

Recenzované výzkumné články

Odstředivé lití dvouvrstvých, vysoce legovaných ocelových odlitků

Centrifugal Casting of Two-layer High-alloy Steel Castings

Ing. Petr Milata

VÚHŽ a.s., 73951 Dobrá 240, Česká republika

Odstředivé lití je technologie výroby odlitků, kdy je roztavený kov, případně jiný materiál, odléván do rotující formy, kde následně dochází k tuhnutí a chladnutí odlitku. Vyrobené odlitky mohou být jednovrstvé, dvouvrstvé či dokonce třívrstvé. Slévárna odstředivého lití VUHŽ a.s. má dlouhodobé zkušenosti s odléváním dvouvrstvých litinových odlitků, ale v poslední době se zabývá i odléváním ocelových dvouvrstvých odlitků. Odstředivé lití dvouvrstvých, vysoce legovaných ocelových odlitků je špičkový technologický proces, pro jehož zvládnutí musí být splněna celá řada přesně stanovených požadavků. Jsou to zejména teplota kokily, lící teplota, doba lití a časová prodleva mezi odlitím první a druhé vrstvy. Jen při dodržení všech těchto parametrů získáme odlitek s požadovanou tloušťkou pracovní vrstvy a dokonale definovaným rozhraním obou vrstev. V opačném případě hrozí nespojení vrstev, rozdílné tloušťky pracovní vrstvy po celé délce odlitku nebo nezaběhnutí konec odlitku.

Klíčová slova: odstředivé lití; kokila; horizontální odstředivě lící stroj; odstředivá síla; dvouvrstvý odlitek; kobaltová slitina; rozhraní vrstev; termoizolační nástřík; lící teplota; prodleva

Centrifugal casting is a process in which liquid or molten material is poured into a rotating steel mould and allowed to solidify. The mould and the casting are then separated.

Centrifugal casting is the process in which liquid or molten material is poured into a spinning steel mould and allowed to solidify. The mould and casting are then separated from each other. In certain specialised applications, it may be necessary to preserve expensive metal or to have a very hard, difficult to machine material, on the casting surface and a soft, easily-machinable material inside the casting. This type of production is known as “bi-metallic” casting. The centrifugal casting foundry VUHŽ a.s. has long-term experience in bi-metallic castings where the first layer consists of grey (or nodular) iron but recently it has been used for the production of bi-metallic steel castings. Centrifugal casting of bi-metallic high-alloy steel castings is a high-tech process for which several precisely defined requirements must be adhered to. In particular, these are the mould temperature, pouring temperature, duration of pouring and the delay time between the pouring of the first layer and pouring of the second layer. Only by adhering to all these factors, it is possible to obtain a casting with the required working layer thickness and a perfectly defined bonding of both layers. Otherwise, a risk exists of not getting a perfect bonding along the entire length of the casting, different thicknesses of the first layer or a misrun.

Key words: centrifugal casting; mould; horizontal axis centrifugal casting machine; centrifugal force; bi-metallic casting; cobalt alloy; layer boundary; thermo-insulating coating; pouring temperature; delay time

Slévárna VÚHŽ a.s. se zabývá odstředivým litím odlitků, čímž se poněkud liší od klasických sléváren, jejichž výroba je spojena s pískovým hospodářstvím, tlakovým litím do kovových forem, popřípadě jinými způsoby výroby. Hlavními výrobními prostředky všech sléváren odstředivého lití jsou horizontální nebo vertikální odstředivě lící stroje a široké portfolio lících souprav skládajících se z kokil a kokilových vložek. Nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím konečnou kvalitu odlitku je velikost odstředivé síly, jež veškeré nečistoty, s měrnou hmotností menší, než je měrná hmotnost odlévaného materiálu, postupně vystředuje

směrem ke středu odlitku, kde jsou ve formě přídavku následně odstraněny. Tímto způsobem získáme odlitek s jemnozrnnou strukturou téměř bez jakýchkoliv vměstků.

Převážná většina odlitků, které se ve slévárně VÚHŽ a.s. vyrábějí, jsou jednovrstvé odlitky. To znamená, že se celý obsah lící pánve vylije do rotující kokily najednou. Tento výrobní proces je nejjednodušší a vykazuje zpravidla nejnižší zmetkovitost. Může se ovšem stát, že zákazník požaduje vyrobit dvouvrstvý odlitek, u kterého je každá vrstva tvořena jiným materiálem. Nejčastěji jsou to výrobky, jejichž vnější povrch tvoří otěruvzdorná vrstva

