



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 00173**

(22) Data de depozit: **19/02/2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28/04/2017** BOPI nr. **4/2017**

(41) Data publicării cererii:
30/04/2012 BOPI nr. **4/2012**

(73) Titular:
• **UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ DIN
BUCUREȘTI - CENTRUL DE CERCETARE
ACPC ROMÂNIA,**
SPLAIUL INDEPENDENȚEI NR.313,
CORP ED-004, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B,
RO

(72) Inventatori:
• **STĂNĂȘILĂ VIRGIL-CORNELIU,**
BD.ION MIHALACHE NR.70-84, BL.45,
SC.A, AP.25, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,
RO;

• **STĂNĂȘILĂ OCTAVIAN, ALEEA FĂUREI**
NR. 8, VILA 11, AP. 9, BUCUREȘTI, B, RO;
• **ȘTEFĂNOIU HORAȚIU GEORGE,**
STR. PAJUREI NR.11, BL.F4, SC.B, AP.40,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
• **ȘTEFĂNOIU DAN, STR. BĂICULEȘTI**
NR.19, BL.D9, AP.50, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **MUNTEANU VALENTIN VASILE,**
STR. TEIUL DOAMNEI NR.6, BL.22, SC.A,
AP.9, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
RO 121605 B1; RO 122193 B1

(54) **PROCEDEU DE OBȚINERE A HIDROGENULUI DE ÎNALTĂ
PURITATE**

Examinator: **ing. ANDREI ANA**



Orice persoană are dreptul să formuleze în scris și
motivată, la OSIM, o cerere de revocare a brevetului de
invenție, în termen de 6 luni de la publicarea mențiunii
hotărârii de acordare a acesteia

RO 127283 B1

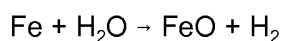
RO 127283 B1

Invenția se referă la un procedeu de obținere a hidrogenului de înaltă puritate, comparabil cu cel obținut prin electroliza apei, din minereu de fier nepeletizat (fier/hematită), apă și biomasă, cărbune activ sau deșeuri celulozice.

Obiectul invenției are aplicabilitate în industriile chimică, petrochimică, energetică și siderurgică, contribuind totodată la protecția mediului.

Se cunoaște brevetul de invenție **US 4490394**, un procedeu de generare a hidrogenului din abur supraîncălzit, care este trecut printr-o cameră cu doi pereți opuși, unul format din fier, ce reacționează exoterm cu aburul supraîncălzit, cu eliberare de hidrogen și cu oxidarea fierului, iar celălalt format dintr-o membrană din paladiu, permeabil la hidrogen, dar nu și la abur. Dezavantajul principal al procedurii îl constituie dificultatea de a realiza un proces continuu și, totodată, productivitatea mică, însoțită de costurile mari ale paladiului folosit.

Brevetul de invenție **RO 106721** propune obținerea hidrogenului prin reacția "fier-abur", utilizând alternanța dintre oxidare:



și reducere:



la temperaturi sub 700°C, unde oxidarea cu abur generează hidrogen. Principalul dezavantaj îl constituie faptul că procesul este discontinuu, cu alternanțe care complică tehnologic eventualele instalații, și nu evită carburarea fierului.

În brevetul de invenție **US 00727705 A1**, se propun un procedeu și o instalație de generare de hidrogen prin reducerea aburului, utilizând o pereche metal-oxid de metal, pentru a extrage oxigenul din apă. Aburul este pus în contact cu o topitură metalică mixtă, incluzând un prim metal reactiv, precum fierul (Fe), dizolvat într-un metal diluant, precum staniul (Sn). Metalul reactiv se oxidează la oxid de metal, generând hidrogen. Principalele dezavantaje ale procedurii constau, pe de o parte, în suprafața specifică redusă a lacului în topitură, care nu permite aplicații industriale, iar pe de altă parte, din cauza utilizării oxigenului tehnic, se formează zguri și se lucrează la temperaturi de peste 1200°C. Toate acestea scumpesc tehnologia.

Brevetul de invenție **RO 121605** prezintă obținerea de pulbere metalică, asociată cu obținerea de hidrogen, după dezoxidarea în pat fluidizat a minereului de fier, prin folosirea de agent reducător gazos, format din CO și H₂. Dezavantajul principal este acela că are loc o utilizare insuficientă a agentului reducător.

