



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

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

(11)



1-0038387

(51)^{2020.01} **B01D 53/62; C01F 5/24; B01D 53/78; B01D 53/14** (13) **B**

(21) 1-2020-07028

(22) 08/05/2019

(86) PCT/AU2019/050424 08/05/2019

(87) WO 2019/213705 14/11/2019

(30) 2018901560 08/05/2018 AU

(45) 25/01/2024 430

(43) 26/04/2021 397

(73) MINERAL CARBONATION INTERNATIONAL PTY LTD (AU)

c/o Unit 56, 40 Mort Street, Braddon, Australian Capital Territory 2612, Australia

(72) Emad BENHELAL (IR); Geoffrey Frederick BRENT (AU); Eric Miles KENNEDY (AU); Timothy Kenilworth OLIVER (AU); Mark Stuart RAYSON (AU); Michael STOCKENHUBER (AU).

(74) Công ty cổ phần tư vấn Trung Thực (TRUNG THUC.,JSC)

(54) QUY TRÌNH TÍCH HỢP ĐỂ THU GIỮ, CÀNG HÓA VÀ SỬ DỤNG CACBON ĐIOXIT VÀ HỆ THỐNG BÌNH PHẢN ỨNG ĐƯỢC LÀM THÍCH ỨNG ĐỂ THỰC HIỆN QUY TRÌNH NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến quy trình tích hợp để thu giữ, càng hóa và sử dụng cacbon đioxit, quy trình này bao gồm các bước:

a) tạo ra huyền phù đặc trong nước bao gồm chất lỏng nước và chất rắn dạng hạt bao gồm khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa;

b) trong giai đoạn hòa tan, cho dòng khí chứa CO₂ tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước ở áp suất thứ nhất để hòa tan magie ra khỏi khoáng chất để tạo ra huyền phù bao gồm chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie; và

c) trong giai đoạn kết tủa, cho kết tủa magie cacbonat từ các ion magie được hòa tan ở bước b) bởi nhiều lần giảm áp suất từng giai đoạn liên tục, với mỗi giai đoạn ở áp suất thấp hơn so với giai đoạn trước;

trong đó mỗi lần giảm áp suất từng giai đoạn liên tục giải phóng CO₂ mà được nén từng giai đoạn tương ứng và tái tuần hoàn trở lại vào trong giai đoạn hòa tan.

Sáng chế còn đề cập đến hệ thống bình phản ứng được làm thích ứng để thực hiện quy trình này.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến quy trình để thu giữ, càn hóa và sử dụng cacbon đioxit (CCSU – Carbon dioxide Capture, Sequestration and Utilisation), và sáng chế còn đề cập đến hệ thống bình phản ứng thích hợp để thực hiện quy trình này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Việc càn hóa khí cacbon đioxit trong các kho chứa mà được cách ly khỏi khí quyển là công nghệ đang phát triển mà được thừa nhận một cách rộng rãi như yếu tố cơ bản trong các nỗ lực toàn cầu để giảm phát xạ cacbon đioxit vào khí quyển. Mức tăng nhanh chóng về các nồng độ cacbon đioxit trong khí quyển là mối quan tâm do các đặc tính của khí này như khí nhà kính và sự góp phần của nó vào hiện tượng thay đổi khí hậu và nóng lên toàn cầu. Gần đây, các nhà máy thể hiện nguyên mẫu để thu giữ và càn hóa cacbon đioxit (CCS - Carbon dioxide Capture and Sequestration) hiện có ở một số nước và vận hành mức độ thương mại cũng được nêu ra. Trong khi các công nghệ khác nhau hiện có để thu giữ và cô đặc cacbon đioxit từ các khí ống khói đốt, như đốt than để phát điện, hầu hết các nhà máy hiện tại sử dụng việc càn hóa ngầm bằng cách phun cacbon đioxit có áp lực vào trong các kho chứa ngầm thích hợp. Điều này thường được biết như địa càn hóa. Điều này có thể xuất hiện trong các vỉa khí hoặc dầu cạn trữ lượng hoặc các thành hệ xốp ngầm khác mà được cách ly một cách thích hợp ra khỏi khí quyển. Các vỉa chứa hoặc các thành hệ này có thể nằm trong lòng đất hoặc dưới biển. Kho chứa ngầm khả thi khác dùng cho khí cacbon đioxit được gọi là các tầng chứa nước mặn. Việc lưu trữ trực tiếp cacbon đioxit ở đáy đại dương sâu cũng đã được xem xét song chưa cho thấy thành công ở mức độ đáng kể bất kỳ.

Lĩnh vực nghiên cứu khác để càn hóa cacbon đioxit được biết như cacbonat hóa khoáng chất, nhờ vậy mà cacbon đioxit được phản ứng hóa học với kiềm hoặc oxit kim loại kiềm thổ hoặc các khoáng chất oxit silic để tạo ra các cacbonat rắn ổn

định. Phương pháp này được biết như cacbonat hóa khoáng chất ngoại vi, trái ngược với cacbonat hóa tại chỗ nhờ vậy mà cacbon đioxit được tích tụ vào trong các thành hệ khoáng chất ngầm và phản ứng trong khung thời gian dài hơn với các khoáng chất thích hợp trong các thành hệ ngầm hiện có. Sáng chế quan tâm đến phương pháp ngoại vi để cang hóa cacbon đioxit thông qua sự cacbonat hóa khoáng chất của các khoáng chất silic oxit để tạo ra các cacbonat.

Cacbonat hóa khoáng chất có nhiều ưu điểm tiềm năng hơn so với các phương pháp cang hóa cacbon đioxit. Các ưu điểm này bao gồm sự bền vững và độ ổn định của cacbonat tạo thành và loại trừ các nguy cơ rò rỉ bất kỳ của khí cacbon đioxit ra khỏi các kho chứa. Hơn thế nữa, các địa điểm ngầm thích hợp để địa cang hóa không tồn tại ở mọi nơi cần đến chúng gần với các nguồn phát thải cacbon đioxit. Các phản ứng hóa học của việc cacbonat hóa khoáng chất còn được ưu tiên về mặt nhiệt động lực học, với giải phóng năng lượng tỏa nhiệt do sự hình thành các cacbonat. Các khoáng chất oxit silic thô cần cho việc cacbonat hóa khoáng chất là dồi dào và phân bố rộng rãi trên toàn cầu. Các khoáng chất này có thể được khai thác dễ dàng và trải qua việc xử lý nghiền đã biết và các công nghệ xử lý khác. Các khoáng chất này nói chung là tốt về môi trường và các nguy cơ an toàn có thể quản lý một cách dễ dàng. Cụ thể là, khoáng chất oxit silic magie được biết một cách rộng rãi như serpentinit đã được ước tính có sẵn với số lượng đủ lớn để cang hóa tất cả phát thải toàn cầu của cacbon đioxit từ các trữ lượng nhiên liệu hóa thạch đã biết.

Các quy trình cacbonat hóa một giai đoạn như được mô tả bởi O'Connor et al., 2005. Aqueous Mineral Carbonation: Mineral Availability, Pre-treatment, Reaction Parametrics and Process Studies, DOE/ARC-TR-04-002. Albany Research Center, Albany, OR, USA, bao gồm việc hòa tan magie từ khoáng chất hoạt hóa và kết tủa magie cacbonat trong một giai đoạn, nhờ đó tạo ra hỗn hợp bao gồm khoáng chất chưa phản ứng, magie cacbonat và silic oxit. Hỗn hợp này là khó phân tách vào trong các sản phẩm độc lập. Quy mô chuyển đổi của magie thành magie cacbonat cũng bị giới hạn.

