

ČESKOSLOVENSKÁ
SOCIALISTICKÁ
REPUBLIKA
(19)



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

212734
(11) (B2)

{51} Int. Cl.⁵
C 21 B 13/00

(22) Přihlášeno 01 11 72
(21) {PV 7378-72}

(32) {31} {33} Právo přednosti od 01 11 71
{13891/71}, od 05 04 72 {4352/72} a
od 21 04 72 {5211/72} Švédsko

(40) Zveřejněno 31 08 81

(45) Vydáno 15 07 84

{72} {73}
Autor vynálezu
a současně
majitel patentu

COLLIN PER HARALD, FALUN, JOHANSSON FOLKE KARL EVALD ing.,
BORLÄNGE (Švédsko)

{54} Způsob současné kombinované výroby elektrické energie a surového železa

1

Vynález se týká současné kombinované výroby elektrické energie a surového železa z uhlíkatého materiálu a ze zrnitého materiálu obsahujícího kysličníky železa.

Vynález řeší problém snížení výrobních nákladů na výrobu surového železa a problém hospodárného využití energie.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že uhlíkatý materiál spolu se zrnitým materiálem obsahujícím kysličníky železa se zavádějí do fluidního lože, obsahující pevný uhlíkatý materiál, přičemž redukčními plyny, vznikajícími v přebytečném množství pro potřebu předredukce ve fluidním loži, částečným spalováním uhlíkatého materiálu se vzduchem a/nebo plynným kyslíkem, se předredukovávají kysličníky železa až do 30 až 80% přeměny na kov, načež se horký předredukovaný produkt bez ochlazení taví elektrickým ohřevem a redukuje na surové železo při styku s uhlíkatým materiálem, načež se odpadní plyny z obou redukčních pochodů zavádějí přímo do tepelné elektrárny k výrobě elektrické energie, pro elektrický ohřev při konečné redukcí.

2

Vynález se týká způsobu současné kombinované výroby elektrické energie a surového železa z uhlíkatého materiálu a ze zrnitého materiálu obsahujícího kysličníky železa. Pod surovým železem se v této souvislosti rozumí uhlíkaté taveniny železa obsahující 2. až 6 procent uhlíku, jakož i obvyklé nečistoty a legovací látky z použitých surovin. Pod uhlíkatým materiálem se rozumí paliva a redukční činidla obsahující uhlík a uhlovodíky, například uhlí, koks, olej nebo přírodní plyn, nebo směs dvou nebo několika těchto látek. Pod zrnitými materiály obsahujícími kysličníky železa se rozumí koncentrát železné rudy, kalcinované železné kyzy nebo jiné kysličníky železa, které mají rozměr částic do 10 mm.

Známy způsob výroby železa nebo oceli z práškové nebo jemně zrnité železné rudy nebo z podobných materiálů je popsán v čl. patentovém spisu č. 124 452. Uvedený způsob spočívá v tom, že do lázně roztaveného železa se zavádí zahřátý jemnozrnný materiál na bázi kysličníků železa, například železná ruda a uhlíkaté redukční činidlo a případně i struskotvorné materiály. Materiál obsahující kysličníky železa se přitom do lázně zavádí v místě přívodu zpracovávajícího plynu a to pod povrchem lázně. V uvedeném patentovém spisu je dále popsána varianta způsobu, podle které se materiál obsahující železo a kyslík a případně i uhlíkaté činidlo zavádí pomocí nosného plynu.

Nedostatek známého způsobu spočívá v tom, že tento způsob neřeší výrobu redukčního plynu, ani využití přebytečného redukčního plynu pro výrobu elektrické energie, potřebné pro konečnou redukci.

Uvedené nedostatky odstraňuje způsob současné kombinované výroby elektrické energie a surového železa z uhlíkatého materiálu a ze zrnitého materiálu obsahujícího kysličníky železa, jehož podstata spočívá podle vynálezu v tom, že uhlíkatý materiál spolu se zrnitým materiálem obsahujícím kysličníky železa se zavádějí do fluidního lože, obsahujícího pevný uhlíkatý materiál, přičemž redukčními plyny, vznikajícími v přebytečném množství pro potřebu předredukce ve fluidním loži, částečným spalováním uhlíkatého materiálu se vzduchem a/nebo plyným kyslíkem, se předredukovávají kysličníky železa do 30 až 80% přeměny na kov, načež se horký předredukováný produkt bez ochlazení taví elektrickým ohřevem a redukuje na surové železo při styku s uhlíkatým materiálem, načež se odpadní plyny z obou redukčních pochodů zavádějí přímo do tepelné elektrárny k výrobě elektrické energie, pro elektrický ohřev při konečné redukci.

Nový a vyšší účinek vynálezu spočívá v tom, že podstatná část odpadních plynů z redukčních pochodů se vede přímo do tepelné elektrárny, kde se zbylá tepelná a chemická energie odpadních plynů využije pro výrobu elektrické energie, která v podsta-

tě kryje potřebu tepla pro konečnou redukci.

