



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0041576

(51)^{2020.01} C21B 13/00; F27B 15/09; F27B 15/10; (13) B
F27B 15/08

(21) 1-2021-05997

(22) 12/03/2020

(86) PCT/EP2020/056580 12/03/2020

(87) WO2020/187672 24/09/2020

(30) 19163059.9 15/03/2019 EP

(45) 25/11/2024 440

(43) 25/07/2022 412

(73) PRIMETALS TECHNOLOGIES AUSTRIA GMBH (AT)

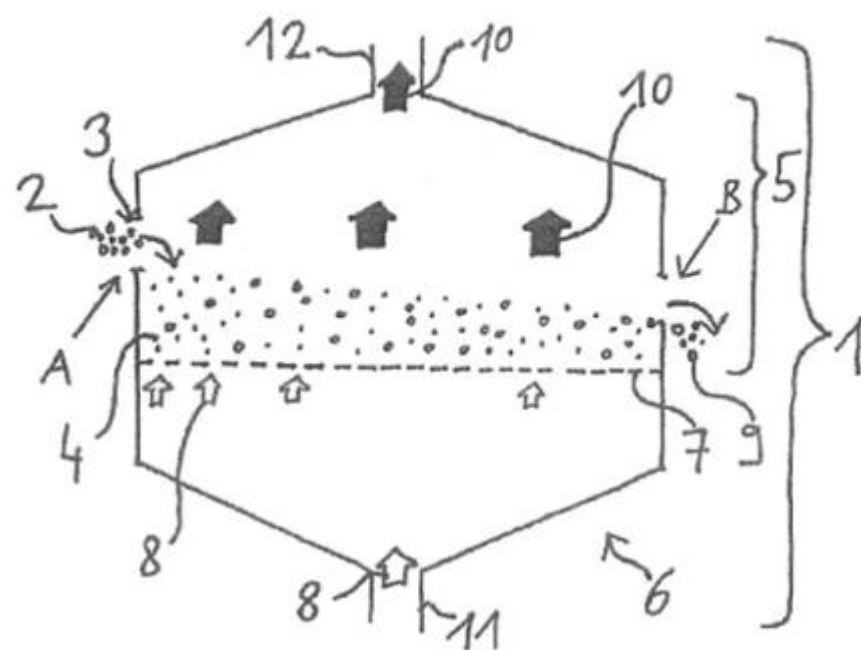
Turmstraße 44, 4031 Linz, AUSTRIA

(72) REIN, Norbert (AT); WURM, Johann (AT); HIEBL, Bernhard (AT); OFNER, Hanspeter (AT); EISL, Roland (AT).

(74) Công ty Luật TNHH Phạm và Liên danh (PHAM & ASSOCIATES)

(54) QUY TRÌNH HOÀN NGUYÊN TRỰC TIẾP CÁC HẠT CHỨA SẮT OXIT
TRONG TẦNG SÔI, THIẾT BỊ XỬ LÝ TÍN HIỆU VÀ VẬT GHI LƯU TRỮ

(57) Sáng chế đề cập đến quy trình hoàn nguyên trực tiếp các hạt chứa sắt oxit (2) thành sản phẩm hoàn nguyên (9) trong tầng sôi (4) qua đó khí hoàn nguyên (8) chứa 30 - 100 mol% hydro H₂ được thổi cắt ngang. Ít nhất 90% khối lượng của các hạt chứa sắt oxit (2) được đưa vào tầng sôi (4) có cỡ hạt nhỏ hơn hoặc bằng 200 µm. Tốc độ bề mặt U của khí hoàn nguyên (9) thổi qua tầng sôi (4) được thiết lập trong khoảng từ 0,05 m/s đến 1 m/s sao cho, đối với cỡ hạt d bằng d₃₀ của các hạt chứa sắt oxit (2) được đưa vào tầng sôi (4), tốc độ này cao hơn tốc độ theo lý thuyết đang thịnh hành U_t và thấp hơn hoặc bằng U_{max}. Sáng chế cũng đề cập đến thiết bị xử lý tín hiệu và vật ghi lưu trữ chứa mã chương trình để thực hiện quy trình theo sáng chế.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế này đề cập đến quy trình hoàn nguyên trực tiếp các hạt chứa sắt oxit thành sản phẩm hoàn nguyên trong tầng sôi mà qua đó khí hoàn nguyên chứa 30 – 100 mol% hydro H_2 được thổi cắt ngang.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Đã biết nhiều quy trình khác nhau để hoàn nguyên trực tiếp các hạt chứa sắt oxit, ví dụ quặng sắt, bằng lớp sôi mà qua đó khí hoàn nguyên được thổi qua. Một số quy trình đã và đang được sử dụng với quy mô thương mại là: FIOR, FINMET, FINEX, CIRCORED.

Trong bản mô tả sáng chế này, thuật ngữ “quặng sắt” được dùng để chỉ cả hai loại quặng: loại được cấp trực tiếp tới quy trình hoàn nguyên sau khi được khai thác từ mỏ và loại được cấp tới quy trình hoàn nguyên sau khi đã qua một số bước xử lý hoặc xử lý sơ bộ khác sau khi được khai thác. Trong mọi trường hợp, trong quặng luôn có mặt sắt ở dạng oxy hóa.

Trong các quy trình lớp sôi dùng để hoàn nguyên quặng sắt, khí hoàn nguyên thường được thổi ngược chiều trọng lực qua các hạt ở trạng thái rắn – tức là các hạt chứa sắt oxit, ví dụ nguyên liệu quặng sắt rời. Điều đó giữ cho các hạt rắn này ở trạng thái sôi, tức là lơ lửng, và phần thể tích mà khí thổi qua hiệu quả có xu hướng chảy như chất lỏng, còn được gọi là hóa lỏng. Tầng sôi cũng được sử dụng để vận chuyển chất rắn, ví dụ trong các băng tải khí nén với sự chuyển động của chất rắn và chất khí cắt ngang nhau.

Sự phát triển của lớp sôi có thể được chia thành các giai đoạn khác nhau theo mức độ hoạt động của tầng sôi, ví dụ tối thiểu/đều/tạo bóng/rời. Xuất phát từ cái gọi là trạng thái tĩnh, trong đó khí hoàn nguyên được thổi qua lớp vật liệu rời mà không hóa lỏng nó. Với sự tăng lên của tốc độ khí, tầng sôi bắt đầu với trạng thái sôi tối thiểu và sau đó chuyển sang trạng thái sôi đều khi tốc độ khí tiếp tục

tăng. Trạng thái sôi của lớp sôi phụ thuộc vào tốc độ khí, tỷ trọng khí và độ nhớt khí, và vào khối lượng và tỷ trọng của hạt, hình dạng, thể tích hạt và phân bố cỡ hạt của các hạt rắn được dùng. Thuật ngữ “lớp sôi” đồng nghĩa với thuật ngữ “tầng sôi”; cả hai thuật ngữ được sử dụng như nhau trong bản mô tả này. Tại điểm hóa lỏng, có sự chuyển từ lớp cố định sang lớp sôi.

Về nguyên tắc, trong lớp sôi, vì có diện tích trao đổi lớn giữa chất rắn và chất khí, nên dễ đạt được tốc độ truyền nhiệt và khối lượng tương đối cao. Điều này dẫn đến tốc độ chuyển hóa đặc hiệu cao trong các phản ứng hoàn nguyên.

Khả năng đạt được tỷ lệ kim loại hóa các sản phẩm hoàn nguyên với quy mô công nghiệp và thương mại tùy thuộc vào nhiều yếu tố.

Để hoàn nguyên một mol sắt oxit thành sắt kim loại, cần cung cấp một lượng khí hoàn nguyên ít nhất bằng với lượng tính theo hệ số tỷ lượng của phản ứng hoàn nguyên. Thể tích khí hoàn nguyên cần được vận chuyển qua khối chất rắn trên thực tế được xác định bằng vị trí cân bằng nhiệt động học giữa các trạng thái oxy hóa khác nhau của quặng và khí hoàn nguyên. Vị trí cân bằng này có thể bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ.

Với chế độ vận hành trong điều kiện áp suất cao, có thể tăng tốc độ thổi khí hoàn nguyên, nhưng điều này cũng có bất lợi là phải đáp ứng những yêu cầu cao hơn về công nghệ thiết kế và an toàn của thiết bị hoàn nguyên.

Một nhược điểm phát sinh ở nhiệt độ cao là các hạt chất rắn có xu hướng kết tụ lại – còn được gọi là kết dính – gây ảnh hưởng bất lợi đến sự vận hành của lớp sôi, ví dụ thông qua quá trình khử lỏng.

Với chế độ vận hành ở tốc độ khí cao, có thể tăng tốc độ thổi khí hoàn nguyên.

