

Doc. Ing. Jan Čermák, CSc.
ČVUT v Praze, fakulta strojní,
Ústav strojírenské technologie
Technická 4, 166 07 Praha 6

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Doktorandka: Ing. Dagmar Bublíková
Pracoviště: ZČU v Plzni, Fakulta strojní, Katedra materiálů a strojírenské technologie
Školitel: prof. Dr. Ing. Bohuslav Mašek, Ph.D.
Téma práce: Vývoj nových materiálových konceptů pro automobilový průmysl

Předložená práce obsahuje 74 stran textu, včetně seznamů použité literatury, obrázků, tabulek a publikací. V textu je celkem 105 obrázků a 9 tabulek.

1. Význam tématu disertační práce pro automobilový průmysl

Základní trendy v automobilovém průmyslu jsou klasicky zaměřeny na efektivnost výroby, snižování nákladů, snižování emisí, na digitalizaci, modelování tvářecích procesů a technologie sdružené pod pojmem Průmysl 4.0 (správa, analýza dat, Smart Manufacturing, atd.). V současnosti je pozornost zaměřena především na rozvoj elektromobility. Úspora hmotnosti výkovek při použití vysoce pevných ocelí je tedy součástí uvedených trendů. Odpovídající tepelné zpracování je pak základním předpokladem pro jejich použití.

2. Postup řešení

V úvodu DP je stručně popsán obsah práce s důrazem na chemické složení vysokopevných ocelí, metody experimentálního ověření tepelného zpracování pomocí Q-P procesu a metody zpracování získaných dat. Následuje stručný a výstižný přehled rozdělení nízkolegovaných vysokopevných ocelí s ohledem na jejich použití v automobilovém průmyslu.

Kapitola Tváření vysokopevných ocelí obsahuje obecné základní poznatky z oblasti kování bez bližší návaznosti na řešenou problematiku, např. otázka nasazení vysokopevných ocelí v oblasti plošného tváření, nebo rozbor problémů spojených s jejich nasazením (otázka obrobitelnosti, tvářitelnosti, metody spojování s jinými materiály, podmínky pro nasazení do sériové výroby, rozbor výrobních nákladů).

Kapitola Moderní tepelné zpracování vysokopevných ocelí je zřejmě dílčím těžištěm práce doktorandky. Je popsána laboratorní metoda materiálově-technologického modelování s využitím termomechanického simulátoru, včetně detailního popisu Q-P procesu. Je zde detailně rozebrán vliv legujících prvků na mechanické vlastnosti a mikrostrukturu AHSS ocelí, fázové přeměny a děje, termodynamika a kinetika přerozdělení uhlíku a případné nežádoucí reakce při tomto procesu.

V kapitole Motivace a cíle práce je uveden jako hlavní cíl DP „navržení experimentálních ocelí se speciálním legováním snižujícím transformační teploty M_s a M_f včetně parametrů tepelného zpracování“. Dalším cílem je „aplikace poznatků do reálného procesu“ a na základě

vykování reálných zápusťkových výkovků optimalizovat parametry TZ ve výrobě. Konečným cílem by mělo být zkrácení výrobních časů a výrazné ušetření nákladů.

Za hlavní částí DP lze považovat kapitolu Experimentální část, která popisuje volbu materiálu, potřebný software, přístroje a zařízení pro stanovení struktury a mechanických vlastností jak vzorků, tak i experimentálních výkovků. Východiskem je návrh a výroba 4 experimentálních ocelí se speciálním legováním, které má zajistit vysokou pevnost výrobku při zachování tažnosti. Toho lze dosáhnout TZ při snížených teplotách Q-P procesem. Je podrobně popsán způsob stanovení a optimalizace potřebných parametrů Q-P procesu s využitím modelování na termomechanickém simulátoru. Získané výsledky byly aplikovány pro zápusťkové kování unášeče. Vlastní text doktorandka dokumentovala bohatým obrazovým materiálem s detailním popisem vlivu parametrů TZ na morfologii struktury vzorků (výkovků).

V posledních 2 kapitolách je stručně zopakován postup prací od návrhu nového typu vysokopevných ocelí až po konečný rozbor vlivů jednotlivých parametrů TZ. Experimentální program byl proveden hlavně na termomechanickém simulátoru. Bylo prokázáno, že pomocí materiálově-technologického modelování lze získané poznatky aplikovat do reálného TZ při zápusťkovém kování

V závěru se konstatuje, že tato práce obsahuje výsledky vytvořené v rámci projektu SGS-2019-019 Materiálově-technologický výzkum moderních vysoce-pevných ocelí.

