. Na samém konci práce pak Michal nastiňuje možné směry dalšího výzkumu. Hned v úvodu experimentální práce byl Michal postaven před problém návrhu experimentů, jejichž součástí bylo citlivé měření AE na miniaturních vzorcích *micropillars* a kovových vláken. Vzhledem k tomu, že tato měření jsou ve světové literatuře naprosto unikátní, nebylo možno použít žádný literární návod. Zejména v případě měření na mikrovláčkách má Michal zásadní podíl na návrhu přípravku, který tato měření nakonec úspěšně umožnil.

V hlavní části své práce interpretuje Michal rozsáhlý soubor originálních výsledků, který získal v průběhu své práce důsledně na základě konceptu kolektivního chování dislokačních souborů. Dosažené výsledky, shrnuté v závěru práce, jednoznačně rozšiřují stav poznání problematiky, ale přinášejí též nové otazníky, které by měly být předmětem dalšího výzkumu. Rád bych zde ještě vyzdvihl jeden výsledek práce, který sice není tím nejpodstatnějším, ale je překvapivý. Je jím objev tzv. Portevinova – Le Châtelierova (PLC) jevu (šíření makroskopických skluzových pásů a kolísání deformačního napětí s časem – obojí je důsledkem dynamické interakce dislokací a příměsových atomů) při plastické deformaci kovové pěny AlMg<sub>2</sub>. Michal tento jev důkladně prozkoumal a doložil všechny základní znaky PLC jevu, zejména zápornou rychlostní citlivost deformačního napětí, různé módy PLC jevu při změně deformační rychlosti i charakteristické změny ve frekvenčním spektru AE pozorované již dříve Lebyodkinem a kol., ale v homogenních materiálech. Michal se jistě bude věnovat dalšímu podrobnému výzkumu tohoto chování.

Podle mého názoru splnil Mgr. Michal Knapěk beze zbytku zadání doktorské práce a vytvořil rozsáhlé a originální dílo, které spojuje účelně experimentální fyzikální výzkum s teoretickými metodami. O kvalitě jeho práce svědčí vystoupení na řadě mezinárodních konferencí i několik recenzovaných publikací, na kterých se podílel podstatnou nebo rozhodující měrou. Závěrem bych chtěl ještě upozornit na další aktivity Michala v rámci naší katedry. Přes náročné studijní požadavky a rozsah doktorské práce se Michal zapojil do výzkumných projektů našeho pracoviště (mohu uvést např. granty GAUK, GAČR a zapojení do programu studentských fakultních grantů) a i zde dosáhl podstatných výsledků. Je oblíbeným a platným členem KFM a ochotným rádcem i oporou svým mladším kolegům doktorandům a studentům.

Na základě výše uvedených faktů se domnívám, že pan Mgr. Michal Knapěk jednoznačně prokázal schopnost samostatné a tvůrčí vědecké práce. **Doporučuji proto, aby mu na základě úspěšné obhajoby a ve smyslu platných předpisů byl udělen titul PhD.**

V Praze dne 3. září 2016

Doc. RNDr. František Chmelík, CSc.  
(školitel)