

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava

číslo 2, rok 2009, ročník LII, řada hutnická

článek č. 1469

## OPTIMALIZÁCIA ROZVÁDZACIEHO KANÁLA PRI ODLIEVANÍ HLINÍKOVÝCH ZLIATIN

### RUNNER OPTIMALIZATION FOR POURING ALUMINIUM CASTINGS

M. BRŮNA<sup>1</sup>, D. BOLIBRUCHOVÁ<sup>2</sup>, A. SLÁDEK<sup>3</sup>

#### ABSTRAKT:

Hlavným cieľom práce je snaha zlepšiť výslednú kvalitu hliníkových odliatkov odlievaných do pieskových foriem pomocou funkcie simulačného softvéru ProCAST - „front tracking indicator“. Práca je zameraná na optimalizáciu rozvádzacieho kanála tak, aby došlo k zaplneniu dutiny formy s minimálnym znehodnotením taveniny vplyvom oxidických blán a turbulentného prúdenia. K vizualizácii bola použitá nová funkcia programu ProCAST, umožňujúca sledovať v reálnom čase plochu hladiny taveniny vystavenej pôsobeniu vzduchu.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** prúdenie, reoxidácia, rozvádzací kanál

#### ABSTRACT:

Main goal of this article is the effort to improve the quality of aluminium castings poured into sand mould, with the aid by „front tracking indicator“ – new function of simulation software ProCAST. Works are focused on optimization of runner design, thus the mold cavity is filled with minimal devaluation of melt by turbulent flow and entrained oxide films. ProCASTs new function was used to visualize the process, this new function allows to track free surface of melt exposed to air in real time.

**KEYWORDS:** flow, reoxidation, runner

## 1 ÚVOD

Riešenie problémov týkajúcich sa prúdenia taveniny vo vtokovej sústave nie vždy venuje dostatočnú pozornosť zachytávaniu a strhávaniu vzduchu v prúde taveniny. Pri nevhodne navrhutej sústave dochádza k zachytávaniu vzduchových bublín v objeme taveniny. Tavenina, ktorá je v styku s bublinami vzduchu vo vtokovej sústave sa správa rovnako, ako tavenina vystavená vzduchu v predchádzajúcich etapách odlievania, tzn. dochádza k okamžitej oxidácii (reoxidácii), ktorá môže byť hlavným zdrojom pórovitosti odliatku.

Jednou z možností, ako skúmať deje prebiehajúce vo vtokovej sústave je počítačová simulácia procesu plnenia zlievarenskej formy taveninou. Spočiatku bola táto vedná disciplína nepresná a v praxi mala obmedzené využitie. Postupom času vznikajú nové metódy a nové programy, ktoré počítačovú simuláciu približujú k realite. V predchádzajúcich rokoch možno pozorovať nárast popularity skúmania dejov vo vtokovej sústave pomocou simulačných programov, ale v oblasti

<sup>1</sup> Ing. Marek Brůna – Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

<sup>2</sup> doc. Ing. Dana Bolibruchová, PhD – Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

<sup>3</sup> prof. Ing. Augustín Sládek, PhD – Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

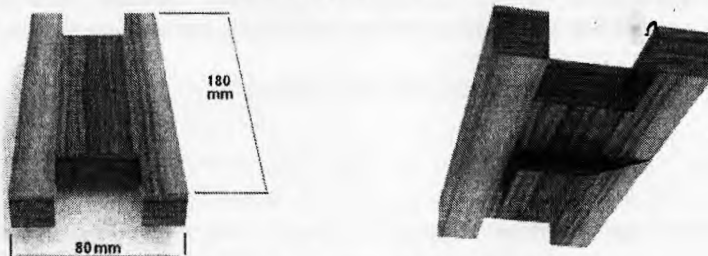
skúmania reoxidácie boli obmedzené možnosti. Nový smer v pozorovaní reoxidačných dejov by mohla ukázať najnovšia verzia simulačného softvéru ProCAST. Spomínaný softvér disponuje funkciou „front tracking indicator“, ktorá umožňuje počas plnenia formy sledovať v reálnom čase plochu hladiny taveniny vystavenej pôsobeniu vzduchu (priamo úmernej reoxidácii). Pomocou tejto funkcie a možnosti vizualizácie, je možné čiastočne priblížiť reoxidačné deje prebiehajúce vo vtokových sústavách, ako aj distribúciu oxidov vo finálnom odliatku a tým priblížiť optimálny návrh vtokovej sústavy.

Predkladaná práca je súčasťou komplexu experimentálnych prác súvisiacich s reoxidáciou hliníkových zliatin.