Výsledky se ale rovněž uplatnily v Operačním programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost, řešený pro Kovárnu VIVA a.s. s názvem Vývoj nové generace zápusťkových výkovků z ultra-vysoce-pevných ocelí.

3. Výsledky disertační práce

Pro posouzení výsledků DP je třeba ujasnit, co bylo jejím hlavním cílem. Na str. 9 doktorandka uvádí jako hlavní cíl „ověřit možnost využití materiálově-technologického modelování pro optimalizaci podmínek zpracování experimentálních vysokopevných ocelí a jeho aplikaci na TZ zápusťkových výkovků z vysoce pevných ocelí. V kapitole 5 je jako hlavní cíl DP uveden návrh experimentálních ocelí se speciálním legováním včetně parametrů TZ a aplikace do zápusťkového kování reálných výkovků v praxi. Konečným cílem by mělo být zkrácení výrobních časů a výrazné ušetření nákladů.

Je zřejmé, že byla úspěšně ověřena možnost modelování tepelného zpracování pomocí Q-P procesu na termomechanickém simulátoru. Pro navržené 4 nízkolegované vysokopevné oceli s označením AHSS-1 až AHSS-4 byly stanoveny potřebné parametry pro TZ metodou Q-P procesu a byla provedena optimalizace rychlosti ochlazování.

Získané poznatky byly použity pro vykování výkovků unášeče z oceli AHSS-3 v Kovárně VIVA a.s. Tím bylo prokázáno, že výsledky modelového zpracování lze úspěšně využít při návrhu TZ zápusťkových výkovků v reálném provozu.

Poslední bod, zkrácení výrobních časů a výrazné ušetření nákladů, je spekulativní, je vázán na širší použití výkovků z vysokopevných ocelí, dále na stabilitu, opakovatelnost a robustnost technologického postupu. V automobilovém průmyslu, v oblasti zápusťkového kování, je tendence spíše zachovávat stávající materiály a snížení hmotnosti výkovků dosahovat konstrukčními úpravami, či záměnou materiálu.

Je zřejmé, že výsledky DP zahrnují velmi široký rozsah činností. Od návrhu složení experimentálních ocelí, jejich výrobu, výrobu vzorků, přes modelování TZ pomocí Q-P procesu, práce v oblasti měření, vyhodnocování struktur až po vyhodnocování reálných výkovků. Z celkového popisu se jedná o úkoly (činnosti) pro celý kolektiv pracovníků.

4. Systematicčnost, formální a jazyková úroveň

Práce má velmi dobrou formální i jazykovou úroveň. Z hlediska systematicčnosti je trochu nezvyklé řazení prvních kapitol, nebo zpracování kap. 3, což však v žádném případě nesnižuje celkovou vysokou úroveň DP.

5) Publikace disertanta

V disertační práci je v kap. 11 uveden poměrně rozsáhlý seznam 26 publikací, z toho je doktorandka uvedena na prvním místě jako hlavní autorka v 15 případech, dále v 9 případech jako spoluautorka, stejně jako u dvou užitečných a funkčních vzorů. Hiršův index 2 podle Web of Science, 5 podle Scopus.

Z přehledu publikací je zřejmé, že doktorandka pracovala na uvedeném projektu v rámci širšího kolektivu, kde její hlavní výzkumnou a vědeckou činností byla oblast tepelného zpracování kovů se zaměřením na nízkolegované vysokopevné oceli.

6) Vyjádření oponenta

Doktorandka prokázala velmi dobrou orientaci a zkušenosti v oblasti materiálově-technologického modelování, rozboru materiálových vlastností nízkolegovaných vysokopevných ocelí, nebo při řešení volby parametrů TZ a jejich experimentálního ověřování.

Z mého pohledu je však poněkud obtížné určit vlastní přínos činnosti doktorandky v takto komplexně pojatém projektu. Není např. jasné, do jaké míry, se v rámci vlastní výzkumné činnosti, podílela na návrhu chemického složení experimentálních ocelí.


Při vlastní obhajobě by měla doktorandka specifikovat, které podklady či výsledky jsou převzaté a v jaké oblasti, či rozsahu činnosti, byl její specifický přínos. Dle zákona č.111/1998 Sb. § 47(4) disertační práce musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění.

Disertační práci Ing. Dagmar Bublíkové na téma „Vývoj nových materiálových konceptů pro automobilový průmysl“

doporučuji

k obhajobě před zkušební komisí a po jejím úspěšném ukončení souhlasím s tím, aby jí byl udělen akademický titul „doktor“ (ve zkratce "Ph.D." uváděné za jménem) ve studijním oboru Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie.

