



Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

Moderní slévárenské technologie

Přednášky pro studijní program Strojírenství

Doc. Ing. Ladislav SOCHA, Ph.D. a kol.

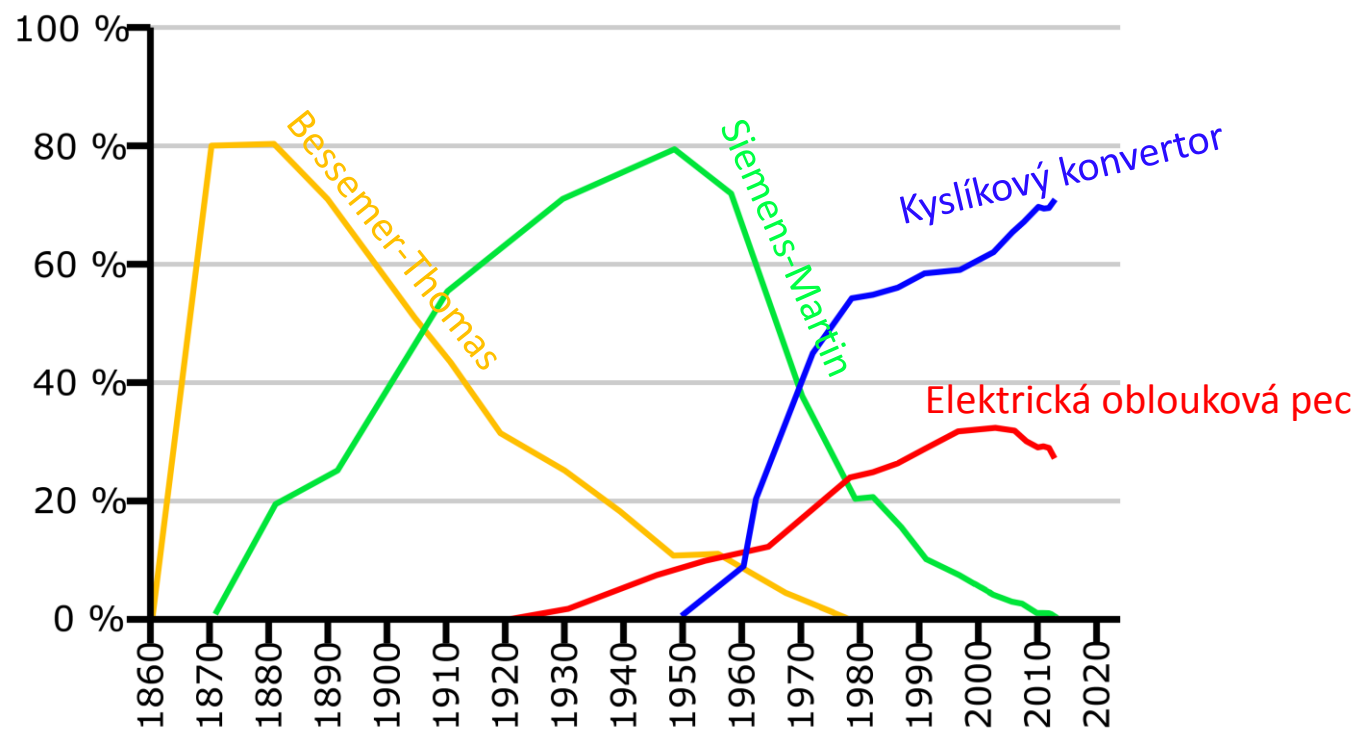


Technologie a princip výroby oceli v primárních agregátech

Přednáška č. 3

Výroba oceli

- ✓ Moderní procesy výroby oceli mohou být rozděleny na procesy primární a sekundární metalurgie
- ✓ Cílem primární metalurgie je výroba surové oceli o předepsaném složení a teplotě
- ✓ Finální zpracování oceli se přesunulo na zařízení sekundární metalurgie
- ✓ V současné době převažují dva typy primárních agregátů pro výrobu surové oceli: **kyslíkový konvertor** a **elektrická oblouková pec**



Historické zastoupení procesů výroby oceli

Kyslíkový konvertor

- ✓ V kyslíkovém konvertoru dochází ke zkujňování surového železa čistým kyslíkem (min. čistota 99,5 %) vháněným do konvertoru
- ✓ V současné době nejpoužívanějším kyslíkovým konvertorem je typ LD (Linz-Donawitz), do kterého je kyslík vháněn chlazenou tryskou shora
- ✓ Byly vyvinuty i další varianty, dmýchání dnem typu OBM nebo tzv. kombinované dmýchání