Các quy trình cacbonat hóa hai giai đoạn hoặc nhiều giai đoạn bao gồm việc tách giai đoạn hòa tan magie và kết tủa magie cacbonat. Giai đoạn hòa tan magie sử dụng dòng khí chứa cacbon đioxit (CO_2). Nhiều nhà sản xuất đã mô tả các quy trình

này, bao gồm Mercier et al. (US 9440189B2) and Werner et al., Flue gas CO₂ mineralization using thermally activated serpentine: from single- to double-step carbonation, Physical Chemistry Chemical Physics 16 (2014) 24978-24993.

Các quy trình nhiều giai đoạn hiện có để cacbonat hóa quặng khoáng chưa đủ hiệu quả để ứng dụng công nghiệp, hoặc do tốc độ hòa tan và kết tủa chậm và chi phí năng lượng và xử lý cao.

Để khắc phục các nhược điểm nêu trên, mong muốn rằng có quy trình tích hợp mới mà cang hóa CO₂ thành cacbonat và tạo ra các sản phẩm silic oxit theo cách hiệu quả hơn so với các giải pháp kỹ thuật đã biết.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất quy trình thu giữ và cang hóa bền vững và an toàn khí cacbon đioxit trong khi sản xuất các sản phẩm giá trị kinh tế. Cụ thể hơn, sáng chế đề xuất quy trình tích hợp có hiệu quả và kinh tế để chuyển đổi hóa chất cacbon đioxit và các nguyên liệu magie oxit silic để hóa rắn các cacbonat và các oxit silic nhờ đó làm giảm lượng cacbon đioxit xả vào khí quyển trong khi đồng thời sản xuất các sản phẩm tiện ích và giá trị kinh tế, cụ thể là các magie cacbonat và oxit silic. Việc sử dụng các sản phẩm này được xếp hạng quy trình theo sáng chế như thu giữ, cang hóa và sử dụng cacbon đioxit (CCSU), trái ngược với CCS.

Sáng chế đề xuất quy trình tích hợp để thu giữ, cang hóa và sử dụng cacbon đioxit, quy trình này bao gồm các bước:

a) tạo ra huyền phù đặc trong nước bao gồm chất lỏng nước và chất rắn dạng hạt bao gồm khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa;

b) trong giai đoạn hòa tan, cho dòng khí chứa CO₂ tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước ở áp suất thứ nhất để hòa tan magie ra khỏi khoáng chất để tạo ra huyền phù bao gồm chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie; và

c) trong giai đoạn kết tủa, cho kết tủa magie cacbonat từ các ion magie được hòa tan ở bước b) bởi nhiều lần giảm áp suất từng giai đoạn liên tục, với mỗi giai đoạn ở áp suất thấp hơn so với giai đoạn trước;

trong đó mỗi lần giảm áp suất từng giai đoạn liên tục giải phóng CO₂ mà được nén từng giai đoạn tương ứng và tắt tuần hoàn trở lại vào trong giai đoạn hòa tan.

Sáng chế còn đề xuất hệ thống bình phản ứng được làm thích ứng để thực hiện quy trình theo sáng chế. Hệ thống bình phản ứng bao gồm hai hoặc nhiều bình phản ứng kết nối mà mỗi bình được làm thích ứng để tạo ra lần giảm áp từng giai đoạn trong khi cho phép thu hồi các magie cacbonat kết tủa. Hệ thống bình phản ứng có thể bao gồm một hoặc nhiều bình phản ứng hòa tan. Khi nhiều hơn một bình phản ứng hòa tan được sử dụng, các bình phản ứng hòa tan có thể lần lượt vận hành ở các áp suất tăng liên tục.

Trong toàn bộ phần mô tả và yêu cầu bảo hộ dưới đây, trừ khi ngữ cảnh đòi hỏi theo cách khác, thuật ngữ “bao gồm”, và các biến thể như “gồm” và “gồm có”, sẽ được hiểu ngụ ý bao hàm cả bước hoặc nguyên công đã nêu hoặc nhóm bước hoặc nguyên công song không loại trừ bước hoặc nguyên công khác bất kỳ hoặc nhóm bước hoặc nguyên công.

Sự viện dẫn trong bản mô tả này đến công bố của giải pháp đã biết bất kỳ (hoặc thông tin có nguồn gốc từ công bố này), hoặc đến tài liệu bất kỳ đã biết sẽ không và không được coi như là sự thừa nhận hoặc chấp nhận hoặc gợi ý bất kỳ rằng công bố của giải pháp đã biết đó (hoặc thông tin có nguồn gốc từ công bố này) hoặc tài liệu đã biết tạo ra một phần của kiến thức chung thông thường trong lĩnh vực kỹ thuật này của sáng chế.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các phương án của sáng chế được minh họa có dựa vào các hình vẽ kèm theo không mang tính giới hạn sáng chế trong đó:

Fig.1 là lưu đồ thể hiện quy trình theo ví dụ 1,

Fig.2 là lưu đồ thể hiện quy trình theo ví dụ 2, và

Fig.3 là lưu đồ thể hiện quy trình theo ví dụ 3.

Mô tả chi tiết sáng chế

Theo sáng chế các ion magie được tạo ra trong chất lỏng nước bằng cách hòa tan ra khỏi khoáng chất hoạt hóa ở dạng hạt.

Giải pháp theo sáng chế sử dụng giai đoạn hòa tan ban đầu trong đó huyền phù đặc trong nước chứa khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa (ở dạng hạt) được cho tiếp xúc với dòng khí chứa CO_2 dưới áp suất. Điều này hòa tan magie ra khỏi khoáng chất để tạo ra huyền phù bao gồm chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie. Magie được hòa tan trong giai đoạn hòa tan này, và có thể có một hoặc nhiều giai đoạn hòa tan bổ sung, được sử dụng cho kết tủa magie cacbonat.

Phản ứng hòa tan sẽ tạo ra các ion magie trong dung dịch dạng nước cùng với cacbonat và các ion trái dấu bicarbonat. Nếu các giai đoạn hòa tan riêng biệt (các bình phản ứng) được sử dụng chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie được tạo ra bởi mỗi giai đoạn (bình phản ứng) có thể được kết hợp trước khi cho kết tủa. Tuy nhiên, điều này là không cần thiết.

Trong ngữ cảnh của sáng chế, việc cacbonat hóa khoáng chất để chỉ quy trình tổng thể trong đó cacbon đioxit được phản ứng với magie từ nguyên liệu khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa để tạo ra các magie cacbonat và silic oxit. Để tham khảo, khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa để chỉ khoáng chất magie silic oxit mà được hoạt hóa bằng cách nghiền hoặc làm nóng hoặc cả hai phương pháp này. Theo sáng chế, các phản ứng diễn ra trong các chất lỏng nước với magie được tẩy ra khỏi magie silic oxit bên trong chất lỏng nước trong giai đoạn hoặc các giai đoạn hòa tan và magie cacbonat cho kết tủa ra khỏi ít nhất một chất lỏng trong hai hoặc nhiều giai đoạn kết tủa.

Để tham khảo, giai đoạn hòa tan để chỉ giai đoạn xử lý trong đó các ion kim loại (magie) được tẩy ra khỏi khoáng chất rắn bên trong chất lỏng nước. Để tham khảo, chất lỏng nước chứa các chất lỏng trong đó nước là thành phần chính (lớn hơn 50% theo khối lượng). Chất lỏng nước có thể chứa như thành phần phụ (nhỏ hơn 50% theo khối lượng) đã hòa tan các loại như các chất rắn hoặc các chất lỏng trộn lẫn nước. Nước biển, nước mặn và các dung dịch nước muối được bao gồm trong bản mô tả này. Để tham khảo, chất lỏng nước cũng bao gồm các loại khí như CO_2 hòa tan trong nước. Để tham khảo, chất lỏng nước còn bao gồm axit hoặc muối axit hòa tan trong nước. Chất lỏng nước có thể chứa tổ hợp của các thành phần như được mô tả tổng bản mô tả này.

