

Oponentní posudek doktorské disertační práce

Autor: **Ing. Ivan Vorel**

Název práce: **Vývoj nových materiálových konceptů pro automobilový průmysl**

Rozsah práce: 174 stran, 167 obrázků, 23 tabulek, 153 literárních pramenů.

Posouzení předložené práce:

V první kapitole se autor zabýval základními materiálovými aspekty, které jsou sledovány v automobilovém průmyslu. Požadavky jsou na bezpečnost, výrobní a provozní náklady a v současné době i na ekologii.

Druhá kapitola přehledně shrnuje údaje o různých typech ocelí, které se v současné době používají pro stavbu karoserií, případně se o nich uvažuje v budoucnu.

Třetí kapitola se zabývá metodami zpracování karosářských ocelí, včetně nekonvenčních.

Struktura ocelí, včetně různých strukturních a fázových přeměn je podrobně zpracována v kapitole 4.

Motivace a cíle práce jsou uvedeny v kapitole 5. Zde postrádám jednoznačně formulované cíle v bodech.

Kapitola 6 formuluje postup experimentů při studiu bainitické transformace středně uhlíkových ocelí s vyšším obsahem křemíku. Zajímavá je teorie neúplnosti bainitické transformace. Velmi podrobně jsou analyzovány mikrostruktury zkoušených ocelí při různých režimech termálního kalení.

Diskuze výsledků v kapitole 7 podrobně analyzuje získané experimentální údaje. Bylo by však účelné konfrontovat s dostupnými údaji z odborné literatury.

V závěru jsou shrnuty zásadní poznatky vyplývající z experimentálního programu. Pro lepší přehlednost doporučuji závěry formulovat v jednotlivých bodech.

Připomínky:

1. U jednotlivých obrázků nejsou uváděny odkazy na literární prameny, jsou uvedeny pouze v textu.
2. Obr. 6 – jedná se snad o poměr R_c/R_m . V tab. 3–8 je to správně
3. Obr. 7 - jedná se snad o poměr YS/UTS . Proč není používáno jednotné značení?
4. Kap. 3, odst. 2, 1 věta – chybná formulace
5. Nepovažuji za účelné používání anglických termínů pokud existují adekvátní české termíny.
6. Str. 105 - koncentrační píky?
7. Kap. 9.3 – místo češtiny použita angličtina. Proč?

Zhodnocení:

Předložená disertační práce se zabývala v úvodních kapitolách problematikou materiálových hledisek z pohledu aplikace materiálů při výrobě automobilů. Práce poskytuje dobrý přehled o současném stavu poznání v oblasti ocelí používaných na karoserie automobilů. Podrobně byly shrnuty současné poznatky o jednotlivých typech ocelí a o metodách jejich

tváření za studena i za tepla. Velká pozornost byla též věnována fázovým přeměnám při termomechanickém zpracování ocelí.

Experimentální program realizovaný v průběhu řešení disertační práce je velmi rozsáhlý. Vlastní experimentální výsledky přinesly řadu poznatků o chování vybraných ocelí při termálním kalení. Detailně byly zhodnoceny jednotlivé faktory mikrostrukturních změn a jejich vliv na mechanické vlastnosti. Proto se domnívám, že vymezeného cíle práce bylo dosaženo.

Témata, kterými se disertační práce zabývá, jsou intenzívně studována na řadě pracovišť v České republice i v zahraničí, protože je to jednou z možností snížení hmotnosti karoserií při zachování požadované bezpečnosti.

V práci byla aplikována řada experimentálních technik pro studium procesů mikrostrukturních změn a jejich vliv na mechanické vlastnosti. Získané údaje byly správně interpretovány.

Přijetí publikací výsledků experimentů autora a dalších spolupracovníků na vědeckých konferencích a v renomovaných časopisech svědčí o dobré úrovni výzkumu v dané oblasti.

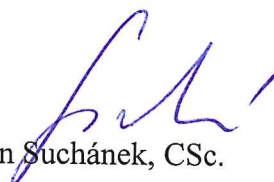
Metody použité při řešení disertační práce i jejich použití jsou na adekvátní úrovni, srovnatelné s předními univerzitními pracovišti.

Připomínky uvedené v předchozí části posudku slouží pouze k upřesnění některých formulací.

Disertační doktorská práce je dobře zpracována. Proto doporučuji předloženou disertační práci k přijetí. Dále doporučuji v případě úspěšného obhájení disertace udělit Ing. Ivanu Vorlovi akademický titul „Ph.D.“

V Praze, dne 25.10.2019

Prof. Ing. Jan Suchánek, CSc.



