



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 00173

(22) Data de depozit: 19.02.2010

(41) Data publicării cererii:
30.04.2012 BOPI nr. 4/2012

(71) Solicitant:
• 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;

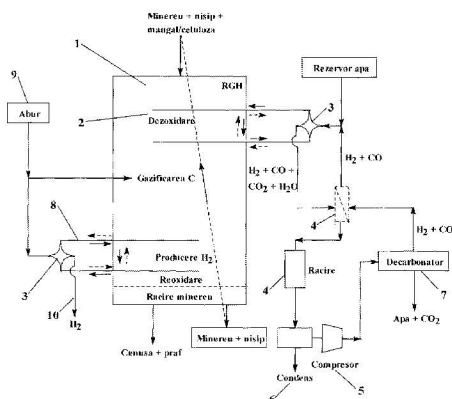
• STĂNĂȘILĂ OCTAVIAN, ALEEA FĂUREI
NR. 8, VILA 11, AP. 9, BUCUREȘTI, B, RO;
• ȘTEFĂNOIU HORAȚIU GEORGE,
STR. PAJUREI NR.11, BL.F4, SC.B, AP.40,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
• ȘTEFĂNOIU DAN, STR. BĂICULEȘTI
NR.19, BL.D9, AP.50, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;
• MUNTEANU VALENTIN VASILE,
STR. TEIUL DOAMNEI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

(54) PROCEDEU PENTRU PRODUCEREA DE HIDROGEN CURAT
ȘI DE PULBERE DE FIER FĂRĂ CARBON

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de obținere concomitentă a unei pulberi de fier și a hidrogenului. Procedeu conform invenției constă din amestecarea unui minereu de fier nepelletizat, de tip hematită, având o granulație medie de 1,5...3 mm, cu un combustibil solid, de tip biomasă, și, eventual, 50% volumetric nisip cuarțos granular, având aceeași granulație, într-o primă zonă de reacție, la o temperatură de 950°C și o presiune de până la 10 bari, din care rezultă gazeificarea combustibilului solid, cu generarea, într-o primă etapă, a unui agent gazos reducător pentru minereu, care conține hidrogen și monoxid de carbon, și, ulterior, cu generarea de hidrogen destinat, în principal, consumului extern, și, în paralel, dezoxidarea completă a unui minereu de fier fină, într-o a doua zonă de reacție, la o temperatură de 540...580°C, pentru producerea unei pulberi de fier ultrafină, lipsită de carbon, cu o granulație sub 200μ.

Revendicări: 4
Figuri: 1



Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr. a 206	00173
Data depozit	19-02-2010

Descrierea invenției

Invenția se referă la un procedeu de producere concomitentă de pulbere de fier fără carbon și de hidrogen curat (comparabil cu cel obținut prin electroliza apei), din minereu de fier nepeletizat (fier/hematită), apă și materii prime abundente (în special biomasă sau deșeuri celulozice).

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

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este cea a producerii de hidrogen curat folosind minereu de fier mărunțit, însoțită de producerea de pulbere de fier cu înaltă calitate. Minereul de fier este redus cu deșeuri celulozice sau cărbune și apoi reoxidat cu abur pentru generarea de hidrogen. O parte din acesta este consumat într-un alt reactor pentru obținerea de pulbere de fier cu granulația dorită, dintr-o șarjă diferită de pulbere din minereu de fier și cu degajare de abur. Prima fază a procesului tehnologic 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 (CO) și hidrogen (H₂). 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 sine cunoscut, în final generându-se hidrogen de înaltă puritate. Minereul reoxidat este recirculat de câteva ori și livrat siderurgiei, având doar rol de agent de schimb în reacțiile redox.