Trong bản mô tả sáng chế này, thuật ngữ “tốc độ khí” có nghĩa là tốc độ bề mặt.

Tốc độ khí tối đa có thể dùng trên thực tế trong trường hợp nguyên liệu dạng hạt rắn rời cụ thể – và do đó thể tích khí tối đa có thể vận chuyển qua lớp sôi trên một đơn vị diện tích và trên một đơn vị thời gian – được tính toán từ tốc độ khí mà

cao hơn nó thì tỷ lệ các hạt chất rắn thoát ra khỏi lớp sôi không còn có thể bỏ qua được.

Trạng thái mà tại đó tốc độ khí tương ứng với tốc độ lắng của các hạt ở trạng thái rắn được gọi là điểm xả. Tốc độ khí của khí hoàn nguyên tại điểm xả bằng tốc độ lắng của các hạt ở trạng thái rắn và được gọi là tốc độ tầng sôi. Khi tốc độ khí được tăng tiếp lên, thì các hạt ở trạng thái rắn sẽ bị khí cuốn theo và thoát ra khỏi lớp sôi ngược chiều trọng lực. Các hạt ở trạng thái rắn thoát ra khỏi lớp sôi sẽ không còn tham gia vào các phản ứng trong lớp sôi, làm giảm hiệu quả của quy trình hoàn nguyên trong lớp sôi.

Các hạt ở trạng thái rắn có kích cỡ càng nhỏ, thì tốc độ tầng sôi càng thấp. Tốc độ khí thấp dẫn đến nhu cầu cần có thiết bị phản ứng có diện tích cao để đảm bảo năng suất nhất định cho các cỡ hạt nhỏ. Tuy nhiên, việc tăng diện tích của thiết bị phản ứng bị các nhược điểm như kết cấu phức tạp hơn, giá thành vận hành cao hơn, dễ bị lỗi hơn. Diện tích thiết bị phản ứng lớn bị cản trở trong các công nghệ hiện đang được sử dụng, ví dụ do phải áp dụng các biện pháp phức tạp về công nghệ và vận hành an toàn – ví dụ làm tăng đáng kể áp suất, vận hành với lớp sôi rồi bao gồm cả việc tái chế các chất rắn thoát ra.

Trong trường hợp xử lý các hạt chứa sắt oxit có tỷ lệ cao các cỡ hạt nhỏ, các vấn đề phát sinh là tốc độ khí có thể sử dụng thấp và yêu cầu liên quan đến thiết bị phản ứng có diện tích cao.

Một biện pháp để tăng tốc độ xả là kết tụ các hạt rắn nhỏ trước khi cấp chúng tới công đoạn hoàn nguyên trong lớp sôi.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật

Mục đích của sáng chế là đề xuất các quy trình và thiết bị mà, với mức độ yêu cầu về mặt an toàn tương đối thấp và ít phức tạp về mặt kết cấu và vận hành, cho phép sử dụng các hạt chứa sắt oxit chứa ít nhất 90% theo khối lượng là các hạt có cỡ hạt không lớn hơn 200 μm để hoàn nguyên trực tiếp trong tầng sôi mà không cần qua bước tạo kết tụ trước đó.

Giải pháp kỹ thuật

Mục đích của sáng chế đạt được bằng:

quy trình hoàn nguyên trực tiếp các hạt chứa sắt oxit thành sản phẩm hoàn nguyên trong tầng sôi mà qua đó khí hoàn nguyên chứa 30 – 100 mol% hydro H_2 được thổi cắt ngang,

khác biệt ở chỗ

các hạt chứa sắt oxit được đưa vào tầng sôi có cỡ hạt không lớn hơn 200 μm với lượng ít nhất là 90% theo khối lượng,

và ở chỗ tốc độ bề mặt U của khí hoàn nguyên thổi qua tầng sôi được thiết lập trong khoảng từ 0,05 m/s tới 1 m/s sao cho nó lớn hơn tốc độ tầng sôi lý thuyết U_t và không lớn hơn U_{max} cho cỡ hạt $d = d_{30}$ của các hạt chứa sắt oxit được đưa vào tầng sôi.

Trị số cỡ hạt d_{30} của các hạt chứa sắt oxit được đưa vào có nghĩa là 30% khối lượng của các hạt chứa sắt oxit có cỡ hạt không lớn hơn d_{30} – tức là 70% khối lượng có cỡ hạt lớn hơn.

Giá trị dự đoán theo lý thuyết U_t đối với cỡ hạt d được tính theo công thức sau:

$$U_t = \sqrt{\left(\frac{4}{3} * \frac{(\rho_p - \rho_g)}{\rho_g} * \frac{d * g}{C_w}\right)}$$

$$\text{trong đó } C_w = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt{Re}} + 0,4 \text{ và } Re = \frac{\rho_g * U_t * d}{\mu}$$

U_{max} được tính toán theo mối tương quan thực tế xác định được giữa cỡ hạt và tốc độ tầng sôi đối với cỡ hạt $d = d_{30}$ như sau:

$$U_{max} = (40000 * d)^{2,78}$$

U_t tốc độ tầng sôi lý thuyết, m/s

U_{max} tốc độ bề mặt tối đa đối với $d = d_{30}$, m/s

ρ_p tỷ trọng hạt, kg/m^3

ρ_g tỷ trọng khí hoàn nguyên, kg/m^3 ; ở trạng thái vận hành

d	cỡ hạt, m
g	gia tốc trọng trường, m/s^2
μ	độ nhớt động học, $kg/(m \cdot s)$
c_w	hệ số ma sát
Re	số Reynolds

Theo một lý thuyết đang thịnh hành, mối quan hệ nêu trên của U_t cho thấy rằng, khi thiết lập tốc độ bề mặt U cao hơn tốc độ tăng sôi lý thuyết U_t có thể áp dụng cho cỡ hạt d_{30} của các hạt chứa sắt oxit được đưa vào tầng sôi, thì nhiều hơn 30% khối lượng các hạt sẽ thoát ra ngoài.

Một điều bất ngờ là, khi các hạt chứa sắt oxit với ít nhất 90% khối lượng có cỡ hạt không lớn hơn $200 \mu m$ được đưa vào tầng sôi, đã phát hiện thấy rằng có ít hơn các hạt thoát ra trong quy trình theo sáng chế mặc dù U đã vượt quá U_t đối với cỡ hạt $d = d_{30}$, với điều kiện tốc độ bề mặt U không lớn hơn U_{max} đối với $d = d_{30}$. Do đó, với một tỷ lệ thoát tối đa có thể chấp nhận được, có thể làm việc với tốc độ khí cao hơn so với tốc độ lý thuyết. Tốt hơn nếu tốc độ bề mặt U được điều chỉnh sao cho không lớn hơn 30% khối lượng bị thoát ra – tức là U_{max} đối với $d = d_{30}$, tốt hơn nữa là sao cho không lớn hơn 25% theo khối lượng bị thoát ra, còn tốt hơn nữa là sao cho không lớn hơn 20% theo khối lượng bị thoát ra, và cực kỳ tốt hơn là sao cho không lớn hơn 15% theo khối lượng bị thoát ra.

Theo sáng chế, khí hoàn nguyên được dẫn qua lớp sôi ở tốc độ lớn hơn $0,05 m/s$, tốt hơn nếu lớn hơn $0,1 m/s$. Với các thông số được chọn theo sáng chế, các hạt chứa sắt oxit trong tầng sôi được tạo thành, mà qua đó khí hoàn nguyên được thổi cắt ngang, thể hiện các đặc tính khác với các đặc tính được dự đoán theo lý thuyết đang thịnh hành – tức theo mối quan hệ của U_t nêu trên. Dưới tốc độ $0,05 m/s$, việc duy trì của tầng sôi khó được kiểm soát, và tỷ lệ giữa độ phức tạp của chế độ theo quy trình và năng suất có thể đạt được là thấp. Tốc độ thực tế được chọn cao hơn $0,05 m/s$, tốt hơn nếu cao hơn $0,1 m/s$, sẽ tùy thuộc vào mức độ thoát ra khỏi tầng sôi được cho phép bởi người vận hành. Một mặt, mong muốn có tốc độ cao hơn, vì nhờ đó mà diện tích thiết bị phản ứng cần để đạt được năng suất mong

muốn có thể nhỏ hơn. Mặt khác, tỷ lệ các hạt thoát ra sẽ tăng khi tăng tốc độ, và tỷ lệ các hạt thoát ra từ lớp sôi sẽ làm giảm năng suất có thể đạt được. Do đó, giới hạn trên của tốc độ bề mặt được chọn là 1 m/s.

