

**SIMULAČNÍ VÝPOČTY TUHNUTÍ ODLITKŮ ZE SLITINY  
ZnAl4 V OCELOVÉ FORMĚ**S. KRÝSLOVÁ<sup>1</sup>, I. NOVÁ<sup>2</sup>, I. NOVÁKOVÁ<sup>3</sup>Katedra strojírenské technologie, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci  
Hálkova 6, 461 17 Liberec 1

## ANOTACE

Článek se zabývá simulací proudění taveniny, určením solidifikačních časů a tuhnutím odlitků slitiny zinku (ZnAl4) odlévaných vysokotlakým litím do kovové formy z oceli ČSN 19 552. Pro stanovení hodnot tepelně-fyzikálních veličin materiálu odlitku a formy byly provedeny jednoduché experimenty odlévání slitiny ZnAl4 do kovové formy. Získané časové závislosti teplot byly též nasimulovány. Na základě shody simulace a experimentu byly stanoveny potřebné hodnoty pro simulaci tlakového lití slitiny ZnAl4.

*Key word: pressure die-casting, simulation calculation, zinc alloys*

**1. ÚVOD**

Současná slévárenská výroba se zaměřuje ještě ve větším měřítku též i na výrobu odlitků ze slitin zinku. Slitiny zinku mají velké uplatnění při výrobě členitých odlitků s velkou přesností rozměrů a kvalitou povrchu, které nepracují v agresivním prostředí vodní páry. Naopak velmi dobře odolávají benzínu a proto se používají především pro výrobu karburátorů zážehových spalovacích motorů. Výroba odlitků ze slitin zinku neustále roste, největší objem výroby je tlakovým litím, nepatrný podíl tvoří výroba odlitků odstředivým litím do forem ze silikonu. Podíl odlitků litých pod tlakem za období 1985 až 2005 činí 140%. Na předním místě ve výrobě odlitků ze slitin zinku je USA, Čína, Mexiko, Itálie, Německo, Japonsko, Francie a Velká Británie. Též v Česku

<sup>1</sup> Ing. Bc. stanislava.krysova@tul.cz

<sup>2</sup> Prof. Ing., PhD. iva.nova@tul.cz

<sup>3</sup> Ing. iva.novakova@tul.cz

jsou firmy, které přispívají ke světové produkci těchto odlitků. I přes značné využití slitin zinku pro výrobu odlitků je však v odborné slévárenské literatuře těmto slitinám věnována malá pozornost. Proto jsme se na našem pracovišti - Katedře strojírenské technologie TU v Liberci (KSP TUL) - zaměřili na aplikovaný výzkum slévárenských slitin zinku především pro tlakové lití.

## 2. CHARAKTERISTIKA ZINKU A JEHO SLITIN

Zinek je namodrale bílý kov, krystalizující v hexagonální soustavě. Krystalická struktura má vliv na jeho anizotropii vlastností (např. tepelnou vodivost, tepelnou roztažnost, pevnost v tahu, atd.). Zinek a jeho slitiny se pokrývají vrstvou šedě zbarveného zásaditého uhličitanu  $4\text{Zn}(\text{OH})_2\cdot\text{CO}_2$ , která je ve vodě téměř nerozpustná a chrání odlitek před oxidací. Odlitky mohou být korozně napadeny ve styku s destilovanou vodou, vodní párou, kyselinami a zásadami. Odlitky ze slitin zinku odlité pod tlakem se nedoporučuje používat v horké páře, která vyvolává korozi. Horká voda naopak těmto odlitkům neškodí. Mezi hlavní výhody slitin zinku se řadí vysoká přesnost odlitků s minimálními úkosy (výjimkou nejsou rozměry s tolerancí 0,03mm), minimální náklady na opracování (např. možnost vyrobít odlitek včetně závitů), vysoká životnost nářadí (více než 5x vyšší než u odlitků ze slitin hliníku), výroba drobných odlitků o hmotnosti cca 1 gramu, velmi jakostní povrch ( $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ ), minimální nároky na další operace po odlití, vyšší produktivita výroby v procesu lití, dobré vlastnosti pro následné úpravy povrchu. Hlavní nevýhodou slitin zinku je poměrně vysoká hustota, která je asi 2,4 násobně vyšší než např. u slitin hliníku.