Se cunoaște brevetul SUA 4490349/1984, referitor la un procedeu de generare de hidrogen din abur supraîncălzit, trecut printr-o cameră cu doi pereți opuși, unde unul este format din fier, care reacționează exoterm cu aburul supraîncălzit, cu eliberare de hidrogen și cu oxidarea fierului, iar celălalt este format dintr-o membrană din paladiu, permeabil la hidrogen, dar nu și la abur. Dezavantajul principal al procedeuului îl constituie dificultatea de a realiza un proces continuu și, totodată, productivitatea mică, însoțită de costurile mari ale paladiului folosit.

Un alt brevet cunoscut este RO 106721/1992, în care se propune producerea de hidrogen prin reacția „fier-abur”, utilizând alternanța oxidare: $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeO} + \text{H}_2$ și reducere: $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4 \text{CO} \rightarrow 3\text{Fe} + 4 \text{CO}_2$, 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, scumpesc aplicarea și nu evită carburarea fierului.

În al treilea brevet, SUA 0072705A1/2003, se propune 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 diluent precum staniul (Sn). Metalul reactiv se oxidează la oxid de metal, generând hidrogen. Principalele dezavantaje ale procedeuului constau, pe de o parte, în suprafața specifică redusă a lacului de topitură, care nu permite aplicații industriale, iar, pe de altă parte, în folosirea de oxigen tehnic, formarea de zguri și temperaturi de peste 1200°C. Toate acestea scumpesc tehnologia.

Mai apropiat de actuala propunere de invenție este brevetul RO 121605/2007, unde producerea de pulbere metalică este asociată cu producere de hidrogen, după dezoxidarea în pat fluidizat a minereului de fier, prin folosirea de agent reducător gazos

format din CO și H₂. Fierul obținut este reoxidat cu abur, generând hidrogen pur. Dezavantajul principal este acela că are loc o utilizare insuficientă a agentului reducător.

Conform invenției de față, procedeul propus rezolvă problema tehnică enunțată, prin aceea că minereul de fier nepelletizat – hematită (FeO·Fe₂O₃), relativ uscat și având granulația medie de 1,5–3 mm, este amestecat cât mai omogen cu un combustibil solid tip biomasă – deșeu celulozic sau cărbune – mangal, având aceeași granulație cu minereul. Combustibilul solid prezintă procent redus de cenușă. Amestecul este introdus într-un *reactor paralelipipedic vertical* (numit în continuare RGH – reactor de gazificare a combustibilului solid și producere de hidrogen), ilustrat în Figura 1, care prezintă schema generală a instalației de gazificare propuse. La nivelul RGH, are loc gazificarea combustibilului solid în principal, cu generarea unui agent gazos reducător (îndeosebi CO și H₂) pentru minereu în prima parte și generarea ulterioară de hidrogen. Temperatura de lucru în RGH este de circa 950°C, iar presiunea de lucru este relativ joasă, sub 10 bari. Hidrogenul este destinat în principal consumului extern și, în paralel, producerii pulberii de fier într-un al doilea reactor vertical, numit în continuare RF. În RF se realizează dezoxidarea completă (la temperaturi de 540–580°C) a unui alt minereu de fier cu granulația cât a pulberii de fier finale, dorită (de exemplu sub 200 micrometri).

În scopul evitării segregării granulelor de fier învecinate și al formării de aglomerări, se va introduce în RGH, până la 50% volumic, un material inert mărunț, de exemplu nisip cuarțos, relativ 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 RGH. Ca măsură suplimentară, amestecul va fi răscolit cu ajutorul unor vătraie sau cabluri multifilare flexibile rotative. Din minereul relativ grosier, amestecat cu nisipul (recirculat) ieșit din reactor la temperatura de 50–70°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 (minereu - combustibil solid – nisip) este încălzit la aproximativ 950°C, prin mijloace termice în sine cunoscute (majoritar cu căldură recuperată) și intră prin mai multe canale verticale paralele, într-o primă zonă de dezoxidare. În cazul folosirii cărbunelui, formarea de CO va fi stimulată de gazificarea cu abur a carbonului din combustibilul solid, conform reacției: $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$.