Procedeu conform invenției înlătură dezavantajele menționate prin aceea că va cuprinde următoarele etape:

a) obținerea unui amestec constituit din minereu de fier și biomasă, într-un raport 2:1, și până la 50% volumetrică, raportate la cantitatea totală de minereu și biomasă, un material inert cu aceeași granulație ca cea a minereului și biomasei;

b) omogenizarea și încălzirea amestecului la 950°C;

c) gazificarea combustibilului și trecerea unui amestec gazos, constituit din monoxid de carbon și hidrogen, prin straturile de minereu în sens alternant, orizontal și perpendicular, pentru a se realiza dezoxidarea minereului, rezultând un amestec solid, care constă din fier, material inert, biomasă nereacționată, cenușă, minereu nereacționat, și un amestec gazos, care constă din monoxid de carbon, dioxid de carbon, hidrogen și apă, care, după reținerea vaporilor de apă și a dioxidului de carbon, este recirculat din nou în reactor;

d) trecerea amestecului solid, rezultat în etapa c), într-o zonă obturată și apoi printr-o zonă unde se introduce abur, și unde are loc reducerea carbonului rămas și oxidarea parțială a fierului la oxid de fier, obținându-se hidrogen de înaltă puritate, din care 10% se recirculă;	1
e) amestecul solid rezultat în etapa d) este colectat, separat și amestecat cu biomasă în proporția menționată, și apoi este reintrodus în reactor, ciclul repetându-se până la epuizarea minereului.	3
În amestecul obținut din minereu de fier, tip hematită, redus cu biomasă-deșeuri celulozice sau cărbune-mangal, se introduce nisip cuarțos, ce are aceeași granulație cu minereul. Acest amestec este introdus într-un reactor paralelipipedic vertical. Prima fază a procedurii constă în realizarea unor reacții de gazificare a deșeurilor celulozice sau a cărbunelui, cu obținerea unui gaz de sinteză, reducător al minereului de fier, format îndeosebi din monoxid de carbon și hidrogen. În faza a doua, au loc o serie de reacții redox: dezoxidarea parțială a minereului (cu formare de fier moale) și oxidarea fierului cu abur (cu reformare de oxizi), provenit de la un cazan extern, în sine cunoscut, în final generându-se hidrogen de înaltă puritate. Minereul reoxidat este recirculat de câteva ori și apoi livrat siderurgiei, având doar rol de agent de schimb în reacțiile redox.	5
După ce este răscolit și omogenizat cu ajutorul unor vătraie sau al unor cabluri flexibile, amestecul inițial este supus unei încălziri până la o temperatură de 950°C și intră, prin canale verticale, în zona de dezoxidare a reactorului. Pereții canalelor permit trecerea gazelor prin straturile de minereu, în sens alternant și perpendicular pe pereți, încărcătura fiind reținută în canale. O parte din amestecul gazos de CO, CO ₂ , H ₂ și H ₂ O, obținut în cazul utilizării celulozei, trece printr-un schimbător de căldură R ₁ , în care se răcește de la 950°C la 80°C. O altă parte a acestui amestec trece printr-un alt schimbător de căldură R ₂ , în care amestecul gazos cedează căldura care este utilizată pentru preîncălzirea materiei prime. Gazul ieșit din cele două schimbătoare de căldură trece printr-un al treilea schimbător de căldură, cu aer, R ₃ , în care temperatura scade la 30°C. La ieșirea din reactor, amestecul de CO, CO ₂ , H ₂ și H ₂ O trece, alternant, la fiecare 4...5 min, prin pereții canalelor menționate. Se rețin vaporii de apă prin răcire și condensare, iar restul trece printr-un decarbonator, ce reține CO ₂ . Amestecul gazos rămas, de H ₂ și H ₂ O, se introduce în R ₁ , unde se încălzește la 950°C, fiind reintrodus apoi în reactor. Astfel, se realizează o dezoxidare avansată a minereului de fier. Amestecul solid, format din materia primă (minereu, nisip și combustibil) solidă, trece în continuare printr-o zonă obturată (asigurându-se o etanșare între zonele prin care circulă gaze diferite) și apoi printr-o zonă de mică înălțime, unde se introduce abur. Acesta reduce restul de carbon, reoxidând totodată o parte din fierul produs anterior. În cazul utilizării de cărbune pe post de combustibil solid, pentru evitarea depunerilor de piatră pe suprafețele de schimb de căldură din R ₂ , se folosește apă dedurizată ca agent încălzit. După zona de reducere, urmează o zonă prin care circulă alternant abur preîncălzit la 600°C, pregătit în exterior. Astfel, are loc oxidarea fierului parțial redus, ceea ce conduce la obținerea de hidrogen de înaltă puritate (peste 99%). Din cantitatea de hidrogen astfel obținută, 10% se recirculă în reactor, iar restul de 90% este oferit pentru consumul extern. Agenții gazoși (care includ și 10% din hidrogenul de înaltă puritate produs) se recirculă. Această operație permite realizarea unui contact eficient între agenții redox și minereu, cu reținerea componentelor epuizate, în instalații exterioare reactorului. Datorită conținutului ridicat de fier al componentelor epuizate, o parte dintre acestea pot fi supuse unui alt procedeu, de producere a pulberii de fier moale, cu conținut redus de carbon. Componentele încă active se reintroduc în circuit, după zona de extragere a hidrogenului. Amestecul granular din nisip cuarțos, cu 90% fier și 10% oxizi de fier (în special FeO), este răcit. Minereul extras intră într-un malaxor, unde se amestecă omogen cu cărbune, de unde este reintrodus în reactor. Minereul de fier, supus reacțiilor redox, este astfel recirculat în reactor până la epuizarea reactivității sale.	7
	9
	11
	13
	15
	17
	19
	21
	23
	25
	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47
	49