Slévárenské slitiny zinku se nejvíce využívají pro tlakové lití. Také existují slitiny, jež se používají pro gravitační lití do pískových forem nebo pro méně obvyklé způsoby odlévání (např. do keramických, sádrových nebo silikonových forem). Slitiny pro tlakové lití odlitků jsou tvořeny binární slitinou Zn-Al obsahující 3,8 až 4,0 hmot. % hliníku (slitina téměř eutektického složení). Ve skutečnosti je to slitina mírně podeutektická s rozdílem teploty likvidu a solidu  $\Delta T$  cca  $2^\circ\text{C}$ . Dalšími přísadovými prvky v malém množství jsou měď a hořčík. Slitiny mají výborné slévárenské vlastnosti, lze je snadno povrchově upravovat, jejich cena na trhu není vysoká a mají dobré mechanické vlastnosti. Nejpoužívanějšími slitinami zinku pro tlakové lití jsou slitiny ZnAl4 (ČSN 42 3558), slitina ZnAl4Cu1 (ČSN 42 3560) a slitina ZnAl4Cu3 (ČSN 42 3562). Chemické složení a základní mechanické vlastnosti těchto slitin jsou uvedeny v tabulce 1.

## 3. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A MATEMATICKÉ SIMULOVÁNÍ TEPLOTNÍCH POLÍ PŘI ODLÉVÁNÍ SLITINY ZINKU ZnAl4 DO OCELOVÉ FORMY

Experimenty této práce byly provedeny ve dvou etapách.

V první etapě bylo provedeno ověření tepelně-fyzikálních veličin materiálů pro odlitky ze slitiny ZnAl4 a kovových forem, které jsou k dispozici v databankách

simulačních programů. Ověření bylo provedeno na základě porovnání experimentálně naměřených časových závislostí teplot v tepelné ose odlitku a v určitých místech ocelové formy (ČSN 19 552). Prováděné experimenty navazují na dlouhodobý výzkum prováděný na výše zmíněném pracovišti (KSP TUL). K experimentu bylo použito měřicí zařízení, viz obr.1, navržené a zkonstruované na zmíněném pracovišti. Toto zařízení umožňuje provádět časové záznamy teploty v tepelné ose odlitku a ve zvolených místech slévárenské formy. Měřicí zařízení je tvořeno počítačem PC/AT 386 se 16-ti čidlovým analogovým převodníkem PC LABDAS CARD PCL 718 a multiplexorem PCLD 789. Soustava má za úkol převádět analogový signál na digitální. Experimenty byly prováděny na slévárenské formě 220 x 220 x 220 mm pro odlitek tvaru desky o rozměrech 200 x 160 x 20 mm. Vzdálenosti termočlánků od lince formy byly: **15, 30, 45, 60, 70, 78, 80, 90, 100, 110 mm**. Odlitky byly odlévány do slévárenské formy se základním nástřikem 0,15 mm a vrstvou nástřiku 0,3 mm.

Tabulka 1. Přehled chemického složení a základních mechanických vlastností slitin zinku  
Table 1. The summary of the chemical constitution and of the basic mechanical properties the zinc alloys

SLITINA (ČSN)	ZnAl4 42 3558	ZnAl4Cu1 42 3560	ZnAl4Cu3 42 3562
Al	3,9 - 4,3	3,9 - 4,3	3,5 - 4,3
Cu	0,10	0,75 - 1,25	2,4 - 3,2
Mg	0,02 - 0,05	0,02 - 0,05	0,03 - 0,06
Fe max.	0,075	0,075	0,075
Pb + Cd max.	0,009	0,009	0,009
Sn max.	0,001	0,001	0,001
Rm [Mpa]	160 - 180	270 - 330 <sup>1)</sup> 180 - 220 <sup>2)</sup>	420 - 480 <sup>1)</sup> 300 <sup>2)</sup>
A <sub>10</sub> [%]	1	2 - 5 <sup>1)</sup> 1,5 <sup>2)</sup>	2 - 3 <sup>1)</sup> 2 <sup>2)</sup>
HB	60	80 - 100 <sup>1)</sup> 70 <sup>2)</sup>	80 - 120 <sup>1)</sup> 90 <sup>2)</sup>
Mechanické vlastnosti: <sup>1)</sup> pro odlitky lité pod tlakem <sup>2)</sup> pro odlitky lité do kokily			

