

## **Recenze**

### **Doktorské disertační práce Ing. Jiřího Machuty**

#### **„Sledování vlastností formovacích a jádrových směsí během jejich tepelného namáhání“**

**Studijní obor. 2303V002 Strojírenská technologie**

**Školitelka: Prof. Ing. Iva Nová, CSc**

**Recenzent: Doc. Ing. Antonín Mores, CSc**

### **ÚVOD**

Rozvoj slévárenství v posledních letech je spojen s prudkým nárůstem výroby odlitků ze slitin železa, především litiny s kuličkovým grafitem (LKG), litiny s lupínkovým grafitem (LLG) a hlavně výrobou odlitků ze slitin neželezných kovů (Al, Cu, Zn). Výrobu odlitků ze slitin Al v podstatě nesnížila ani celosvětová průmyslová krize.

Rozvoj výroby odlitků je spojen s velkými nároky na kvalitu odlitků při stále přísnějších ekologických požadavcích.

To vede k rozvoji nových formovacích a jádrových směsí, jádrové směsi dosud jsou v převládající míře vyráběny na základě organických pojiv. Tato pojiva u jádrových směsí a rovněž u samotvrdnoucích směsí dosud převládají, i když nyní se rozvíjí i oblast použití anorganických pojiv.

Všechna organická pojiva mají nepříjemnou vlastnost, že po odlití uvolňují plyny, což ovlivňuje kromě ovzduší hlavně jakost odlitků. Z těchto důvodů je velmi žádoucí sledování plynotvornosti a rovněž dilatační vlastnosti formovacích a jádrových směsí. Sledování plynotvornosti nám umožňuje v podstatě porovnávat různé pojivové systémy.

Na katedře strojírenské technologie TUL Liberec se těmito jevy již zabývají více roků a postupně zdokonalují zde vyvinuté přístroje ke sledování plynotvornosti a rovněž přístroje ke sledování dilatačních vlastností.

V úvodu své práce se disertant věnuje historii vývoje slévárenských směsí v Českých zemích, hlavně po roku 1945. Správně je zde poukázáno na počátky výroby systémem Croning, pojivo vodní sklo vytvrzené CO<sub>2</sub> ( vynálezce Petržela), vazné a polovazné směsi CT, použití fenolformaldehydových pryskyřic, vývoj skořepinových forem, olejová a škrobová pojiva, metodu výroby jader systémem COLD- BOX.

Pozornost věnuje disertant i vývoji CT směsí s různými ostřivy, což je spojeno s mnoha pokusy úspěšnými i méně úspěšnými hlavně z hlediska zlepšení rozpadavosti těchto směsí. Poslední desetiletí v našem i světovém slévárenství je věnována velká pozornost výrobě jader metodou COLD- BOX, která postupně, ale soustavně nahrazuje jádra vyráběná metodou HOT- BOX- viz otázka za textem.

V disertaci je správně poukázáno na skutečnost, že v současné době jsou intenzívně vyvíjena zdravotně nezávadná pojiva, mezi nimi hlavně anorganická geopolymerní pojiva a to nejen na jádra, ale hlavně pro formovací směsi.

V disertaci jsou velmi podrobně vysvětleny různé systémy formovacích a jádrových směsí, ale jsou zde opomenuty bentonitové formovací směsi. Tyto směsi způsobily největší rozmach světového slévárenství v letech 1945- 1955. Do této doby se formy sušily, nebo přisušovaly a to i u forem, které se vyráběly strojním formováním. Bentonitové směsi disertant opomenul asi z toho důvodu, že zaměření své práce věnoval hlavně problémům spojeným s jádrovými směsami, kde bentonitová jádra se používají poměrně zřídka. - viz otázka za textem.

