

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií

Elaborát z predmetu Riadenie procesov

2020

Ing. Michal Takáč

Obsah

| | | |
|-----|---|---|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Procesy v kyslíkovom konvertore | 3 |
| 3 | Riadenie procesov v kyslíkovom konvertore | 4 |
| 4 | Automatizované riadenie | 5 |
| 4.1 | Odoberanie vzoriek taveniny a meranie teploty | 7 |

1 Úvod

Cieľom riadenia procesu je udržiavať kľúčové parametre prevádzky procesu v úzkom rozmedzí referenčnej hodnoty alebo požadovanej hodnoty. Programovateľné automaty a regulátory sa používajú na automatizáciu ľudskej funkcie v snahe ovládať premennú. Jednoduchý regulátor môže udržiavať procesnú veličinu v slučke na rovnomernej úrovni, pokiaľ nedôjde k nadmernému rušeniu. Pri komplexných procesoch, ako sú tie v metalurgii, sa využívajú desiatky až stovky takýchto regulátorov, niektoré s integrovanými LCD panelmi (Al-Megren and Ruddie; 2016).

Potreba zdokonaľovania a vývoja nových systémov riadenia bola tradične poháňaná požiadavkou presnejšej a nákladovo efektívnejšej výroby.

Kontrolovať každý z regulátorov jednotlivo si vyžaduje

The need for developing improved control systems has traditionally been powered by the demand for more accurate and cost efficient production. This is still a major driving force but environmental issues do also have a profound influence on this development today (Widlund et al. (1998)).

Potreba zdokonaľovania a vývoja nových systémov riadenia bola tradične poháňaná požiadavkou presnejšej a nákladovo efektívnejšej výroby. Je to stále hlavná hnacia sila, no environmentálne otázky majú na tento vývoj zásadný vplyv aj dnes (Widlund et al. (1998)).

Hlavným cieľom riadenia výroby ocele s kyslíkovým konvertorom je získanie predpísaných parametrov ocele, keď sa odoberá z pece, vrátane hmotnosti, teploty a obsahu každého prvku. V procese výroby ocele je kritériom o tom, či je roztavená oceľ prijateľná alebo nie, konečný obsah uhlíka a teplota taveniny Wang et al. (2010).

Generally, the LD/BOF steelmaking process with sub-lance system can be divided into two stages: static control and dynamic control. Static models include oxygen supplying model, slagging model and bottom blowing model; dynamic models include

decarburization speed model, molten steel warming model and the model for the amount of coolant. (Wang et al. (2010)).

Všeobecne možno povedať, že riadenie LD procesu (BOF) výroby ocele v LD konvertore s odbernou sondou sa dá rozdeliť do dvoch stupňov: statické riadenie a dynamické riadenie. Statické modely zahŕňajú model prívodu kyslíka, model trosky a model fúkania kyslíka; Medzi dynamické modely patrí model rýchlosti oduhličovania, model otepľovania roztavenej ocele a model množstva chladiacej kvapaliny Wang et al. (2010).

The fast dynamics of the LD converter steelmaking process or the BOF process, as it is commonly known, often makes it a challenge to obtain stable blowing conditions and to achieve the required steel composition and temperature simultaneously at the end point. For this reason, process control becomes very necessary and attempts had started as early as in the 1970s (Fritz and Gebert (2005)). Out of the originally very simple LD process have grown the modern process-controlled and automated production systems that enable present-day adaptations to meet today's economic and ecological demands (Sarkar et al. (2015)). The non-linear nature of chemical and thermodynamical processes in basic oxygen steelmaking also amassed interest in developing new mathematical models based on fractionalorder calculus.

Rýchla dynamika procesu výroby ocele LD konvertorom sťažuje dosiahnutie stabilných podmienok pre fúkanie kyslíka a súčasne dosiahnutie požadovaného zloženia ocele a teploty v koncovom bode tavenia. Z tohto dôvodu je správne riadenie procesu extrémne dôležité. Prvé pokusy s vývojom systémov automatizovaného riadenia sa začali už v sedemdesiatych rokoch (Fritz and Gebert (2005)). Z pôvodne veľmi jednoduchého riadenia LD procesu vznikli moderné a automatizované výrobné systémy riadené procesmi, ktoré umožňujú súčasné prispôsobenie sa dnešným hospodárskym a ekologickým požiadavkám (Sarkar et al. (2015)). Nelineárna povaha chemických a termodynamických procesov pri výrobe ocele v LD konvertore tiež vzbudila záujem o vývoj nových matematických modelov založených neceločíselnom diferenciálnom

počte.

