

Posudok oponenta doktorandskej dizertačnej práce

Meno uchádzača: Ing. Igor Moravčík

Názov doktorskej dizertačnej práce: „Metal Matrix Composites Prepared by Powder Metallurgy Route“

Meno oponenta: Ing. Juraj Lapin, DrSc.

Pracovisko oponenta dizertačnej práce: Ústav materiálov a mechaniky strojov
Slovenská akadémia vied
Dúbravká cesta 9/6319
845 13 Bratislava
Tel.: +421 2 3240 1059
E-mail: ummslapi@savba.sk

a) Aktuálnosť zvolenej témy

Predložená doktorandská dizertačná práca (DP) je zameraná na skúmanie možnosti prípravy zliatin s vysokou entropiou (HEAs), zliatin so strednou entropiou (MEAs) a časticových kompozitov s matricou na báze MEA cestou práškovej metalurgie kombináciou mechanického mletia čistých práškov a ich zhutňovaním za pôsobenia tlaku. Téma DP je vysoko aktuálna. Z hľadiska časového je zameraná do oblasti výskumu a vývoja nového typu materiálov, ktoré sú v súčasnosti predmetom veľkého záujmu z pohľadu základného ako aj aplikovaného výskumu. V posledných rokoch môžeme pozorovať nielen výrazný nárast publikácií v tejto oblasti, ale aj veľkú snahu kriticky zhodnotiť doterajší pokrok a zaviesť určitý systém rozdelenia HEAs na základe vybraných kritérií. DP sa zameriava aj na problematiku spevňovania HEAs, ktorá je v súčasnosti mimoriadne dôležitá, keďže mechanické vlastnosti monofázových HEAs sú nedostatočné pre uvažované vysokoteplotné konštrukčné aplikácie. Navyše, v práci je použitá technológia plazmové iskrového spekania na prípravu zliatin a kompozitov z mechanicky legovaných práškov, ktorá je v tejto oblasti relatívne málo preskúmaná.

b) Zvolené metódy spracovania DP

DP charakterizuje súčasný stav poznania v oblasti zliatin s vysokou entropiou predovšetkým na báze CoCrFeNi s prísadami Mn, Al a Ti. Napriek tomu, že HEAs sú veľmi široko rozpracované, doktorandovi sa podarilo túto problematiku zúžiť na oblasti, ktoré priamo súvisia s DP. Na veľmi dobrej úrovni je spracovaná aj problematika spevňovacích mechanizmov v kovov a kompozitoch s kovovou matricou a literárny prehľad o príprave kompozitov práškovou metalurgiou, ktorý obsahuje mechanické legovanie a plazmové iskrové spekanie pri aplikácii tlaku. Táto časť práce je podporená citáciami relevantnej literatúry. Práca má stanovených 5 jasne definovaných cieľov, je vypracovaná v anglickom jazyku, má 149 strán, 125 citácií literatúry, 102 obrázkov a 14 tabuliek.

V práci sú skúmané tri zliatiny so zložením AlCoCrFeNiTi_{0.5}, Co_{1.5}Ni_{1.5}CrFeTi_{0.5}, CoCrNi a jeden kompozit CoCrNi/B₄C. Skúmané systémy boli pripravené mechanickým legovaním práškov (mechanické mletie v guľovom mlyne) a zhutňované plazmovým iskrovým spekaním. Analýza mikroštruktúry bola vykonaná riadkovacou elektrónovou mikroskopiou, RTG difrakčnou analýzou, transmisnou elektrónovou mikroskopiou, diferenčnou skenovacíou kalorimetriou a termo-mechanickou analýzou. Mechanické vlastnosti boli skúmané pomocou meraní tvrdosti a nanotvrdosti, skúšok v ohybe a skúšok

v ťahu pri izbovej teplote. Meranie modulu pružnosti bolo realizované excitačnou metódou. Použité experimentálne metódy prípravy zliatin, metódy štruktúrneho hodnotenia, mechanické skúšky a metodiky spracovania výsledkov považujem za správne, vhodne zvolené a dostatočné na splnenie cieľov DP v plánovanom rozsahu a požadovanej kvalite. Z pohľadu požiadaviek kladených na PhD prácu považujem množstvo vykonaných experimentov a rozsah skúmaných systémov za primeraný.

c) Dosiahnuté výsledky s uvedením aké nové poznatky DP prináša

V DP sú prehľadným spôsobom uvedené získané experimentálne výsledky pre každý skúmaný systém. Tieto výsledky sú odpovedajúcim spôsobom diskutované a porovnávané s publikovanými prácami iných autorov. Práca prináša nové poznatky o vplyve mechanického legovania na štruktúru mletých práškov a o vplyve plazmové iskrového spekania na štruktúru a fázové zloženie pripravených systémov. Najvýznamnejšie výsledky je možné zhrnúť nasledovne:

1. Mechanické legovanie pri použití aditíva (metanol) zapríčiňuje kontamináciu práškov C a tvorbu TiC karbidov v štruktúre zliatin.
2. V priebehu mletia došlo k dezintegrácii povrchových oxidov pokrývajúcich prášky, ktoré sa potom zachovali v štruktúre zliatin vo forme jemných disperzných častíc.
3. Materiály pripravené mechanickým legovaním a plazmovým iskrovým spekaním sa vyznačovali jemnozrnnou štruktúrou.
4. Matrica kompozitu typu CoCrNi pripravená mechanickým legovaním a iskrovým plazmovým spekaním sa vyznačovala kombináciou relatívne vysokej pevnosti a húževnatosti.
5. Častice B₄C sú nestabilné v priebehu mechanického legovania základného systému CoCrNi a transformujú v priebehu plazmového iskrového spekania na Cr₅B₃. In-situ kompozity sa vyznačovali vysokými pevnostnými vlastnosťami a relatívne nízkou húževnatosťou.

Formálne pripomienky: práca je napísaná veľmi kvalitne, úroveň anglického jazyka je výborná. V práci som našiel len niekoľko formálnych nedostatkov napr. typu: Fig. 60 – chyba mierka; Fig. 72 – chyba v označení obrázkov, page 119 – chyba v hodnote CTE pre B₄C, Fig. 101 nie red rectangle ale blue rectangle.

Otázky:

1. Aký je rozdiel medzi modulom v pružnosti meranom v trojbodovom ohybe, v ťahu a určenom excitačnou metódou. Bola pri určovaní modulu pružnosti v ohybe zohľadnená tuhosť sústavy? Aký význam má meraný modul pružnosti v ohybe?
2. Prečo v práci neuvádzate rovnicu na výpočet pevnosti v ohybe?
3. Prečo je kontaminácia uhlíkom pripisovaná len procesu mletia pri použití aditíva? Je možné vylúčiť kontamináciu C pri plazmovom iskrovom spekaní v grafitovej forme?
4. Fig. 87 – prečo je v obrázku označená os y ako relatívne zmršťovanie a nie relatívna tepelná roztlačnosť (relative thermal expansion). Aj koeficient sa označuje ako CTE.
5. Čo stabilizuje fcc fázu v zliatine AlCoCrFeNiTi_{0.5}?
6. Nie je mi úplne jasný výraz, ktorý uvádzate pre zloženie skúmaných zliatin (in atomic proportion). Čo tým myslíte? Forma zápisu zloženia zliatin je typická pre molárne zastúpenie prvkov.
7. Prečo v práci používate tak často „seems“? Cieľom výskumu je hľadať odpovede na nové otázky a vyslovovať vlastné názory a vysvetlenia opierajúce sa o vedecké fakty vo Vašom prípade na základe realizovaných experimentov a analýz.

d) Prínos pre ďalší rozvoj vedy a techniky

Práca má význam pre ďalší rozvoj vedy a techniky aj keď tieto prínosy nie sú v nej explicitne uvedené. Existujú viaceré HEAs, ktoré dosahujú vynikajúce mechanické vlastnosti pri izbovej teplote a ich príprava je jednoduchšia a lacnejšia ako zliatin pripravených v tejto práci. Preto výskum a vývoj nových systémov na báze HEAs a MEAs spevnených jemnými precipitátmi a disperznými časticami považujem za veľmi dôležitý hlavne pre konštrukčné aplikácie pri vyšších teplotách. Dlhodobá mikroštruktúrna stabilita a vplyv jemnozrnej štruktúry na creepovú pevnosť týchto systémov v podstate určí ich reálny potenciál pre praktické aplikácie. Očakávam však relatívne nízku creepovú pevnosť a nízky napäťový koeficient už pri teplotách okolo 800 °C a pravdepodobne tieto systémy nebudú ešte môcť konkurovať niklovým superzliatinám.

e) Splnenie vytýčených cieľov

Záverom možno konštatovať, že ciele vytýčené v práci boli splnené v plnom rozsahu. Práca je vypracovaná na vysokej odbornej úrovni, vyniká komplexnosťou riešenia zvolenej problematiky, obsahuje dostatočné množstvo uskutočnených experimentov, meraní a spracovaných výsledkov, ktoré doktorand interpretuje a vyvádza z nich adekvátne závery. Práca je dostatočne prehľadná a zrozumiteľná, má veľmi dobrú formálnu aj grafickú úroveň. Zároveň chcem vyzdvihnúť veľmi dobrú publikačnú aktivitu doktoranda v zahraničných impaktovaných časopisoch v spolupráci s viacerými spoluautormi a organizáciami. K práci nemám žiadne zásadné pripomienky.

f) Záver

Predložená dizertačná práca Ing. Igora Moravčíka na tému "Metal Matrix Composites Prepared by Powder Metallurgy Route" spĺňa svojim obsahom aj spracovaním podmienky kladené na dizertačné práce a preto odporúčam prijať dizertačnú prácu k obhajobe. Po úspešnom obhájení navrhujem udeliť doktorandovi Ing. Igorovi Moravčíkovi akademický titul

Philosophiaedocto (PhD)

V Bratislave 29.11.2017



Ing. Juraj Lapin, DrSc.
oponent