

Zkušenosti z použití alitovaných elektrod na pánvové peci

Experiences in Using Alited Electrodes on a Ladle Furnace

Ing. František Vrána; Ing. Adéla Odehnalová; Ing. Pavel Fila, Ph.D.; Ing. Martin Balcar, Ph.D.

ŽĎAS a.s. Strojírenská 675/6, 591 01 Žďár nad Sázavou 1, Česká republika

V elektrických obloukových pecích a na ně navazujících pánvových pecích jsou používány grafitové elektrody na tavení a dohřívání oceli. Tyto elektrody jsou opotřebovávány nejen kontaktem s tekutou ocelí, ale také oxidací pecní atmosférou.

Ve ŽĎAS, a.s. byly ověřovány grafitové elektrody s povrchovou úpravou. Povrchová úprava formou alitace představuje nanesení několika vrstev různých kovů, jenž chrání elektrodu před oxidací. V důsledku by mělo být dosaženo výrazně nižší oxidace povrchu elektrody a snížení spotřeby grafitových elektrod na vyrobenou tunu oceli. Ochranný povlak je vyráběn společností Graphite COVA GmbH, Röthenbachu a.d. Pegnitz, Německo. Článek zmiňuje průběh a výsledky experimentálních zkoušek.

Klíčová slova: pánvová pec; grafitové elektrody; sekundární metalurgie; redukce plynů; šetření materiálu

Graphite electrodes are used in electric arc furnaces and ladle furnaces to facilitate melting and rating of molten metals. In the proces, the eletcrodes are used up by dissolving in molten metal and slag and by surface oxidation. It is functionally impossible to prevent the electrodes from being dissolved in metal and slag. Preventing surface oxidation is possible by either cooling the electrode's surface below graphite's ignition point, or by preventing contact with gaseous oxygen.

Cooling electrodes on electric arc furnaces and ladle furnaces is not very effective, because water, the most readily available coolant, must not be present below the furnace lid. This means cooling only protects the parts of the electrodes outside the furnace itself and decreases the time after a heat during which the electrodes oxidate. Alited electrodes are graphite electrodes coated in several protective layers, in order to stop contact with oxygen, even at hight temperatures. 6 alited electrodes were tested in ŽĎAS a.s. in order to see how much could be saved by using them instead of standard graphite electrodes. The 6 alited electrodes were used in one electrode column of a ladle furnace, while standard graphite electrodes were used on the other two columns. Observations were made on the shape of the electrodes during use, the interaction with the clamping device, the usage of electrical power, and the mass of electrodes consumed on each column.

The results were, that the alited electrodes maintained their radius better, they did not change the amount of electrical energy required per tonne of steel, they did not cause undue heating or any other strange interaction with the clamping device, and less of them was consumed per tonne of steel than of standard graphite elecrodos. Specifically, if there were standard graphite electrodes on every column, there would be $1,42 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$ of graphite consumed, while with alited electrodes, it would have been $1,19 \text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$, which is around 16% graphite consumed.

Key words: Ladle furnace; graphite electrodes; secondary metallurgy; flue gas reduction; material savings

1. Problematika opotřebení elektrod

1.1. Opotřebení obloukem

Ve chvíli, kdy je grafitová elektroda v kontaktu s roztavenou ocelí a probíhá elektrický oblouk, je spodek elektrody přímo opotřebováván elektrickým obloukem a částečně dochází k rozpouštění určitého množství grafitu v tavenině kovu a strusky.

Tomuto opotřebení nelze zabránit, protože je přímým důsledkem používání pro účel ohřevu taveniny.

1.2. Opotřebení oxidací

Povrch grafitové elektrody při teplotě nad $650 \text{ }^\circ\text{C}$ a za přístupu kyslíku [1] velmi intenzivně oxiduje.

Oxidací elektrody na jejím povrchu se postupně mění tvar elektrody a ta získává jehlanovitý tvar, jak je uvedeno na obr. 1. Nerovnoměrné opotřebení a vznik jehlanovitého tvaru elektrody je důsledkem doby expozice elektrody při teplotách nad $650 \text{ }^\circ\text{C}$.