Konvertor LD



Konvertor OBM dmýchaný dnem



Konvertor s kombinovaným dmýcháním

Kyslíkový konvertor LD

- ✓ **Vsázka**

- ✓ **Ocelový odpad**

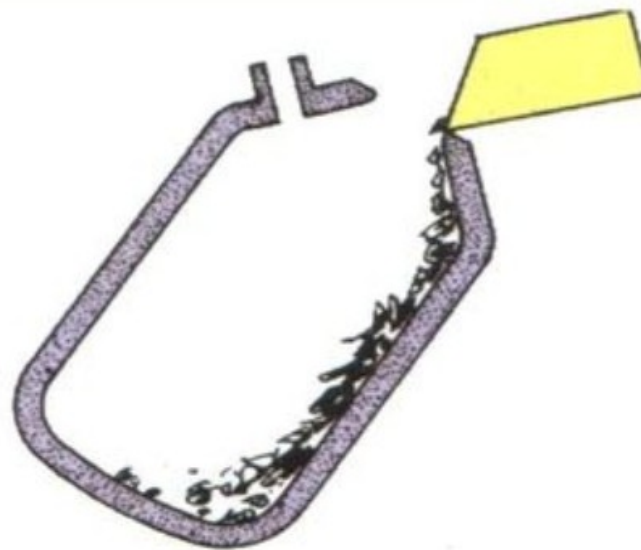
- *Interní odpad a externě nakupovaný odpad (25-30 %)*

- ✓ **Tekuté surové železo (70-75 %)**

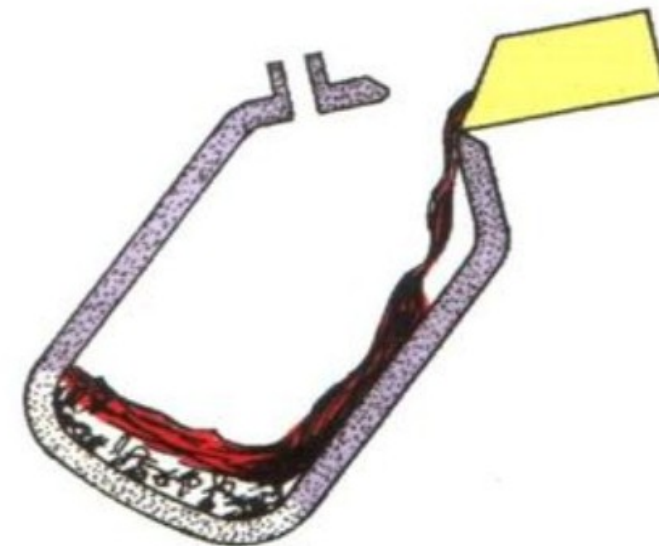
- *Dopravené z vysoké pece*

- ✓ **Struskotvorné přísady**

- *Vápno, dolomitické vápno*



Sázení tuhé vsázky



Nalévání tekutého surového železa



Sázení tuhé vsázky



Nalévání tekutého surového železa

Kyslíkový konvertor LD

✓ Dmýchání kyslíku

- Kyslík je do konvertoru vháněn mředěnou, vodou chlazenou tryskou
- Proud kyslíku vystupuje velkou rychlostí z trysky, a to z určité vzdálenosti od povrchu tekutého kovu, proráží jeho hladinu, proniká do kovu a přichází s ním do přímého styku
- V místě kde se proud kyslíku stýká s tekutým kovem se vytváří reakční centrum, v němž se kyslík v kovu rozpouští a slučuje se železem a s prvky rozpuštěnými v železe
- Dynamickými účinky proudu kyslíku, prouděním kovu a strusky a vývinem CO nastává intenzivní víření kovu a strusky, jehož výsledkem je rychlý přestup kyslíku do kovu a těsný styk kovu a strusky.
- Neustálý pohyb lázně umožňuje předávat kyslík. Oxidace a redukce probíhá současně