## CÍL PRÁCE

Cíl práce je jasně stanoven- podle poznatků o pojivových systémech provést úpravy zařízení na měření plynatosti, provést kalibraci přístroje a hlavně systém připojení a vyhodnocování na počítači. Pro vytvoření metodiky měření plynatosti je nutné změřit vývin plynů různých formovacích a jádrových směsí. Podobné úpravy provést i na zařízení pro měření dilataci- průběhu rozměrových změn. Cílem práce bylo rovněž po provedených fyzikálně chemických výpočtech porovnat výsledky experimentů s teoretickými předpoklady a těmito výpočty.

Kapitola „Charakteristika formovacích a jádrových směsí“ je velmi pěkně, až učebnicově zpracována. Velkou pozornost věnoval disertant ostřivu, protože i jemné podíly ostřiva při tepelném zatížení se mohou rozkládat a tím i částečně přispívat k plynotvornosti směsi. Přeměna beta křemene v ostřivu v alfa křemen se projevuje roztažností křemenných zrn při ohřevu povrchových vrstev formy- viz otázka za textem.

K odstavcům o kaolinitických a illitických jílech bych chtěl poznamenat, že sušené formy se již v České republice nepoužívají. Tyto jíly se však nadále využívají u různých dusacích hmot pecí, u žáruvzdorných výmazků pánví, žíhacích pecí atd., kde se rovněž využívají nejen křemenné, ale i magnezitové, lupkové i jiné druhy ostřiv.

Ké kapitole o pojivových systémech samotvrdnoucích (samotuhnoucích) směsí s vodním sklem, která je velmi dobře zpracována, bych dodal, že tyto systémy jsou ve slévárnách oceli používány s 5% bentonitu. Tato samotuhnoucí směs pak umožňuje odlévat v podstatě „na syrovo“ i odlitky o hmotnostech 5000 kg. Je zajímavé, že vynálezce systému vodní sklo + C02 (dr. Petržela), byl zásadním odpůrcem těchto směsí- viz otázka za textem

Rešeršní zpracování tepelných procesů ve slévárenských formách je přehledné, se zjevným zaměřením k vlivům, které ovlivňují plynotvornost formovacích a jádrových směsí.

Správně jsou zde zdůrazněny způsoby vzniku plynů u formovacích a jádrových směsí: to je vypařování vody, spalování organických látek, tepelný rozklad organických látek a tepelný rozklad minerálů. Rovněž dobře a přehledně je zpracována kapitola o kondenzační zóně při tepelném ovlivnění směsí s vodou, vysvětlení zde uvedené odpovídá bentonitovým směsím s křemenným ostřivem.

Na str. 63- 65 jsou popsány a kriticky zhodnoceny možné způsoby měření plynotvornosti jednotlivých směsí a to možnosti laboratorní a ty, které lze provádět provozně včetně poukázání na přednosti a nedostatky. Disertant podrobně popsal měření plynotvornosti nepřímé- laboratorní.

Podobný kritický rozbor byl proveden i pro metody sledování dilatačních vlastností.

Výpočtové metody při sledování tepelného zatížení slévárenských forem a jader byly zaměřeny na stanovení hodnot Gibbsovy energie. Jedná se o složitou záležitost, kdy je nutné vzít v úvahu entalpii, změnu molární tepelné kapacity, entropii atd.

## VIASŤNÍ MĚŘENÍ

Disertant pro zjištění plynovornosti zvolil měřicí zařízení, které bylo propojeno s počítačem, který umožnil grafickou interpretaci zjištěných závislostí a sice objemy uvolněných plynů v závislosti na čase, na teplotě, teplotě v peci atd. Tlak plynů pak byl převodníkem registrován jako elektrická veličina a sice na hodnotu elektrického napětí. Signály zaznamenaly změny tlaku a teploty, zařízení umožnilo měření vývinu plynů do teploty 1300°C.

V dalších kapitolách je přesně popsán způsob kalibrace přístroje a metodika přípravy vzorků pro sledování plynovornosti, která byly sledována u sypkých směsí i u vyrobených malých vzorků jader. Všechny experimenty byly prováděny pro teploty 800, 1000, 1300°C.

