

Recenzované výzkumné články

Zavedení technologie odlévání kruhových bloků průměru 600 mm pro výrobu vysokojakostních ocelí

Implementation of New Technology for Continuous Casting of Blooms with Diameter of 600 mm made of Special Alloyed High-grade Steel

Ing. Tomáš Huczala, Ph.D.; Ing. Jiří Cibulka, Ph.D.; Ing. Jiří Cupek, Ph.D.; Ing. David Bocek, Ph.D.; Ing. Martin Lasota; Ing. Adam Rucki

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s., Průmyslová 1000, 739 70 Trinec-Staré město, Česká republika

S rozvojem větrné energetiky rostou každým rokem velikosti a výkony větrných turbín. Se zvyšující se velikostí turbín, a tím i jejich jednotlivých komponent, rostou rovněž požadavky výrobců (kováren) na velikost vstupního materiálu. Třinecké železářny, a.s. (TŽ) velice flexibilně reagují na požadavky trhu a v nedávné době zavedly do svého výrobního portfolia kruhový předlitek průměru 600 mm. Byly upraveny dva lící proudy stávajícího zařízení pro plynulé odlévání ZPO1. Lící oblouk byl vybaven ohřevovou komorou umístěnou před tažně-rovnací stolicí. Komora zvýší teplotu předlitku před rovnáním průměrně o 45 °C, čímž dochází k minimalizaci vzniku povrchových trhlin způsobených rovnáním. Bez jakýchkoliv problémů je zajištěna i vnitřní jakost předlitek. Ocelárna TŽ je tak, jako jedna z mála oceláren v EU, schopna vyrobit předlitek o \varnothing 600 mm. Ve spolupráci s dceřinou společností Bohemia Rings, s. r. o. tak TŽ nabízejí dodávky obrobenejších kroužků pro větrné elektrárny různých velikostí a typů.

Klíčová slova: velkorozměrový kruhový předlitek; plynulé odlévání; kované kroužky; větrné elektrárny

The continuous development of wind power engineering results in increased wind turbines capacities year by year. The growing size of turbines and their components is accompanied by increasing requirements of manufacturers (forging plants) for input material sizes. Třinecké železářny, a.s. responds flexibly to the market requirements by including round blooms with 600 mm diameter in its products portfolio. Two casting strands of the existing continuous casting machine 1 (CCM1=ZPO1) were adapted for this purpose. The casting machine no. 1 has undergone a number of changes of its components and investments were made for the purchase of new parts. In addition to the hardware equipment of the casting machine, the casting technology was also modified. The casting of large blooms represents a complex task from a technological point of view. Especially in the case of a radial casting machine, where the blooms are straightened during casting. With the increasing blooms size, the blooms are more susceptible to internal and surface defects. Therefore, it is necessary to appropriately set casting conditions (casting speed, casting temperature, cooling curve, etc.) to minimize central shrinkage. Furthermore, it is important to accurately set the parameters of the electromagnetic stirrer to achieve a suitable distribution of segregating elements, such as carbon. Very important is the prevention of surface defects. In this case, it is necessary to control the surface temperature of the blooms before straightening. The casting strand was provided with a heating chamber installed before the straightening machine. The chamber increases the blooms temperature before straightening by 45 °C on average, which minimizes the occurrence of surface cracks. In the final trials, the blooms showed a perfect internal quality. Třinecké železářny, a.s. steelmaking plant is thus one of a few steelworks in EU capable of making blooms with 600 mm diameter. Working in collaboration with its subsidiary company Bohemia Rings, s.r.o., TŽ, a.s. offers deliveries of machined rings of different sizes and types.

Key words: jumbo circular bloom; continuous casting; forged rings; wind turbines

V posledních letech je ve větrné energetice v celosvětovém měřítku patrný velký vývoj. Roste počet větrných farem, rostou i velikosti jednotlivých větrných turbín. V současné době jsou testovány větrné turbíny o výkonu 12 MW, u kterých dosahují velikosti rotoru průměr 220 m [1]. S rostoucí velikostí samotných turbín se zvyšují i velikosti jednotlivých ocelových komponent (ložiskové

kroužky, kroužky pro otáčení turbín, planetové převodovky atd.). Důsledkem tohoto vývoje jsou zvyšující se nároky kováren na velikost vstupní vsázky. Ingoty větších velikostí jsou pro tyto účely dlouhodobě k dispozici, nicméně narážejí na ekonomické aspekty ve srovnání s plynule litou ocelí. Pro kovářny je tak dlouhodobě ekonomicky výhodnější použití kontinuálně lité vsázky.