Tuy nhiên, chất lỏng nước còn chứa chất rắn dạng hạt không hòa tan. Chất rắn dạng hạt bao gồm ít nhất khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa. Chất rắn dạng hạt trong chất lỏng nước tạo ra huyền phù đặc trong nước. Một hoặc nhiều chất rắn dạng hạt khác có thể cũng có mặt trong chất lỏng nước. Nói chung, chất rắn dạng hạt sẽ ở trạng thái lơ lửng bên trong chất lỏng nước.

Để tham khảo, chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu các ion magie bao gồm các chất lỏng mà ở đó các ion magie trong dung dịch cùng với bicacbonat và các ion trái dấu cacbonat.

Dòng khí chứa CO₂ được sử dụng trong các giai đoạn hòa tan có thể từ cùng một nguồn hoặc nguồn khác nhau. Dòng khí có thể bao gồm khí ống khói từ quy trình đốt hydrocacbon hoặc có thể là dòng CO₂ tương đối tinh khiết thu giữ từ quy trình trùng chỉnh, oxi hóa hoặc đốt hydrocacbon hoặc từ việc xử lý khí tự nhiên. Dòng này có thể có nồng độ CO₂ nằm trong khoảng từ 2% đến 100% theo thể tích. Các quy trình thu giữ là đã biết và có thể bao gồm việc sử dụng các amin hoặc các chất hấp thụ hoặc các chất hấp phụ CO₂ khác hoặc các màng được chọn để tách CO₂ ra khỏi khí ống khói, hoặc thu giữ trước khi đốt như bằng cách gọi là đốt nhiên liệu-oxy. Dòng khí chứa CO₂ được sử dụng trong giai đoạn hòa tan có thể bao gồm CO₂ được giải phóng và tái tuần hoàn từ giai đoạn kết tủa.

Để tham khảo, giai đoạn kết tủa bao gồm các quy trình mà ở đó các ion magie trong chất lỏng nước được cho kết tủa ra khỏi dung dịch dưới dạng magie cacbonat rắn, mà có thể ở dạng magnesit hoặc magie cacbonat được hydrat hóa, bao gồm hydromagnesit, dypingit và nesquehonit hoặc hỗn hợp của chúng. Sự kết tủa xuất hiện qua nhiều lần giảm áp suất (ví dụ, hai hoặc hơn) từng giai đoạn liên tục. Mỗi lần giảm áp suất từng giai đoạn giải phóng CO₂ và tạo kết tủa của magie cacbonat khi độ pH được nâng lên. CO₂ được giải phóng từ mỗi giai đoạn được nén lại từng giai đoạn tương ứng và tái tuần hoàn trở lại vào trong giai đoạn hòa tan. CO₂ giải phóng từ mỗi giai đoạn có thể được nén lại đến áp suất của giai đoạn trước hoặc đến áp suất của giai đoạn hòa tan.

Việc nén lại từng giai đoạn của CO₂ giải phóng làm giảm năng lượng tổng thể được yêu cầu để nén lại tất cả CO₂ về lại áp suất của giai đoạn hòa tan. Việc làm mát các dòng được nén giữa các giai đoạn nén lại sẽ làm giảm thêm năng lượng nén lại

tổng thể được yêu cầu và sẽ tạo thuận lợi cho việc thu hồi nước cuốn theo hoặc hơi nước được tái tuần hoàn đến quy trình ở các điểm tối ưu. Sự kết tủa trong mỗi giai đoạn cũng có thể được tạo thuận lợi bằng cách thay đổi một hoặc nhiều điều kiện xử lý khác như nhiệt độ.

Trong bản mô tả này, trừ khi ngữ cảnh quy định rõ ràng khác, để tham khảo, magie cacbonat bao gồm các dạng hydrat hóa của magie cacbonat bao gồm hydromagnesit, dypingit và nesquehonit hoặc hỗn hợp của chúng.

Chất rắn dạng hạt ban đầu được sử dụng làm nguyên liệu trong quy trình theo sáng chế bao gồm khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa như olivin, serpentinit, dunit hoặc hỗn hợp của chúng. Chất rắn có thể được nghiền đến các kích cỡ hạt mà đường kính trung bình khối lượng (D_{50}) nằm trong khoảng từ 5 micron đến 250 micron, tốt hơn là từ 20 micron đến 150 micron. Trước hoặc sau khi nghiền, khoáng chất có thể được làm nóng để hoạt hóa nó cho việc hòa tan. Một số nguyên liệu có thể không cần làm nóng và có thể được hoạt hóa đủ bằng cách nghiền; nhờ đó bao gồm khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa.

Khoáng chất magie silic oxit có thể được hoạt hóa bằng cách làm nóng khoáng chất dạng hạt để nâng nhiệt độ, ví dụ nằm trong khoảng từ 570°C đến 700°C để tạo ra chất rắn dạng hạt hoạt hóa bao gồm magie silic oxit được khử hydroxylat hóa. Chất rắn dạng hạt hoạt hóa bao gồm magie silic oxit được khử hydroxylat hóa và thường được làm mát đến dưới 200°C trước khi trộn với chất lỏng nước (ví dụ, nước) để tạo ra huyền phù đặc trong nước. Theo phương án này, nhiệt từ chất rắn hoạt hóa được làm nóng có thể được thu hồi cho việc sử dụng có lợi, như làm nóng dòng xử lý khác hoặc tạo ra dòng để phát điện.

Cặn rắn kiệt magie từ giai đoạn hòa tan bất kỳ có thể được đưa đến quy trình tách từ tính ướt để chiết phần giàu ion ra khỏi cặn này. Phần giàu ion có thể được trích trước khi xử lý tiếp theo bất kỳ và tương ứng với sản phẩm có giá trị.

Cặn rắn kiệt magie từ giai đoạn hòa tan bất kỳ có thể được thu hồi từ quy trình và silic oxit trong cặn này có thể được thu hồi dưới dạng sản phẩm có giá trị khác, hoặc được đưa đi tách từ tính hoặc không. Cặn rắn kiệt magie có thể được đưa đi xử lý hóa học, ví dụ tẩy axit, để tinh chế silic oxit có trong cặn này.

