

**Oponentský posudek disertační práce Ing. Romana Husáka
„Pokročilé kompozitní konstrukční oceli pro použití
v taveninách těžkých kovů“.**

Cílem práce **Pokročilé kompozitní konstrukční oceli pro použití v taveninách těžkých kovů**, autora **Ing. Romana Husáka**, byla příprava nových, pokročilých typů ocelí zpevněných oxidickou disperzí (ODS) pro použití v prostředí tavenin těžkých kovů, analýza jejich mechanických vlastností, mikrostruktury a hodnocení korozní odolnosti v prostředí tekuté eutektické slitiny olova a bismutu.

Disertační práce je přehledně členěna do jednotlivých kapitol.

Literární rešerše je poměrně obsáhlá a je v ní shrnut současný stav problematiky. V rešeršní část práce jsou popsány jednak postupy výroby ODS ocelí pomocí mechanického legování, jednak základní mechanismy zpevnění oxidickou disperzí. Zvláštní kapitoly jsou pak věnovány korozi ocelí v prostředí tekutých kovů a ODS oceli se zvýšeným obsahem hliníku (se zvýšenou korozivzdorností).

Na základě literární rešerše byly formulovány tři dílčí cíle disertační práce:

- Posouzení možností přípravy ODS ocelí přímým přidáním oxidů a vnitřní oxidací prvků.
- Příprava nových typů ODS ocelí zpevněných komplexními oxidy.
- Korozní odolnost ODS ocelí v prostředí tavenin Pb a Pb-Bi a návrh ochrany povrchu ODS ocelí.

V prvních dvou bodech se jednalo především o přípravu ODS ocelí zpevněných oxidy pomocí mechanického legování, jejich slinutí metodou SPS a následnou charakterizaci jak mechanických vlastností, tak mikrostruktury. Třetí bod pak zahrnoval především charakterizaci ODS ocelí po expozici v LBE.

V experimentální části práce byly pomocí mechanického legování připraveny tři skupiny ODS ocelí (obsahující 9 hm. %, 14 hm. % a 17 hm. % chrómu) zpevněné oxidy Y a Al metodou vnitřní oxidace a metodou přímého přidání oxidů yttritího a hlinitého. Bylo ukázáno, že je možné vytvořit ODS oceli se zpevňující oxidickou disperzí i pomocí vnitřní oxidace a byla provedena charakterizace jak mikrostruktury, tak mechanických vlastností připravených ocelí.

Dále bylo pomocí mechanického legování připraveno celkem 15 nových druhů ODS ocelí s obsahem 9 hm. %, 14 hm. % a 17 hm. % chrómu zpevněných komplexními oxidy na bázi Y, La, Sc, Ce, Hf a Zr. U všech ocelí bylo potvrzeno, že došlo k vytvoření oxidů, které zlepšují mechanické vlastnosti. Bylo ukázáno, že příspěvek disperzního zpevnění se pohybuje v závislosti na obsahu chromu v ocelích v rozmezí 17-50 % (z celkové meze kluzu). Největší disperzní zpevnění bylo dosaženo u ocelí s 9 hm. % chrómu (zpevnění způsobené přítomností jemných precipitátů se pohybovalo v rozmezí 40-55 % z celkové hodnoty meze kluzu). Nejmenší průměrná velikost částic byla dosažena u materiálu s komplexními oxidy skandia, kde zároveň došlo i ke zjemnění zrna a Hall-Petchovu zpevnění.

Poslední část experimentální práce byla zaměřena na korozní odolnost ODS oceli PM2000 v prostředí tavenin Pb a Pb-Bi. Bylo navrženo tepelné zpracování, které vedlo k vytvoření ochranné oxidické vrstvy na povrchu ODS oceli a následně bylo provedeno hodnocení korozní odolnosti předoxidované ODS oceli v prostředí LBE. Bylo prokázáno, že oxidická vrstva na povrchu oceli účinně zabránila koroznímu napadení oceli taveninou olovo-bismut, avšak zkoušky rázem v ohybu ukázaly, že ochranná vrstva oxidu hlinitého nedokáže zabránit po expozici tavenině zkřehnutí oceli vlivem difúze atomů olova a bismutu do povrchové vrstvy oceli přes oxidickou vrstvu.

Získané výsledky byly diskutovány v diskusní části (zejména oceňuji diskusi příspěvků jednotlivých mechanismů zpevnění) a shrnuty v závěrech práce.

