

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Název práce: Sledování vlastností slitin hliníku používaných pro výrobu pístů spalovacích motorů

Autor práce: Ing. Bc. Jiří Morávek

Autor předložené disertační práce se věnuje problematice slévárenských a tepelně – fyzikálních vlastností slitin AlSi12CuNiMg , AlSi12 a čistého hliníku v procesu tuhnutí a chladnutí odlitků. Největší prostor z hlediska zkoumání a sledování byl věnován nejvíce používanému materiálu při výrobě spalovacích pístů, a to slitině AlSi12CuNiMg – byly sledovány především její dilatační vlastnosti nejen při tuhnutí a chladnutí, ale bylo také sledováno její chování při ohřevu. Hlavní přínos předložené práce lze spatřit v uceleném a souhrnném prozkoumání dilatačního chování uvedených materiálu během tuhnutí, chladnutí a ohřevu, při měnících se parametrech teploty lití, měnících se rozměrech odlitků, vlivu jednotlivých legujících prvků a různých druhů slévárenských forem. V tomto směru získané výsledky obohacují oblast slévárenství Al slitin o nové poznatky, které mohou být použity při řešení technologických problémů při výrobě automobilových pístů u uvedené slitiny. Druhým přínosem této práce je, že je doplněna i o další důležité informace v rámci zkoumání vlastností a testování uvedených slitin a čistého hliníku, a to zabíhavosti, vlivu tepelného zpracování, měření tvrdosti a strukturálních analýz.

Je potřeba kladně ohodnotit a vysoce vyzdvihnout i skutečnost, že dilatometrické analýzy byly prováděny na měřicím zařízení navrženém a zkonstruovaném na katedře Strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci, které bylo v průběhu experimentu inovováno a modernizováno. Tímto byla prakticky vyvinuta a odzkoušena metodika pro sledování dilatačních vlastností hliníku a jeho slitin při jejich tuhnutí a chladnutí. Přínosem předložené práce je také výpočet hodnot součinitele teplotní smrštivosti α na základě měření u zkoumaných materiálů v závislosti na různé teplotě lití, různých použitých slévárenských formách a měnící se tloušťce stěn odlitků, a jejich porovnání s tabulkovými hodnotami pro zkoumané slitiny.

Celkově má předložená disertační práce 244 stran a cca 170 stran příloh v samostatné vazbě. Disertační práce má logické, postupné a chronologické dělení na úvod, teoretickou a experimentální část, diskuzi výsledků, závěr a přílohy. Z hlediska obsahové náplně předložené práce, které jsou formulované v cílech disertační práce, lze konstatovat, že cíle byly splněny v plném rozsahu a v některých částech i překračují svým rozsahem a výsledky experimentů i rozsah zadání. Je potřeba také ale poukázat, že v případě kapitoly 10, která se věnuje metalografickým a fraktografickým analýzám zkoumaných materiálů a je velice rozsáhle a kvalitně zpracována z hlediska obrazové dokumentace struktur a EDX analýz, tak

na druhé straně není v této kapitole popsání snímků struktur úplně v pořádku (nebo není dostatečné) a chybí také uvedení jednotlivých intermetalických fází z hlediska jejich stechiometrického složení zjištěného pomocí EDX analýz.

K práci mám několik připomínek, upřesnění a doporučení:

- str. 14 - ...pro gravitační odlévání... (správně a lépe: ...pro gravitační odlévání do kovových kokil...)
- str. 20 - správně: ...přidává i bismut a olovo...
- str. 36 - pro modifikaci se nepřidává 0,004 až 0,02 % Sr
- str. 40 - ...musí být provedeno... (správně: ...provedeno...)
- str. 198 - jehlice křemíku + tuhý roztok α není eutektická fáze
- str. 208 - popsání a vyhodnocení lomových ploch u slitiny AlSi12CuNiMg a AlSi12 není pravdivé a neodpovídá tomu, co je patrné na snímcích
- str. 86 - chemické složení v tab. 6.2. je skutečné zjištěné pomocí EDX analýzy?
- str. 231 - ...intermetalických fází AlCu₂... (správně: CuAl₂ nebo Al₂Cu)

K předložené práci mám následující otázky:

1. Navrhnete, čím byste nahradil toxické olovo u Al slitin a jak byste prodloužil životnost nástrojů u slitin s vyšším obsahem křemíku.
2. V textu na str. 44 je uváděno, že slitina AlSi12CuNiMg je modifikována. Skutečně je slitina ve výrobě modifikována a je modifikována i experimentální slitina popsána v disertační práci?
3. Může autor popsat i některé pozitivní vlastnosti vápníku u Al slitin?
4. Jak by autor přesněji popsal rozdělení Al-Si slitin, než jak to popisuje na str. 30?
5. Jaké vytvrzovací fáze (precipitáty) se vylučují při procesu vytvrzování slitiny AlSi12CuNiMg?

