



**Univerzita Karlova,
Matematicko-fyzikální fakulta,
katedra fyziky materiálů**

Ke Karlovu 5, 121 16 Praha 2

Tel: +420 224 923 450, Fax.: +420 221 911 490

E-mail: janecek@met.mff.cuni.cz

Vyjádření školitele

k dizerační práci RNDr. Petra Harcuby

Physical and mechanical properties of lead-free solder joints

RNDr. Petr Harcuba zahájil doktorské studium na katedře fyziky materiálů (KFM) 1. října 2007. K tomu, že předkládá práci k obhajobě po velmi dlouhé době, existuje několik objektivních důvodů, které bych rád zde uvedl. Dizertační práce navazovala na jeho předcházející experimenty v diplomové práci. V oné době P.H. pracoval na částečný úvazek ve Výzkumném ústavu kovů (VÚK) v Panenských Břežanech v rámci společného projektu Ekocentrum neželezných kovů, které řešila naše katedra společně s VÚK. Tématika bezolovnatých pájek byla součástí jednoho dílčího projektu Ekocentra, který měla na starosti RNDr. Margarita Slámová, CSc. z VÚK, která působila jako neformální vedoucí jeho diplomové práce resp. školitelka dizertace. Po prvním roce dizertace Dr. Slámová nečekaně zesnula. Protože výzkum této problematiky probíhal na KFM velmi okrajově, stáli jsme před rozhodnutím, zda po roce nezměnit téma dizertace a zabývat se jinou problematikou, která byla na katedře řešena. Petr se rozhodl pokračovat v započaté problematice bezolovnatých pájek, i když tato varianta představovala pro něho mnohem obtížnější postup než by byla změna tematiky. Situace ve VÚK se navíc značně zkomplikovala po jeho převzetí novým majitelem a vyústila nakonec v odchod většiny původních zaměstnanců a de facto zrušení ústavu. Na katedře se Petr mezitím zapojil do nových projektů, především do problematiky fázových transformací titanových slitin, která se rovněž díky jeho významnému přispění značně rozrostla a v současnosti představuje jedno z nosných témat KFM. Petr úspěšně vedl diplomanta Pavla Zháňala, který dále pokračuje v dizertaci pod mým vedením, i když jeho formálním školitelem je právě Petr. O míře zapojení Petra do této problematiky svědčí i vysoký počet publikací, jejichž je

spoluautorem. Obsah těchto publikací svým rozsahem výrazně převyšuje běžnou dizertaci. Ani v tomto okamžiku, kdy se nabízel mnohem snazší postup a změna tematiky na problematiku Ti slitin, se Petr rozhodl dokončit dizertaci s původním tématem. Toto rozhodnutí zaslouží z mého pohledu vysoké ocenění. Práce na tematice dizertace se logicky dostala do pozadí, rovněž proto, že ji Petr řešil vlastně v izolaci bez jakékoliv spolupráce s kolegy na KFM. Z uvedených důvodů tedy Petr dizertaci dokončil po neúměrně dlouhé době pro běžnou dizertaci.

Předložená dizertace se zabývá studiem fyzikálních a mechanických vlastností bezolovnatých pájek. Vzhledem k evropské legislativě, která zakazuje používání klasických pájek s obsahem olova v elektronice a dalších průmyslových odvětvích, je volba tematiky vysoce aktuální a má jednoznačný aplikační dopad. V posledních letech se výzkumu bezolovnatých pájek věnuje velká pozornost. O tom svědčí významný nárůst publikací zabývajících tematikou bezolovnatých pájek v posledním desetiletí.

