

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: Ing.Pavel Pěnička

Téma práce: Sledování vlastností slitin zinku pro výrobu odlitků

Disertační práce se zabývá sledováním slévárenských a mechanických vlastností zinku a jeho slitin. Je členěna do šesti kapitol a příloh. Práce má celkem 185 stran a cituje 28 literárních pramenů, z nichž 1 publikoval autor.

Zvolené téma je aktuální z důvodu rozšíření těchto slitin v automobilovém i spotřebním průmyslu. Především s rozvojem simulace slévárenských procesů i pevnostních výpočtů pomocí numerických metod je nutno lépe poznávat chování jednotlivých slitin jak z hlediska slévárenských, tak i mechanických vlastností. To nám umožňuje neustále zpřesňovat výsledky numerických simulací. Současné simulační programy obsahují poměrně široké databáze vlastností slitin hliníku. U slitin zinku jsou však tyto databáze podstatně chudší. Proto hodnotím zvolené téma práce jako aktuální.

Cíle práce se zaměřují na 6 oblastí, a to:

1. Sledování dilatometrických vlastností tuhnutí a chladnutí slitin zinku
2. Sledování smršťování odlévaných materiálů do různých typů přílozek
3. Zkoušky zabíhavosti daných materiálů dle Curryho spirály
4. Mechanické zkoušky daných materiálů
5. Zkoušky roztažnosti daných materiálů
6. Sledování struktury daných materiálů.

Počet dílčích cílů považuji za zbytečně vysoký, podle mého názoru by bylo vhodné počet cílů omezit a věnovat se jim více do hloubky. Zvláště v oblasti dilatometrických vlastností má autor značné zkušenosti a mohl by v tomto ohledu lépe popsat zkoumané materiály.

V teoretické části jsou uvedeny základní vlastnosti zinku a jeho slitin a jejich porovnání s ostatními nejběžněji používanými slitinami. Fyzikální a mechanické vlastnosti udávané v literatuře se mohou od sebe lišit. V tabulce 2.4 by měl být uveden zdroj, ze kterého autor čerpal.

Velký prostor je věnován objemovým změnám v tekutém a tuhém stavu i při tuhnutí slitiny a jevy, které s těmito změnami souvisí. Je přehledně uspořádána a obsahuje potřebné informace pro orientaci v další části práce.

Na závěr teoretické části jsou provedeny termodynamické výpočty pro čistý zinek. Vzhledem k tomu, že výpočty využívají známých vztahů a hodnot termodynamických vlastností a v práci se s nimi dále nepracuje, měl by být uveden účel, za kterým je tato kapitola do práce zařazena, případně by měli být diskutovány uvedené výsledky.

Pro experimentální práci byl vybrán čistý zinek a 4 slitiny. Není zřejmé, na základě čeho byly vybrány právě tyto materiály.

Pro měření dilatací odlitků při brzděném smršťování tuhoucích a chladnoucích odlitků byly použity 2 metody. Opticky a indukčním snímačem. Od měření optickou metodou bylo upuštěno z důvodů, které jsou dostatečně vysvětleny. Popsaná metoda měření indukčním snímačem se jeví jako vhodná k danému účelu. Z práce není jasné, zda byla nějakým způsobem hodnocena opakovatelnost a reprodukovatelnost měření.

Metodika vlastních experimentů je přehledně popsána. Pro sledování dilatací při různých podmínkách při tuhnutí a chladnutí byly zvoleny formy s pryžovými, pískovými a kovovými chlazenými či nechlazenými přílozkami. Tento výběr považuji za vhodný z hlediska zajištění dostatečného rozsahu odvodu tepla formou. Výsledky smrštění však budou zřejmě ovlivněny jak rychlostí odvodu tepla formou, tak efektem vlastního brzdění, který je ovlivněn tuhostí formy a je stejný jen u obou kovových forem. Pro správné pochopení jednotlivých vlivů na smršťování by bylo užitečné vyhodnotit pro dané materiály přílozek i odlitky tuhnutí nebrzděně.

Počet vzorků odlitých pro každou slitinu a materiál přílozek byl 25, to považuji za počet dostatečný pro statistické vyhodnocení experimentů.

Výsledky jsou zpracovány přehledně pro každý druh odlévané slitiny. Jsou však uvedeny pouze průměrné hodnoty dilatací, chybí jakékoliv statistické zpracování výsledků, i když to počet měření umožňuje. Uvedení alespoň rozptylů měření považuji za nutnost, jinak je obtížné pochopit, zda jsou uváděné rozdíly mezi jednotlivými experimenty významné.