Áp suất và nhiệt độ hoặc các điều kiện vận hành khác của mỗi giai đoạn xử lý có thể được thay đổi để tối ưu hóa các phản ứng trong mỗi giai đoạn. Áp suất tuyệt đối có thể được duy trì nằm trong khoảng từ 5kPa đến 20000kPa và nhiệt độ nằm trong khoảng từ 10°C đến 200°C. Tốt hơn là, áp suất trong mỗi giai đoạn hòa tan nằm trong khoảng từ 100kPa đến 20000kPa và nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 185°C. Tốt hơn là, áp suất trong các giai đoạn kết tủa thấp hơn so với trong các giai đoạn hòa tan và nằm trong khoảng từ 5kPa đến 5000kPa và nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 150°C. Áp suất trong mỗi giai đoạn kết tủa thấp hơn so với giai đoạn trước. Nhiệt độ hoặc các điều kiện vận hành khác cũng có thể được thay đổi để tối ưu sự hòa tan hoặc sự kết tủa xuất hiện trong mỗi giai đoạn.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất quy trình trong đó chất lỏng được cacbonat hóa giàu ion magie được chế tạo bằng cách hòa tan khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa trong một hoặc nhiều bình phản ứng được cấp bởi dòng khí nạp chứa CO₂ cao hơn áp suất khí quyển và sau đó, trong hai hoặc nhiều giai đoạn kết tủa, tác động điều chỉnh độ pH trong chất lỏng bằng cách loại bỏ CO₂ hòa tan qua việc giảm áp suất vào chất lỏng nhờ đó cho kết tủa magie cacbonat. Áp suất được giảm tăng dần theo kiểu từng giai đoạn với mỗi giai đoạn có áp suất tuyệt đối thấp hơn so với giai đoạn trước. Mỗi lần giảm áp suất từng giai đoạn giải phóng CO₂ và tạo kết tủa của magie cacbonat do độ pH được nâng lên. CO₂ được giải phóng từ mỗi giai đoạn được nén lại từng giai đoạn tương ứng và tái tuần hoàn trở lại vào trong giai đoạn hòa tan. CO₂ giải phóng từ mỗi giai đoạn có thể được nén lại đến áp suất của giai đoạn trước hoặc đến áp suất của giai đoạn hòa tan.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất quy trình trong đó chất lỏng được cacbonat hóa giàu ion magie được chế tạo bằng cách hòa tan magie silic oxit hoạt hóa trong một hoặc nhiều bình phản ứng được cấp bởi dòng khí nạp chứa CO₂ gần, ở hoặc cao hơn áp suất khí quyển và sau đó, trong hai hoặc nhiều giai đoạn kết tủa riêng, tác động điều chỉnh độ pH trong dung dịch bằng cách loại bỏ CO₂ hòa tan bằng cách cấp chân không riêng phần hoặc áp suất thấp hơn khí quyển trong ít nhất một giai đoạn trong số các giai đoạn kết tủa, nhờ đó cho kết tủa magie cacbonat. Áp suất được giảm tăng dần trong mỗi giai đoạn kết tủa với mỗi giai đoạn có áp suất tuyệt đối thấp hơn so với giai đoạn trước. Mỗi lần giảm áp suất từng giai đoạn giải phóng CO₂ và tạo

kết tủa của magie cacbonat do độ pH được nâng lên. CO₂ được giải phóng từ mỗi giai đoạn được nén lại từng giai đoạn tương ứng và tái tuần hoàn trở lại vào trong giai đoạn hòa tan. CO₂ giải phóng từ mỗi giai đoạn có thể được nén lại đến áp suất của giai đoạn trước hoặc đến áp suất của giai đoạn hòa tan. Sự nén lại từng giai đoạn của CO₂ giải phóng giảm năng lượng tổng thể được yêu cầu cho việc nén lại tất cả CO₂ về lại áp suất của giai đoạn hòa tan. Việc làm mát các dòng được nén giữa các giai đoạn nén lại sẽ làm giảm thêm năng lượng nén lại tổng thể được yêu cầu và sẽ tạo điều kiện cho việc thu hồi nước cuốn theo hoặc hơi nước được tái tuần hoàn đến quy trình ở các điểm tối ưu.

Theo một phương án, CO₂ được giải phóng từ giai đoạn kết tủa được nén đến áp suất của giai đoạn kết tủa trước và được trộn với CO₂ được giải phóng từ giai đoạn trước trước khi được nén tiếp và tái tuần hoàn về lại giai đoạn hòa tan. Theo một phương án, việc làm mát được tạo ra giữa mỗi điểm nén để giảm năng lượng được yêu cầu cho việc nén tiếp. Nước ngưng tụ bằng cách làm mát sau mỗi điểm nén có thể được loại bỏ ra khỏi dòng khí và tái tuần hoàn trở lại quy trình.

Ưu điểm được tạo ra bởi sáng chế có thể được bắt nguồn từ:

- thu hồi các dòng CO₂ gần như tinh khiết từ các giai đoạn kết tủa mà có thể được tái tuần hoàn về lại giai đoạn hòa tan nhờ đó tạo ra nồng độ CO₂ cao hơn cho việc hòa tan so với dòng nạp khí ống khói;
- tiết kiệm năng lượng đáng kể trong việc nén lại của các dòng này do các lần giảm áp suất từng giai đoạn trong các giai đoạn kết tủa. Cần ít năng lượng tổng thể để nén lại CO₂ được giải phóng từ mỗi giai đoạn hơn sẽ là trường hợp nếu tất cả CO₂ được giải phóng trong một giai đoạn kết tủa với lần giảm áp suất một giai đoạn. CO₂ giải phóng từ mỗi giai đoạn, mà bao gồm chỉ một phần trong tổng CO₂ giải phóng, cũng có thể chỉ được nén từ áp suất của chính nó lên đến áp suất của giai đoạn nén trước hơn là nén lại tất cả CO₂ giải phóng từ áp suất thuật cuối cùng trở lên đến áp suất của giai đoạn hòa tan. Do đó, áp suất vận hành của giai đoạn kết tủa và giai đoạn nén lại có thể được lựa chọn để tối ưu sự kết tủa đồng thời giảm đến mức tối thiểu; và
- Việc làm mát giữa các tầng của các dòng CO₂ nén lại giữa các giai đoạn làm giảm thêm năng lượng nén lại được yêu cầu cũng như thu hồi nước cuốn theo

hoặc hơi nước mà có thể được bổ sung về lại quy trình ở các điểm thuận lợi nhất. Các điểm này có thể được chọn như để tối ưu nhiệt độ và nồng độ của huyền phù bên trong quy trình.

Theo một phương án, huyền phù ra khỏi bình phản ứng hòa tan được đưa đến quy trình tách trong thiết bị tách mà gần như tách các chất rắn ra khỏi các chất lỏng, do đó tách huyền phù thành dòng bao gồm chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie và dòng bao gồm cặn rắn kiệt magie. Dòng này bao gồm chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie được nạp vào các bình phản ứng kết tủa.

Theo phương án khác, sáng chế đề xuất hệ thống bình phản ứng được làm thích ứng để thực hiện quy trình theo sáng chế. Hệ thống bình phản ứng bao gồm một hoặc nhiều bình phản ứng hòa tan và một hoặc nhiều bình phản ứng kết tủa được làm thích ứng để tạo ra việc giảm áp suất từng giai đoạn và thu hồi CO₂ giải phóng và các magie cacbonat kết tủa.

Theo phương án khác, hệ thống này có thể bao gồm nhiều bình phản ứng hòa tan và nhiều bình phản ứng kết tủa được bố trí theo kiểu nối tiếp hoặc song song, cùng với cụm trước và sau xử lý vận hành như bộ truyền nhiệt và quy trình tách chất lỏng/chất rắn hoặc chất lỏng/khí. Trong trường hợp này, cacbon đioxit được giải phóng trong các bình phản ứng khử khí/kết tủa tương ứng có thể được tái tuần hoàn vào một hoặc nhiều bình phản ứng hòa tan, ở các áp suất vận hành thay đổi và tùy ý các điều kiện xử lý khác, để nâng cao hiệu suất của quy trình. Theo các phương án, dòng CO₂ có thể được phản ứng với nguyên liệu khoáng chất hoạt hóa trong các bình phản ứng tách rời hoặc tái tuần hoàn vào một hoặc nhiều bình phản ứng hòa tan, để tạo ra magie cacbonat qua các giai đoạn khử khí/kết tủa tiếp theo, nhờ đó tối ưu hóa việc tạo ra magie cacbonat như sản phẩm có giá trị theo sáng chế.

