

ČESKOSLOVENSKÁ
SOCIALISTICKÁ
REPUBLIKA
(19)



FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

265234

(11) (B2)

(13)

(51) Int. Cl.⁴

C 21 B 11/00//
C 21 C 5/32

(22) Přihlášeno 05 03 87
(21) PV 1472-87.D
(30) Právo přednosti od 08 03 86 DE
(P 36 07 775.5)

(40) Zveřejněno 16 09 88

(45) Vydáno 15 12 89

(72) Autor vynálezu

TURNER RICHARD EDWIN dr., DAMPIER (AU), BROTZMANN KARL dr. prof.,
FASSBINDER HANS-GEORG dr., SULZBACH-ROSENBERG (DE)

(73) Majitel patentu

KLÖCKNER CRA PATENT GmbH, DUISBURG (DE)

(54) Způsob redukčního tavení železných rud

(57) Způsob redukčního tavení železných rud, při němž se oxid železa redukuje v podstatě v tekutém stavu a energie potřebná k vyrovnání tepelné bilance postupu se vyrábí přidáním paliv obsahujících uhlík do taveniny a dodatečným spalováním vznikajících reakčních plynů, zejména oxidu uhelnatého a vodíku, se vyznačuje tím, že se reakční plyny dvakrát po sobě nebo častěji dodatečně spalují v paprscích plynu obsahujícího kyslík, které šlehají do reakčních prostorů, jež jsou na sobě co do působení nezávislé.

CS 265234 B2

Vynález se týká způsobu redukčního tavení železných rud, při němž se oxid železa redukuje v podstatě v tekutém stavu a energie potřebná k vyrovnání tepelné bilance postupu se vyrábí přidáním paliv obsahujících uhlík do taveniny a dodatečným spalováním vznikajících reakčních plynů, zejména oxidu uhelnatého a vodíku.

Je již známa řada způsobů, při nichž se předběžně zredukovaná ruda taví spolu s uhlím a při tom vznikajícího plynu se využívá pro redukci železné rudy.

Způsob podle německého zveřejňovacího spisu č. 3 133 575 zlepšuje tepelnou nabídku v tavicí nádobě tím, že reakční plyny z taveniny železa jsou v prostoru nad taveninou nasávány kyslíkem dmýchaným na povrch taveniny, strhávány k povrchu taveniny, částečně spalovány a vznikající teplo je předáváno tavenině železa. Při tomto známém způsobu se tekuté železo vyrábí přidáváním rudy do reaktoru s taveninou železa. Současně vznikajícího uhelného plynu je možno využít k předběžné redukci rudy. Ovšem spotřeba paliva je při tomto způsobu poměrně značná.

Stejnou nevýhodu má i způsob podle německého patentu č. 2 843 303. Při tomto způsobu se přivádí kusové uhlí do vířivého lože nacházejícího se na tavenině železa a vznikající plyny slouží k předběžné redukci železné rudy. Aby se vyrobila 1 tuna tekutého železa z rudy, předběžně zredukované v plynné fázi na vysoký metalizační stupeň, je zapotřebí přibližně 900 kg jakostního uhlí. Při tomto způsobu však vzniká značný nadbytek plynu, jehož použitelnost v podstatě určuje hospodárnost tohoto způsobu.

V německém zveřejňovacím spise č. 3 418 085 se popisuje způsob výroby železa z rudy, při němž se ruda v nádobě k redukci rudy redukuje reakčními plyny z tavicí nádoby na metalizační stupeň přibližně 50 %. Při tomto způsobu se reakční plyny vystupující z taveniny železa dodatečně spalují z 30 až 40 % v tavicí nádobě a uvolňující se teplo se přitom z velké části předává tavenině. Reakční plyny se pak cestou z tavicího agregátu do nádoby k redukci rudy redukují a současně ochlazují přidáním redukčních látek, jako například zemního plynu nebo práškového uhlí.