https://www.primetals.com/fileadmin/user_upload/content/01_portfolio/2_steelmaking/converter-carbon-steelmaking/Converter_steelmaking_automation.pdf

2 Procesy v kyslíkovom konvertore

Podstatou výroby ocele v kyslíkovom konvertore je oxidácia prvkov z kovonosnej vsádzky s kyslíkom fúkaným do konvertora. Oxidy týchto prvkov prechádzajú do trosky alebo odchádzajú vo forme konvertorového plynu. LD proces sa skladá z nasledujúcich elementárnych procesov:

1. Vsádzanie šrotu
2. Nalievanie tekutého surového železa
3. Fúkanie kyslíka a pridávanie troskotvorných a legujúcich prísad
4. Meranie teploty a zloženia ocele
5. Odpich ocele
6. Odpich trosky

V moderných oceliarniach sa vyrobí cca 300t ocele v priebehu 30-40 minútového cyklu. Pre prispôsobenie akosti ocele a tvorbu trosky sa počas pochodu pridávajú rozličné prísady. Počas vsádzania a odpichu je konvertorová pec naklonená. Počas fúkania kyslíka má konvertor zvislú polohu. Zmeny polohy konvertora počas jednotlivých elementárnych procesov sú znázornené na obrázku 2–1.

V závislosti od miestnych prevádzkových podmienok, dostupnosti šrotu, vysokopecného železa a rozsahu predúpravy, je kovová vsádzka do konvertora (LD/BOF, Q-BOP) tvorená 75 až 95 % surovým železom a zvyšok je oceľový šrot. Používané druhy šrotu sú zvyčajne tie, ktoré sa vyrábajú v oceliarni: šrot z plechu, poškodené



Obr. 2 – 1 Znázornenie elementárnych procesov v LD konvertore.

formy, plechovky a podobne Turkdogan (1996).

Kyslík je fúkaný vysokou rýchlosťou (až do dvojnásobnej rýchlosti zvuku) na povrch kovového kúpeľa v konvertore a v oblasti povrchu sa vytvára tzv. horúce miesto, kde prúd kyslíka naráža na povrch. Oxidačné produkty sa rozpustia v troske s výnimkou oxidu uhoľnatého, ktorý prechádza vrstvou trosky a tvorí hlavnú zložku konvertovaného plynu. Intenzita oxidácie jednotlivých prvkov závisí od ich chemickej afinity ku kyslíku. Oxidácia uhlíka je jedným z najdôležitejších procesov.

3 Riadenie procesov v kyslíkovom konvertore

Keďže cieľom výroby ocele v kyslíkových konvertoroch je spálenie (tzv. oxidácia) nežiaducích nečistôt obsiahnutých v kovovej vsádzke, účelom tohto oxidačného procesu teda je:

- znížiť obsah uhlíka na predpísanú úroveň (z približne 4 % na menej ako 1 %, ale často nižšie),

- upraviť obsah potrebných cudzích prvkov,
- odstrániť nežiadúce nečistoty v maximálne možnej miere.

Následnou úlohou riadiaceho procesu je potom získanie predpísaných parametrov ocele, ktorá sa odpichuje z konvertora, vrátane hmotnosti, teploty a obsahu každého prvku. Na základe týchto parametrov sa rozhoduje o tom, či je roztavená oceľ prijateľná alebo nie.

