

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie



Postup výroby oceli v kyslíko konvertorové ocelárně se zaměřením na výrobu
konstrukčních ocelí typu S355

The Production Process of Steel in an Oxygen Converter Steel Plant with a
Focus on the Production of Structural Steels Type S355

Student:

Jiří Rusniok

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Mohyla, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Rusniok**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Postup výroby oceli v kyslíko konvertorové ocelárně se zaměřením na výrobu konstrukčních ocelí typu S355
The Production Process of Steel in an Oxygen Converter Steel Plant with a Focus on the Production of Structural Steels Type S355

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii týkající se problematiky výroby oceli v kyslíkových konvertorech.
2. Popište současné metody odsíření surového železa, mimopecního zpracování a odlévání ocelí.
3. Zpracujte technologický postup výroby předlitku pro výrobu konstrukčních ocelí.
4. Proveďte analýzu chemického složení předlitku a srovnajte s tavební analýzou.
5. Proveďte metalografickou analýzu předlitku.
6. Vyhodnoťte dosažené výsledky a vyslovte závěry.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ŽÁDNÝ, Ivo. *Výroba oceli v kyslíkových konvertorech*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966.
2. PARMA, Václav. *Ocelářství II*. 1. Vydání. Vysoká škola báňská Ostrava: Moravské tiskařské závody, n., provoz Valašské Meziříčí, 1980.
3. ADOLF, Zdeněk, BAŽAN, Jiří. *Výroba oceli*. Učební texty. Ostrava, 1997.
4. CHATTERJEE, N.O. LINDFORS, AND J.A. WESTER. *Ironmaking and Steelmaking*, 1976, vol. 3, p. 21.
5. Odborné články z konference METAL


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Mohyla, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 12. 5. 2014

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 12.5.2014

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Rusniok

Adresa trvalého pobytu autora práce: Polní 1787/28, 737 01 Český Těšín

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RUSNIOK, J. *Postup výroby oceli v kyslíko konvertorové ocelárně se zaměřením na výrobu konstrukčních ocelí typu S355 : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 64 s. Vedoucí práce: Mohyla, P.

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku výroby oceli, jak z pohledu obecného, tak i z pohledu výroby konkrétní konstrukční značky oceli typu S355 v kyslíko-konvertorové ocelárně Třineckých železáren. Praktická část bakalářské práce se hlavně zakládá na porovnávání výsledků ze vzorků z kyslíkového konvertoru, z mimopecního zpracování oceli a z finálního vzorku z kontinuálního lité. Tyto vzorky byly analyzovány přímo v ocelárně Třineckých železáren a jejich výsledky byly porovnané s výsledky, které byly zjištěny v laboratoři na Vysoké škole báňské v Ostravě. Analýzy byly provedeny z totožných vzorků a jsou zaměřené na srovnání chemických složení z jednotlivých fází výroby oceli. Dále byla provedena metalografická analýza z finálního vzorku z kontinuálního lité.

ANNOTATION OF BACHELOR'S THESIS

RUSNIOK, J. *The Production Process of Steel in an Oxygen Converter Steel Plant with a Focus on the Production of Structural Steels Type S355 : Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2014, 64 p. Thesis head: Mohyla, P.

The bachelor thesis is focused on steel production field from the general point of view and also in terms of production of specific brand of structural steel S355 in oxygen-converter steel plant in Třinec. The practical part is based on the results comparison of samples from the oxygen converter, secondary metallurgy of steel and final sample from the continuous casting. These samples were analyzed directly in the steel plant in Třinec ironworks and their results were compared with the results obtained in the laboratory of Technical University of Ostrava. Analyses were performed on identical samples and are focused on the comparison of the chemical composition of steel in the various stages of production. Furthermore, there was done metallographic analysis of the final sample from continuous casting.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce p. Ing. Petrovi Mohylovi, Ph.D. za věcné připomínky a organizaci praktické části mé práce. Dále musím poděkovat vedoucímu kyslíkových konvertorů p. Ing. Robertovi Sikorovi za umožnění realizace bakalářské práce v souvislosti s výrobou oceli v Třineckých železárnách a poskytnutí firemní literatury. Další významné díky patří technologovi výroby oceli p. Ing. Jaromírovi Tillovi za odborné rady, čas, exkurze v kyslíko konvertorové ocelárně Třineckých železáren, veškerou pomoc a komentáře k bakalářské práci a v poslední řadě za poskytnutí vzorků s tavebními listy k vlastním chemickým analýzám a metalografii v laboratořích na VŠB v Ostravě.

Obsah

	strana
Úvod:.....	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1. Historie ocelářství.....	10
2. Způsoby výroby oceli	11
2.1. Konvertory	11
2.1.1. Bessemerový konvertor	11
2.1.2. Thomasův konvertor	12
2.1.3. Kyslíkový konvertor	14
2.1.4. Rotační kyslíkový konvertor	16
2.2. Plamenové pece.....	18
2.2.1. Siemens - Martinské pece.....	18
2.2.2. Tandemová pec.....	19
2.3. Elektrické pece	20
2.3.1. Obloukové pece	20
2.3.2. Indukční pece.....	21
3. Metody odsíření surového železa	22
4. Třinecké železářny - ocelárna.....	23
4.1. Počátky Třineckých železáren.....	23
4.2. Stanoviště ocelárny v TŽ	24
4.2.1. Přelévání surového železa	24
4.2.2. Odsíření surového železa.....	24
4.2.3. Korekční šrotiště.....	24
4.2.4. Výroba oceli v kyslíkovém konvertoru	24
4.2.4.1. Průběh tavby:	24
4.2.4.2. Přísady pro výrobu oceli	25
4.2.4.3. Metalurgické rozdělení ocelí podle stupně dezoxidace	28

4.2.4.4. Konvertorový plyn	29
4.3. Zařízení sekundární metalurgie - mimopecní zpracování oceli	29
4.3.1. Stanoviště homogenizace inertním plynem	30
4.3.2. Stanice elektrického ohřevu - Pánvová pec	30
4.3.3. Chemický Ohřev IR-UT	31
4.3.4. Vakuovací stanice	31
4.4. Odlévání oceli	31
4.4.1. Zařízení plynulého odlévání oceli (ZPO)	31
4.4.2. Odlévání do kokil	32
II. PRAKTICKÁ ČÁST	33
5. Konstrukční oceli typu S355J2	33
6. Technologický postup výroby oceli S355J2 s porovnáváním chem. analýz	33
7. Metalografická analýza předlitku	34
8. Závěr	41
Seznam použité literatury:	42
Seznam příloh:	45

Úvod:

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku výroby oceli, jak z pohledu obecného, tak i z pohledu výroby konkrétní konstrukční značky oceli typu S355 v kyslíko-konvertorové ocelárně Třineckých železáren. První část bakalářské práce zahrnuje historický vývoj výroby oceli v konvertorových a dalších pecích. Dále historii v Třineckých železárnách, současné kyslíkové konvertory s popisem obecného průběhu tavby, dále pak technologií odsíření surového železa, mimopecního zpracování až po následné odlévání oceli. V samotné teoretické části bude proveden rozbor, na jakém principu pracují jednotlivá stanoviště (dílní úseky) v celé ocelárně.

V druhé části bakalářské práce bude popsán technologický postup výroby předlitku pro výrobu konstrukčních ocelí typu S355. Praktická část bakalářské práce se bude hlavně zakládat na porovnání vzorků z neuklidněné oceli z kyslíkového konvertoru, z homogenizační stanice, pánvové pece, vakuovací stanice a z finálního vzorku z kontinuálního lité, tedy porovnáním výsledků vzorků, které budou analyzovány přímo v ocelárně Třineckých železáren, se srovnáním totožných vzorků, které budou zkoumány v laboratoři na Vysoké škole Báňské v Ostravě. Tyto analýzy budou zaměřeny na srovnání chemického složení vyráběného předlitku. Dále bude provedena metalografická analýza ze vzorku z kontinuálního lité. V závěru práce budou vyhodnoceny dosažené výsledky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Historie ocelářství

Kovy doprovázejí vývoj lidstva již od pradávna a jsou nedílnou součástí i pro dnešní moderní společnost. Historie počátku výroby oceli, potažmo zárodky výroby oceli, sahá již od doby železné datované před naším letopočtem. Důkazem, že v této době byla zvládnuta technologie hutnictví, tedy její vznik, nám potvrzují archeologické nálezy. Do konce 18. století byla výroba železa i oceli po velmi dlouhou dobu poměrně zdoluhavou a hlavně drahou záležitostí. Surovina z pecí obsahovala značnou příměs škodlivin a musela být dále zpracovávána po dlouhé období namáhavými, málo výkonnými způsoby zkujňováním např. svářkováním ve výhních. Další zpracování oceli se provádělo v dílnách zvaných hamry. Následnou etapou ve výrobě oceli byl kelímkový pochod a pudlování. [1; 2]

Základním pilířem pro velkovýrobu oceli byl vynález nového způsobu zkujňování, o který se v roce 1855 zasloužil skotský inženýr Henry Bessemer (1813-1898). Tento pochod nazývaný Bessemerův byl podstatně produktivnější než ostatní a probíhal v tzv. **Bessemerovém konvertoru**, který byl založen na dmýchání vzduchu do lázně kovu. Tento konvertor pracoval s kyselou vyzdívkou a kyselou struskou, ve kterém ale nebylo možné odstranit síru a fosfor ze surového železa. Výše uvedený problém s kyselou vyzdívkou byl vyřešen v roce 1878 nahrazením zásadité vyzdívky a přidáním do tavby páleného vápna, čímž bylo docíleno uvolnění a spálení fosforu a síry. Tuto modifikaci zavedl Sidney Thomas (1850-1885), a bylo to v podstatě vylepšené bessemerování - **Thomasův konvertor**. Dalším lidským příspěvkem ve výrobě oceli byl v roce 1864 vynález **Siemens-Martinské pece**, které využívají odpadního tepla k předehřívání topného plynu a vzduchu. Proto teplota v peci dosahuje nad 1600 °C. [2; 3; 4; 5]

V roce 1902 byla do výroby zavedena metoda zkujňování železa v **elektrické obloukové peci**, při kterém se železo taví účinkem tepelné energie vznikající přímo průchodem elektrického proudu surovým železem, nebo nepřímo vznikem elektrického oblouku nad povrchem železa. Tento energeticky náročnější způsob se používá při výrobě slitinových a vysoce kvalitních ocelí, tímto byla nahrazena výroba oceli v kelímkách. [3; 5]

Poslední velký převrat ve výrobě oceli přinesl až vynález **zásaditého kyslíkového konvertoru**, který byl do provozu zaveden v roce 1952 v Rakousku a spolu se svými modifikacemi vytlačil méně ekonomický Siemensův-Martinův způsob. Další inovací téhož

roku byl tzv. LD pochod (podle názvu rakouských měst Linz a Donawitz), kyslík je při tomto způsobu dmýchán kyslíkovou tryskou ze shora. Jiné nové vylepšení spočívalo v tom, že počátkem 60 let 20. století byly některé metalurgické pochody přesunuty z pece do licí pánve. Tehdy nastal zrod mimopecního zpracování. [2; 3; 6]

2. Způsoby výroby oceli

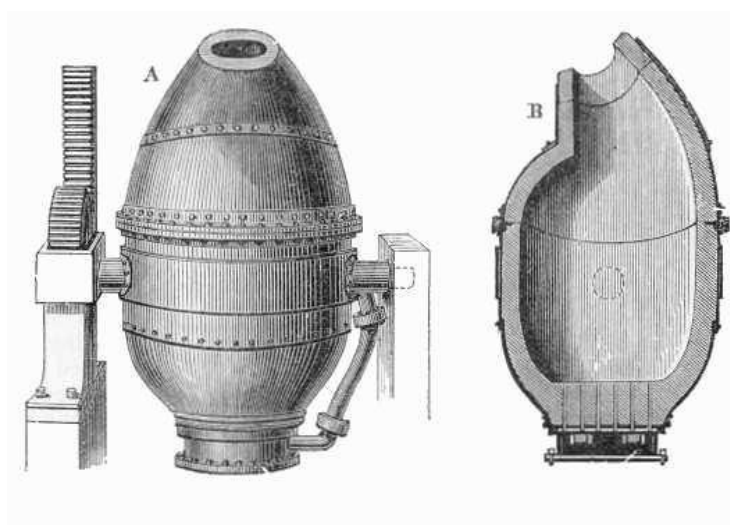
2.1. Konvertory

Konvertor je hutnické zařízení pro výrobu oceli zkujňováním tekutého surového železa, a je to sklopná (kolem vodorovné osy) hutnická ocelová nádoba obvykle hruškovitého tvaru se žáruvzdornou vyzdívkou. Vyzdívka je buď opatřená děravým dnem (spodem foukaný konvertor) nebo plným dnem a tryskou pro vhánění kyslíku do lázně tekutého kovu (horem foukaný konvertor), existuje i možnost kombinované techniky foukání (např. v Třineckých železárnách). Konvertor je uložen v ocelovém kruhovém pásu s čepy, kolem nichž je sklopný. Samotné sklápění se děje pomocí hydraulického posuvného hřebene, který zabírá do ozubeného kola naklínovaného na jednom z čepů. Čepy musejí být uloženy částečně nad těžištěm konvertoru, aby se při poruše sklápěcího zařízení samovolně nevyklopil. Kolmo na osu naklápění se na jedné straně nachází odpichový otvor pro vypuštění oceli, struska se z agregátu vylévá přes hrdlo. Pracovní prostor konvertoru mívá nejčastěji tvar válce, spodní část pracovního prostoru je kulovitá a v horní části přechází do komolého kužele, horní část je otevřená. [2; 7; 8]

2.1.1. Bessemerový konvertor

Vyzdívka tohoto konvertoru je kyselá (z SiO_2), aby nevázala strusku, jelikož i struska je kyselá. Železné rudy, které jsou vhodné k výrobě takového surového železa, se vyskytují v Rusku, USA a ve Švédsku a proto se tam vyrábí ocel v Bessemerově konvertoru, u nás v ČR se bessemerův způsob nepoužívá. Hlavním zdrojem tepla při bessemerování je spalování křemíku v surovém železe, proto musí mít surové železo dostatečně velký obsah křemíku - 1 až 2 % a co nejméně fosforu a síry (pod 0,08 %). V kyselých konvertorech je možno zpracovat pouze 5 % ocelového odpadu z váhy vsázky a struskotvorné přísady se nepřidávají. Zkujňování trvá v kyselém konvertoru přibližně 15 minut. Bessemerova ocel má podobné vlastnosti jako ocel Thomasova a používá se i ke stejným účelům. Obsahuje méně dusíku a kyslíku, než Thomasova ocel a je méně znečištěna struskovými vměstkami, hodnotí se jako kvalitnější ocel než Thomasova ocel. [2; 8]