Nicméně odlévání velkorozměrových předlitků přináší řadu konstrukčních změn zařízení plynulého odlévání a nastavení technologie výroby [2, 3].

Požadavky trhu tak přispěly k rozhodnutí Třineckých železáren, a.s. (TŽ) o úpravě zařízení kontinuálního lití č. 1 (ZPO1). Finálního cíle úprav bylo dosaženo 16. května 2018, kdy byly odlity první předlitky průměru 600 mm. Základní parametry ZPO1 jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Parametry zařízení pro plynulé odlévání č. 1. [4]

Tab. 1 Parameters of continuous casting machine No.1 [4]

| Suppliers: | Vítkovice, Clesim |
|-------------------|--|
| Commissioning: | 1989 |
| Type: | Radial |
| Radius | 14 m |
| Number of strands | 5, spacing 1500 mm |
| Casting shapes: | Rectangular 300×350×mm Round: 320, 410, 470, 525, 600 |
| Mould type: | Tube, radial |
| Stirrer: | EMS (in mould) |
| Secondary cooling | Water |

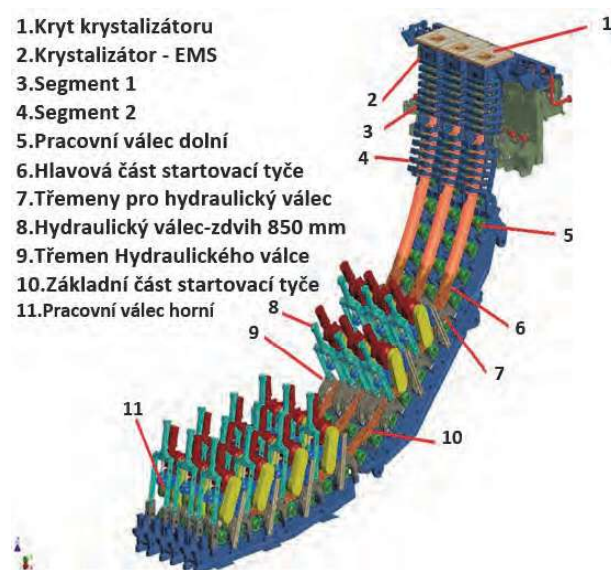
ZPO1 bylo uvedeno do provozu v roce 1989, kdy sloužilo pro odlévání pravouhlých předlitků 320 × 250 mm, 300 × 350 mm a kruhového formátu průměru 410 mm. V roce 1999 byl do výrobního programu zaveden kruhový formát průměru 320 mm. Významným krokem bylo odlití předlitku kruhového průměru 525 mm v roce 2001 [4]. Třinecké železářny se tak staly významným dodavatelem vstupů pro další zpracování, především pro kovárny. Úpravou ZPO1 v roce 2018 se tím TŽ zařadily mezi tři evropské ocelárny, které pokryjí potřeby kováren v rozměrech \varnothing 600 mm.

1. Technické a technologické parametry odlévání předlitku \varnothing 600 mm

Realizace cíle odlévat předlitek průměru 600 mm zahrnovala rekonstrukci stávajícího zařízení. ZPO1 prošlo celou řadou dílčích úprav a investic do nových částí. Schématické znázornění jednotlivých konstrukčních prvků ZPO1 je patrné na obr. 1.

Nově byly pořízeny kruhové krystalizátory \varnothing 600 mm, vybavené elektromagnetickým mícháním pro zajištění rovnoměrné distribuce uhlíku a středové kvality po průřezu předlitku. Dále byly vyrobeny segmenty sekundárního chlazení skládající se ze dvou samostatných zón. Chladičí voda je distribuována vodním rozvodem s tryskami. Se změnou odlévaného průměru musely být upraveny horní a spodní pracovní válce přítlačných stolic. Současně došlo

