

Technická univerzita v Košiciach

Fakulta baníctva, ekológie, riadenia procesov a geotechnológií

**Vybrané technologické objekty a procesy
v oblasti spracovania surovín - kyslíkový
konvertor**

Teória procesov

2019

Ing. Michal Takáč

Obsah

1	Kyslíkový konvertor	4
2	Procesy v kyslíkovom konvertore	7
2.1	Chemické procesy	7
2.2	Elementárne procesy	9
2.3	Riadenie procesov v kyslíkovom konvertore	11

Zoznam obrázkov

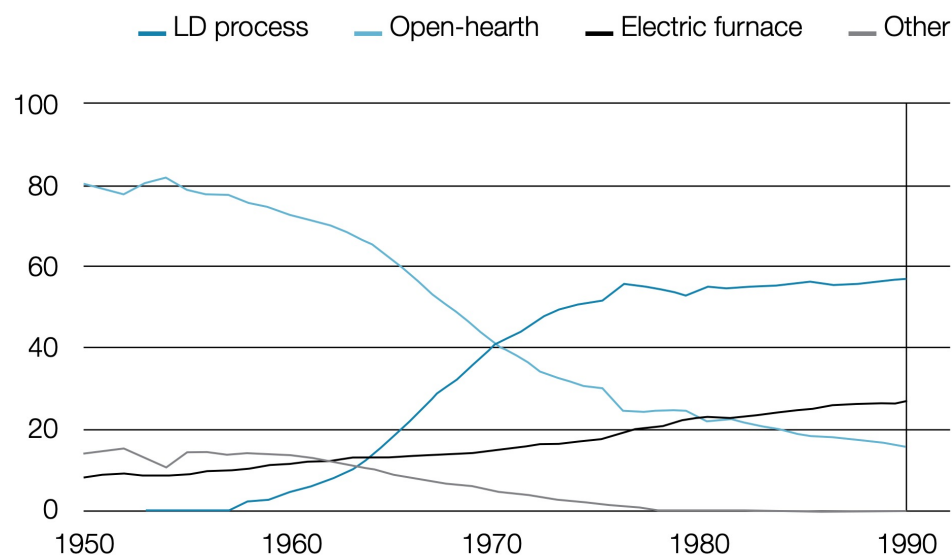
1–1	Podiel výrobných metód ocele v percentách [4]	4
1–2	Výroba ocele v konvertore fúkaním kyslíka zhora (LD/BOF) [3]. . .	5
1–3	Výroba ocele v konvertore fúkaním kyslíka zdola (Q-BOP) [3]. . .	5
1–4	Výroba ocele procesom BOF a Q-BOP v LD konvertore s kombi- novaným typom fúkania.	6
2–1	Zmeny v zložení kovov a trosky počas výroby ocele v LD/BOF procesom pri 300t taveniny [3].	10
2–2	Chemické a tepelné javy v LD konvertore [1].	11
2–3	Schéma funkcionality systému automatizovaného LD procesu [3]. .	12

1 Kyslíkový konvertor

V oceliárstve nastal počas druhej polovice 20. storočia významný posun a progres vo vývoji technológií a procesov výroby ocele. Jedným z najdôležitejších milníkom bolo prvé spustenie komerčnej prevádzky výroby ocele vháňaním kyslíka do konvertora začiatkom 50. rokov minulého storočia v mestách Linz (firma VÖEST) a Donawitz (forma ÖAMG) v Rakúsku. Z názvov týchto miest pochádza aj pomenovanie spôsobu výroby ocele praktizovanom v kyslíkových konvertoch, a to LD proces, a zároveň aj názov samotného kyslíkového konvertora (LD konvertor). LD proces je vo svete široko preferovaná a efektívna metóda výroby ocele vďaka vysokej produktivite a značne nízkym výrobným nákladom [5].

Postupom času a zdokonaľovaním tohto procesu sa LD konvertory rozšírili do celého sveta a už niekoľko rokov sú najvyužívanejšou technológiou pre výrobu ocele na celom svete (až 65% podiel tejto metódy pre tavbu surovej ocele).