Výrobní pochod – průběh bessemerova pochodu je v principu stejný jako při výrobě v ostatních druzích typů konvertorů. Specifickým znakem u tohoto pochodu je známka skončeného oduhličení, kdy v závěru foukání se začne objevovat v ústí konvertoru hnědý dým. Další postup výroby bývá různý, nejpřesněji se dá stanovit stupeň oduhličení spektrometrem, kdy při zjištění žádaného obsahu C v oceli se pochod přeruší. Nebo se samotné oduhličení provede až do konce, do úplného okysličení všech doprovodných prvků. Poté nastává dezoxidace na požadované složení oceli. Dezoxidace se provádí přísadou feromanganu do konvertoru, nebo ferosiliciem a hliníkem, které se přidávají do proudu oceli při odpichu tavby do pánve. Struska vzniká z kysličníku doprovodných prvků a ze součásti vyzdívky konvertoru. Struska neváže fosfor ani síru. [8; 9]



Obr. č. 1 - Bessemerův konvertor [10]

2.1.2. Thomasův konvertor

Zkujňovací pochod v Thomasovém konvertoru je opět v podstatě stejný, jako např. u kyslíkového konvertoru, s tím rozdílem, že místo kyslíku se na hladinu kovu dmýchá vzduch. Tento typ konvertoru má bazickou vyzdívku z dolomitu, která umožňuje odsíření a odfosfoření. Surové železo, které je v něm zpracovávané musí mít nejméně 1,7 % fosforu (jelikož nejvíce potřebného tepla se uvolňuje spalováním fosforu) a co nejméně křemíku, pod 0,7 % (křemík prodlužuje dobu tavby, zvětšuje ztráty oceli propalem, ruší průběh odfosfoření a poškozuje zásaditou vyzdívku konvertoru). Nejvyšší obsah fosforu bývá až 3 %. V České republice se vyrábělo surové železo z našich rud, které právě obsahovalo vysokou hodnotu fosforu, tudíž zásadité vyzdívky jsou u nás dominantní. V současné době vyrábíme surové železo z rud, které jsou dovezené z Ukrajiny nebo i z Brazílie. K vázání fosforu přidáváme do lázně pálené vápno (90 až 170 kg na 1 t surového železa), váže na sebe kysličník křemičitý a

fosforečný, z něhož vznikne rovněž zásaditá struska, která se dále zpracovává mletím strusky na Thomasovu moučku, což je výborné umělé hnojivo. Hlavní výhodou Thomasova způsobu spočívá v tom, že je zde možnost zpracovávat pevnou i tekutou vsazku, a tím využít šrotu neboli ocelového odpadu (8 až 10 %). Surové železo při thomasování obvykle obsahuje 0,2 až 0,6 % křemíku, pokud obsahuje větší množství křemíku, tak se musí přidávat do konvertoru mnoho vápna. Tím se zvětšuje množství strusky, která obsahuje méně fosforu a není pak použitelná k výrobě Thomasové moučky. Dále pak musí být obsaženo v surovém železe 1 až 1,3 % manganu, pokud obsahuje více než 1,5 % manganu, tak se prodlužuje doba tavby a vzrůstají ztráty propalem. Obsah síry je obvykle 0,05 až 0,07 %. [2; 8; 9]

Tavba trvá v rozmezí 40 až 60 minut, záleží na jakosti surového železa a značce vyráběné oceli. Nominální výrobnost u Thomasových konvertorů se pohybuje od 25 do 75 tun. Životnost stěn vyzdívky bývá v rozmezí od 150 do 300 taveb, ale dno konvertoru od 40 do 70 taveb. Thomasovy oceli jsou kujné, svařitelné a velmi dobře obrobitelné. Při stejném chemickém složení mají větší pevnost a mez pružnosti a jsou lépe tvárné za tepla než uhlíkové martinské oceli. Jejich nedostatkem je větší křehkost za studena způsobená větším obsahem fosforu a dusíku. [8; 9]



Obr. č. 2 - Thomasův konvertor [11]

2.1.3. Kyslíkový konvertor

Kyslíkový konvertor je dalším stupněm na vývojovém žebříčku konvertorového procesu. Oproti Thomasovu konvertoru, do kterého byl foukán vzduch, potažmo vzduch obohacený kyslíkem, je do kyslíkového konvertoru foukán kyslík o čistotě min. 99,6 %. Tato skutečnost umožnila významně zkrátit dobu foukání ze 45 na 15 minut. Druhou významnou změnou byla teplota dosahovaná na konci foukání, jelikož foukání čistého kyslíku umožnilo dosáhnout významně vyšších teplot, a také umožnilo významně navýšit spotřebu kovového šrotu až na 30 %. Kyslíkový konvertor slouží k výrobě oceli, stejně jako tomu bylo u Thomasového konvertoru, spalovací neboli oxidační metodou.

Nejčastějším používaným kyslíkovým konvertorem je typ LD (Linz - Donawitz), který se uplatňuje pro surová železa s nízkým obsahem fosforu a pracuje na principu dmýchání kyslíku shora na lázeň kyslíkovou tryskou chlazenou vodou - tzv. LD pochod, konvertor má u tohoto pochodu plné dno a dmýchá se tlakem 2,15 až 3,43 MPa. Mezi další způsoby výroby oceli v kyslíkovém konvertoru bylo také dmýchání kyslíku pomocí ponorných trysek u dna konvertoru, typ Oxygen Bottom Maxhütte - OBM nebo LWS (proces Loire - Wendel - Sprunch). Následně bylo do výroby zavedeno nové řešení, a to kombinované dmýchání, které spočívalo ve vhánění čistého kyslíku shora na lázeň a promícháváním inertním plynem (obvykle argonem, nebo dusíkem) ze dna konvertoru, tím se dosáhne exotermické reakce, která dodává energii potřebnou k tavení ocelového odpadu a struskotvorných přísad. [2; 6; 12]

Cílem kyslíkové výroby oceli je spálení doprovodných prvků. Hlavními prvky, které přecházejí na oxidy, jsou uhlík, křemík, mangan, fosfor a síra. Účelem tohoto spalovacího procesu je snížit obsah uhlíku z přibližně 4,5 % C na cca 0,03 % C, a podle druhu značky oceli se uhlík znovu leguje při odpichu, totéž platí pro křemík, ten po foukání vyhoří na 0,001 % Si, a opět podle značky oceli se křemík znovu leguje při odpichu. Dále se odstraňují nežádoucí nečistoty v maximálně možném rozsahu, zejména fosforu. Co se týče síry, tak část síry vyhořívá na SO_2 , ale většina se váže do strusky ve formě CaS - CaO komplexů. Mangan zůstává v lázni v relevantních mezích, a to v obsahu cca 0,06 - 0,12 %. Chemické složení zpracovávaného surového železa, především obsahu fosforu, nelze měnit v širokých mezích. Pokud obsahuje surové železo vyšší obsah fosforu, tak se zpravidla struska 2x slévá do struskových mís (před a po odpichu), popř. se upraví způsob dmýchání.

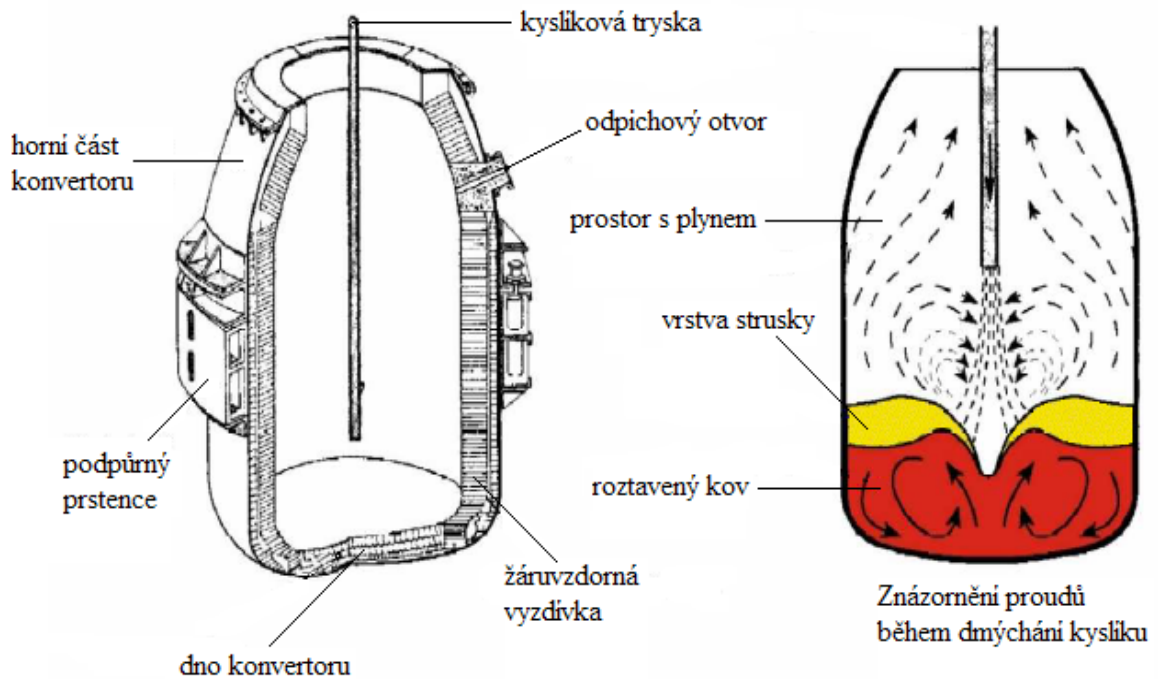
Nominální výrobnost u kyslíkových konvertorů bývá od 30 do 300 tun vsázky, doba tavby závisí na velikosti konvertoru a použité technologie, pohybuje se v rozmezí 30 až 40 minut. [6; 13]

Hlavním rozdílem v průběhu tavby v kyslíkovém konvertoru od Thomasova konvertoru je v tom, že spalování fosforu je skončeno před vyhořením uhlíku díky rychlému vytvoření velmi aktivní oxidační strusky. Dále se neobohacuje ocelová lázeň dusíkem (konečný obsah dusíku je 0,001 až 0,005 %). Kyslíkový konvertor lze také porovnávat s martinskou pecí, pokud pracuje v rudném pochodu (kapitola Simens-Martinské pece). Co se týká výkonů, tak kyslíkové konvertory mají mnohem vyšší výkon než martinské pece, doba tavby v martinské peci je v průměru 6 až 8 hodin, kdež to v kyslíkovém konvertoru je jedna tavba zvládnuta za necelou hodinu a při tom provoz kyslíkové ocelárny je méně nákladný než u martinských pecí. [2; 8]

V kyslíkových konvertorech lze vyrábět všechny druhy uhlíkových, nástrojových ocelí, ale také i některé legované oceli. Tyto oceli jsou kvalitnější než martinské oceli a mají z hlediska složení malý obsah dusíku a vodíku. Používáním kyslíkových konvertorů je ze všech dnešních pochodů zkujňování nejvhodnější k automatizaci, což je také nezbytné k urychlení průběhu zkujňování. V dnešní době je všeobecně známo, že ve všech firmách se zkracuje výrobní čas, tím se zvýší produktivita, která následně vede k vyšším ziskům. V současné době jsou ocelárny částečně nebo úplně automatizované, např. manipulace se vsázkovými surovinami, dávkování struskotvorných, chladících, dezoxidačních a legovaných přísad, dále i sklápění kyslíkového konvertoru a manipulace s kyslíkovou tryskou. Pánvové vozy s oceli a druhý se struskou jsou pro změnu ovládány dálkově. Výpočet vsázky se provádí počítačovým softwarem. [2; 8]

Průběh tavby:

Do konvertoru se sází ocelový šrot, který tvoří přibližně 25 až 30 % kovonosné vsázky. Konvertory mají možnost předeřevu šrotu, což umožňuje navýšit jeho množství na tavbu. Následně je na šrot naléváno surové železo. Poté je vsázka roztavena pomocí kyslíkové trysky, dmýchající technický kyslík, a zkujňována. K rafinačním procesům se používá vápno a ocelárenský aglomerát. Při odpichu oceli z konvertoru jsou do lící pánve přidávány legovací a struskotvorné přísady pro nalegování oceli na požadovanou jakost a pro tvorbu syntetické strusky. Konvertorová struska je zachytávána v konvertoru pomocí bez-struskového odpichu.