Sáng chế có thể tạo ra sự cải thiện đáng kể so với các quy trình cacbonat hóa khoáng chất trước đó, khiến quy trình tổng thể năng động hơn và thuận lợi về kinh tế hơn so với những gì có thể trông đợi và do đó cạnh tranh hơn so với các quy trình đã biết. Do đó, sáng chế có thể tạo ra phương tiện thích hợp hơn để chuyển đổi cacbon đioxit thành các magie cacbonat ổn định nhờ đó làm giảm lượng cacbon đioxit xả vào khí quyển. Các phương án theo sáng chế có thể được thực hiện ở các điều kiện vận hành có lợi theo năng động (bao gồm áp suất và nhiệt độ) khi so với các điều kiện

theo quy ước đối với cacbonat hóa khoáng chất ngoại vi. Các phương án của sáng chế có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các dòng khí chứa cacbon đioxit mà chứa tạp chất axit và/hoặc tạp chất khác ở mức độ cao hơn so với các quy trình theo quy ước được chấp nhận theo cách khác.

Dưới đây, các phương án của sáng chế sẽ được mô tả trong bản mô tả này có dựa vào các ví dụ không bị giới hạn sau.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1

Fig.1 thể hiện lưu đồ của quy trình theo phương án của sáng chế. Để đơn giản, các bộ trao đổi nhiệt trung gian, bơm và các cụm xử lý khác không được thể hiện trên hình vẽ này. Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này sẽ hiểu rằng các cụm trung gian được yêu cầu ở các điểm nhất định của quy trình.

Fig.1 thể hiện quy trình có một giai đoạn hòa tan và hai giai đoạn kết tủa. Hình vẽ này thể hiện quy trình hoạt hóa 1 trong đó nguyên liệu khoáng chất magie silic oxit được làm nóng, để tạo ra khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa, bình bổ sung huyền phù 2 mà ở đó nước được trộn với khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa để tạo ra huyền phù đặc trong nước của khoáng chất hoạt hóa, bình phản ứng hòa tan 4 mà ở đó huyền phù được cho tiếp xúc với dòng khí chứa CO₂ 3 dưới áp lực. Trong bản mô tả này, dòng khí chứa CO₂ bao gồm CO₂ tương đối tinh khiết từ quy trình thu giữ khí ống khói và được nén đến 600kPa. Nhiệt độ trong bình phản ứng hòa tan là 50°C. Trong bản mô tả này, nguyên liệu khoáng chất magie silic oxit có đường kính hạt trung bình theo khối lượng là 37 micron. Huyền phù ra khỏi bình phản ứng hòa tan 4 đi qua thiết bị tách 5 mà gần như tách huyền phù thành chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie. Cặn rắn có thể tạo ra dòng sản phẩm thứ nhất và có thể được xử lý thêm như bằng cách tách từ tính để thu hồi sắt hoặc bằng cách tẩy axit.

Chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie từ thiết bị tách 5 được nạp vào trong bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6 mà ở đó xuất hiện sự kết tủa của magie cacbonat do áp suất được giảm xuống 200kPa. Nhiệt độ trong bình phản ứng kết tủa thứ nhất là 70°C. Khí CO₂ được giải phóng do giảm áp suất được nén lại ở giai đoạn nén 7 và được tái tuần hoàn về lại bình phản ứng hòa tan 4. Huyền phù ra khỏi bình

phản ứng kết tủa thứ nhất 6 đi qua thiết bị tách 5A mà gần như tách magie cacbonat kết tủa ra khỏi chất lỏng nước của ion magie còn lại.

Chất lỏng nước của ion magie còn lại từ thiết bị tách 5A được nạp vào trong bình phản ứng kết tủa thứ hai 6A mà ở đó xuất hiện sự kết tủa thêm của magie cacbonat do áp suất được giảm xuống 50kPa. Nhiệt độ trong bình phản ứng kết tủa thứ hai là 85°C. Hơn nữa, khí CO₂ được giải phóng do lần giảm áp suất được nén lại ở giai đoạn nén 7A và được pha trộn với CO₂ được giải phóng từ bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6 trước khi được nén tiếp ở giai đoạn nén 7 và được tái tuần hoàn về lại bình phản ứng hòa tan 4. Huyền phù ra khỏi bình phản ứng kết tủa thứ hai 6A đi qua thiết bị tách 5B mà gần như tách magie cacbonat kết tủa ra khỏi chất lỏng nước của ion magie còn lại. Chất lỏng ion magie còn lại được tái tuần hoàn về lại bình bổ sung huyền phù 2.

Ví dụ 2

Fig.2 là lưu đồ thể hiện quy trình theo phương án khác của sáng chế. Để đơn giản, các bộ trao đổi nhiệt trung gian, bơm và các cụm xử lý khác không được thể hiện trên hình vẽ này. Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này sẽ hiểu rằng các cụm trung gian được yêu cầu ở các điểm nhất định của quy trình.

Fig.2 thể hiện quy trình hoạt hóa 1 trong đó nguyên liệu khoáng chất magie silic oxit được làm nóng và nghiền, để tạo ra khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa có đường kính hạt trung bình theo khối lượng là 45 micron, bình bổ sung huyền phù (2) mà ở đó nước được trộn với khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa để tạo ra huyền phù đặc trong nước của khoáng chất hoạt hóa, bình phản ứng hòa tan thứ nhất 4 mà ở đó huyền phù được cho tiếp xúc với dòng khí chứa CO₂ được nén 3. Trong bản mô tả này, dòng khí chứa CO₂ bao gồm khí ống khói và được nén đến 1000kPa tạo ra áp suất riêng phần của CO₂ là 80kPa. Nhiệt độ trong bình phản ứng hòa tan là 50°C. Huyền phù ra khỏi bình phản ứng hòa tan thứ nhất 4, bao gồm chất lỏng được cacbonat hóa giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie. Trong bình phản ứng hòa tan thứ hai 4A, magie được hòa tan thêm ra khỏi khoáng chất. Trong bản mô tả này, áp suất riêng phần của CO₂ là 600kPa và nhiệt độ là 60°C. Huyền phù ra khỏi bình phản ứng hòa tan thứ hai được nạp vào trong cụm tách 5 mà ở đó chất lỏng nước được tách ra khỏi cặn rắn bao gồm sản phẩm giàu silic oxit. Chất lỏng nước được cacbonat hóa

giàu ion magie đã được tách được nạp vào trong chuỗi các bình phản ứng kết tủa 6 và 6A mà ở đó xuất hiện sự kết tủa của magie cacbonat.

Trong ví dụ này, khí CO₂ được giải phóng dân ra khỏi các bình phản ứng kết tủa 6 và 6A do hai lần giảm áp theo cấp liên tục, gây ra sự tăng theo cấp về độ pH của chất lỏng và tạo kết tủa của magie cacbonat ra khỏi chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie. CO₂ giải phóng được nén lại ở giai đoạn nén 7A và ở giai đoạn nén 7B và nạp về lại bình phản ứng hòa tan thứ hai 4A ở áp suất 600kPa. Trong bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6 áp suất được giảm xuống 200kPa. Nhiệt độ trong bình phản ứng kết tủa thứ nhất là 60°C. Huyền phù ra khỏi bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6 đi qua thiết bị tách 5A mà gần như tách magie cacbonat kết tủa ra khỏi chất lỏng nước của ion magie còn lại.

Chất lỏng nước của ion magie còn lại từ thiết bị tách 5A được nạp vào trong bình phản ứng kết tủa thứ hai 6A mà ở đó xuất hiện sự kết tủa thêm của magie cacbonat do áp suất được giảm thêm xuống 50kPa tuyệt đối bằng cách cấp chân không riêng phần. Nhiệt độ trong bình phản ứng kết tủa thứ hai là 65°C. Khí CO₂ được giải phóng do lần giảm áp suất được nén lại ở giai đoạn nén 7B và được tái tuần hoàn về lại bình phản ứng hòa tan 4A.

