



(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)



1-0042215

(51)^{2020.01} C01F 5/24; B01D 53/73; B01D 53/78; (13) B
B01D 53/80; C01B 13/18; C01B 13/36;
C01B 32/60; C01B 33/12; B01D 53/62;
B01J 8/00

(21) 1-2020-05095

(22) 08/02/2019

(86) PCT/AU2019/050098 08/02/2019

(87) WO 2019/153047 15/08/2019

(30) 2018900382 08/02/2018 AU

(45) 25/12/2024 441

(43) 25/12/2020 393

(73) MINERAL CARBONATION INTERNATIONAL PTY LTD (AU)

C/- Equity Partners, Unit 56, 40 Mort Street, Braddon, ACT 2612, Australia

(72) Emad BENHELAL (IR); Geoffrey Frederick BRENT (AU); Eric Miles KENNEDY (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

(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 dung dịch trong nước và chất rắn dạng hạt bao gồm khoáng chất magie silicat hoạt hóa;

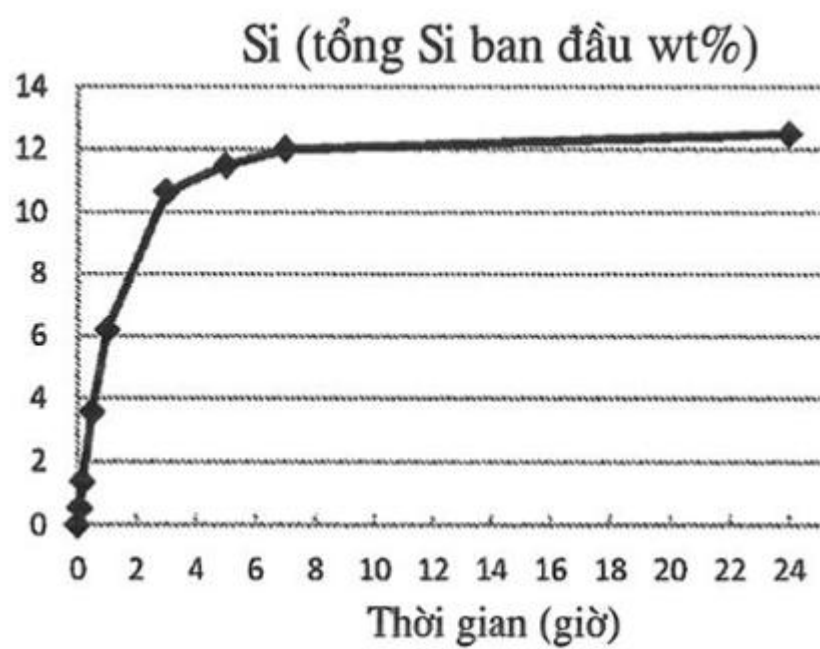
b) trong giai đoạn hòa tan, cho dòng khí chứa CO₂ tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước để hòa tan magie ra khỏi khoáng chất nhằm tạo ra dung dịch trong nước giàu ion magie và các cặn rắn kiệt magie;

c) thu hồi ít nhất một phần các cặn rắn kiệt magie;

d) trong giai đoạn xử lý tách axit, cho phần thu hồi của các cặn rắn kiệt magie phản ứng với dung dịch bao gồm axit vô cơ hoặc muối axit để hòa tan tiếp magie và các kim loại khác và nhằm tạo ra các cặn rắn được xử lý bằng axit;

e) thu hồi các cặn rắn được xử lý bằng axit; và

f) trong giai đoạn kết tủa riêng, cho kết tủa magie cacbonat từ dung dịch trong nước giàu ion magie.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới 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 tới 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 silicat 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.

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 silicat thô cần cho việc cacbonat hóa khoáng chất là dồi dào và phân bố rộng rãi trên toàn cầu. Cụ thể là, khoáng chất magie silicat 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 khoáng chất magie silicat có thể được khai mỏ một cách dễ dàng và là thích hợp để dùng trong các công nghệ xử lý đã biết. Nói chung, các khoáng chất là sự mở đầu và các rủi ro an toàn và môi trường là quản lý được.