Další důležitá výhoda způsobu podle vynálezu spočívá v tom, že způsob umožňuje přímé použití levných uhlíkatých materiálů, například ropy a uhlí s vysokým obsahem těkavých látek, pro výrobu surového železa. Obvyklá výroba surového železa ve vysokých pecích vyžaduje metalurgický koks, který je na jednotku redukční kapacity zhruba dvakrát tak drahý než uvedená levná paliva, která se mohou použít podle vynálezu.

Jinou výhodou vynálezu je nízká spotřeba energie na tunu vyrobeného surového železa. Ztrácí se pouze teplo vyzařováním, protože zásluhou kombinace výroby železa s výrobou elektrické energie se plně využijí všechny odpadní plyny.

Další výhoda vynálezu spočívá v tom, že umožňuje použití zrnitých materiálů obsahujících kysličníky železa. To znamená značnou úsporu nákladů v porovnání se způsobem, které vyžadují aglomerované koncentráty.

Jak bude zřejmé z dalšího popisu, kombinace výše uvedených výhod umožňuje, aby se surové železo vyrábělo podle vynálezu s náklady asi o 30% menšími, než jsou náklady na výrobu surového železa ve vysokých pecích. K tomu přistupuje ještě to, že náklady na elektrickou energii získávanou současně se surovým železem způsobem podle vynálezu mohou velmi dobře soutěžit s cenou obvyklým způsobem vyrobené elektrické energie.

Podle způsobu podle vynálezu se výroba elektrické energie v tepelné elektrárně kombinuje s výrobou surového železa takovým způsobem, že celé zplyňování uhlíkatého materiálu, které by u tepelné elektrárny proběhlo v její spalovací komoře, se provádí v sekci pro výrobu železa.

Tím se mohou, bez újmy hospodárnosti, použít při výrobě značná množství redukčního činidla. To znamená, že redukce se může provádět v technicky jednoduchém zařízení a že odpadní plyny z redukce se mohou plně využít pro výrobu energie.

Vynález bude v dalším blíže vysvětlen na podkladě přiložených výkresů, které znázorňují: obr. 1 blokové schéma výroby, obr. 2 energetickou bilanci způsobu podle vynálezu, obr. 3 závislost výrobní ceny surového železa a elektrické energie na obsahu železa v rudě, obr. 4 až 6 příklady různých zařízení pro provádění způsobu podle vynálezu.

Podle obr. 1 se materiál 101, obsahující kysličníky železa, uhlíkatý materiál 102 a vzduch 103 přivádějí do předběžné redukce 104, kde se uhlíkatý materiál 102 přemění částečným spalováním na redukční plyn. Tento redukční plyn předredukuje materiál 101 obsahující kysličníky železa. Předredukováný materiál 105 se přivádí ke konečné redukci 106, kde se po přidání dalšího uhlíkatého materiálu 107 a po přívodu elektric-

ké energie **108** získá roztavené surové železo **109**. Odpadní plyny **110**, **111** z předběžné redukce **104** a z konečné redukce **106** se dopravují do parního generátoru **114** v tepelné elektrárně **112**, kde se jejich energie přemění na elektrickou energii, která se celá nebo zčásti jako elektrická energie **108** vrací do konečné redukce **106**. Z obr. 1 je zřejmé, že všechny uhlíkatý materiál **102** se zavádí do výroby surového železa, přičemž pouze část jeho obsahu energie, to jest spalné teplo, se použije pro výrobu surového železa a zbytek se ve formě odpadních plynů **110**, **111** spaluje vzduchem **113** v parním generátoru **114** a přemění se pomocí turbogenerátoru **115** na elektrickou energii. Tepelný obsah kouřových plynů **116** z parního generátoru **114** se může použít pro předehřívání vzduchu **103** pro předběžnou redukci **104**. Část energie se odvádí chladicí vodou **117** turbíny. Tuto energii je možno použít pro vytápění domů. Vyrobená elektrická energie **118** se přenáší přes rozvodnu **119** do konečné redukce **106**. Rozvodna **119** je připojena k rozvodné síti **120**, takže přebytek nebo nedostatek elektrické energie se může kompenzovat dodáním energie do rozvodné sítě **120**, nebo jejím odběrem z této rozvodné sítě **120**.

Obr. 2 znázorňuje energetickou bilanci způsobu podle vynálezu. Magnetitové koncentráty, obsahující 67,7 % Fe, se redukuje olejem **201** v předběžné redukci **202**. Olej **201** se přivádí v množství 530 kg, odpovídajícím 6010 kWh na 100 kg surového železa. Předběžná redukce pokračuje do 70%ní přeměny na kov, což znamená, že 70 % obsahu železa v produktu je kovové železo. V průběhu předběžné redukce dochází k tepelné ztrátě **203** ve výši 210 kWh. Absorbovaná energie při předběžné redukci činí 1520 kWh. Výfukové plyny **205** z předběžné redukce obsahují teplo v množství 4464 kWh. Předredukovaný produkt, který má enthalpii **207** ve výši 194 kWh, se pak podrobí konečné redukci antracitem v konečné redukci **213**.