Z grafů jsou zřejmé průběhy chladnutí i deformací. Hladké průběhy křivek potvrzují vhodně zvolenou metodiku měření, která vyloučila „zadrhování“ a skokové změny. Z časových závislostí lze na první počet vyčíst rozdíly způsobené různými rychlostmi odvodu tepla z odlitku. Jistě by bylo zajímavé uvést alespoň příklady závislostí smrštění na teplotě, které je z hlediska využití v praxi důležité.

Vypočítané součinitele teplotní roztažnosti pro intervaly teplot po 50°C jsou důležité hodnoty, ve kterých vidím hlavní přínos této práce. Bylo by však vhodnější intervaly rozdělit teplotami likvidu a solidu, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků v intervalech 350-400°C a 400-450°C.

Z mechanických vlastností byla sledována pevnost v tahu na zkušebních tyčích odlitých do kovové formy. Hodnota naměřená u čistého Zn (50MPa) je příliš nízká. Jak si to doktorand

vysvětluje? Bylo měření opakováno? U výsledků by mělo být uvedeno, po jaké době po odlití byla zkouška provedena, vzhledem k možnému ovlivnění výsledků stárnutím. To platí i pro zkoušku vrubové houževnatosti, která byla prováděna na 5 vzorcích z každé slitiny.

Pro precipitačně vytvrditelnou slitinu ZnAl_4Cu_3 byla vyhodnocována tvrdost v závislosti na čase po tepelném zpracování. To je v praxi důležitý údaj pro délku prodlevy nutné k obrábění, případně k mechanickým zkouškám.

Formulace „zátěžná síla byla cca 625N“ u zkoušky s jasně stanovenými podmínkami by se neměla v odborném textu vůbec objevit. Časové období by bylo vhodnější udávat jako počet hodin (dní) od tepelného zpracování vzorku, než jako datum. Tvzení, že hodnota tvrdosti se rapidně zvýšila až 5. den po vytvrzení, je vyvráceno výsledky na Obr. 4-66. Údaje uvedené v Tabulce 4.35 a Obr. 4-66 si vzájemně odporují. Proč?

Pro praktické využití by byly zajímavé výsledky tvrdosti v kratších intervalech během prvních 24hod.

Diskuze výsledků se obecně omezuje na konstatování faktu a porovnání hodnot naměřených pro různé slitiny (formy).

Chybí analýza těchto výsledků, proč jsou či nejsou rozdíly, zda to odpovídá teoretickým předpokladům a co z toho vyplývá pro praxi. Hodnoty dilatace by bylo vhodnější uvést v % než v absolutní hodnotě smrštění. Je konstatováno, že nejvyšší hodnoty smrštění má čistý Zn a ZnAl_8Cu_1 . Chybí vysvětlení, proč tomu tak je, a zda to odpovídá předpokladům. Dá se z výsledků vysledovat závislost mezi smrštěním a obsahem Al?

Hodnocení zabíhavosti se omezuje na konstatování známých skutečností. Výsledek vlastních zkoušek nehodnotí.

U metalografického hodnocení je správně konstatováno, že struktura (velikost zrn) byla ovlivněna rychlostí tuhnutí.

Byla sledována analogie mezi dilatací při chladnutí (výsledky v kapitole 4.2.2) a při ohřevu? Porovnáme-li hodnoty smrštění čistého zinku a jeho slitin při teplotách do 300°C, vidíme rozdíly, které při ohřevu nejsou zřejmé.

Závěr

Předložená disertační práce je aktuální z hlediska využití získaných výsledků vlastností slitin zinku v praxi, především prohloubení znalostí nutných pro zpřesňování numerických simulací slévárenských procesů.

Metody prováděných experimentů, zvolené počty a variabilita vzorků jsou vhodné k dosažení cílů, které byly na začátku práce stanoveny. Nedostatečné je však statistické vyhodnocení výsledků.

Nejzásadnějším nedostatkem předložené práce je chybějící diskuze možných příčin a důsledků zjištěných výsledků. Autor v podstatě jen předkládá a vzájemně porovnává hodnoty, které naměřil v experimentální části.

V této souvislosti považuji za nutné ještě jednou zmínit příliš velký počet stanovených cílů a z toho plynoucí velmi obecné pojetí celé práce.