K vlastnímu textu disertační práce mám několik formálních i faktických poznámek.

I přes poměrně dobrou jazykovou a grafickou úroveň se v textu občas vyskytují překlepy a stylistické chyby, kterých by se měl autor při své budoucí vědecké činnosti vyvarovat. Např.:

- Str. 24 „V této práci byly oxidy yttria nahrazeny oxidy ... a **zirkonu**“ - správně má být uvedeno **zirkonia** (zirkon je křemičitan zirkoničitý).
- Některé tabulky jsou nelogicky uváděny jako obrázky (např. **Obr. 9** na str. 24 versus **Tab. 1** na str. 28).
- Str. 27 „... mají také nízký sklon ke tvorbě **clusterů**“ – když už, tak ke tvorbě klastrů (proč ne shluků?). Obecně je lepší se vyvarovat anglicismům, nejsou-li nezbytné...
- Na Obr. 28 (str. 56) je PM-AR označen jako materiál v **přírodním stavu**. Do důsledku vzato by se pak mělo patrně jednat o rudu (místo materiálu ve výchozím stavu)...

- Str. 58 „... prvků obsažených v **kompozici** oceli“ – ve **skladbě** (?) oceli?
- Str. 72 – Zener-Smithova rovnice (7) a ne (6), Hodnoty jsou uvedeny v Tab. 14 a ne 13...

Faktické připomínky resp. otázky:

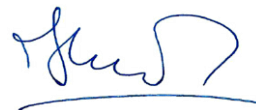
- Na str. 27 autor chybně uvádí: „Fraktografické zkoumání tahových zkoušek ukázalo, že materiál bez Zr byl porušen křehkým i houževnatým lomem. Na lomové ploše byly k vidění oblasti porušené křehce, ale také důlky...“ – Rozdělení lomového chování na křehké a houževnaté je podle absorpce energie při lomovém procesu nikoli podle fraktografických znaků! Fraktografické znaky mají přímou vazbu na mikromechanismy porušování nikoli však na makroskopické lomové chování!
- Str. 60 „Výsledky čarové EDS analýzy oxidických částic obsažených v oceli 9-Y₂O₃ a oceli 9-Y jsou uvedeny na Obr. 30 b) a d).“ – Podle které čáry?
- Str. 66 „Na druhou stranu oceli dopované oxidem hlinitým nikdy nedosáhly takového zpevnění jako oceli dopované čistým hliníkem.“ – Byla provedena strukturní (fázová) analýza? Je to důsledek pouze disperzního zpevnění částicemi nebo i zpevnění tuhým roztokem nebo intermetalickými fázemi?
- Str. 74 (resp. str. 18 zkrácené verze) „Jediný rozdíl, který byl pozorován, byl ve velikosti důlků, které svojí velikostí odpovídají průměrné velikosti zrna (Obr. 38 vlevo a vpravo). – Je tam skutečně vidět nějaký rozdíl? Bylo to kvantifikováno?
- Str. 88 „Celková tloušťka povrchové vrstvy po expozici v tavenině olova (PM-PB) byla 4 až 5 μm a byla složena ze dvou vrstev: hutné vnitřní vrstvy o tloušťce 2 μm a vnější vrstvy o tloušťce 3 μm.“ – Na Obr. 48 je vidět něco jiného (~10 μm)...
- Str. 88 „Jednalo se o oxid hlinitý, zřejmě s mírnou odchylkou stechiometrie, která byla zvýrazněna při pozorování metodou zpětně odražených elektronů.“ – Jak zvýrazní pozorování signálu zpětně odražených elektronů odchylku od stechiometrie? Nemůže to být i něco jiného?
- Str. 104 – „V průběhu expozice v tavenině však došlo k difúzi atomů olova a bismutu do povrchu oceli, což následně vedlo ke zkřehnutí oceli.“ – zkřehnutí OK, proč však došlo ke zpevnění?

Při obhajobě by bylo vhodné, aby se kandidát k uvedeným faktickým připomínkám vyjádřil.

Závěrem konstatuji, že cíle disertační práce byly splněny. V disertační práci je zahrnuto velké množství výsledků, které mohou sloužit jako základ dalšího výzkumu. 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 aktuální, získané výsledky jsou původní, zvolené metody adekvátní.

Zkrácená verze disertační práce obsahuje v dostatečné míře všechny stanovené informace a má požadované členění.

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



Prof. Dr. Ing. Petr Haušild

v Praze

15.3. 2019