

Převzaté výzkumné a vědecké články

Provozní ověření technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci

Operational Verification of Molten Metal Decarburization Technology Using an Immersion Lance in a Ladle Furnace

Ing. František Vrána^{1*}, Ing. Pavel Fila, Ph.D.¹, Ing. Martin Balcar, Ph.D.¹, Jan Uherek²

¹ ŽĎAS, a.s., Strojírenská 675/6, 591 01, Žďár nad Sázavou, ČR, frantisek.vrana@zdas.cz

² VESUVIUS MORAVIA s.r.o., Advanced Refractories, Průmyslová 726, Třinec, ČR

Abstrakt

Výroba korozivzdorných ocelí ve ŽĎAS, a.s. probíhá s využitím technologického procesu EAF/LF/VOD. Ověření technologie oxidace uhlíku za atmosférického tlaku dmýcháním kyslíku ponornou tryskou do taveniny na LF bylo realizováno s ohledem na možnosti snížení ekonomické náročnosti výroby taveniny s vysokým obsahem chromu. V rámci experimentálního ověření nové technologie LF – OB v podmínkách Ocelárny ŽĎAS, a.s. byl proveden návrh technického řešení instalace a použití ponorné trysky a realizace provozních zkoušek dmýchání kyslíku do kovové taveniny s vysokým obsahem chromu. V průběhu realizace provozních zkoušek oxidace taveniny dmýcháním kyslíku ponornou tryskou byly sledovány a vyhodnoceny základní procesní parametry.

Klíčová slova: korozivzdorná ocel; vakuové oxidační oduhličení, EAF, LF, VOD

Abstract

The production of stainless steels at ŽĎAS, a.s. is carried out using the EAF/LF/VOD process route. The verification of carbon oxidation technology at atmospheric pressure by oxygen blowing into the melt using an immersion lance in the ladle furnace (LF) was conducted with regard to the potential reduction of production costs for high-chromium melts. Within the experimental verification of the new LF–OB technology under the operating conditions of the ŽĎAS, a.s. steel plant, a technical design for the installation and application of the immersion lance was developed, and industrial trials of oxygen blowing into high-chromium metal melts were performed. During the industrial trials of melt oxidation by oxygen blowing through the immersion lance, key process parameters were monitored and evaluated.

Key words: stainless steel; continuous casting; vacuum oxygen decarburization; EAF, LF, VOD

1. Úvod

Výroba korozivzdorných ocelí probíhá na zařízeních primární a sekundární metalurgie. V podmínkách ŽĎAS, a.s. je výroba a zpracování vysokolegovaných chromových tavenin realizována na zařízení elektrické obloukové pece (EAF), pánvové pece (LF) a technologii pro vakuové zpracování oceli (VD/VOD).

Problematika výroby vysokolegovaných chromových ocelí v daném výrobním procesu v podmínkách ŽĐAS, a.s. spočívá v několika oblastech:

- a) Částečná oxidace taveniny na EAF pro snížení koncentrace křemíku a částečně i uhlíku je spojena s prudkým nárůstem teploty taveniny. V důsledku toho dochází k vysokému opotřebení vyzdívky a nístěje EAF.
- b) Řízená oxidace taveniny dmýcháním kyslíku sonickou tryskou při VOD pro dosažení požadované nízké koncentrace uhlíku je provázána nežádoucím nástřikem taveniny na stěny pánve a víko VOD. Ztráty tekutého kovu nástřikem na stěny pánve a víko VOD mohou dosahovat v podmínkách technologie ŽĐAS, a.s. až 7 % z celkové hmotnosti taveniny v pánvi.
- c) Proces VOD probíhá za podmínek sníženého tlaku plynu v kesonu a udržování podtlaku v kesonu při procesu VOD znamená vysokou spotřebu energie.
- d) Perioda dmýchání kyslíku při procesu VOD představuje vysoké kapacitní vytížení zařízení VD/VOD, které v důsledku omezuje plynulost celého výrobního cyklu při výrobě oceli.

Uvedené negativní vlivy na ekonomiku výroby vysokolegovaných chromových ocelí je možné řešit zkrácením periody dmýchání kyslíku na EAF a zařízení VD/VOD. Možným způsobem zkrácení oxidační periody na EAF a VOD je oxidace taveniny v rafinační pánvi za atmosférického tlaku.

