

Zajištění stabilní produkce tenkostěnných odlitků ze slitiny ZP0410 při implementaci využití vratného materiálu

Ensuring Stable Production of Thin-walled Castings of Alloy ZP0410 during the Implementation of the Utilization of Returnable Material

doc. Ing. Karel Gryc, MBA, Ph.D.¹; doc. Ing. Ladislav Socha, MBA, Ph.D.¹; Ing. Roman Kubeš²; Václav Sochacký²; Ing. Kamil Koza^{1,3}; Ing. Jaromír Trobl²

¹ Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 517/10, 370 01 České Budějovice, Česká republika

² GD Druckguss s.r.o., Radomilická 1244, 389 01 Vodňany, Česká republika

³ Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 22, 301 00 Plzeň, Česká republika

Nejen současná složitá situace na trhu se surovinami a energiemi, ale rovněž dlouhodobý trend založený na strategii trvalé udržitelnosti společnosti vytváří logický tlak na zvyšování materiálové a energické efektivity ve všech oborech lidské činnosti. Významných úspor je samozřejmě možné dosáhnout ve výrobních procesech. Tento příspěvek navazuje na předcházející publikace věnované zajištění stabilní produkce silnostěnných odlitků ze slitiny ZP0410 při využití vlastního vratného materiálu. Pozornost však byla přesunuta na náročnější produkci tenkostěnných odlitků s typickou tloušťkou stěn v rozsahu od 0,4 do 1,2 mm. Jsou shrnuty poznatky zjištěné při sledování chemického složení taveniny v udržovacích pecích licích strojů a následném kvalitativním a kvantitativním hodnocení vnitřní kvality výpadů odlitků pomocí výpočetní tomografie (CT). Bylo prokázáno, že zvolený poměr (2 díly) primární suroviny (ZL0410) k 1 dílu vlastního vratného materiálu (ZP0410) nemá negativní dopad na kvalitu tenkostěnných odlitků.

Klíčová slova: zinkové slitiny; tavení; recyklace; vratný materiál; odlitky; chemické složení; výpočetní tomografie

The current complex situation in the market for raw materials and energy and the long-term trend based on the company's strategy of permanent sustainability creates a logical pressure to increase material and energy efficiency in all fields of human activity. Of course, significant savings can be achieved in production processes. This contribution follows from previous publications dedicated to ensuring the stable production of thick-walled castings from the ZP0410 alloy when using its own returnable material. However, attention was shifted to the more demanding production of thin-walled castings with a typical wall thickness ranging from 0.4 to 1.2 mm. The findings obtained during monitoring the chemical composition of the melt in the maintenance furnaces of casting machines and the subsequent qualitative and quantitative evaluation of the internal quality of the castings with the help of computed tomography (CT) are summarized. It has been proven that the selected ratio (2 parts) of primary raw material (ZL0410) to 1 part of own returnable material (ZP0410) does not hurt the quality of thin-walled castings.

Key words: zinc alloys; melting; recycling; returnable material; castings; chemical composition; computed tomography

V souladu s běžnou praxí probíhá i při výzkumně-vývojové činnosti v oblasti studia procesů možnosti využití vlastního vratného materiálu slitiny ZP0410 také neustálé sledování současného stavu poznání. Bohužel je nutné konstatovat, že autorskému kolektivu nejsou známy takové další publikační aktivity, na které by bylo možné v souvislosti s předmětem zájmu odkázat. Doložení nedostatku souvisejících publikací bylo provedeno již v příspěvcích [1,2,3]. V oblasti, která se alespoň částečně dotýká problematiky zinkových slitin je možné zmínit např. [4-20]. Problematika využití výpočetní tomografie, která byla aplikovaná na studium vad zinkových slitin je pak obsažena v příspěvku [21].

Zde předkládaný příspěvek prezentuje část z finálního stavu nových poznatků, kterých bylo dosaženo v rámci řešení projektu TH04020055 podpořeného TAČR v rámci programu EPSILON. V prvním a druhém roce

řešení projektu byla pozornost zaměřena na studium možnosti uplatnění vlastního vratného materiálu ZP0410 [22] při výrobě silnostěnných odlitků. Výsledky těchto výzkumně-vývojových aktivit byly prezentovány v těchto příspěvcích [1,2] a vedly k vyvinutí ověřené technologie, která umožnila začít využívat vlastní vratný materiál ZP0410 v poměru 1 dílu vlastního vratného materiálu ke 2 dílům primární slitiny ZL0410 [23] při jejich výrobě, aniž by došlo k negativním dopadům na kvalitu produkce.