Trong ví dụ này, dòng sản phẩm được tạo ra từ thiết bị tách 5 bao gồm các chất rắn silic oxit được làm giàu. Dòng này có thể được xử lý thêm để tạo ra các sản phẩm có giá trị cao. Cụ thể là, dòng này có thể được xử lý trong thiết bị tách từ tính ướt để loại bỏ phân đoạn giàu sắt mà có thể là sản phẩm có giá trị. Phân đoạn giàu silic oxit còn lại có thể là sản phẩm có giá trị khác hoặc có thể được xử lý hoặc làm sạch thêm, ví dụ bằng cách tẩy axit của các kim loại còn lại bất kỳ. Hơn nữa, các dòng sản phẩm được tạo ra từ các thiết bị tách 5A và 5B sau các bình phản ứng kết tủa 6 và 6A bằng cách tách huyền phù ra khỏi các bình phản ứng kết tủa thành dòng giàu chất rắn và dòng giàu chất lỏng. Các dòng giàu chất rắn đã tách bao gồm magie cacbonat được hydrat hóa bao gồm nesquehonit mà tương ứng với sản phẩm có giá trị khác. Các dòng giàu chất lỏng được đưa về lại quy trình.

Ví dụ 3

Fig.3 là lưu đồ thể hiện quy trình theo phương án khác của sáng chế. Để đơn giản các bộ trao đổi nhiệt trung gian, bơm và các cụm xử lý khác không được thể hiện

trên hình vẽ này. Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này sẽ hiểu rằng các cụm trung gian được yêu cầu ở các điểm nhất định của quy trình.

Fig.3 thể hiện quy trình hoạt hóa 1 trong đó nguyên liệu khoáng chất magie silic oxit được làm nóng và nghiền, để tạo ra khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa có đường kính hạt trung bình theo khối lượng là 45 micron, bình bổ sung huyền phù 2 mà ở đó nước được trộn với khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa để tạo ra huyền phù đặc trong nước của khoáng chất hoạt hóa, bình phản ứng hòa tan thứ nhất 4 mà ở đó huyền phù được cho tiếp xúc với dòng khí chứa CO_2 được nén 3. Trong bản mô tả này, dòng khí chứa CO_2 bao gồm khí ống khói và được nén đến 1000kPa tạo ra áp suất riêng phần của CO_2 là 80kPa. Nhiệt độ trong bình phản ứng hòa tan thứ nhất 4 là 40°C. Huyền phù ra khỏi bình phản ứng hòa tan thứ nhất 4 bao gồm chất lỏng được cacbonat hóa giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie. Trong bình phản ứng hòa tan thứ hai 4A magie được hòa tan thêm ra khỏi khoáng chất. Trong bản mô tả này, áp suất riêng phần của CO_2 là 600kPa và nhiệt độ là 50°C. Huyền phù ra khỏi bình phản ứng hòa tan thứ hai được nạp vào trong cụm tách 5 mà ở đó chất lỏng nước được tách ra khỏi cặn rắn bao gồm sản phẩm giàu silic oxit. Chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie đã được tách được nạp vào trong chuỗi các bình phản ứng kết tủa 6 và 6A mà ở đó xuất hiện sự kết tủa của magie cacbonat.

Trong ví dụ này, khí CO_2 được giải phóng dần ra khỏi các bình phản ứng kết tủa 6 và 6A do việc giảm áp suất có cấp liên tục, gây ra sự tăng theo cấp về độ pH của chất lỏng và tạo kết tủa của magie cacbonat ra khỏi chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie. Trong bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6, áp suất được giảm xuống 200kPa. Nhiệt độ trong bình phản ứng kết tủa thứ nhất là 60°C. Huyền phù ra khỏi bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6 được nạp vào trong cụm tách 5A mà ở đó chất lỏng nước gần như được tách ra khỏi chất rắn mà bao gồm sản phẩm magie cacbonat được hydrat hóa.

Chất lỏng nước của ion magie còn lại từ thiết bị tách 5A được nạp vào trong bình phản ứng kết tủa thứ hai 6A mà ở đó xuất hiện sự kết tủa thêm của magie cacbonat do áp suất được giảm thêm xuống 50kPa tuyệt đối bằng cách cấp chân không riêng phần. Nhiệt độ trong bình phản ứng kết tủa thứ hai là 65°C.

CO₂ được giải phóng từ bình phản ứng kết tủa thứ hai 6A được nén lại ở giai đoạn nén 7B đến áp suất của bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6 và được pha trộn với CO₂ được giải phóng từ bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6. CO₂ đã pha trộn được nén lại ở giai đoạn nén 7A đến áp suất của bình phản ứng hòa tan thứ hai 4A và được pha trộn với CO₂ được giải phóng từ bình phản ứng hòa tan thứ hai 4A. Ví dụ này bao gồm cụm làm mát 8 và cụm làm mát 8A giữa các giai đoạn nén 7B và giai đoạn nén 7A và giữa giai đoạn nén 7A và giai đoạn nén 7. Nước ngưng tụ được loại bỏ ra khỏi các cụm làm mát này và có thể được tái tuần hoàn trở lại quy trình ví dụ ở bình bổ sung (2).

Huyền phù ra khỏi bình phản ứng kết tủa thứ nhất 6 đi qua thiết bị tách 5A mà gần như tách magie cacbonat kết tủa ra khỏi chất lỏng nước của ion magie còn lại.

Trong ví dụ này, dòng sản phẩm được tạo ra từ từ thiết bị tách 5 bao gồm các chất rắn silic oxit được làm giàu. Dòng này có thể được xử lý thêm để tạo ra các sản phẩm có giá trị cao. Cụ thể là, dòng này có thể được xử lý trong thiết bị tách từ tính ướt để loại bỏ phân đoạn giàu sắt mà có thể là sản phẩm có giá trị. Phân đoạn giàu silic oxit còn lại có thể là sản phẩm có giá trị khác hoặc có thể được xử lý hoặc làm sạch thêm, ví dụ bằng cách tẩy axit của các kim loại còn lại bất kỳ. Hơn nữa, các dòng sản phẩm được tạo ra từ các thiết bị tách 5A và 5B sau các bình phản ứng kết tủa 6 và 6A bằng cách tách huyền phù ra khỏi các bình phản ứng kết tủa thành dòng giàu chất rắn và dòng giàu chất lỏng. Các dòng giàu chất rắn đã tách bao gồm magie cacbonat được hydrat hóa mà tương ứng với sản phẩm có giá trị khác. Các dòng giàu chất lỏng được đưa về lại quy trình. Mặc dù ví dụ này thể hiện hai giai đoạn kết tủa, song có thể sử dụng nhiều hơn hai giai đoạn, với mỗi giai đoạn ở áp suất thấp hơn so với giai đoạn trước. Đối với hai giai đoạn, CO₂ được giải phóng từ mỗi giai đoạn có thể được nén lại và tái tuần hoàn đến giai đoạn hòa tan.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình tích hợp để thu giữ, cang hóa và sử dụng cacbon đioxit, quy trình này bao gồm các bước:

a) tạo ra huyền phù đặc trong nước bao gồm chất lỏng nước và chất rắn dạng hạt bao gồm khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa;

b) trong giai đoạn hòa tan, cho dòng khí chứa CO₂ tiếp xúc với huyền phù dạng nước ở áp suất thứ nhất để hòa tan magie ra khỏi khoáng chất để tạo ra huyền phù bao gồm chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie và cặn rắn kết magie; và

c) trong giai đoạn kết tủa, giải phóng CO₂ bởi nhiều lần giảm áp suất từng giai đoạn liên tục, với mỗi giai đoạn ở áp suất thấp hơn so với giai đoạn trước và nâng cao độ pH nhờ đó cho kết tủa magie cacbonat từ các ion magie được hòa tan ở bước b);

trong đó mỗi lần giảm áp suất từng giai đoạn liên tục giải phóng CO₂ mà được nén từng giai đoạn tương ứng và tái tuần hoàn trở lại vào trong giai đoạn hòa tan.

2. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie được chế tạo bằng cách hòa tan khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa trong một hoặc nhiều bình phản ứng được cấp bởi dòng khí nạp chứa CO₂ cao hơn áp suất khí quyển và sau đó, trong hai hoặc nhiều giai đoạn kết tủa, tác động điều chỉnh độ pH trong chất lỏng bằng cách loại bỏ CO₂ hòa tan qua việc giảm áp suất vào chất lỏng nhờ đó cho kết tủa magie cacbonat.

3. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie được chế tạo bằng cách hòa tan khoáng chất magie silic oxit hoạt hóa trong một hoặc nhiều bình phản ứng được cấp bởi dòng khí nạp chứa CO₂, ở hoặc cao hơn áp suất khí quyển và sau đó, trong hai hoặc nhiều giai đoạn kết tủa riêng, tác động điều chỉnh độ pH trong dung dịch bằng cách loại bỏ CO₂ hòa tan bằng cách cấp chân không riêng phần hoặc áp suất thấp hơn khí quyển trong ít nhất một giai đoạn trong số các giai đoạn kết tủa nhờ đó cho kết tủa magie cacbonat.

4. Quy trình tích hợp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó giai đoạn hòa tan được thực hiện trong bình phản ứng hòa tan và huyền phù ra khỏi bình phản ứng hòa tan được đưa đến quy trình tách trong thiết bị tách mà tách các chất rắn ra khỏi các chất lỏng, nhờ đó tách huyền phù thành huyền phù dòng bao gồm chất lỏng nước được cacbonat hóa giàu ion magie và huyền phù dòng bao gồm cặn rắn kiệt magie.
5. Quy trình tích hợp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó áp suất trong mỗi giai đoạn hòa tan nằm trong khoảng từ 100kPa đến 20000kPa và nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 185°C.
6. Quy trình tích hợp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5, trong đó dòng bao gồm CO₂ được giải phóng từ việc giảm áp suất từng giai đoạn bất kỳ được nén và pha trộn với dòng bao gồm CO₂ được giải phóng từ giai đoạn trước bất kỳ trước khi được nén tiếp và tái tuần hoàn trở lại vào trong giai đoạn hòa tan.
7. Quy trình tích hợp theo điểm 6, trong đó dòng bao gồm CO₂ mà đã được nén được làm mát trước khi được pha trộn với dòng bao gồm CO₂ được giải phóng từ giai đoạn trước bất kỳ trước khi được nén tiếp và tái tuần hoàn trở lại vào trong giai đoạn hòa tan.
8. Quy trình tích hợp theo điểm 7, trong đó việc làm mát làm ngưng hơi nước của nước cuốn theo.
9. Quy trình tích hợp theo điểm 8, trong đó nước ngưng tụ được tái tuần hoàn về lại quy trình.
10. Quy trình tích hợp theo điểm 4, trong đó cặn rắn kiệt magie được đưa vào quy trình tách từ tính ướt để chiết phần giàu ion ra khỏi cặn này.
11. Quy trình tích hợp theo điểm 4, trong đó cặn rắn kiệt magie được đưa đi xử lý hóa học để tinh chế silic oxit chứa trong cặn này.

12. Quy trình tích hợp theo điểm 11, trong đó việc xử lý hóa học là tẩy axit.
13. Hệ thống bình phản ứng được làm thích ứng để thực hiện quy trình theo điểm 1, hệ thống bình phản ứng bao gồm hai hoặc nhiều bình phản ứng kết tủa mà mỗi bình được làm thích ứng để tạo ra việc giảm áp suất từng giai đoạn và thu hồi các magie cacbonat kết tủa.