Proto byla v Ocelárně ŽĐAS, a.s. navržena technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci. Ověření technických možností a přínosů dané technologie bylo realizováno v rámci několika provozních taveb.

2. Konstrukce trysky pro technologické zařízení LF-OB

Pro instalaci kyslíkové ponorné trysky ve ŽĐAS, a.s. byla uvažována stávající pánvová pec pro zpracování tekutého kovu v rafinační pánvi v objemu od 14 do 20 tun. Návrh provedení technologického zařízení pro dmýchání kyslíku ponornou tryskou na pánvové peci byl proto pracovně označen jako LF – OB (Ladle Furnace – Oxygen Blowing).

Základní myšlenka konstrukce technologického zařízení byla instalovat keramickou ponornou kyslíkovou trysku do ramene pro grafitovou elektrodu. Kyslíková tryska byla navržena ve spolupráci s VESUVIUS MORAVIA s.r.o. Základní parametry kyslíkové trysky byly navrženy s ohledem na konstrukci pánvové pece a dostupnost připojení na kyslíkové potrubí. Tvar a rozměry trysky uvádí **obr. 1**.

Kyslíková ponorná tryska dle **obr. 1** byla navržena v délce 5000 mm, přičemž pracovní část byla v délce 3300 mm. Hlavní prvek trysky je ocelová trubka uzpůsobená pro připojení na rozvod tlakového kyslíku. Pracovní část byla odlita z korundového žárobetonu. Možnost instalace kyslíkové trysky do ramene pro grafitovou elektrodu byla zajištěna několika stupni přírub.

Instalace ponorné kyslíkové trysky na LF byla provedena pouze v případě realizace provozních zkoušek. Instalaci trysky na pánvové peci ve ŽĐAS, a.s. uvádí **obr. 2**.

Uložení trysky do ramene pro grafitovou elektrodu, jak je patrné z **obr. 2**, umožnilo plynulou regulaci pozice kyslíkové trysky a poměrně přesné nastavení potřebného ponoru do taveniny kovu. Kyslíková tryska byla připojena na rozvod kyslíku s tlakem 1,5 MPa.



Obr. 2 Instalace kyslíkové ponorné trysky
na LF

Fig 2 Installation of an immersion oxygen lance at the LF station

Provedení instalace ponorné trysky s využitím ramene elektrody pánvové pece umožnilo zbývající dvě grafitové elektrody používat pro potřeby udržování teploty taveniny ohřevem elektrickým obloukem. Při potřebě zvýšení teploty taveniny bylo uvažováno s využitím druhé pánvové pece.

Provozní ověření technologie LF – OB bylo realizováno na 2 tavných nízkoolegovaných konstrukčních ocelích a 6 tavných vysokoolegovaných martenzitických a austenitických ocelí. Hmotnost tekutého kovu se pro jednotlivé tavby pohybovala v rozmezí od 13,5 až 20,2 tuny. Příprava tekutého kovu probíhala na EAF. Po odpichu tekutého kovu do rafinační pánve sekundární metalurgie byla pánve převezena na pracoviště LF – OB. Následně byl proveden odběr vzorků pro stanovení chemického složení tekutého kovu a měřena teplota taveniny. V dalším kroku bylo provedeno najetí trysky nad hladinu kovu a po zahájení dmýchání kyslíku za daného tlaku a průtoku byla tryska ponořena pod hladinu taveniny do požadované hloubky. Pro ukončení dmýchání byla tryska vrácena nad hladinu kovu a byl uzavřen průtok kyslíku. Následovalo měření teploty a odběr vzorků pro stanovení chemického složení kovu.

V rámci provozních zkoušek byl pozorován průběh oxidace z pohledu rozstříku kovu a chování taveniny. Oxidace taveniny probíhala ve všech případech bez rozstříku kovu. Vzhledem k soustavnému dmýchání inertního plynu přes porézní tvárnici ve dně rafinační pánve byla zajištěna rovnoměrná distribuce kyslíku v tavenině a nedocházelo k neřízeným reakcím kyslíku s uhlíkem. Kromě chemického složení taveniny a teploty kovu bylo dokumentováno opotřebení trysky. **Obr. 3** až **obr. 6** dokládají stav trysky po realizaci provozních zkoušek.