### I. etapa experimentů

Zde byly značně ztížené situace se vzorky, neboť některé směsi jsou již dodány hotové slévarenskými obchodními společnostmi, aniž by sdělily jejich složení. K této etapě mám připomínku, že u vzorků získaných přímo ze sléváren lze zjistit jejich složení. Výsledky potvrdily teoretický předpoklad, že největší vývin plynů je u směsí s pryskyřičným pojivem, nejlepší se jeví směsi s vodním sklem.- viz dotaz za textem.

### II. etapa experimentů

Směsi v této etapě jsou již přesně definovány a to z hlediska množství pojiva, které sice bylo u vzorků shodné, ale směsi se podstatně+ lišily střední velikostí zrna d50- viz dotaz za textem

### III. etapa experimentů

V této etapě jsou prověřovány vzorky směsí, které se používají pro výrobu odlitků z barevných kovů. U bentonitových směsí nejsou zde uvedeny výchozí obsahy vody. Názor oponenta je, že „černá“ formovací bentonitová směs, která vykazala největší plynovornost, určitě měla největší výchozí obsah vody- ta se v menších slévárnách do „černé“, v podstatě oběhové směsi, přidává v poměrně velkém množství s mylnou představou, že se tím ušetří bentonitové pojivo (čili, že voda zvýší vaznost bez přidání jílu)

### IV etapa experimentů

Zde se posuzovaly sádrové směsi, což je poměrně zvláštní obor. Oponent s těmito směšemi nemá zkušenosti- je však známo, že zde kromě ztvrdnutí působí i ztráta vody odpařením

Zkoušky dilatace jsou velmi zajímavé, ale musí se vždy dělat na pevném kompaktním vzorku. Disertant prakticky u všech vzorků dokázal, že největší dilatace jsou hned na počátku měření, směsi s rozptyly středního zrna mají menší hodnoty dilatace, s kulatým ostřivem větší hodnoty dilatace.

K výsledkům dilatací bych poznamenal, že sice je rozdíl v průběhu dilatací podle ohřevu, buď postupného, nebo šokového- obecně ale pryskyřičná jádra slévači považují za bezpečná z hlediska např. trhlin na odlitcích- neboť brzo po odlití dochází k jejich destrukci spálením a tím rozpadem pojiva- viz otázka za textem.

Lze nějak vysvětlit rozdíl mezi průběhem dilatací na čase pryskyřic – obr. 6-12 a 6-13 (zde je to logické, neboť pryskyřice se „zbortí“). Prudký pokles dilatací je rovněž u vzorků se sádrou, např. obr. 6-14 a 6-16- jaký je princip této „destrukce“ ?

Za mimořádně pracné a za velmi pečlivě provedené, je možno považovat statě o výpočtu součinitele teplotní dilatace- tabulkové uspořádání svědčí o velké pečlivosti disertanta.

## ZÁVĚR

Závěrem je nutno konstatovat, že disertant dokázal problematiku plynovtornosti směsí nejen experimentálně sledovat, ale i vyhodnotit. Kromě ostřiva totiž formovací a jádrové směsi obsahují další látky, u kterých dochází při tepelných zatíženích k rozkladu a tím i k tvorbě uvolňovaných plynů. Výsledky dokázaly největší plynovtornost organických pryskyřičných pojiv, nejmenší plynovtornost je u směsí s vodním sklem. Oponent připomíná, že tyto směsi jsou považovány za „chladící“.

U dilatačních zkoušek disertant dokázal závislost dilatací na zrnitosti křemenného ostřiva- u větších rozptýlů středního zrna je menší dilatace, což platí i ostrohranné ostřivo. Větší dilatace byly zjištěny u kulatých ostřiv. Za cenné zjištění je nutno považovat současný okamžik začátku vývinu plynů s rozměrovými změnami- což je doba zásadní pro dobrou kvalitu vyráběných odlitek

Práce je vypracována velmi pečlivě a jistě experimenty byly mimořádně náročné z hlediska časového a z hlediska vyhodnocování.