Pereții canalelor permit trecerea gazelor în sens alternant și perpendicular cu axa lor, reținând în canale granulele încărcăturii. Efortul de împingere a încărcăturii în pereți se descarcă reciproc, prin distanțieri repartizați uniform între pereți. Una dintre reacțiile principale de reducere este de tipul: $FeO_x + C \rightarrow Fe + (0,15-0,71) CO + (0,85-0,29) CO_2$. Concentrația medie a monoxidului (CO) este de circa 50% volumetric. La ieșirea din RGH 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 minute, prin pereții canalelor menționate, cu ajutorul unui dispozitiv în sine conceput, plasat în exterior. Spațiile dintre canale sunt racordate din două în două la acest dispozitiv. Această alternanță 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, care reține CO₂, ce poate fi colectat, depozitat și valorificat.

Astfel separat, amestecul gazos rămas, de H_2 și CO , va fi încălzit în două trepte: preîncălzire la circa $920^\circ C$ și o încălzire finală la $950^\circ C$. Apoi, el este reintrodus în RGH. Acesta realizează o dezoxidare avansată a minereului de fier. Amestecul solid format din materia primă (minereu), nisip și combustibil solid (celuloză sau cărbune) va trece apoi printr-o zonă obturată pentru gaze. Pentru a asigura o relativă 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 circa 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 circa $600^\circ C$, pregătit în exterior de un generator de abur în sine cunoscut.

Prin reacția $Fe + H_2O \rightarrow H_2 + \text{oxizi}$, se oxidează amestecul granular, cu producere de hidrogen curat, similar în calitate cu cel produs prin reacția de electroliză, reformând totodată minereul. Alternanța orizontală a sensului de curgere a aburului asigură uniformitatea și intensifică procesul de oxidare, realizându-se prin dispozitive în sine cunoscute și concepute. Amestecul granular care va ieși din zona de oxidare, cu o compoziție aproximativă de circa 10% Fe și 90% oxizi, va fi răcit și va coborî 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 ce se va constata că minereul trecut prin reactor își pierde reactivitatea.

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

În reactorul secundar, RF, se introduce o făină de minereu de fier, cu granulație determinată de cea a pulberii de fier finale (de exemplu sub 200 micrometri). În scopul evitării lipirii particulelor de fier și al îmbunătățirii condițiilor de tranziție prin reactor, minereul este amestecat cât mai omogen cu nisip corindonic sau silicios cu granulație de 0,5–1 mm. Amestecul este încălzit la circa $570^\circ C$ și se deplasează prin niște canale verticale similare cu cele din RGH, cu pereți permeabili la gaze. În RF este introdus hidrogenul produs în RGH, care traversează canalele menționate, de regulă în contracurent. Hidrogenul preia oxigenul din oxizii de fier și se transformă parțial în H_2O (abur). Amestecul de H_2 și H_2O ieșit din RF este mai întâi răcit pentru condensarea H_2O . Căldura cedată în răcitor este parțial recuperată prin încălzirea hidrogenului, care se introduce în RF împreună cu hidrogenul de completare adus de la RGH. După dezoxidare completă, amestecul de pulbere de fier și nisip este încălzit la $800^\circ C$, pentru depiroforizarea fierului, operație urmată de răcirea la $50^\circ C$. Pulberea de fier și nisip sunt separate la partea inferioară a RF, prin mijloace în sine cunoscute (de exemplu cu niște magneți) iar nisipul este condus la un amestecător și omogenizat cu minereu proaspăt.

Noul amestec este trimis cu un elevator în partea superioară a RF, într-un acumulator de tip buncăr al RF. Pulberea de fier tratată termic (nepiroforică) este colectată în saci sau în cutii. Procedul permite obținerea de pulbere ultrafină de fier. Punerea în funcțiune a instalațiilor care aplică procedul presupune că toate componentele sunt aduse la temperatura de regim, după care începe curgerea de minereu în RGH și, după 3-4 ore, a celui din RF.