s vysokými hodnotami tvrdosti a vnitřní povrch je tvořen výplňovým materiálem nepříliš náročným na opracování. Významnou roli zde hraje i skutečnost, že použitím levné středové vrstvy dochází k úspoře drahých legujících přísad, jako je například nikl, chrom nebo molybden. Typickými představiteli těchto odlitků, které slévárna VÚHŽ a.s. dlouhodobě vyrábí, jsou redukovací a kalibrovací válce pro válcovací tratě nebo odlitky mlecích válců používané k mletí mouky. Samostatnou kapitolou jsou tzv. pseudodvouvrstvé odlitky, které jsou sice dvouvrstvé, ale technologické podmínky jejich výroby jsou pro jejich velkou hmotnost, nízké přetížení a malý průměr středové díry velmi nepříznivé. Proto se celková hmotnost odlitku musí rozdělit na dvě části a po odlití první vrstvy se za určitou časovou prodlevu odlíje druhá vrstva z téhož materiálu. Pokud jsou správně dodrženy nastavené parametry lití, tak získáme jednolitý kompaktní odlitek.

Slévárna VÚHŽ a.s. byla nedávno oslovena firmou zabývající se výrobou válečků pro pásový dopravník kalicí linky, zda by byla schopna odlít dvouvrstvý ocelový odlitek s poněkud atypickým chemickým složením. Zatímco vnější vrstvu tvoří poměrně běžná chromniklová ocel (18% Cr, 14% Ni, 2,5% Mo), vnitřní vrstva je tvořena speciální kobaltovou slitinou (50% Co, 28% Mo, 18% Cr) s minimálním obsahem železa. V tomto případě je tedy důraz kladen na otěruvzdornou vnitřní vrstvu, na rozdíl od odlitků, které slévárna VÚHŽ a.s. běžně vyrábí a které mají otěruvzdornou vnější vrstvu. Zákazník dále požadoval dodržet poměrně přesné rozměry rozhraní obou vrstev a dodržení vysoké hodnoty tvrdosti středové vrstvy. Ačkoliv technologové VÚHŽ a.s. mají bohaté zkušenosti s odléváním dvouvrstvých odlitků, tak v tomto případě byli postaveni před zcela nové požadavky na technologii výroby. V první řadě se musela zvládnout kontrola atypického chemického složení vnitřní vrstvy, což znamenalo kontaktovat firmu provádějící odborný servis spektrometru Q4 TASMÁN s žádostí o instalaci kobaltového kanálu. Nezbytnou podmínkou ale bylo zajištění standardu pro správné nastavení kalibrační křivky. Jelikož žádný známý dodavatel certifikovaných materiálů nedisponuje rekalkibračními standardy, jejichž chemické složení by vyhovovalo řízení nové technologie, tak slévárna musela přistoupit k odlití standardů ve vlastním provozu. Složení vsázky bylo samozřejmě zvoleno tak, aby obsah prvků v tavenině odpovídal předepsanému chemickému složení. Odlité vzorky byly posléze podrobeny chemickému rozboru v několika nezávislých laboratořích.

Po vyřešení problémů se spektrometrem se mohlo konečně přistoupit k vlastnímu odlévání válečků. Vzhledem k malému vnějšímu rozměru finálního výrobku 120 mm byl k odlévání použit nejmenší horizontálně odstředivý lící stroj HOLS 300 (obr. 1).

Předpokládané rozměry surového odlitku byly 132/56 × 1268 mm. S přihlédnutím k poměrně malému vnitřnímu průměru odlitku byly otáčky lícího stroje nastaveny na nejvyšší možnou hodnotu 1450 otáček/min⁻¹. Takto nastavené vysoké otáčky lícího stroje měly zaručit,

aby nedošlo k tzv. spadnutí odlitku (dle zahraniční literatury tzv. raining), což je situace, která nastane přesně v okamžiku, kdy je odstředivá síla menší než přetížení, kterým je tekutý kov tlačěn na stěnu kokily. Výsledkem spadnutí odlitku je nekontrolovaný rozstřík kovu z kokily.



Obr. 1 Lití taveniny do horizontálního lícího stroje HOLS 300

Fig. 1 Pouring the melt into the horizontal casting machine HOLS 300

Velikost odstředivé síly se vypočte podle vzorce

$$G = 0,001 \cdot r \cdot n^2,$$

kde je r poloměr kokily [m] a n je frekvence otáček kokily [min⁻¹].

Vypočtená velikost přetížení odlitku na jeho vnějším povrchu byla 139 G a na vnitřním povrchu 59 G. To odpovídá hodnotám přetížení dosahovaného u odlitků při běžné sériové výrobě.

Aby došlo k dokonalému spojení, respektive natavení dvou různorodých materiálů u dvouvrstvých odlitků, musí být splněno hned několik podmínek. Jsou to především:

1. teplota kokily,
2. lící teplota,
3. časová prodleva mezi odlitím první a druhé vrstvy,
4. doba lití.

Vlivy těchto parametrů se vzájemně prolínají a pro zdravý odlitek splňující požadavky dané zákazníkem se musí nalézt ideální kombinace velikosti těchto parametrů.