Obr. č. 3 - Kyslíkový konvertor [6; 13]

2.1.4. Rotační kyslíkový konvertor

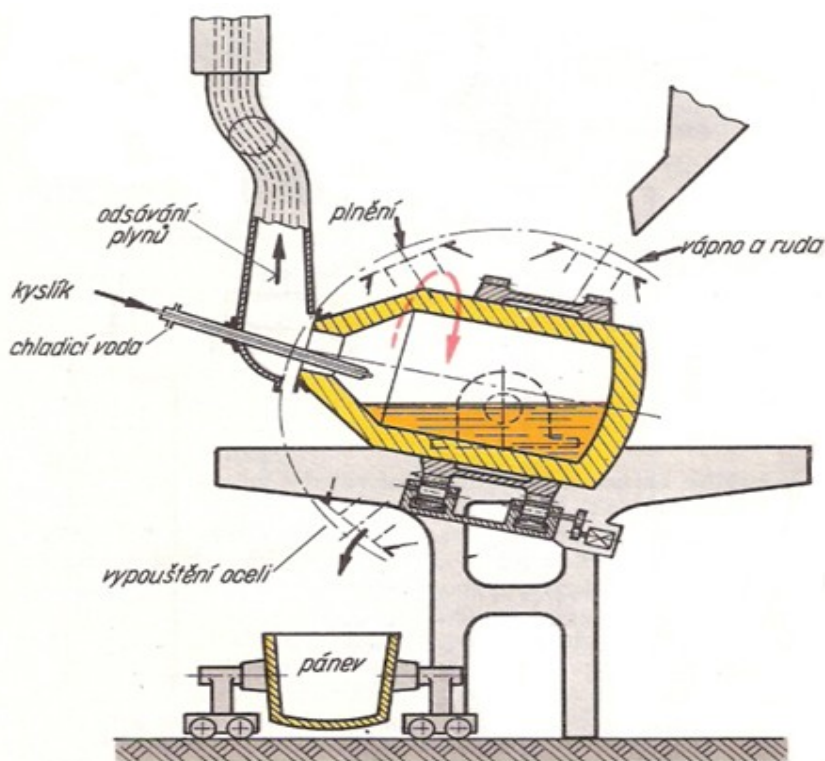
V době, kdy zkujňování surových želez s velkým obsahem fosforu bylo v kyslíkových konvertorech obtížné, zavedly se do výroby dva rotorové pochody **Kaldo a Rotor**. Oba jsou charakterizovány tím, že reakční nádoba se otáčí (hlavní rozdíl mezi kyslíkovým konvertorem), a tím se dosahuje zvětšování stykové plochy kovu a strusky, u obou se fouká kyslík na hladinu kovu, kyslík je dodáván tryskou pod úhlem 17° . Ocel vyráběná v rotujícím konvertoru je pod úhlem $17 - 25^\circ$, její otáčky se mění od 0 do 30/min. Konstrukce konvertoru umožňuje různé naklonění nádoby při sázení, nalévání surového železa nebo odpichu oceli a strusky, či výměnu nádoby. [2; 9; 14]

Rotorový pochod Kaldo umožňuje zpracovávat surové železo libovolného složení. Nevýhodou je značná spotřeba žárovzdorného materiálu, která je až 4 krát větší než u kyslíkového konvertoru. Pracuje s rotační válcovitou nádobou skloněnou v pracovní poloze a kyslík je přiváděn na téže straně, odkud jsou odváděny spaliny. Počet otáček je až 30 za minutu. Konvertor se dá sklápět do různých poloh potřebných k nalévání surového železa, k sázení rudy a přísad, k dmýchání kyslíku a k odpichu oceli a strusky, viz obr. č. 4. Konvertor Kaldo je snadněji regulovatelný, než kyslíkové pochody. Vyrobená ocel má oproti kyslíkovému konvertoru nižší obsah fosforu, síry (až 80% odsíření) a dusíku, a to i při méně

čistém foukaném kyslíku. Poněvadž u tohoto pochodu jsou otáčky regulovatelné, tak lze dosáhnout větší přesnosti jak v chemickém složení oceli, tak i v odpichové teplotě. [2; 9; 14]

Rotorový pochod Rotor byl vyvinut pro zpracování surových želez, které se nehodily pro klasický pochod Martinův, ani pro pochod Thomasův. Rotor se dá sklápět na obě čelní strany. Zkujňovací nádoba má délku až 15 m a otáčí se kolem své podélné osy rychlostí 0,2 až 5 ot/min. Kyslík se do rotoru přivádí nalévací stranou dvěma dmyšnými trubicemi chlazené vodou. Z jedné strany zasahují do konvertoru dvě trysky, z nichž jedna (primární) je ponořena do lázně a pomocí ní se fouká kyslík, zatím co druhá (sekundární) zasahuje do prostoru nad lázní a slouží ke spalování CO, který vzniká při zkujňování. Změna otáček rotoru za provozu umožňuje měnit rychlosti oduhličování a odfosfořování. Odpichový otvor na ocel i strusku se nachází v druhé čelní stěně rotoru, přes kterou jsou odváděny i spaliny. [2; 9; 14]

Výroba oceli v rotujících konvertorech a její různé obměny nemůže prozatím konkurovat s LD pochodem, který je předčí hlavně velkým výkonem a jednoduchostí zařízení. [2]



Obr. č. 4 - Polohy v Rotačním kyslíkovém konvertoru Kaldo [8]

2.2. Plamenové pece

2.2.1. Siemens - Martinské pece

Siemens - Martinská pec je plamenná zkujňovací pec s plochou nístějí ze žáruvzdorného zdiva s regeneračním ohříváním spalovacího vzduchu nebo plynu, kterým lze docílit vysokých pracovních teplot (více jak 1600 °C), aby se dosáhlo vysoké teploty, předejde se plyn i vzduch střídavě v regeneračních komorách. V těchto pecích se zpracovává surové železo různorodého složení a velké množství ocelového odpadu (i legovaného). Vlivem vnějšího přívodu tepla se může v peci zpracovávat surové železo a ocelový odpad v libovolném poměru. Běžná nominální výrobnost bývá 180 až 200 t vsázky. [2; 8]

Rozdělení: [2]

- 1) podle druhu vyzdívký: a) zásadité (z dolomitu nebo magnezitu)
b) kyselé (z dinasu)
- 2) podle druhu paliva: a) pece na plynná paliva
b) pece na tekutá paliva
- 3) podle konstrukce: a) pevné pece - pracovní prostor a nístějí jsou pevně uloženy
b) sklopné pece - **Talbotovy** - střední část pece je sklopná kolem podélné osy, hlavní výhodou spočívá ve vypouštění kovu po částech do pánve, kde se ocel upravuje přísadami, a tím se z jedné tavby dosáhne výroby více druhů různých ocelí.

Hlavní části pece [2; 8]

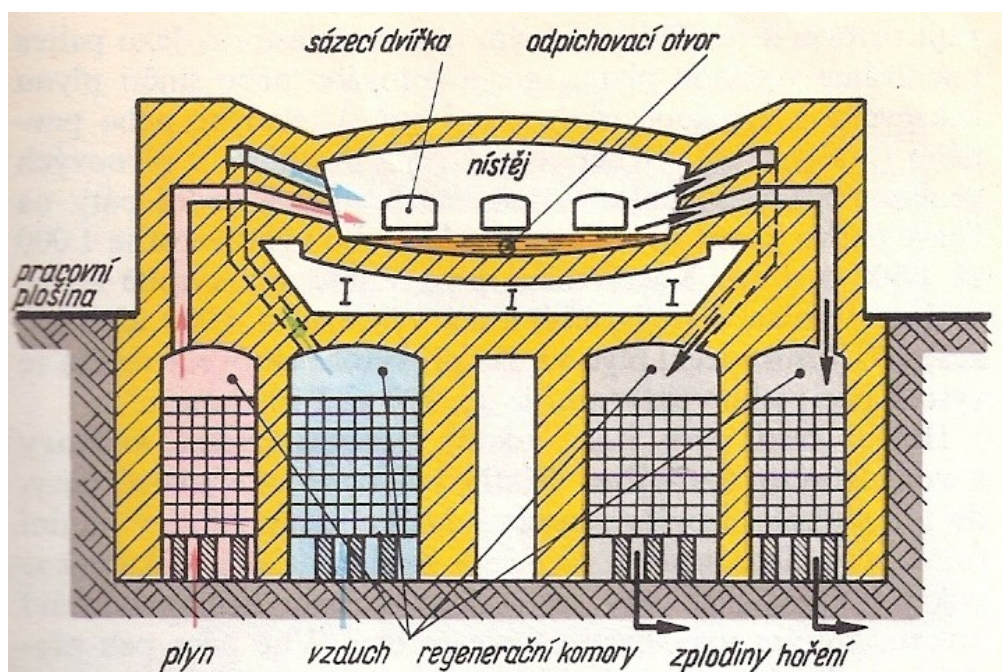
- 1) Nístějí - mělká žáruvzdorně vyzděná vana ve tvaru obdélníkové mísy, ve které se hromadí tekutý kov a struska, sází se do ní suroviny přes sázecí dvířka upravené v přední stěně pece. Dno nístějí se sklání dozadu k odpichovému otvoru, z vnější strany pece se pak nachází odpichový žlábek. Nahoře je nístějí uzavřena klenbou.
- 2) Regenerační komory - jsou většinou v páru a předejde plyn a vzduch před vstupem do pece (až na 1200 °C). Nacházejí se pod pecí nebo pod pracovní plošinou. Mezi regeneračními komorami je rezervační zařízení pro měnění směru proudících plynů. Regenerátory mohou být svislé nebo vodorovné.

Kovonosná vsázka se dopravuje do pece prostřednictvím sázecích strojů. Průběh tavby se pozoruje na základě odběru vzorků (obvykle po 20 až 30 min.), následně se provede chemická analýza oceli, pokud vyráběná ocel odpovídá předepsaným požadavkům, tak se v první řadě

tavba uklidní FeSi nebo FeSi, a dále následuje odpich, při kterém se vyrobená ocel vypouští do lící pánve. Zkujňovací pochod trvá 4 až 8 hodin. [8]

Podle druhu vsázky se provádějí tři tavné pochody: [8; 15]

- a) Odpadový pochod - převážnou část vsázky tvoří ocelový odpad, a cca 30 % váhy z vsázky tvoří pevné surové železo.
- b) Odpadový pochod s tekutým surovým železem - liší se od předcházejícího tím, že se použije tekuté surové železo, čímž se zkrátí doba sázení, sníží se spotřeba tepla a celý pochod se zrychlí.
- c) Rudný pochod - vsázku tvoří tekuté surové železo (85 %) a vlastní odpad. Ke zkujňování se používá potřebné množství rudy, kterou se nahradí dmýchání čistého kyslíku. U tohoto pochodu se používají pece jen se zásaditou vyzdívkou.

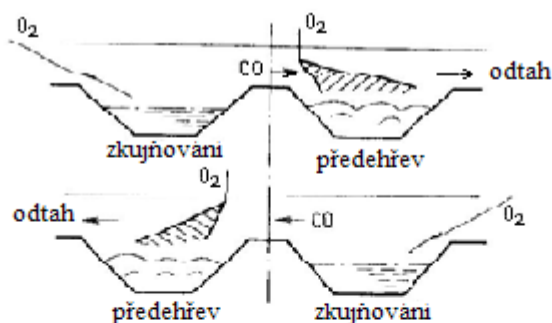


Obr. č. 5 - Siemens - Martinská pec - pevná [8]

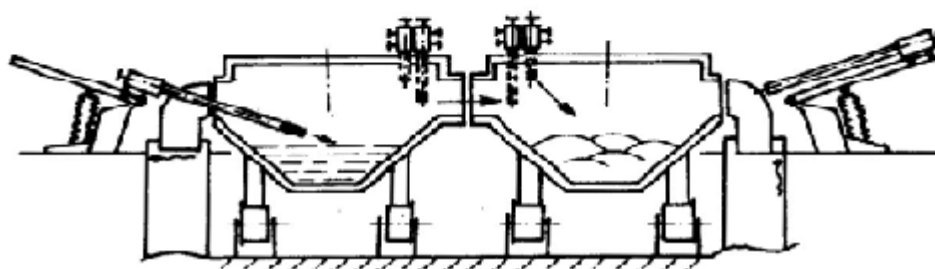
2.2.2. Tandemová pec

Tandemová pec je dalším stupněm na vývojovém žebříčku plamenových pecí, neboť Siemens - Martinské pece neměli schopnost konkurovat rychlejším kyslíkovým procesům, a proto byly zčásti nahrazeny tandemovými pecemi. Tato pec má dvě sklopné nebo pevné nístěje se zásaditou vyzdívkou a jsou spojené plamenným oknem. V každé z nich probíhá zkujňovací pochod v odlišné fázi tak, aby plyny s vysokým obsahem CO, které vznikají při uhlíkové reakci, byly převedeny do druhé nístěje, kde jsou pomocí kyslíkových trysek

spáleny. Tedy první nístěj slouží k předehřevu šrotu a nalévání sur. železa a ve druhé nístěji dochází ke zkujňovacímu pochodu. Zkujňování probíhá dmýcháním kyslíku do lázně pomocí kyslíkové trysky. Průběh děje je obdobný jako v kyslíkových konvertorech čemuž se také blíží i rychlost zkujňování. Po skončení procesu zkujňování nastává odpich a v druhé nístěji je už připravená nová předehřátá vsázka → po každém odpichu se funkce jednotlivých nístěji mění. [9; 15]



Princip tandemového pochodu



Obr. č. 6 - Schéma sklopné Tandemové pece [16]

2.3. Elektrické pece

Elektrické pece slouží převážně k výrobě legovaných a vysoce-legovaných ocelí nebo litiny, kde zdrojem tepla je elektrický oblouk (oblouková pec) nebo elektrická indukce (indukční pec). V elektrické tavicí peci probíhá zkujňování s využitím tepla získaného přeměnou elektrické energie. Podle povahy vyzdívky mohou být pece *zásadité a kyselé*. [9]

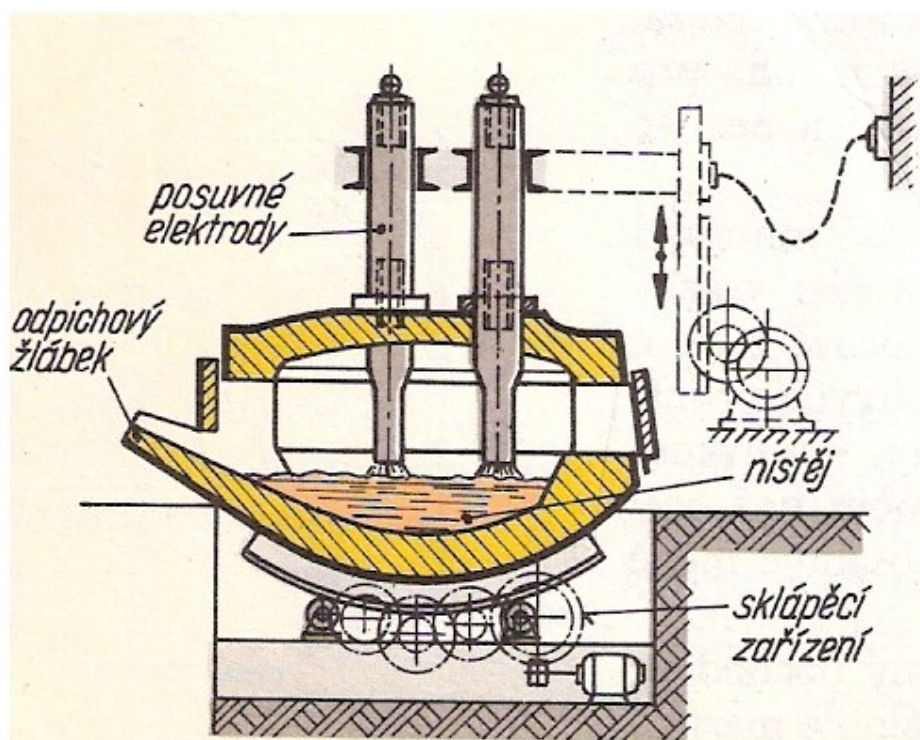
2.3.1. Obloukové pece

Elektrická oblouková pec je hutnický agregát pro výrobu velmi kvalitní oceli. Potřebné teplo k roztavení vsázky se získává hořením elektrického oblouku mezi dvěma elektrodami nebo elektrodou a lázní, čímž dochází k natavování vsázky. Vlivem vysoké teploty elektrického oblouku (až 3500 °C) lze prakticky úplně z vsázky odstranit síru a fosfor.