Opotřebení oxidací lze zmírnit buď snížením času, po který jsou elektrody vystavené záru vyššímu, než je teplota $650 \text{ }^\circ\text{C}$ nebo omezením přístupu kyslíku.



Obr. 1 Standardní grafitové elektrody
Fig. 1 Standard graphite electrodes

2. Ochrana elektrod proti oxidaci

2.1 Chlazení elektrod

Při výrobě a zpracování oceli na elektrických obloukových pecích (EOP) a pánvových pecích (LF) je možné chladit elektrody ostříkem vodou. Ostříkem a následným odpařováním vody jsou elektrody ochlazovány, což brání jejich oxidaci. Ostřík elektrod vodou se provádí na části elektrod nad víkem pece a proud vody je kontrolován tak, aby voda nestékala po elektrodě do pece a taveniny. [2] Ochrana elektrod proti oxidaci ostříkováním vodou má omezenou účinnost vlivem vysokých teplot v oblasti nad hladinou kovu a pod víkem pece. Účinnost daného způsobu chlazení elektrod se tak výrazně zvyšuje ve fázích tavby, kdy je přerušen elektrický oblouk a elektrody jsou vysunuty nad víko pece.

2.2 Omezení přístupu kyslíku k povrchu elektrody

Snížení opotřebení elektrod oxidací je možné i způsobem, který zabrání přímému kontaktu grafitu s kyslíkem. Ochrana se v současnosti provádí povlakováním elektrod speciálními slitinami, které se nazývají alitace. V technické praxi se ochrana grafitových elektrod provádí nanášením několika vrstev kovu a slitin. Ochranné povlaky jsou ve dvou variantách, černá a bílá varianta obsahuje ve třech vrstvách od povrchu elektrody kombinaci hliníku a výrobcem neuvedených složek, hliníkových slitin a čistého hliníku. Černá varianta má navíc na povrchu

vrstvu výrobcem neuvedeného kovu a vrstvu grafitu. Parametry ochranné vrstvy jsou v tab. 1. [3]

Podle výrobce se hliníková vrstva má při teplotě cca 600 °C roztavit a jako kapalina přilnout k povrchu elektrody, čímž dále zabraňuje přístupu kyslíku. [3]

Tab. 1 Parametry ochranné vrstvy elektrod [3]

Tab. 1 Parameters of electrode protection layer [3]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Tloušťka	[mm]	0,5 až 0,8
Rezistivita	[$\Omega \cdot \mu\text{m}$]	0,07 až 0,10
Neprodyšnost na 900 °C	[hodin]	> 50
Teplota rozpadu	[°C]	> 1850
Zpoždění oxidace grafitu	[hodin]	10 až 20

3. Experimentální práce

Pro provozní ověření přínosů použití alitovaných grafitových elektrod v porovnání s běžnými grafitovými elektrodami, které jsou v současnosti dodávány s impregnací proti oxidaci, byla využita kvalita černých alitovaných elektrod průměru 255 mm. Ověření a provozní zkoušky byly realizovány ve ŽĐAS, a.s. na LF pro zpracování 20 tun tekutého kovu.

3.1 Dokumentace alitovaných elektrod

Pro experimentální ověření v Ocelárně ŽĐAS, a.s. bylo nakoupeno 7 ks alitovaných elektrod o hmotnosti cca 159 kg·ks⁻¹, při celkové hmotnosti 1111 kg. Před zahájením instalace alitovaných elektrod na pánvovou pec (LF) byly elektrody vizuálně kontrolovány a označeny pořadovými čísly 1A až 7A, jak je zřejmé z obr. 2.