Praha 15.12.2020


Doc. Ing. Jan Čermák, CSc.

Ing. Ivan Vorel, Ph.D.
PEARTEC s.r.o.
Podnikatelská 1186/45
301 00 Plzeň

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Doktorandka: Mgr. Dagmar Bublíková
Pracoviště: ZČU v Plzni, Fakulta strojní, Katedra materiálu a strojírenské metalurgie
Školitel: prof. Dr. Ing. Bohuslav Mašek Ph.D.
Téma práce: Vývoj nových automobilových konceptů pro automobilový průmysl

Předložená práce obsahuje celkem 74 stran textu, včetně seznamu použité literatury, obrázků a dalších příloh. V práci je uvedeno celkem 9 tabulek a 105 obrázků.

1. Význam tématu disertační práce pro využití v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu jsou kladeny stále větší nároky na ekologické aspekty výroby a provozu automobilů. S těmito nároky jdou ruku v ruce potřeby neustálého vývoje a výzkumu nových typů ocelí a jejich následné uplatnění v praxi. V disertační práci byl proveden návrh chemického složení experimentálních ocelí, jejichž zpracování pomocí tepelného zpracování metodou Q-P by mohlo mít velký potenciál při návrhu a výrobě nové generace vysokopevných ocelových dílů s martenzitickou mikrostrukturou, dobrou houževnatostí a nízkou hmotností.

2. Postup řešení disertační práce

Teoretická část disertační práce je rozčleněna do tří kapitol. V první kapitole jsou stručně popsány a zdokumentovány jednotlivé druhy nízkolegovaných ocelí s ohledem na jejich chemické a strukturní složení. Nutno podotknout, že se jedná o kapitolu přehlednou a ucelující, avšak např. Hadfieldovu ocel již vzhledem k vysokému obsahu manganu nelze řadit mezi nízkolegované oceli.

Ve druhé kapitole jsou popsány základní poznatky z oblasti tváření ocelí. Kapitola sice obsahuje základní poznatky, avšak chybí detailnější informace ohledně postupů zpracování vysokopevných ocelí pomocí moderních metod plošného a objemového tváření.

V poslední kapitole je popsána metoda a problematika zpracování ocelí pomocí Q-P procesu. Je zde poměrně detailně popsán princip Q-P tepelného zpracování, vliv jednotlivých prvků na průběh transformací, termodynamiku, kinetiku procesu, jednotlivé transformace či nežádoucí reakce.

V následující kapitole jsou definovány cíle a motivace práce. Jako první cíl je uveden návrh chemického složení čtyř experimentálních ocelí spojených s jejich následnou výrobou. Pro experimentální oceli byly za pomoci teoretických kalkulací a dilatometrických měření stanoveny teploty austenitizace resp. M_s a M_f . Následuje definice okrajových podmínek

tepelného zpracování se zaměřením na Q-P proces – rychlosti ochlazování, teploty přerozdělení spojené s materiálově-technologickým modelováním na termo-mechanickém simulátoru.

Dalším cílem práce bylo experimentální zpracování vybraného výkovku vyrobeného z experimentální oceli s nejlepší kombinací mechanických vlastností a následné porovnání dat získaných pomocí materiálově-technologického modelování s reálným stavem uvnitř definovaných míst výkovku. Autorka disertační práce uvádí jednak porovnání mechanických vlastností, jednak podíl zbytkového austenitu ve struktuře zjištěný pomocí rentgenové difrakční analýzy. Velice účelně je autorkou nasazeno barevné leptání s jehož pomocí lze zvýraznit mikrostrukturní kontrast.

Předposlední cílem disertační práce bylo posouzení vlivu stability zbytkového austenitu za různých teplot, při deformaci za studena.

Závěrečným cílem experimentu byla optimalizace teploty ochlazování uvnitř výše uvedeného experimentálního výkovku.

3. Výsledky disertační práce

Hlavním cílem při řešení disertační práce bylo z pohledu čtenáře využití materiálově-technologického modelování pro návrh a optimalizaci Q-P tepelného zpracování navržených experimentální ocelí. Tento fakt však nebyl v disertační práci jednoznačně specifikován a je pouze na čtenáři, aby tuto skutečnost postupně odhalil. Z uvedených výsledků disertační práce je zřejmý velký potenciál využití materiálově-technologického modelování pro experimentální návrh a optimalizaci jednotlivých etap tepelného zpracování zápusťkových výkovků a následné uplatnění optimalizovaného procesu v reálné výrobě. Tento závěr byl potvrzen výrobou experimentálního výkovku v kovárnách VIVA, který byl vykovan z jedné z navržených ocelí a následně zpracován podle definovaných parametrů TZ. Rozsah prací provedených na disertační práci je značný, nelze však určit, zda všechny aktivity uvedené v práci prováděla autorka sama nebo spolupracovala s dalšími pracovníky.