Obloukové pece mohou být podle druhu napětí *stejnoseměrné* nebo *střídavé*. Střídavé pece lze dále dělit na *jednofázové* a *trojfázové*. [2; 8]

Rozdělení podle působení oblouku: [2]

- 1) s přímo působícím obloukem - lázeň je ohřívána přímo
- 2) s nepřímo působícím obloukem - oblouk se vytváří nad lázní a teplo předává sáláním



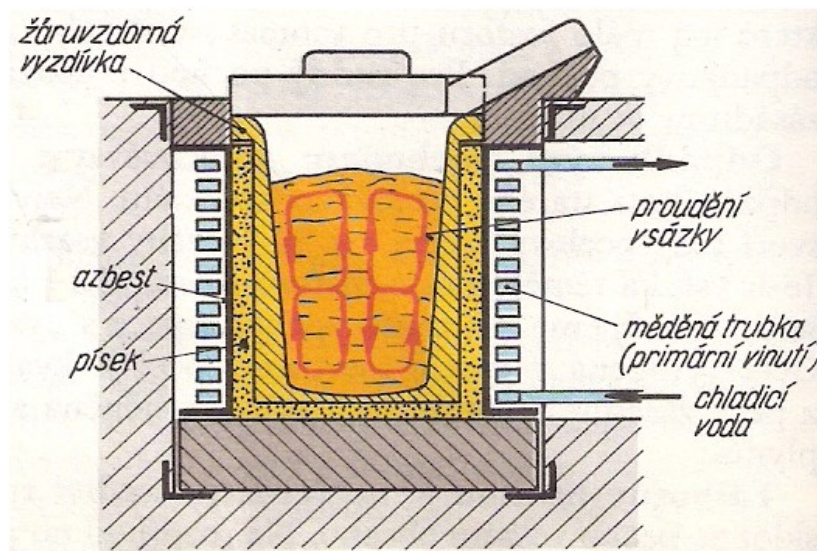
Obr. č. 6 - Elektrická oblouková pec [8]

2.3.2. Indukční pece

Indukční pec si lze představit jako transformátor, jehož sekundární cívku tvoří kovová vsázka, uložená v ohnivzdorném žlabu. V indukční peci se využívá elektromagnetické indukce. Tavení kovové vsázky v indukčních pecích probíhá tak, že střídavý proud, který je přiváděný do cívky (primární vinutí) vytváří kolem cívky střídavé magnetické pole, které indukuje proudy ve vlastní kovové vsázce. Indukční pec je v podstatě ve tvaru kelímku nebo kanálku ze zásadité, méně pak z kyselé vyzdívky, který je ovinutý měděnou indukční trubkou (neboli cívkou), chlazenou protékající kapalinou. Poněvadž zde nemůže docházet k nauhličování tavby úlomky elektrod, lze takto vyrábět oceli s nejnižšími obsahy C. Také obsah plynů je minimální, nevýhodou jsou požadavky na vysokou čistotu vsázky. [8; 9]

Rozdělení: [9]

- 1) **Podle frekvence:** a) Nízkofrekvenční - s jádrem
b) Vysokofrekvenční - bez jádra (300-800 kHz)
- 2) **Podle konstrukce:** a) kanálkové b) kelímkové



Obr. 7 - Vysokofrekvenční indukční elektrická pec - kelímková [8]

3. Metody odsíření surového železa

- 1) V licích žlabech vysoké pece
- 2) V proudu odlévání
- 3) V přepravní pánvi - viz 4. kapitola
- 4) V účelově projektovaných hutních nádobách

První pokusy odsířování se prováděly v licích žlabech ve vysokých pecích, nebo v pánvi při přelévání surového železa, kde jako reakční činidla sloužila soda Na_2CO_3 a CaO . Výhoda v této metodě spočívala v jednoduché technologii, ale struska se tvořila ve velkém množství, byly velké tepelné ztráty a vysoký úbytek surového železa, navíc výpary byly zdraví škodlivé. Další používané činidla byly CaCO_3 a CaC_2 , které se užívaly samostatně nebo ve směsích s CaO . Z nich se rozšířilo odsířování CaC_2 ve směsi s CaO , resp. NaCO_3 . Následný způsob přidávání činidla bylo dávkování na dno pánve, potažmo do proudu taveniny. U tohoto způsobu by se jako výhody daly považovat levné a dostupné reakční činidla, nenáročná technologie. Na druhé stránce zde hrozila nekontrolovaná reakce s možností výbuchu taveniny, proto byla manipulace s činidly nebezpečná. [6;17]

Další vývoj v odsíření surového železa spočíval v tom, že k odsiřování byl použit koks impregnovaný hořčíkem. Překážkou širšího uplatnění tohoto způsobu odsiřování bylo v počátku ve výrobě hořčíku a v technologii jeho přidávání. Postupně se technologie výroby Mg a příprava směsí zlepšila natolik, že se začala prosazovat na úkor technologií využívajících CaC_2 , směsi $\text{CaC}_2 + \text{CaO}$. V současnosti jsou nejrozšířenější 2 způsoby odsiřování surového železa s použitím CaC_2 , Mg nebo směsí $\text{CaC}_2 + \text{CaO}$, $\text{Mg} + \text{CaO}$, $\text{Mg} + \text{CaC}_2$. Významný rozvoj mimopecního odsiřování nastal při aplikaci pneumatických-injektážních technologií vhánění odsiřovacích činidel do taveniny surového železa, kde jako nosné médium se používá dusík. Injektážní technologie zajišťují větší bezpečnost, operativnost, přesné řízení procesu. [17]

Výhodou mimopecního odsíření je vyšší využití reagentů, a tím i vyšší účinnost odsiřování. Dále pak příznivější ochrana životního prostředí, snížení spotřeby přídavných paliv v následujícím procesu výroby oceli, menší výtěžek taveniny kovu a ocelářské strusky. Lepší kvalita metalurgické strusky, delší doba životnosti žáruvzdorné vyzdívky a nižší spotřeba kyslíku. Mezi nevýhody patří komplikovanost zařízení, složitější obsluha, delší doba odsiřování, vyšší investiční náklady. [17]

4. Třinecké železářny - ocelárna

4.1. Počátky Třineckých železáren

Třinecké železářny, které zdejší obyvatelé a pracovníci nenazývají jinak než Werk, patří k průmyslovým závodům s nejdelší tradicí hutní výroby v České republice. V současné době se jedná významný soukromý podnik s uzavřeným hutním výrobním cyklem, který byl založen v roce 1839 Těšínskou komorou. Od doby založení se v železárnách vyrábělo pouze surové železo určené pro slévárenské účely. V roce 1877 byla zde zahájena výroba oceli původně v Bessemerových a Thomasových konvertorech, následně v Siemens-Martinských pecích a jejich kombinací, poté duplexním pochodem Bessemer-Martin až k dnešní výrobě v kyslíkových konvertorech. V roce 1984 byly oba kyslíkové konvertory vybaveny dvěma LD kyslíkovými tryskami a nominální hmotnost tavby byla 160 t, v roce 2004 a 2005 byly konvertory obměněny za nové, které mají objem 167 m^3 s nominální hmotností tavby 180 t. Třinecká ocelárna je nejmodernější v České republice, do jejíž výbavy spadá i zařízení pro mimopecní zpracování (viz níže v této kapitole). [18; 19]

4.2. Stanoviště ocelárny v TŽ

Třinecké železářny a.s. si vzhledem k citlivým údajům nepřejí zveřejňovat tuto podkapitolu. Výjimkou jsou části podkapitol, které jsou obecné a údaje v nich obsažené jsou veřejně přístupné.

4.2.1. Přelévání surového železa

4.2.2. Odsíření surového železa

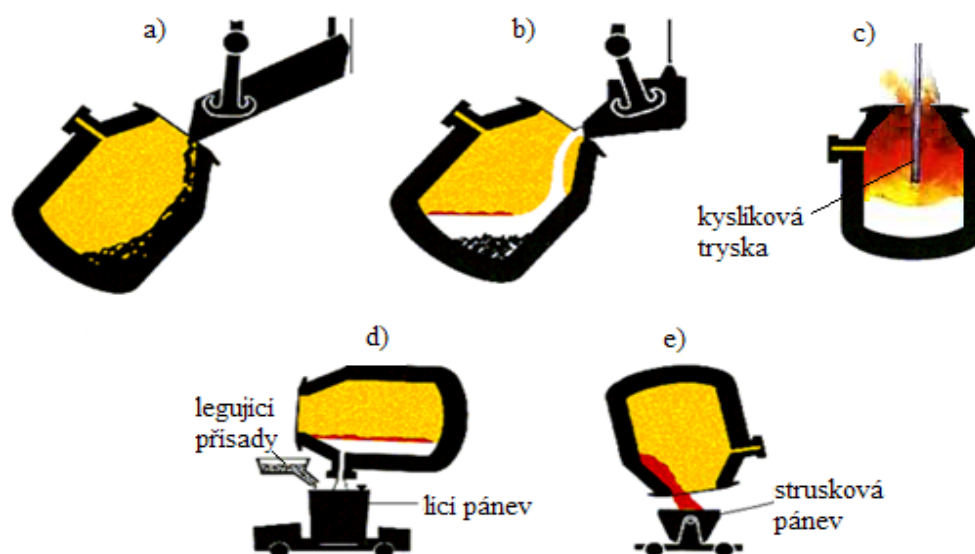
4.2.3. Korekční šrotiště

4.2.4. Výroba oceli v kyslíkovém konvertoru

Kyslíkové konvertory v současné době patří mezi hlavní výrobní agregáty oceli v Třineckých železárnách. Jejich roční produkce dosahuje kolem 2600 kt oceli. [12]

4.2.4.1. Průběh tavby:

- Sázení ocelového odpadu + případný předeheřev
- Nalévání surového železa
- Foukání kyslíku
- Odpich vyrobené oceli
- Vylévání strusky



Obr. č. 8 - Průběh tavby v kyslíkovém konvertoru [20]

4.2.4.2. Přísady pro výrobu oceli

1) Kovonosná vsázka - mezi základní suroviny při výrobě oceli patří surové železo, které je vyráběné ve vysoké peci, dále pak ocelový odpad.

1. a) Surové železo - je hlavní produkt vysokých pecí, vyrobené surové železo je cca z 95 % čisté a zbylých 5 % tvoří hlavně uhlík (vyskytuje se v surovém železe volně jako grafit nebo je chemicky vázán jako karbid železa Fe_3C) a stopové množství jiných prvků, zejména síra, fosfor, mangan a křemík. Tyto prvky nežádoucím způsobem ovlivňují jeho vlastnosti, a proto je surové železo příliš tvrdé, křehké a nekujné, z tohoto důvodu se většina surového železa (z 90 %) dále zpracovává v ocelárnách na ocel. [8]

Pokud je v surovém železe obsaženo více křemíku, tak to má při výrobě oceli za následek větší spotřebu vápna, rychleji se opotřebovává vyzdívka a zhoršuje se odfosfoření a odsíření oceli. Obsah křemíku v surovém železe má také vliv na množství strusky. Zato mangan v surovém železe nemá podstatný vliv na výrobu oceli v kyslíkových konvertorech, ba naopak podporuje odsíření. [2]

2) Struskotvorné přísady - účelem struskotvorných přísad je vytvořit v kyslíkovém konvertoru strusku, která vzniká při výrobě oceli jako vedlejší produkt. Vzniklá struska má vliv jak na průběhu vlastního pochodu, tak i na jakost vyrobené oceli, potažmo na chemické složení, homogenitu, čistotu oceli z hlediska výskytu nežádoucích nekovových příměsí - tzv. vměstků, eliminaci obsahu rozpuštěných plynů, atd. Strusku na povrchu lázně tvoří převážně přísady, které se přivádějí do vsázky nebo do lázně během pochodu. Pro vytvoření strusky v pecích se zásaditou vyzdívkou se přidávají zásadité látky. Použité přísady musí vyhovovat chemickému složení, a to zejména obsahem fosforu a síry. [2]

Zásadité látky: pálené vápno, bauxit, kazivec, materiály na bázi MgO a sur. dolomit. [2]

Vápno - vyrábí se pálením vápence ve vápenkách, je to v podstatě CaO a vyjadřuje se maximálním obsahem nežádoucích příměsí SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO . Vápno do konvertorů musí být suché, čisté s vhodnou kusovitostí (10 až 25 mm) a na jeho jakosti závisí rychlost vytvoření strusky. Požadované měkce pálené vápno se vyznačuje vysokou reaktivitou a částečným nedopalem. [2]

Kazivec - bazická přísada, která se skládá z fluoridu vápenatého. Jedná se o ředidlo a není příliš nákladné. Kazivec při výrobě oceli je závadný z toho důvodu, že fluor v něm obsažený tvoří s křemíkem plynnou rakovinotvornou chemickou látku - fluorid křemičitý.

Bauxit - je to hydrát oxidu hlinitého, doprovázený oxidy a křemičitany železa, přidává se do zásaditých pecí ke zlepšení tekutosti strusky, místo kazivce. Protože obsahuje chemicky vázanou vodu, musí se dobře vyžít. [2]

3) Přídavná paliva - hlavním účelem přídavných paliv je zvýšit množství ocelového odpadu, tím se zvýší úspora surového železa. V některých případech je třeba zvýšit obsah uhlíku ve vsázce nebo v kovové tavenině, toho se docílí přísadou látek obsahující uhlík. Přídavná paliva jsou chemicky čistá a musejí se rychle spalovat. Když neshoří rychle, tak jsou většinou odneseny proudem spalin a dostávají se do plynočistírenské vody.

Antracit - je velmi jakostní černé uhlí s malým množstvím organických uhlovodíků s nízkým obsahem popela a síry. Antracit je v podobě uhlíkatých nugetek.

Plynové uhlí - plynný derivát, používá se pro předehřev ocelového odpadu.