Obr. 2 Zkušební alitované elektrody
Fig. 2 Aliteted electrodes for test

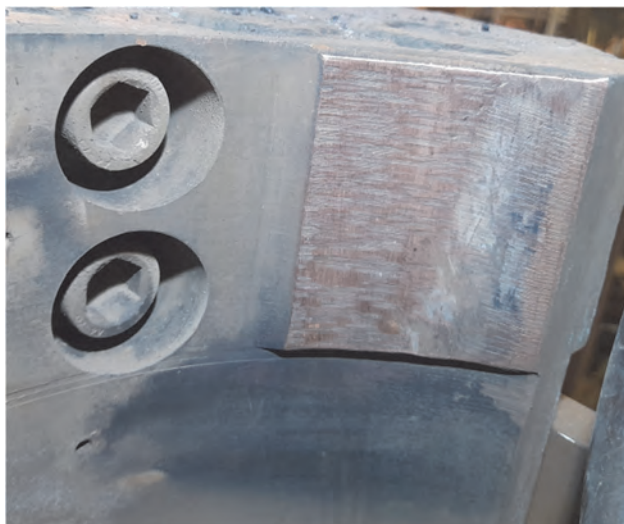
Obr. 3 dokládá zjištěnou vadu povrchu jedné z dodaných elektrod s označením 5A. Vada se vyskytovala lokálně a byla charakteru porušení souvislosti vrstvy alitace a přítomnosti oxidů kovu.



Obr. 3 Vady povrchu elektrody 5A
Fig. 3 Electrode 5A surface defects

3.2 Ověření alitovaných elektrod na LF

Před instalací alitovaných elektrod na jedno z ramen LF byla provedena vizuální kontrola stavu měděných kontaktních ploch, které dokumentuje obr. 4.



Obr. 4 Stav měděné svorky rameno pro uchycení GE na LF
Fig. 4 State of the copper clamp for clamping GE on LF

První alitovaná elektroda byla instalována na jedno ze tří ramen LF na standardní grafitovou elektrodu. Následně bylo provedeno vážení všech tří instalovaných sloupců elektrod a výchozí váhy byly zaznamenány.

Alitované elektrody byly v průběhu ověřování postupně nasazovány na stejné rameno LF. V daném časovém rámci tak bylo možné porovnávat vizuální rozdíly mezi opotřebením různých typů elektrod instalovaných na jednotlivých ramenech. Současně bylo možné provádět průběžnou kontrolu spotřeby grafitových elektrod na jednotlivých ramenech LF.

V rámci experimentální práce bylo dohlíženo na stav měděných kontaktních ploch pro uchycení elektrody v rameni a přenos elektrického proudu. Po dobu

zpracování 6 ks alitovaných elektrod (1 ks elektrody nebyl v experimentu použit) nebylo zaznamenáno nestandardní opotřebení ani nebyly pozorovány stopy lokálního přehřívání měděných ploch.

Obr. 5 dokumentuje vzhled přechodu standardní GE na alitovanou GE. Je patrné výrazné rozdílné opotřebení elektrod oxidací.



Obr. 5 GE vpravo – přechod alitovaná (horní)/standardní (dolní)
Fig. 5 Right: Transition from alited GE (upper) to standard GE (lower)

Na obr. 6 pak můžeme pozorovat výrazný rozdíl v opotřebení použitých typů elektrod oxidací ve finální fázi ověření alitovaných elektrod. Na uvedeném snímku je zřejmý přechod mezi dolní alitovanou elektrodou a následující horní standardní grafitovou elektrodou.



Obr. 6 Přechod standardní (horní)/ alitovaná (dolní)
Fig. 6 Transition from standard GE (upper) to alited GE (lower)

Z uvedených obr. 5 a obr. 6 lze učinit závěr, že alitované GE vykazují vyšší odolnosti proti opotřebení oxidací, resp. jsou schopné výrazně delší dobu odolávat oxidaci za vysokých teplot v podmínkách zpracování taveniny na LF.

Na obr. 7 je dokumentována vada alitované GE 5A, která souvisí s poškozením uvedeným na obr. 3. V průběhu zpracování GE 5A došlo po tepelné expozici k uvolnění vrstvy alitace a odkrytí povrchu původní GE.