Theo phương án được ưu tiên, quy trình theo sáng chế được thực hiện với tốc độ nằm trong khoảng từ 0,05 m/s tới 0,5 m/s, do năng suất và tỷ lệ các hạt thoát ra khi đó đều ở mức chấp nhận được.

Theo sáng chế, tầng sôi được sử dụng ở trạng thái sôi trong vùng tối thiểu; không có lớp sôi tuần hoàn nào được sử dụng.

Lượng thất thoát được tính cho giai đoạn từ lúc đưa các hạt chứa sắt oxit vào tầng sôi cho đến khi rút sản phẩm phản ứng được tạo ra từ đó – tức là trong thời gian lưu của các hạt này trong tầng sôi.

Về các vấn đề chung liên quan tới việc hoàn nguyên trong lớp sôi hoặc tầng sôi, có thể tham khảo phần tình trạng kỹ thuật nêu trên. “A” trong bản mô tả tiếng Anh cần được hiểu là mạo từ không xác định trong cụm từ tiếng Anh “in a fluidized bed” có nghĩa là “trong tầng sôi”.

Các hạt chứa sắt oxit có thể là quặng sắt hoặc nguyên liệu được nghiền mịn tương ứng chứa sắt oxit, ví dụ bụi lò thổi, bụi thiêu kết, bụi của quá trình vê viên hoặc các dòng tái tuần hoàn khác từ các lò sản xuất sắt hoặc thép; chúng cũng có thể là hỗn hợp của các loại này. Theo sáng chế, thuật ngữ “quặng sắt” có nghĩa là quặng được cấp trực tiếp tới quy trình hoàn nguyên sau khi được khai thác từ mỏ hoặc quặng được cấp tới quy trình hoàn nguyên sau khi đã qua một số bước xử lý sau khi được khai thác – ví dụ tuyển nổi – hoặc các bước xử lý sơ bộ khác. Trong mọi trường hợp, sắt ở dạng oxy hóa luôn có mặt.

Khoảng cỡ hạt và phân bố cỡ hạt thu được từ công đoạn sản xuất nguyên liệu ban đầu với quy mô công nghiệp. Chúng được xác định bằng cách phân tích qua sàng. Nguyên liệu gồm các hạt chứa sắt oxit có cỡ hạt không lớn hơn 200 μm với lượng ít nhất là 90% theo khối lượng – và thường với lớn hơn 50% khối lượng các hạt nhỏ hơn 50 μm – là, ví dụ, nguyên liệu dạng viên tròn. Quy trình phân tích theo ISO13320 phiên bản 03/2019 được sử dụng.

Khí hoàn nguyên có thể cấu thành từ hydro H_2 hoặc là hỗn hợp chứa hydro với một hoặc nhiều chất khí khác. Ví dụ, có thể sử dụng hydro có độ tinh khiết kỹ thuật. Do vậy, chất hoàn nguyên chứa ít nhất là hydro H_2 . Các chất khí khác có thể cũng có tác dụng hoàn nguyên các hạt chứa sắt oxit, tức là chứa chất hoàn nguyên khác ngoài hydro H_2 . Chất khí khác có thể, ví dụ, là cacbon monoxit CO. Khí hydro có thể thu được, ví dụ, từ quá trình điện phân, tốt hơn nếu bằng năng lượng xanh, hoặc từ quá trình xử lý khí tự nhiên.

Động học của quá trình hoàn nguyên hydro H_2 bằng sắt oxit về cơ bản là thuận lợi hơn, đặc biệt là ở các nhiệt độ thấp, so với các chất khí khác, ví dụ so với cacbon monoxit CO. Do đó, khí hoàn nguyên, theo sáng chế, cần phải chứa ít nhất 30 mol% hydro H_2 , để đảm bảo cho động học quá trình hoàn nguyên có thể được sử dụng một cách kinh tế trong khoảng nhiệt độ theo sáng chế được ưu tiên hơn nguy cơ kết dính. Do đó, bằng cách so sánh với khí hoàn nguyên có hàm lượng hydro thấp hơn, thì cần dùng lượng ít hơn khí hoàn nguyên mới để đạt được tỷ lệ kim loại hóa cụ thể. Do đó, bằng cách so sánh với khí hoàn nguyên có hàm lượng hydro thấp hơn, có thể cần quay vòng lượng ít hơn khí hoàn nguyên sau phản ứng từ tầng sôi sau khi xử lý nhằm mục đích sử dụng chất hoàn nguyên chưa phản ứng trong đó.

Khí hoàn nguyên được dẫn qua tầng sôi từ phần đáy lên trên, ngược chiều trọng lực. Theo sáng chế, quy trình được tiến hành theo kiểu thổi cắt ngang. Các hạt – các hạt chứa sắt oxit, các hạt trung gian, các hạt sản phẩm phản ứng – được chuyển dịch trong tầng sôi sao cho tạo thành dòng cắt ngang qua dòng khí hoàn nguyên. Trong quy trình theo sáng chế, các hạt chứa sắt oxit được đưa vào tầng sôi, và sản phẩm hoàn nguyên được lấy ra từ tầng sôi. Sự chuyển dịch từ đầu vào tới đầu ra về cơ bản là theo phương nằm ngang và cắt ngang qua dòng khí hoàn nguyên thổi ngược chiều trọng lực.

Trong trường hợp tầng sôi chuyển dịch cắt ngang – được thực hiện, ví dụ, trong máng tầng sôi – quá trình hoàn nguyên trực tiếp xảy ra trên toàn chiều dài – tốt hơn là theo phương xấp xỉ nằm ngang – của tầng sôi từ đầu vào tới đầu ra. Do vậy, có sự thay đổi về chất – ví dụ tỷ lệ của các loại sắt oxit như magnetit, hematit

hoặc vustit, hoặc độ xốp của các hạt – của sắt oxit trên toàn chiều dài của tầng sôi. Sự trộn lẫn ngược, như có thể xảy ra ở bất kỳ đâu trong lớp sôi ngay cả khi tương đối đồng nhất, là không mong muốn, vì do đó nguyên liệu ít được hoàn nguyên có thể chuyển dịch từ đầu vào tới đầu ra, hoặc thời gian lưu hạt sẽ trở nên không đồng nhất.

Sản phẩm hoàn nguyên – ví dụ sắt xốp DRI với mức độ kim loại hóa vượt quá 90% – có mức độ kim loại hóa cao hơn các hạt chứa sắt oxit. Mức độ kim loại hóa được định nghĩa là tỷ số giữa phần khối lượng sắt ở dạng kim loại và tổng khối lượng sắt có mặt trong sản phẩm hoàn nguyên:

$$\text{Mức độ kim loại hóa} = \frac{\text{khối lượng (Fe kim loại)}}{\text{khối lượng (tổng bộ Fe)}}$$

Theo một chế độ của quy trình, mức độ kim loại hóa của sản phẩm phản ứng có thể là khác nhau. Theo ứng dụng cuối sản phẩm phản ứng, có thể muốn có mức độ kim loại hóa cao hơn hoặc thấp hơn – ví dụ, trong trường hợp sử dụng quy trình theo sáng chế để hoàn nguyên sơ bộ nhằm mục đích hoàn nguyên cuối theo một vài cách khác, thì mức độ kim loại hóa cũng có thể thấp hơn mức độ kim loại hóa của sắt xốp DRI, ví dụ vào khoảng 60%.

Khoảng thời gian mà các hạt nguyên liệu có mặt trong tầng sôi để chuyển hóa thành sản phẩm phản ứng mong muốn – được gọi là thời gian lưu hạt – phụ thuộc vào động học của phản ứng hoàn nguyên cần thực hiện. Điều này lại phụ thuộc vào nhiều yếu tố, như thành phần của khí hoàn nguyên, tốc độ của khí hoàn nguyên, loại hạt chứa sắt oxit – ví dụ magnetit, hematit hay vustit cần được hoàn nguyên, hoặc độ xốp của các hạt cần được hoàn nguyên.

Thời gian lưu hạt tương ứng với khoảng thời gian cần thiết để các hạt này chuyển dịch từ đầu vào tới đầu ra – được đưa vào các hạt chứa sắt oxit, được lấy ra dưới dạng các hạt sản phẩm hoàn nguyên. Độ dài của thời gian lưu hạt phụ thuộc, ví dụ, vào khoảng cách từ đầu vào tới đầu ra và chiều cao của tầng sôi.

Theo một chế độ của quy trình theo sáng chế, chuyển động cắt ngang được thực hiện, ví dụ, trong tầng sôi về cơ bản là nằm ngang, tốt hơn là được liên tục bổ sung các hạt chứa sắt oxit và liên tục lấy ra sản phẩm hoàn nguyên, thời gian lưu

hạt có thể được điều chỉnh một cách dễ dàng bằng cách thiết lập chiều cao lớp sôi, ví dụ bằng các tấm ngăn. Thời gian lưu hạt cũng có thể được điều chỉnh bằng cách lựa chọn khoảng cách giữa đầu vào và đầu ra.