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 trình cũng không cho phép làm phù hợp theo lựa chọn sản phẩm bất kỳ bằng cách thay đổi các điều kiện quy trình để tối ưu hóa giá trị.

Các quy trình cacbonat hóa hai hoặc nhiều giai đoạn bao gồm giai đoạn hòa tan tách magie và kết tủa magie cacbonat. Giai đoạn hòa tan magie sử dụng dòng khí chứa CO₂. 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 bằng cách sử dụng CO₂ làm nguồn axit để hòa tan không có khả năng ngâm chiết đáng kể magie ra khỏi khoáng chất thể rắn, và do đó không có hiệu quả tương đối do phân đoạn magie đáng kể không được dùng để phản ứng với CO₂. Hơn thế nữa, thường không có kim loại khác có mặt trong quặng nguyên liệu khoáng như Fe, Ni hoặc Al được ngâm chiết hoặc được sử dụng. Nhược điểm này làm tăng các chi phí xử lý do lượng khoáng chất lớn hơn phải được xử lý do sử dụng không đúng mức các thành phần kim loại và còn bỏ qua lợi ích sản phẩm tiềm năng. Vấn đề khác với các quy trình cacbonat hóa hiện có là các cặn rắn sau khi hòa tan bị nhiễm bẩn bởi các loại kim loại thừa (thường là Mg và Fe), giảm giá trị của cặn do sản phẩm SiO₂ tiềm năng.

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 giàu 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 silicat để hóa rắn các cacbonat và các silicat 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 silic oxit. Việc sử dụng các sản phẩm này được xếp hạng quy trình theo sáng chế như CCSU, trái ngược với CCS.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất quy trình tích hợp để thu giữ, cang hóa và sử dụng cacbon đioxit, quy trình bao gồm:

- a) tạo ra huyền phù đặc trong nước bao gồm dung dịch trong nước và chất rắn dạng hạt bao gồm khoáng chất magie silicat hoạt hóa;
- b) trong giai đoạn hòa tan, cho dòng khí chứa CO₂ tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước để hòa tan magie ra khỏi khoáng chất nhằm tạo ra dung dịch trong nước giàu ion magie và các cặn rắn kiệt magie;
- c) thu hồi ít nhất một phần các cặn rắn kiệt magie;

d) trong giai đoạn xử lý tách axit, cho phần thu hồi của các cặn rắn kiệt magie phản ứng với dung dịch bao gồm axit vô cơ hoặc muối axit để hòa tan tiếp magie và các kim loại khác và nhằm tạo ra các cặn rắn được xử lý bằng axit;

e) thu hồi các cặn rắn được xử lý bằng axit; và

f) trong giai đoạn kết tủa riêng, cho kết tủa magie cacbonat khỏi dung dịch trong nước giàu ion magie.

Sáng chế còn đề xuất hệ thống bình phản ứng được làm thích ứng để thực hiện các quy trình theo sáng chế. Hệ thống bình phản ứng bao gồm bình hòa tan, bình kết tủa và bình xử lý axit.

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:

Các hình vẽ từ Fig.1 đến Fig.9 là các đồ thị thể hiện các kết quả thu được trong các ví dụ thực hiện sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Ưu điểm của giải pháp do sáng chế đề xuất là giảm lượng magie trong khoáng chất hoạt hóa trong giai đoạn hòa tan. Trong quy trình theo sáng chế nêu trên, một giai

đoạn hòa tan được sử dụng. Tuy nhiên, có khả năng quy trình theo sáng chế có thể được thực hiện với nhiều giai đoạn hòa tan, với các cặn rắn kiệt magie từ quy trình hòa tan trước đó được điều chế thành huyền phù đặc bằng dung dịch trong nước tiếp nối bởi bước cho huyền phù đặc trong nước tiếp xúc với dòng khí chứa CO_2 . Mỗi giai đoạn hòa tan sẽ giảm thêm lượng magie trong khoáng chất hoạt hóa và tạo ra dung dịch trong nước giàu ion magie. Dung dịch trong nước giàu ion magie từ một hoặc nhiều giai đoạn hòa tan có thể được xử lý sau đó để kết tủa cacbonat trong giai đoạn kết tủa. Các cặn rắn sinh ra sau giai đoạn hòa tan (nếu chỉ có một giai đoạn hòa tan) hoặc giai đoạn hòa tan sau cùng (nếu có nhiều giai đoạn hòa tan) được xử lý bằng dung dịch axit vô cơ hoặc muối axit trong giai đoạn xử lý tách axit. Do đó, các sản phẩm cacbonat và silic oxit có độ tinh khiết cao, đáng giá đều được tạo ra và tối ưu hóa ở các giai đoạn khác nhau. Quy trình theo sáng chế còn cho phép thu hồi các sản phẩm khác sau bước xử lý axit.