Procedul propus în cadrul invenției, prezintă următoarele avantaje:

- se obține hidrogen curat în condiții înalt 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, etc.), în industria energetică;
- se obține pulbere de fier moale de înaltă puritate, fără carbon și nepiroforică; este foarte utilă în industrie, la producerea de piese sinterizate, electrozi de sudură, obținere de aliaje speciale cu o compoziție exactă a metalelor, în operația de doctorizare – rafinare a benzinelor (eliminarea sulfului), în industria farmaceutică, etc.; în ultimul timp, pulberea de fier se poate utiliza și la neutralizarea apelor reziduale precum și creșterea profitabilă și ecologică a algelor;
- emisiile de CO sunt excluse, iar cele de CO₂ și alte noxe sunt minimizate;
- permite valorificarea unor deșeuri celulozice de tip paie, stuf, 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 RHG (atât dezoxidarea, cât și reoxidarea) sunt realizate parțial, dar în proporții adecvate producerii hidrogenului curat;
- se utilizează minereu de fier nepelletizat, cu granulație mică și suprafețe specifice mari, de schimb de căldură și masă cu agenții gazoși, având coeficienți de transfer de zeci de ori mai mari decât în cazul peletelor;
- 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 puternic 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;
- instalațiile care vor aplica procedul ocupă o suprafață mică de teren și pot fi realizate cu materiale autohtone, fără costuri mari de investiții și exploatare.

În continuare, se dă un exemplu nelimitativ de aplicare a procedului, în legătură cu Figura 1, care reprezintă schema unui RGH, ce poate produce aproximativ 12 m³_n/h hidrogen curat, utilizând un minereu de fier de tip hematită, cu granulație medie de circa 2 mm. Se poate utiliza mangal și 50% volumetric nisip cuarțos granular, ambele cu aceeași granulație ca 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 într-un reactor paralelipipedic vertical RGH (1), cu secțiunea orizontală de $0,5 \times 0,4 \text{ m}^2$ și înălțimea de 2 m. El ajunge într-o primă zonă de dezoxidare (2), unde se încălzește la 950°C , prin mijloace termice în sine cunoscute, neindicate în schemă. Prin pereții unor canale verticale aflate în zona (2), trec în sens alternant și orizontal gaze formate preponderent din CO și CO_2 , granulele încărcăturii reținându-se în canale. Alternanța este asigurată prin dispozitivele (3), în sine cunoscute. Se vor recircula circa $36 \text{ kg/h} \approx 12 \text{ dm}^3/\text{h}$ minereu, iar volumul amestecului solid este de circa $32 \text{ dm}^3/\text{h}$, în reactor aflându-se în permanență un volum de circa $60 \text{ dm}^3/\text{h}$. Consumul de carbon (C) este de circa $3,3 \text{ kg/h}$, în cursul dezoxidării. Monoxidul de carbon (CO) evoluează la bioxid (CO_2), eliminând circa $6 \text{ m}^3/\text{h}$ (ca intermediar al evoluției la CO_2) și ocupă același volum ca și CO_2 , evacuându-se doar 29%. Debitul recirculat din amestecul (CO + CO_2) prin RGH este de $6/0,29 \approx 20,7 \text{ m}^3/\text{h}$, pentru eliminarea completă a carbonului rămas după zona de dezoxidare (2). Se realizează o gazificare cu abur introdus din exterior, generând CO și H_2 . Amestecul gazos trece prin niște schimbătoare de căldură răcitoare (4), de unde amestecul gazos format din CO, CO_2 , H_2 este preluat de un compresor (5), apa fiind eliminată printr-un separator de condens – purje (6). Gazul relativ uscat ajunge într-un decarbonator (7), eliminând circa $6 \text{ m}^3/\text{h}$ CO_2 , iar, după recirculare, amestecul gazos reducător (CO + H_2) este introdus în RGH.