Antracit **214** se přidává v množství 126 kg na tunu Fe v roztaveném surovém železe, odpovídajícím množství tepla 923 kWh. Konečnou redukci **213** opouští ve formě výfukových plynů **212** v množství 579 kWh, další teplo **215** v množství 602 kWh ve formě absorpce energie při redukci, další teplo **216** 464 kWh ve formě enthalpie surového železa a strusky a ztrátové teplo **217** ve výši 116 kWh. Do konečné redukce **213** se dodává část **211** elektrické energie odpovídající 644 kWh.

Výfukové plyny **205** a jejich teplo z předredukce se využívají v tepelné elektrárně **208**, která dostává i teplo **212** z konečné redukce. Část **211** elektrické energie se použije pro konečnou redukci **213**, přičemž zbytek **210** tvoří přebytek energie, který se může prodat. Část **209** tepla se ztratí kouřovými plyny a chladicí vodou a další část **206** se použije pro předehřívání vzduchu pro předběžnou redukci **202**.

Z bilance je zřejmé, že 3019 kWh spalovacího tepla (923+6010 kWh/t Fe) uhlíkatého materiálu se použilo pro výrobu přebytečné elektrické energie a zbývajících 3915 kWh se použilo pro výrobu surového železa. Redukční pochod potřebuje 1520+602 kWh a enthalpie železa a strusky je 464 kWh, celkem 2586 kWh. To značí 66%-ní tepelnou účinnost při výrobě surového železa.

Při použití stejných surovin jako v obr. 2, to jest uhlí a oleje, a při získání těchto produktů, to jest surového železa a elektrické energie, je u moderní vysoké pece s koksovací baterií a s elektrárnou na plyn tepelná činnost přibližně 50 až 55%, to jest nižší než u způsobu podle vynálezu. Mezi oběma způsoby je i ten rozdíl, že způsob podle vynálezu se může provádět s použitím levných uhlíkatých materiálů. Jestliže se koks může nahradit, kalorie za kalorii, ve vysoké peci olejem, náklady na palivo by klesly asi o 70 procent. Značná část těchto úspor nákladů se může realizovat použitím způsobu podle vynálezu, ale jistá část se ztratí v důsledku konverze na elektrickou energii, potřebnou pro elektrický ohřev při konečné redukci. Z hlediska nákladů je ve srovnání s vysokou pecí výhodné, že se může používat neaglomerovaná Fe surovina. Výsledné náklady na surové železo vyrobené způsobem podle vynálezu jsou proto o 30 % nižší než na výrobu surového železa ve vysoké peci.

Způsobem podle vynálezu se redukce materiálu obsahujícího kyslíčnický železa provádí ve dvou oddělených etapách: v předredukci a v konečné redukci, přičemž při předredukci je teplota nižší, než bod tavení kovu a při konečné redukci je teplota vyšší než je bod tavení kovu. Čím dále se předredukce dovede, to jest čím vyšší je stupeň redukce předredukovaného produktu, tím nižší bude množství energie potřebné ve formě elektrického ohřevu pro konečnou redukci a tím bude vyšší množství a energetický obsah výfukových plynů, odváděných do tepelné elektrárny. Podle provedení znázorněného v obr. 2, výfukové plyny dávají 1824 kWh na tunu surového železa při spotřebě energie 9,2 J/kWh v tepelné elektrárně a při 70%ní přeměně v kov v produktu předredukce. Pro konečnou redukci se spotřebuje 644 kWh, se zřetelem k čemuž se může 1180 kWh na tunu surového železa použít na prodej nebo jinak použít v ocelárně.

Poměr mezi primárními náklady na roztavení surového železa a mezi stupněm přeměny na kov při 0 až 85%ní v předredukci je zřejmý z grafu v obr. 3, který se vztahuje k bilanci podle obr. 2. Graf na obr. 3 znázorňuje stav, kdy se vyrábí 500 000 t surového železa. Souřadnicová osa A udává náklady v peněžních jednotkách na tunu surového železa. Na třetí souřadnicové ose C jsou vyneseny kWh přebytečné elektrické energie vyrobené na tunu surového železa. Vodorovná souřadnicová osa udává stupeň přeměny na kov. Vedle výrobní ceny F su-

rového železa znázorňuje graf také přebytečnou elektrickou energii G a její cenu E za jednotku. Pro porovnání je také znázorněna vlastní cena D surového železa z vysoké pece. Jak je zřejmé, vlastní náklady surového železa a elektrické energie klesají se zvyšováním stupně přeměny na kov předredukovaného produktu. Je také zřejmé, že potřeba energie pro konečnou redukci a pro výrobu elektrické energie pomocí výfukových plynů se vyrovnává asi při 25%ní přeměně na kov. Při vyšších stupních přeměny na kov se získává rychle stoupající přebytek elektrické energie. Graf v obr. 3 jasně ukazuje důležitost, aby z ekonomického hlediska byl stupeň přeměny na kov u předredukovaného produktu co možná nejvyšší.