4) Dezoxidační a legující přísady

Dezoxidace je snížení aktivity kyslíku v oceli a strusce na přijatelné hodnoty, které jsou vhodné pro odsíření a dolegování oceli.

Dezoxidační přísady jsou látky, které po skončení zkujňovacího pochodu odstraňují z lázně přebytek kyslíku v podobě FeO, který zhoršuje mechanické a technologické vlastnosti vyrobené oceli. **Legující přísady** přivádějí do kovové lázně různé prvky rozpustné v oceli, aby se dosáhlo požadovaných vlastností a jakosti oceli. Některé z těchto přísad ocel legují a zároveň dezoxidují, takže nelze přesně rozlišovat přísady dezoxidační a legující. K dezoxidaci a legování se používají feroslitiny, čisté kovy, jejich neželezné slitiny a chemické sloučeniny. Nejčastěji používáme feroslitiny. Kvalitní legující přísada má mít největší obsah legujícího prvku a nejnižší obsah nečistot. U každé přísady je nutno znát průběh jejího rozpouštění v tavenině a to zejména při výrobě vysokolegovaných ocelí. [2; 22]

K nejčastěji používaným dezoxidačním přísadám patří - hliník pro oceli legované hliníkem, uhlík pro oceli legované uhlíkem. Pokud není ocel legovaná Al ani C bývá uklidněna křemíkem, další na řadu přichází mangan. [2]



Mezi nejdůležitější **legující přísady** patří - uhlík, mangan, křemík, dále pak chrom, molybden, nikl. Titan, vanad, wolfram se používají k legování již opravdu ve speciálních případech. V případě výroby oceli v kyslíkových konvertorech se používají v takovém množství, že hovoříme o ocelích mikrolegovaných.

Mangan - nejběžnější kov při výrobě oceli, který se používá buď v jeho technicky čisté podobě z 97-98 %, avšak v čisté podobě je velmi drahý, tak se častěji používá jako feroslitina - feromangan na legování a dezoxidaci oceli, kromě feromanganu se používají i slitiny s větším množstvím křemíku a silikomangany. Mangan zvyšuje pevnost a houževnatost oceli, ale snižuje tažnost. Především se používá k legování konstrukčních ocelí. [22; 23]

Křemík - používá se na legování oceli a dezoxidaci běžně jako ferosilicium (75 % Si). Netvoří v oceli karbidy, ale úplně se rozpouští ve feritu, a tím se ferit zpevňuje. Křemík zvyšuje pevnost oceli, nejčastějším a nejlevnějším materiálem je MnSi. [22; 23]

Chrom - legující prvek, který se uplatňuje u vysokolegovaných ocelí a výhradně se používá ve feroslitině jako ferochrom, rychleji se rozpouští než v jeho čisté podobě. Kovový chrom je téměř bez uhlíku, proto se legují jen oceli s nízkým obsahem uhlíku. Obsah chromu určuje tvrdost a mechanickou odolnost, dále zlepšuje žáruvzdornost a žáropevnost, při vyšší koncentraci i korozivzdornost oceli. Používá se i u nástrojových ocelí, čímž se zvyšuje prokalitelnost a tvrdost. [22; 23]

Hliník - v ocelářství se používá převážně jako čistý kov a obsahuje 99 % Al. Hliníkem se také uklidňují některé druhy oceli, pokud je vyráběna tavba legovaná Al. [22]

Nikl - používá se pro legování oceli nejčastěji v čisté podobě, méně často jako feronikl, který obsahuje (40-50 % Ni). V Třineckých železárnách se používá katodový nikl vyráběný elektrolýzou. Nikl zvyšuje pevnost více než chrom, využívá se u ocelí z hlediska vyšší houževnatosti při nižších teplotách. [22]

Vanad - odplyňuje ocel a váže na sebe dusík, čímž vznikají nitridy, popřípadě jím legujeme nástrojové a konstrukční oceli. Používá se v podobě ferovanadu od 35 do 80 %, nejčastější 50 %V. Spolu s uhlíkem tvoří v oceli velmi tvrdý karbid V_4C_3 . Oceli s vyšším obsahem vanadu jsou žáropevné a odolné proti vodíkové korozi. [22]

Molybden - Používá se nejčastěji jako feromolybden v rozmezí 60-65 % Mo. I při nízkém množství molybdenu se zvyšuje tvrdost, mechanická a korozní odolnost. Z ocelí legovaných molybdenem se vyrábějí silně namáhané strojní součásti. [22]

Titan - přidává se ve slitině s železem jako ferotitan. Titan snadno vyhořívá s kyslíkem, z tohoto důvodu se leguje v nejpozdější fázi výroby mimo-pecního zpracování, a to ve vakuovací stanici. [22]

Niob a Tantal - používá se jako feroniob z 50-60 % Nb a 10-20 % Ta. Niob podstatně zvyšuje mez kluzu. [22]

Fosfor - používá se jen výjimečně jako legující přísada, a to v podobě ferofosforu (15-30 % P). V TŽ se používá jako kusová legura pouze do konvertorů. Využívá se pro výrobu automatové oceli. [22]

Síra - v některých případech se také dolegovává sírou, respektive FeS, jelikož síra zvyšuje u materiálu obrobitelnost, ale také zapříčiňuje křehkost oceli.

Koks - k nauhličování se používá černouhelný nebo hnědouhelný koks. Jemně mletý nebo v podobě krupice. Neobsahuje plyny a je levný, nevýhodou je vyšší obsah síry a fosforu. Přivádí se do lící pánve v průběhu odpichu pro účely uhlíkové dezoxidace a k legování oceli.

Vysoko uhlíkové feroslitiny - jsou slitiny železa s uhlíkem a jinými prvky, mají vyšší obsah uhlíku jako například: feromangan (asi 6 % C), ferochrom (2-6 % C).

5) Chladicí přísady - jako chladicí přísada se používá ruda, vápno, surový dolomit. Při mimo-pecním zpracování se používá interního plynu, a to argonu, který je do oceli dmýchán.

4.2.4.3. Metalurgické rozdělení ocelí podle stupně dezoxidace

Rozlišujeme uklidněné a neuklidněné oceli. U uklidněných ocelí je rozpuštěný kyslík vázán přísadou hliníku nebo křemíku.

Uklidněná ocel - neobsahuje bubliny CO₂, jejichž vznik se zamezí přidávkem dezoxidovadla (Mn, Si, Al, popř. C) do taveniny před jejím odléváním. Dezoxidační prvky vykazují vyšší afinitu ke kyslíku než železo, proto reagují s FeO za vzniku Fe a oxidu dezoxidačního prvku. Tím se zamezí reakci rozpuštěného kyslíku s uhlíkem, při které vznikají bubliny CO₂. Uklidněná ocel je základem přípravy taveniny pro výrobu odlitků. Oceli s větším obsahem uhlíku a jakostnější oceli se odlévají vždy jako uklidněné. [2]

Neuklidněná ocel - V Třineckých železárnách se neuklidněná ocel nevyrábí vůbec, v průběhu odpichu se vždy aspoň částečně uklidňuje.

Obecně - podstatou neuklidněné oceli je nepřidání dezoxidačního prvku, kdy v tavenině zůstane velký obsah rozpuštěného FeO. Neuklidněná ocel z kyslíkového konvertoru má nízký obsah kyslíku, síry a fosforu. Převážná část dezoxidace probíhá až po odlití oceli do kokil, kde reaguje při ochlazování uhlík s rozpuštěným kyslíkem za vzniku oxidu uhelnatého a vzniká tzv. uhlíkový var. Bubliny CO₂ z velké části unikají z oceli, zčásti ale zůstávají jako bubliny ve ztuhlém kovu. Neuklidněná ocel má dobrou svařitelnost a jakost povrchu, používá se pro výrobu svařovaných trub, tenkých plechů, kotlů nebo dopravních zařízení. Nevýhodou je sklon ke stárnutí a nehodí se pro velmi namáhané konstrukce. [2, 13]

Polouklidněná ocel je na přechodu mezi ocelí uklidněnou a neuklidněnou. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou rovnoměrnější než u oceli neuklidněné. V některých případech se vyrábí polouklidněná ocel, kdy se k uklidnění oceli nepoužívá hliník, ale částečně se uklidňuje manganem a křemíkem. [2]

4.2.4.4. Konvertorový plyn

Vedlejším odpadním produktem KKO je konvertorový plyn, který je v Třineckých železárnách jímáný. Plyny vznikají během zkujňování a obsahují velké množství CO, který je toxický a prudce jedovatý. Konvertorový plyn je v době tavby odsáván do kotle, kde jeho fyzické teplo je využíváno k výrobě páry, čímž se plyn chladí. Regulace tahu umožňuje odsávat z hrdla konvertoru takové množství plynu, které odpovídá okamžitému vývinu. Konvertorový plyn je po zchlazení a vyčištění odsáván do řídicího trojcestného ventilu, kde jsou spaliny usměřovány do plynojemu (obsah CO nad 25 % a kyslíku pod 2 %) nebo do spalovacího komína (nízký obsah CO). K zamezení úniku plynu do prostoru ocelárny je kolem kyslíkové trysky a jejího uzávěru vpouštěn dusík. Případná přítomnost CO ve výškové části ocelárny je monitorována automatickými detektory se signalizací. Konvertorový plyn se používá jako energetický plyn. [12]

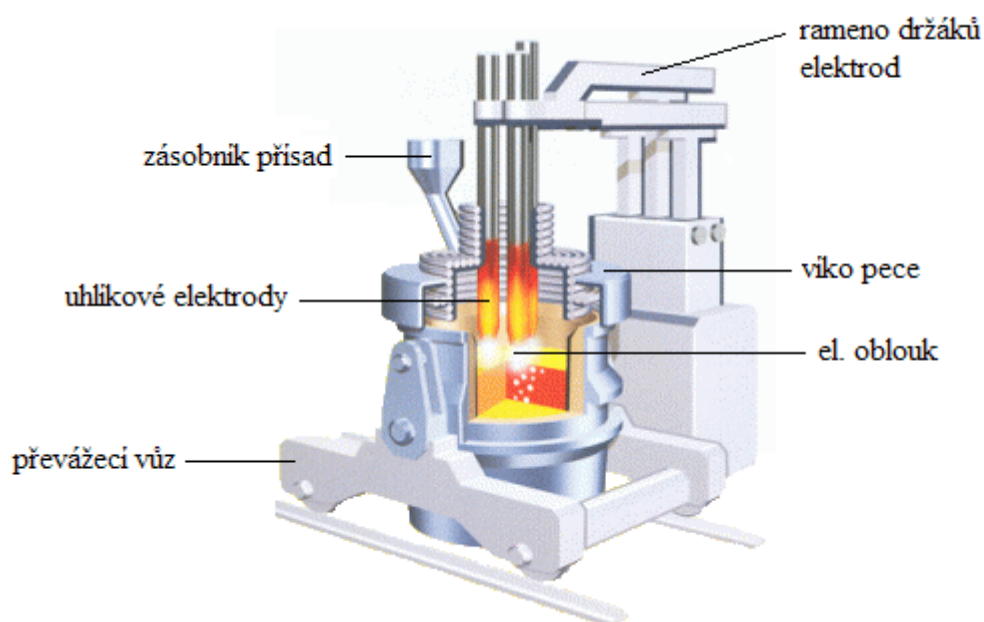
4.3. Zařízení sekundární metalurgie - mimopecní zpracování oceli

Třinecké železářny a.s. si vzhledem k citlivým údajům nepřejí zveřejňovat tuto podkapitolu. Výjimkou jsou části podkapitol, které jsou obecné a údaje v nich obsažené jsou veřejně přístupné.

V zařízení mimopecního zpracování, dále jen MPZ, je vyrobená ocel dále upravována. Po odpichu oceli z konvertoru běžně následuje úprava, která zahrnuje řadu rozmanitých metalurgických operací. Třinecká ocelárna disponuje zařízeními umožňující teplotní i chemickou homogenizaci, ohřev, dolegování a vakuování oceli v pánvi. Ocelárna má dvě argonovací stanice a dvě vakuovací stanice. K ohřevu oceli slouží dvě pánvové pece a systém chemický ohřev IR-UT. MPZ bylo vyvinuto na základě neustálých zvyšujících se požadavků na jakost oceli. V každém zařízení MPZ je změřena teplota a odebírán vzorek k chemické analýze. [19]

4.3.1. Stanoviště homogenizace inertním plynem

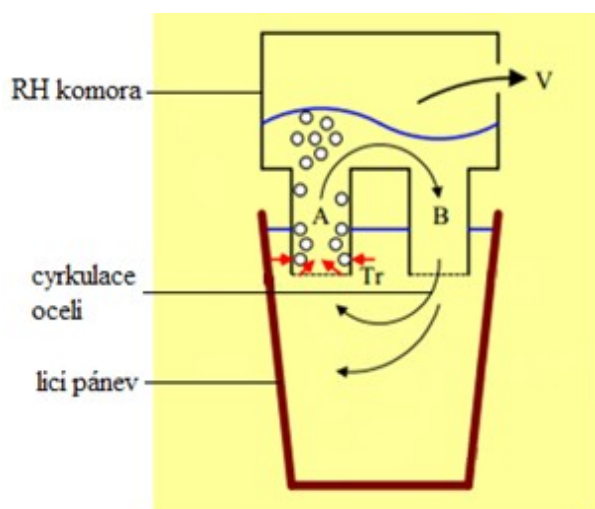
4.3.2. Stanice elektrického ohřevu - Pánvová pec



Obr. č. 9 - Schéma pánvové pece [25]

4.3.3. Chemický Ohřev IR-UT

4.3.4. Vakuovací stanice



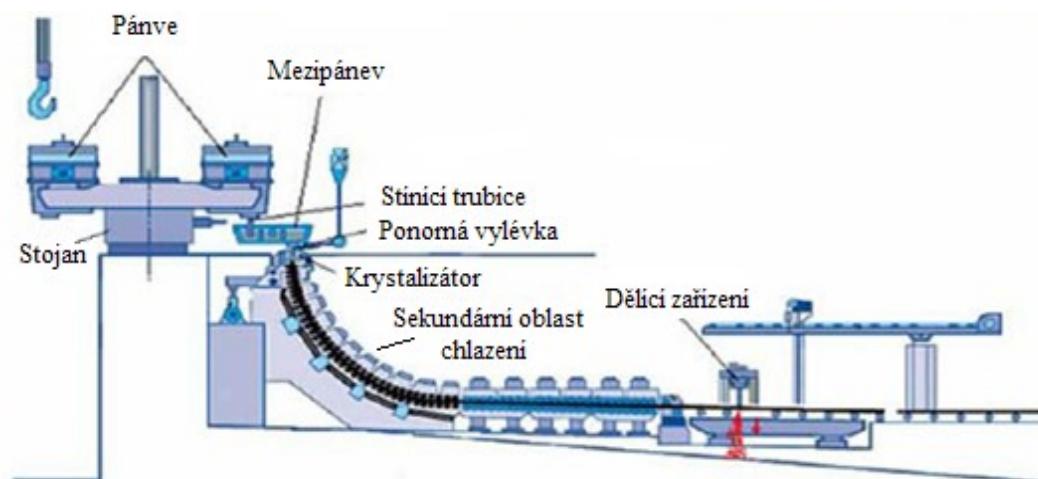
Obr. č. 10 - Schéma principu vakuování oceli [27]

Obr. č. 11 - foto vakuování oceli [26]

4.4. Odlévání oceli

Třinecké železářny a.s. si vzhledem k citlivým údajům nepřejí zveřejňovat tuto podkapitolu.