V následujících kapitolách prezentované výsledky navazují na příspěvek [3], kde již byla pozornost zaměřena na tenkostěnné odlitky. Technologie výroby tenkostěnných odlitků pomocí tlakového lití vyžaduje zajištění mnohem vyšší stability technologických parametrů. Například je nutné udržovat lící formy přehřáté na vyšší teploty, zajistit rychlejší proces

plnění kavit ve formě. Tím ale zároveň dochází k větší zátěži licího stroje. Z toho důvodu byla tenkostěnným odlitkům věnována pozornost až po zajištění technologie tlakového lité silnostěnných odlitků. Ke konci řešení projektu (4.Q 2022) pak došlo k úspěšnému dosažení ověřené technologie i pro tenkostěnné odlitky. Cílem tohoto příspěvku je prokázat, že zvolený a provozně prověřený způsob recyklace vlastního vratného zinkového odpadu nemá žádný negativní dopad na chemické složení taveniny a že je ji možné využít v průmyslových podmínkách tlakového lité i tenkostěnných odlitků zinkové slitiny ZP0410.

Provozní experimenty

Podobně jako v případě silnostěnných odlitků [1, 2] při studiu výroby tenkostěnných odlitků s typickou tloušťkou stěn v rozsahu od 0,4 do 1,2 mm byla tavenina připravována v předtavnovací peci MELTEC ZTF 700 B, kdy se taví vstupní materiály obsahující primární surovinu ZL0410 (dva hmotnostní díly) a vlastní vratný materiál ZP0410 (jeden hmotnostní díl). Poté se připravená tavenina dopravuje k jednotlivým licím strojům v předehřáté mobilní peci MELTEC ZTF 650 (obr. 1). Tavenina je z mobilní pece přelévána do udržovacích pecí jednotlivých licích strojů pro tlakové lití.



Obr. 1 Předtavnovací pec MELTEC ZTF 700 B s dopravníkem recyklovaného odpadu (vlevo) s předehřátou mobilní pecí MELTEC ZTF 650 (vpravo) [2]

Fig. 1 Pre-melting furnace MELTEC ZTF 700 B with a recycled waste conveyor (left) with the pre-heated mobile furnace MELTEC ZTF 650 (right) [2]

Při studiu vlivu nastaveného poměru vratného a primárního materiálu na kvalitu tenkostěnných odlitků bylo průběžně využito několik metod nad rámec sledování chemického složení slitiny v rámci technologického toku. V průběhu roku 2021 byly implementovány metody měření drsnosti odlitků, základní metalografické analýzy a také průmyslová výpočetní tomografie (CT). Detaily k implementaci těchto přístupů byly publikovány [3].

Bylo rozhodnuto, že pro vědecko-výzkumné činnosti související s finální verifikací navrhovaného poměru vratného materiálu bude kromě sledování dříve argumentovaného klíčového chemického složení

průběžně zpracovávaného a distribuovaného materiálu ZP0410 zaměřena pozornost také na využití výpočetní tomografie (CT), která umožňuje nad rámec klasických metalografických výbrusů sledovat vnitřní kvalitu studovaného dílce v celém objemu a poskytuje tak komplexní kvalitativní ale také kvantitativní obraz.

Pro účely tohoto příspěvku byly vybrány 3 typy tenkostěnných odlitků různého typu označených pro zjednodušení zkratkami (HU, UN, ZA), na kterých byl poměr vlastního vratného materiálu ZP0410 a primární suroviny ZL0410 studován. U každého typu odlitku byly odebrány vzorky taveniny z licího stroje bez zavedené recyklace vratného materiálu a následně se zavedením recyklace vratného materiálu. Odebrány byly rovněž výpady vlastních odlitků pro účely realizace CT. Vzorky z taveniny z jednotlivých licích strojů a výpady odlitků v tomto případě vyrobených bez recyklace jsou uvedeny na obr. 2.



a) Vzorky z taveniny a výpad s odlitky typu HU bez recyklace
a) Melts' and castings' samples for type HU without recycling



b) Vzorky z taveniny a výpad s odlitky typu UN bez recyklace
b) Melt's and castings' samples for type UN without recycling



c) Vzorky z taveniny a výpad s odlitky typu ZA bez recyklace
c) Melt's and castings' samples for type ZA without recycling

Obr. 2 Příklady vzorků z provozních taveb určených k OES a CT analýzám

Fig. 2 Examples of samples from operational melts prepared for OES and CT analyses

Chemické složení vzorků bylo analyzováno pomocí optické emisní spektrometrie (OES) přístrojem Q4 Tasman. Před měřením byl analyzovaný povrch vzorků broušen kotoučovou bruskou, aby se odstranily veškeré povrchové nehomogenity/kontaminace a aby byla zajištěna požadovaná drsnost analyzovaného povrchu. K průběžné kontrole výsledků chemické analýzy byl využíván standardní referenční materiál SRM 630.