Khi quy trình theo sáng chế bao gồm nhiều giai đoạn hòa tan quy trình có thể được xác định bao gồm các bước sau:

- a) tạo ra huyền phù đặc trong nước bao gồm dung dịch trong nước và chất rắn dạng hạt bao gồm khoáng chất magie silicat hoạt hóa;
- b) trong giai đoạn hòa tan thứ nhất, cho dòng khí chứa CO_2 tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước để hòa tan một phần magie ra khỏi khoáng chất nhằm tạo ra dung dịch trong nước giàu ion magie và các cặn rắn kiệt magie;
- c) thu hồi các cặn rắn kiệt magie và tạo ra huyền phù đặc trong nước bao gồm dung dịch trong nước và các cặn rắn kiệt magie;
- d) trong giai đoạn hòa tan tiếp theo cho dòng khí chứa CO_2 tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước bao gồm cặn rắn kiệt magie để hòa tan tiếp magie ra khỏi cặn rắn kiệt magie nhằm tạo ra dung dịch trong nước giàu ion magie và các cặn rắn kiệt magie hơn nữa;
- e) thu hồi ít nhất một phần hơn nữa các cặn rắn kiệt magie;
- f) trong giai đoạn xử lý tách axit, cho phần thu hồi của các cặn rắn kiệt magie hơn nữa phản ứng với dung dịch bao gồm axit vô cơ hoặc muối axit để hòa tan tiếp magie và các kim loại khác và nhằm tạo ra các cặn rắn được xử lý bằng axit;

- g) thu hồi các cặn rắn được xử lý bằng axit; và
- h) trong giai đoạn kết tủa riêng, cho kết tủa magie cacbonat từ dung dịch trong nước giàu ion magie từ giai đoạn hòa tan thứ nhất và/hoặc giai đoạn hòa tan tiếp theo.

Trong ngữ cảnh của sáng chế, việc cacbonat hóa khoáng chất để chỉ phản ứng trong đó cacbon đioxit được phản ứng với magie từ nguyên liệu khoáng chất magie silicat hoạt hóa để tạo ra các magie cacbonat và silic oxit. Việc việ dẫn đến nguyên liệu khoáng chất hoạt hóa để chỉ nguyên liệu đã được hoạt hóa bằng cách nghiền hoặc làm nóng hoặc cả hai cách này. Trong quy trình theo sáng chế, các phản ứng diễn ra trong các dung dịch trong nước với cacbonat kết tủa ra khỏi ít nhất một dung dịch như vậy trong giai đoạn kết tủa.

Quy trình theo sáng chế có giai đoạn xử lý axit tách rời trong đó các cặn rắn từ quy trình hòa tan trước đó được tẩy bằng dung dịch axit vô cơ hoặc muối axit. Thường là các cặn rắn được xử lý là một loại cặn thu được từ giai đoạn hòa tan sau cùng trong quy trình tổng thể. Việc việ dẫn đến các giai đoạn hòa tan để chỉ các bước xử lý trong đó các ion kim loại được ngâm chiết ra khỏi chất rắn vào thành các dung dịch trong nước. Việc việ dẫn đến các dung dịch trong nước bao gồm các dung dịch trong đó nước là thành phần lỏng chủ yếu (lớn hơn 50% theo khối lượng) và bao gồm các dung dịch chứa các loài được pha loãng khác hoặc pha lỏng thứ yếu (nhỏ hơn 50% theo khối lượng). Nước biển, dung dịch nước mặn hoặc nước muối được bao gồm trong bản mô tả này. Việc việ dẫn đến các dung dịch trong nước còn bao hàm các dung dịch này chứa các chất rắn không hòa tan, các chất rắn không hòa tan này có thể ở dạng huyền phù.