Obr. 3 Pohled na trysku ve víku LF
Fig. 3 View of the lance in the LF cover



Obr. 4 Detail ústí ponorné trysky
Fig. 4 Detail of lance output



Obr. 5 Stav trysky po použití
Fig. 5 Condition of the lance after use



Obr. 6 Opotřebení ústí trysky
Fig. 6 Wear on the lance output

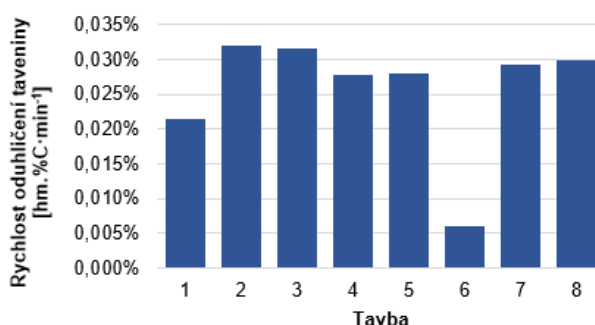
Jak je zřejmé z **obr. 3** až **obr. 6**, při dmýchání kyslíku do tekutého kovu dochází k opotřebení trysky především v oblasti ústí ocelové trubky v trysce. Vnější opotřebení trysky není z pohledu spotřeby trysky podstatné. Spotřebu trysky lze vyjádřit průměrným úbytkem délky trysky rychlostí $1,7 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$. V některých případech docházelo při dmýchání kyslíku k namrzání kovu přímo na tělo trysky nad hladinou taveniny. Objem kovu na trysce je však z pohledu objemu kovu v pánvi zanedbatelný. Opotřebení trysky bylo v průběhu realizace experimentálních taveb dokladováno měřením délky trysky před zahájením dmýchání a po jeho ukončení. V průběhu používání trysky došlo ke vzniku podélné trhliny v betonovém obalu ocelové trubky. Vzniklá trhlina neměla negativní vliv na použití trysky a neprojevovala se ani zvýšeným opotřebením trysky. V případech některých taveb bylo pozorováno nerovnoměrné opotřebení trysky, jak např. uvádí **obr. 6**.

4. Výsledky provozních zkoušek

Provozní zkoušky technologie LF – OB na 8 tavných nízkoaligovaných a vysokoaligovaných martenzitických a austenitických ocelí potvrdily, že navržená konstrukce trysky vyhovuje pro použití při oxidaci taveniny na pánvové peci.

Ověření dmýchání kyslíku ponornou tryskou probíhalo za různých úrovní ponoru trysky do taveniny kovu. Byly ověřeny podmínky dmýchání při ponoru ústí trysky od 100 do 400 mm. Při vstupním tlaku kyslíku v rozpětí mezi 0,5 až 1,2 MPa a nastaveném ponoru trysky bylo subjektivně hodnoceno chování taveniny z pohledu možného rozstříku kovu. Bylo zjištěno, že vliv tlaku a ponoru trysky na chování taveniny je zanedbatelný. Ve všech případech se kov v pánvi v průběhu dmýchání kyslíku choval klidně a nežádoucí rozstřík kovu nebyl pozorován.

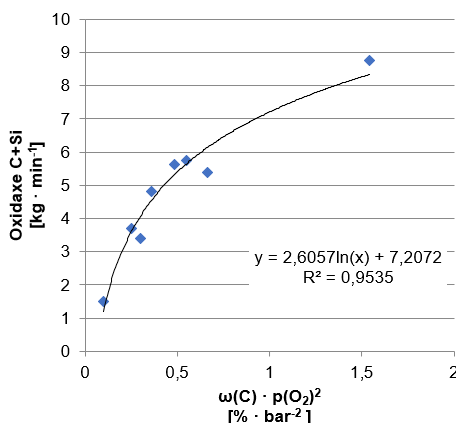
Vstupní koncentrace uhlíku u nízkoaligovaných tavenin byla v průměru 0,46 hm.% a konečná koncentrace po oxidaci taveniny ponornou tryskou činila 0,22 hm.%. Obecně je možné vyjádřit účinnost oxidace uhlíku s využitím ponorné trysky jako průměrnou rychlost oduhličení taveniny, která v případě ověřovaných taveb dosáhla hodnoty 0,026 hm.%C·min⁻¹. Dosaženou průměrnou rychlost oduhličení taveniny pro jednotlivé tavby uvádí **obr. 7**.