În scopul creșterii utilizării agentului reducător, se realizează recircularea agenților gazoși cu mai multe perioade de contact între agenții redox și minereu. Urmează reținerea în instalații exterioare compacte a componentelor cu reacția finalizată, componentele cu activitatea nealterată fiind reintroduse în RGH. Amestecul solid de circa 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 circa 600°C , pregătit în exterior într-un generator (9) în sine cunoscut. Aburul trecut prin fierul parțial redus generează hidrogen curat. Acesta este trimis printr-o conductă (10) la un reactor RF de producere a pulberii de fier, lipsit complet de carbon, prin reducerea cu H_2 a unui alt minereu având granulația determinată de cea a pulberii finale de fier. Reactorul RF face parte din instalația completă, dar nu apare în schemă. Hidrogenul produs în RGH poate fi de asemenea utilizat pentru consumul extern.

Revendicări

1. Procedeu de producere concomitentă de hidrogen curat și pulbere de fier fără carbon, în flux continuu, prin oxidarea cu abur a fierului obținut anterior din minereu (tip hematită) redus cu biomasă – deșeuri celulozice sau cărbune – mangal; amestecul este introdus într-un reactor paralelipipedic vertical RGH; fierul parțial redus este oxidat cu abur, eliberând hidrogen, caracterizat prin aceea că minereul nepelletizat și biomasă sunt mărunțite la o granulație medie de 1,5–3 mm și, în scopul evitării segregării granulelor de fier vecine sau al formării de aglomerări în amestecul menționat, se introduce până la 50% volumetric nisip cuarțos, ce are aceeași granulație cu minereul; întregul amestec va fi introdus în reactorul RGH menționat, fiind omogenizat (prin răscolire) cu ajutorul unor vătraie sau cabluri flexibile și încălzit la 950°C prin mijloace în sine cunoscute, intrând prin mai multe canale verticale, într-o zonă de dezoxidare; pereții canalelor permit trecerea gazelor prin straturile de minereu, în sens alternant și perpendicular, încărcătura fiind reținută în canale; efortul de împingere a încărcăturii în pereți se descarcă reciproc prin distanțieri repartizați uniform între aceștia; hidrogenul produs în RGH este utilizat într-un alt reactor vertical, RF, unde se produce pulberea de fier prin dezoxidarea completă cu hidrogen a unei făiri de minereu de fier, cu obținere de pulbere de fier fără carbon, având granulația dorită.
2. Procedeu de producere de hidrogen, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că o parte din amestecul gazos de (CO, CO₂, H₂ și H₂O) obținut în cazul utilizării celulozei, trece printr-un răcitor R₁, în care se răcește de la 950° la circa 80°C și o altă parte – printr-un răcitor R₂, legat în paralel cu primul, în care va ceda căldură utilizată la preîncălzirea materiei prime; gazul ieșit din cele două răcitoare trece printr-un nou răcitor cu aer R₃, în care temperatura gazului scade la circa 30°C; la ieșirea din RGH (zona 2), amestecul gazos (CO, CO₂, H₂ și H₂O) va trece alternant (de exemplu la fiecare 4-5 minute) 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, cu intensificarea reacțiilor și reducerea duratei proceselor; din amestecul menționat, se rețin vaporii de apă prin răcire și condensare, restul trecând printr-un decarbonator, care reține CO₂, ce poate fi colectat, depozitat și valorificat; astfel separat, amestecul gazos rămas (CO și H₂) va fi introdus în răcitorul R₁, unde se va încălzi la circa 920°C și apoi la 950°C, fiind reintrodus în RGH și realizând o dezoxidare avansată a minereului de fier; amestecul solid format din materia primă (minereu), nisip și combustibil solid, va trece apoi printr-o zonă, obturată pentru gaze, pentru a asigura o relativă etanșare satisfăcătoare între zonele prin care circulă gaze diferite; după zona de dezoxidare (2) urmează o alta de mică înălțime, unde se introduce o cantitate redusă de abur, care reduce puternic restul de carbon, reoxidând totodată o mică parte din fierul produs anterior; în amestecul solid, rezultă o compoziție de circa 90% Fe și 10% oxizi de fier (îndeosebi FeO), care parcurge o zonă cu pereți plini; aceeași procedură, dar simplificată, se aplică în cazul utilizării de cărbune pe post de combustibil solid; pentru evitarea depunerilor de piatră pe suprafețele de schimb de căldură ale răcitorului R₂, se va folosi, ca agent încălzit, apă dedurizată.