Přesto malé upozornění, neboť oponent předpokládá, že disertant bude pokračovat v dalších náročných experimentech. Je nutné pečlivěji uvést a citovat literární prameny. Odkaz /43/ jistě není první jméno Hanal S, ale dlouholetý rektor ČVUT Hanzl S., odkaz //51/ je jistě Dlezek J, odkaz /47/ Máca. Citace /1/na straně 28- viz 3-5 řádek je nesprávně a nelogicky uvedena a věta ztrácí smysl.

### Doplňující otázky:

- zdůvodněte, proč směsi HOT- Box jsou v posledním desetiletí systematicky nahrazovány směsmi COLD- BOX, částečně to je vidět na tabulce na str. 17
- bentonitové formovací směsi, vlastnosti bentonitu, bentonitové směsi pro ocelové odlitky, pro odlitky z LLG a z LKG z hlediska přísad- zdůvodnění
- vysvětlíte vznik záclupů na odlitcích při použití křemenných ostřiv a vliv kondenzační zóny
- vysvětlíte rozdíl ve ztužení systému vodní sklo- CO2 a systému vodní sklo + bentonit
- proč téměř vymizela jádra s olejovými pojivy ?
- jaká doporučujete ostřiva dle d50 pro ocelové odlitky, odlitky z LLG, z LKG, ze slitin hliníku?
- CT klasická jádra považujeme za „chladící“ jádra z hlediska technologie (účinnost je ale menší než u klasických vnějších chladítek). Naopak pryskyřičná jádra jsou vždy považována za jádra „vyhřívající“, čili zvyšují nutnost nálitkování- vysvětlíte úvahou
- vysvětlíte rozdíl pryskyřičných pojiv u metody CRONING a HOT- BOX- jaký bude asi rozdíl v plynovtornosti ?

**Závěrem je nutné velmi ocenit, jak disertant řešil tento mimořádně obtížný úkol se mnoha obtížnými experimenty hlavně v oblasti plynovtornosti směsí, které závisely na více faktorech. Bylo provedeno i množství výpočtů a velmi pečlivé a podrobné vyhodnocení výsledků.**

**Doktorand ve své práci dokázal, 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 předložena**

V Praze 17.11.2010

Doc. Ing. Antonín Mores, CSc

## Oponentský posudek doktorské disertační práce

**Název práce:** Sledování vlastností formovacích a jádrových směsí během jejich tepelného namáhání

**Autor práce:** Ing. Jiří Machuta

Autor předložené disertační práce řeší problematiku tepelného ovlivnění forem a jader z různých typů pískových formovacích směsí s prakticky celou škálou pojiv se zaměřením na měření množství uvolněných plynů v čase a tepelné dilatace při tepelném namáhání. Velkým kladem práce je při využití nepřímé metody měření plynotvornosti vytvoření přesné metodiky měření plynotvornosti na malých vzorcích z formovacích a jádrových směsí. To samé platí při tvoření metodiky při měření dilatace u vybraných slévárenských a jádrových směsí. V této části svého posudku bych vyzdvihl širší znalosti studenta z elektrotechniky, programování a mikroelektroniky, pomocí kterých mohl samostatně provést renovaci měřicího zařízení, nastavit ovládací program zařízení a celé zařízení pro měření plynotvornosti zkalibrovat. Tímto student projevil nejenom praktické dovednosti, ale také širší teoretické znalosti z několika vědních oblastí.

Celkově má předložená disertační práce 167 stran a 26 příloh (v samostatné vazbě) s chronologickým dělením na rešeršní, teoretickou a experimentální část, diskuze výsledků a závěr. V rešeršní části bych vyzdvihl chronologicky zpracovanou historii vývoje slévárenských směsí v českých zemích. V teoretické části je především vhodně zvolená část o výpočtech uvolněných plynů pro sledované chemické reakce, které je pak možné porovnat se získanými výsledky měření plynotvornosti v části „diskuze výsledků“. Samotná experimentální část pozůstává ze dvou samostatných částí, a to „experimentální měření plynotvornosti“ a „experimentální měření dilatace“. Každá ze jmenovaných částí má tak rozsáhlý počet experimentů, že by mohly tvořit dvě samostatné doktorské práce. Cíle řešení doktorské práce formulované v úvodu této práce jsou zvoleny správně, pokrývají celou uvedenou problematiku a byly splněny v celém rozsahu. Student prokázal hluboké teoretické znalosti z dané oblasti, ovládá vědecké metody zkoumání a přináší nové poznatky v daném oboru v oblasti plynotvornosti a dilatace formovacích a jádrových směsí v důsledku jejich tepelného zatížení.