Obr. 7 Rychlost oduhličení taveniny při dmýchání kyslíku s využitím ponorné trysky

Fig. 7 The decarbonization velocity of molten metal during oxygen blowing using an immersion lance

Oduhličovací výkon v závislosti na tlaku kyslíku a vstupní koncentraci uhlíku se pohyboval v rozpětí 1,1 až 6,4 kg·min⁻¹. Rychlost oxidace uhlíku a křemíku v závislosti na tlaku kyslíku a vstupní koncentraci uhlíku se pohybovala v rozpětí 1,4 až 8,9 kg·min⁻¹, jak je patrné z **obr. 8**.



Obr. 8 Závislost intenzity oxidace C+Si na počáteční hodnotě koncentrace uhlíku a tlaku kyslíku

Fig. 8 Dependence of C+Si oxidation intensity on initial carbon concentration and oxygen pressure

Oxidace chromu a dalších prvků obsažených v tavenině kovu byl přirozený důsledek dmýchání kyslíku do taveniny. U vysokolegovaných tavenin s koncentrací chromu od 12,3 hm. % do 28,8 hm. % byla průměrná koncentrace uhlíku na začátku oxidace 0,85 hm. % a po oxidaci taveniny ponornou tryskou 0,62 hm. %. V průběhu oxidace došlo ke změně koncentrace chromu ze vstupní hodnoty 19,85 hm. % na hodnotu 19,70 hm. %. Pokles koncentrace chromu byl z pohledu obdobného procesu na EAF zanedbatelný.

Současně je třeba konstatovat, že oxidace chromu v rafinační pánvi neznamena reálnou ztrátu chromu jako v případě oxidace chromu na EAF, kdy je před odpichem taveniny do rafinační pánve provedeno odstranění strusky z hladiny kovu. Chrom ve formě oxidů obsažených ve strusce na hladině kovu v rafinační pánvi je v průběhu dalšího zpracování na zařízení VD/VOD redukován zpět do taveniny.

Teplotní bilance taveb v průběhu oxidace taveniny ponornou tryskou výrazně závisí na chemickém složení oceli a intenzitě dmýchání kyslíku. V případě oxidace nízkolegovaných tavenin bylo oxidací zajištěno pokrytí teplotních ztrát kovu v pánvi z důvodu přenosu tepla do vyzdívky rafinační pánve a sálání. Vstupní teplota kovu před zahájením oxidace činila u první tavby 1566 °C a ve druhém případě 1577 °C. Konečné teploty po ukončení oxidace byly v obou případech taveb shodné se vstupními teplotami, přičemž průměrná doba dmýchání kyslíku činila cca 8 min 30 s.

Při oxidaci vysokolegovaných tavenin byl zjištěn nárůst teploty kovu. Nárůst teploty souvisí s exotermickými reakcemi prvků obsažených v tavenině s kyslíkem. Vstupní teplota kovu před zahájením oxidace byla měřena v rozpětí 1523 °C až 1655 °C, tj. průměrná teplota 1606 °C. Konečné teploty po ukončení oxidace byly měřeny v rozpětí 1609 °C až 1692 °C, tj. průměrná teplota 1659 °C. Naměřený rozdíl teplot v průběhu oxidace tak činil cca 53 °C. Při průměrné době oxidace 10 min 50 s to znamená **nárůst teploty taveniny o 4,9 °C·min⁻¹**.

5. Závěr

V rámci provozního ověření technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci, která byla pracovně označena LF – OB (Ladle Furnace – Oxygen Blowing), byl realizován návrh konstrukce trysky vhodné pro instalaci na pánvové peci do ramene pro grafitovou elektrodu. Zkoušky technologie byly realizovány v případě 2 taveb nízkolegovaných konstrukčních ocelí a 6 taveb vysokolegovaných martenzitických a austenitických ocelí.