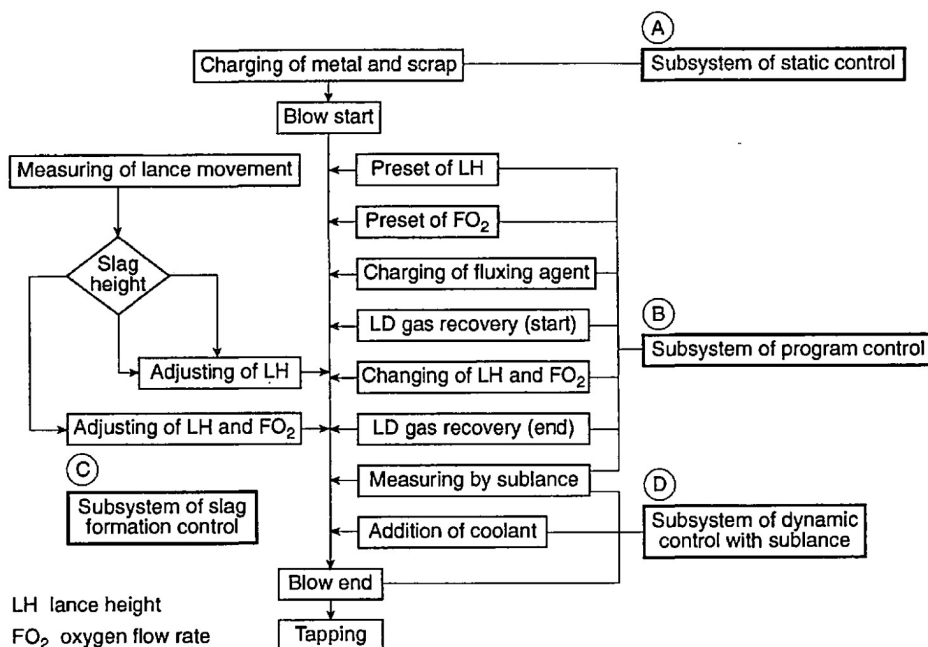
Počítačom podporované výpočty vsádzky sa robia pre každú tavbu. Asi 80 percent modelu riadenia vsádzky je založený na rovnováhe tepla a materiálu, zvyšok je založený na empirických vzťahoch, ktoré sa medzi jednotlivými taviarňami líšia. Pretože každá oceliareň má svoju vlastnú formuláciu modelu riadenia vsádzky Turkdogan (1996).

Za účelom monitorovania a riadenia procesu je možné použiť rôzne meracie systémy na poskytnutie spätnej väzby operátorovi alebo priamo existujúcemu systému na automatizované riadenie. Tieto merania môžu byť priame alebo nepriame, ako aj s časovým oneskorením alebo bez neho Widlund et al. (1998).

Existuje len niekoľko procesných premenných, ktoré môže nastavovať riadiaci systém alebo obsluha - výška trysky pre prívod fúkaného kyslíka, prietok kyslíka a prietok čistiacieho plynu. Zmeny výšky prívodnej trysky sa merajú a nastavujú ľahšie, a preto je lepšie ich používať v riadiacom systéme s uzavretou slučkou. Zmena prietoku kyslíka počas LD procesu nesmie byť väčšia ako 5%, pretože dýza je navrhnutá pre špecifický prietok Widlund et al. (1998).

4 Automatizované riadenie

Plne optimalizovaná automatizácia elektrických systémov je základom pre spoľahlivé výrobné procesy, maximálny výkon zariadenia a kvalitné výrobky, ktoré vyhovujú všetkým požiadavkám trhu.



Obr. 3 – 1 Schéma funkcionality systému automatizovaného LD procesu (Turkdogan; 1996).

Systémy optimalizácie procesov zahŕňajú pokročilé procesné modely, využitie umelej inteligencie, grafické užívateľské rozhrania pre manuálne riadenie procesov človekom (SCADA, HMI, vizualizácie dát) a prevádzkové odborné znalosti. Procesné modely optimalizujú rôzne výrobné procesy so zreteľom na zníženie spotreby energie a emisií.