Technicky se předredukce může provádět několika různými cestami při využití vynálezu, který umožňuje použít zrnité materiály obsahující kysličníky železa. Nejmenější částice materiálu obsahujícího kysličníky železa mohou být aglomerovány na větší zrna, v každém případě menší než 10 mm. Bylo zjištěno, že technika fluidního lože je zvláště výhodná, avšak mohou se používat také rotační pece.

Jemně zrnitý materiál obsahující kysličníky železa se podle možnosti předehřívá ve zvláštní operaci, působící na stejném principu, jako předredukce, avšak předehřívání dovoluje úplné spalování dodávaného paliva.

Když se má podle vynálezu vyrábět surové železo, může se předredukce provádět zaváděním (předehřátého) těžkého oleje do vrstvy zrn koncentráту, fluidizovaného pomocí vhodného množství předehřátého vzduchu, přičemž množství oleje je takové, že se udržuje teplota vrstvy 850 °C při objemovém poměru $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} / \text{CO} + \text{H}_2$ ve výfukových plynech kolem 1:1. Koncentrát, který se dodává do vrstvy a plyne se odvádí, se redukuje tak, že obsah kysličníků železa v získaném produktu pozůstává v podstatě z wüstitu. Produkt se v ohřátém stavu přepravil do druhého lože fluidizovaného vhodným množstvím předehřátého vzduchu, do kterého se zavádí (předehřátý) těžký olej v takovém množství, že teplota lože se udržuje na 850 °C a výfukový plyn obsahuje $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} / \text{CO} + \text{H}_2$ v objemovém poměru 0,5 až 0,3. Produkt z prvního lože se tak redukuje na produkt, ve kterém 70% obsahu železa je ve formě kovového železa. Výfukové plyny z obou loží, podle možnosti po oddělení prachu například v cyklonech, se odděleně nebo smíšeně odvádějí přímo do tepelné elektrárny, kde se jejich tepelná a chemická energie využije pro výrobu elektrické energie. Podle tohoto provedení materiál obsahující kysličníky železa projde dvěma předredukčními loži, do kterých se přivádí olej a vzduch odděleně a kontrolovaně, přičemž výfukové plyny z každé etapy jdou přímo do tepelné elektrárny.

Podle vynálezu není pro předredukci nut-

né zpětné získání tepla nebo redukčního plynu. Na druhé straně může být výhodné předehřívat suroviny přídavným palivem, například olejem a využít obsah fyzikálního tepla výfukových plynů v parním generátoru. V rámci vynálezu se vzduch pro zplyňování redukčních činidel pro výrobu tepla může předehřívát také odpadovým teplem z parního generátoru. Vzduch může být zcela nebo částečně nahrazen kyslíkem, aby se průtok plynu upravil, zejména při fluidisování jemně zrnitého materiálu.

Při výrobě surového železa podle příkladu v obr. 2, bylo zjištěno, že je vhodné předredukci dovést do více než 50%ní přeměny na kov, výhodně do 60 až 80 %. Důvodem pro tento stupeň metalizace je to, že investiční náklady na tunu roční kapacity surového železa v závodě pracujícím způsobem podle vynálezu jsou v tomto intervalu přibližně stejné, jako u výroby ve vysoké peci, včetně aglomerační úpravy, koksovací baterie a elektrárny na kychtový plyn, o stejné kapacitě. Při vyšších stupních přeměny na kov budou investiční náklady na tunu roční kapacity u způsobu výroby podle vynálezu vyšší, než náklady pro výrobu ve vysoké peci, z důvodu vždy větší tepelné elektrárny. Způsob podle vynálezu je optimální v uvedeném intervalu, kde primární cena surového železa je přibližně o 30 % nižší než u surového železa vyrobeného vysokopecním způsobem, avšak investiční náklady na tunu ročně jsou stejné pro oba způsoby.

Jak bylo výše popsáno, je z obr. 2 zřejmé, že v tomto případě se pouze 27 % celkové energie dodané do předredukční etapy uloží v produktu předredukce ve formě fyzikálně a chemicky vázané energie. Ve dvou etapách předredukce se na kmol Fe v produktu předredukce použilo $0,6 + 3 = 3,6$ kmol $\text{CO} + \text{H}_2$. Ve třech redukčních etapách spojených například protiproudově, je teoretické minimum pro redukci asi 2,3 kmolu $\text{CO} + \text{H}_2$. Způsob podle vynálezu tedy potřebuje větší množství redukčního činidla pro dosažení téhož stupně přeměny na kov. Nicméně toto umožnilo použití jednoduchého zařízení bez použití horkých prašných plynů pro redukci, což v praxi způsobuje značné technické problémy, zejména jednalo se o velké redukční jednotky.

Čím vyšší teplota se použije pro předredukci, tím vyšší bude redukční rychlost, avšak také nebezpečí spečení jednotlivých zrn koncentrátů ve vrstvách, což má za následek vytvoření velkých aglomerátů. Nicméně vylučování uhlíku na zrnech koncentráту, ke kterému dochází při štěpení oleje ve styku s horkými zrny, spékání zabraňuje, takže se může použít dostatečně vysoká teplota.