Závěrem konstatuji, že předložená závěrečná disertační práce Ing.Bc. Jiřího Morávky má požadovanou odbornou úroveň, splňuje všechny cíle zadané v disertační práci a student prokázal, že ovládá vědecké experimentální metody a má hluboké teoretické poznatky v dané oblasti. Předložená disertační práce přináší nové poznatky v daném vědním oboru, jak je to již v posudku konstatováno.

**Práci hodnotím jednoznačně pozitivně a doporučuji ji k obhajobě.
V případě úspěšné obhajoby doporučuji Ing. Bc. Jiřímu Morávce udělit
vědecko-pedagogickou hodnost PhD. ve studijním oboru 2303V002
Strojírenská technologie.**

V Ústí nad Labem 8. 12. 2011

Doc. Ing. Štefan Michna, Ph.D.

Oponentský posudek

doktorské disertační práce Ing. Jiřího Morávka

„Sledování vlastností slitin hliníku používaných pro výrobu pístů spalovacích motorů“

Školitel: Prof. Ing. Iva Nová, CSc.

Obor: 2303 V 002 Strojírenská technologie. Zaměření – Slévárenství

Autor ve své disertační práci analyzuje materiálové a technologické vlastnosti čistého hliníku Al99,5, slitiny AlSi12 a slitiny AlSi12CuNiMg používané pro výrobu pístů spalovacích motorů.

Práce má rozsah 241 stran textu, 137 obrázků, 51 tabulek a 5 příloh. K textové části je zpracovaná samostatná část příloh, která obsahuje 160 stran grafických příloh.

Disertační práce má celkem 7 cílů:

1. Shrnutí známých poznatků o slitinách hliníku a jeho vlastnostech. 2. Využití známých poznatků k tepelně-fyzikálním a termodynamickým výpočtům hliníku a jeho slitin.

Cíle v experimentální oblasti:

3. Zkoušky slévárenských vlastností tj. tavitelnost, doba tuhnutí a zabíhavost. 4. Vývoj metodiky zkoušek pro sledování dilatačních vlastností slitin hliníku při jejich tuhnutí a chladnutí v závislosti na různých parametrech lití odlitků. 5. Navrhnout a aplikovat metodiku pro sledování dilatačních změn slitin hliníku při ohřevu i po tepelném zpracování odlitků. 6. Mikroskopické vyhodnocení zkušebních odlitků. 7. Vyhodnocení mechanických vlastností zkušebních odlitků.

V teoretické části práce jsou citovány převážně známé poznatky o slévárenských a fyzikálních vlastnostech hliníku a jeho slitin. Kapitoly této části práce jsou zpracovány přehledně a logicky. Dále se autor zaměřil na výpočet změn Gibbsovy energie, molární entropie a entalpie na základě známých fyzikálních charakteristik čistého hliníku. Tyto výpočty autor uvádí jako experimentální výsledky.

Které veličiny, kromě dosazené teploty přehřátí, byly experimentálně naměřeny a použity při výpočtu? Ve výpočtu nejsou citovány zdroje např. pro $\Delta V_{\text{tání}} = 1,344 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$. Jde o autorův výpočet?

Přínos experimentální části práce spočívá zejména v provedených měřeních dilatací čistého hliníku a jeho slitin při tuhnutí. Pro tato měření byla navržena originální metodika snímání průběhu dilatací při brzděném tuhnutí zkušebních těles tvaru „I“ a tvaru válce o průměrech 40, 50, 60 x 84 mm. Odlitky tvaru „I“ měly hodnoty výsledného smrštění v korelaci s tabulkovými hodnotami koeficientu teplotní smrštivosti α tj. nejnižší hodnoty měla slitina AlSi12CuNiMg litá do kokil při 725°C a nejvyšší hodnoty smrštivosti α vykazoval čistý hliník litý do formy z jednotné bentonitové směsi. Výsledky těchto měření jsou využitelné v technologickém procesu výroby odlitků tj. od natavení na teplotu lití až po kvantifikaci objemových změn při tuhnutí ve formě.

Jakým způsobem byly zabezpečeny konstantní podmínky brzděného smršťování při tuhnutí zkušební odlitku „I“?