Při jiném známém způsobu se používá předběžně do značné míry zredukované železné rudy o metalizačním stupni 92 až 94 %, která se v tavicí nádobě taví společně s uhlíkatými tuhými zdroji energie a kyslíkem. Vznikající plyn slouží k předběžné redukci rudy a je pro lepší využití veden v okruhu, přičemž se z něho odstraňují podíly oxidu uhličitého.

U obou posledně popsaných způsobů se takto kombinují tři stupně, aby se dosáhlo co možná nejnížší spotřeby paliva, totiž na jedné straně redukční tavení s dodatečným spalováním, redukce horkých plynů odcházejících z tavicí nádoby a předběžná redukce rud v plynné fázi nebo na druhé straně tavení s uhlím a kyslíkem bez dodatečného spalování, využití plynů k předběžné redukci a odstraňování oxidu uhličitého při zpětném vedení plynu. Při těchto způsobech je zapotřebí přibližně 600 kg uhlí k výrobě 1 tuny železa z železné rudy.

Úkolem vynálezu je poskytnout způsob, při němž se vystačí s menším podílem cizí energie, například s menším množstvím uhlíkatých paliv.

Způsob podle vynálezu řeší tento úkol tím, že se reakční plyny nejméně dvakrát po sobě dodatečně spalují v paprscích plynu obsahujících kyslík, které šlehají do reakčních prostorů, jež jsou na sobě co do působení nezávislé.

Reakční plyny se dodatečně spalují alespoň podruhé tím, že se po prvním dodatečném spálení opět nasávají do spalovacího plynu obsahujícího kyslík a podstatný podíl přitom vznikající energie se využívá pro redukční tavení, například k tavení vnesených rozemletých rud, přičemž může docházet též k předběžné redukci železné rudy až na vlástit.

Pojmem "co do působení nezávislý reakční prostor" se zde rozumí prostor, z něhož paprsek

plynu obsahujícího kyslík nasává, nezávisle na druhém nebo dalších paprscích plynu, plyn z okolí k dodatečnému spalování. Obvykle jsou tyto reakční prostory upraveny za sebou ve směru proudění reakčního plynu.

Při výhodném provedení způsobu podle vynálezu panují v místě dopadu paprsku plynu druhého dodatečného spalování méně redukující podmínky, než v místě dopadu paprsku plynu prvního dodatečného spalování. Aby se ve druhém stupni dosáhlo vysoké míry dodatečného spalování, měla by redukční schopnost zde být menší v porovnání s místem dopadu paprsku plynu prvního dodatečného spalování, poněvadž paprsky plynu obecně vykazují vysoký oxidační stupeň a pravděpodobně reagují s tekutou fází v tavicí nádobě.

Podle vynálezu mohou reakční prostory, v nichž působí paprsky plynu, sestávat ze dvou oddělených, avšak bezprostředně na sebe napojených nádob. Například může být první reakční nádobou bubnový konvertor, který je spojen s druhou reakční nádobou, například tavicím cyklonem. Překvapivě se však ukázalo, že lze i v jediné nádobě udržet reakční prostory paprsků plynu dodatečného spalování tak oddělené, že je možné dvojstupňové dodatečné spalování reakčních plynů. Je proto podstatným význakem vynálezu, dodatečně spalovat dvakrát po sobě nebo častěji reakční plyny v paprscích plynu obsahujícího kyslík, které šlehaří do reakčních prostorů, jež jsou co do působení na sobě nezávislé.

Dodržování dále uvedených opatření při provozu tavicího reaktoru má příznivý vliv na provozně spolehlivé ustavení dvojstupňového dodatečného spalování v téže nádobě a na dosažení vysoké míry celkového dodatečného spalování jakož i spolehlivého zpětného přenosu vzniklého tepla na taveninu. Pohyb taveniny v místě dopadu paprsku plynu prvního dodatečného spalování, tedy v oblasti s vysokou redukční schopností, je nutno upravit množstvím a druhem přiváděných reakčních složek nebo proplachovacích plynů zřetelně větší než v místě dopadu paprsku plynu druhého nebo dalších dodatečných spalování. Paprsek plynu prvního dodatečného spalování dopadá na povrch taveniny železa v oblasti, v níž se vyskytují hlavně kovové stříkance. Naproti tomu paprsek plynu druhého dodatečného spalování přichází do styku převážně se struskou na tavenině, která působí sotva ještě redukčně na téměř úplně spálený plyn.