Místo oleje se může pro předredukci použít vysokoprchavý uhelný mour. V tomto případě se mour může smíchat s koncentrátem před předredukční etapou, po čemž se směs přidá do fluidní vrstvy. Při zplyňování, které probíhá když se vrstva ohřeje, uh-

lí uvolní svůj obsah prchavých látek. Tyto se stykem s horkými zrny v loži štěpí, takže dochází k vylučování uhlíku a k redukci. Je-li třeba, může se ovšem v předredukci použít směs uhlí a oleje. Možnost volby redukčního činidla je jednou z velkých výhod vynálezu.

Vápno nebo vápenec, které jsou potřebné pro vytváření strusky při konečné redukci, se může přidat s výhodou i před redukcí. Značný podíl obsahu síry v redukčním činidle bude tím vázán k vápnu a obsah kyslíčnicku siřičitého ve spalinách z tepelné elektrárny se zmenší. Alternativně se mohou pro předredukci použít redukční činidla s vyšším obsahem síry, aniž by se v kouřových plynech překročil dovolený obsah kyslíčnicku siřičitého. Možnost použít redukční činidla s vysokým obsahem síry je důležitou výhodou způsobu podle vynálezu.

Když se předredukční etapa provádí ve fluidním loži, může být účelné rozdělit lože do několika komor uspořádaných tak, že materiál proudí z jednoho úseku do sousedního nižšího úseku. Vzduch a palivo se zavádí k jednotlivým komorám v řízených množstvích, takže poměr $(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}) : (\text{CO} + \text{H}_2)$ v plynu opouštějícím lože se může postupně zmenšovat z poměrně vysoké hodnoty (asi 1,5) v první komoře, na nízkou hodnotu (0,5 až 0,25) podle toho, jak daleko se předredukce má dovést. Komory se mohou sdružit ve formě kanálu se stěnami působícími jako přepady.

Předredukovaný produkt se finálně redukuje a roztaví se uvedením do styku s uhlíkem, přičemž se přivádí teplo. Tento styk se obvykle v praxi dosáhne smícháním předredukovaného produktu s roztaveným kovem obsahujícím rozpuštěný uhlík, nebo jeho rozptýlením na vrstvě žhavého koksu, případně plovoucího na tavenině.

Při redukci taveniny podle výše uvedených zásad, to jest v loži taveniny nebo koksu, se uhlík při teplotě přes 1000°C okysličuje hlavně na kysličník uhelnatý. Pro železo a jiné kovy (M), které mají vysokou aktivitu ke kyslíku, je reakce $\text{MO} + \text{xCO} = \text{xCO}_2 + \text{M}$ endotermická a proto se musí do reakční komory teplo dodávat. Teoreticky větší část této potřeby tepla by byla kryta úplným spalováním výfukových redukčních plynů plyným kyslíkem v redukční komoře. Nicméně bylo nemožné řešit problém dopravy tepla uvolněného při spalování do reakční oblasti bez oxidace redukovaného kovu. Mnohé, tzv. tavicí — redukční pochody známé z literatury jsou toho důkazem, protože žádný z nich nešel průmyslového použití.

Například u tavicího — redukčního pochodu podle švédského patentu číslo 205 039, kde redukce probíhá v koksovém loži, se potřeba tepla kryje spalováním výfukových plynů z redukce kyslíkem nad koksovým ložem, jakož i části koksu v loži. Aby se teplo z atmosféry pece přepravilo do tavby, používá se přitom v podstatě vodorovná, rychle se otáčející pec, takže značná část tepla

se přepraví do taveniny prostřednictvím obložení pece. Nicméně se zjistilo, že v důsledku vysoké teploty a okysličovací atmosféry je opotřebení vyzdívky pece příliš velké, než aby mohla být dosti trvanlivá. Podobné výsledky se získaly, když se kysličník uhelnatý vytvořený při redukci spaloval s uhlíkem rozpuštěným v tavenině.

Problém životnosti vyzdívky je způsobem podle vynálezu vyřešen, protože potřeba tepla v konečné redukci se kryje pomocí elektrického ohřevu. Elektrické teplo se uvolňuje v roztaveném kovu, strusce, koksovém loži nebo kombinaci dvou nebo více těchto prvků. Výfuk z konečné redukce, obsahující především kysličník uhelnatý, se odvádí přímo do tepelné elektrárny, stejně jako plyn z předredukce. Zde se jejich tepelná a chemická energie využije pro výrobu elektrické energie.

Malý podíl potřeby tepla při konečné redukci se může krýt částečně spalováním plynů z redukce kyslíkem nebo vzduchem nad povrchem materiálu v peci. Nicméně bylo zjištěno, že i při spalování 30% výfukových plynů je opotřebení vyzdívky tak velké, že má velmi nepříznivý vliv na hospodárnost provozu.