Teplota kokily

Na vnitřní stěnu kokily se nanáší termoizolační nástřik, což je izolační vrstva zabraňující natavení povrchu kokily proudem tekutého kovu. Její aplikace se provádí stříkací vzduchovou pistolí, jakmile se teplota vnitřního povrchu kokily pohybuje v rozmezí 180 – 200 °C. Před vlastním odléváním je důležité teplotu kokily neustále kontrolovat a udržovat tak, aby měla minimální hodnotu 200 °C. Při nedodržení této hodnoty hrozí výskyt tzv. studených spojů, případně nezaběhnutí konce odlitku.

Licí teplota

Zatímco u pracovní vrstvy bylo možno teplotu lití spočítat na základě empirického vzorce používaného pro běžný výpočet teploty likvidu, u druhé vrstvy bylo nutno se spolehnout na chování kobaltové slitiny při různých teplotách během tavy, kdy byly odlévány vzorky pro standardy. Vlastní licí teplotu dále ovlivňuje nahřátí licí pánve, teplota odpichu a rychlost, respektive doba lití. Pro odlévání první vrstvy z chromniklové slitiny byla zvolena teplota 1550 °C a pro druhou vrstvu z kobaltové slitiny teplota 1580 °C.

Prodleva mezi odlitím první a druhé vrstvy

Prodleva mezi odlitím první a druhé vrstvy je časový interval počítaný od okamžiku zakončení lití první vrstvy a počátkem odlévání druhé vrstvy. U běžně odlévaných dvouvrstvých odlitků velkých hmotností se tato prodleva zpravidla pohybuje v intervalu 3,5 až 4 minuty. V našem případě, kdy celková hmotnost odlitku činila pouhých 116 kg, bylo cílem dosáhnout interval pod 1 minutu. V tomto časovém úseku musí dojít k odpichu, stažení strusky, odebrání vzorku pro konečnou analýzu, změření teploty a transportu k licímu stroji. Vlastní odlévání tedy musí provádět sebraná a zkušena osádka, aby se všechny tyto technologické etapy do daného časového intervalu vešly. Pokud by došlo k výraznému překročení časového limitu pro prodlevu, tak by hrozilo nebezpečí nespojení obou vrstev. Tuto situaci znázorňuje obr. 3.

Doba lití

Základním předpokladem pro dodržení předepsaných dob lití je řádně vyhřátá pánve. Pro vlastní odlévání byla použita dvouruční pánvička zavěšená na otočném jeřábu, jak je vidět na obr. 1. Dodržení správné doby lití je důležité zejména u odlévání druhé vrstvy, protože při pomalém odlévání může dojít k zatuhnutí zbytku kovu v pánvičce, a tím k nedodržení předepsaného průměru středové díry z důvodu nedostatku tekutého kovu. Na druhou stranu při příliš krátké době lití může dojít k již výše zmíněnému tzv. spadnutí odlitku.

Požadavky na odlitek

Pracovní vrstva: dodržet předepsané chemické složení, tvrdost do 160 HB a šířku pracovní vrstvy 31 mm.

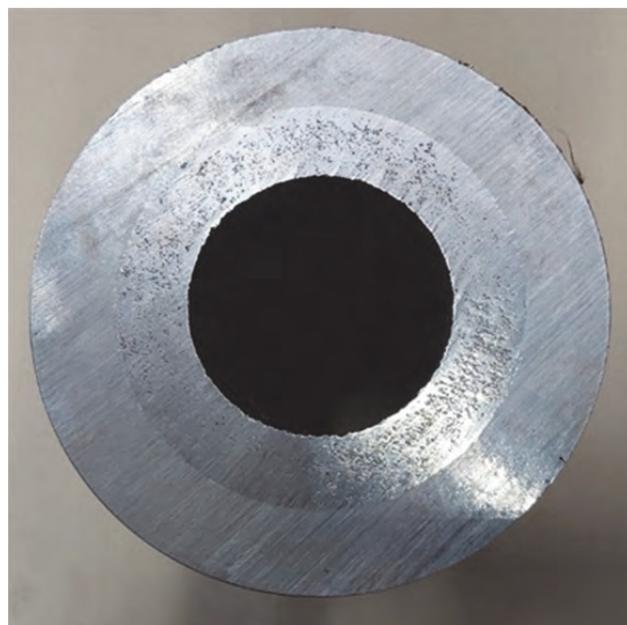
Středová vrstva: dodržet předepsané chemické složení a tvrdost 550 – 600 HB.

Odlitek musí mít dokonale definované rozhraní obou vrstev bez jednotlivých indikací větších než 2 mm a nespojených vrstev. Indikace menší než 1 mm ve středové díře je přípustná. Posouzení kvality povrchu odlitku se provádělo penetrační zkouškou.