Dále se ukázalo být výhodné udržovat hloubku taveniny v prvním reakčním prostoru, tedy v prostoru s větší redukční schopností, větší než ve druhém reakčním prostoru. Obzvláště výhodné je, když v druhém reakčním prostoru již není přítomna prakticky žádná tavenina železa, nýbrž již jen tekutá struksa.

Rozemletá ruda se podle vynálezu může přidávat částečně nebo zcela ve druhém reakčním prostoru. V kapalně fázi, tj. v tavenině, by mělo mezi oběma reakčními prostory docházet k dostatečné koncentrační a látkové výměně. Zpravidla k tomu postačuje silný pohyb taveniny v prvním reakčním prostoru.

Zdroje energie, zejména uhlíkatá paliva, se do taveniny přivádějí výhodně v oblasti reakčního prostoru prvního dodatečného spalování, v němž pak dochází i k prvnímu dodatečnému spalování reakčních plynů. Naproti tomu se oxidující látky, jako je ruda určená ke zredukování, přidávají výhodně v druhém reakčním prostoru, v němž působí paprsek plynu druhého dodatečného spalování.

Podle vynálezu mohou paprsky plynu dodatečného spalování být ve svých reakčních prostorech odlišně uspořádány. K dosažení optimálního stupně dodatečného spalování mají jednak průměr trysky, jednak dráha, jíž plyn probíhá, rozhodující význam. Například je možno řídit paprsky plynu dodatečného spalování kolmo k tavenině. Aby se však vytvořila delší dráha plynu, je účelné šikmé uspořádání. Primární a sekundární paprsek plynu dodatečného spalování mohou být upraveny rovnoběžně, avšak i opačný sklon, vztaženo na geometrii tavicího reaktoru, může vytvořit lepší podmínky pro dodatečné spalování.

Nízké spotřeby zdrojů energie a tím vysoké hospodárnosti způsobu podle vynálezu lze

dosáhnout mírou dodatečného spalování v rozmezí 30 až 50 % v prvním reakčním prostoru a 60 až 100 % ve druhém stupni dodatečného spalování. Kromě již uvedených opatření se k docílení vysoké míry dodatečného spalování osvědčilo používání přehřátého vzduchu, tj. horkého větru, jakožto plynu obsahujícího kyslík. Překvapivě nezpůsobuje použití horkého větru jakožto zdroje kyslíku při způsobu podle vynálezu nežádoucí přehřívání v plynovém prostoru tavicího reaktoru. Horký vítr může být po určitou dobu a/nebo v určité oblasti nahrazen kyslíkem nebo libovolnými směsmi kyslíku s přehřátým vzduchem.

Dále lze ochladit a současně zredukovat odpadní plyn při jeho výstupu z tavicího reaktoru nebo po něm (proto je též zmíněná kombinovaná reakční nádoba uvažována ze dvou komor) přidáním redukčních látek, například práškového uhlí nebo zemního plynu, a tím značně zvýšit jeho výhřevnost. Tímto způsobem je možno zpracovat i jen dílčí proud odpadního plynu. Při výhodném provedení vynálezu se bere dílčí proud odpadních plynů z prvního prostoru a redukuje se uvedeným způsobem, aby se tímto plynem přehřál provozní vzduch.

Podle vynálezu je výhodná příčná výměna látek v kapalně fázi mezi oběma reakčními prostory, neboť je s tím spojeno například i vyrovnání energie mezi reakčními prostory. Ovšem při provádění způsobu podle vynálezu není tato příčná výměna v kapalně fázi nutně zapotřebí. Způsob je možno provozovat i tak, že se oxid železa roztaví ve druhé připojené reakční nádobě, která je ve své kapalinové oblasti oddělena od prvního systému, přičemž se oxid železa může tepelně rozložit na wüstit, a pak se tato tavenina přivede do reakčního prostoru.