Jak bylo uvedeno výše, může se konečná redukce v rámci vynálezu provádět uhlíkem rozpuštěným v roztaveném kovu anebo ve žhavém koksovém loži, které může plavat na roztavené fázi. Koks se považuje za pevný zbytek, sestávající hlavně z uhlíku, získaný z ohřevu uhlíkatého materiálu uvnitř nebo vně redukční oblasti. Při nižším redukčním stupni předredukovaného produktu se dává přednost koksovému loži, protože toto umožňuje hojnou emisi plynu na jednotku plochy. Použije-li se koksové lože při konečné redukci, vytvořený kysličník uhelnatý nemusí projít vrstvou strusky, čímž se zabrání jejímu pěnění.

Koksové lože obsahuje částice o velikosti zrna menší než 10 mm, výhodně 1 až 10 mm, a udržuje se přidáváním koksu nebo jiného uhlíkatého materiálu, například antracitového moursu.

Při vyšším stupni redukce odpovídajícím obsahu kovu 30 až 80 %, se dává přednost konečné redukci uhlíkem rozpuštěným v roztavené kovové fázi. V tomto případě je účelné přidat za míchání předredukovaný produkt. Toho se může dosáhnout pomocí plynových bublin nebo elektromagneticky. Plynové bubliny se mohou vytvořit v tavenině přidáváním malého množství redukčního činidla, to jest oleje nebo práškové uhlí, nebo jemně rozdrčených kysličníků železa, případně spolu ve směsi, pod povrchem taveniny surového železa. Tak se redukčním pochodem vytvoří bublinky kysličníku uhelnatého a vodíku, které při stoupání taveninou vyvolají její míchání.

Pouze když se elektrické teplo vytváří hlavně v samotné koksové vrstvě, má míchání menší význam. Nicméně, jestliže koksové lo-

že plave na tavenině, může být určité míchání vrstvy surového železa a strusky potřebné za účelem homogenizace.

V konečné redukci předredukovaných koncentrátů železné rudy podle vynálezu se může vyrobit surové železo, které obsahuje jako legovací prvek pouze uhlík a proto se může snáze pomocí kyslíku rafinovat na ocel. Obsah uhlíku v surovém železe má být tak vysoký, aby tavenina měla při 1300 °C dobrou tekutost, takže konečná redukce se s jistou bezpečnostní rezervou a nehledě na změny teploty v soustavě může provádět asi při 1400 °C. Jestliže koncentrát obsahuje fosfor, může být účelné nastavit zásaditost a oxidační potenciál strusky tak, že se získá surové železo chudé na fosfor. Současně se dosáhne nízkého obsahu křemíku a v důsledku toho více síry v surovém železe, která se při předredukci částečně váže přidáním vápna. Síra se musí ze surového železa odstranit zvláštním odsířovacím procesem. Při nepřetržitém odpichování surového železa z konečné redukce se tento odsířovací proces může provádět tak, že se surové železo nechá téct v úzkých proudech přes roztavenou sodu, přičemž se síra váže jako siričnan sodný. Ten nebude obsahovat větší množství nečistot, jako jsou fosfor a křemík a může se proto použít místo síranu sodného pro výrobu sulfátové celulózy.

Potřeba tepla při konečné redukci se podle vynálezu kryje přívodem elektrického tepla. Toto teplo se může přivádět podle principů známých z elektrometalurgie, to jest pomocí oblouku a indukčním nebo odporovým ohřevem. Při vyšším stupni vyredukování předredukovaného materiálu je účelné přivádět elektrickou energii přes roztavený kov. To se může provádět induktivním ohřevem vysoko nebo nízkofrekvenčním střídavým proudem. Mimo jiné, byla shledána výhodnou tak zvaná kanálová indukční pec. V této peci je část plynule odváděna do žáruvzdorného kanálu, kde probíhá indukční ohřev pomocí nízkofrekvenčního proudu v indukční smyčce kolem kanálu, načež ohřátý materiál proudí zpět do redukční pece, ve které se tak udržuje tepelná rovnováha.

Při provádění způsobu podle vynálezu se surovina obsahující kyslíčníky železa, redukční činidlo a tavidlo pro vytvoření strusky přivádějí s výhodou plynule, přičemž se jejich toky odděleně, individuálně řídí. Surové železo a struska se mohou odpichovat po dávkách, jakmile se dosáhne určité hladiny, nebo plynule. Odpich se může provádět s použitím zvláštních odpichových otvorů nebo se struska a kov mohou odpichovat společně, v tomto případě se později některým vhodným způsobem provede jejich oddělení.

Vypuštěný materiál se odsíří, rafinuje, čistí a odlévá známým způsobem po dávkách nebo plynule.