## 2 METODIKA EXPERIMENTOV

Vplyv geometrie horizontálneho rozvádzacieho kanála na prúdenie taveniny a reoxidačné procesy pri gravitačnom liatí do pieskovej formy bol pozorovaný pomocou už spomínanej funkcie simulačného programu ProCAST – „front tracking indicator“.

Virtuálny geometrický model navrhnutý pre simulácie bol koncipovaný tak, aby umožňoval jednoduché pozorovanie rozmiestnenia oxidických blán (Obr.1).



Obr. 1 – Geometria odliatku.

Pre účely všetkých simulácií bola uvažovaná hliníková zliatina AlSi7Mg0,3. Pre posúdenie vplyvu geometrie rozvádzacieho kanála na charakter prúdenia, boli vo všetkých vykonaných experimentoch a simuláciách použité identické zárezy, ako aj vtokový kanál, zároveň bola vždy dodržaná podmienka podtlakovej sústavy s pomerom prierezu 1:4:4 a doba plnenia 4 sekundy. Po výpočte určujúceho prierezu boli odvodené rozmery jednotlivých častí vtokovej sústavy:

Plocha vtokového kanála –  $93 \text{ mm}^2$

Plocha rozvádzacieho kanála –  $372 \text{ mm}^2$

Plocha zárezu –  $372 \text{ mm}^2$

## 3 VÝSLEDKY EXPERIMENTOV

Boli zostrojené 3 varianty vtokového kanála s rovnakou plochou prierezu, ale s rozdielnou geometriou. Pri hodnotení výsledkov simulácií bola pozornosť zameraná na štyri oblasti:

- Priebeh plnenia na začiatku rozvádzacieho kanála.
- Priebeh plnenia na konci rozvádzacieho kanála.
- Rýchlosť taveniny pri vstupe do dutiny odliatku (podmienka podkritickej rýchlosti  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bola dodržaná vo všetkých návrhoch a preto nebude ďalej spomínaná).
- Kontaminácie odliatku „novými“ oxidickými blanami (na tvorbu pórovitosti v odliatkoch majú dominantný vplyv práve „nové“ oxidické blany a program nemá možnosť určiť množstvo tzv. „starých“ oxidov, vznikutých v predchádzajúcich etapách spracovania taveniny). Kvôli obmedzenému rozsahu článku budú výsledky a vizualizácia predmetom prednášky.

## 1 VARIANT

### NÁVRH GEOMETRIE

Prvý návrh vychádzal z často používaného konceptu vtokového kanála, kde dominantným rozmerom je výška. Veľké množstvo v praxi aplikovaných rozvádzacích kanálov má pomer strán výšky ku šírke až 2:1. Pre účely pozorovania princípu prebiehajúcich dejov je dostačujúci aj menší pomer strán. Zvolený bol rozvádzací kanál s pomerom výšky ku šírke 1,7 : 1 (25 mm : 15 mm).

Plnenie v oblasti začiatku rozvádzacieho kanála je znázornené na **Obr.2**. Z obrázku vyplývajú nedostatky tejto koncepcie. Tekutý kov po vstupe do vtokového kanála nemá schopnosť zaplniť celý jeho prierez, tým pádom je nadmerné množstvo taveniny vystavené vzduchu, čo zvyšuje mieru prebiehajúcich reoxidačných procesov. Tento fakt znázorňuje aj postupná zmena farby na čele taveniny (fialová – znázorňuje plochu najmenej vystavenú pôsobeniu vzduchu násobenú časom, postupne modrá, zelená, žltá až červená predstavujú oblasti taveniny v dlhšom styku so vzduchom). Tavenina reaguje so vzduchom za vzniku oxidických blán, ktoré vnikajú do ďalších častí vtokovej sústavy.



**Obr. 2** – Plnenie v oblasti začiatku rozvádzacieho kanála.

Plnenie na konci rozvádzacieho kanála je znázornené na **Obr.3**. Veľká výška rozvádzacieho kanála dáva priestor na formovanie odrazovej vlny. Jedná sa o veľmi negatívny jav, ktorý spôsobuje strhávanie povrchových oxidických blán („starých“, aj „nových“, ktoré mali možnosť vzniknúť nesprávnym nadimenzovaním rozvádzacieho kanála) do vnútorného objemu taveniny. Tento mechanizmus strhávania podporuje tvorbu ponorených dvojitéch blán, ktoré sú častou príčinou pórovitosti odliatkov. Podľa žltej farby na čele vlny možno konštatovať, že sa v nej nachádza vysoký obsah oxidov, ktoré sú po náraze s protichodnou taveninou pohltené do vnútorného objemu taveniny.