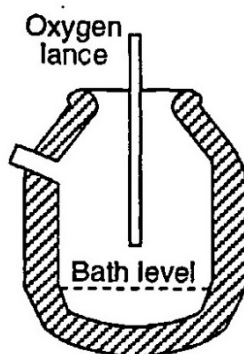
Production method shares in %



Shares of production methods in world crude steel production, 1950–1990.⁹⁰

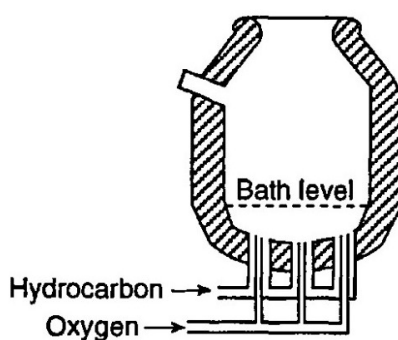
Obrázok 1 – 1: Podiel výrobných metód ocele v percentách [4]

Spomínaný LD proces sa v rôznych častiach sveta názýva odlišne. Napríklad vo Veľkej Británii sa označuje ako BOS (basic oxygen steelmaking); v Amerike a v Ázijských krajinách BOF (basic oxygen furnace) s výnimkou americkej korporácie U.S. Steel, kde sa často označuje ako BOP (basic oxygen process) [3].



Obrázok 1 – 2: Výroba ocele v konvertore fúkaním kyslíka zhora (LD/BOF) [3].

V 70. rokoch bol v Kanade a Nemecku vyvinutý (a následne komercializovaný) upravený typ konvertora s vháňaním kyslíka z dolnej časti. Tento proces sa v Európe označuje ako OBM a v iných častiach sveta ako Q-BOP.



Obrázok 1 – 3: Výroba ocele v konvertore fúkaním kyslíka zdola (Q-BOP) [3].

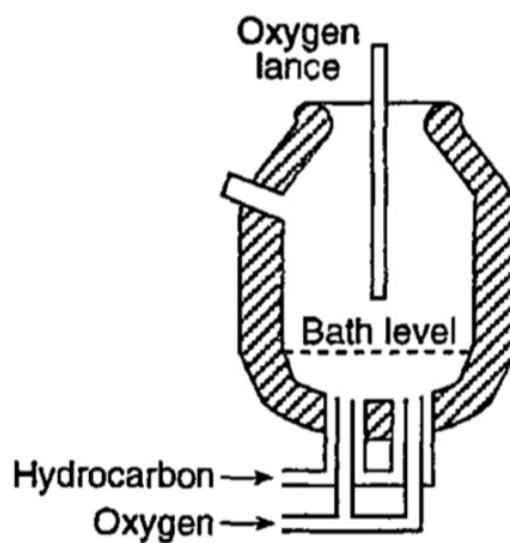
V konvertore pre Q-BOP proces sa v dolnej časti nachádzajú trysky vsadené do odnímateľného dna, cez ktoré sú vháňané kyslík (O_2) spolu s páleným vápnom a prstencová medzera okolo centrálnej rúry na priechod plynného uhľovodíka (napr.

propán alebo metán). Po kontakte s tekutou oceľou uhľovodík disociuje na C a H_2 pri absorpcii tepla. Táto endotermická reakcia potláča prehrievanie hrotu vyhadzovača exotermickou reakciou kyslíka s tekutou oceľou.

Ďalší vývojovým krokom výroby ocele v kyslíkovom konvertore bolo spojenie typov fúkania kyslíka zhora a zdola:



(a) Kombinovaný BOF.



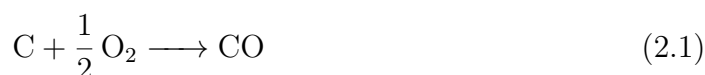
(b) Kombinovaný Q-BOP.

Obrázok 1 – 4: Výroba ocele procesom BOF a Q-BOP v LD konvertore s kombinovaným typom fúkania.