Jako podnět do diskuze předkládám tyto dotazy:

- Výsledkem experimentálních měření dilatací brzděně tuhnoucího a chladnoucího odlitku jsou hodnoty teplotní roztažnosti pro jednotlivé materiály přílohek. Považuje dizertant tyto rozdíly za významné? Jestliže ano, co je podle jeho názoru příčinou těchto rozdílů (např. rychlost odvodu tepla, tuhost, atd.)? V případě, že je příčin více, jak jsou jednotlivé vlivy významné?
- V čem vidí autor originalitu této práce, jaké nové přístupy uplatnil při jejím řešení?

Disertační práce splňuje požadavky ve smyslu § 47 Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. a i přes uvedené připomínky ji doporučuji k obhajobě. Věřím, že doktorand bude schopen zodpovědět shora uvedené otázky a po úspěšném obhájení práce mu bude udělen akademický titul Ph.D.

V Liberci dne 12. 1. 2012



Ing. Milan Jelínek, Ph.D.

DGS Druckguss Systeme s.r.o.

Recenze

Doktorské disertační práce

SLEDOVÁNÍ VLASTNOSTÍ SLITIN ZINKU PRO VÝROBU ODLITKŮ

Autor: Ing. Pavel Pěnička
Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní,
Katedra strojírenské technologie
Studijní program P 2303 Strojírenská technologie
Studijní obor: P 230V002 Strojírenská technologie
Zaměření: Slévárenství

Školitelka: Prof. Ing. Iva Nová, CSc

Recenzent: Doc. Ing. Antonín Mores, CSc

1. ÚVOD

Úvodem disertant správně poukazuje na rozvoj výroby odlitků z neželezných kovů, hlavně slitin hliníku a v poslední době i zinku. Slitiny hliníku jsou více známy a používány již delší dobu, slitiny zinku nacházejí stále větší uplatnění v oblasti automobilového průmyslu, hlavně při výrobě drobných odlitků, u kterých je vyžadována dobrá zabíhavost a přesnost. Autor práce zde uvádí i výrobu těchto odlitků ve světě. Pouze tabulka 1.2- Množství výroby tun odlitků v USA -je asi neodpovídající, chybí jednotky (10 508,5 t je málo, 10,508 mil. tun asi hodně, ale pravděpodobnější číslo).

Přehledně je zpracována kapitola 1.1- Historický vývoj zinku. Disertant v kapitole 1.2- Cíle disertační práce- jasně a srozumitelně popsal úkoly, které v době své doktorandské činnosti řešil, o čemž svědčí i 10 publikací, které buď sám, nebo se spolupracovníky publikoval.

TEORETICKÁ ČÁST A TERMODYNAMICKÉ VÝPOČTY

Další kapitoly se již zabývají přímo slitinami zinku, za výchozí hodnocení je uveden obr.2.2- Rovnovážný binární diagram Al- Zn., Je zde správně uvedeno, že běžné odlitky se používají s 8, 12 a 27 %Al, slitiny převážně pro tlakové slitiny jsou ZnAl₄, ZnAl₄Cu₁, ZnAl₄Cu₃, které také označujeme jako Z 400- Zamak 3, Z 410- Zamak 4, Z 430- Zamak 5.

K tabulce 2.2- Přehled fyzikálních vlastností slitiny ZAMAK-, tabulka nemůže být univerzální pro všechny typy slitin ZAMAK- viz dotaz za textem této oponentury.

Tabulka 2.4- Přehled fyzikálních a mechanických vlastností Zn- Al. Slitiny zinku s 8 % Al, s 12%Al a s 27 % AL jsou dobře v tabulce uvedeny. Domnívám se, že zde chybí další tabulka (asi vypadla), která by charakterizovala slitiny ZnAl₄ (Z 400), ZnAl₄Cu₁ (Z 410), ZnAl₄Cu₃ (Z 430), u kterých se při tlakovém lití dosahuje rovněž výborných mechanických hodnot. Tyto slitiny byly v disertační práci hlavním předmětem výzkumu- viz dotaz za textem.

Charakteristika technologických vlastností, rozměrové změny při tuhnutí odlitků, objemové změny v tekutém stavu, v intervalu tuhnutí, lineární změny v tuhém stavu, základní fyzikálně

chemické vlastnosti jsou podrobně, přehledně a jasně zpracovány. Umístění těchto kapitol do této disertační práce je správné a nutné, neboť experimentální část práce vychází z pochopení těchto důležitých kapitol. Snad lze mít námitku, že by měly být uvedeny u těchto kapitol literární prameny, i když tyto záležitosti jsou u různých autorů podobné.