4.4.1. Zařízení plynulého odlévání oceli (ZPO)

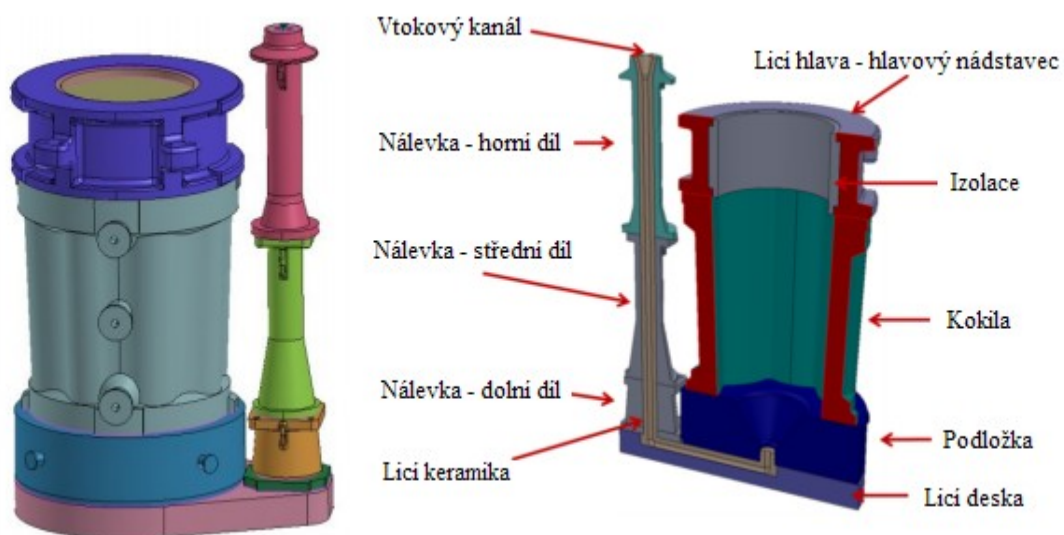


Obr. č. 13 - Schéma provozu plynulého odlévání oceli se zakřiveným krytalizátorem [31]



Obr. č. 14 - Pohled na víceproudé radiální sochorové ZPO 2 [32]

4.4.2. Odlévání do kokil



Obr. č. 12 - Schéma lici sestavy pro odlévání oceli do kokily spodem [29]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5. Konstrukční oceli typu S355J2

Ocel - obecně

Oceli jsou slitiny železa, uhlíku a dalších legujících prvků. Podle rovnovážného diagramu metastabilní soustavy Fe - Fe₃C rozlišujeme oceli podle obsahu uhlíku na podeutektoidní (do 0,765 % C) a nadeutektoidní (0,766 - 2,14 % C). Oceli patří k nejrozšířenějším strojírenským materiálům na celém světě a jsou nedílnou součástí pro dnešní moderní společnost. [34]

Ocel značky S355J2

Tato ocel je charakterizovaná jako nelegovaná jakostní jemnozrná konstrukční ocel, která se používá pro ocelové konstrukce ve všeobecném použití. Dále je vhodná ke svařování všemi používanými způsoby svařování. Označení S355J2 vyplývá z normy ČSN EN 10027-1 (01 3125). [33; 34]

S - označení pro konstrukční oceli

355 - minimální mez kluzu Re v N/mm² pro nejmenší tloušťku výrobku

J2 - nárazová práce neboli vrubová houževnatost odpovídající 27 J při zkušební teplotě -20°C

Nelegovaná jakostní ocel - rozdělení podle ČSN EN 10020 (42 001), bez předepsaných požadavků na stupeň čistoty nekovovými vměstky a mají vyšší požadavky na odolnost proti křehkému lomu, na velikost zrna a tvářitelnost. [34]

Další systém označování této oceli je podle normy ČSN EN 10027-2 (42 0012): **1.0577**. Ocel S355J2 také odpovídá staršímu označení oceli **11 503** podle ČSN 42 0002. [33; 34]

6. Technologický postup výroby oceli S355J2 s porovnáváním chem. analýz

Třinecké železářny a.s. si vzhledem k citlivým údajům nepřejí zveřejňovat tuto kapitulu.

7. Metalografická analýza předlitku

Metalografie:

Nauka, která se zabývá zkoumáním mikrostruktury povrchu vzorku. Povrch musí být naprosto rovný a hladký. V ideálním případě jsou splněny tyto podmínky:

- bez deformace
- bez poškrábání
- bez vydrolení
- bez vnesení cizích elementů
- bez rozmazání
- bez reliéfů nebo zaoblených hran
- bez tepelného ovlivnění

Tento stav se nazývá skutečná struktura.

Metalografický postup:

Postup přípravy vzorku se dělí do tří stupňů

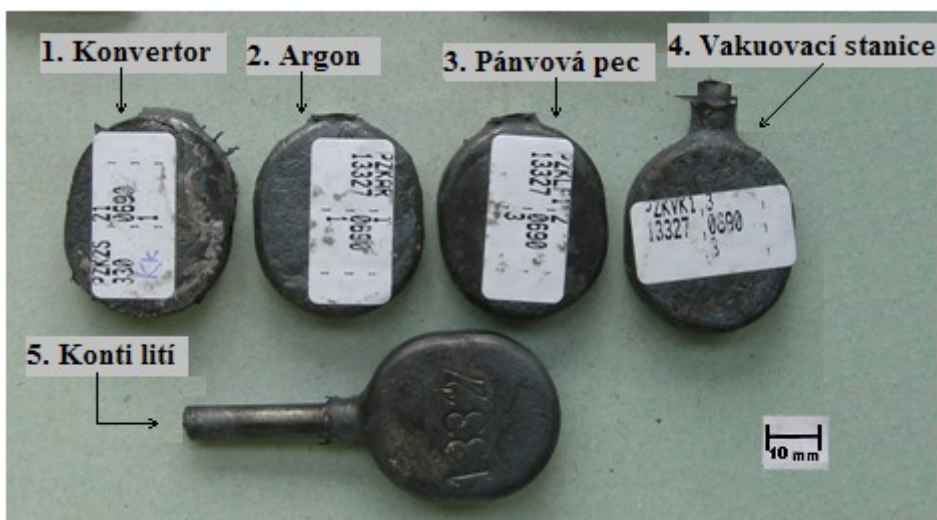
1. dělení
2. zalévání nebo fixace
3. mechanická preparace (broušení, leštění)
4. leptání

Vždy brousíme na jemnějších a jemnějších SiC papírech pod úhlem 90°. Velikost zrna brusiva by měla být asi 3x menší než při předcházejícím broušení. Při leštění používáme jemné sukno a Al₂O₃ - kysličník hlinitý se zrnitostí okolo 1 mikrometrů. Pokud to vlastnosti materiálu vyžadují, používáme ještě diamantové leštění na jemnějších suknech a s diamantovými zrny s velikostí až do 1/4 mikrometru.

Postup přípravy ocelových vzorků z TŽ:

Předmětné vzorky byly fotograficky zadokumentovány, viz obr. č. 15 - 16. U vzorku z vakuovací stanice a kontinuálního odlévání byly na pile v laboratoři odřezány výčnělky. Dále byly elipsovité vzorky o rozměru 3,5 x 4 x 1,5 cm (š x v x h) broušeny na Brusce METASIMEX (inv. č. 14345) v laboratoři na VŠB Ostrava. K broušení byly použity brusné kotoučové papíry Hermes Water proof. Na vzorky 1 - 4 byly postupně použity brusné papíry

se zrnitostí 60 a 120 μm pro přípravu povrchu k chemickým analýzám. Finální vzorek z kontinuálního lití byl postupně broušen na brusných papírech se zrnitostí 60; 120; 320; 400; 600; 800 a 1200 μm . Následně byl zbroušený povrch vzorku vyhlazen na Leštičce s rotujícím leštícím kotoučem za pomoci leštícího média - kysličník hlinitý se zrnitostí 3 μm . Samotné broušení a leštění bylo provedeno ručním přitlakem vzorku na rotující brusný a leštící kotouč. Po leštění vzniknul tzv. zrcadlový povrch, který byl očištěn technickým lihem. Dalším krokem v přípravě vzorku bylo chemické leptání vzorku v roztoku NITAL se 4 % kyselinou dusičnou, za účelem vyvolání jeho mikrostruktury. Takto připravený vzorek v naleptaném stavu byl makroskopicky a mikroskopicky analyzován. K mikroskopii byl použit mikroskop Olympus IX70. Různé velikosti zvětšení mikrostruktury oceli S355J2 jsou znázorněny v níže uvedených obrázcích s popisem.



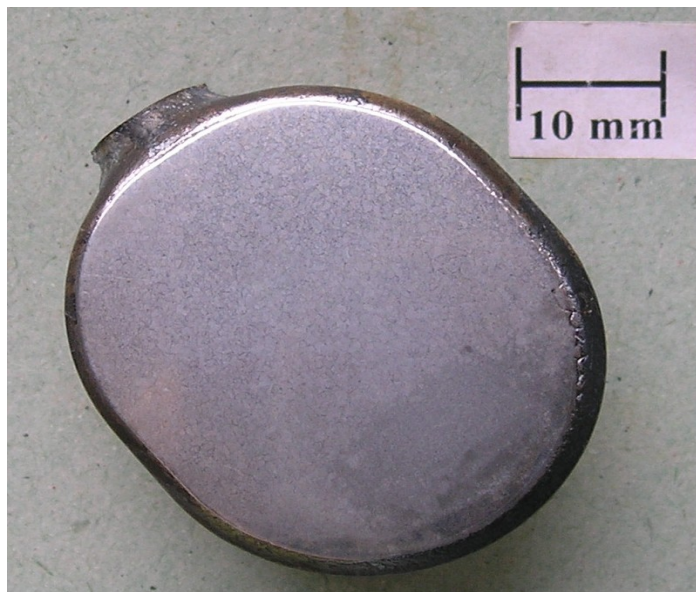
Obr. č. 15 - foto přední strany vzorků z TŽ před úpravou



Obr. č. 16 - foto zadní strany vzorků z TŽ před úpravou

Hodnocení metalografického vzorku z kontinuálního lití

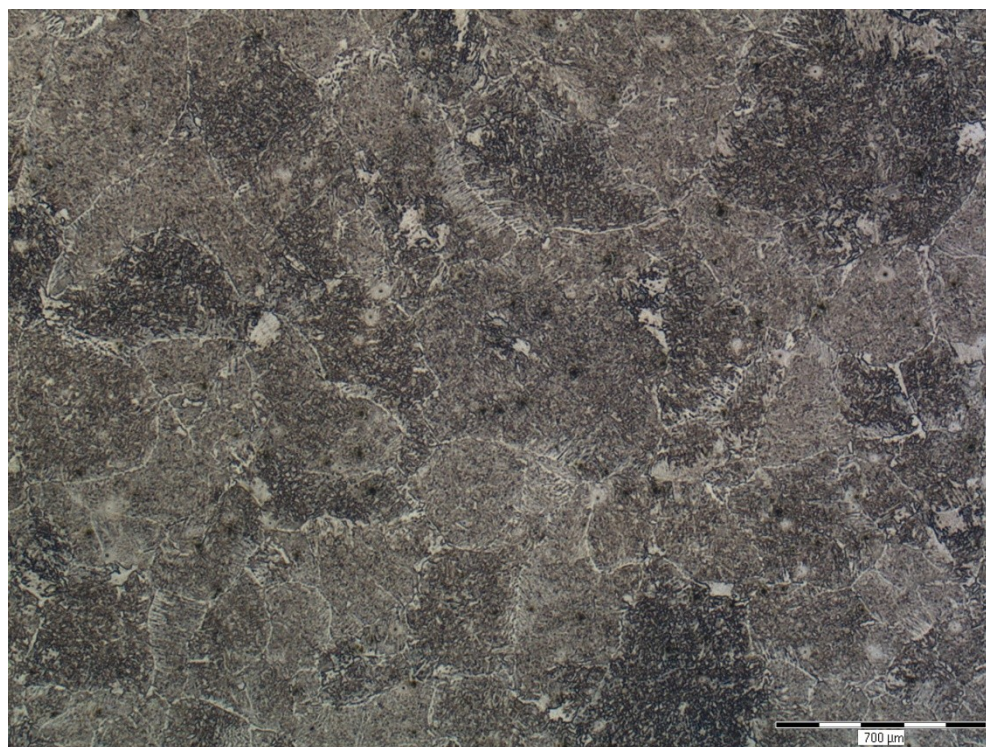
Makrostruktura:



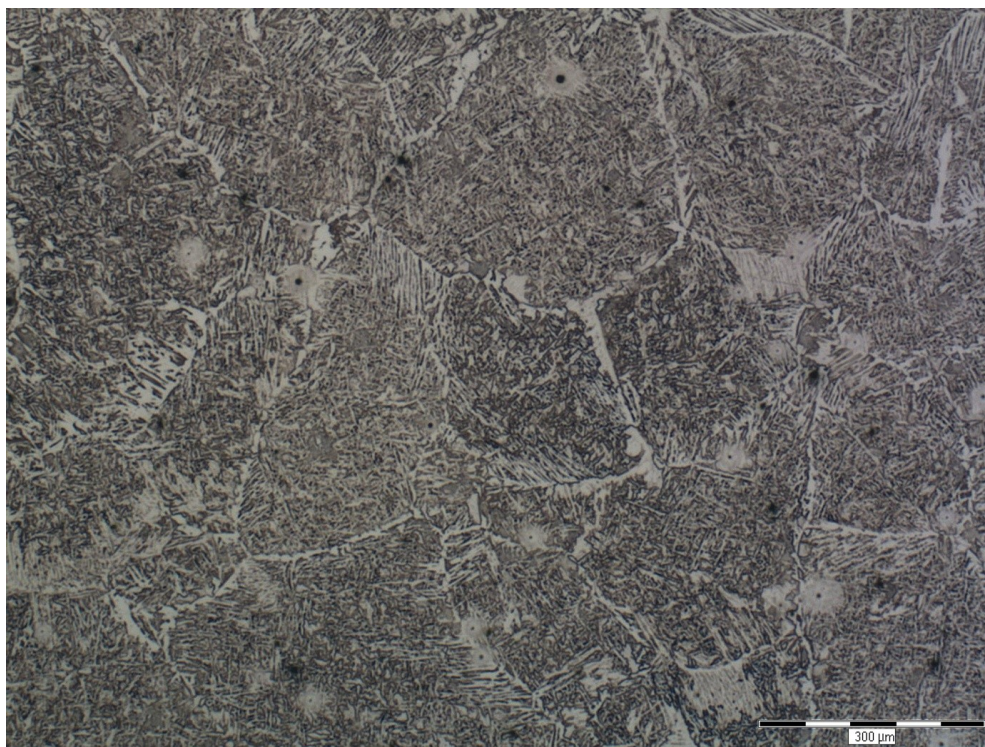
Obr. č. 17 - makrostruktura upraveného vzorku

Z vizuálního pohledu jsou viditelná z 85 % austenitická zrna. Z pohledu obr. č. 17 se v pravé spodní části nachází jemnozrnná struktura oceli S355J2, která připomíná tvar obdélníku o rozměru 1 x 0,6 cm.