Byla zaznamenávána teplota konstrukce měřícího zařízení v průběhu vlastního měření?

Jakým způsobem byla zabezpečena přesnost měření zkušebních vzorků v řádu $1 \times 10^{-4} \text{ (mm)}$?

Čím lze vysvětlit téměř shodné průměrné hodnoty dilatačních charakteristik čistého hliníku v ocelové kokile a formě z CT směsi a relativně rozdílné u slitin AlSi12 a AlSi12CuNiMg? (obr. 7-11 na s. 117)

Z technologického hlediska jsou přínosná srovnávací měření zabíhavosti hliníku a jeho slitin. Provedená měření potvrdila, že nejlepší zabíhavost měl eutektický silumin AlSi12 při teplotě 725 °C. Vypočítané hodnoty konstant tuhnutí pro jednotlivé slitiny a tvary odlitků, lze rovněž využít pro praktické výpočty doby tuhnutí odlitků různých modulů.

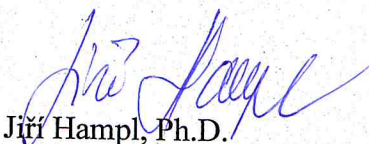
Čím lze vysvětlit téměř šestkrát větší součinitel teplotní smrštivosti v teplotním intervalu 200-100 (°C) $\alpha = 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ (K}^{-1})$ v porovnání se součinitelem teplotní roztažnosti v teplotním intervalu 100-200(°C) $\alpha = 1,04 \cdot 10^{-5} \text{ (K}^{-1})$ pro slitinu AlSi12CuNiMg?

Jak lze využít zjištěných výsledků pro řízení procesu výroby odlitků ze slitiny AlSi12CuNiMg?

Předložená disertační práce je značně rozsáhlá obsahově i provedenými experimenty. Úroveň zpracování tématu svědčí o autorově velmi dobré znalosti problematiky technologie a metalurgie slitin hliníku. Přínos práce spočívá v prezentovaných výsledcích i ve vypracování originální metodiky měření vlastností hliníkových slitin.

Práce splňuje podmínky disertačního řízení podle zákona o vysokých školách, proto doporučuji, aby byla předložena Komisi pro obhajoby doktorských prací Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci k obhajobě.

V Ostravě 18.1.2012


doc. Ing. Jitka Hampl, Ph.D.

Oponentský posudek disertační práce
Ing. Jiřího Morávka

**Studování vlastností slitin hliníku používaných pro výrobu pístů
spalovacích motorů**

Pracoviště: Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie

Studijní obor: 2303V002 Strojírenská technologie

Školitel: prof. Ing. Iva Nová, CSc.

Předmětem disertace je studium vlastností dvou slitin hliníku (AlSi12CuNiMg a AlSi12) používaných v současnosti v automobilovém průmyslu při výrobě pístů spalovacích motorů. Kromě dilatačního chování výše uvedených slitin obsahuje předložená práce rovněž výsledky výzkumu jejich slévárenských, fyzikálních a strukturních charakteristik prezentovaných ve srovnání s odpovídajícími vlastnostmi čistého hliníku.

*Téma disertační práce je velmi aktuální, neboť hliník a jeho slitiny nachází v posledních letech stále většího využití v automobilovém a leteckém průmyslu. Zároveň s tím rostou i požadavky jak na rozměrovou přesnost tvarově velmi složitých odlitků, tak na kvalitu jejich povrchu. Je tedy patrné, že detailní a komplexní znalost technologických, fyzikálních a strukturních charakteristik materiálů se stává nezbytným předpokladem pro cílevědomé splnění zvýšených nároků na odlévané strojní komponenty. **Vytyčená koncepce předurčuje významný praktický přínos dosažených výsledků.***

*Předložená disertace je napsána česky. Práce je neobvykle rozsáhlá - skládá se z textové části (244 stran) a svazek sedmi příloh. Textová část je členěna do dvanácti kapitol doplněných obsáhlým seznamem literatury a publikací uchazeče. Po úvodu a formulaci cílů disertace následuje v druhé kapitole stručný přehled základních vlastností hliníku a jeho slitin. Další dvě části na cca 40 stránkách shrnují poznatky o konstrukci a výrobě pístů spalovacích motorů a slévárenských vlastnostech slitin hliníku. **Úroveň výkladu současného stavu problematiky řešené v disertační práci je velmi vysoká. Text je koncipován účelně a zpracován s přehledem.***