“Về cơ bản là nằm ngang” có nghĩa là phương sai so với phương ngang tối đa là 10° , tốt hơn nếu phương sai này tối đa là 5° , và tốt hơn nữa nếu phương sai này tối đa là 2° . Trong trường hợp phương sai quá cao so với phương ngang, thì chiều cao tầng sôi sẽ không đồng nhất dọc theo tầng sôi từ đầu vào tới đầu ra, điều này có tác động bất lợi đến khả năng kiểm soát thời gian lưu hạt.

Khí hoàn nguyên có mặt trong tầng sôi trong suốt thời gian lưu khí. Nếu thời gian lưu khí quá ngắn cho việc thiết lập trạng thái cân bằng gần đúng của phản ứng hoàn nguyên, thì lượng tương đối lớn chất hoàn nguyên chưa sử dụng sẽ rời khỏi tầng sôi.

Tỷ lệ chất hoàn nguyên chưa sử dụng trong dòng khí rời khỏi tầng sôi – được gọi là khí hoàn nguyên sau phản ứng – có thể được tác động qua chiều cao lớp sôi.

Chế độ cắt ngang của quy trình theo sáng chế tạo điều kiện dễ dàng cho việc đáp ứng các yêu cầu về thời gian lưu hạt và thời gian lưu khí.

Hiệu quả có lợi của sáng chế

Bằng quy trình theo sáng chế, có thể hoàn nguyên các hạt chứa sắt theo sáng chế một cách kinh tế mà không cần bước kết tụ trước. So với các quy trình đã biết, cũng có thể giảm được độ phức tạp về mặt kết cấu và vận hành của thiết bị để thực hiện quy trình này vì ít nhất là nhiệt độ, và có thể cả áp suất, là tương đối thấp. Điều này cũng dẫn tới việc chỉ cần các biện pháp an toàn với mức độ thấp hơn.

Việc tăng áp suất, thông qua việc tăng tốc độ thổi khí hoàn nguyên, có hiệu quả ở chỗ làm tăng được năng suất trên cùng một diện tích thiết bị phản ứng, hoặc giảm được diện tích thiết bị phản ứng cho cùng một năng suất.

Tuy nhiên, việc nâng áp suất dự định cũng kéo theo yêu cầu cao hơn đối với công nghệ thiết kế và an toàn của thiết bị hoàn nguyên.

Quy trình theo sáng chế tốt hơn là được tiến hành ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 773°K tới 1173°K (500°C – 900°C), kể cả các giá trị biên này. Điều này làm giảm nguy cơ kết dính các hạt trong tầng sôi không mong muốn thường gặp ở các nhiệt độ cao hơn. Dưới 773°K (500°C), quá trình hoàn nguyên, do các nguyên nhân nhiệt động học và động học, không được thực hiện với mức độ đáp ứng được các yêu cầu về mặt kinh tế.

Ví dụ, các hạt chứa sắt oxit được gia nhiệt sơ bộ và được đưa vào tầng sôi ở nhiệt độ lên tới 1173°K (900°C), và khí hoàn nguyên được đưa vào tầng sôi ở nhiệt độ lên tới 1023°K (750°C). Phản ứng hoàn nguyên bằng hydro H_2 là phản ứng thu nhiệt, nên thu được sản phẩm hoàn nguyên ở nhiệt độ thấp hơn, ví dụ khoảng 853°K (580°C).

Thay vì hoặc ngoài việc đun nóng sơ bộ bên ngoài tầng sôi, cũng có thể điều chỉnh tỷ lệ giữa các hợp phần hoàn nguyên tham gia phản ứng tỏa nhiệt – ví dụ cacbon monoxit CO – và các hợp phần hoàn nguyên tham gia phản ứng thu nhiệt – ví dụ hydro H_2 – trong khí hoàn nguyên sao cho nhiệt được cung cấp với mức độ mong muốn *in situ* trong tầng sôi.

Tốt hơn nếu quy trình theo sáng chế được tiến hành dưới áp suất được nâng lên cao hơn so với áp suất môi trường. Ở áp suất được nâng lên cao hơn, một mặt, vẫn cần có thêm các biện pháp đảm bảo an toàn đối với kết cấu thiết bị so với quy trình ở áp suất môi trường, và mặt khác giảm được nguy cơ do sự xâm nhập của không khí xung quanh vào thiết bị phản ứng. Tốt hơn nếu áp suất cao hơn này không lớn hơn 200KPa.

Theo một phương án ưu tiên, d₃₀ của các hạt chứa sắt oxit được đưa vào tầng sôi không lớn hơn 110 µm. Tầng sôi có thể được vận hành đặc biệt hiệu quả trong khoảng này vì tỷ lệ thoát ra của các hạt sắt oxit mịn không cao đến mức bất lợi, và việc hóa lỏng tầng sôi không bị gây khó bởi các cỡ hạt lớn.

Theo một phương án ưu tiên, quy trình theo sáng chế được tiến hành theo cách sao cho lượng hạt chứa sắt oxit với kích thước từ 15 µm tới 100 µm kể cả hai trị số này được đưa vào tầng sôi ở mức ít nhất là 50% theo khối lượng.

Trong khoảng này, tầng sôi có thể được vận hành đặc biệt hiệu quả vì tỷ lệ thoát ra của các hạt sắt oxit mịn không cao đến mức bất lợi, và việc hóa lỏng tầng sôi không bị gây khó bởi các cỡ hạt lớn.

Theo một phương án ưu tiên khác, quy trình theo sáng chế được thực hiện theo cách sao cho lượng hạt chứa sắt oxit với cỡ hạt không nhỏ hơn 15 μm được đưa vào tầng sôi ở mức ít nhất là 50% theo khối lượng. Trong khoảng này, tầng sôi có thể được vận hành đặc biệt hiệu quả vì tỷ lệ thoát ra của các hạt sắt oxit mịn không cao đến mức bất lợi.

Các hạt chứa sắt oxit càng mịn, thì việc khử bụi khí hoàn nguyên đã sử dụng càng phức tạp vì tỷ lệ bụi thoát ra càng cao. Hơn nữa, bản thân tầng sôi có thể kém ổn định hơn và khó kiểm soát hơn khi giảm kích thước của các hạt chứa sắt. Các hạt chứa sắt oxit nhỏ hơn 10 μm tốt hơn là có mặt với tỷ lệ không lớn hơn 30% theo khối lượng. Quy trình theo sáng chế có thể được kiểm soát một cách hiệu quả ít nhất là tới độ mịn này của các hạt chứa sắt oxit.

Tầng sôi cũng có thể có các vùng khác nhau với các chiều cao lớp sôi khác nhau. Nói chung, trong trường hợp các hạt chứa sắt oxit, vì sắt có mặt ở các trạng thái oxy hóa khác nhau, nên quá trình hoàn nguyên xảy ra trong nhiều giai đoạn qua nhiều sản phẩm trung gian – ví dụ từ magnetit qua hematit thành vustit. Do những nguyên nhân về hình thái học, nhiệt động học và động học, luôn có sự khác nhau về giá trị tối ưu của thời gian lưu hạt và thời gian lưu khí đối với các giai đoạn khác nhau hoặc sản phẩm trung gian khác nhau. Các sản phẩm trung gian khác nhau có mặt với các hàm lượng khác nhau trong các vùng khác nhau của tầng sôi trong quy trình theo sáng chế. Các vùng của tầng sôi là các đoạn nằm dọc theo chiều từ đầu vào tới đầu ra. Do đó, sẽ có lợi khi có thể thiết lập các chiều cao lớp sôi khác nhau trong các vùng khác nhau của tầng sôi. Ví dụ, đối với các vùng khác nhau, thời gian lưu hạt và thời gian lưu khí có thể được thiết lập một cách thích hợp bằng cách điều chỉnh chiều cao lớp sôi. Điều này có thể được thực hiện, ví dụ, bằng cách thiết lập các tấm ngăn, hoặc các kích thước khác nhau của các vùng trong gian thiết bị phản ứng chứa tầng sôi.

Chiều cao lớp sôi trong tầng sôi tốt hơn là nằm trong khoảng 0,1 – 0,5 m, tốt hơn nữa là nằm trong khoảng 0,3 – 0,4 m. Do vậy, trong quy trình theo sáng chế, có thể đạt được đủ thời gian lưu khí và thời gian lưu hạt trong quá trình hoàn nguyên các hạt chứa sắt oxit. Tỷ lệ chất hoàn nguyên chưa sử dụng trong khí hoàn nguyên sau phản ứng nằm trong khoảng có thể chấp nhận được về mặt kinh tế khi tầng sôi có chiều cao lớp sôi nằm trong khoảng 0,1 – 0,5 m, kể cả hai trị số 0,1 và 0,5.