Obr. 7 Vada GE 5A – lokální ztráta vrstvy alitace v místě původního poškození

Fig. 7 GE 5A defect – local loss of alited layer in the spot of original mechanical defect

Obr. 8 uvádí případ poškození alitace GE po běžné tepelné expozici a následném nenuceném ochlazení celé elektrody. Poškození alitace bylo zřejmě způsobeno vlivem rozdílných teplotních roztažností použitých materiálů a grafitové elektrody. Při sledování povrchu elektrody v průběhu následného zpracování nebylo vizuálně pozorováno, že by zdokumentované poškození alitace dále vedlo ke snížené ochraně GE a místnímu nadměrnému opotřebení nebo oxidaci.



Obr. 8 Vada GE 4A – prasklina vrstvy alitace

Fig. 8 GE 4A defect – alited layer crack

Z pohledu spotřeby grafitových elektrod bylo hodnocení 6 ks alitovaných elektrod realizováno v rozsahu sledování 160 taveb od první instalace až do okamžiku spotřebování poslední alitované elektrody ve sloupci elektrod na daném rameni LF. Po dobu experimentu bylo na LF zpracováno 2,833 tun taveniny.

V rámci experimentu bylo:

- na 1. rameni LF spotřebováno 1306 kg standardních GE,
- na 2. rameni LF spotřebováno 1375 kg standardních GE,
- na 3. rameni LF spotřebováno 271 kg standardních GE a 898 kg alitovaných GE, tj. celkem 1169 kg GE.

Výsledné spotřeby GE na jednotlivých ramenech dokládají rozdílnou spotřebu standardních GE a alitovaných GE. Celková průměrná spotřeba GE v rámci taveb zohledněných v experimentu činí $1,36 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ tekutého kovu.

Při uvážení rozdílných spotřeb standardních GE a alitovaných GE lze předpokládat, že při instalaci alitovaných GE na všechna tři ramena LF by spotřeba GE klesla. Zjištěná průměrná spotřeba běžných GE byla na úrovni $1,42 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ a alitovaných elektrod na úrovni $1,19 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ tekutého kovu. Použitím alitovaných elektrod by tedy bylo možné dosáhnout úspory cca 16 %.

4. Závěr

Provedené experimentální práce ve ŽĎAS, a.s., ve spolupráci se společnostmi Graphite COVA GmbH a Advanced Carbon Technology s.r.o., Praha, byly zaměřeny na ověření přínosů použití grafitových elektrod s povrchovou úpravou alitací. Průběh a výsledky experimentálních prací potvrzují nižší opotřebení grafitových elektrod s alitací. Nižší opotřebení bylo doloženo jednak vizuální kontrolou míry opotřebení oxidací povrchu elektrod a jednak výpočtem skutečné úspory ve spotřebě grafitových elektrod při použití GE s alitací. Používání GE s alitací vyžaduje vyšší nároky na šetrnou manipulaci s elektrodami jak při jejich převozu, tak při instalaci. Mechanické poškození vrstvy alitace může vést ke snížení ochranného účinku při použití na pánvové peci.

Na základě provedených prací a znalosti rozdílné intenzity působení kyslíku při zpracování taveniny na EOP a LF lze předpokládat, že výrazně vyšších úspor ve spotřebě GE je možné v případě GE s alitací očekávat na EOP.

Literatura

- [1] Schweitzer, D. G., Gurinsky D.H., Kaplan, E., Sastre, C. *A Safety Assessment of the Use of Graphite in Nuclear Reactors Licenced by the U.S. NRC*. 1. vyd. Upton, New York: Brookton National Library, 1987.
- [2] Udo, E. *Cooling apparatus for electric arc furnace electrodes*. IPC: US07. Spojené státy americké, Patent US4852120A. Dostupný také z: <http://patents.google.com/patent/US4852120A/en>
- [3] Bolijov, A. *Protective Coating for Graphite Electrodes*, vyd. Graphite Cova, D-90552 Röthenbach/Peg. Grünthal 1-6