

Disertační práce: Ing. Irena Kubelková

Doktorský studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Strojírenská technologie

Fakulta strojní ČVUT v Praze, Ústav strojírenské technologie

Disertační práce řeší možnosti využití numerické simulace pro predikci chování vstříkovaných voskových modelů lopatek plynových turbín. **V současné době se jedná o vysoce aktuální téma.** S provozem moderních plynových turbín, kde lopatky jsou vyráběné z těžko obrobitelných superslitin, se zvyšuje potřeba lopatek vyráběných přesným litím. **Pro dosažení požadované přesnosti odlitků lopatek je stěžejní dosažení přesnosti již voskového modelu, což je podstatou této práce.**

Vlastní cíl disertační práce je v práci uveden v kap. 4 a navazuje na velmi přehledně zpracovaný úvod do problematiky přesného lití, popisu voskových směsí a jejich zkoušení a rozbor současných možností využití numerické simulace pro vstříkování voskových směsí. **Práce si klade za cíl, po zjištění materiálových dat voskových směsí, na numerickém simulačním programu provést simulaci vstříkování konkrétního dílu lopatky plynové turbíny, přičemž by výstupy ze simulace byly verifikovány s modely vyrobenými reálným výrobním procesem.**

Pro vyřešení vytyčeného cíle bylo nutno řešit tuto zásadní problematiku:

- pro vstříkování vosků v současnosti neexistuje simulační program, který by byl navržený přímo pro tento účel
- není k dispozici materiálová databáze s potřebnými údaji o vstříkovaných voskových směsích.

Podle dosavadních zkušeností byl pro další zkoumání zvolen software Cadmould. Ten byl vyvinut pro vstříkování plastických hmot, které se nejvíce svými vlastnostmi podobají voskovým směsím a obsahuje nejvíce využitelných modulů pro danou aplikaci.

Disertační práce je napsána v předepsaném rozsahu, zahrnujícím 145 textových, obrázkových a tabulkových stran. Přehled citované literatury uvádí 49 titulů. Hodnotná a rozsáhlá je citovaná literatura vlastní publikační činnosti k tématu disertační práce s 16 tituly a další publikační činnost se 14 tituly.

Členění disertační práce je standardní. Teoretická část práce, spolu s literárními rešeršemi, zaujímá úvodní 3 kapitoly. Navazující čtvrtá kapitola definuje základní cíl práce, dále rozdělený do šesti dílčích cílů, směřujících ke zdárnému splnění celkového cíle práce. V 5. kapitole na str. 37 začíná vlastní experimentální část práce. Každá experimentální činnost je uvedena úplným popisem, který umožňuje experiment kdykoli a kýmkoliv zopakovat.

Předmětem zkoumání v experimentální části disertační práce je voskový model lopatky stacionární plynové turbíny. Jedná se lopatku délky 400 mm, šířky 133 mm a hmotnosti 3,83 kg, odlévanou ze superslitiny na bázi niklu, označovanou MAR M 247. Důvodem pro výběr tohoto dílu byly značné rozdíly v tloušťkách stěn, které při tuhnutí způsobují výrazné deformace modelu. Vzhledem ke značným výrobním a časovým nákladům na zhotovení formy pro vstříkolis, je model lopatky ideálním příkladem pro praktické a efektivní využití numerické simulace. Zkoumaná lopatka se vyrábí z panenské plněné voskové směsi společnosti Remet.

Obchodní název je Hyfill B478. Druhý vosk, které se pro výrobu modelu používá a je podroben zkoumání, je rekonstituovaný vosk Hyfill B478. Jeho vlastnosti by se měly po rekonstituci přibližovat vlastnostem panenského vosku. Sumarizace experimentálních dat, získaných v chronologickém pořadí podle postupu experimentů, ukazuje na velký objem provedených prací. **Na základě provedených zkoušek voskových směsí a výsledků experimentální výroby lopatek byly definované vstupní parametry pro provedení simulace voskového modelu lopatky.** Procesní parametry simulace byly definovány na základě reálného vstřikovacího procesu voskových lopatek. Po naimportování materiálových dat byla proveden numerická simulace a verifikována s výsledky ze 3D skenovacího měření lopatky z reálného výrobního procesu. **Tím byl cíl práce splněn.**

V předložené práci byla rovněž značná pozornost věnována posouzení vhodnosti panenského a rekonstituovaného vosku na výrobu voskových modelů předmětné lopatky stacionární plynové turbíny. Jde o závažnou problematiku s ohledem na rozdílnou cenovou úroveň těchto vosků. Cena panenského vosku Remet Hyfill B478 je 429 Kč/kg, cena rekonstituovaného vosku je třetinová. Z obou typů vosků byly vylisovány za stejných procesních parametrů voskové modely lopatek a vyhodnoceny jejich rozměry. **Závěr tohoto vývoje potvrdil vhodnost používání pro takto náročnou výrobu sice dražší, ale provozně jistější panenský vosk.**

Po detailním prostudování této práce uvádím:

- tematika této práce je velice aktuální
- v práci je velice podrobně rozebrán současný stav řešené problematiky
- stanovené cíle řešení byly splněné
- výsledky práce podstatně rozšiřují dosavadní teoretické znalosti v daném oboru
- v práci byly použité vhodné metody řešení dané problematiky a tyto metody vedly k vyřešení cíle práce
- **velice oceňuji praktický přínos této disertační práce.** Výsledky lze plně využít při lisování voskových modelů daného typu lopaty v PBS Velká Bíteš.
- Doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru
- Formální úroveň práce je velice dobrá

Předložená práce dává ucelený pohled na problematiku zabezpečení rozměrové přesnosti voskových modelů se zaměřením na velice náročné odlitky, používané pro žárové části stacionárních plynových turbín. **V průběhu řešení byly získány velice rozsáhlé a cenné informace,** tyto výsledky byly vyhodnoceny a závěrem bylo doporučeno technologické opatření, vedoucí k řešení výroby potřebných voskových modelů, s požadovanou rozměrovou přesností.

Po podrobném prostudování výsledků této práce konstatuji, že se jedná o velice zdařilou práci. Je přínosem v tomto oboru a má svoji praktickou využitelnost. Dosažené výsledky byly realizovány ve slévárně První brněnské strojírně Velká Bíteš a lze je s určitou obměnou použít i při řešení problematiky přesného lití i v jiných slévárnách přesného lití.

#### **Otázky k diskuzi:**

K vlastní obhajobě této disertační práce mám následující dotazy:

1. Z jakého důvodu se tak výrazně liší výsledky 3D scannu jednotlivých lopatek?
2. Proč modely lopatek z panenského a rekonstituovaného vosku vykazují rozdílné deformace?
3. Jaké jsou skutečné deformace hotového odlitku vyrobeného ze zkoumaných voskových lopatek?

4. Jaký je efekt zachlazování voskových modelů a proč má zachlazování modelů tak významný vliv na tvarovou přesnost modelů?

**Závěr:**

Předložená disertační práce splňuje všechny požadavky kladené na tento typ prací, doporučuji proto přijmout ji jako podklad k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit paní Ing. Ireně Kubelkové vědeckou hodnost Ph. D. v daném oboru.

Prof. Ing. Karel Hrbáček, DrSc.

V Brně 29.3.2019