OPONENTSKÝ POSUDOK DIZERTAČNEJ PRÁCE

1. **Meno a priezvisko doktoranda:** Ing. Ivan Vorel
2. **Názov dizertačnej práce:** Vývoj nových materiálových konceptů pro automobilový průmysl
3. **Študijný program:** N2301 Strojní inženýrství
4. **Študijný odbor:** 3911V016 Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie
5. **Univerzita, fakulta:** Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní,
Katedra materiálů a strojírenské metalurgie
6. **Meno a priezvisko školiteľa:** Prof. Dr. Ing. Bohuslav Mašek
7. **Meno a priezvisko školiteľa špecialistu:** Dr. Ing. Hana Jirková
8. **Meno a priezvisko oponenta dizertačnej práce:** doc. RNDr. Mária Behúlová, CSc.
9. **Pracovisko oponenta dizertačnej práce:** Slovenská technická univerzita v Bratislave
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave

Aktuálnosť a význam dizertačnej práce pre odbor:

Dizertačná práca Ing. Ivana Vorla bola vypracovaná v prezenčnej forme doktorandského štúdia na Katedre materiálov a strojírenské metalurgie Fakulty strojní Západočeskej univerzity v Plzni, v odbore Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie.

Práca je zameraná na analýzu vplyvu podmienok austemperingu na mikroštruktúru, mechanické vlastnosti a lomové charakteristiky stredne-uhlíkových ocelí s vyšším obsahom kremíka a chrómu za účelom ich využitia v automobilovom priemysle. Ťažisko práce tvorí identifikácia a objasnenie princípov a mechanizmov fázovej transformácie austenitu na bainitu v podmienkach izotermického spracovania experimentálnych ocelí.

Z hľadiska teoretického i aplikačného je problematika práce vysoko aktuálna. Nové nekonvenčné prístupy k spracovaniu nízkolegovaných ocelí otvárajú široké možnosti pre ovplyvňovanie tvorby mikroštruktúr, mechanických a technologických vlastností, zaujímavých práve z pohľadu ich využitia v automobilovom priemysle, kde sa kladú neustále vyššie požiadavky na funkčné, bezpečnostné, ale aj ekonomické a ekologické aspekty výroby a prevádzky automobilov.

Po teoretickej stránke prináša dizertačná práca významný príspevok k objasneniu fyzikálnej podstaty bainitickej transformácie pri izotermickom spracovaní ocelí a procesov nukleácie a rastu feritického bainitu. V tejto oblasti sa vo vedeckej komunite stále vedú diskusie o možných fyzikálnych mechanizmoch bainitickej transformácie.

Postup riešenia problematiky, zvolené metódy spracovania a splnenie stanovených cieľov dizertačnej práce:

Predložená dizertačná práca je pomerne rozsiahla. Včítane príloh je vypracovaná na 175 stranách, obsahuje 167 obrázkov a 23 tabuliek. V teoretickej časti je na 37 stranách spracovaná literárna rešerš s popisom ocelí, typicky používaných v automobilovom priemysle a metód ich spracovania. Ďalšia časť je venovaná štruktúre týchto ocelí a fázovým transformáciám, ku ktorým dochádza v procesoch ich konvenčného a nekonvenčného tepelného a termo-mechanického spracovania. Literárne zdroje, použité pre spracovanie teoretickej časti, vytvárajú základnú poznatkovú databázu pre riešenú oblasť.

Kladne treba hodnotiť skutočnosť, že autor kriticky konfrontuje informácie z literárnych prameňov s vlastnými názormi a neskôr taktiež so získanými vlastnými výsledkami a závermi. Je možné konštatovať, že dizertant v teoretickej časti pomerne komplexne charakterizoval súčasný stav a trendy v oblasti spracovania a aplikácie ocelí v automobilovom priemysle. Vzhľadom na zameranie práce však podľa môjho názoru v tejto časti absentuje stručný popis existujúcich modelov bainitickej transformácie v podmienkach izotermického spracovania ocelí.

Kapitola 5 s názvom Motivace a cíle práce je spracovaná opisne a vyznieva skôr ako záver nie definovanie cieľov. V tejto kapitole je definovaný len hlavný cieľ práce, použité postupy a metódy pre jeho dosiahnutie autor uvádza až na začiatku experimentálnej časti práce.

Experimentálna časť je rozdelená do 8 podkapitol, v ktorých sa autor najskôr stručne venuje popisu experimentálnych materiálov, použitých prístrojov a vyhodnocovacích metód, ako aj teórii neúplnej bainitickej transformácie. V ďalších podkapitolách dizertant uvádza výsledky rozsiahlych výpočtov a realizovaných experimentov a analyzuje vplyv obsahu kremíka a chrómu na priebeh bainitickej transformácie v troch experimentálnych oceliach v procese austemperingu s využitím termodynamických výpočtov, dilatometrických meraní, mikroštruktúrnej analýzy, analýzy chemického zloženia a difrakčnej fázovej analýzy. Výsledky kompletizujú merania mechanických vlastností a realizácia fraktografických analýz.

Experimentálna časť predloženej práce charakterizuje systematický prístup dizertanta k splneniu hlavného cieľa práce a návrhu nového modelu, popisujúceho fázovú transformáciu austenitu na bainit v podmienkach izotermického spracovania.

Dosiahnuté výsledky dizertačnej práce a konkrétny pôvodný prínos dizertanta:

Dizertačná práca rozširuje a prináša nové, originálne prístupy a poznatky v oblasti výskumu bainitickej transformácie v nízkolegovaných oceliach so stredným obsahom uhlíka v izotermických podmienkach a teórii neúplnej bainitickej transformácie v závislosti od obsahu kremíka a chrómu. Výsledky dizertačnej práce poukazujú na skutočnosť, že vhodné podmienky spracovania týchto ocelí môžu viesť k vývoju netradičných mikroštruktúr a získaniu zaujímavých kombinácií mechanických vlastností, ktoré ich predučujú pre široké uplatnenie v automobilovom priemysle.