Přínos této doktorské práce v daném vědním oboru spatřuji v několika oblastech, a to zejména:

- Velké množství výsledků měření plynotvornosti (přes 680 experimentů) z pískových směsí s celou škálou pojiv (pryskyřice, vodní sklo, Novanol, Ecolotec, organické pojiva, sádra atd.).

- Konfrontace získaných výsledků měření plynotvornosti s teoretickými předpoklady a výpočty.
- Vytvoření určité standardizované nepřímé metodiky pro měření plynotvornosti formovacích a jádrových směsí.
- Vytvoření určité standardizované nepřímé metodiky pro měření dilatace formovacích a jádrových směsí.

K práci mám pouze několik poznámek a doporučení:

- Cíle disertační práce bych doporučil uvést hned po „Anotaci“ jako samostatnou kapitolu.
- Několik překlepů a gramatických chyb, např. str. 121, 6. řádek zdola – „povivo“ (správně „pojivo“), str. 145, 10. řádek zdola – „plynotvornost“ (správně „plynotvornost“).

K předložené práci mám následující dvě otázky:

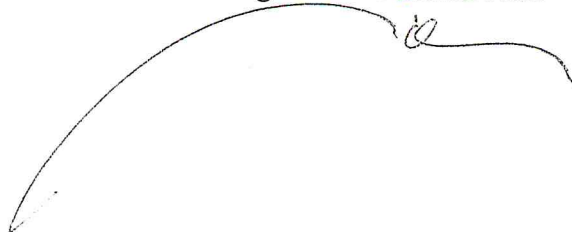
1. Jakým způsobem byla zabezpečena homogenita malých 1g vzorků?
2. Proč byly měřeny hodnoty plynotvornosti při teplotách 800 °C, 1000 °C a 1200 °C?

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

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

V Ústí nad Labem 15. 11. 2010

Doc. Ing. Štefan Michna Ph.D



## O p o n e n t n í   p o s u d e k

**doktorské disertační práce Ing. Jiřího Machuty**  
**„Sledování vlastností formovacích a jádrových směsí během jejich tepelného namáhání“**

Školitel:      prof. Ing. Iva Nová, CSc.  
Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní

Studijní obor: 2303V002 – Strojírenská technologie

Disertační práce řeší problematiku měření vlastností formovacích a jádrových slévárenských směsí během jejich tepelného namáhání především plynotvornost a rozměrovou dilataci.

Práce má 166 stran textu a 25 příloh. Disertant publikoval 13 prací souvisejících s tématem převážně v angličtině u nás i v zahraničí.

V úvodu (kap. 1.1.) se zabývá historií vývoje slévárenských směsí v českých zemích. Chronologicky a přehledně zmapoval postupný vývoj. Je na škodu, že se dopustil některých chyb v textu (nepřesně uvedená jména autorů, překlepy ap.).

Kap. 1.2. řeší hlavní cíle doktorské práce

- důsledky tepelného ovlivnění forem a jader z pískových formovacích směsí
- fyzikálně-chemické výpočty pro reakce, které probíhají během tepelného namáhání forem a jader
- úpravy a kalibrace zařízení pro měření plynotvornosti, dilatace
- vlastní experimentální měření, statistické zpracování
- porovnání s teoretickými předpoklady a závěry

Kap. 2. řeší otázky spojené s charakteristikou formovacích a jádrových směsí, kde disertant vychází především z dostupné literatury. Je opět na škodu, že se zde vyskytuje řada nepřesností v textu. Lepší přečtení konečné verze práce by určitě přispělo k odstranění těchto nedostatků.

