

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	2
3	Riadenie procesov v kyslíkovom konvertore	4
4	Automatizované riadenie	6
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. Niekdajšiu potrebu riadiť túto činnosť manuálne v súčasnej dobe nahrádzajú programovateľné automaty a regulátory v snahe ovládať premennú automatizovane. 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 Ruddle; 2016).

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

Kontrolovať každý z regulátorov jednotlivo si vyžaduje

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).

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).

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.

2 Procesy v kyslíkovom konvertore

Kyslíkový konvertor alebo v niektorých oblastiach sveta nazývaný aj základná kyslíková pec (basic oxygen furnace - BOF) pozostáva z radu komplexných procesov s nebezpečnými vlastnosťami, napríklad z dôvodu vysokej teploty, prachu a vibrácií. V konvertore prebieha množstvo chemických reakcií a fyzikálnych javov, medzi ktorými sa nájdu aj také, ktorým úplne nerozumieme z dôvodu ich komplexnosti.

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.



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

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 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 konvertoch je spálenie (tzv. oxidácia) nežiadúcich 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.

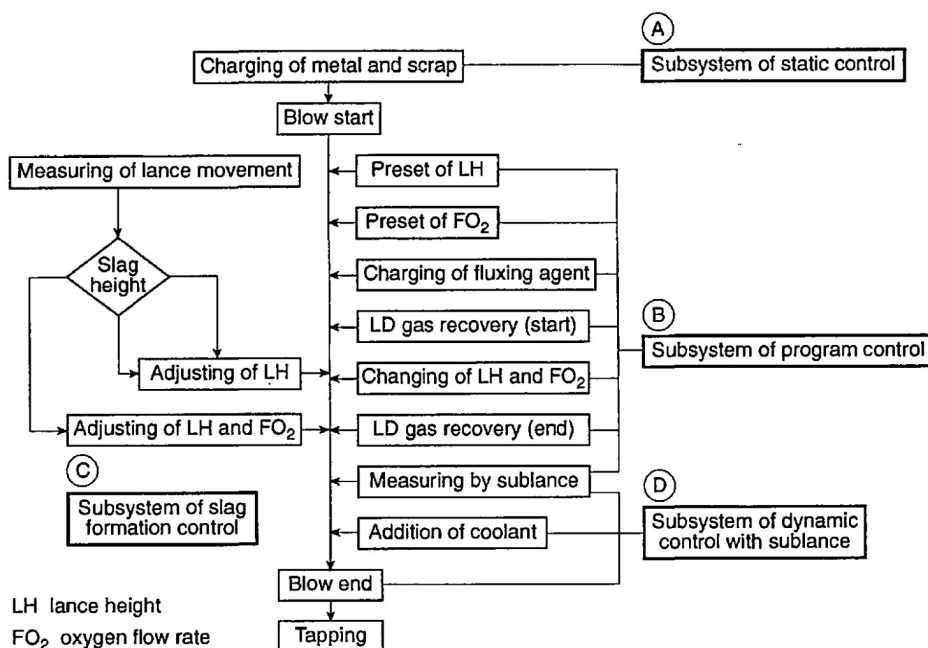
Statický model riadenia je založený na celkovej materiálovej bilancii (Fe, troska, kyslík) a celkového tepla. Na základe prepočtov bilancií potom dostaneme informáciu o tom, koľko železnej rudy je potrebné pridať a aký objem kyslíka sa má dofúkať, spolu s konečnou hmotnosťou tekutej ocele a trosky pre dané hmotnosti, zloženie horúceho kovu a zloženie šrotu. Kvôli možnému vzniku chýb z dôvodu nerovnomernosti bilancie hmoty a tepla alebo neznámej časti týchto bilancií je tento model založený na spätnoväzobnom riadení.

Dynamický model riadenia sa zameriava na dynamickú hmotnostnú bilanciu kyslíka, uhlíka a dusíka v spojení s množstvom prietoku a zloženia odpadového plynu. Modely dynamického riadenia sú najčastejšie založené na informáciách o odpadových

plynoch a majú schopnosť predvídať stav procesu (zloženie ocele a trosky, ich hmotnosť, teplota) v akomkoľvek okamihu počas procesu.