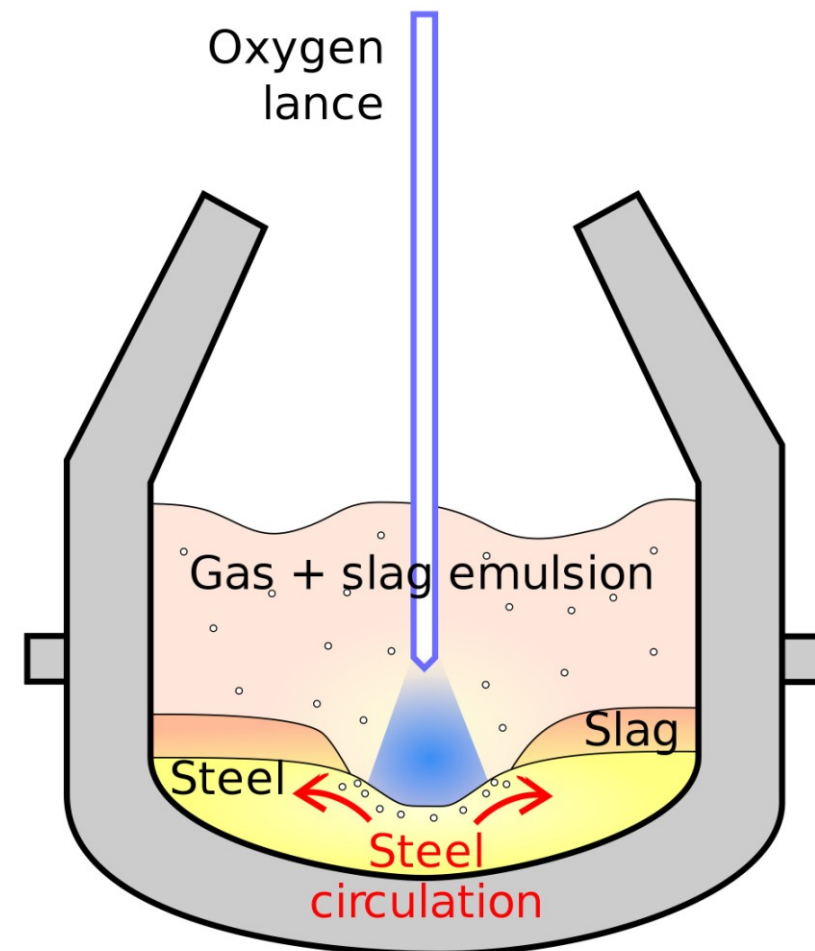


Schéma dmýchání kyslíku do LD konvertoru

Kyslíkový konvertor LD

✓ Metalurgie kyslíkového konvertorového pochodu

- *Nejdůležitější úlohou zkujňování železa je snížit oxidací obsah doprovodných prvků na výši odpovídající druhu vyráběné oceli.*
- *Plynné oxidační produkty (CO , CO_2), unikají z kovové lázně do atmosféry pece a odtahů*
- *Tekuté oxidy (SiO_2 , P_2O_5) se shromažďují ve strusce*
- *Všechny reakce jsou exotermické tzn. spojené s vývojem tepla, kterým se teplota reakčního systému zvyšuje (v místě působení kyslíku se dosahuje teplot 2500 – 3000 °C), dochází k tavení struskotvorných přísad a ocelového odpadu*

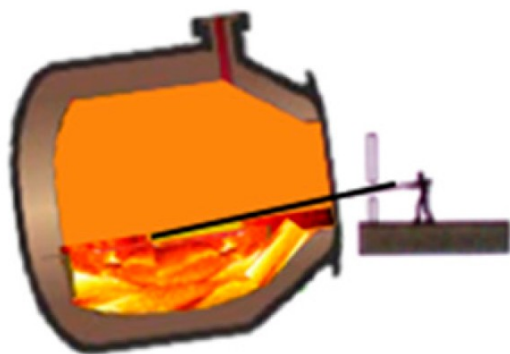


Kyslíkový konvertor během dmýchání kyslíku

Kyslíkový konvertor LD

✓ Kontrola chemického složení, měření teploty a odpich

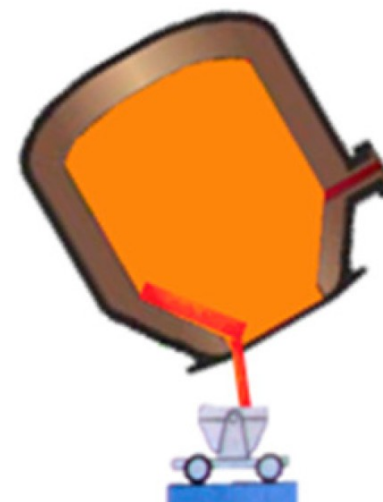
- Ponorným vzorkovačem se provede odběr předzkoušky kovu
- Ponorným termočlánkem se měří teplota lázně
- Pokud chemické složení není v souladu s požadovanou technologií, provádí se tzv. dofuk
- Nevhodná je i vysoká teplota, musí se provádět chlazení tavby, a to přísadou ocelového odpadu nebo železné houby
- Pokud je chemické složení i teplota v pořádku, provádí se odpich oceli do licí pánve a dále odlévání strusky do struskové pánve
- Po odpichu je nezbytná kontrola a místní úprava vyzdívky konvertoru k zajištění spolehlivosti a bezpečnosti provozu před další tavbou