**Obr. 3** – Plnenie na konci rozvádzacieho kanála.

Kontaminácia odliatku „novými“ oxidickými blanami - Funkcia „front tracking indicator“ bola v našom prípade použitá ako nástroj na porovnanie miery reoxidácie s ostatnými návrhmi vtokového kanála a nie ako nástroj na presné určenie množstva oxidov v odliatku. Z toho dôvodu, závery a hodnotenia ohľadom miery reoxidačných procesov bude možno vyvodiť až po porovnaní všetkých simulovaných návrhov. Už teraz je možné konštatovať že:

1. Vplyvom predĺženia rozvádzacieho kanála sa podarilo zabrániť vniknutiu určité množstva oxidov do odliatku.
2. Najväčšia koncentrácia oxidov je v pravom hornom rohu sledovaného odliatku.

## 2 VARIANT

### NÁVRH GEOMETRIE

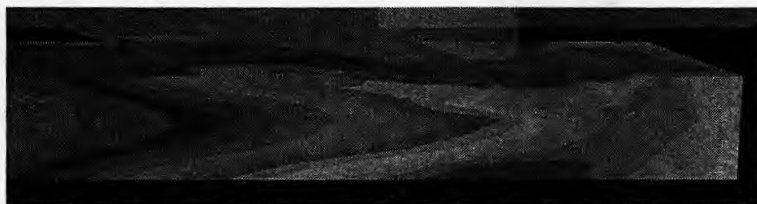
Druhý návrh vychádzal z konceptu, kde dominantným rozmerom je šírka. Pozorovala sa zmena správania postupujúcej taveniny počas plnenia a plocha vystavená pôsobeniu vzduchu. Bol zvolený rozvádzací kanál s pomerom výšky ku šírke 1 : 2,1 (13 mm : 28 mm).

Plnenie v oblasti začiatku rozvádzacieho kanála – Z **Obr.4** je zrejmé, že zmenou geometrie tavenina po vstupe do rozvádzacieho kanála zaplní väčšiu časť prierezu, ale bezprostredne za vyustením vtokového kanála možno pozorovať kontrakciu prúdu. Dôsledkom je odtrhnutie prúdu taveniny od stien formy a vznik oblasti s podtlakom. V tomto mieste dochádza k intenzívnemu premiešavaniu nasávaného vzduchu s taveninou, sprevádzané reoxidačnými procesmi. Ďalším zisteným negatívnym javom, ktorý zanecháva stred rozvádzacieho kanála relatívne prázdny je formácia dvoch vedľajších prúdov po stranách rozvádzacieho kanála. V tejto oblasti so zníženým tlakom môže dochádzať k reoxidačným procesom, čo naznačuje aj farba taveniny na obrázku.



**Obr. 4** – Plnenie v oblasti začiatku rozvádzacieho kanála.

Plnenie na konci rozvádzacieho kanála – Znížením rozvádzacieho kanála tavenina nemá dostatočný priestor na tvorbu odrazovej vlny (**Obr.5**). Potlačené sú do určitej miery turbulencie a strhávanie oxidických blán. Možno pozorovať, že vplyvom kontrakcie prúdu a vznikom dvoch vedľajších prúdov taveniny je na konci rozvádzacieho kanála väčšie množstvo oxidov, ako pri variante č. 1.



**Obr. 5** – Plnenie na konci rozvádzacieho kanála.

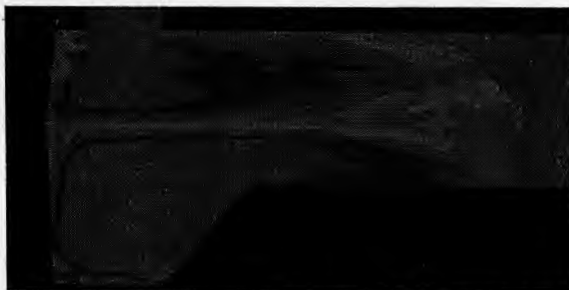
Kontaminácia odliatku „novými“ oxidickými blanami - Použitím funkcie „front tracking indicator“ možno konštatovať, že došlo k nepatrnému poklesu oxidov v odliatku. Aj keď na začiatku vtokového kanála došlo k tvorbe väčšieho množstva oxidov, potlačenie turbulencií na konci rozvádzacieho kanála sa javí ako pozitívny jav. Pokles oxidov v odliatku mohol byť spôsobený aj zachytením veľkého množstva oxidov v oblasti vstupu taveniny do zárezu.