Thời gian lưu khí của khí hoàn nguyên trong tầng sôi tốt hơn là nằm trong khoảng từ 0,1 giây tới 10 giây, tốt hơn nữa là từ 1 giây tới 2 giây. Khi khí hoàn nguyên lưu lại trong tầng sôi từ 1 tới 2 giây – kể cả hai trị số 1 và 2 – lượng oxy có thể giảm xuống gần với mức cân bằng, và tỷ lệ chất hoàn nguyên chưa sử dụng trong khí hoàn nguyên sau phản ứng khi đó sẽ nằm trong khoảng đặc biệt tốt về mặt kinh tế.

Đó là vì mục đích của sáng chế, khi đưa khí qua tầng sôi, là để tiêu thụ tối đa lượng chất hoàn nguyên. Chất hoàn nguyên được tiêu thụ càng ít, thì càng nhiều khí hoàn nguyên cần được đưa vào tầng sôi để xử lý lượng nhất định các hạt chứa sắt oxit, hoặc càng tốn kém và càng bất tiện trong việc tái tuần hoàn chất hoàn nguyên chưa sử dụng.

Trong quy trình theo sáng chế, liên quan tới chiều cao lớp sôi và/hoặc thời gian lưu khí, bất ngờ đã phát hiện thấy rằng hầu như không có bất kỳ sự gia tăng đáng kể nào trong chuyển hóa vật chất do tăng áp suất khí hoàn nguyên, và điều này dẫn đến sự gia tăng tỷ lệ chất hoàn nguyên chưa sử dụng trong khí hoàn nguyên sau phản ứng.

Do đó, có thể tiến hành quy trình ở áp suất khí quyển hoặc áp suất được nâng lên cao hơn theo cách tiết kiệm tài nguyên và có lợi cho các mục đích an toàn, mà không bị thiệt đáng kể trong việc tăng chuyển hóa vật chất.

Tốt hơn nếu tái tuần hoàn khí hoàn nguyên sau phản ứng thoát ra từ tầng sôi, sau khi xử lý, quay trở lại tầng sôi như một thành phần của khí hoàn nguyên. Điều này làm cho quy trình có tính kinh tế hơn. Thành phần hydro của khí hoàn nguyên khiến cho việc tái tuần hoàn trong quá trình hoàn nguyên các hạt chứa sắt oxit trở

nên rất đơn giản, vì tất cả những gì cần thực hiện, ngoài việc tách bụi có thể là cần thiết, là tách sản phẩm phản ứng nước, H_2O .

Theo một phương án thực hiện ưu tiên, tầng sôi được cấp cùng một khí hoàn nguyên trong suốt quy trình, không phụ thuộc vào thành phần, nhiệt độ, áp suất, hay tổ hợp của hai hoặc tất cả ba thông số này. Điều này làm cho quy trình dễ được kiểm soát hơn, và giảm được độ phức tạp của thiết bị.

Theo một phương án thực hiện ưu tiên khác, các vùng khác nhau của tầng sôi được cấp các khí hoàn nguyên khác nhau – ví dụ hỗn hợp của hai hoặc nhiều hợp phần với các tỷ lệ khác nhau, tức là khí hoàn nguyên sẽ có thành phần khác nhau trong mỗi trường hợp; đó có thể là khí hoàn nguyên ở các nhiệt độ khác nhau trong mỗi trường hợp, hoặc khí hoàn nguyên ở các áp suất khác nhau trong mỗi trường hợp; hoặc các khí hoàn nguyên khác nhau về hai hoặc tất cả ba thông số này. Điều này có thể áp dụng khi tầng sôi có các vùng khác nhau. Bằng cách này, có thể tiến hành phản ứng khi có mặt các sản phẩm trung gian có khả năng phản ứng khác nhau trong các vùng khác nhau với các khí hoàn nguyên có khả năng phản ứng khác nhau.

Thiết bị để thực hiện quy trình theo sáng chế sẽ được mô tả dưới đây. Thiết bị này bao gồm lò phản ứng tầng sôi thích hợp để dẫn các hạt và khí hoàn nguyên cắt ngang nhau trong không gian lò phản ứng có các khay phân phối để tạo thành tầng sôi. Không gian lò phản ứng có ít nhất một cửa vào để nạp các hạt chứa sắt oxit và ít nhất một cửa ra để rút sản phẩm phản ứng ra khỏi không gian lò phản ứng. Thiết bị này cũng bao gồm ít nhất một ống cấp khí hoàn nguyên để cung cấp khí hoàn nguyên tới khay phân phối, và ít nhất một ống rút khí hoàn nguyên để rút khí hoàn nguyên sau phản ứng ra khỏi không gian lò phản ứng.

“A” trong bản mô tả tiếng Anh cần được hiểu là mạo từ không xác định trong cụm từ tiếng Anh “in a reactor space”, có nghĩa là “trong không gian lò phản ứng”.

Không gian lò phản ứng có thể là được chia thành nhiều vùng dọc theo phạm vi của nó từ cửa vào tới cửa ra. Điều đó có thể được thực hiện, ví dụ, bằng cách bố trí các tấm ngăn có thể điều chỉnh có tác dụng ngăn ngừa sự trộn lẫn các

hạt từ các vùng lân cận – nhìn từ phía cửa vào tới cửa ra – và cho phép kiểm soát việc thiết lập các vùng có chiều cao lớp sôi khác nhau. Điều đó cũng có thể được thực hiện bằng cách dùng lò phản ứng tầng sôi bao gồm nhiều lò phản ứng con, trong đó mỗi không gian của các lò phản ứng con tương ứng tạo thành một vùng riêng biệt. Tổng của các lò phản ứng con tạo thành lò phản ứng tầng sôi, và tổng không gian của các lò phản ứng con tạo thành không gian của lò phản ứng tầng sôi. Không gian của các lò phản ứng con cũng có thể được chia thành nhiều vùng.

Theo một phương án thực hiện, các vùng riêng biệt này có thể có kích thước khác nhau theo chiều ngang và/hoặc theo chiều dọc – sao cho tầng sôi trong mỗi trường hợp có thể có chiều rộng khác nhau, hoặc chiều cao lớp sôi tối đa khác nhau; bằng cách này, với lưu lượng không đổi, có thể thiết lập các chiều cao lớp sôi khác nhau trong các vùng khác nhau.

Theo một phương án, lò phản ứng tầng sôi bao gồm – hoặc nếu thích hợp lò phản ứng con bao gồm – nhiều môđun cùng loại. Điều đó cho phép thiết lập thiết bị một cách không tốn kém bằng các môđun tiền chế, và điều chỉnh đơn giản để đáp ứng các yêu cầu công suất khác nhau.

Tốt hơn nếu lò phản ứng tầng sôi bao gồm nhiều lò phản ứng con. Chúng có thể được bố trí theo kiểu nối tiếp và/hoặc song song. Tốt hơn nếu chúng được kết nối với nhau qua các bộ phận vận chuyển. Trong quá trình vận hành, các hạt nguyên liệu được vận chuyển, ví dụ, từ một lò phản ứng con sang lò phản ứng con lân cận theo hướng từ cửa vào tới cửa ra dọc theo lò phản ứng tầng sôi bằng các bộ phận vận chuyển. Các bộ phận vận chuyển này có cấu tạo thích hợp để vận chuyển các hạt nguyên liệu mà không cho không khí xâm nhập vào hoặc khí hoàn nguyên thoát ra khỏi lò phản ứng con.

Tốt hơn nếu nhiều lò phản ứng con này được xếp chồng lên nhau. Điều này làm giảm không gian cần thiết cho việc bố trí thiết bị để thực hiện quy trình theo sáng chế. Các hạt nguyên liệu chảy dưới tác dụng của trọng lực từ cửa vào ở phía trên tới cửa ra ở phía dưới.

Khay phân phối của lò phản ứng tầng sôi về cơ bản là nằm ngang. Nó bao gồm mọi phương sai so với phương ngang lên tới 10° , tốt hơn nếu bao gồm phương

sai lên tới 5° , và tốt hơn nữa nếu bao gồm phương sai lên tới 2° . Trong trường hợp phương sai quá cao so với phương ngang, thì chiều cao lớp sôi trong tầng sôi trở nên không đồng nhất trong phạm vi dọc theo tầng sôi từ đầu vào tới đầu ra, điều này sẽ tác động bất lợi đến khả năng kiểm soát thời gian lưu hạt.