Automatizácia

Základnú časť automatizácie LD procesu

Naklápací pohon kovertora

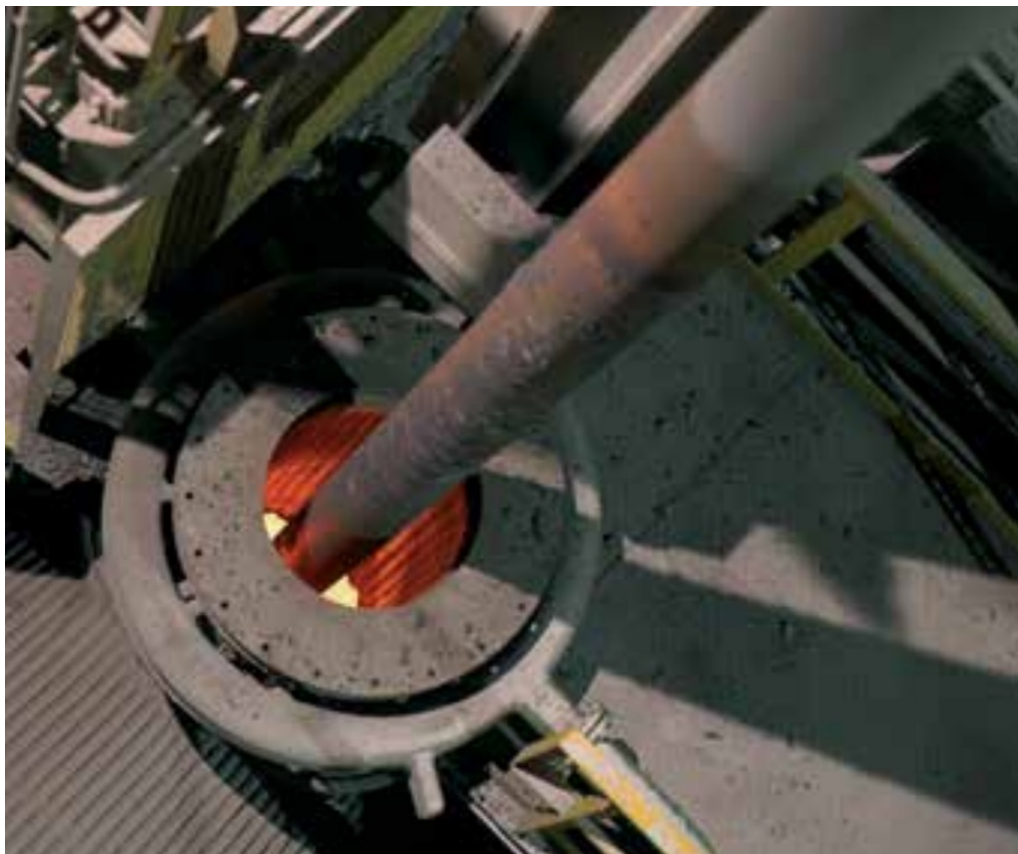
Úlohou naklápacích pohonov je rotácia nádoby konvertora do plniacej, vyprázdňovacej alebo vzorkovacej polohy.

Systém s uzavretou slučkou (closed-loop)

Miešanie zdola - ovládanie jedným vedením Riadiaci systém kyslíkovej dýzy

4.1 Odoberanie vzoriek taveniny a meranie teploty

Odberná sonda je dôležitým nástrojom pri výrobe ocele LD procesom. Poskytuje operátorovi cenné informácie o procese s prevodníkom stále vo zvislej polohe. Zvyčajne sa dve odčítania Sublance uskutočňujú počas fúkania, jeden počas úderu pre údaje v procese a jeden na konci tepla na konečné odčítanie. Normálne sa meria teplota, uhlík a troska. Výška oceľového kúpeľa a úrovne trosky sú tiež realizované pomocou systému Sublance.



Obr. 4–1 Odberná sonda.

Horizontálny merací manipulátor Automatický odpichový systém Pneumatická zarážka trosky Manipulácia s materiálom Váženie a kontrola prísad a zliatin Chladenie a čistenie odpadového plynu Zhodnotenie a analýza plynu Blokovací a poplachový systém

Literatúra

Al-Megren, S. and Ruddle, R. A. (2016). Comparing Tangible and Multi-touch Interaction for Interactive Data Visualization Tasks, *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '16* pp. 279–286.

URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2839462.2839464>

Fritz, E. and Gebert, W. (2005). Milestones and challenges in oxygen steelmaking, *Canadian Metallurgical Quarterly* **44**(2): 249–260.

URL: <https://doi.org/10.1179/cmq.2005.44.2.249>

Sarkar, R., Gupta, P., Basu, S. and Ballal, N. B. (2015). Dynamic Modeling of LD Converter Steelmaking: Reaction Modeling Using Gibbs' Free Energy Minimization, *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science* **46**(2): 961–976.

Turkdogan, E. T. (1996). *Fundamentals of Steelmaking*, The Institute of Materials, London.

Wang, X., Han, M. and Wang, J. (2010). Applying input variables selection technique on input weighted support vector machine modeling for BOF endpoint prediction, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* **23**(6): 1012–1018.

URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2009.12.007>

Widlund, D., Medvedev, A. and Gyllenram, R. (1998). Towards Model-Based Closed-Loop Control of the Basic Oxygen Steelmaking Process, *IFAC Proceedings Volumes* **31**(23): 69–74.

URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)35858-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1474-6670(17)35858-5)