Diskuse výsledků

Tab. 1 uvádí standardizované složení slitiny zinku pro primární surovinu ZL0410 (ČSN EN 1774) [23] a pro odlitky ZP0410 (ČSN EN 12844) [22].

Z pohledu chemického složení byly v rámci metody OES sledovány obsahy všech prvků relevantních vzhledem k uvedeným normám [22, 23].

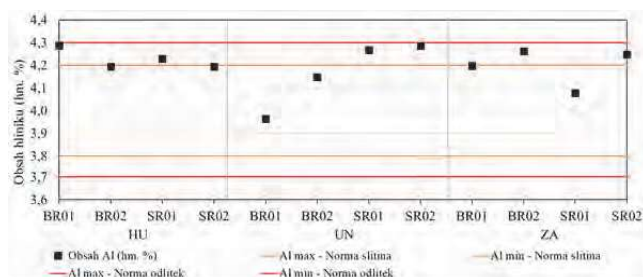
Na obr. 3 až obr. 6 je v grafické podobě uveden obsah prvků v hmotnostních procentech v jednotlivých vzorcích z výroby všech tří druhů sledovaných odlitků. Nicméně, vzhledem přehlednosti byly vybrány do tohoto příspěvku jen ty prvky, kterých diskuse je vzhledem k předmětu studia zásadní. U zbývajících prvků (obsah cínu, křemíku, kadmia, niklu a železa) odpovídalo chemické

složení normě [22] a nebylo tedy nutné věnovat další pozornost v rámci další diskuse. BR značí vzorek bez recyklace, SR pak vzorek s recyklací. Červené linie vyjadřují limity obsahů daného prvku podle normy pro výslednou slitinu ZP0410. Oranžové linie pak představují limity obsahů daného prvku podle normy pro primární vstupní surovinu ZL0410.

Tab. 1 Složení zinkové slitiny dle norem

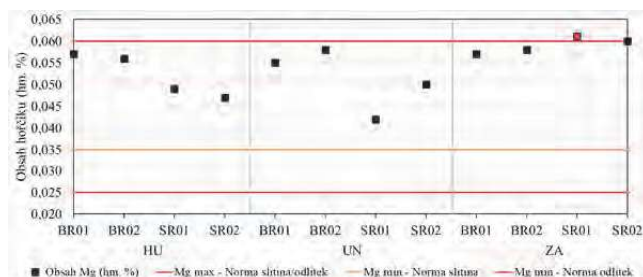
Tab. 1 Zinc alloy composition according to the standards

Prvek	Obsah prvku (hm. %)			
	ČSN EN 1774		ČSN EN 12844	
	min	max	min	max
Al	3,800	4,200	3,700	4,300
Cu	0,700	1,100	0,700	1,200
Mg	0,035	0,060	0,025	0,060
Pb	-	0,003	-	0,005
Sn	-	0,001	-	0,002
Si	-	0,020	-	0,030
Cd	-	0,003	-	0,005
Ni	-	0,001	-	0,020
Fe	-	0,020	-	0,050



Obr. 3 Srovnání obsahu hliníku (hm. %) ve vzorcích z výroby tenkostěnných zinkových odlitků pro případy výroby bez recyklace (BR) a s recyklací (SR)

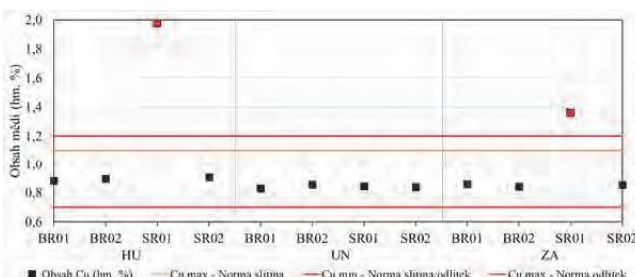
Fig. 3 Aluminium content (wt. %) comparison in samples for thin-walled zinc alloy castings production without (BR) or with recycling (SR)



Obr. 5 Srovnání obsahu hořčíku (hm. %) ve vzorcích z výroby tenkostěnných zinkových odlitků pro případy výroby bez recyklace (BR) a s recyklací (SR)

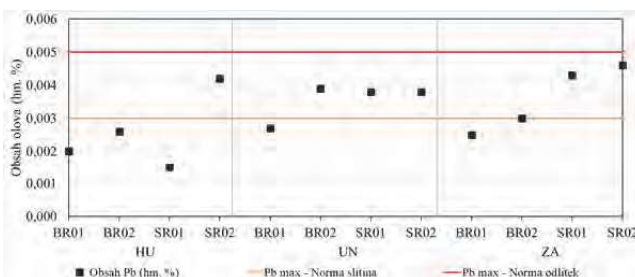
Fig. 5 Magnesium content (wt. %) comparison in samples for thin-walled zinc alloy castings production without (BR) or with recycling (SR)

Z grafů na obr. 3 až obr. 6 je patrné, že složení ve většině případů odpovídá normě ČSN EN 12844 pro odlitky z materiálu ZP0410, kromě jednoho případu, kdy je překročen obsah mědi a jednoho případu, kdy je překročen obsah mědi a hořčíku.