Jestliže se jemně zrnitá ruda vhání společně s paprskem plynu druhého dodatečného spalování, může být účelné pro využití tepla, zavádět rudu do paprsku plynu tak, aby se současně společně zahřála. Aby se toho dosáhlo, osvědčilo se zrnění do 0,3 mm a dobré rovnoměrné rozptýlení rozemleté rudy uvnitř paprsku plynu dodatečného spalování. Lze dosáhnout rovnoměrného rozptýlení jemně mleté rudy tím, že se vhání to nejmenší rychlostí v rozmezí přibližně od 50 do 200 m.s⁻¹, aby se v místě zavádění podporovalo rozvíření v paprsku plynu.

Vynález je blíže objasněn přiloženými schematickými výkresy a neomezuujícími příkladnými údaji.

Obr. 1 a 2 představují bubnový tavicí reaktor s odlišným uspořádáním dmýchacích zařízení v podélném řezu.

Na obr. 3 je znázorněn tavicí reaktor s připojenou druhou reakční nádobou v podélném řezu.

Obr. 4 znázorňuje bubnový tavicí reaktor s připojenou chladicí komorou odpadních plynů a navazujícím cyklonem v podélném řezu.

Bubnový tavicí reaktor 1 je otočný kolem své osy souměrnosti. Horký vítr se přivádí potrubím 2 oběma výfučnám 3 a 4. Paprsky plynu dodatečného spalování jsou nasměrovány shora na povrch taveniny. Pod dmýchacím otvorem výfučny 3 vzniká první reakční prostor a pod dmýchacím otvorem výfučny 4 vzniká druhý reakční prostor. Uhlíkatá paliva, zejména práškové uhlí, se přivádějí do taveniny tryskami 5. Jiné způsoby přidávání uhlí, například foukáním na povrch taveniny, jsou též možné. Rozemletá ruda, přiváděná potrubím 6, se vhání otvorem výfučny 4 společně s paprskem plynu druhého dodatečného spalování. Proudění plynu v tavicím reaktoru 1 je naznačeno šipkami. Jak je patrné z obr. 1, jsou oba reakční prostory co do působení na sobě nezávislé, tj. v plyné fázi v podstatě odděleny, poněvadž dmýchané paprsky vykazují vysokou stabilitu.

Této stability paprsků plynu dodatečného spalování je spolu s okolností, že v hoření oblasti tj. v bezprostřední blízkosti dmýchacího otvoru nedochází ještě k nasávání velkých množství plynu, možno využít k tomu, nechat oba paprsky plynu dodatečného spalování šlehat v hoření oblasti proti sobě, jak to je znázorněno na obr. 2. Ovšem trysky musí být tak nastaveny, aby se paprsky plynu v prostoru nekřížily.

Obměna způsobu podle vynálezu s tavicím reaktorem 10, prvním reakčním prostorem a napojeným druhým reakčním prostorem 11 je znázorněna na obr. 3. V tomto případě se i kapalná fáze nachází ve dvou oddělených reakčních prostorech. Odpadní plyny z prvního reakčního prostoru 10 procházejí otvorem 12 do vodou chlazeného druhého reakčního prostoru 11. V reakčním prostoru 11 se odpadní plyny z tavicího reaktoru 10 spalují oběma paprsky plynu dodatečného spalování, přiváděnými tryskami 13. Současně se ruda, přiváděná do trysek 13 přívodním potrubím 14, taví a tepelně redukuje na oxid železnatý. Roztavený vžstít stéká vodou chlazeným žlábkem 14 do prvního reakčního prostoru tj. do tavicího reaktoru 10. Tekutý vžstít stéká tedy, aniž by přišel do styku s žáruvzdorným materiálem, do taveniny v prvním reakčním prostoru.

