

## Oponentský posudek dizertační práce

### „Vliv zpevňování výbuchem na strukturu a vlastnosti Hadfieldovy oceli z hlediska užití v železniční dopravě“

Autor práce: Ing. Petr Havlíček  
Školitel: prof. Ing. Karel Stránský, DrSc.  
Školící pracoviště: Ústav materiálového inženýrství FSI VUT v Brně  
Oponent: prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.  
Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera  
Studentská 95, 532 10 Pardubice

Předložená dizertační práce je věnována výzkumu dynamického zpevnění Hadfieldovy oceli v aplikaci pro odlitky železničních srdcovek. Hadfieldova ocel má v dané aplikaci nezastupitelnou roli, její reakce na dynamické zatížení v kontaktu je ale velice specifická, extrémní je její citlivost na poměr kontaktního tlaku a podélného skluzu, tj. na charakter provozního zatížení. Situaci komplikuje i skutečnost, že se jedná o rozměrné odlitky, co způsobuje značnou chemickou i strukturní heterogenitu. To podtrhuje atraktivitu experimentálního výzkumu.

#### 1. Postup řešení, použité metody

Teoretická část práce obsahuje představení Hadfieldovy oceli s důrazem na možné degradační procesy. V popisu výroby Hadfieldovy oceli se vhodně zaměřuje na problematiku možného navýšení obsahu plynů a jejich negativní vliv na kvalitu oceli. Rovněž v představení struktury a tepelného zpracování v následujících kapitolách práce se autor přednostně věnuje otázkám nežádoucí tendence tvorby karbidů v primární výrobě, popř. při dodatečném ohřevu materiálu. Důležitý diskutovaný vliv je velikost austenitického zrna a mechanismus dynamického zpevnění, kde autor konfrontuje původní a aktuální výsledky studií. V souladu s podstatou práce je samostatná část rešerše věnována technologii zpevňování výbuchem. Lze konstatovat, že teoretická část vychází z rešerše aktuálních prací a tvoří dobrý základ pro vlastní řešení problému. Dizertant cituje rovněž práce školícího pracoviště, včetně vlastních popř. spoluautorských prací.

Práce má stručně a jednoznačně stanovené cíle disertační práce, jejich formulace zároveň zahrnuje použitou metodiku řešení.

Práce má experimentální charakter. První část experimentů je věnována analýze zpevnění ve dvou variantách použité trhaviny a v několika kombinacích při zpevňování kolejnice. Pro vyhodnocení mechanismu a intenzity zpevnění byly provedeny podrobné analýzy v celkem třech krocích zpevnění ve srovnání s výchozím stavem materiálu.

Již během tohoto prvního experimentu práce přináší konkrétní poznatky, zároveň i otázky pro další analýzy. Na základě měření povrchové tvrdosti v podstatě ukazuje na neúčelnost třetího kroku zpevnění (kap.5.1.1.2, str.38). V kontrastu s tím měření intenzity a dosahu zpevnění měřené v příčných řezech ukazuje na významný vliv třetího kroku (kap.5.1.1.5, str.39, 40). Pravděpodobně se zde projevil vliv měření dynamickou metodou, jak autor správně konstatuje ve vyhodnocení této části výsledků.

Jako nejvíce problematický vliv na studované parametry zpevnění, autor jednoznačně vyzdvihuje heterogenitu rozměru zrna. Prezentuje výsledky přesné automatické analýzy v identických místech, i tak lze ale předpokládat další rozdíly v jednotlivých oblastech srdcovky. Výsledky ukazují souvislost s intenzitou zpevnění, ovšem částečně pod vlivem různých kombinací použitých travin.

Do práce jsou zařazeny kontaktně-únavové zkoušky, kde byl zjištěn zejména vliv zpevnění výbuchem na celkový gradient zpevnění; dále specifický mechanismus poškozování, resp. opotřebení povrchu, stejný v obou stavech – bez i po zpevnění výbuchem.

Provozní zkoušky ukázaly, že provozní zatížení vyvozuje stejné zpevnění pro oba stavy a dále na pozitivní vliv na opotřebení. Vzhledem k tomu, že vliv zpevnění výbuchem nebylo možno z důvodu pokračujících provozních zkoušek vyhodnotit, autor konfrontuje své výsledky s výsledky dostupných prací obdobného charakteru.