### 3 VARIANT

#### NÁVRH GEOMETRIE

Tretí návrh bol upravený podľa teoretických predpokladov tak, aby bol potlačený vznik kontrakcie prúdu. Na odstránenie, alebo zmiernenie tohto efektu sa do vtokovej sústavy môže aplikovať dopadová jamka. Dopadové jamky umiestnené pod vtokovým kanálom by mali okrem iného znižovať kinetickú energiu taveniny a zamedzovať strhávanie vzduchu v prúde taveniny. Vo všeobecnosti platí, že výška dopadovej jamky by mala byť dvojnásobkom výšky rozvádzacieho kanála. Ako prvá bola navrhnutá dopadová jamka obdĺžnikového tvaru. Simuláciou sa však dokázalo, že návrh nemal pozitívny účinok. Následne bola upravená veľkosť spodnej hrany dopadovej jamky takmer na polovicu, aby bola čelná strana dopadovej jamky skosená.

Plnenie v oblasti začiatku rozvádzacieho kanála – Simulácia plnenia vtokového kanála po skosení čelnej strany dopadovej jamky sa javí ako optimálne riešenie. Dopadová jamka sa okamžite zaplní bez možnosti premiešania taveniny so vzduchom, kontrakcia prúdu pri vstupe taveniny do rozvádzacieho kanála bola úplne potlačená, ako aj rozdelenie prúdov po bočných stenách vtokového kanála. Čelo taveniny postupuje hlbšie do vtokového kanála s minimálnou možnou plochou vystavenou pôsobeniu vzduchu (**Obr.6**).



**Obr. 6** – Plnenie v oblasti začiatku rozvádzacieho kanála.

Plnenie na konci rozvádzacieho kanála – Účinok optimálne navrhnujetej dopadovej jamky sa prejavil aj na konci vtokového kanála. V porovnaní s predchádzajúcimi variantami možno pomocou farebného spektra pozorovať minimálne množstvo taveniny, ktorá bola vystavená pôsobeniu vzduchu. Plnenie prebehlo bez výrazných turbulencií a strhávania oxidických blán (**Obr.7**).



**Obr. 7** – Plnenie na konci rozvádzacieho kanála.

Kontaminácia odliatku „novými“ oxidickými blanami – Upravenie dopadovej jamky sa prejavilo aj znížením predpokladaného obsahu oxidických blán v odliatku. V centrálnej oblasti je len malé množstvo taveniny, ktorá bola vystavená pôsobeniu vzduchu a najväčší predpoklad výskytu pórov bude v oblasti ľavého horného rohu sledovaného odliatku.

## 4 ZÁVER

Orientácia rozvádzacieho kanála na výšku sa počas našich simulácii (z pohľadu predpokladaného množstva vniknutých „nových“ oxidických blán do dutiny odliatku) javila ako najhoršia varianta. Zmenou orientácie rozvádzacieho kanála na šírku a dodržaní pomeru plôch došlo iba k nepatrnému poklesu oxidických blán. Postupnou optimalizáciou (pridaním dopadovej jamky a jej úpravou) bolo dokázané, že rozvádzací kanál orientovaný na šírku, predstavuje podstatne menšie riziko vzniku oxidických blán vplyvom styku taveniny so vzduchom. Tento faktor je veľmi dôležitý pre hliníkové zliatiny. Z toho dôvodu je pri návrhu vtokovej sústavy nutné brať do úvahy okrem určenia správneho pomeru plôch prierezu aj vplyv rovnako dôležitého parametra – geometria časti vtokovej sústavy. Na potvrdenie simulácii budú vykonané tavby potvrdzujúce, alebo vyvracajúce výsledky simulácii.

## 5 LITERATÚRA

- [1] CAMPBELL, J. - Castings, 2nd Edition, United Kingdom: Butterworth Heinemann, 2003.
- [2] CAMPBELL, J. - Castings Practice: The Ten Rules of Castings, Oxford, United Kingdom: Butterworth Heinemann, 2004.
- [3] PASTIRČÁK, R., SLÁDEK, A., BOLIBRUCHOVÁ D. – Simulácia filtrácie zlievarenských hliníkových zliatin, 2006, Nekonvenčné technológie, ročník 2006.
- [4] PASTIRČÁK, R., BOLIBRUCHOVÁ D. - Simulácia prúdenia Al-Si zliatiny v blízkosti filtra, Materials engineering - Roč. 13, č. 3 (2006), s. 34-36

*Táto práca vznikla v rámci riešenia grantového projektu KEGA č. 3/5197/07, KEGA 1/0684/08 a VEGA č. 1/4098/07.*