Na obr. 4 je znázorněno další provedení vynálezu. Odpadní plyny z tavicího reaktoru 1 proudí otáčivým průchodem 15 a jsou v přímo navazující ochlazovací komoře 16 ochlazovány přídavným výpencem, přiváděným přívodem 17, a jemně rozmělněnou rudou, přiváděnou přívodem 18. Přitom tyto práškové látky současně pohltí kapičky kovu obsažené v odpadních plynech. Při obzvláště výhodném provedení vynálezu se vápenec a ruda k ochlazení plynů přivádějí po sobě. Tím se při vysoké teplotě rychle dosáhne odkyselení vápence a následného zahřátí rudy. Práškové látky se pak po ochlazení oddělí za horka v cyklonu 19, popřípadě je možno směs plynů a tuhých látek předtím ještě více ochladit. K tomu účelu se osvědčilo přidávat před cyklonem 19 recirkulovaný odpadní plyn. Směs přehřáté rudy (o teplotě přibližně 700 °C) s vápnem se pak z cyklonu 19 vede potrubím 20 do paprsku plynu dodatečného spalování ve výfučně 4. Z tavicího reaktoru 1 je možno odvádět dílčí proud odpadních plynů potrubím 21 přímo do kotle na odpadní teplo a využít tento podíl odpadních plynů například pro výrobu horkého větru.

P ř í k l a d 1

Do tavicí nádoby, obdobné nádobě z obr. 4, se k výrobě 1 tuny železa vžene tryskami 5 na spodní straně lázně 550 kg pálavého uhlí s obsahem těkavých podílů přibližně 33 % a o výhřevnosti $H_u = 30 \text{ kJ.kg}^{-1}$. K další podpoře přestupu tepla z paprsku plynu dodatečného spalování v prvním reakčním prostoru může nadto tryskami 5 proudit přibližně 5 % z celkového množství rudy. Výfučnou 3 se přivede 1 800 m³ horkého větru přehřátého na teplotu přibližně 1 200 °C. V prvním reakčním prostoru je pak možno dosáhnout dodatečného spálení ve výši 40 %, což znamená, že odpadní plyn, který opouští reakční prostor 1 ve směru výstupu plynu, má v průběhu oxidační stупně 40 %. Ve druhém reakčním prostoru se výfučnou 4 přivádí ještě jednou 800 Nm³ horkého větru o stejné teplotě, čímž se dosáhne celkového stupně dodatečného spálení ve výši 80 %. Spolu s tímto paprskem dodatečného spalování se do druhého reakčního prostoru vhání ruda a vápno, obojí přehřáté na teplotu přibližně 700 °C, na povrch taveniny. Vzniknou odpadní plyny v objemovém množství 2 100 m³ s volným tepelným obsahem 5,44 GJ a chemickým, tj. vázaným tepelným obsahem 1,67 GJ. Tyto odpadní plyny se bezprostředně poté, co projdou otáčivým průchodem 15, ochladí přidáním rudy a celkového množství vápence přibližně 300 kg.t⁻¹ železa. Přitom se ustaví průměrná teplota přibližně 1 200 °C. Pro další ochlazení na teplotu přibližně 800 °C se přímo před cyklonem přivede přibližně 500 Nm³ recirkulovaného odpadního plynu.