Na základě podrobné rešerše literárních pramenů P.H. vhodně vytypoval pro své experimentální studium třídu slitin založených na systému Sn-Cu s drobnými přísadami dalších legujících prvků (Ni, P), zvolil oblasti koncentrací jednotlivých slitin a vybral typické charakteristiky, které rozhodují o využití těchto materiálů v průmyslových aplikacích. Velmi správně pochopil, že kvalitu pájených spojů určuje zejména morfologie a růst intermetalických vrstev na rozhraní pájka substrát. Své studium zaměřil právě na podrobnou charakterizaci morfologie, kinetiky růstu a změn, které probíhají v těchto intermetalických vrstvách ve dvou oblastech, které simulují:

- pájení, tj. reakce substrátu s roztavenou pájkou a
- stárnutí, tj. změny, které probíhají v pájeném spoji, je-li vystaven zvýšeným teplotám v konkrétní aplikaci v elektronice.

Ve své práci využil P.H. celou řadu komplementárních a z hlediska operátora náročných experimentálních metod. Všechny experimenty prováděl samostatně, což je pro doktoranda zcela výjimečné:

a) *mikrostrukturu* intermetalických vrstev studoval metodami světelné (diferenční interference kontrast) a skenovací elektronové mikroskopie (sekundární elektrony, zpětně odražené elektrony, včetně metody EBSD)

- fázové složení charakterizoval pomocí analytických metod v SEM – energiově a vlnově disperzní spektroskopie.

Rád bych vyzdvihl zejména kvalitu snímků EBSD (fázové mapy, inverzní pólové mapy, atd.) pořízených s velmi vysokým rozlišením, které jsou zcela originální a v literatuře se ve srovnatelné

kvalitě téměř nevyskytují. P.H. tedy zvládl samostatně obsluhovat moderní vysokorozlišovací elektronový mikroskop a interpretovat výsledky mikrostrukturních pozorování na úrovni velmi zkušeného staršího operátora,

b) *mechanické vlastnosti pájených spojů* studoval klasickými metodami mikrotvrdosti a tahovými zkouškami. Pro tyto účely navrhl metodiku přípravy pájeného spoje, která je zcela unikátní a umožňuje získat reprodukovatelné údaje,

c) *fázové transformace a strukturní změny* studoval metodami diferenční skenovací kalorimetrie a elektrické rezistometrie. I v tomto případě se mu podařilo navrhnout speciální tvar vzorku, který umožnil významně zvýšit přesnost stanovení elektrického odporu příslušného vzorku čtyřbodovou metodou.

V rámci dizertace získal P.H. celou řadu originálních výsledků, které byly publikovány v tuzemských i mezinárodních časopisech a prezentovány na prestižních tuzemských (ISPMA) i mezinárodních konferencích (mj. JuniorEuromat - Švýcarsko; TMS, Thermec, Plasticity - USA, atd. – celkem přes 10 konferenčních příspěvků). Za nejvýznamnější výsledek považují zejména stanovení vlivu příměsových prvků (Ni, P a jejich kombinace) na kvalitu pájených spojů, na změny morfologie a kinetiky růstu intermetalických vrstev na rozhraní pájka-substrát. Z hlediska metodického považují za nejvýznamnější navržení způsobu přípravy pájených spojů pro dosažení reprodukovatelnosti fyzikálních vlastností, a zejména návrh speciálního tvaru vzorku pro zvýšení přesnosti stanovení elektrického odporu vzorku. Tento tvar vzorku má univerzální využití i pro jiné materiály. V neposlední řadě je třeba vyzvednout experimentální zručnost a invenci, kterou P.H. prokázal zejména při obsluze skenovacího elektronového mikroskopu. Ač doktorand, patří Petr k nejzkušenějším operátorům elektronového mikroskopu na katedře. Významný rozvoj experimentálního vybavení na katedře by bez jeho aktivního přispění nebyl rovněž možný. Z tohoto pohledu patří již dnes k nejdůležitějším členům katedry.

Závěrem konstatuji, že v průběhu doktorského studia Petr Harcuba dlouhodobě prokázal, že má velké předpoklady pro moderní experimentální výzkum a tvůrčí vědeckou činnost ve fyzice kondenzovaných látek. Jsem jednoznačně přesvědčen, že jeho práce je dobrým základem pro udělení titulu PhD po jejím úspěšném obhájení.

V Praze, 2.9. 2015

prof. RNDr. Miloš Janeček, CSc.
školitel