2 Procesy v kyslíkovom konvertore

2.1 Chemické procesy

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. Intenzita oxidácie jednotlivých prvkov závisí od ich chemickej afinity ku kyslíku. Oxidácia uhlíka je jedným z najdôležitejších procesov. Uhlík sa v kove počas oceliarskeho pochodu oxiduje vplyvom kyslíka najmä na CO a čiastočne na CO₂ podľa reakcií



Mangán sa v konvertore oxiduje na MnO



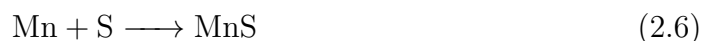
Fosfor je v oceli nežiaduci a oxiduje sa na P₂O₅



Síra patrí medzi škodlivé prvky a prechádza do trosky vo forme CaS na základe reakcie CaO



pričom MnS vzniká podľa reakcie



a síra taktiež odchádza aj vo forme plynu ako SO₂



Kremík ma vysokú afinitu ku kyslíku, čiže sa ľahko oxiduje pričom vzniká SiO_2



Potrebné je taktiež uvažovať aj straty železa vo forme FeO a Fe_2O_3

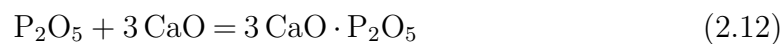


ktoré prechádzajú do trosky, resp. Fe_2O_3 odchádza v konvertorovom prachu. Kvapky kovového železa sa nachádzajú aj v troske.

Vzniknutý SiO_2 prechádza do trosky ako $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ podľa rovnice



a obdobne P_2O_5 prechádza do trosky ako $3 \text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ podľa rovnice



[2].

2.2 Elementárne procesy

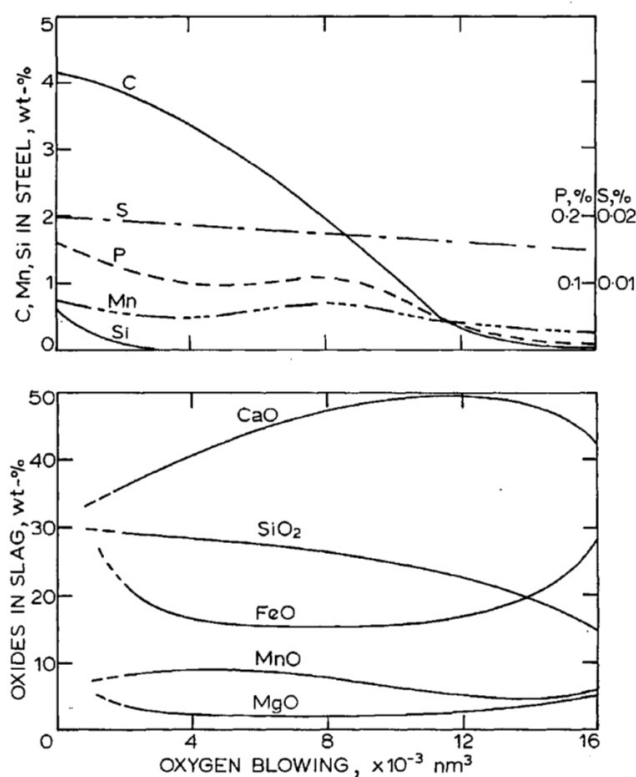
LD proces sa skladá z nasledujúcich elementárnych procesov:

1. Vsádzka
2. Nalievanie tekutého surového železa
3. Fúkanie kyslíka a pridávanie troskotvorných a legujúcich prísad
4. Vzorkovanie (zber dát, zaznamenávanie teploty)
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 vsádzky a odpichu je konvertorová pec naklonená. Počas fúkania kyslíka má konvertor zvislú polohu.