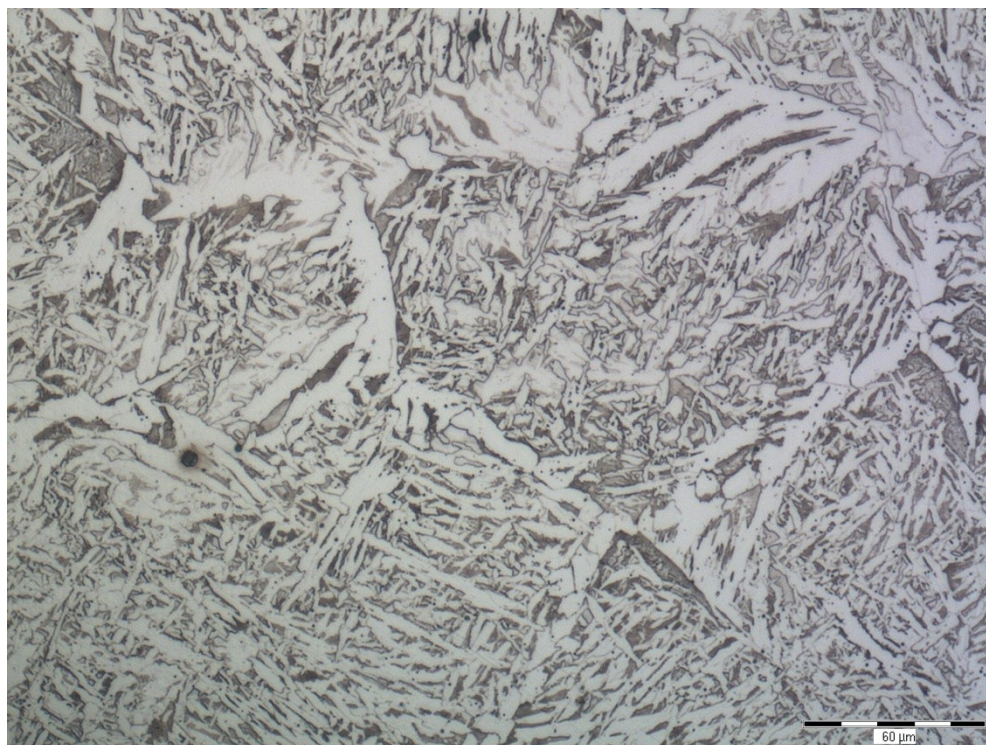
Mikrostruktura:



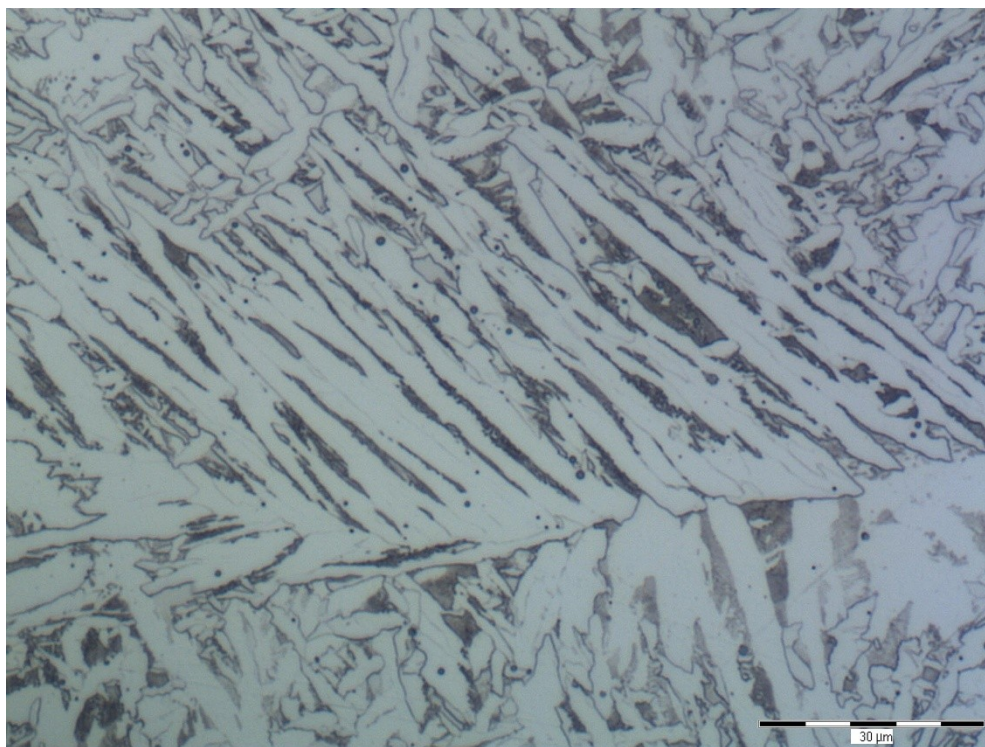
Obr. č. 18.1. - mikrostruktura ze středu vzorku při zvětšení 40x. Na snímku jsou zřetelná feritická síťová kopírující původní austenitická zrna, tmavá matrice je tvořena perlitem.



Obr. č. 18.2. - mikrostruktura ze středu vzorku při zvětšení 100x
*Detail feritického síťovi kopírující původní austenitická zrna.
Matrice je tvořena perlitem.*



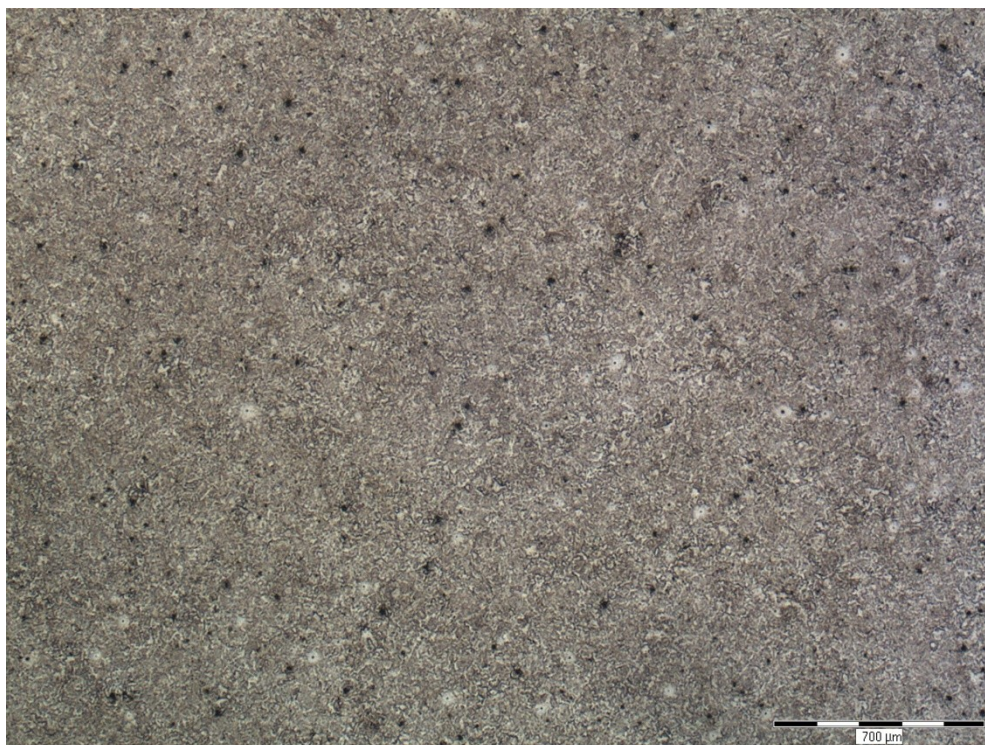
Obr. č. 18.3. - mikrostruktura ze středu vzorku při zvětšení 400x
*Na snímku je zachyceno celé zrno připomínající tvar srdce, kolem něj je acikulární ferit.
V levé dolní části snímku (blíže ke středu) je viditelná vada v oceli - vměstek.*



Obr. č. 18.4. - mikrostruktura ze středu vzorku při zvětšení 1000x

Na snímku je hranice zrna a acikulární ferit.

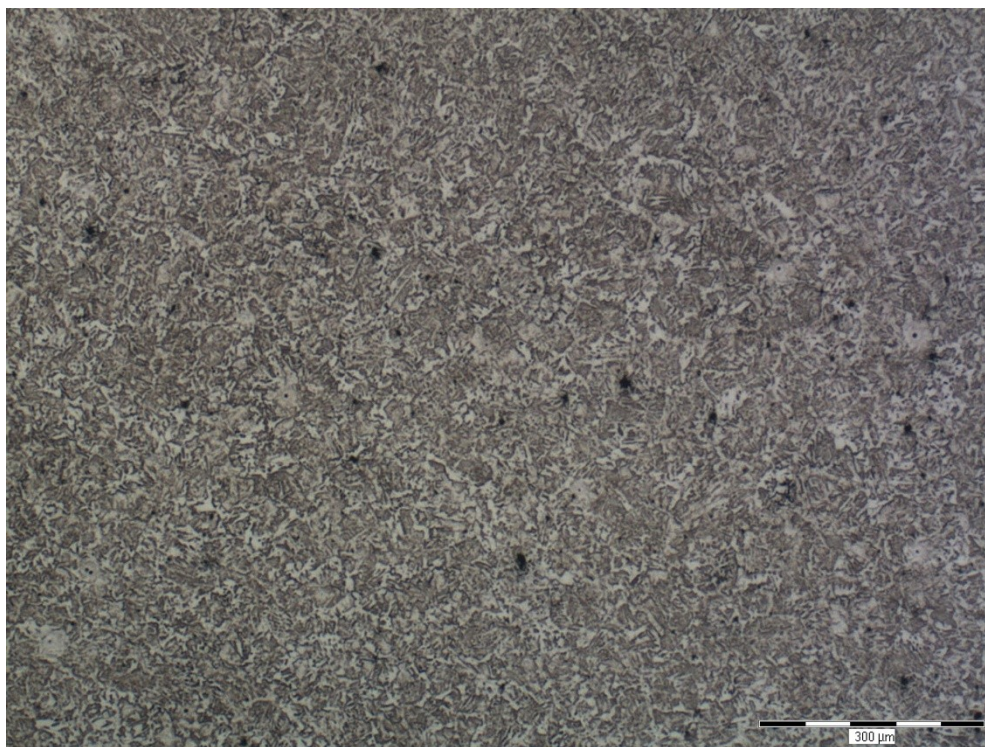
Ferit vzniká na hranicích austenitu ve tvaru sítě a následkem rychlého růstu přetíná celá zrna.



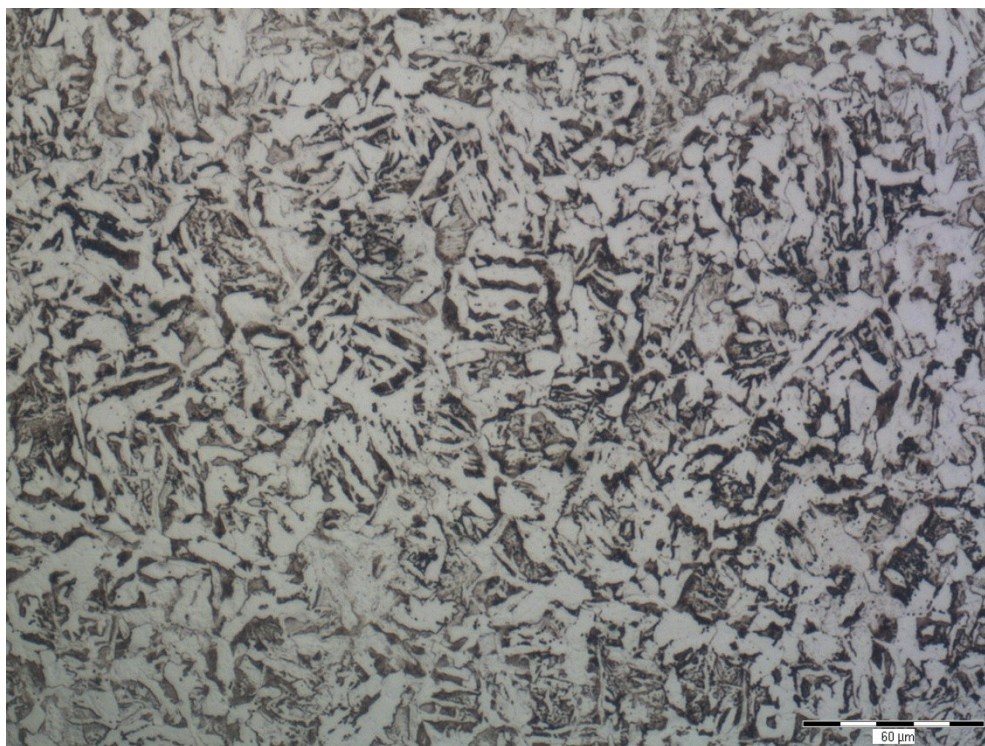
Obr. č. 18.5. - mikrostruktura ze spodní pravé části vzorku při zvětšení 40x

Jemnozrná struktura oceli bez viditelných hranic, protože feritické síťovi je velice jemné.