Odběr vzorku



Odpich oceli

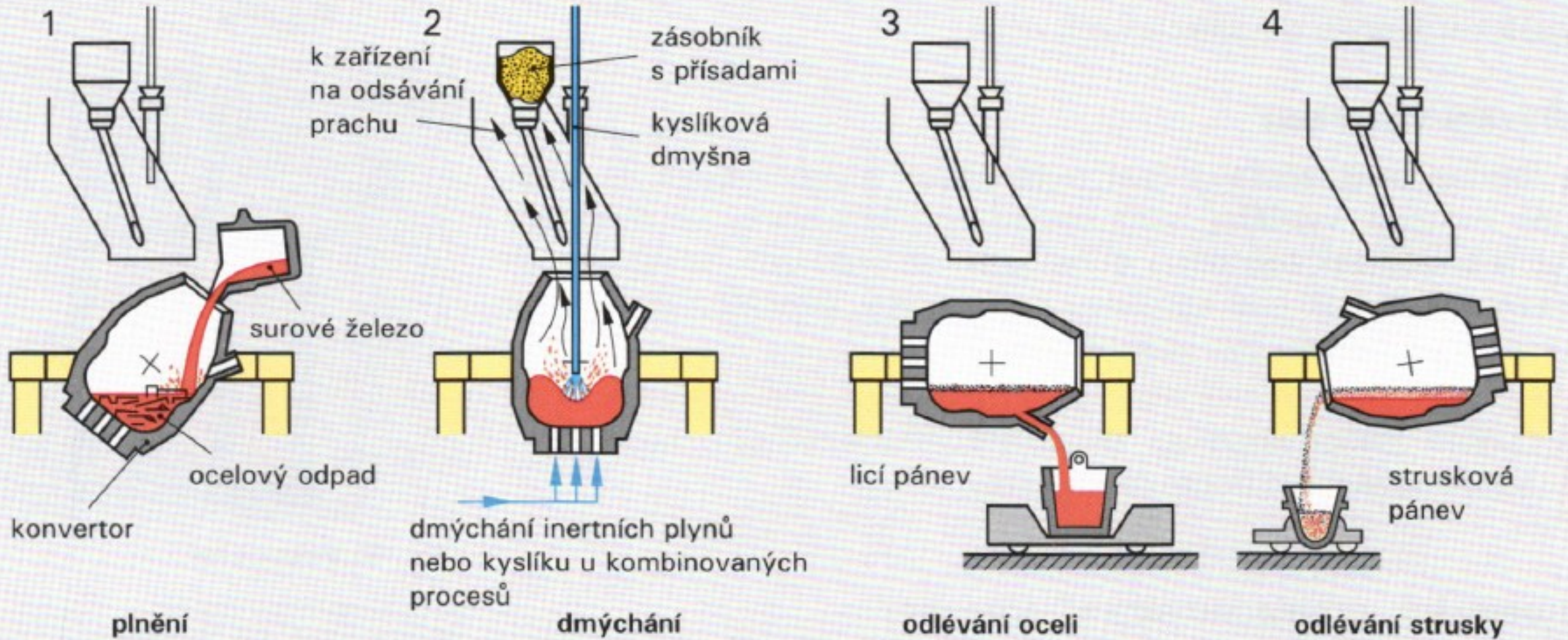


Odlévání strusky



Odpich oceli do licí pánve

Moderní kyslíkový konvertor s kombinovaným dmýcháním



BOF STEELMAKING

Elektrická oblouková pec

- ✓ Druhým nejpoužívanějším agregátem pro výrobu oceli jsou v současné době elektrické obloukové pece (EOP)
- ✓ V minulosti byly používány především k výrobě vysocelegovaných a ušlechtilých ocelí
- ✓ V elektrických pecích se snadno dosahuje vysokých teplot, které lze dobře regulovat
- ✓ Jsou v nich nízké ztráty kovu propalem, což je významné při výrobě ocelí s drahými slitinovými prvky
- ✓ Dnes jsou využívány také jako zařízení k rychlému roztavení ocelového odpadu a výrobě surové oceli