3. Procedeu de producere de hidrogen, conform revendicărilor 1 și 2, caracterizat prin aceea că, după zona de reducere, urmează o alta prin care va circula alternant abur preîncălzit la circa 600°C, pregătit în exterior; prin reacția $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} + \text{oxizi} \rightarrow \text{H}_2 + \text{oxizi}$, are loc reoxidarea fierului parțial redus, asigurând producerea de hidrogen curat; alternanța se realizează prin dispozitive externe în sine cunoscute; în scopul creșterii utilizării agentului reducător, se realizează recircularea agenților gazoși și mai multe perioade de contact între agenții redox și minereu, cu reținerea în instalații exterioare compacte, a componentelor cu reacția finalizată, cele cu activitatea nealterată fiind reintroduse în circuit; după zona de extragere a hidrogenului, amestecul granular, format din nisip cuarțos și circa 10% fier și 90% oxizi de fier, este răcit, ajungând la capătul inferior al canalelor, unde sunt prevăzute dispozitive de reglare a debitului de minereu reoxidat; minereul extras intră într-un malaxor, unde se amestecă omogen cu cărbune sau deșeu celulozic, de unde este ridicat și reintrodus în reactor, pe la partea superioară; recircularea minereului de fier supus reacțiilor redox se realizează de mai multe ori, reluând ciclul, până ce se constată că minereul trecut prin reactor își pierde reactivitatea.
4. Procedeu de gazificare cu producere de hidrogen curat, conform revendicărilor 1, 2 și 3, caracterizat prin aceea că, în reactorul RF, se introduce o făină de minereu de fier, cu granulație determinată de granulația pulberii de fier finale (de exemplu sub 200 micrometri); în scopul evitării lipirii particulelor de fier și al îmbunătățirii condițiilor de tranziție, minereul este amestecat cât mai omogen cu nisip corindonic sau silicios, având o granulație de 0,5-1 mm; amestecul este încălzit la circa 570°C și se deplasează prin niște canale verticale similare cu cele din RGH, cu pereți permeabili la gaze; în RF este introdus hidrogenul produs în RGH, care traversează canalele menționate; hidrogenul preia oxigenul din oxizii de fier și se transformă parțial în H_2O (abur); căldura cedată în răcitor de amestecul fier și nisip este parțial recuperată prin încălzirea hidrogenului care se recirculă în RF, împreună cu hidrogenul de completare adus de la reactorul principal RGH; după dezoxidarea completă, amestecul de pulbere de fier și nisip este inițial încălzit la 800°C, pentru depiroforizarea fierului și apoi este răcit la 50°C; pulberea de fier și nisipul sunt separate la partea inferioară a RF, prin mijloace în sine cunoscute (de exemplu cu ajutorul unor magneți); nisipul este condus la un amestecător și omogenizat cu minereu proaspăt; noul amestec este ridicat cu un elevator într-un acumulator de tip buncăr, aflat în partea superioară a RF; pulberea de fier nepiroforic este colectată în saci sau cutii; procedeul permite obținerea de pulbere ultrafină de fier moale, cu granulație sub 200 micrometri, din făinuri de minereu de fier.