P ř í k l a d 2

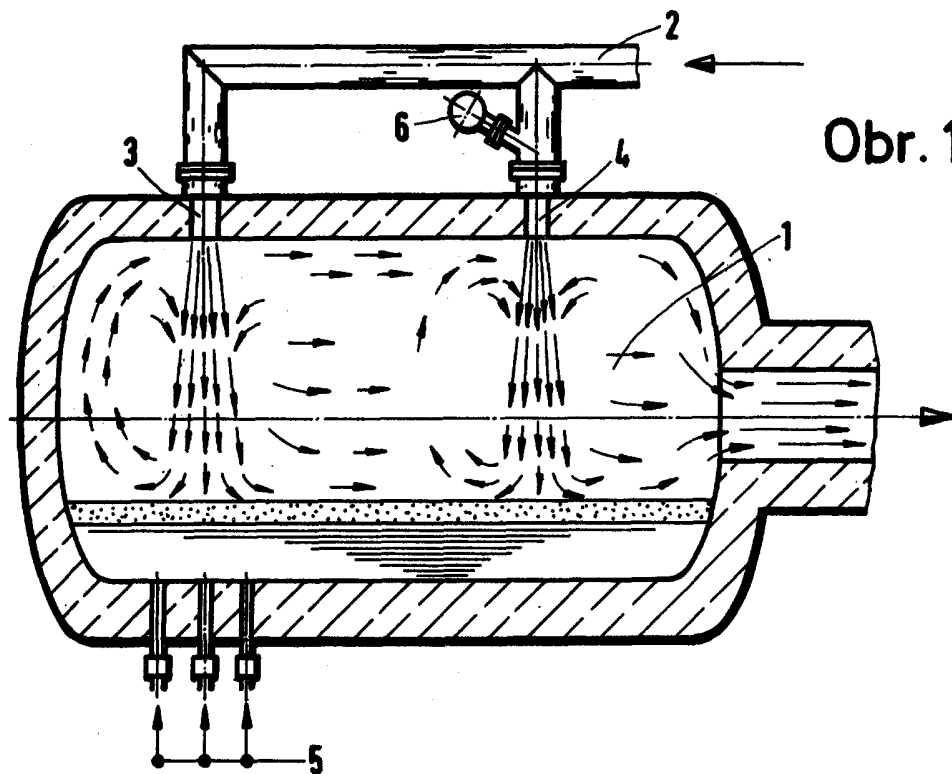
Tento příklad k bližšímu objasnění vynálezu popisuje obzvláště jednoduchou obměnu způsobu podle vynálezu.

V protáhlém bubnovitém tavicím reaktoru, majícím vnější délku přibližně 10 m a vnější průměr 6 m a tloušťku žáruvzdorné vyzdívky 60 cm, se každou hodinu vyrobí přibližně 50 t tekutého železa. V první reakční zóně se do taveniny železa přivádí výhodně tryskami, upravenými na spodní straně lázně, přibližně 600 kg pálavého uhlí na 1 t železa. Celkové množství kyslíku, potřebné pro spálení uhlíku, se vhání šesti tryskami v podobě volného paprsku o délce dráhy přibližně 5 m, přibližně rovnoměrně rozdělené na povrch taveniny v reakčním prostoru 1. Přitom se pro zlepšení stupně dodatečného spalování osvědčilo, přivádět přibližně 5 % z celkového množství rudy pod hladinou taveniny v oblasti prvního reakčního prostoru.