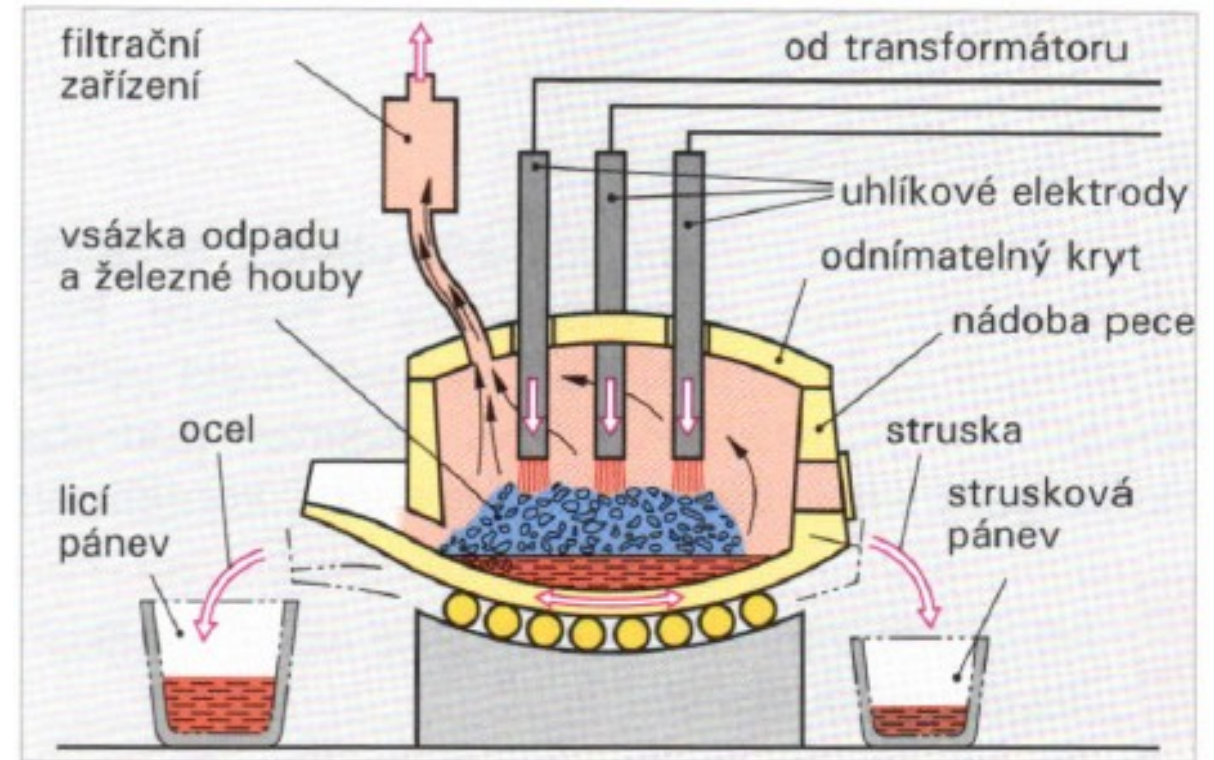
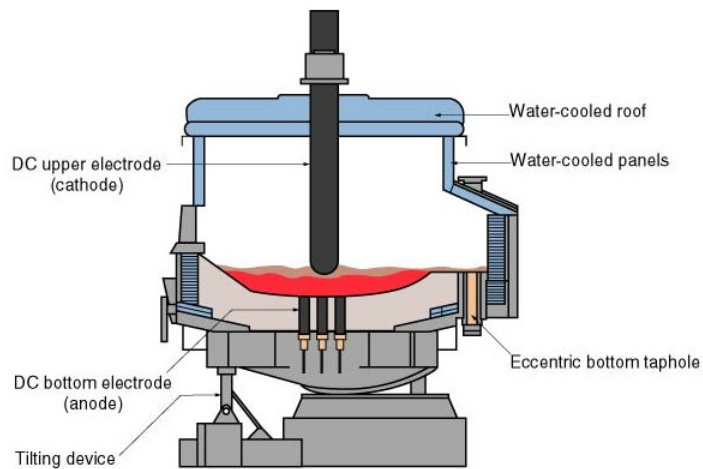