*Experimentální část tvoří téměř 70% obsahu textové části disertace a je účelně rozdělena do osmi kapitol. Text obsahuje vše potřebné pro popis zkoumaných vzorků a použitých měřících zařízení a metod. První kapitola této části „Výpočty tepelně-fyzikálních vlastností čistého hliníku“ svědčí o schopnostech doktoranda osvojit si poznatky termodynamiky a tvůrčím způsobem je aplikovat k výpočtům veličin charakterizujících chování čistého hliníku při jeho tavení. Výsledky těchto výpočtů pak slouží jako „referenční“ hodnoty při diskuzi experimentálně získaných veličin obou sledovaných slitin. **Experimentální metody, které doktorand při řešení použil, jsou adekvátní vytyčeným záměrům a byly aplikovány vhodným způsobem.** Zjištěné závislosti jsou podrobně hodnoceny (komentovány) v druhé části každé z pěti kapitol obsahujících úctyhodný objem experimentálních zjištění. Na závěr disertace jsou výsledky velmi podrobně a zevrubně diskutovány a interpretovány s ohledem na fyzikálně-chemické a strukturní děje probíhající ve zkoumaných materiálech. V této souvislosti je nutno ocenit shrnutí vlastního přínosu doktoranda na konci 12. kapitoly.*

Z věcného hlediska bych měl následující **závažnější připomínku**. Nepodařilo se mi najít v disertaci jedinou zmínku o experimentální chybě (nepřesnosti) kterékoliv z měřených veličin. I kvalifikovaný odhad nejistoty experimentálně zjištěných charakteristik by přispěl k diskuzi o vzájemném vztahu naměřených hodnot. Rád bych tento odhad viděl alespoň u opakovaných měření, kde je uváděná hodnota aritmetickým průměrem z několika měření.

Práce má dobrou formální koncepční i obsahovou úroveň. K porozumění textu přispívá řada názorných obrázků a fotografií. Chtěl bych upozornit na následující nedostatky:

- Zkratky, pokud nejsou uvedeny na seznamu zkratk a symbolů, by se měly při prvním použití v textu rozepsat, i když se jedná o značení v úzkém oboru běžné, jako např. „CT směs“, nebo na str. 21 „MIG“, „TIG“, „FSW“.
- Slovní spojení „experimentální měření“, které se vyskytuje v textu i v názvech některých částí práce, považuji za nevhodné.
- Některá souvětí jsou formulována poněkud neobratně, jejich smysl je pak třeba vyvodit z kontextu. Např. „Skládá se z PC s příslušným vybavením, který je napojen dilatometr..., který slouží k přenosu dat...“ (str. 143, 5. ř. odzdoła).
- Mřížkový parametr hliníku (str. 18, tab. 2.1) je 0,404958 nm, nikoliv milimetrů.
- Měřítka, na jinak velmi kvalitních metalografických snímcích, je nečitelná.

Tyto prohršky však nepovažuji za významné a jsou zřejmě projevem nezkušenosti autora s přípravou rozsáhlejšího textu.

Otázky pro uchazeče:

i) Jaký je podíl doktoranda na návrhu a vývoji experimentálních metodik sledování dilatačních vlastností? (cíle 4. a 5., str. 15)

ii) Čím lze vysvětlit významně odlišné chování obou hliníkových slitin v případě tuhnutí v ocelové formě ($27 \times 10 \times 157 \text{ mm}^3$) při 700°C a 675°C ? (str. 95, tab. 6.9)

Uchazeč prokázal odpovídající znalosti v oboru Strojírenská technologie, vytyčené cíle disertační práce byly splněny v předpokládaném rozsahu.

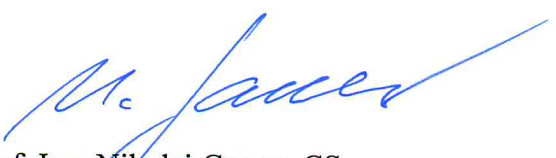
Závěr

Konstatuji, že disertace *Studování vlastností slitin hliníku používaných pro výrobu pístů spalovacích motorů* je dokladem vysoké dovednosti

Ing. Jiřího Morávka

v oboru Strojírenská technologie. Dosažené původní vědecké výsledky prokazují schopnost doktoranda samostatně vědecky pracovat. Předložený spis splňuje odborná i formální kritéria kladená na disertační práce. Práci doporučuji k obhajobě.

V Praze 14. 11. 2011


prof. Ing. Nikolaj Ganey, CSc.
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze
Trojanova 13
120 00 Praha 2