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).



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

Existuje len niekoľko procesných premenných, ktoré môže nastavovať riadiaci systém

alebo obsluha - výška trysky pre prívod fúkaného kyslíka, prietok kyslíka a prietok čistiaceho 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 riadiacich systémov je základom pre spoľahlivé výrobné procesy, maximálny výkon zariadenia a kvalitné výrobky, ktoré vyhovujú všetkým požiadavkám trhu. V súčasnosti si môžeme všimnúť posun priemyslu do novej paradigmy označovanej ako Priemysel 4.0, dôsledkom ktorej rastie počet podnikov, ktoré implementáciou inteligentných technológií zefektívňujú svoje procesy a znižujú náklady. Postupne sa na túto dráhu tzv. inteligentných výrobných podnikov dostávajú aj taviarne. Pece sú vybavené stále väčším počtom senzorov, digitálne modely zvyšujú stupeň automatizácie a informácie sú zdieľané medzi rôznymi agregátmi v rámci rastlína

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

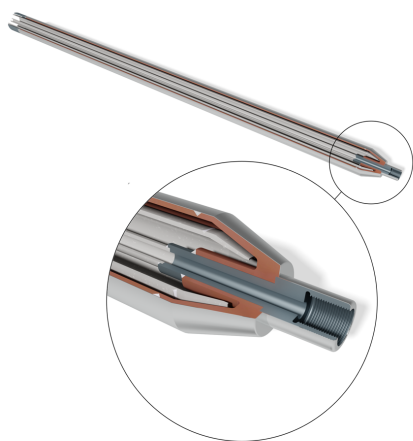
Úlohou naklápacích pohonov je rotácia nádoby konvertora do plniacej, vyprázdňovacej alebo vzorkovacej polohy.

Systém s uzavretou slučkou (closed-loop)

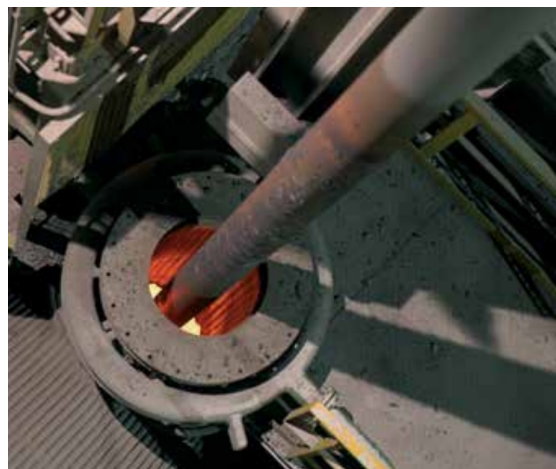
Miešanie zdola - ovládanie jedným vedením Riadiaci systém kyslíkovej dýzy

4.1 Odoberanie vzoriek taveniny a meranie teploty

Odberná sonda je dôležitým nástrojom pri výrobe ocele LD procesom. Poskytuje operátorovi cenné informácie o procese tavby akými sú teplota taveniny a jej zloženie. kým je teleso konvertora v zvislej polohe. Zavádza sa automatizovane do vnútra konvertora cez bočný otvor kým je teleso konvertora v zvislej polohe, a to 2-krát počas tavby bez nutnosti jej prerušenia. Prvé zavedenie sondy zväčša býva po vyfúkaní 90% objemu kyslíka vyčleneného pre danú tavbu, kedy sa meria teplota, objem uhlíka, zloženie trosky, výška ocelového kúpeľa a úrovne trosky. Druhé zavedenie sa uskutočňuje po procese fúkania.



(a) Odberná sonda od Berry Metal Company.



(b) Odber vzorky taveniny odbernou sondou v praxi.

Obr. 4 – 1: Odberná sonda.

Moderné konvertory prevádzkujú merania odbernými sondami v spojení s kombinovaným statickým a dynamickým modelom riadenia procesu (SDM). Informácie získané z odbernej sondy sú ďalej spracované riadiacim systémom, ktorého optimalizačný model sa snaží dosiahnuť optimálne

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)