RO 127283 B1

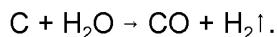
Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este cea a obținerii de hidrogen de înaltă puritate, folosind minereu de fier mărunțit. Acest procedeu poate fi, eventual, însoțit de producerea de pulbere de fier moale, cu conținut redus de carbon.

În procedeul conform invenției, minereul de fier este redus cu deșeuri celulozice sau cărbune, și apoi reoxidat cu abur, pentru generarea de hidrogen. O parte din acesta poate fi consumat într-un alt reactor, pentru obținerea de pulbere de fier cu granulația dorită, dintr-o șarjă diferită de pulbere de minereu de fier, și cu degajare de abur. Prima fază a procedurii constă în realizarea unor reacții de gazificare a deșeurilor celulozice sau a cărbunelui, cu obținere de gaz de sinteză, reducător al minereului de fier, format îndeosebi din monoxid de carbon și hidrogen. Procesul este urmat de reacții redox: dezoxidarea parțială a minereului (cu formare de fier moale) și oxidarea fierului cu abur (cu reformare de oxizi), provenit de la un cazan extern, în final generându-se hidrogen de înaltă puritate. Minereul reoxidat este recirculat de câteva ori și livrat siderurgiei, având rol de agent de schimb în reacțiile redox.

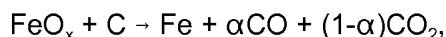
Procedeul conform invenției utilizează un minereu de fier nepeletizat - hematită ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), cu o umiditate de până la 10% și având o granulație medie de 1,5...3 mm, minereul este amestecat cât mai omogen cu un combustibil solid, de tip biomasă-deșeu celulozic, sau cărbune-mangal, având aceeași granulație cu minereul. Combustibilul solid are un conținut redus de cenușă (maximum 10%). Amestecul este introdus într-un reactor paralelipipedic, vertical, în care are loc gazificarea combustibilului solid în principal, cu generare de agent gazos reducător (îndeosebi CO și H_2) pentru minereu și pentru generarea ulterioară a hidrogenului. Temperatura de lucru în reactor este de 950°C , iar presiunea de lucru este cuprinsă între 8 și 10 bari.

Hidrogenul este destinat în principal consumului extern. Eventual poate fi utilizat și pentru producerea pulberii de fier într-un alt reactor.

În scopul evitării segregării granulelor de fier învecinate, și al formării de aglomerări, în reactor se introduce un material inert mărunț, de exemplu, nisip cuarțos, până la 50%, raportat la volumul amestecului de minereu și material combustibil introdus, nisipul fiind monogranular, cu diametrul mediu de 1,5...3 mm. La finalul unei șarje, sterilul și praful de minereu rezultat din abraziune se separă, la ieșirea din reactor. Ca măsură suplimentară, amestecul se răscolește cu ajutorul unor vătraie sau cabluri multifilare, flexibile, rotative. Din minereul relativ grosier, amestecat cu nisipul (recirculat) ieșit din reactor la temperatura de $50\ldots 70^\circ\text{C}$, se înlătură praful, iar acest amestec este reintrodus în reactor. După ce se amestecă omogen și cu combustibil solid corespunzător, având granulația menționată, acest amestec, format din minereu, combustibil solid și nisip, este încălzit la o temperatură de 950°C , prin mijloace termice cunoscute (în general cu căldură recuperată), și intră, prin mai multe canale verticale paralele, într-o primă zonă de dezoxidare. În cazul folosirii cărbunelui, formarea de CO este stimulată de gazificarea cu abur a carbonului din combustibilul solid, conform reacției:



Pereții canalelor permit trecerea gazelor în sens alternant și perpendicular pe axa acestora, reținând în canale granulele încărcăturii. Efortul de împingere a încărcăturii în pereți se descarcă reciproc, prin distanțiere repartizate uniform între pereți. Una dintre reacțiile principale de reducere este de tipul:



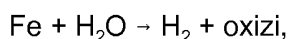
unde, de la o șarjă la alta, coeficientul stoichiometric α (al monoxidului de carbon) poate varia între 0,15 și 0,71 (ceea ce conduce la o variație între 0,85 și 0,29 a coeficientului $1-\alpha$ al dioxidului de carbon).

RO 127283 B1

Concentrația medie a monoxidului de carbon este de 50% (procente de volum, raportat la volumul amestecului rezultat). La ieșirea din reactor se formează un amestec de CO, CO₂, H₂ și H₂O. În cazul folosirii celulozei, acest amestec de gaze cu vapori de apă va trece, alternant, la fiecare 4...5 min, prin pereții canalelor menționate, cu ajutorul unui dispozitiv în sine cunoscut, plasat în exterior. Spațiile dintre canale sunt racordate din două în două la acest dispozitiv. Această alternare asigură uniformitatea temperaturilor în jurul valorilor optime, a gradientilor spațiali de temperatură mari, cu intensificarea reacțiilor și reducerea duratei proceselor. Din amestecul menționat, se rețin vaporii de apă prin condensare, și restul trece printr-un decarbonator ce reține CO₂, care poate fi colectat, depozitat și valorificat.

Astfel separat, amestecul gazos rămas, constituit din H₂ și CO, va fi încălzit în două trepte: preîncălzire la o temperatură de 920°C și o încălzire finală la o temperatură de 950°C, după care este reintrodus în reactor. Amestecul gazos astfel obținut realizează o dezoxidare avansată a minereului de fier. Amestecul solid format din materia primă (minereu), nisip și combustibil solid (celuloză sau cărbune) trece apoi printr-o zonă obturată pentru gaze. Pentru a asigura o etanșare satisfăcătoare între zonele prin care circulă gaze diferite, după zona de dezoxidare, urmează o zonă de mică înălțime, unde se introduce o cantitate redusă de abur. Aceasta gazifică restul de carbon, reoxidând totodată fierul produs anterior la un randament de sub 3%. În amestecul solid rezultă o compoziție de 90% Fe și 10% oxizi de fier, îndeosebi FeO. Acesta parcurge o zonă de etanșare cu pereți plini, urmată de o zonă mai înaltă, prin care va circula alternant abur preîncălzit la o temperatură de 600°C, pregătit în exterior de un generator de abur în sine cunoscut.

Prin reacția:



se oxidează amestecul granular, cu producere de hidrogen de înaltă puritate (peste 99%), similar, ca puritate, celui obținut prin electroliza apei, reformând totodată minereul. Alternanța orizontală a sensului de curgere a aburului asigură uniformitatea și intensifică procesul de oxidare. Amestecul granular iese din zona de oxidare, cu o compoziție constituită din 90% Fe și 10% oxizi, se răcește și coboară treptat, fiind colectat la capătul inferior al canalelor. Minereul reformat și extras intră într-un malaxor, unde se amestecă omogen cu altă șarjă de deșeu celulozic sau cărbune, de unde este ridicat și reintrodus în reactor, reluând ciclul de mai multe ori, până se constată că minereul trecut prin reactor nu mai este reactiv (este epuizat).