## 2. Výsledky a přínos disertační práce

Celkově práce přináší kvalitní výsledky, které vznikly na základě náročných experimentů – z hlediska přípravy vzorků, realizace experimentů i vlastních analýz. Postupy přípravy experimentálního materiálu i postupu analýz jsou přesně popsány, což dává možnost navazujícího výzkumu. V práci jsou použity moderní analytické metody, jejichž výsledky jsou interpretovány věcně správně a v logické provázanosti.

Dosažené výsledky mají nesporně praktické využití, zejména zjištění účinků variantních explozivních materiálů. Poznatky na konto mechanismu zpevnění v konkrétních podmínkách zatížení jsou přínosem k výzkumu v dané oblasti.

## 3. Formální úroveň práce

Práce je po formální stránce velice dobře zpracována. Prezentace výsledků je přehledná, odráží návaznost provedených experimentů. V závěrech autor konfrontuje vlastní výsledky s výsledky citovaných prací, u zjištěných rozdílů diskutuje pravděpodobné důvody.

V práci se vykytuje několik nepřesných termínů - kupř. „karbidické vměstky“, opotřebení u dané aplikace probíhá v kombinaci adheze a abraze, ne pouze abraze jak uvádí autor.

Předložené teze práce obsahují všechny předepsané části, v potřebném obsahu i rozsahu dostatečně informují o získaných stěžejních výsledcích práce.

## 4. Dotazy a připomínky k práci

Výsledky jednotlivých rozborů zpevněných oblastí se vhodně doplňují. Především vzhledem k velké heterogenitě materiálu by bylo vhodnější provést dle možností vybrané analýzy (metalografie, tvrdost, EBSD) ve stejné pozici na profilu příčného řezu (obr.48, str.51).

Velice zajímavý je výsledek práce ohledně zjištění tvorby mikodvojčat ve výbuchem zpevňovaných vzorcích, detekovaných pouze TEM. Nekomentovanou otázkou zůstává „ztráta“ makroskopických deformačních dvojčat ve výchozím stavu materiálu, detekovaných EBSD.

Lze polemizovat s autorovým konstatováním, že „Povrchová tvrdost není rozhodující, největší vliv má rozložení podpovrchové tvrdosti“ (kap.5.3.6, str.95). Vychází ze zjištění, že při provozním zatížení (stejně tak u kontaktně-únavových zkoušek) dochází k relativně rychlému vyrovnání povrchové tvrdosti u srovnávaných stavů Hadfieldovy oceli. Podle prezentovaných záznamů ale dochází k maximálnímu opotřebení oceli bez zpevnění před instalací do tratě právě v etapě před provozním zpevněním (kupř. obr.91b, str.87), což je silný argument na podporu aplikace zpevňování výbuchem. Gradient následujícího opotřebení je přibližně odpovídající prakticky u všech sledovaných částech srdcovek.

K obhajobě práce mám následující dotazy a náměty do diskuse:

- 1) U hodnocení rozdílů intenzity a dosahu zpevnění u variantních explozivních materiálů autor upozorňuje na zajímavý efekt poklesu tvrdosti a opětovného nárůstu se vzdáleností od povrchu, který spojuje s odrazem rázové vlny. Výsledky ukazují na podstatný rozdíl hloubky zpevnění u srdcovky ve srovnání se hloubkou zpevnění kolejnice za stejných podmínek. Lze celkově z provedených experimentů odhadnout zdroj tohoto rozdílu?
- 2) Jaký je důvod podstatně nižších hodnot tvrdosti u povrchového měření statickou metodou ve srovnání s hodnotami bezprostředně pod povrchem (tab.16, str.59)? U kontaktně-únavových zkoušek byl efekt rozdílný, spojený ale s tvorbou „WEL“.
- 3) Existují nějaké možnosti oprav vad, které se projeví až po aplikaci výbuchu?
- 4) Jaký postup zpevnění (explozivní materiál, počet opakování výbuchů, výchozí stav materiálu) by autor navrhl na základě souhrnných výsledků?

5. Závěr

Závěrem možno shrnout, že disertační práce Ing. Petra Havlíčka splňuje všechny požadavky kladené na práce tohoto druhu. Stanovené cíle práce byly splněny v plném rozsahu. Práce přináší původní výsledky experimentů, vč. validace sledovaných procesů přímo v provozních podmínkách.

Na základě výše uvedeného doporučuji práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit Ing. Petru Havlíčkovi titul Ph.D. v daném studijním oboru.



V Pardubicích, 13.07. 2015