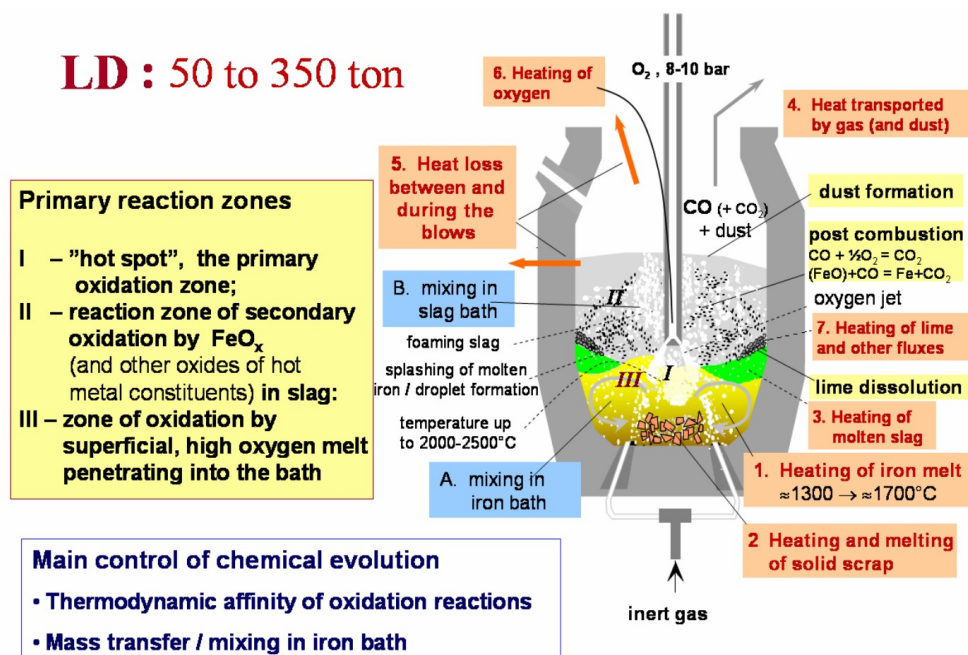
V závislosti od miestnych prevádzkových podmienok, dostupnosti šrotu, vysokopecného železa a rozsahu predúpravy, je pri vsádzke 75 až 95 % kovového náboja do konvertora LD/BOF a Q-BOP horúce železo a zvyšok je ocelový šrot. Používané druhy šrotu sú zvyčajne tie, ktoré sa vyrábajú v oceliarni: šrot z plechu, studené železo alebo poškodené formy, plechovky a podobne [3].

Kyslík je fúkaný vysokou rýchlosťou (až do dvojnásobnej rýchlosti zvuku) na povrch kovového kúpeľa v konvertore a v oblasti povrchu sa vytvára tzv. “hot spot” (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. V počiatočných fázach fúkania sa väčšina kremíka oxiduje za vzniku trosky nízkej zásaditosti - dochádza k zmene zloženia kovu a trosky. Následujúce dáta poukazujú na túto zmenu - výbežky na krivkách mangánu a fosforu sú charakteristické pre všetky pneumatické procesy výroby ocele spôsobené zmenami teploty taveniny a zloženia trosky:



Obrázok 2–1: Zmeny v zložení kovov a trosky počas výroby ocele v LD/BOF procesom pri 300t taveniny [3].

Intenzívny prúd kyslíka indukuje toky tekutín (cirkuláciu) v železnom kúpeli, následne núti vysoko oxidovaný kov a roztavené oxidačné produkty z povrchu železného “kúpeľa” (iron bath) prenikať do vnútra kúpeľa, kde reagujú s “čerstvým” kovom s vysokým obsahom nečistôt. Tento prúd kyslíka a plynové bubliny vznikajúce v kúpeli privádzajú časti železnej taveniny do trosky. Teplo vyvíjané pri vysoko exotermálnych oxidačných reakciách sa spotrebúva pri zahrievaní a tavení vsádzkových materiálov, zahrievaní železného kúpeľa, trosky a oxidov uhlíka, ktoré sa tvoria pri oxidácii uhlíka a čiastočne sa strácajú do okolia počas procesu fúkania. Cirkulácie v železnom kúpeli spôsobené prúdom kyslíka, stúpajúcimi bublinami plynu a preplachovaním inertného plynu cez spodné trubice v kombinovaných vyfukovaných konvertoroch transportujú minoritné zložky taveniny železa (C, Si, Ti, Mn, P, V atď.) do horných vrstiev kúpeľa [1].



Obrázok 2 – 2: Chemické a tepelné javy v LD konvertore [1].