Na obr. 4 je znázorněn příklad použití vynálezu při výrobě surového železa z koncen-

trátů magnetovce s použitím antracitového mouro a oleje jako redukčního činidla a paliva. Úplně uzavřená redukční pec 401 je opatřena žáruvzdornou vyzdívkou 402 a žáruvzdorným stropem 403, který se může odstranit buď jako celek nebo po částech, aby se žáruvzdorná vyzdívka pece 402 redukční pece 401 mohla opravovat. Redukční pec 401 se zásobuje individuálně řízenými proudy koncentrátů magnetovce, antracitovým mourem a tavidly pro tvorbu strusky ze zásobníků 404, 405, 406 potrubími, která jsou plynotěsně spojena s průchodkami 429, 430 v žáruvzdorném stropu 403. Přebytek zuhlíčeného antracitu tvoří koksovou vrstvu 407, která spočívá na tavenině 408 železa s její vrstvou strusky 409. Olej se přivádí tryskami 410 pod povrchem roztaveného železa z nádrže 411. Při štěpení oleje je tavenina 408 železa ve strusce a koksová vrstva 407 míchána kyslíčníkem uhelnatým a vodíkem. Množství koncentráta a strusky se nastaví tak, že odpíchnutá struska má takové složení, že bez znatelné koroze vyzdívky redukční pece 401 a při uspokojivém výtěžku železa může vázat nečistoty z paliva a z koncentrátů, které se mají struskou odstranit. Množství antracitu se nastaví tak, aby koksová vrstva 407 měla vhodnou tloušťku, například 3 až 10 cm.

K redukční peci 401 je připojen uzavřený žáruvzdorný kanál 412, ve kterém se železo elektricky indukční cívkou 413. Teplota tekoucího železa se plynule měří termočlánky 414 mezi redukční pecí 401 a indukční cívkou 413. Při stálém příkonu indukční cívky 413 se teplota může regulovat změnou přísunu koncentráta.

Koncentrát se ve vrstvě koksu redukuje na kovové železo, které se sytí uhlíkem a klesá dolů tekutou struskou. Malé množství výfukových plynů vytvořených při redukci se spaluje vzduchem, aby se dodalo část tepla potřebného pro redukci rudy ve vrstvě koksu. Vzduch se přehřívá spalováním částí výfukových plynů v přehříváči 415 a pak se do redukční pece 401 přivádí trubicemi 416 nad vrstvu koksu.

Odpadní plyny z redukce, které obsahují i krakovací plyn z oleje a z prchavých složek antracitu, prochází těsně připojeným výstupním kanálem 417. Teplota odpadních plynů se stále udržuje na úrovni zajišťující trvanlivost vyzdívky, regulace se provádí řízením proudu vzduchu trubicemi 416. Škracením proudění ve výstupním kanálu 417 pomocí ventilu 417a se část plynů může využít pro přehřívání koncentrátů a pro předredukci. Tato část se vrátí do výstupního kanálu 417. Po oddělení částic prachu v cyklónu 418 se malé množství horkého plynu použije pro přehřívání vzduchu, jak výše uvedeno a zbytek se použije jako palivo v parním generátoru 419 pro výrobu elektřiny v turbogenerátoru 420.

Výfukové plyny se před vypuštěním do atmosféry dmychadlem 423 čistí v elektric-

kém filtru 422. Prach z elektrického filtru 422 a z cyklónu 418 se vrací do redukční pece 401, případně po aglomeraci. Pomocí vzduchového kompresoru 424 se v redukční peci 401 a ve výfukové soustavě až po parní generátor 419 udržuje nízký přetlak, aby se zabránilo nežádoucímu nasávání vzduchu do soustavy.

Redukované železo a struska se plynule odpichují výpustným otvorem 431 do licího kanálu 425, který má práh 426 pro nastavení hladiny a hráz 427 pro odvod strusky přes otvor 428.

Zdokonalené zařízení pracující způsobem podle vynálezu je znázorněno na obr. 5 a 6. Toto zařízení sestává ze dvou předredukčních pecí 501, 502, dvou redukčních pecí 503 pro konečnou redukci, z nichž jedna se obvykle nechává v záloze, parního generátoru 504 a parní turbíny 505 s kondenzátorem 506 a generátorem 507. Koncentrát železné rudy, případně smíchaný s vhodným množstvím uhelného moursu v sílu 509 se zavádí do první předredukční pece 501 pomocí dopravního zařízení 510. Předredukční pec 501, která pracuje s fluidním ložem, má děrované dno 511. Do komory 512 pod děrovaným dnem 511 se potrubím 513 přivádí vzduch předehřátý na 500 °C. Vzduch se předehřívá v předehříváku se svislými trubkami, vestavěném do zadní části parního generátoru 504. Olej se přivádí potrubím 514 do speciálních otvorů, vytvořených nad děrovaným dnem 511. Poměr mezi olejem a předehřátým vzduchem se reguluje tak, že objemový poměr $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}/\text{CO} + \text{H}_2$ ve výfukových plynech z lože je přibližně rovný 1. Množství oleje a vzduchu se nastaví tak, aby se teplota vrstvy udržovala asi na 850 °C. Výfukové plyny z lože se po odstranění prachu v cyklónech 515 vedou do parního generátoru 504, kde se zbývající obsah energie uvolní spalováním s přebytkem vzduchu.