Termodynamické výpočty pro čistý hliník, které jsou uvedeny v teoretické části, jsou velmi pečlivě provedeny a plně odpovídají tradici slévárenského zaměření na TUL Liberec. Výpočty změn Gibbsovy energie při tavení čistého zinku v závislosti na teplotě při konstantním tlaku a rovněž změny Gibbsovy energie při tavení čistého zinku v závislosti na tlaku při konstantní teplotě jsou precizně vypracovány. K těmto pěkným a pracným kapitolám mám pouze dotaz, zda disertant výpočty vypracoval sám, nebo jde o literární odkazy ?

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Náplní první experimentální části práce je prověření dilatačních vlastností na navrženém a odzkoušeném měřicím zařízení a tím i následné stanovení součinitele teplotní smrštivosti. Po popisu měřicích zařízení a srovnání s možností měření přístrojem na principu optického snímání pohybujících se bodů a metody měření dilatace pomocí mechanického klasického dilatometru, bylo rozhodnuto použít pro experimenty klasickou metodu registrace dilatačních změn během chlazení a tuhnutí odlitků.

Ke straně 52, obr. 4-12- Měřicí zařízení s pískovými příloškami-, by bylo vhodnější napsat, z čeho je příložka zhotovena (CT směs, bentonitová směs, furanová směs), to může mít vliv na naměřené hodnoty.

Dilatačních zkoušek bylo naměřeno obrovské množství 125 měření, což i se zpracováním je určité časově mimořádně náročné. Hodnocení těchto výsledků na str.67 až 69 je zajímavé a vypočtené hodnoty součinitele teplotní smrštivosti dle vztahu 4.1 svědčí o velké pečlivosti disertanta. Zjištěné hodnoty dilatace (smrštění) pro slitiny Zn potvrdily, že se jedná v podstatě o stahující slitiny- není zde žádné předsmršťovací roztažení.

Další série zkoušek se týkala zabíhavosti zinkových slitin- viz dotaz za textem.

Ke kapitole 4.4- Mechanické zkoušky daných materiálů slitin zinku -pouze malé připomínky- na obr. 4-56 chybí průměr střední části tyčky (asi 10mm?). Rozdíl mezi hodnotami meze pevnosti v tahu R_m u čistého Zn a slitin ZnAl se mi zdá příliš velký. Je-li obvykle velmi nízká hodnota R_m , pak se v tyči vyskytuje mikroporozita, nebo malá bublinka. O tom svědčí i srovnání hodnot nárazové práce, u kterých jsou menší rozdíly. Hodnoty nárazové práce nejsou totiž již tak závislé na nepatrných vadách v lomové ploše- jde již v podstatě o zkoušku „tvarové odolnosti“.

U měření tvrdosti rovněž je správně u čistého zinku hodnota tvrdosti nejnižší, ale je v relaci s ostatními slitinami. Měření tvrdosti bylo u precipitačního vytvrzování měřeno po dobu 28 měsíců. Je zajímavé, že precipitační vytvrzování zvýší tvrdost do 5 dnů, po dlouhodobém sledování se již tvrdost prakticky nemění.

Poznámka:

Hodnota vrubové houževnatosti se má nyní nazývat hodnotou nárazové práce.

V dalších kapitolách experimentální části disertační práce byly naopak sledovány teplotní roztažnosti průměrových tělísek $d = 8\text{mm} \times 50\text{mm}$, jak u čistého zinku, tak i u slitin zinku s Al. Tyto dilatace při ohřevu na 300°C jsou prakticky shodné.

Kapitola o metalografickém hodnocení struktury daných materiálů potvrzuje teoretické poznatky a je dobře zpracována.

Poznámka:

Obr.4-87 a 4-88 jde pravděpodobně o popis struktury obrázků 4-79 a 4-80, nebo nějaké obrázky vypadly ?

Poslední kapitola „ Diskuze výsledků“ obsáhle shrnuje dosažené poznatky v teoretické části a srovnává je s výsledky experimentální části.