2.3 Riadenie procesov v kyslíkovom konvertore

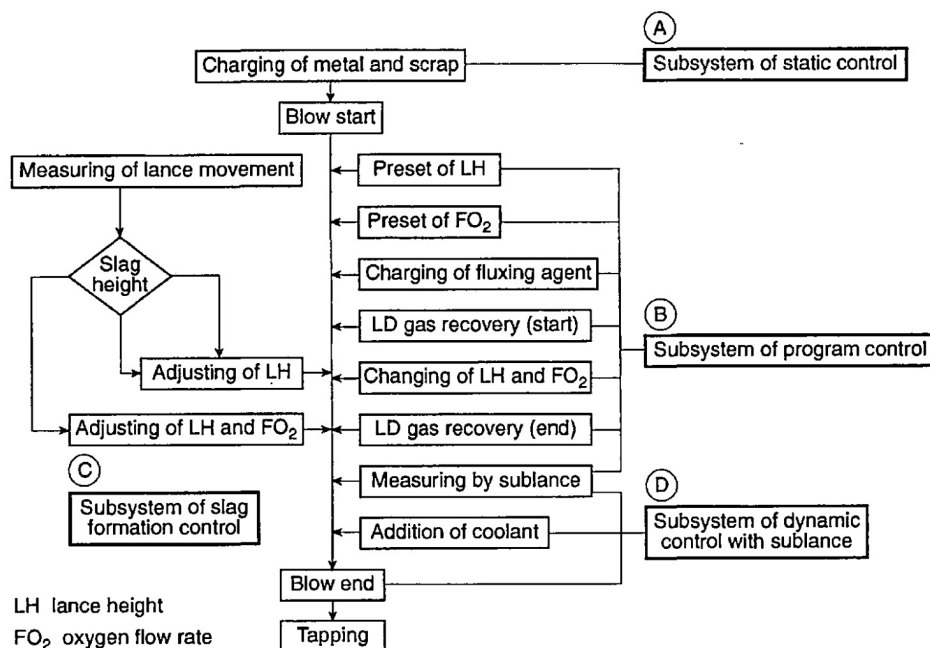
Keďže cieľom výroby oceli v kyslíkových konvertoroch je spálenie (tzv. oxidácia) nežiaducích nečistôt obsiahnutých v kovovej vsádzke, účelom tohto oxidačného procesu teda je:

- 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 maximálnej možnej miere

Následnou úlohou riadiaceho procesu je potom získanie predpísaných parametrov pre oceľ, keď sa odoberá z pece, 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 kontroly náboja sa robia pre každé teplo. Asi 80 percent modelu riadenia náboja je založené 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 regulácie náboja, v zjednodušenej forme sa tu bude diskutovať iba o všeobecných aspektoch tejto témy [3].

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 [6].



Obrázok 2 – 3: Schéma funkcionality systému automatizovaného LD procesu [3].

Existuje len niekoľko procesných premenných, ktoré môže manipulovať riadiaci systém alebo obsluha - výška trysky pre prívod fúkaného kyslíka, prietok kyslíka a prietok čistiacieho plynu. Zmeny vo výškach prívodnej trysky sa merajú a nastavujú ľahšie, a preto je lepšie ich používať v riadiacom systéme s uzavretou slučkou (closed-

loop system). Zmena prietoku kyslíka počas LD procesu nesmie byť väčšia ako 5%, pretože dýza je navrhnutá pre špecifický prietok. Naopak, prietok čistiaceho plynu sa môže meniť vo veľkom rozsahu [6].

Literatúra

- [1] Jalkanen, H. [2006]. Experiences in physicochemical modelling of oxygen converter process (BOF), *2006 TMS Fall Extraction and Processing Division: Sohn International Symposium* **2**: 541–554.
- [2] Laciak, M., Petráš, I., Flegner, P., Durdán, M. and Tréfa, G. [2017]. Výskum nepriameho merania teploty a uhlíka v procese skujňovania, *Technical report*, Fakulta BERG Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov.
- [3] Turkdogan, E. T. [1996]. *Fundamentals of Steelmaking*, The Institute of Materials, London.
- [4] voestalpine AG [2012]. 40 Years of LD, *Unprinted sources - holdings 26*, voestalpine AG, Corporate Communication, Documentation Center. p. 26.
URL: <https://www.voestalpine.com/group/static/sites/group/.downloads/en/press/2012-broschuere-the-linz-donawitz-process.pdf>
- [5] 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>
- [6] 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)