ke kompletní výměně přítlačných stolic, které nedosahovaly požadovaného zdvihu. Další důležitou komponentou, která slouží pro zahájení lití, jsou startovací tyče. Jelikož mají nový rozměr, bylo nutné upravit základní část a vyrobit novou hlavu startovacích tyčí. Kritickým bodem odlévání na radiálním licím stroji je samotné rovnání předlitků. Dochází k určitému namáhání materiálu, které je dáno chemickým složením odlévaného materiálu (a z něj odvozenými fyzikálními vlastnostmi) a teplotou před zahájením rovnání. Během ohybu a rovnání může docházet ke vzniku zárodku nebo rozvoji povrchových trhlin, které se mohou následně negativně projevit během dalšího zpracování materiálu. Celý efekt je umocněn rostoucím průměrem odlévaného předlitku. Pro snížení negativního dopadu rovnání byl licí proud č. 5 vybaven aktivní dohřevovou komorou, která je zobrazena na obr. 2.



Obr. 1 Zobrazení upravovaných dílů ZPO1

Fig. 1 Scheme of modified part of CCMI



Obr. 2 Aktivní dohřevová komora před tažně-rovnací stolicí

Fig. 2 Reheating box before straightening machine

Kromě technického vybavení a úprav ZPO1 bylo nedílnou součástí úprav nastavení technologických parametrů

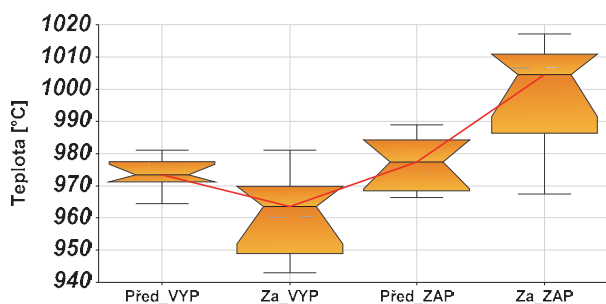
během lití. Pro pilotní odlévání byla vybrána značka 42CrMo4. Je to ocel s vysokou prokalitelností, určená k zušlechtnění, která je v hojné míře používána pro výrobu komponent větrných turbín i běžných těžkých výkovek. Chemické složení oceli je uvedeno v tab. 2.

Tab. 2 Chemické složení oceli 42CrMo4 (hm. %)
Tab. 2 Chemical composition of 42CrMo4 steel grade (wt. %)

| Rozsah | Chemické složení (hm. %) - 42CrMo4 | | | | | | | |
|--------|------------------------------------|-----|------|-------|-------|-----|------|------|
| | C | Mn | Si | P | S | Cr | Mo | Al |
| Min. | 0,38 | 0,6 | 0,15 | xxx | xxx | 0,9 | 0,15 | 0,02 |
| Max | 0,45 | 0,9 | 0,40 | 0,015 | 0,006 | 1,2 | 0,30 | 0,05 |

Surová tekutá ocel je zpracována v primárním tavicím agregátu – kyslíkovém konvertoru. Následně je rafinována na jednotlivých stanovištích sekundární metalurgie – v pánvové peci, vakuovací stanici typu RH. Na kvalitu tekuté oceli jsou kladeny přísné nároky z pohledu přesnosti chemického složení dle požadavku zákazníka, cílení úzkého rozmezí přehřátí oceli (25-45 °C) a důrazu na minimalizaci výskytu nekovových částic – vměstků.

Při provozních zkouškách byla tekutá ocel odlévána na jednom licím proudě ø 600 mm a čtyřech licích prouděch o původním průměru 525 mm. Průběh lití byl stabilní a nevykazoval odchylky od nastavených technologických parametrů. Během lití byla testována různá nastavení výkonu aktivního ohřevového boxu, který je umístěn mezi 2 a 3 tažně-rovnací stolicí (ve směru od krystalizátoru). Součástí ohřevového boxu jsou kysliko-palivové hořáky s možností regulace výkonu. Teploty byly měřeny pomocí termovize před a za tažně-rovnací stolicí.