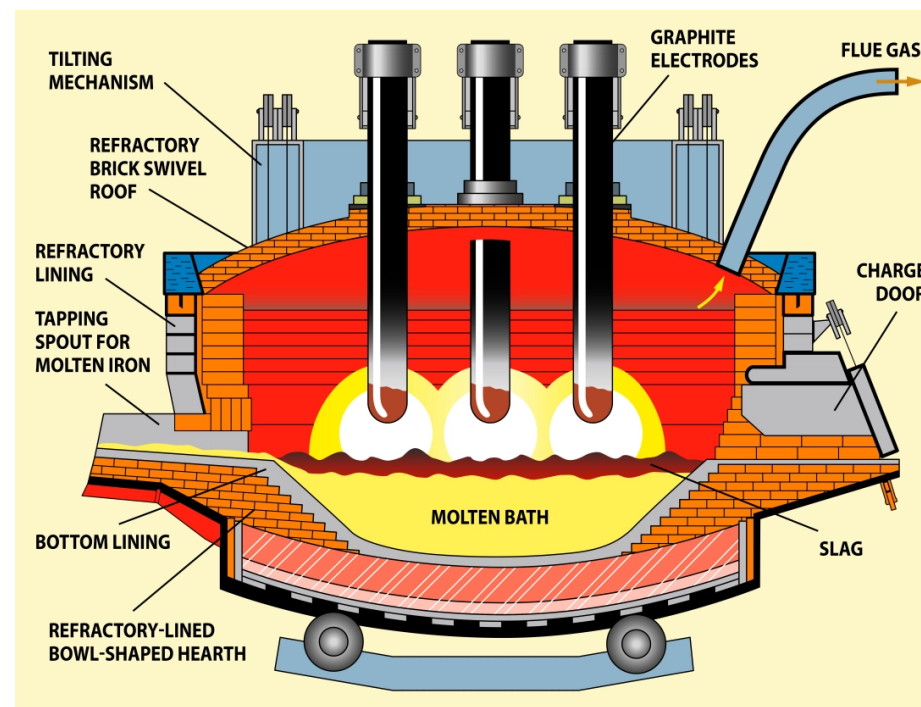
Schéma sklopné elektrické obloukové pece

Elektrická oblouková pec

- ✓ V elektrických pecích vzniká potřebné teplo přeměnou elektrické energie v tepelnou a to přímo v pracovním prostoru pece
- ✓ Vyráběná ocel nepřichází do styku se spalinami, které by ji mohly znečistit
- ✓ V elektrických pecích se dají vytvořit silně zásadité, ale přitom dobře tekuté strusky, lze vyrobit ocel s velmi malým obsahem síry
- ✓ Oceli vyrobené v elektrických pecích vynikají velkou chemickou čistotou a malým obsahem nekovových vměstků
- ✓ **Základní typy jsou dle napájení:**
 - Elektrické obloukové pece napájené střídavým proudem
 - Elektrické obloukové pece napájené stejnosměrným proudem



EOP napájená stejnosměrným proudem



EOP napájená střídavým proudem

Elektrická oblouková pec

- ✓ Surová ocel se v ČR nejčastěji vyrábí v elektrických obloukových pecích napájených střídavým proudem
- ✓ Ocel se vyrábí z kovového odpadu a dalších kovových a nekovových přísad
- ✓ Tavení probíhá pomocí tepla uvolňovaného elektrickými oblouky, které vznikají mezi grafitovou elektrodou a kovovou vsázkou
- ✓ Díky specifickým možnostem výroby v EOP existuje velký počet modifikací těchto technologií, umožňující výrobu uhlíkových ocelí, legovaných ocelí, vysokolegovaných ocelí, nástrojových ocelí a ocelí na odlitky



Elektrická oblouková pec

- ✓ EOP je připojena na síť 22 kV a pecní transformátor transformuje elektrickou energii na 100 – 220 V, aby se mohl měnit výkon pece
- ✓ Princip tavení v elektrických obloukových pecích je založen na přenosu tepla z obloukového výboje, který vzniká termoelektrickou emisí elektrod do vsázky pece v místě vzájemného dotyku elektrod, nebo v místě dotyku elektrod se vsázkou, která se vlivem silného protékajícího elektrického proudu rozžhaví
- ✓ Působením vysoké teploty plynů v okolí místa dotyku elektrický oblouk zůstává hořet i po vzájemném oddálení elektrod
- ✓ Teplota plynů v oblouku dosahuje 3000 – 4000 °C



Elektrická oblouková pec

- ✓ V pracovním prostoru EOP lze vytvářet oxidační i redukční podmínky
- ✓ Existuje tedy velký počet modifikací vlastního průběhu výroby
- ✓ **Základní technologie výroby oceli v EOP jsou:**
 - *Dvoustrusková technologie* – skládá se z údobí sázení, tavení vsázky, oxidačního údobí, stahování oxidační strusky, redukčního údobí a odpichu
 - *Jednostrusková technologie* – skládá se z údobí sázení, tavení vsázky, oxidačního údobí, desoxidace a legování a odpichu
 - *Přetavba* – po natavení vsázky následuje přímo redukční údobí, chybí oxidační údobí



Struska z elektrické obloukové pece

Elektrická oblouková pec

✓ Vsázka

- *Základní surovinou pro EOP je až 100 % ocelového (kovového) odpadu. Nejvhodnější je vlastní odpad ocelárny. Kromě kusového odpadu se používá i odpad drobný (odřezky, třísky, zbytky plechů apod.)*
- *Aby se zajistil požadovaný obsah uhlíku po roztavení vsázky, používá se tuhé i kapalné surové železo, antracit a koks*
- *Struskotvorné přísady, které se běžně používají jsou vápno a kazivec*
- *Běžně používaným způsobem sázení je sázení horem, pomocí sázecích košů*