Tốt hơn nếu khay phân phối của lò phản ứng tầng sôi hoặc của ít nhất một lò phản ứng con được đặt nghiêng xuống theo hướng từ cửa vào tới cửa ra. Điều này sẽ đơn giản hóa dòng chảy của các hạt nguyên liệu, như đã biết, ví dụ, từ các băng tải khí nén.

Theo một phương án, mỗi vùng đều có ống cấp khí hoàn nguyên chuyên dụng. Theo một phương án, ống cấp khí hoàn nguyên chuyên dụng được mở vào từng lò phản ứng con. Tốt hơn, nếu tất cả các ống cấp khí hoàn nguyên này xuất phát từ một ống trung tâm. Ống trung tâm cấp khí hoàn nguyên cho các ống cấp khí hoàn nguyên. Khí hoàn nguyên được cấp qua ống trung tâm có thể, ví dụ, là khí hoàn nguyên mới – tức là khí hoàn nguyên chưa từng được thổi qua lớp sôi – hoặc hỗn hợp gồm khí hoàn nguyên mới và khí hoàn nguyên tái tuần hoàn – tức khí hoàn nguyên thu được từ bước xử lý khí hoàn nguyên sau phản ứng.

Theo một phương án, mỗi vùng đều có ống rút khí hoàn nguyên chuyên dụng. Theo một phương án, ống rút khí hoàn nguyên chuyên dụng xuất phát từ từng lò phản ứng con. Tốt hơn nếu tất cả các ống rút khí hoàn nguyên được mở vào một ống rút tập trung mà được nối với thiết bị xử lý khí hoàn nguyên. Trong thiết bị xử lý khí hoàn nguyên, khí hoàn nguyên sau phản ứng được xử lý, ví dụ được khử bụi và được làm khô. Việc kết hợp tất cả các khí hoàn nguyên sau phản ứng thoát ra từ không gian lò phản ứng hoặc các vùng của nó và/hoặc lò phản ứng con tạo điều kiện thuận lợi cho việc tái tuần hoàn chúng vào quy trình hoàn nguyên nhằm mục đích xử lý tập trung.

Sáng chế này còn đề xuất thiết bị xử lý tín hiệu chứa mã chương trình đọc được bằng máy, khác biệt ở chỗ nó có các lệnh điều khiển để thực hiện quy trình theo sáng chế. Một đối tượng tiếp theo là thiết bị xử lý tín hiệu để thực hiện quy trình như đã được mô tả ở phần trên.

Sáng chế cũng mô tả mã chương trình đọc được bằng máy để dùng trong thiết bị xử lý tín hiệu, trong đó mã chương trình này có các lệnh điều khiển khiến cho thiết bị xử lý tín hiệu thực hiện quy trình theo sáng chế. Một đối tượng tiếp theo là sản phẩm chương trình máy tính chứa các lệnh để dùng trong thiết bị xử lý tín hiệu mà, khi chương trình dùng cho thiết bị xử lý tín hiệu được thực thi, sẽ khiến cho nó thực hiện quy trình như đã được mô tả ở phần trên.

Sáng chế này còn đề xuất vật ghi lưu trữ có mã chương trình đọc được bằng máy theo sáng chế được lưu trữ trên đó. Một đối tượng tiếp theo là vật ghi lưu trữ có chương trình máy tính được lưu trữ trên đó để thực hiện quy trình như đã được mô tả ở phần trên.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Sáng chế sẽ được mô tả thông qua phần ví dụ dưới đây dựa trên các hình vẽ dạng sơ đồ kèm theo.

Fig.1 thể hiện việc thực hiện quy trình theo sáng chế trên một mặt cắt của sơ đồ buồng phản ứng.

Fig.2 thể hiện sơ đồ bố trí nhiều lò phản ứng con.

Fig.3 thể hiện sự tương quan giữa tốc độ bề mặt U và cỡ hạt d theo lý thuyết đang thịnh hành và theo giải pháp của các tác giả sáng chế.

Mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế

Ví dụ thực hiện sáng chế

Fig.1 thể hiện sơ đồ của một phương án thực hiện quy trình theo sáng chế. Quy trình được thực hiện trong thiết bị 1. Các hạt chứa sắt oxit 2 có cỡ hạt không lớn hơn 200 μm với lượng ít nhất là 90% theo khối lượng, tại đầu vào A, được đưa liên tục qua cửa vào 3 vào tầng sôi 4 trong không gian lò phản ứng 5 của lò phản ứng tầng sôi 6, như được thể hiện bằng hình mũi tên. Theo một phương án, tới 30% khối lượng các hạt chứa sắt oxit có thể có kích thước nhỏ hơn 15 μm . Tầng sôi 4 được tạo ra trong không gian lò phản ứng 5 do các hạt nguyên liệu được nâng lên

ngược chiều trọng lực bởi khí hoàn nguyên 8 thổi từ phần đáy qua khay phân phối 7 – được minh họa bằng các hình mũi tên không tô đậm. Trong ví dụ này, cùng một khí hoàn nguyên 8 được cấp trong suốt quy trình. Khay phân phối 7 được thể hiện bằng các khe hở trên đường viền dưới của không gian lò phản ứng 5; để rõ ràng hơn, không phải mọi khoảng trống đều có hình mũi tên riêng, và không phải tất cả các hình mũi tên đều được đánh số số chỉ dẫn 8. Sắt oxit trong các hạt chứa sắt oxit 2 được hoàn nguyên thành sản phẩm hoàn nguyên 9 bằng khí hoàn nguyên 8. Khí hoàn nguyên 10 đã bị tiêu thụ bởi quy trình hoàn nguyên sắt oxit trong các hạt chứa sắt oxit – được thể hiện bằng các hình mũi tên tô đậm – thoát ra khỏi tầng sôi 4 ở phía trên. Khí hoàn nguyên 8 chứa, ví dụ, hydro H_2 với độ tinh khiết kỹ thuật; và tương ứng, khí hoàn nguyên sau phản ứng 10 sẽ chứa, ví dụ, nước H_2O và hydro, do không phải toàn bộ hydro thổi vào ở đáy sẽ được chuyển hóa. Các hạt bị cuốn lên trên ra khỏi tầng sôi bởi khí hoàn nguyên sau phản ứng 10 không được thể hiện riêng. Tại đầu ra B, các hạt sản phẩm hoàn nguyên 9 được rút ra liên tục từ tầng sôi 4 trong không gian lò phản ứng 5, được thể hiện bằng mũi tên. Khí hoàn nguyên 8 được dẫn cắt ngang qua tầng sôi 4 từ dưới lên với tốc độ lớn hơn 0,05 m/s. Nhiệt độ của các hạt chứa sắt oxit 2 được đưa vào là 1173°K (900°C), chẳng hạn, và nhiệt độ của khí hoàn nguyên 8 cấp vào là 1023°K (750°C). Sản phẩm hoàn nguyên 9 có nhiệt độ, chẳng hạn, 853°K (580°C).

Trong lò phản ứng tầng sôi 6 như được thể hiện trên Fig.1, sẽ tốt hơn nếu áp suất được nâng lên tới 200 KPa so với áp suất môi trường.

Quy trình này có thể được tiến hành, ví dụ, sao cho chiều cao lớp sôi trong lớp sôi 4 nằm trong khoảng 0,1 – 0,5 m, và/hoặc thời gian lưu khí nằm trong khoảng 0,1 – 10 s, tốt hơn là nằm trong khoảng 1 – 2 s.

Khí hoàn nguyên 8 được cung cấp cho khay phân phối 7 qua ống cấp khí hoàn nguyên 11. Ống rút khí hoàn nguyên 12 được dùng để rút khí hoàn nguyên sau phản ứng 10 khỏi không gian lò phản ứng 5.

Fig.2 thể hiện sơ đồ của một phương án thực hiện, trong đó lò phản ứng tầng sôi 13 bao gồm nhiều lò phản ứng con 14, 16, 18, 20. Các lò phản ứng con được kết

nối tuần tự với nhau; lò phản ứng con 14 được kết nối tại đầu cuối của nó 15 với lò phản ứng con 16, lò con này lại được kết nối tại đầu cuối của nó 17 với lò phản ứng con 18. Lò phản ứng con 18 được kết nối tại đầu cuối của nó 19 với lò phản ứng con 20. Việc kết nối được thực hiện qua các bộ phận vận chuyển 21a, 21b, 21c. Cửa vào A để nạp các hạt chứa sắt oxit 22 nằm tại đầu 23 của lò phản ứng con 14; cửa ra B để lấy sản phẩm phản ứng 24 nằm ở cuối 25 của lò phản ứng con 20. Các sản phẩm trung gian của quá trình hoàn nguyên các hạt chứa sắt oxit 22 thành sản phẩm hoàn nguyên 24 được vận chuyển bằng các bộ phận vận chuyển 21a, 21b, 21c trong mỗi trường hợp từ lò phản ứng con ở phía trước tới lò phản ứng con ở phía sau theo chiều từ cửa vào A dọc theo lớp sôi tới cửa ra B. Trong khi nguyên liệu rắn trong lớp sôi (không thể hiện riêng biệt) – tức là các hạt chứa sắt oxit, các hạt sản phẩm trung gian, và các hạt sản phẩm hoàn nguyên – chảy từ cửa vào A tới cửa ra B trong lò phản ứng tầng sôi 13 lần lượt qua các lò phản ứng con 14, 16, 18, 20 được kết nối tuần tự với nhau, thì trong lớp sôi (không thể hiện riêng biệt) chúng chuyển dịch cắt ngang qua dòng khí hoàn nguyên (không thể hiện riêng biệt).