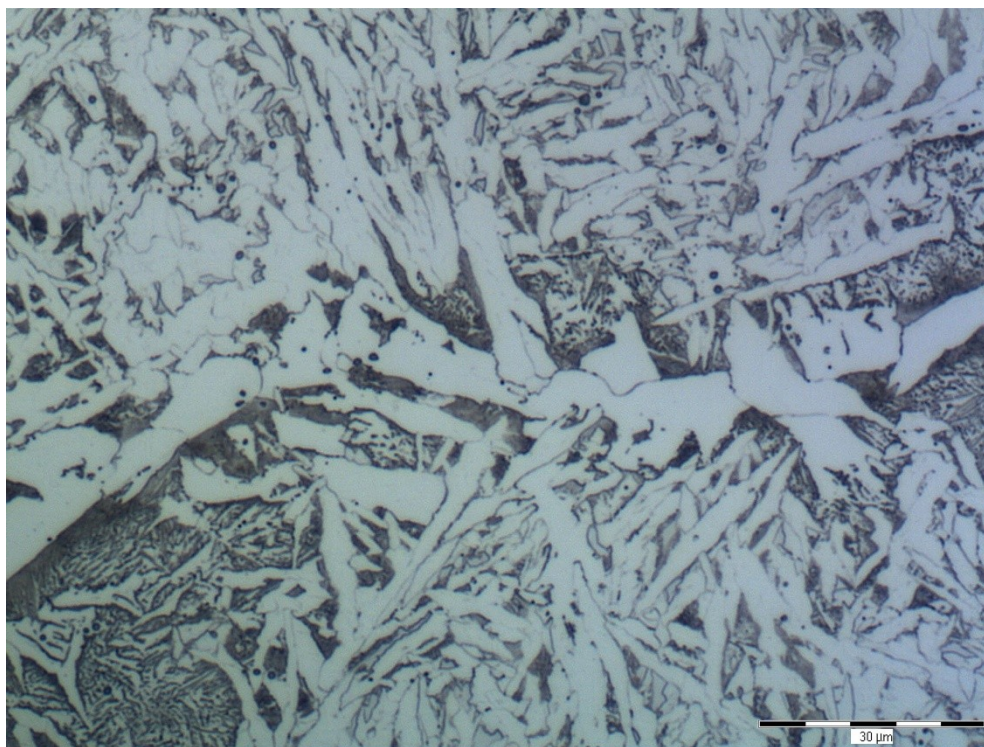
Matrice je tvořena perlitem.



Obr. č. 18.6. - mikrostruktura ze spodní pravé části vzorku při zvětšení 100x
Jemnozrnná oblast s jemným feritickým síťovím. Matrice tvořena perlitem.



Obr. č. 18.7. - mikrostruktura ze spodní pravé části vzorku při zvětšení 400x
Světle šedá jsou zrna feritu a tmavě šedá zrna perlitu.



Obr. č. 18.8. - mikrostruktura ze spodní pravé části vzorku při zvětšení 1000x
Na snímku je vidět hranice acikulárního feritu a perlit.

Acikulární ferit - je typem perlitické struktury, vyznačuje se vysokou pevností a houževnatostí. Je součástí tzv. Widmannstättenovy struktury.

Z jednotlivých obrázků lze vypořadovat feriticko-perlitickou strukturu, kde převládají zrna světlého feritu s nízkým výskytem perlitu mezi těmito zrny. Světle šedá jsou zrna feritu a tmavě šedá zrna perlitu.

Na obrázcích č. 18.5. - 18.8. se nacházejí velmi jemnozrné struktury feritu a perlitu. Tato část je odlišná od ostatních obrázků s č. 18.1. - 18.4. a patrně byla zapříčiněná nerovnoměrným ochlazením při odběru vzorku oceli.

Metalografická analýza pochází z odlitého vzorku v surovém stavu a další úpravou oceli, např. tepelným zpracováním by se mikrostruktura oceli změnila.

Na úplný závěr byl upravený vzorek z kontinuálního lití opětovně přebroušen na brusných papírech se zrnitostí 60 a 120 μm , z důvodu odstranění naleptaného povrchu, jakožto příprava pro následnou chemickou analýzu.

8. Závěr

V teoretické části bakalářské práce byl nastíněn vývoj výroby oceli v různých druzích pecí, a také obecné způsoby odsíření surového železa. Na tuto část navazovala konkrétně řešená problematika bakalářské práce, která zahrnuje výrobu oceli v ocelárně Třineckých železáren. Zde byly podrobněji a teoreticky rozepsány postupy výroby v kyslíkových konvertorech, mimo-pecních zařízeních až po dílčí závěr týkající se odlévání v zařízení pro plynulé odlévání a odlévání do kokil.

Po vysvětlení problematiky výroby oceli v Třineckých železárnách bylo možno přejít na praktickou část bakalářské práce. V první části praktické práce byly porovnávány vlastní chemické analýzy z VŠB s výsledky analýz, které jsou uvedeny v tavebních listech Třineckých železáren, viz příloha 1 - 3. Zkušební vzorky pocházely z kyslíkového konvertoru, homogenizační stanice, pánvové pece, vakuovací stanice a z kontinuálního odlévání. Součástí tavebních listů byly také stanovené předpisy, které určují, v jakém rozmezí se mohou jednotlivé prvky pro danou ocel pohybovat. Po srovnání všech výsledků z Třineckých železáren a VŠB Ostrava bylo zjištěno, že všechny výsledky vyhovují požadovanému předpisu, a od sebe se v některých případech liší v tisícinách nebo setinách procent. Pro ocel S355J2 jsou k porovnání nejvýznamnější tyto prvky: C, Mn, Si, P a S. Ve všech případech porovnávání se tyto prvky od sebe odlišovaly jen nepatrně. Z mého pohledu se nejvíce shodovaly výsledky z kontinuálního odlévání, vakuovací a homogenizační stanice. Naopak nejvíce se odlišovaly výsledky u kyslíkového konvertoru, kde odchylka v obsahu uhlíku byla nejvyšší, a to o 0,02 %. Ve výsledných tabulkách lze vyzorovat, o kolik byl obsah C v surovém železe snížen a následně na jakou hodnotu byl dolegován. Zajímavé jsou také postupné změny v obsahu síry, která byla původně v surovém železe na hodnotě 0,04 %, pak odsířena v pánvi na 0,03 %, poté se zvýšila oxidací v konvertoru na 0,034 %, v argonovací stanici zase klesla na 0,03 %, následně byla síra v pánvové peci a vakuovací stanici dolegována na konečnou hodnotu 0,036 %. V celkovém průběhu výroby se výsledky měření v obsahu síry z TŽ a VŠB liší. K chemickým analýzám bych k závěru dodal, že jakékoliv další analýzy na jiných spektrometrech by vykazovaly opět jiné výsledky, které by se nepatrně odlišovaly od výsledků z VŠB i TŽ. Velmi totiž záleží na kalibraci daného spektrometru a na použitých kalibračních etalonech.

V druhé části praktické bakalářské práce byla provedena metalografická analýza makro a mikrostruktury předlitku. Výsledkem práce jsou snímky oceli S355J2 ve čtyřech různých zvětšeních. Na analyzovaném zkušebním vzorku z kontinuálního odlévání byla pozorována anomálie ve formě malé oblasti s velmi jemnozrnnou strukturou.

Seznam použité literatury:

- [1] Historie Ocelářství. *Hutnictví železa, a.s.* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:<http://www.hz.cz/cz/historie-ocelarstvi>
- [2] KRUMNIKL, F., KUBÍNEK, M., JANKOVSKÝ, J. *Výroba oceli*. 2. vydání. Praha 1: Státní nakladatelství technické literatury, 1964.
- [3] Výroba oceli. *Wikipedia* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:http://cs.wikipedia.org/wiki/Výroba_oceli
- [4] Historie kovu. *GamePark* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:http://www.gamepark.cz/historie_kovu_397796.htm
- [5] Výroba železa a oceli. *Geologie VŠB* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html
- [6] Výroba oceli v kyslíkových konvertorech a odlévání. *Hornictví* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.hornictvi.info/prirucka/zprac/ocel/ocel.htm>
- [7] DIDEROT. *Všeobecná encyklopedie: konvertor 1*. 1. vydání. Praha: Těšínská tiskárna, a.s., Český Těšín, 1999, 424 s. ISBN 80-902555-6-6.
- [8] HLUCHÝ, M. a kol. *Strojírenská technologie: Výroba oceli, odlévání oceli*. Praha 1: Státní nakladatelství technické literatury, 1969.
- [9] PARMA, Václav. *Ocelářství II*. 2. vydání. Vysoká škola báňská Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava kolektiv BSP, 1984.
- [10] Bessemer converter. *Wikimedia* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bessemer_converter.jpg
- [11] História výroby ocele: Thomasov konvertor. *Oceliarstvo* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:<http://oceliarstvo.ic.cz/KK/index.html>
- [12] TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. – Kyslíková konvertorová ocelárna (KKO): Integrované povolení. In: *zák. č. 76/2002 Sb.* Krajský úřad Moravskoslezského kraje, 18. 11. 2005, č.j. 1558/2005/ŽPZ/Had/0014. Dostupné z: <http://iszp.kr-moravskoslezsky.cz/assets/temata/ippc/files/tz---kyslikova-konvertorova-ocelarna.pdf>
- [13] ŽÁDNÝ, Ivo. *Výroba oceli v kyslíkových konvertorech*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966.

- [14] Výroba oceli v konvertorech. *Strojirenství* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:<http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/04/321131-vyroba-oceli-v-konvertorech.html>
- [15] BARTOŠ, Libor. *Strojirenská technologie: Přehled výroby oceli* [online]. Lípová - lázně, 2007 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://oulipova.cz/vyuka/strojari/Strojirenska_technologie_1.pdf
- [16] *Výroba oceli v Tandemových pecích* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: web.vscht.cz/vun/Metalurgie/P8%20Výroba%20oceli.ppt
- [17] *Odsírenie surového železa - oceliarenstvo* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:<http://referaty.aktuality.sk/odsirenie-suroveho-zeleza-oceliarenstvo/referat-1343>
- [18] Historie. *Třinecké železářny, a.s.* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:http://www.trz.cz/web/trzocel.nsf/link/historie_cz
- [19] JURÁSKOVÁ, Petra. Výroba železa a oceli v roce 2012 - technologie, výroba, obnova. *Konstrukce: odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 2013 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:<http://www.konstrukce.cz/clanek/vyroba-zeleza-a-oceli-v-roce-2012-technologie-vyroba-obnova/>
- [20] *Steel Construction: The free encyclopedia for UK steel construction information* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:http://www.steelconstruction.info/File:BOS_process_cropped_2.PNG
- [21] CUPEK, Jiří. *ZTP VO-02: Výroba oceli v kyslíkových konvertorech*. 1. vydání. Třinecké železářny, 2006.
- [22] KOUŘIL, B., MAKARIUS, M. *Výroba oceli*. 2. vydání. Praha 1: Státní nakladatelství technické literatury, 1960.
- [23] *Vliv legovacích prvků na vlastnosti ocelí* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:<http://svanda.webz.cz/vyuka/legury.htm>
- [24] *The Oxygen Steelmaking Process: Part One* [online]. [cit. 2014-04-21]. Dostupné z:<http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=217>
- [25] Metals Industry: Steel. *IPACT Manufacturing Solutions* [online]. [cit. 2014-04-21]. Dostupné z:<http://www.ipact.com/industries/metals-industry/>
- [26] Engineering zařízení oceláren. *VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.* [online]. [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.vitkovicemachinery.com/18/cs/node/429>

- [27] MORÁVKA, Jan, MICHÁLEK, Karel. *Anizochronní model RH procesu* [online]. [cit. 2014-04-21]. Dostupné z:http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB07/prispevky/moravka_michalek/moravka_michalek.pdf
- [28] PARMA, Václav. *Ocelářství III*. Ostrava: Vysoká škola báňská Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava kolektiv BSP, 1985.
- [29] TKADLEČKOVÁ, M., MICHÁLEK, K., GRÝC, K., SOCHA, L. *Základy 3D modelování metalurgických procesů* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2013 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z:http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/zaklady-3d-modelovani-metalurgickych-procesu/Tkadleckova_Michalek_Zaklady-3D-modelovani-metalurgickych-procesu.pdf
- [30] Plynulé odlévání oceli - základní principy. *Vysoké učení technické v Brně: Odbor termomechaniky a techniky prostředí* [online]. [cit. 2014-04-23]. Dostupné z:<http://ottp.fme.vutbr.cz/vyzkum/kontiliti01.php>
- [31] BAŽAN, Jiří. *Lití a krystalizace oceli* [online]. Vysoká škola báňská - fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2008 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/618-Bazan-Liti-a-krystalizace-oceli.pdf>
- [32] *Plynulé odlévání ocelových sochorů* [online]. [cit. 2014-04-26]. Dostupné z:<http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/habilitace/kapitola-1.htm>
- [33] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojírenské tabulky*. 2. doplněné vydání. Úvaly: Albra, 2005, 908 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [34] MOHYLA, Miroslav, MOHYLA, Petr. *Strojírenské materiály II*. 1. vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB - TU Ostrava, 2006, 122 s. ISBN 80-248-1019-0.

Seznam příloh:

Příloha č. 1 - Tavební list KKO z Třineckých železáren.

Příloha č. 2 - Protokol o mimo-pecním zpracování Třineckých železáren.

Příloha č. 3 - Hlášení o tavně na zařízení plynulého odlévání oceli č. 2 z TŽ.

Přílohami jsou tavební listy z Třineckých železáren a.s., které obsahují velmi citlivé údaje, z tohoto důvodu nebudou zveřejněny.