Skládka kovového odpadu

Elektrická oblouková pec

✓ Tavení

- *Po nasazení vsázky se uzavře víko, elektrody se spustí do pracovní polohy a zapojí se proud*
 - *Kov pod elektrodami má být pokryt struskou, je proto nutné během tavení pod elektrody přihazovat vápno*
 - *Částečně probíhají metalurgické reakce*
 - *Je-li kov roztaven, lázeň se pečlivě promíchá a odebere se předběžný zkušební vzorek a změří se teplota*
- ✓ Vsázka a tavení jsou společné pro všechny tři uvedené technologie. V dalších údobích se technologie již liší



Sázení kovového odpadu

Elektrická oblouková pec

✓ Dvoustrusková technologie

➤ Při dvoustruskové technologii se po roztavení vsázky a odebrání vzorku stáhne část strusky, přidává se vápno v množství 1 % hmotnosti vsázky a začne se přidávat ruda, nebo dmýchat kyslík, tím začíná oxidační údobí

✓ Úkolem oxidačního údobí je:

- oxidace fosforu – odfosfoření
- oxidace dalších doprovodných prvků - především Si, Mn, a Cr
- oxidace uhlíku – vyvolání uhlíkového varu, oduhličení
- snížení obsahů plynů - N_2 , H_2
- částečné snížení obsahu síry
- snížení obsahu nekovových vměstků

✓ Po ukončení oxidace se stahuje oxidační struska a přidávají se dezoxidační přísady, tím začíná redukční údobí

✓ Úkolem redukčního údobí je:

- dezoxidace oceli
- odsíření oceli
- nalegování lázně a konečná úprava chemického složení
- úprava teploty lázně na odpichovou teplotu
- konečná desoxidace oceli a vytvoření optimálního složení strusky v závěru tavby



Elektrická oblouková pec při tavení

Elektrická oblouková pec

✓ Jednostrusková technologie

- *Je vhodná pro výrobu legovaných ocelí z vlastního legovaného odpadu*
- *Při sestavování vsázky je vhodné využít co nejvíce vratného materiálu*
- *Pro dostatečné odplynění lázně je nutné provést nauhličení, jako nauhličovadlo se používá koks*
- *Pokud je po roztavení vsázky přítomno větší množství strusky, struska se stáhne*
- *Oxidace se provádí plynným kyslíkem*
- *Po ukončení dmýchání se odebírá vzorek na chemický rozbor*
- *V případě vyhovujícího složení je provedena dezoxidace strusky a následuje odpich*



Odběr vzorku

Elektrická oblouková pec

✓ Přetavba

- *Problémem při výrobě legovaných ocelí je ekonomické zpracování vlastního legovaného odpadu (vratného materiálu) ocelárny*
- *Během oxidace přecházejí oxidy některých prvků (např. Cr, V) do strusky*
- *Při stahování oxidační strusky dochází ke ztrátám uvedených prvků*
- *Snaha o snížení ztrát vedla ke zpracování vlastního vratného materiálu na EOP pouhou přetavbou, tj. bez oxidačního údobí*
- *Po roztavení vsázky následuje redukční údobí, dochází k redukci oxidů kovů obsažených ve strusce, a tím ke snížení ztrát legujících prvků*
- *Během redukčního údobí se kontroluje chemické složení lázně a v případě potřeby se provádí korekce přidáním legovacích prvků*
- *Při vyhovujícím složení a teplotě se provádí odpich*