Trong sơ đồ trên Fig.2, các lò phản ứng con 14, 16, 18, 20 được xếp chồng lên nhau theo chiều dọc. Chúng được bố trí với phần đáy hơi dốc. Các ống cấp khí hoàn nguyên chuyên dụng 26a, 26b, 26c, 26d mở vào từng lò phản ứng con 14, 16, 18, 20, tất cả các ống này xuất phát từ ống trung tâm 27 – để rõ ràng hơn, các kết nối của chúng với ống trung tâm 27 không được thể hiện riêng. Các ống rút khí hoàn nguyên chuyên dụng tương ứng 28a, 28b, 28c, 28d ra khỏi các lò phản ứng con 14, 16, 18, 20 khác nhau, tất cả các ống này mở vào ống rút tập trung 29 – để rõ ràng hơn, các kết nối của chúng với ống rút tập trung 29 không được thể hiện riêng. Ống rút tập trung 29 mở vào thiết bị xử lý khí hoàn nguyên 30 trong đó khí hoàn nguyên sau phản ứng, ví dụ, được khử bụi và được làm khô. Bằng ống dẫn tái tuần hoàn 31, sản phẩm đã qua xử lý – được khử bụi và được làm khô hydro trong trường hợp của Ví dụ trên Fig.1 – được dẫn tới ống trung tâm 27, và từ đó được tái tuần hoàn vào quy trình như một thành phần của khí hoàn nguyên cùng với hydro H_2 mới từ các nguồn khác.

Tầng sôi trong lò phản ứng tầng sôi 13 có nhiều vùng – một vùng trong mỗi lò phản ứng con 14, 16, 18, 20. Nhờ vào kích thước khác nhau của các lò phản ứng con 14, 16, 18, 20, thể hiện dưới dạng sơ đồ trên Fig.2 bằng các chiều cao khác nhau, các vùng khác nhau của mỗi tầng sôi có các chiều cao lớp sôi khác nhau trong chế độ quy trình liên tục.

Theo một phương án của quy trình theo sáng chế, có thể cấp khí hoàn nguyên khác nhau vào các vùng khác nhau; phương án này không được thể hiện riêng.

Để rõ ràng hơn, không cần mô tả chi tiết việc cung cấp và sản xuất hydro H_2 mới từ các nguồn khác.

Nhìn chung, nhiệt độ, áp suất và thành phần của khí hoàn nguyên có tác động tới động học phản ứng, dẫn tới một số yêu cầu đối với thời gian lưu khí và thời gian lưu hạt, cũng như chiều cao lớp sôi. Tốc độ của khí hoàn nguyên ảnh hưởng đến tỷ lệ các hạt thoát ra từ tầng sôi và thể tích khí hoàn nguyên tuần hoàn. Động học phản ứng và tốc độ khí hoàn nguyên lại ảnh hưởng đến diện tích phản ứng cụ thể được yêu cầu.

Fig.3 thể hiện, bằng đường liền, giá trị tính theo lý thuyết đang thịnh hành của tốc độ tầng sôi lý thuyết U_t ở các cỡ hạt d khác nhau của các hạt DRI/quặng sắt hình cầu tại 1023°K (750°C) với hydro H_2 là khí hoàn nguyên và áp suất được nâng lên tới 200 KPa:

$$U_t = \sqrt{\left(\frac{4}{3} * \frac{(\rho_p - \rho_g)}{\rho_g} * \frac{d * g}{C_w}\right)}$$

$$\text{trong đó } C_w = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt{Re}} + 0,4 \text{ và } Re = \frac{\rho g * U_t * d}{\mu}$$

Trên hình này cũng thể hiện, bằng đường nét đứt, sự tương quan giữa cỡ hạt d và tốc độ tầng sôi $U_{\max}$ khác biệt với lý thuyết đang thịnh hành và theo công thức $U_{\max} = (40000 * d)^{2,78}$.

Phần mô tả các cấu hình ưu tiên của sáng chế trên đây chứa nhiều dấu hiệu mà trong một số trường hợp được thể hiện bằng nhiều hai hoặc nhiều đặc điểm

cùng với nhau trong các điểm yêu cầu bảo hộ phụ thuộc. Tuy nhiên, các dấu hiệu này theo cách thích hợp cũng có thể được xem xét riêng biệt và kết hợp để tạo ra các tổ hợp khác. Cụ thể hơn, mỗi dấu hiệu riêng lẻ trong số các dấu hiệu này có thể được kết hợp, trong tổ hợp thích hợp bất kỳ, trong quy trình theo sáng chế.

Ngay cả khi phần mô tả hoặc yêu cầu bảo hộ sử dụng một số thuật ngữ tương ứng ở dạng số ít hoặc kết hợp với từ chỉ số lượng, phạm vi của sáng chế đối với các thuật ngữ này sẽ không bị giới hạn ở dạng số ít hoặc từ chỉ số lượng tương ứng này. Ngoài ra, từ “a” trong bản mô tả tiếng Anh không được hiểu là “một”, mà chỉ là mào từ không xác định.

Các đặc tính, dấu hiệu và ưu điểm của sáng chế như mô tả, và cách thức đạt được chúng, được làm sáng tỏ theo cách rõ ràng và dễ hiểu hơn trong phần mô tả các ví dụ thực hiện sáng chế kết hợp với các hình vẽ. Các ví dụ thực hiện này chỉ để làm sáng tỏ sáng chế và không giới hạn sáng chế ở các tổ hợp của các dấu hiệu được nêu, thậm chí không liên quan đến các dấu hiệu chức năng. Ngoài ra, các dấu hiệu thích hợp cho mục đích này từ ví dụ thực hiện bất kỳ được xem xét riêng biệt, được loại ra khỏi ví dụ thực hiện bất kỳ, có thể được đưa vào ví dụ thực hiện khác để bổ sung cho chúng và được kết hợp với điểm yêu cầu bảo hộ bất kỳ.

Mặc dù sáng chế đã được giải thích chi tiết và được mô tả chi tiết bằng các ví dụ thực hiện ưu tiên, sáng chế không bị giới hạn ở các ví dụ này, và khác các biến thể có thể được suy ra từ đó mà không nằm ngoài phạm vi của yêu cầu bảo vệ kèm theo.

Danh sách các số chỉ dẫn

- | | |
|---|---|
| 1 | Thiết bị để thực hiện quy trình theo sáng chế |
| 2 | Các hạt chứa sắt oxit |
| 3 | Cửa vào |
| 4 | Tầng sôi |
| 5 | Không gian lò phản ứng |

6	Lò phản ứng tầng sôi
7	Khay phân phối
8	Khí hoàn nguyên
9	Sản phẩm hoàn nguyên
10	Khí hoàn nguyên sau phản ứng
11	Ống cấp khí hoàn nguyên
12	Ống rút khí hoàn nguyên
13	Lò phản ứng tầng sôi
14	Lò phản ứng con
15	Đầu cuối
16	Lò phản ứng con
17	Đầu cuối
18	Lò phản ứng con
19	Đầu cuối
20	Lò phản ứng con
21a, 21b, 21c	Các bộ phận vận chuyển
22	Các hạt chứa sắt
23	Điểm đầu
24	Sản phẩm phản ứng
25	Đầu cuối
26a, 26b, 26c, 26d	Các ống cấp khí hoàn nguyên
27	Ống trung tâm
28a, 28b, 28c, 28d	Ống rút khí hoàn nguyên
29	Ống rút tập trung
30	Thiết bị xử lý khí hoàn nguyên
31	Ống dẫn tái tuần hoàn

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình hoàn nguyên trực tiếp các hạt chứa sắt oxit (2) thành sản phẩm hoàn nguyên (9) trong tầng sôi (4) mà qua đó khí hoàn nguyên (8) chứa 30 – 100 mol% hydro H_2 được thổi cắt ngang,

khác biệt ở chỗ:

. các hạt chứa sắt oxit (2) được đưa vào tầng sôi (4) có cỡ hạt không lớn hơn 200 μm với lượng ít nhất là 90% khối lượng, và

. tốc độ bề mặt U của khí hoàn nguyên (9) thổi qua tầng sôi (4) được thiết lập trong khoảng từ 0,05 m/s đến 1 m/s sao cho nó lớn hơn tốc độ tầng sôi lý thuyết U_t và không lớn hơn U_{max} đối với cỡ hạt $d = d_{30}$ của các hạt chứa sắt oxit (2) được đưa vào tầng sôi (4),

trong đó giá trị dự đoán theo lý thuyết U_t đối với cỡ hạt d được xác định như sau:

$$U_t = \sqrt{\left(\frac{4}{3} * \frac{(\rho_p - \rho_g)}{\rho_g} * \frac{d * g}{C_w}\right)}$$

$$\text{trong đó } C_w = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt{Re}} + 0,4 \text{ và } Re = \frac{\rho_g * U_t * d}{\mu}$$

và U_{max} được tính toán theo mối tương quan thực tế xác định được giữa cỡ hạt và tốc độ tầng sôi đối với cỡ hạt $d = d_{30}$ như sau:

$$U_{max} = (40000 * d)^{2,78}.$$

2. Quy trình theo điểm 1, khác biệt ở chỗ quy trình này được tiến hành ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 773°K đến 1173°K (500°C – 850°C).
3. Quy trình theo điểm 1 hoặc 2, khác biệt ở chỗ quy trình này được tiến hành ở áp suất cao hơn so với áp suất môi trường.
4. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, khác biệt ở chỗ d_{30} của các hạt chứa sắt oxit (2) được đưa vào tầng sôi không lớn hơn 110 μm .

5. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, khác biệt ở chỗ các hạt chứa sắt oxit (2) được đưa vào tầng sôi (2) có kích thước nằm trong khoảng từ 15 μm đến 100 μm với lượng ít nhất là 50% khối lượng.
6. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5, khác biệt ở chỗ các hạt chứa sắt oxit (2) nhỏ hơn 10 μm có mặt với tỷ lệ không lớn hơn 30% khối lượng.
7. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, khác biệt ở chỗ tầng sôi (4) có các vùng khác nhau với các chiều cao lớp sôi khác nhau.
8. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 7, khác biệt ở chỗ chiều cao lớp sôi trong tầng sôi nằm trong khoảng 0,1 – 0,5 m, tốt hơn là nằm trong khoảng 0,3 – 0,4 m.
9. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 7, khác biệt ở chỗ thời gian lưu khí của khí hoàn nguyên (8) trong tầng sôi (4) nằm trong khoảng từ 0,1 giây đến 10 giây, tốt hơn là nằm trong khoảng từ 1 giây – 2 giây.
10. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 9, khác biệt ở chỗ khí hoàn nguyên sau phản ứng (10) thoát ra từ tầng sôi (4), sau khi xử lý, được tái tuần hoàn trở lại tầng sôi (4) như một thành phần của khí hoàn nguyên (8).
11. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 10, khác biệt ở chỗ tầng sôi (4) được cấp cùng một khí hoàn nguyên (8) trong suốt quy trình.
12. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 10, khác biệt ở chỗ các vùng khác nhau của tầng sôi (4) được cấp các khí hoàn nguyên khác nhau (8).
13. Thiết bị xử lý tín hiệu chứa mã chương trình đọc được bằng máy, khác biệt ở chỗ thiết bị này có các lệnh điều khiển để thực hiện quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 12.

14. Vật ghi lưu trữ có mã chương trình đọc được bằng máy khác biệt ở chỗ mã chương trình này có các lệnh điều khiển khiến cho thiết bị xử lý tín hiệu thực hiện quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 12.

Fig. 1

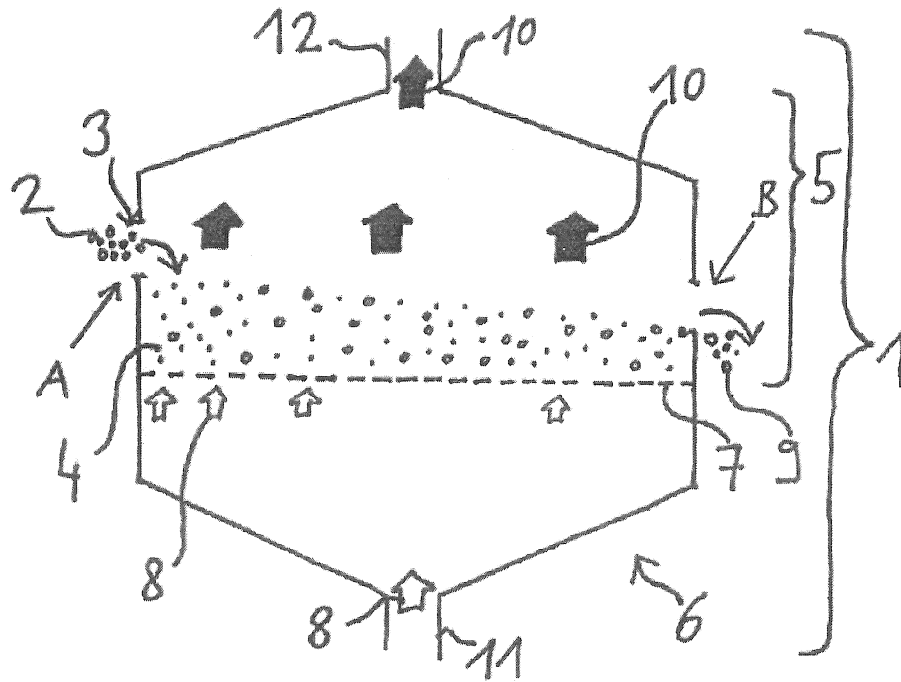


Fig. 2

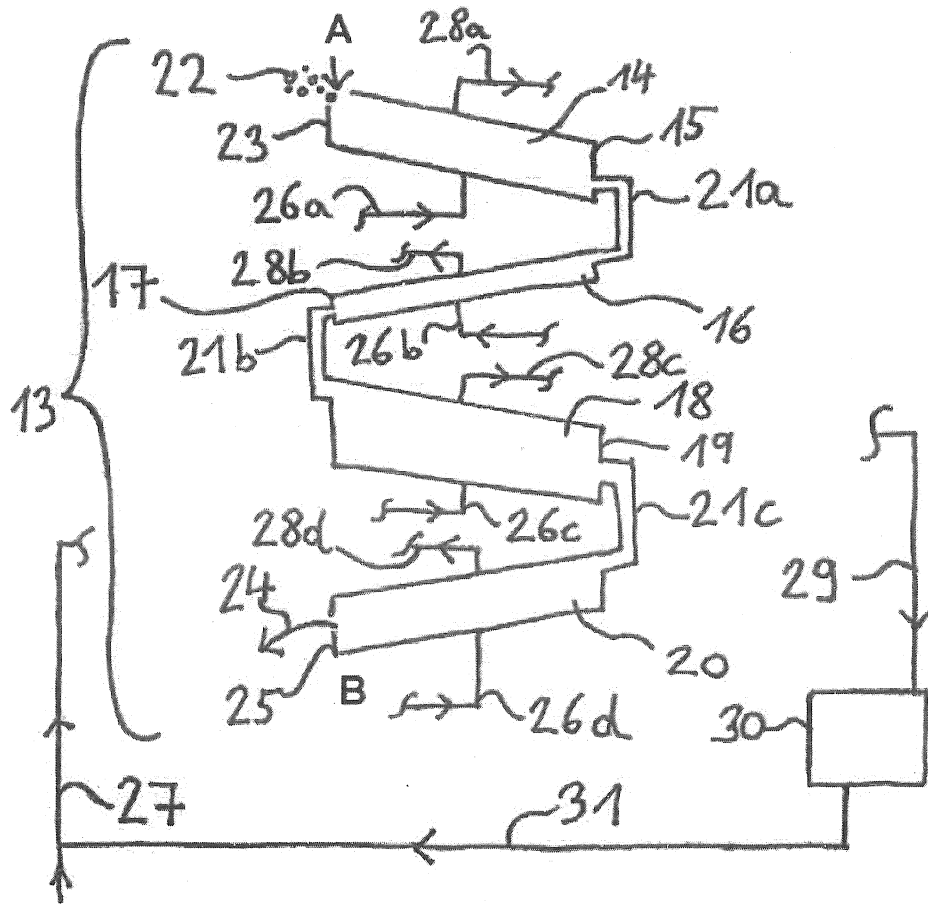


Fig. 3