Aburul nu antrenează săruri și nu impurifică hidrogenul, fierul sau minereul. Durata dezoxidării minereului de fier este estimată la maximum 1 h, în cazul utilizării deșeurilor celulozice (cu o umiditate sub 10%). Prin încălzire împreună cu ceilalți componenți, în reactor se generează abur, gaze de piroliză, unele cu componente combustibile și cu gudroane, care vin în contact cu minereul la o temperatură de 950°C. Acesta este o sursă de oxigen, de la dezoxidări. În acest mod, există condiții bune de descompunere a substanțelor combustibile și a gudroanelor, prin multiple reacții chimice secundare (cracare, oxidare), iar gazele străbat încărcătura suficient de permeabilă, intrând în contact cu minereul aflat în zona de dezoxidare.

Procedeul conform invenției prezintă următoarele avantaje:

- se obține hidrogen de înaltă puritate, în condiții ecologice, comparabil cu cel obținut prin electroliza apei;
- are aplicații multiple în industria siderurgică (oțeluri și aliaje speciale, cu compoziție fixă a anumitor metale), chimică (sinteze de combustibili artificiali, amoniac, fertilizatori), energetică (hidrogenul fiind un combustibil viabil, dacă este îmbuteliat în condiții de siguranță);

RO 127283 B1

- emisiile de CO sunt excluse, iar cele de CO₂ și alte noxe sunt minime;
- permite valorificarea unor deșeuri celulozice de tip paie, stof, sorg, soia, coceni, cereale degradate, deșeuri urbane selectate și similare;
- se intensifică procesele de dezoxidare a minereului de fier și apoi de reoxidare cu abur a fierului produs, prin folosirea minereului de fier uzual, cu creșterea suprafeței de reacție și cu intensificarea schimbului convectiv de căldură; procesele redox din reactor (atât dezoxidarea, cât și oxidarea) sunt realizate parțial, dar în proporții adecvate producerii hidrogenului de înaltă puritate;
- se utilizează minereu de fier nepeletizat, cu granulație mică și suprafețe specifice mari, de schimb de căldură și masă cu agenții gazoși, având coeficienții de transfer de zeci de ori mai mari decât în cazul peleților;
- minereul este recirculat, putând fi utilizat de mai multe ori, până la diminuarea reactivității sale, când este valorificat ca materie primă siderurgică;
- alternarea orizontală a sensului de curgere a agenților gazoși prin straturile verticale de minereu asigură o reducere a neuniformităților față de curgerea lor în sens unic, contribuind substanțial la uniformizarea temperaturilor, fapt care face ca procesele să decurgă la temperaturi relativ constante;
- durata proceselor este mai redusă decât în cazul altor tehnologii similare.

În final, se dă un exemplu nelimitativ de realizare a procedeului conform invenției. Exemplul este prezentat în legătură cu figura ce ilustrează schema flux a procedeului de producere de hidrogen de înaltă puritate. Componenta principală o constituie reactorul paralelipipedic, vertical, de producere de hidrogen **1**. Temperatura de lucru în reactor este de 950°C, iar presiunea de lucru este între 8 și 10 bari. Reactorul **1**, format în principal din canale verticale, este încărcat pe la partea superioară cu șarje care se epuizează treptat spre partea inferioară. Este dotat cu generator de abur **9**, unde aburul este introdus în anumite etape ale procesului, și în anumite zone **8** ale reactorului, cu ajutorul unor distribuitoare **3** în sine concepute și cunoscute. Prin distribuitorul inferior **3**, se colectează hidrogenul generat **10**. În zona de dezoxidare **2**, unde se generează gazul reducător, se utilizează un circuit exterior de pretratare a acestuia, constituit din schimbătoare de căldură **4**, condens-purje **6**, compresor **5**, decarbonator **7** și încă un distribuitor **3**.

Prin aplicarea procedeului, se produc 12 Nm³/h hidrogen de înaltă puritate (peste 99%), utilizând un minereu de fier de tip hematită, cu o granulație medie de 2 mm. Se poate utiliza mangal și 50% (procente de volum, raportat la total amestec introdus) nisip cuarțos granular, ambele cu aceeași granulație ca cea a minereului. Această condiție este necesară pentru a asigura suprafața specifică a reacțiilor ce se petrec în reactor.