Obr. 3 Srovnání teplot před ohřevovým boxem a za tažně-rovnací stolicí v případě vypnutého a zapnutého ohřevového boxu

Fig. 3 Temperature differences before reheating box and after withdrawal and straightening unit in the event of switched-off and switched-on reheating box

Jak je patrné z obr. 3 v případě odlévání značky 42CrMo4, kdy je dohřevová komora vypnuta, dochází k poklesu teplot při průchodu rovnacími stolicemi v průměru o 11 °C. Teplota před ohřevovým boxem je nad 950 °C. V případě, kdy byla dohřevová komora aktivní, došlo k mírnému nárůstu teplot před samotným boxem, v průměru o 5,6 °C. Dále je patrný výrazný nárůst teploty za tažně-rovnací stolicí. Celkový nárůst teploty představuje průměrně 45 °C. Teplota předlitku po rovnání tak v průměru přesahuje 1000 °C. Nárůst teploty před rovnáním zajišťuje stav oceli mimo zónu snížené tažnosti

materiálu a vyvarování se riziku vzniku povrchových trhlin. Na vnitřní strukturní zóny nemá dohřevový box vliv.

Během lití byly odebírány vzorky pro ověření vnitřní kvality předlitku. Jednotlivé vzorky byly vybrušeny a následně byl povrch vzorků vyleptán. Pomocí tohoto postupu je možno vidět strukturní stavy v oceli vznikající po utužení. Na obr. 4 je patrný příčný makrorept předlitku s použitím elektromagnetického míchače. Účinek elektromagnetického míchání se projevil vychýlením zóny kolumnárních krystalů ve směru rotace elektromagnetického pole. Zóna kolumnárních krystalů zasahuje do vzdálenosti 130 mm od spodního rádia oblouku a 160 mm od horního rádia oblouku. Postupně přechází licí struktura do zóny, která je označována jako pásmo rovnoosých krystalů. Pásmo rovnoosých krystalů dosahuje velikosti průměru 310 mm.



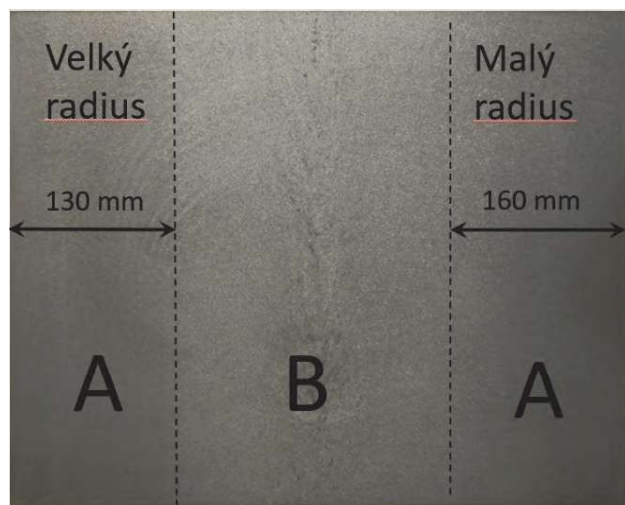
Obr. 4 Příčný makrorept předlitku ø 600 mm s použitím EMS

Fig. 4 Transverse macro-etching for blooms ø 600 mm with applied EMS

Z obr. 4 je rovněž patrné umístění pásma rovnoosých krystalů mimo střed předlitku, i přesto, že výlevka (pětiořvová-pátý otvor směřuje do tekutého jádra) z mezipánve je umístěna v krystalizátoru přesně ve středu. Tento jev lze vysvětlit radiální konstrukcí licího stroje, kdy dynamický účinek teplé oceli vystupující z výlevky působí více na malý rádius předlitku, a ovlivňuje tak tuhnutí. Ve středové části předlitku jsou pozorovatelné drobné ostrůvky utužené taveniny obohacené o segregující prvky typu uhlík, síra atd. Ve středu se nevyskytují pozůstatky staženin. To znamená, že ocel tuhla rovnoměrně a byla postupně doplňována až do finální fáze solidifikace. Je to důležitá zpětná vazba, která potvrzuje správnost nastavení licích parametrů (licí teplota a licí rychlost).

Za účelem detailnějšího posouzení vnitřní kvality předlitku bylo provedeno podélné rozřezání předlitku.

Cílem byla rovněž detekce vnitřních staženin, tvorby strukturních fází a sekrečních jevů. Na obr. 5 je zobrazen podélný řez předlitku.