Při návrhu chemického složení experimentálních ocelí je popsán vliv použitých legujících prvků na charakteristické teploty transformací, bohužel záměr použití zvolené legovací strategie zůstává čtenáři vzdálen. Protože průběh fázových transformací je do velké míry závislý na velikosti výchozího austenitického zrna chybí alespoň základní porovnání velikosti zrna u použitých vzorků. Příložené ARA diagramy experimentálních ocelí vykazují značnou odlišnost teplot M_s a M_f od hodnot uvedených v textu.

U snímků hodnocení mikrostruktury pomocí řádkovacích elektronového mikroskopu je ve většině případů uvedeno martenziticko-bainitické strukturní složení. Zejména výskyt bainitu ve struktuře byl v práci označen za nežádoucí s ohledem na průběh Q-P tepelného zpracování. Z toho důvodu je nutné podotknout, že výsledky zohledňující přítomnost zbytkového austenitu ve struktuře v důsledku průběhu Q-P procesu mohly být důkladněji prozkoumány.

Z hlediska zaměření disertační práce by bylo vhodné přiložit detailnější snímky pozorovaných struktur.

4. Formální, jazyková úroveň, systematičnost

Disertační práce vykazuje dobrou formální a jazykovou úroveň. Celkový dojem nesnižuje někdy poměrně strohá formulace jednotlivých cílů, aktivit, výsledků.

5. Publikace disertantky

Autorka disertační práce prokázala značný publikační potenciál – stala se hlavní autorkou 15 publikací, u 9 publikací figurovala jako spoluautor. Výčet publikační činnosti doposud uzavřela 2 užitečnými vzory. Předložený výčet publikací poukazuje na silnou orientaci autorky na oblast materiálově-technologického modelování, tepelného zpracování vysoko-pevných ocelí, výrobu zápustkových výkovek.

6. Vyjádření oponenta

Disertační práce se zabývá velice aktuálním tématem vývoje ekologických a současně ekonomických postupů tepelného zpracování zápustkových výkovek pro automobilový průmysl metodou Q-P spojenou s materiálově-technologickým modelováním. Autorka prokázala dobré zkušenosti a znalosti z oblasti nekonvenčního tepelného zpracování ocelí s vyšším obsahem křemíku, technologického modelování, mikrostrukturního rozboru, rozboru mechanických vlastností.

Předložená práce je na dobré úrovni, pozorný čtenář může své znalosti obohatit o řadu zajímavých informací. Na druhé straně je nutné konstatovat, že přístup autorky k řešení byl v některých oblastech disertační práce až příliš přímočarý a opomíjel hlubší prozkoumání, zdokumentování zkoumané problematiky. Za poněkud nešťastné považuji například automatické tvrzení o přerozdělení uhlíku mezi martenzitem a zbytkovým austenitem jako hlavního zdroje stabilizace zbytkového austenitu bez přihlídnutí například k hojně popisované přítomnosti bainitu ve struktuře. Z disertační práce rovněž není zřejmé, na kterých výzkumných činnostech pracovala autorka sama, na kterých pak spolupracovala s jinými kolegy.

Disertační práci Mgr. Dagmar Bublíkové na téma „Vývoj nových materiálových konceptů pro automobilový průmysl“

doporučuji

k obhajobě před zkušební komisí a po jejím úspěšném zakončení souhlasím s tím, aby jí byl udělen akademický titul „doktor“ (ve zkratce „PhD“ uváděné za jménem) ve studijním oboru Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

Na autorku disertační práce mám následující otázky:

- 1) Pokud po částečném zakalení austenitu pod teplotu M_s dochází při následné výdrži na teplotě přerozdělení k přerozdělení uhlíku mezi martenzitem a netransformovaným austenitem, co je hnací silou tohoto přerozdělení?

- 2) Bainit dokumentovaný na snímcích z řádkového elektronového mikroskopu vznikl před samotným částečným zakalením nebo ve fázi přerozdělení navržených postupů Q-P tepelného zpracování?

- 3) Jakým způsobem se může změnit poloha křivek ARA diagramu při ochlazování reálných výkovek z dokovací teploty?

V Plzni dne 13.01.2022



Ing. Ivan Vorel, Ph.D.