V kap. 3. se disertant zabývá důsledky tepelných procesů ve slévárenských formách. Vychází opět z dostupné literatury. V seznamu použitých zkratk a symbolů chybí některé symboly, např.  $\beta$ ,  $\alpha$ .

Kap. 3.2. řeší mechanismus vzniku a vývinu plynů a par v pískových formách. Definuje také hlavní příčiny vzniku plynů ve formách. Zabývá se způsoby vzniku plynů, reakcemi vzniklými při spalování, vznikem kondenzační zóny.

V kap. 3.3. „Metody sledování plynotvornosti a dilatačních vlastností forem a jader“ zpracovává disertant dostupné metody z literatury i praxe a porovnává je s dilatometry na TU Liberec.

Kap. 4. se zabývá výpočtovými metodami při sledování tepelného zatížení slévárenských forem a jader. Disertant provedl dva typy výpočtů. První se týká typu reakce, která nejvíce vykazuje množství plynné látky a přispívá k plynotvornosti. Druhý typ výpočtů stanovuje Gibbsovu energii pro stejné typy reakcí jako v prvním případě pro reakce přispívající k tvorbě plynů během tepelného namáhání pískových slévárenských forem a jader.

Kap. 5. řeší experimentální měření plynotvornosti. K měření bylo využito zařízení, které bylo navrženo a sestrojeno na katedře strojírenské technologie FS TU v Liberci. Disertant se úspěšně v průběhu experimentů vypořádal s renovací a kalibrací měřicího zařízení.

V kap. 5.2. str. 87 hovoří o experimentu c, ale neuvádí jej.

Kap. 5.3. se zabývá sledováním vybraných formovacích a jádrových směsí v závislosti na čase. Experimenty disertant rozdělil do čtyř etap dle typu směsí. Jednalo se o náročná měření, celkem bylo provedeno 1010 úspěšných experimentů. Plynotvornost u sypkých komplexních směsí byla prováděna při teplotě 1000 °C, u jádrových směsí při teplotě 800 °C, 1000 °C, 1200 °C ve stavu před vytvrzením a při vytvrzení.

#### *Jak prováděl disertant statistické zpracování výsledků měření?*

Kap. 6. Experimentální měření dilatací. V této části práce se disertant zabýval teplotní dilatací kompaktně připravených formovacích a jádrových směsí. Experimenty rozdělil do 2 skupin

- ohřev tepelným šokem (800 °C – 1000 °C)
- postupný ohřev (1000 °C)

Součástí bylo i zjištění hodnot součinitele teplotní roztažnosti v různých teplotních intervalech (kap. 6.5.).

V kap. 7. provádí disertant diskusi výsledků.

Disertant věnoval práci náležitou pozornost, nemám k ní zásadní negativní připomínky, k obhajobě vznáším několik otázek.

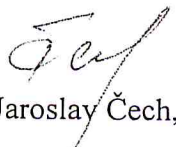
- 1. Jakým způsobem závisí napětí ve formách nebo jádrech na teplotní roztažnosti?*
- 2. Jaké veličiny a jakým způsobem se podílejí na vzniku plynových bublin v odlitcích?*
- 3. Jak hodnotíte souvislosti mezi plynotvorností a dilatací vybraných směsí?*
- 4. Jak byste si představoval uplatnění výsledků měření plynotvornosti a dilatace v praxi?*

Ing. Jiří Machuta předložil k obhajobě práci, která svědčí o tom, že ovládá problematiku svého oboru jak z hlediska teoretického základu tak i po praktické stránce. Po odborné stránce odpovídá disertační práce současnému rozvoji vědy a techniky, je logicky členěna a její systematickostí ukázala na dobré schopnosti autora pro další vědeckou práci.

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.

Po úspěšné obhajobě doporučuji, aby mu byl udělen titul doktor (Ph.D.) v oboru, ve kterém tuto práci předložil.

V Brně 5. 11. 2010

  
prof. Ing. Jaroslav Čech, CSc.