Obr. 5 Podélný makrolept předlitku \varnothing 600 mm s použitím EMS
Fig. 5 Longitudinal macro-etching for blooms \varnothing 600 mm with applied EM

Rovněž na podélném řezu lze rozlišit zóny jednotlivých licích struktur. Zóna označena A představuje zónu kolumnárních krystalů, které vznikají intenzivním odvodem tepla v první fázi solidifikace. V zóně označené B je strukturní stav lité struktury ve formě rovnoosých krystalů. V zóně B jsou na makroleptu patrné segregace typu V, které vznikají postupným dosazováním taveniny obohacené o segregční příměsi do prázdných prostor primárních zrn. Délka podélného řezu je 50 cm. Na podélném řezu nejsou patrné výraznější vnitřní staženiny, což potvrzuje výbornou vnitřní kvalitu předlitku.

Po odlití byly předlitky děleny pálením na délky dle požadavku zákazníků. Metrová hmotnost u předlitku průměru 600 mm činí 2,22 t. Rozsah možných dodávaných délek je 2,5 – 6,4 m.

Po odlití byly kontrolovány rozměrové parametry. Významným parametrem je ovalita předlitku, která je charakterizována poměrem průměru předlitku ve vertikální a horizontální ose. Garantovaný limit je obecně v podmínkách TŽ, a.s. pro kruhové předlitky 2,5 %. V případě předlitku \varnothing 600 mm byla průměrná hodnota ovalit 1,37 % a maximální hodnota 1,7 %.

2. Následné zpracování předlitků

Po finální kontrole byly předlitky dodány k dalšímu zpracování do dceřiné firmy Bohemia Rings, s. r. o., Zámrsrk. Ze vstupního polotovaru o průměru 600 mm byl zde rozválcován kroužek o celkovém průměru 4000 mm a hmotnosti 3,8 – 4,0 t. Fotografie rozválcování znázorňuje obr. 6. Po válcování byly kroužky tepelně zpracovány a následovalo mechanické opracování dle

požadavku zákazníka. Finální vnitřní jakost materiálu byla prověřována nedestruktivní zkouškou ultrazvukem dle EN 10228-3 třída 4 (FBH max. 2 mm pro bodovou vadu). Výsledky zkoušek ultrazvukem potvrdily, že v materiálu nejsou přítomny žádné vnitřní vady.



Obr. 6 Rozválcování kroužku ve firmě Bohemia Rings, s.r.o., Zámrsrk
Fig. 6 Rolling of ring in the company Bohemia Rings, s.r.o., Zámrsrk

Závěr

TŽ rozšířily své portfolio výrobků o nový formát předlitků průměru 600 mm, odlévaných na dvou licích proudcích stávajícího zařízení plynulého odlévání ZPO1. Ocelárna TŽ se tak stává jednou z mála v Evropské unii, která je schopna odlévat předlitky těchto velikostí.

V rámci zavedení nového formátu předlitku byla na ZPO1 provedena celá řada úprav a investic do nového zařízení. Byly nastaveny jednotlivé parametry odlévání oceli pro značky 42CrMo4 a LF2, které slouží hlavně pro potřeby kováren. Odlité předlitky vykazují výbornou vnitřní kvalitu. Stejně tak povrchová kvalita a rozměrové parametry (ovalita, přímost) naprosto splňují podmínky odběratelů. V kooperaci s dceřinou společností Bohemia Rings jsou TŽ schopny zajistit výrobu kroužků různých typů a rozměrů.

Literatura

- [1] Haliade-X Offshore Wind Turbine Platform. Available online: <https://www.ge.com/renewableenergy/windenergy/turbines/haliade-x-offshore-turbine> (accessed on 20 February 2019).
- [2] BUORO, S. ROMANNELI, G. Technological Review of the Start-up of a New Jumbo Bloom Continuous Caster for Specialty Steels. *Iron and Steel Technology*, June 2012, 39–41.
- [3] SPADACCINNI, A. et al. Technological Steel Cleanliness in Large Rolled Product Manufacturing from Jumbo Continuous Casted Product. In *Clean Steel 2018*. Budapest, Hungary, 18.-20. Sept. 2018.
- [4] CUPEK, J., BOCEK D., HUCZALA, H. 140 let výroby oceli v Třineckých železárnách. In *Iron and Steelmaking*, Horní Bečva, Česká republika, 4.-6. 10. 2017, s. 9–18, ISBN 978-80-248-4120-5.