Vytahování elektrod

Elektrická oblouková pec

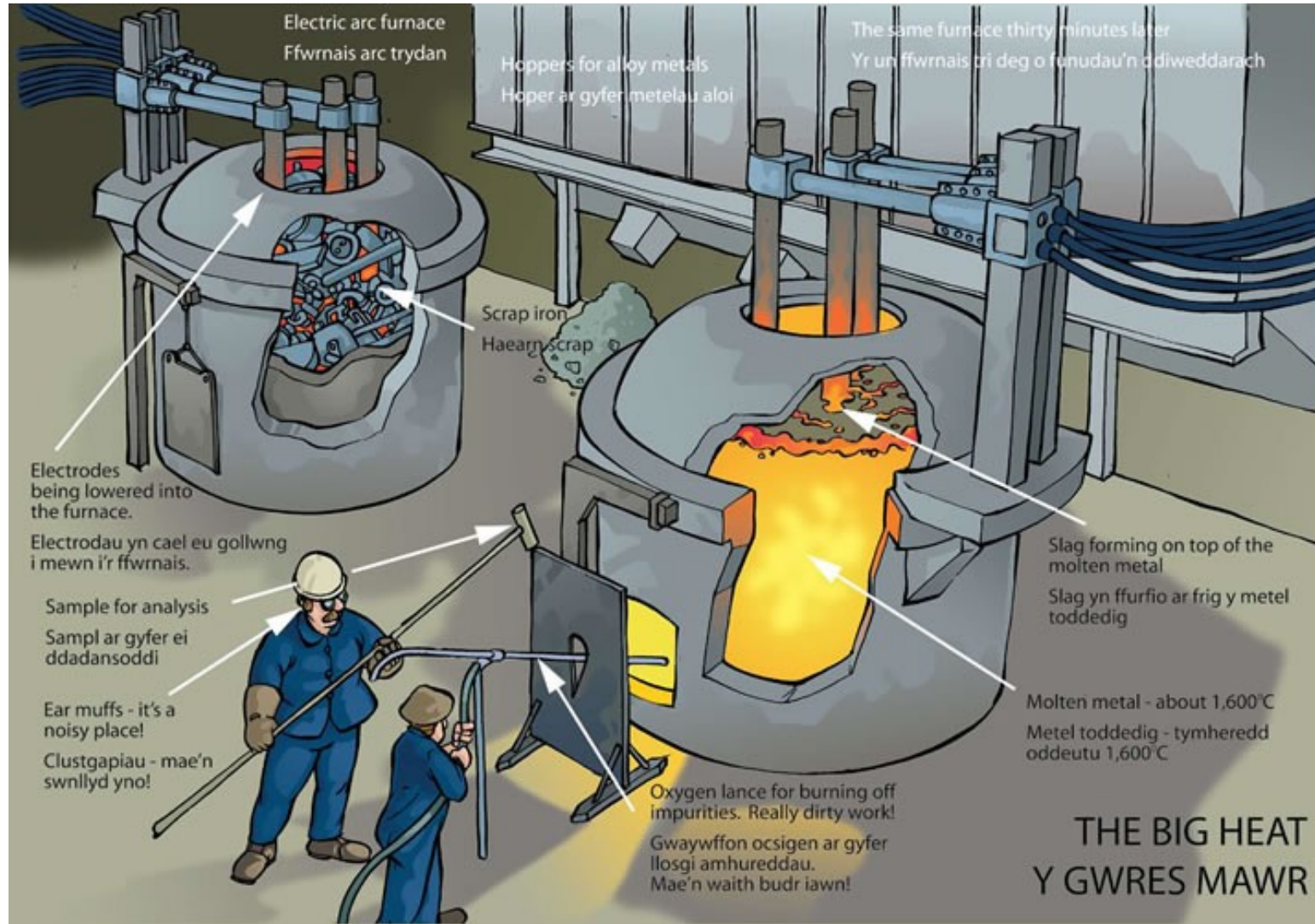
✓ Odpich

- *Má-li ocel předepsané chemické složení a teplotu, přistaví se k peci pánev, otevře se odpichový otvor a ocel se vypouští do připravené licí pánve*
 - *Sklopná pec se naklopí, při odpichu dnem se pouze uvolní odpichový otvor*
- ✓ Po ukončení odpichu se provádí kontrola vyzdívky s mezitavbovou opravou a následně je EOP připravena na další tavbu



Odpich oceli

Elektrická oblouková pec





Seznam použité literatury

- ✓ Neničková B.: *Výroba železných kovů II.* 1. vyd. Nakladatelství technické literatury n. p., Praha 1986
- ✓ Beránek M., Šebková J., Pedlík M.: *Technologie kovových materiálů.* 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 1984
- ✓ Chrást J.: *Slévárenská zařízení.* 1. vyd. Akademické nakladatelství CERM, Brno 2006. ISBN 80-7204-456-7
- ✓ Mores A., Němec M.: *Technologická zařízení sléváren.* 1. vyd. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha 2010. ISBN 978-80-01-04490-2
- ✓ Čamek L., Fabík R.: *Metalurgické technologie: Studijní opora.* VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2013
- ✓ Výroba oceli v kyslíkových konvertorech a odlévání [online]. Dostupné z: <http://podzemi.solvayovylomy.cz/prirucka/zprac/ocel/ocel.htm>
- ✓ Iron & Steel [online]. Dostupné z: <https://www.viktormacha.com/galerie/iron-and-steel-11/>
- ✓ Šenberger J., Bůžek Z., Záděra A., Stránský K., Kafka V.: *Metalurgie oceli na odlitky.* 1. vyd. VUTIUM, Brno 2008
- ✓ Brymbo Steelworks [online]. Dostupné z: http://old.wrexham.gov.uk/images/culture_heritage/steelworks/big_images/no_6.jpg