V první předredukční peci 501 se kyslíčník železa v koncentráte redukuje většinou na wüstit. Uhelný mours smíchaný s kysličníkem suroviny se v podmínkách předredukční pece 501 zplyňuje na koksový prach. Vápenec ve směsi se přemění na pálené vápno, které zůstává ve směsi částečně redukováného kysličníku železa a koksu v produktu předredukční pece 501. Produkt z první předredukční pece 501 se vedením 516 dopraví do druhé předredukční pece 502. Tato druhá předredukční pec 502 je konstruována stejně jako první a pracuje rovněž s předehřátým vzduchem a olejem. Poměr mezi předehřátým vzduchem 517 a olejem 518 se v tomto případě reguluje tak, že objemový poměr $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}/\text{CO} + \text{H}_2$ ve výfukových plynech opouštějících lože je 0,25 až 0,3 přičemž množství se reguluje tak, aby se teplota v loži udržovala na 850 °C. Po odstranění prachu v dalších cyklónech 519 se výfukové plyny z lože odvádějí do parního generátoru 504, kde se zbývající obsah energie uvolní spalováním s přebytkem vzduchu.

V druhé předredukční peci 502 se produkt první předredukční pece 501 redukuje tak, že 70 % obsahu železa je ve formě kovového železa a zbytek je ve formě wüstitu. Horký, částečně v kov přeměněný produkt z druhé předredukční pece 502, případně smíchaný s koksem a vápencem — se spádovou trubicí 520, rozdělovačem 521 a potrubím 522 přivádí do redukční pece 503, která je provedena jako kelímková indukční pec napájená síťovým kmitočtem. Redukční pec 503 obsahuje dvě vrstvy taveniny, to jest vrchní vrstvu strusky a spodní vrstvu roztaveného surového železa se 4% rozpuštěného uhlíku. Teplota se udržuje přibližně na 1400 °C, přívodem elektrické energie do indukční cívky 607 obklopující redukční pec 503. V důsledku nahoru směřujícího proudu roztaveného surového železa, způsobeného magnetickým polem indukční cívky 607, se na povrchu 601 taveniny vytvoří hrbol. Struska 606 se v důsledku toho pohybuje směrem ke stěnam redukční pece 503 a roztavené surové železo se v kruhové oblasti ve středu redukční pece 503 obnaží. Za rovnovážného stavu se vytvořená struska 606 plynule odvádí výtokovým otvorem vytvořeným ve vhodné úrovni nad dnem redukční pece 503, zatímco úroveň surového železa se udržuje stále řízeným vypouštěním pomocí ventilu 603.

Předredukovaný produkt z druhé předredukční pece 502 se trubicí 604 ve středu víka finální redukční pece 503 přivádí vhodnou rychlostí v podstatě kolmo na obnažený povrch surového železa. Tímto způsobem se předredukovaný produkt smísí se surovým železem a zbylý kyslík v jeho kysličníku reaguje s uhlíkem rozpuštěným v surovém železe. Kysličník uhelnatý vytváří na povrchu tavby bubliny a odvádí se třetím potrubím 605 do parního generátoru 504. Jestliže předredukovaný produkt z druhé předredukční pece 502 obsahuje určité množství koksu, ten se také smísí se surovým železem, takže obsah uhlíku v surovém železe se udržuje přibližně na 4 %.

Místo zpracování uhelného moursu smíchaného s kysličníkovou surovinou z první předredukční pece 501, se tento mours ovšem může odvádět do druhé předredukční pece 502 nebo do zvláštní pece a koks se může vmístit, když se předredukovaný produkt vhání do kelímkové pece. Vápenec se rovněž může pálit odděleně, místo v předredukčních pecích 501, 502 a může se přimíchat při plnění do kelímkové pece.

Trubice 604, kterou se přivádí produkt z druhé předredukční pece 502 a případně i zvlášť vyrobený koks a vápno, může také ústít pod povrch roztaveného surového železa. To má za následek dobré míchání taveniny, avšak způsobuje větší opotřebení trubice 604. Induktivní míchání v peci podle obr. 6 může být také obrácené, takže tavenina stéká spolu s přidaným materiálem do středu.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Způsob současné kombinované výroby elektrické energie a surového železa z uhlíkatého materiálu a ze zrnitého materiálu obsahujícího kysličníky železa, při kterém se redukce kysličníku železa provádí ve dvou oddělených etapách — v předredukci a v konečné redukci, přičemž teplota se při předredukci udržuje pod bodem tavení surového železa a při konečné redukci nad bodem tavení surového železa, vyznačující se tím, že uhlíkatý materiál spolu se zrnitým materiálem obsahujícím kysličníky železa se zavádějí do fluidního lože, obsahujícího pevný uhlíkatý materiál, přičemž redukčními ply-

ny, vznikajícími v přebytkovém množství pro potřebu předredukce ve fluidním loži, částečným spalováním uhlíkatého materiálu se vzduchem a/nebo plynným kyslíkem, se předredukovávají kysličníky železa do 30 až 80 procentní přeměny na kov, načež se horký předredukovaný produkt bez ochlazení taví elektrickým ohřevem a redukuje na surové železo při styku s uhlíkatým materiálem, načež se odpadní plyny z obou redukčních pochodů zavádějí přímo do tepelné elektrárny k výrobě elektrické energie, pro elektrický ohřev při konečné redukci.

6 listů výkresů