V druhé etapě byl proveden matematický simulační výpočet, který odpovídal stejným podmínkám experimentů. Na obr. 2 a 3 jsou uvedeny výsledky naměřeného experimentu a simulačního výpočtu. Výsledkem simulačního výpočtu bylo získání též časových závislostí teplot v tepelné ose odlitku a v určitých místech formy. Na základě jejich vzájemné shody byly stanoveny hodnoty potřebných tepelně-fyzikální veličin.

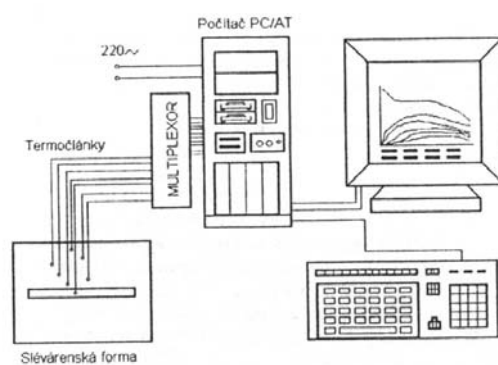
Tyto veličiny byly použity při simulaci plnění dutiny ocelové kokily a teplotních polí deskovitého odlitku ze slitiny ZnAl4. Pro tento simulační výpočet byl použit program švédské společnosti NOVA CAST, který je označován Nova Flow a Nova Solid. Program je založen na numerické metodě konečných diferencí a umožňuje simulovat tepelné děje při plnění slévárenské formy taveninou i při jejím tuhnutí. Z porovnání měření a simulace byly získány tyto tepelně-fyzikální veličiny odlévané slitiny zinku (ZnAl4), viz tabulka 2. Na obr. 4 je uvedeno teplotní pole vstříknuté

taveny do dutiny tlakové formy. V pravé části obrázku je stupnice barev, která odpovídá určité teplotě taveniny ve formě.

Tabulka 2. Hodnoty tepelně-fyzikálních veličin získané na základě shody z měření a simulace  
Table 2. Values of the thermal-physical quantities obtained by virtue of the conjunction from the measured and the simulation

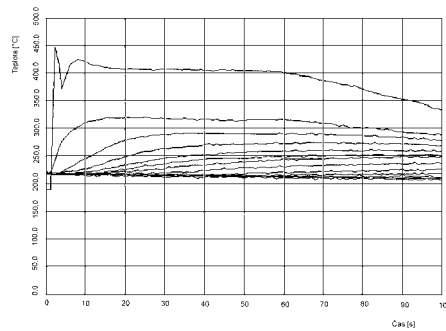
Tepelně-fyzikální veličina	Latentní krystalizační teplo $L_{KR}$ [J .kg <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost $\lambda$ [W .m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]		Hustota $\rho$ [kg .m <sup>-3</sup> ]		Měrná tepelná kapacita $c$ [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]		Součinitel přestupu tepla $\alpha$ [W .m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ] forma-odlitek	
		0°C	110	0°C	7140	0°C	381	0°C	25 000
ZnAl4	100 860	100°C	108	100°C	7133	100°C	398	100°C	25 500
		200°C	103	200°C	7000	200°C	414		
		300°C	98	300°C	6850	300°C	420	200°C	26 000
		400°C	94	400°C	6700	400°C	461		
		0°C	14,9	-	0°C	510			
Ocelová forma ČSN 19 552	-	100°C	16,5		100°C	515	300°C	27 500	
		200°C	18		200°C	520			
		300°C	20		300°C	530	400°C	28 000	
		400°C	23		400°C	540			

Poznámka: Hodnoty součinitele byly zvoleny na základě uváděných hodnot pro tlakové lití.