Desen explicativ

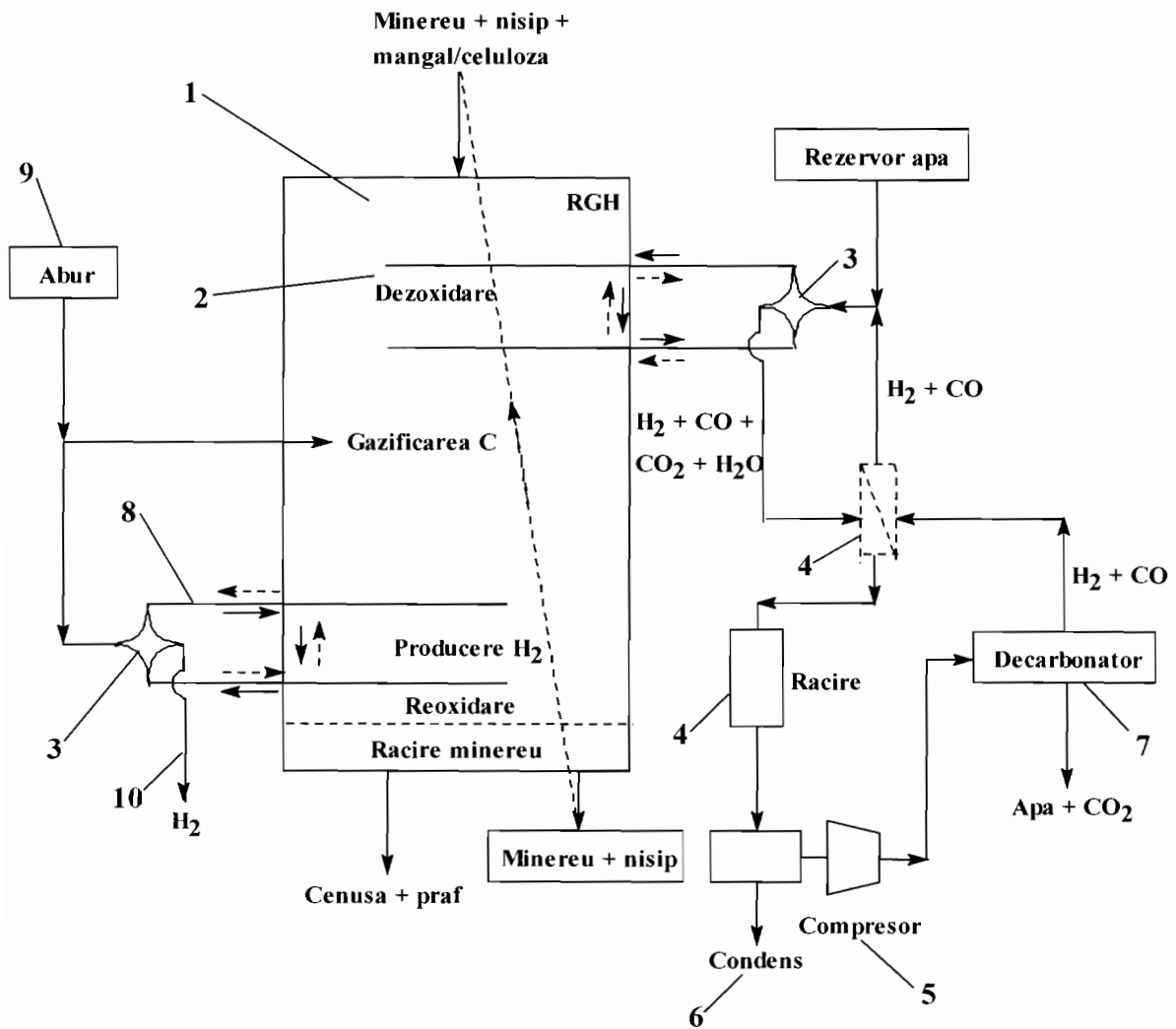


Fig. 1. Schema generală a instalației de gazificare cu producere de hidrogen curat.