Jsou zde pečlivě vyjmenovány přednosti odlévání odlitků ze zinkových slitin, kde jako nejdůležitější vlastnosti jsou dány nízká tavící teplota, dobrá zabíhavost a poměrně vysoké hodnoty mechanických vlastností, především mez pevnosti R_m . Toto je jedním z hlavních důvodů, proč jsou slitiny zinku velmi rozšířeny v oblasti automobilového průmyslu. Kromě již dříve uvedených výsledků je velmi příznivé, že slitiny zinku netvoří trhliny, což platí pro klasické formy i vysokotlaké lití.

Za zajímavé zjištění lze považovat výsledky experimentů, kde u všech zkoumaných slitin nebyly zjištěny velké rozdíly v prověřovaných vlastnostech, což je důležité především pro automobilový průmysl, určitou výjimkou je čistý zinek, hlavně z hlediska mechanických vlastností.

Doplňující otázky:

- 1) Jak je to s výrobou odlitků v USA- tabulka 1.2, str.9 ?
- 2) Tabulka 2.2- platí pro jakou slitinu ZAMAK ?
- 3) Předložte (elektronicky) tabulku pro slitiny ZnAl4 (Z 400), ZnAlCu1 (Z 410), ZnAlCu3 (Z 430)- podobně jako uvádíte tabulku 2.4
- 4) Str. 67 až 69- lze nějak vysvětlit rozdíly ve sloupcových diagramech- **pouze úvaha**
- 5) Str. 84 – obr.4-55 - Grafická závislost výsledných hodnot při zkoušce zabíhavosti- velké rozdíly mezi čistým Zn a slitinami Zn, lze to vysvětlit ? – **pouze úvaha** (výraz „Druh přílohek“ pod grafem je asi omyl)
- 6) Vysvětlíte obecně pojem „precipitační vytvrzování slitin“
- 7) Jsou slitiny Zn stahujícími slitinami ?
- 8) Kapitola – Diskuze výsledků-. Slitiny zinku umožňují odlévat i velmi malé průměry i závitů atd. Které ze slitin Zn, které jste prověřoval, byste doporučil k praktickému použití (nebo, které se nejvíce používají) – **pouze úvaha**
- 9) Pro slitiny zinku se používají chlazené i nechlazené kovové formy. Podle jakých kritérií je nutné se rozhodnout? - **pouze úvaha**

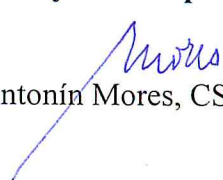
ZÁVĚR

Závěrem je nutné zdůraznit způsob, jakým disertant Ing Pěnička řešil tento mimořádně obtížný úkol se mnoha obtížnými experimenty. O slitinách zinku, hlavně jejich technologických a slévárenských vlastnostech, není mnoho publikačních údajů i z důvodů, že tyto slitiny jsou využívány hlavně v automobilovém průmyslu. Teoretická a výpočtová část práce je na vysoké úrovni. Bylo provedeno i množství experimentů, některé z hlediska času mimořádně náročných a velmi pečlivé a podrobné vyhodnocení výsledků.

Doktorand ve své práci prokázal, že umí výzkumně a vědecky pracovat, doporučuji tuto doktorskou práci k obhajobě a aby po odpovědích na výše uvedené dotazy a obhájení této práce, mu byl udělen titul doktor (PhD) v oboru, ve kterém byla tato práce vypracována a předložena.

Praha 29.12.2011

Doc. Ing. Antonín Mores, CSc



O p o n e n t n í p o s u d e k

doktorské disertační práce Ing. Pavla Pěničky

„Sledování vlastností slitin zinku pro výrobu odlitků“

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

Školitel: prof. Ing. Iva Nová, CSc.

Předložená práce obsahuje 108 stran textu a přílohy. Je členěna do 7 kapitol.

Cílem disertační práce bylo sledování slévárenských a mechanických vlastností čistého zinku a slitin zinku pro výrobu odlitků.

V úvodní části práce se disertant věnuje možnostem uplatnění slitin zinku ve slévárenství – převážně v automobilovém průmyslu. *Je škoda, že se autor trochu detailněji nevěnoval slévárnám zinku v ČR a slitinám, které odlévají.* Na základě této studie by potom mohl lépe definovat a porovnat cíle své disertační práce. Doktorand publikoval jako autor a spoluautor 10 prací u nás i v zahraničí. Počet i kvalita publikací svědčí o aktivitě doktoranda při prezentování výsledků své práce, i když chybí publikace s impakt faktorem.