Amestecul solid de minereu, nisip și mangal, bine omogenizat, este introdus în reactorul paralelipipedic vertical **1**, cu secțiunea orizontală de 0,5 x 0,4 m² și înălțimea de 2 m. Acesta ajunge într-o primă zonă de dezoxidare **2**, unde se încălzește la 950°C, prin mijloace termice în sine cunoscute, care nu sunt ilustrate în schemă. Prin pereții unor canale verticale aflate în zona **2**, trec, în sens alternant și orizontal, gaze constituite preponderent din CO și CO₂, granulele încărcăturii reținându-se în canale. Alternanța este asigurată prin dispozitivele **3**, în sine cunoscute. Se vor recircula 36 kg/h ≈ 12 dm³/h minereu, iar volumul amestecului solid este de 32 dm³/h, în reactor aflându-se în permanență un volum de 60 dm³/h. Consumul de carbon este de circa 3,3 kg/h în cursul dezoxidării. Monoxidul de carbon se transformă în bioxid de carbon, rezultând 6 Nm³/h. Debitul recirculat prin reactor din amestecul (CO + CO₂) este de 20,7 Nm³/h, pentru eliminarea completă a carbonului rămas după zona de dezoxidare **2**. Se realizează o gazificare cu abur introdus din exterior,

RO 127283 B1

generând CO și H₂. Amestecul gazos trece prin schimbătoarele de căldură **4**, de unde amestecul gazos format din CO, CO₂, H₂ este preluat de un compresor **5**, apa fiind eliminată printr-un separator de condens - purje **6**. Gazul relativ uscat ajunge într-un decarbonator **7**, rezultând 6 Nm³/h CO₂, iar după recirculare, amestecul gazos reducător (CO + H₂) este introdus în reactor.

Pentru utilizarea mai eficientă a agentului reducător, se realizează recircularea agenților gazoși și contactul dintre agenții redox și minereu. Urmează reținerea în instalații exterioare compacte a componentelor epuizate, componentele încă active fiind reintroduse în reactor. Amestecul solid, compus din 90% Fe și 10% oxizi de fier, parcurge o zonă de etanșare cu pereți plini, urmată de o zonă **8** prin care circulă cu alternanță, cu ajutorul dispozitivului **3**, un abur preîncălzit la 600°C, pregătit în exterior într-un generator **9** în sine cunoscut. Aburul trecut prin fierul parțial redus generează hidrogen de înaltă puritate. Din acesta, 90% este destinat consumului extern (fiind eventual trimis printr-o conductă **10** la un alt reactor, de producere a pulberii de fier). Restul de 10% este utilizat pentru recirculare în reactor.

Revendicări

1

3

1. Procedeu de obținere a hidrogenului de înaltă puritate în flux continuu, prin oxidarea cu abur a fierului, utilizând ca materie primă un amestec din minereu de fier, biomasă și un material inert, **caracterizat prin aceea că** va cuprinde următoarele etape:

5

7

a) obținerea unui amestec constituit din minereu de fier și biomasă, într-un raport 2:1, și până la 50% volumetrice, raportate la cantitatea totală de minereu și biomasă, un material inert cu aceeași granulație ca cea a minereului și biomasei;

9

b) omogenizarea și încălzirea amestecului la 950°C;

11

c) gazificarea combustibilului și trecerea unui amestec gazos, constituit din monoxid de carbon și hidrogen, prin straturile de minereu în sens alternant, orizontal și perpendicular, pentru a se realiza dezoxidarea minereului, rezultând un amestec solid, care constă din fier, material inert, biomasă nereacționată, cenușă, minereu nereacționat, și un amestec gazos, care constă din monoxid de carbon, dioxid de carbon, hidrogen și apă, care, după reținerea vaporilor de apă și a dioxidului de carbon, este recirculat din nou în reactor;

13

15

17

d) trecerea amestecului solid, rezultat în etapa c), într-o zonă obturată, și apoi printr-o zonă unde se introduce abur, și unde are loc reducerea carbonului rămas și oxidarea parțială a fierului la oxid de fier, obținându-se hidrogen de înaltă puritate, din care 10% se recirculă;

19

21

e) amestecul solid, rezultat în etapa d), este colectat, separat și amestecat cu biomasă în proporția menționată, și apoi este reintrodus în reactor, ciclul repetându-se până la epuizarea minereului.

23

2. Procedeu de obținere a hidrogenului de înaltă puritate, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** minereul de fier este de tip hematită, biomasă este constituită din deșeuri celulozice sau cărbune de mangal, și materialul inert este nisipul cuarțos, măcinat la o granulație medie de 1,5...3 mm.

25

27

3. Procedeu de obținere a hidrogenului de înaltă puritate, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** minereul de fier epuizat este utilizat pentru obținerea pulberii de fier sau în siderurgie.