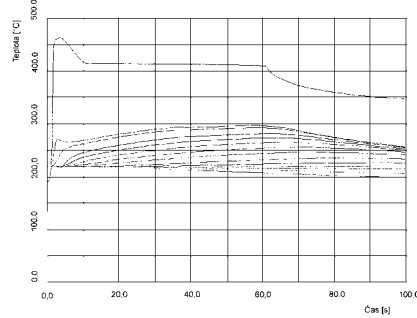
Obr. 1. Schéma měřícího zařízení pro sledování teplot ve sledované soustavě

Fig. 1. The chart of the measuring apparatus for the following temperature in the watched system



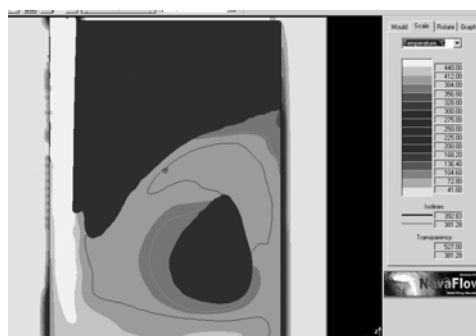
Obr. 2. Časové závislosti teplot v tepelné ose odlitku (ZnAl4) a v místech slévárenské formy (naměřeno)

Fig. 2. Time of the dependencies temperatures in the thermal axes foundry (ZnAl4) and in the places mold (measured)



Obr. 3. Časové závislosti teplot v tepelné ose odlitku (ZnAl4) a v místech slévárenské formy (simulováno)

Fig. 3. Time of the dependencies temperatures in the thermal axes foundry (ZnAl4) and in the places mold (simulated)



Obr. 4. Teplotní pole vstříknuté taveniny do dutiny tlakové formy

Fig. 4. The thermal field of the injection melting to the pressure mould cavity

#### 4. ZÁVĚR

Slitiny zinku díky své odolnosti proti vodní páře a benzínu mají uplatnění při výrobě drobných přesných odlitků, avšak těmto materiálům je věnována malá pozornost. Tyto slitiny se zpracovávají vysokotlakým způsobem. Pro tento způsob slouží simulační výpočty. Pro správné provedení simulačních výpočtů jsou důležité tepelně-fyzikální veličiny, ty jsou pro slitiny zinku nedostupné. Navržená metodika ukazuje možnosti stanovení hodnot tepelně-fyzikálních veličin potřebných pro následné simulační výpočty tlakového lití slitin zinku.

*Príspevek vznikl s podporou výzkumného záměru MSM 4674788501*

#### LITERATURA

- [1] Osório, W.R., Freire, C.M., Garcia, A. *The role of macrostructural morphology and grain size on the corrosion resistance of Zn and Al casting*. Materials Science and Engineering A 402 (2005) 22–32.
- [2] Osório, W.R., Freire, C.M., Garcia, A. *The effect of the dendritic microstructure on the corrosion resistance on Zn-Al alloys*. Journal of Alloys and Compounds 397 (2005) 179–191.
- [3] Retrová, R. *Sledování vlivu nátěru ocelové kokily na tepelné poměry soustavy kokila-odlitek tvaru desky*. DP TUL 2002.

#### THE SIMULATOR CALCULATION SOLIDIFICATION THE FOUNDRY FROM ALLOYS ZNAl4 IN THE STEEL FORMS

#### SUMMARY

This article deals with the melt flowing simulation, time of the solidification of the casting zinc alloys (ZnAl4) pressure die-castings into the metal moulds of steel ČSN 19 552. There were made the simple experiments by the casting alloys ZnAl4 to the metal mould for the determination valuations of the thermal-physical quantities of the casting material and mould. Time dependencies of the temperature were also simulated. On the basis of the simulation and experiment conformity there were determined valuations for pressure die-casting simulation of the zinc alloy ZnAl4.

Recenzował: Prof. Petr Lenfeld