V této části je několik drobných překlepů (str. 9, 10). Používání výrazu fotky (str. 14, autoreferát). *Jasněji definovat bod 7 (str. 14).*

V kap. 2 se doktorand zabývá charakteristikou slitin zinku. *Chybí přehled slitin zinku používaných a odlévaných ve slévárnách ČR.*

Tab. 2.1 neobsahuje chemické složení (str. 18). Odkud byla čerpána tab. 2.4 (str. 20). Prudký pokles mechanických vlastností zinkových slitin při vyšších teplotách (str. 20) – odkud je to čerpáno? V kap. 2.2 – charakteristika technologických vlastností – Chvorinovův vztah pro výpočet ztuhlé tloušťky odlitku. *Na čem závisí konstanta tuhnutí k?. Porovnat slitiny z tab. 2.5 (str. 24) se slitinami běžně užívanými ve slévárnách zinku ČR.* V kap. 2.3 jsou podrobněji popsány změny při tuhnutí odlitku. *Možná by bylo dobré, kdyby disertant na závěr shrnul poznatky, které se týkají hlavně zinkových slitin.*

V kap. 3 disertant podrobně řeší termodynamické výpočty pro čistý zinek (Gibbsova energie, změny molární entropie, změna molární entalpie). Tato část je zpracována příkladným a vyčerpávajícím způsobem.

Kap. 4 řeší experimentální sledování vybraných slitin zinku. Disertant se zaměřil především na měření dilatačních vlastností, technologických – zabíhavost, mechanických, délkových změn v souvislosti s výší teploty ohřevem, metalografických vlastností. Využil všechny dostupné možnosti, které mu katedra umožňovala. Pro experiment použil čistý Zn a 4 slitiny. V první části (kap. 4.1) provádí měření dilatačních vlastností vybraných slitin zinku pro porovnání optického a mechanického měření. Je škoda, že optické kamery byly použity jen pro jeden experiment, protože by mohlo být lepší porovnání dilatačních křivek z obou měřících zařízení.

V kap. 4.2 je popsáno měření dilatačních vlastností vybraných slitin zinku ve formách, kde byl měněn materiál, který vytváří dutinu formy (tzv. příložky, které vymezují šířku dutiny). Jednak se o poměrně náročný experiment (125 měření, pro 1 typ slitiny zinku 25 měření).

Kromě vyhodnocení průměrné hodnoty byly hodnoty měření i jinak statisticky zpracovány?

Kap. 4.3 řeší problematiku zabíhavosti pomocí Curyho spirály. Výsledky zkoušek zabíhavosti by byly velmi zajímavé pro slévárny zinku, které tyto typy slitin používají.

Kap. 4.4 řeší mechanické zkoušky daných slitin zinku (tahem vrubovou houževnatostí, zkouška dle Brinella u vytvrditelné slitiny ZnAl14Cu3).

Kap. 4.5 řeší teplotní roztažnost vybraných slitin zinku. V kap. 4.6 provádí disertant metalografické hodnocení struktury daných materiálů pomocí světelného mikroskopu a optické kamery.

V kap. 5 provádí disertant podrobněji diskusi výsledků. Poukazuje na některé nesporné přednosti použití zinkových slitin ve slévárenství. Je škoda, že neporovnal získané vlastnosti z experimentálních měření se slitinami používanými ve slévárnách zinku v ČR.

Velmi zajímavý je poznatek, že zkoumané slitiny odolávají tvorbě trhlin při brzdném tuhnutí. ***Jaký názor má disertant na použití kovových chlazených a nechlazených forem.***

Závěr

Ing. Pavel Pěnička předložil k obhajobě práci, která svědčí o tom, že studovanou problematiku, kterou se u nás i v zahraničí zabývá poměrně malá skupina odborníků, zvládá z hlediska teoretického, tak i po experimentální stránce. Práce je rozčleněna a její výsledky dokazují, že Ing. Pěnička má dobré předpoklady pro další práci v tomto oboru.

Práce splňuje podmínky disertačního řízení podle zákona o vysokých školách a proto doporučuji, aby byla předložena komisi pro obhajoby doktorských prací Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci k obhajobě. Doporučuji, aby po obhájení této práce byl Ing. Pavlu Pěničkovi udělen titul **doktor (Ph.D.)** v oboru, ve kterém práci předložil

V Brně dne 6. 1. 2012


prof. Ing. Jaroslav Čech, CSc.