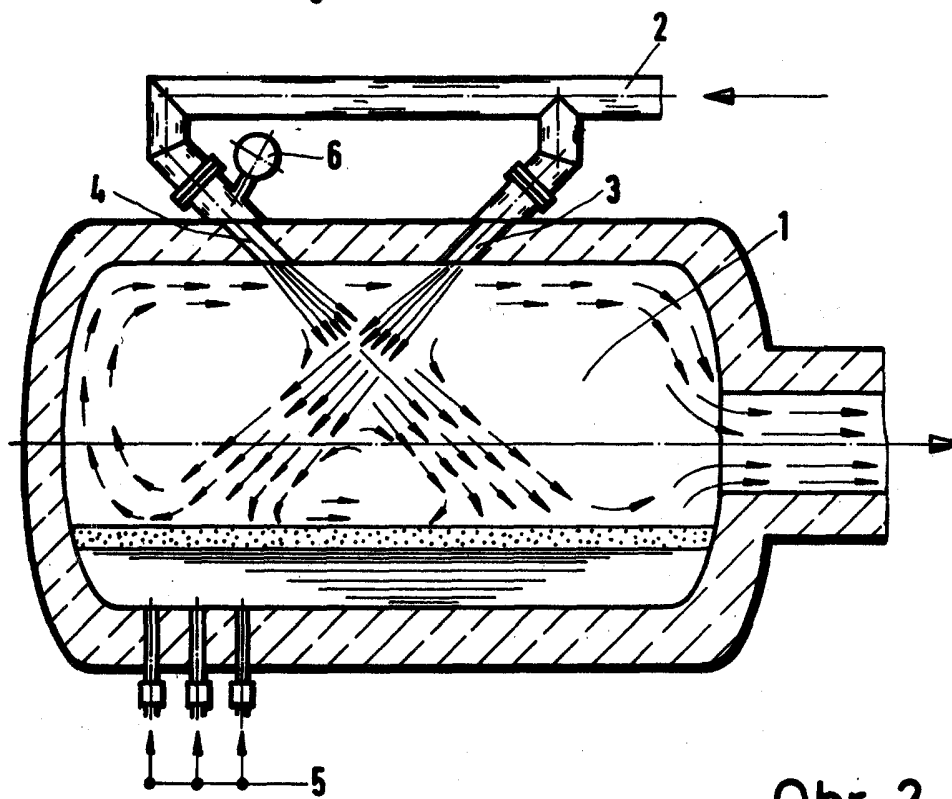
Odpadní plyn prochází na své cestě k výpusti plynů z tavicího reaktoru druhým reakčním prostorem. V tomto reakčním prostoru 2 se podobnou dmýchací technikou jako v reakčním prostoru 1 vhání na taveninu horký vítr. Do horkého větru se přidá jemně zrnitá ruda, která se stykem s horkým větrem ohřeje. Přidáním rudy a působením dmýchaného, přehřátého vzduchu se v oblasti povrchu taveniny v tomto druhém reakčním prostoru ustaví zřetelně vyšší obsah oxidu železa ve strusce oproti reakčnímu prostoru 1. Docílený stupeň dodatečného spalování v reakčním prostoru 2 činí přibližně 80 %, a z tohoto množství tepla se, podobně jako v reakčním prostoru 1, předá lázni přibližně 90 %. Pro zlepšení pohybu taveniny a s tím souvisejícího příznivého ovlivnění přenosu tepla z paprsku plynu dodatečného spalování se ukázalo účelným, přivádět pod hladinou taveniny v oblasti reakčního prostoru 2 inertní plyn s příměsí práškové-
ho uhlí nebo bez ní.