Obr. 4 Srovnání obsahu mědi (hm. %) ve vzorcích z výroby tenkostěnných zinkových odlitků pro případy výroby bez recyklace (BR) a s recyklací (SR)

Fig. 4 Copper content (wt. %) comparison in samples for thin-walled zinc alloy castings production without (BR) or with recycling (SR)



Obr. 6 Srovnání obsahu olova (hm. %) ve vzorcích z výroby tenkostěnných zinkových odlitků pro případy výroby bez recyklace (BR) a s recyklací (SR)

Fig. 6 Lead content (wt. %) comparison in samples for thin-walled zinc alloy castings production without (BR) or with recycling (SR)

Zvýšený obsah mědi (obr. 4) ve dvou případech je možné dát do souvislosti se skutečností, že na licích strojích dochází ke střídání námi sledované taveniny ZP0410 s taveninou ZP0430, která obsahuje cca 3 hm. % mědi

[22]. Zřejmě nedošlo k dokonalému pročištění udržovací pece licích strojů.

Ostatní uvedené hodnoty obsahů jednotlivých prvků nevykazují jednoznačný trend v nárůstu nebo poklesu jejich obsahu v souvislosti s tím, zda byla připravena tavenina pouze z primární slitiny ZL0410 nebo zda byla připravena s využitím vlastního vratného materiálu na bázi ZP0410. Nicméně se obsah prvků v některých případech dostává k limitu normy pro odlitky [22]. Proto je nezbytné nepřekračovat prověřený podíl vlastního vratného materiálu a chemické složení průběžně monitorovat.

V další části diskuse získaných poznatků je pozornost zaměřena na výsledky analýzy odebraných výpadů studovaných odlitek pomocí výpočetní tomografie (CT).

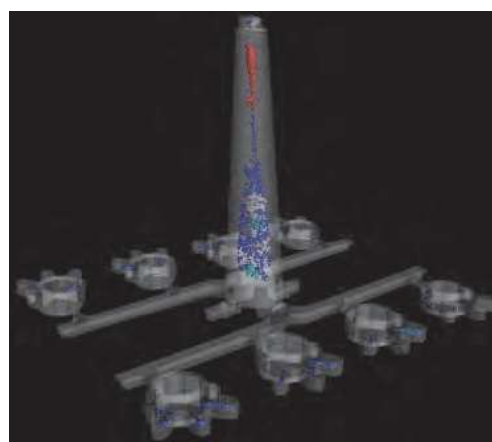
Na obr. 7 jsou uvedeny příklady pohledu na celé skenované výpady. Hodnotící software umožňuje detailní rozbor pořízených výsledků. Zde je pozornost zaměřena na srovnání výskytu vnitřních vad mezi odlitky vyrobenými pouze s primární surovinou a těmi, kdy byla využita vlastní tavenina připravena s využitím částečné recyklace vlastního vratného materiálu ve studovaném poměru. Červeně jsou znázorněny nejzrůsáhlejší vady, zeleně pak středně velké vady a modře pak vady drobné.



HU casting



UN casting



ZA casting

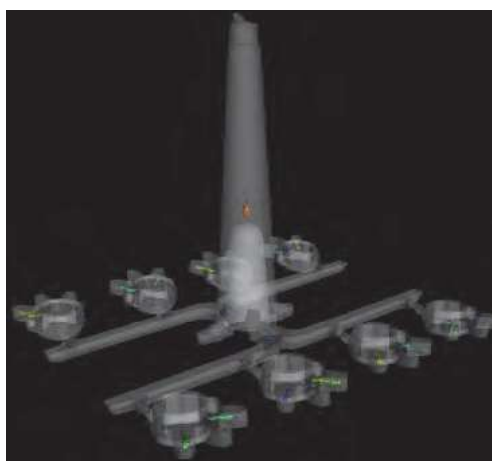
a) CT analýza pro odlitky typu HU, UN, ZA vyrobených bez recyklace
a) CT analysis for castings' type HU, UN, ZA casts without recycling



HU casting



UN casting



ZA casting

b) CT analýza pro odlitky typu HU, UN, ZA vyrobených s recyklací
b) CT analysis for castings' type HU, UN, ZA casts with recycling

Obr. 7 Příklady výsledků výpočetní tomografie získané na základě CT analýzy studovaných typů odlitek bez recyklace a s recyklací
Fig. 7 Examples of computed tomography results based on CT analysis of studied castings types without and with recycling