Výsledky zkoušek potvrdily možnost využití ponorné trysky pro dmýchání kyslíku do taveniny za atmosférického tlaku na LF. Technologie umožňuje oxidaci taveniny a snížení koncentrace křemíku a uhlíku v tekutém kovu. Při všech zkouškách bylo dosaženo požadované snížení koncentrace uhlíku. V případě vysokolegovaných ocelí docházelo současně k oxidaci chromu a manganu. Při tlaku dmýchaného kyslíku v rozpětí 0,5 až 1,2 MPa byla dosažena průměrná rychlost oduhličení taveniny na úrovni 0,026 hm.%C·min⁻¹.

Provozní ověření technologie oduhličení taveniny ponornou tryskou na pánvové peci potvrdilo, že během dmýchání kyslíku ponornou tryskou do taveniny za atmosférického tlaku nedochází k významnému nástřiku oceli na stěny pánve a víko LF. Snížení rozstřiku taveniny v porovnání s procesem VOD může přispět ke zlepšení ekonomických parametrů výroby vysokolegovaných chromových ocelí.

Na základě dosažených výsledků a provozních zkušeností lze předpokládat, že technologie LF – OB (Ladle Furnace – Oxygen Blowing) je pro výrobu vysokolegovaných chromových ocelí v běžných průmyslových podmínkách využitelná a vhodná.

Ověření nejnížší dosažitelné koncentrace uhlíku při procesu LF – OB za přijatelných teplot taveniny bude předmětem případných dalších zkoušek. Teoreticky lze předpokládat, že oceli s obsahem do 30 hm. % Cr bude možné oduhličit za atmosférické tlaku technologií LF – OB na konečné koncentrace nad 0,10 hm. % C bez nadměrné oxidace chromu nebo nadměrného přehřátí taveniny nad teploty 1700 °C. Dmýchání argonu porézni tvárnici dnem rafinační pánve LF v průběhu oxidace by mělo oduhličení taveniny významně podpořit. Současně by mělo být zamezeno nadměrnému ohřevu taveniny. V porovnání s EAF by tak měly být zajištěny lepší podmínky pro průběh požadovaných chemických reakcí.

V případě požadavků na výrobu vysokolegovaných tavenin s koncentrací uhlíku pod 0,10 hm. % C lze ověřovanou technologii využít jako součást komplexní technologie EAF – LF – OB – VOD. Přínosy využití technologie LF – OB lze očekávat ve snížení ztrát nástřikem kovu na stěny pánve a víko VOD zařízení, zvýšení kapacity zařízení VD/VOD a celkové snížení nákladů na výrobu vysokolegovaných ocelí.

„Originál tohoto článku byl publikován ve sborníku konference Oceláři 2025 a je zde uveřejněn se souhlasem autora.“

INFORMATIVNÍ ČLÁNEK

Primetals Technologies modernizuje válcovnu za studena v Eisenhüttenstadtu

2. prosinec 2025

Společnost ArcelorMittal Eisenhüttenstadt udělila firmě Primetals Technologies prozatímní certifikát převzetí (PAC) po úspěšném dokončení rozsáhlé modernizace reverzní válcovny za studena v Eisenhüttenstadtu v Německu.

Součástí dodávky bylo nové mechanické vybavení válcovny pásů, včetně nového pásového lisu systému odsávání výparů, medií systému a vnitřního zařízení válcovny. Modernizace zvýšila bezpečnost, provozní spolehlivost a připravenost zařízení na další technologický rozvoj.

Významným přínosem je nový systém automatizace řízení plochosti pásu založený na matematickém modelu. Ten umožňuje přesnější řízení procesu a zvyšuje kvalitu válcovaných produktů, zejména z křemíkové oceli.

ArcelorMittal Eisenhüttenstadt je integrovaná ocelárna pokrývající celý hodnotový řetězec výroby oceli, od výroby železa a oceli až po válcování za tepla a za studena. S roční projektovanou výrobní kapacitou až 2,4 milionu tun surové oceli zaměstnává společnost přibližně 2 650 lidí.

Celý článek na webu [Primetals](#)