P R Ě D M Ě T V Y N Á L E Z U

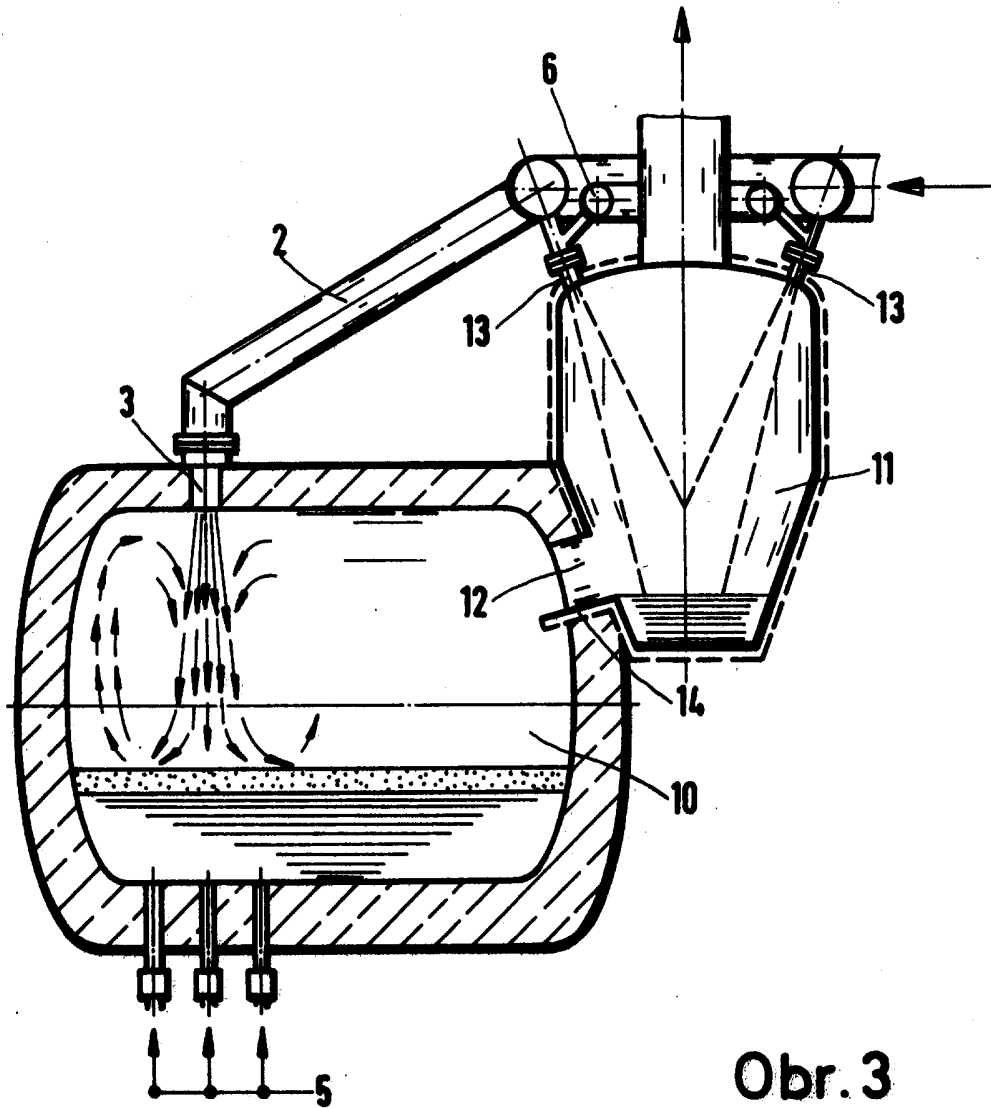
1. Způsob redukčního tavení železných rud, při němž se oxid železa redukuje v podstatě v tekutém stavu a energie potřebná k vyrovnání tepelné bilance postupu se vyrábí přidáváním paliv obsahujících uhlík do taveniny a dodatečným spalováním vznikajících reakčních plynů, zejména oxidu uhelnatého a vodíku, vyznačující se tím, že se reakční plyny nejméně dvakrát po sobě dodatečně spalují v paprscích plynu obsahujícího kyslík, které šlehají do reakčních prostorů, jež jsou na sobě co do působení nezávislé.
2. Způsob podle bodu 1, vyznačující se tím, že reakční prostory paprsků plynu leží za sebou ve směru proudění reakčních plynů a redukční schopnost na místě dopadu druhého nebo dalších paprsků dodatečného spalování je menší.
3. Způsob podle bodu 1 nebo 2, vyznačující se tím, že v oblasti s vysokou redukční schopností taveniny v tavicím reaktoru se udržuje silný pohyb lázně.
4. Způsob podle bodů 1 až 3, vyznačující se tím, že se nejméně dvoustupňové dodatečné spalování provádí v jedné nebo ve dvou k sobě připojených nádobách.
5. Způsob podle bodů 1 až 4, vyznačující se tím, že se ve druhém nebo dalším reakčním prostoru pro dodatečné spalování přivádí mletá ruda.
6. Způsob podle bodů 1 až 5, vyznačující se tím, že mezi oběma prvními reakčními prostory k dodatečnému spalování dochází k látkové výměně v tekuté fázi.
7. Způsob podle bodů 1 až 6, vyznačující se tím, že se paliva obsahující uhlík přivádějí do taveniny v prvním reakčním prostoru k dodatečnému spalování a tím v oblasti největší redukční schopnosti.
8. Způsob podle bodů 1 až 7, vyznačující se tím, že se paprsky plynu obsahujícího kyslík dmýchají ve svých reakčních prostorech šikmo vůči hladině taveniny.
9. Způsob podle bodů 1 až 8, vyznačující se tím, že ve stupni prvního dodatečného spalování v reakčním prostoru s vysokou redukční schopností se nastaví míra dodatečného spalování v rozmezí 30 až 50 % a ve stupni druhého dodatečného spalování míra dodatečného spalování v rozmezí 60 až 100 %.
10. Způsob podle bodů 1 až 9, vyznačující se tím, že jako plyn obsahujícího kyslík k dodatečnému spalování se použije přehřátého vzduchu.



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 4