Výsledky zkoušek

Slévárna VÚHŽ a.s. je, mimo jiné, vybavena dvěma elektrickými indukčními pecemi o objemu 100 kg. Obě pece jsou v provozu situované vedle sebe, což usnadňuje zadanou práci, protože se v každé peci mohl tavit jiný materiál. Po odebrání předzkoušky a doladění chemického složení byla postupně z obou pecí odlita první a druhá vrstva. Přitom bylo maximální soustředění věnováno odlití druhé vrstvy tak, aby byla dodržena teplota lití a délka prodlevy. Vzhledem k vyšší teplotě odpichu a opakovanému měření teploty kovu v pánvičce byla požadovaná délka prodlevy překročena o 24 s, což se, jak se později ukázalo, negativně projevilo na spojení obou vrstev na konci odlitku (obr. 3).

Výsledný rozměr odlitku činil 130/57 × 1280 mm. Odlitek měl tedy relativně dost velký přídavek jak na vnější, tak na vnitřní průměr.



Obr. 2 Detail rozhraní první a druhé vrstvy
Fig. 2 Detail of the interface between the first and second layer

Z obr. 2 je patrné, že nastavené parametry odlévání byly zvoleny správně a výsledkem je dokonalé spojení obou nesourodných materiálů.

Tvrdost středové vrstvy byla změřena na stacionárním přístroji a pohybovala se na spodní hranici požadované hodnoty. Byla naměřena hodnota 547, 536 a 541 HB, přičemž zákazník požadoval minimálně 550 HB. Původní požadovaná tvrdost byla 450 – 550 HB. Po konzultaci se zákazníkem došlo ke schválení této malé odchylky.

U všech vyrobených polotovarů byla provedena penetrační zkouška, která odhalila drobné vměstky u dvou koncových kroužků. K výskytu vad u koncových kroužků běžně dochází i u jiných odstředivě litých odlitků, takže ani tento odlévaný dvouvrstvý odlitek nebyl výjimkou. Mechanismus vzniku této vady je dán skutečností, že se

tekutý kov během své cesty od začátku do konce kokily ochlazuje, narušuje termoizolační nástřík a takto shromážděné vměstky na konci odlitku již nemají šanci být vystředěny na povrch, a zůstávají tak uvězněny v odlitku. Velikost těchto vad nevyhověla přísným přejímacím podmínkám,



Obr. 3 Nespojené vrstvy u odlitku s výrazně překročenou prodlevou mezi odlitím první a druhé vrstvy

Fig. 3 Disconnected layers in a casting with a significantly exceeded delay time between the casting of the first and second layer

a tak musely být tyto kroužky vyřazeny. Konec odlitku vykazoval navíc výskyt přelití vrstvy (obr. 4), což je slévárenská vada, která je zapříčiněna pomalým litím, příliš nízkou teplotou kokily nebo nízkou licí teplotou.



Obr. 4 Přelitá vrstva na konci odlitku

Fig. 4 Overfilled layer at the end of the casting

Závěr

Výroba dvouvrstevných, vysoce legovaných ocelových odlitků je velmi náročným technologickým procesem, který můžou provádět jen zkušené a dobře seštrané osádky, dodržující přesně nastavené podmínky lití. Složitost výroby v současné době nedovoluje tyto odlitky vyrábět sériově, takže vlastní odlévání musí probíhat pod dozorem technologa. V případě námi odlévané kobaltové slitiny se navíc jedná o poměrně drahý materiál, takže sebemenší výskyt zmetků ovlivňuje výsledný ekonomický efekt, který je navíc umocněn skutečností, že

nevyhovující polotovary jsou jen s velkými obtížemi použitelné jako vratný materiál. Na druhou stranu se jedná o lukrativní výrobky, které běžná slévárna, případně kovárna není schopna vyrobit, což významně přispívá k vylepšení pozice slévárny VÚHŽ a.s. na současném složitém ekonomickém trhu.

Literatura

JANCO, Nathan: Centrifugal Casting. American Foundrymen's Society, Inc., Illinois, USA, 1988.

Švédové vyrobili ocel bez použití fosilních paliv

MLADÁ FRONTA DNES, 21.8.2021, s.12 (ČTK)

Švédská společnost SSAB jako první na světě zahájila testovací výrobu ocele bez použití fosilních paliv a začala ji dodávat svému prvnímu zákazníkovi, kterým je skupina Volvo. Koks a uhlí firma při výrobě nahrazuje vodíkem. Dalším cílem je rozšířit technologii v průmyslu, což by se podle zpravodajského serveru CNBC mohlo stát již v roce 2026. Podle Mezinárodní agentury pro energii je produkce železa a ocele zodpovědná za 2,6 gigatuny přímých emisí oxidu uhličitého ročně, výrobci ocele jsou zároveň největším světovým konzumentem uhlí.