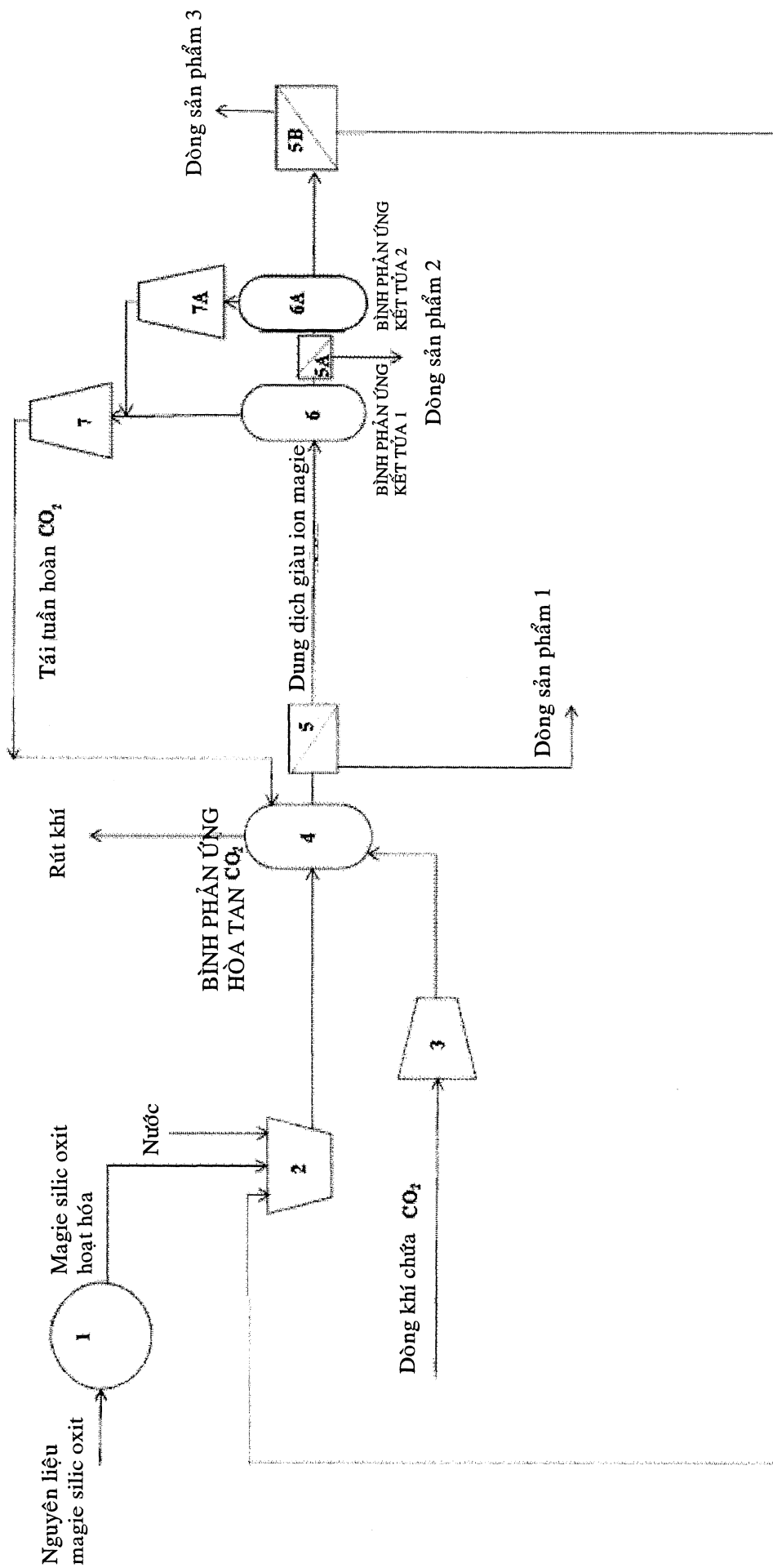


Fig.1

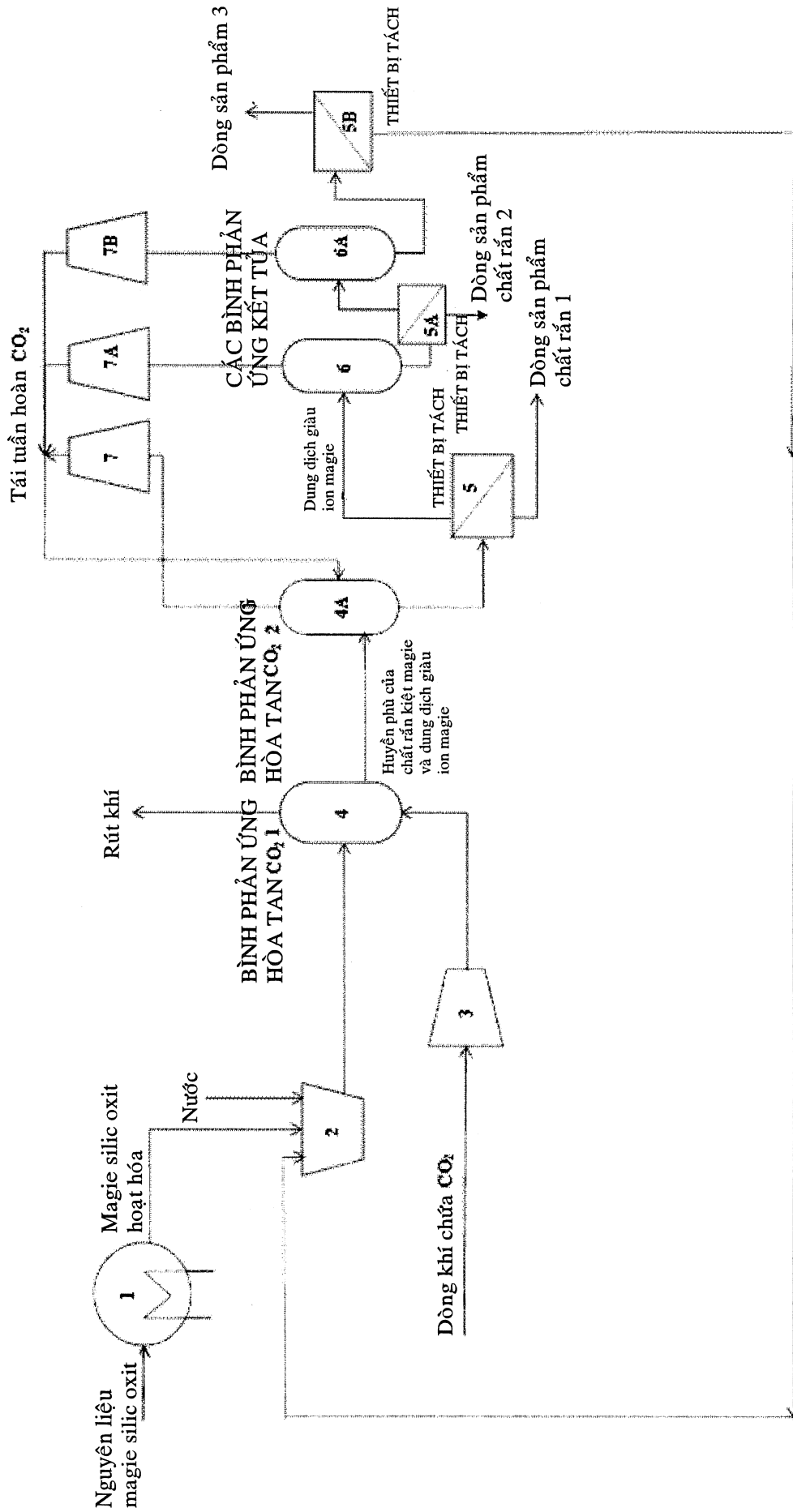


Fig.2

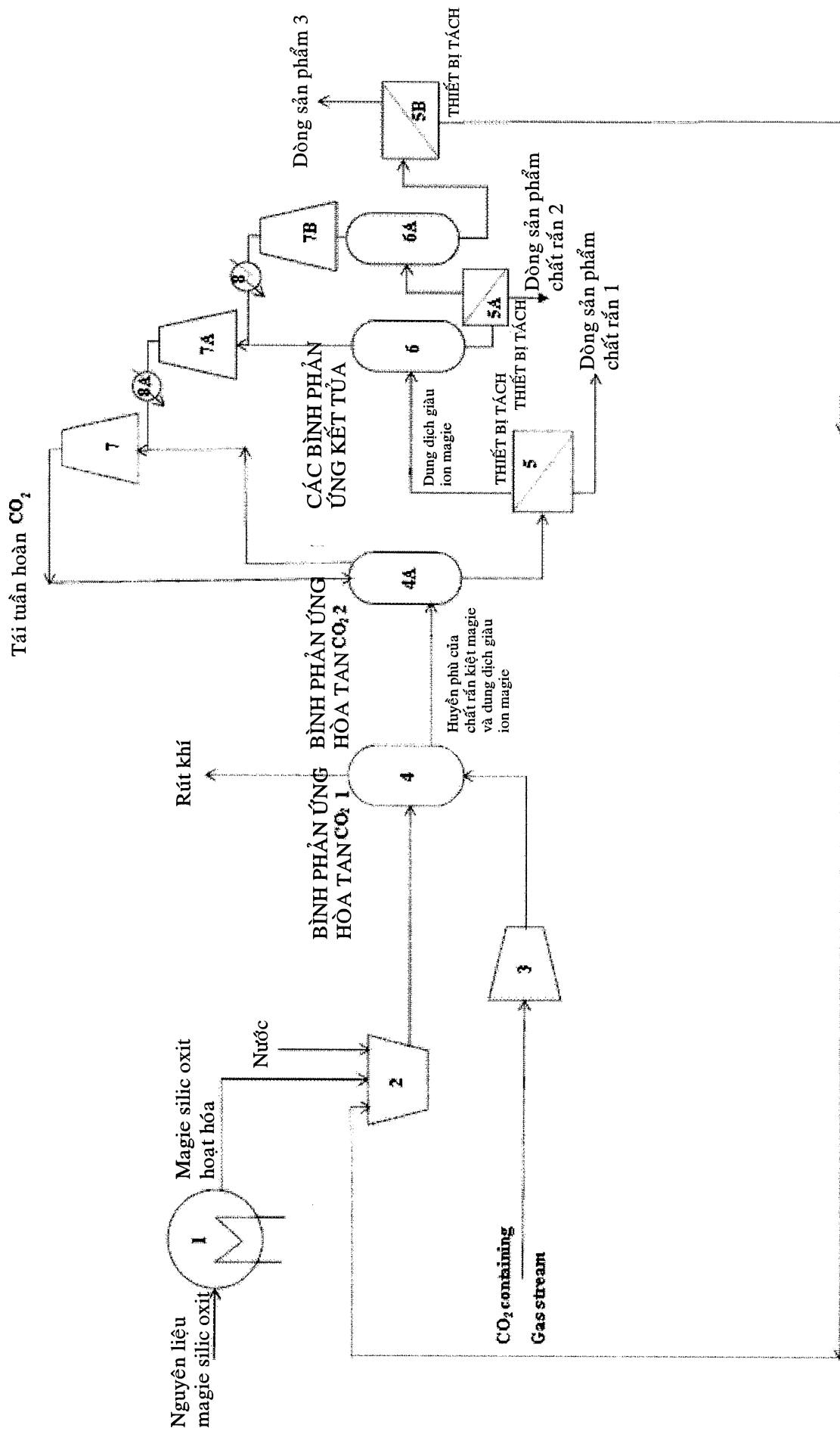


Fig.3