Zásadným prínosom doktoranda je vypracovanie teoretického modelu, na základe ktorého je možné predikovať vývoj mikroštruktúry a finálnych materiálových vlastností skúmaných ocelí v závislosti od teploty izotermického spracovania.

Formálna a jazyková úroveň dizertačnej práce:

Koncepcia dizertačnej práce, štylistická, jazyková a formálna stránka je na veľmi dobrej úrovni a zodpovedá stanoveným cieľom a rozsahu riešenej problematiky. Pripomienku mám k doloženým prílohám, ktoré nemali byť zaradené a číslované ako samostatné kapitoly. Záver práce a Zoznam bibliografických odkazov sa tiež (rovnako ako Úvod) nečísľuje.

Grafická úroveň práce je taktiež veľmi dobrá. Kvalita obrázkov je však negatívne ovplyvnená snahou „prekresľovať“ a prezentovať vlastné obrázky aj v prípade, ak by grafy, prevzaté z literatúry mali väčšiu výpovednú hodnotu. Vo viacerých grafických závislostiach absentujú číselné popisy osí (napr. obr. 6-7) alebo by k ich lepšej čitateľnosti prispela priradená mriežka.

Autoreferát dizertačnej práce je spracovaný na požadovanej úrovni. Poskytuje ucelený prehľad riešenej problematiky a dosiahnutých výsledkov.

Publikačná činnosť dizertanta:

Publikačná činnosť Ing. Ivana Vorla je rozsiahla a zahŕňa aj problematiku mimo zamerania dizertačnej práce, čo svedčí o širšom rozhlade a pôsobení dizertanta. V súpise prác je uvedených 7 príspevkov, publikovaných priamo v súvislosti s riešením dizertačnej práce.

Pripomienky a otázky:

Dizertant sa pri spracovaní dizertačnej práce nevyhol drobným chybám a nedostatkom, ktoré však neznižujú jej celkovo nadštandardnú odbornú úroveň, napr.:

- zoznam skratiek a symbolov je neúplný, na druhej strane dizertant často používa plný názov a skratku súčasne (napr. netransformovaný austenit - NA, zbytkový austenit - ZA a pod.),
- jednotka napätia má skratku MPa, nie Mpa,
- obsah prvkov sa zvyčajne označuje skratkou [hmot.%],
- v obr. 39 – chyby v názve,
- v Tab. 12 a 14 sú uvedené dve hodnoty podielu zvyškového austenitu pre každý režim spracovania, význam je jasný len z textu práce,
- obr. 74 a 75, resp. 104 a 105 majú rovnaké názvy,
- v obr. 109-111 je nesprávne označenie osí,
- v obr. 86 sú rôzne rýchlosti ochladzovania reprezentované rovnobežnými úsečkami,
- krivka, resp. teória T₀ sa v literatúre zvykne označovať ako T₀' a pod.

K dizertačnej práci mám nasledujúce otázky, resp. námety do diskusie:

1. Na str. 32 uvádzate exponenciálny vzťah pre popis závislosti napätia a pretvorenia v oblasti plastickej deformácie. Je možné použiť aj iné závislosti, resp. modely plastického správania sa materiálov?
2. Ako bola stanovená kritická hodnota voľnej entalpie, potrebnej pre uskutočnenie martenzitickej transformácie 1220 J/mol?
3. Čo rozumiete pod „okamžitou teplotou zakalení“ (obr. 165-167)?
4. Na základe akých vzťahov, resp. s využitím akého programového systému ste dospeli k výsledkom, uvedeným v obr. 36-38 a ako ste ich verifikovali?
5. Prosila by som dizertanta, aby v rámci obhajoby dizertačnej práce prezentoval konkrétny postup určenia a prenosov výsledkov do navrhovaného teoretického modelu.
6. Môže priebeh bainitickej transformácie, výslednú mikroštruktúru a mechanické vlastnosti ovplyvňovať rýchlosť ochladzovania z teploty austenitizácie na teplotu izotermického spracovania?
7. Aký je Váš názor na možnosti využitia ausformingu nad a pod teplotou M_S u skúmaných ocelí?

Záverečné stanovisko:

Predložená dizertačná práca Ing. Ivana Vorla s názvom „Vývoj nových materiálových konceptů pro automobilový průmysl“ spĺňa požiadavky kladené na doktorskú dizertačnú prácu, a preto odporúčam, aby bola v súlade so Zákonom č. 111/1998 Zb. §47 prijatá k obhajobe.

Po úspešnej obhajobe dizertačnej práce navrhujem Ing. Ivanovi Vorlovi udelenie akademického titulu PhD. (philosophiae doctor) odbore Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie.

V Trnave, dňa 22. 11. 2019



doc. RNDr. Mária Behúlová, CSc.
oponent dizertačnej práce