Việc việ dẫn đến các bước xử lý nghiền bao gồm nghiền ma sát và các bước xử lý nghiền đã biết rõ khác như các máy cán trộn hoặc các máy cán khác kết hợp các phương tiện nghiền.

Khoáng chất magie silicat có thể được hoạt hóa bằng cách làm nóng khoáng chất dạng hạt đến nhiệt độ cao, ví dụ nằm trong khoảng từ 570°C đến 730°C, ví dụ nằm trong khoảng từ 570°C đến 670°C, để tạo ra chất rắn dạng hạt hoạt hóa bao gồm magie silicat được khử hydroxyl. Việc làm nóng có thể xuất hiện trong lò hoặc ở tầng sôi với thời gian lưu nằm trong khoảng từ 5 phút đến 300 phút, ví dụ từ 30 phút đến

300 phút. Chất rắn dạng hạt hoạt hóa bao gồm magie silicat được khử hydroxyl và thường được làm mát xuống dưới 200°C trước khi trộn với dung dịch trong nước (ví dụ, nước) nhằm tạo ra huyền phù đặc trong nước. Trong phương án này, nhiệt từ chất rắn hoạt tính được làm nóng có thể được thu hồi để dùng có lợi, như làm nóng dòng xử lý khác hoặc tạo hơi để phát điện. Việc thu hồi nhiệt có thể được thực hiện trong hệ thống trao đổi nhiệt thích hợp với nhiệt từ khoáng chất làm nóng một cách trực tiếp hoặc một cách gián tiếp dòng xử lý khác.

Chất rắn dạng hạt dùng trong quy trình theo sáng chế bao gồm khoáng chất magie silicat như olivin, serpentinit, dunit hoặc hỗn hợp của chúng. Chất rắn có thể được nghiền theo các cỡ hạt nhờ vậy mà 50% theo khối lượng sẽ lọt qua sàng với cỡ lỗ là 149 micrôn (100 mesh). Tốt hơn là, chất rắn được nghiền thành các cỡ hạt nhờ vậy mà 50% theo khối lượng sẽ lọt qua sàng với cỡ lỗ là 20 micrôn (635 mesh).

Dòng khí chứa CO₂ dùng trong mỗi bước hòa tan có thể là cùng nguồn hoặc từ 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, đốt hydrocacbon hoặc từ xử lý khí tự nhiên. Dòng này có thể có nồng độ CO₂ nằm trong khoảng từ 2% đến 100% theo thể tích. Các bước xử lý 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 xử lý gọi là đốt nhiên liệu oxy.

Các cặn rắn kiệt magie từ giai đoạn hòa tan bất kỳ có thể được đưa đến quy trình tách từ tính ướt để trích phần giàu ion trước bước xử lý tiếp theo bất kỳ theo sáng chế. Các bộ tách từ tính đã biết rõ như các bộ tách bằng trống từ hoặc các bộ tách từ tính mật độ cao, ướt có thể được sử dụng để trích phần giàu ion.

Áp suất và nhiệt độ trong mỗi giai đoạn xử lý có thể được thay đổi để tối ưu hóa các phản ứng trong mỗi bước. Áp suất tuyệt đối có thể được duy trì nằm trong khoảng từ 5kPa đến 20 000kPa 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 giai đoạn kết tủa nằm trong khoảng từ 5kPa đến 5000kPa và nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 150°C. Tốt hơn là, áp suất trong giai đoạn xử lý axit nằm trong

khoảng từ 100kPa đến 200kPa và nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 120°C, ví dụ 20°C đến 80°C, hoặc 20°C đến 60°C, hoặc 20°C đến 40°C.

Theo một phương án, nhiệt độ trong giai đoạn xử lý axit nằm dưới 40°C.

Axit vô cơ hoặc muối axit dùng trong giai đoạn xử lý axit có thể được chọn từ HNO_3 , H_2SO_4 , HCl , NaHSO_4 , HBr , HF , HI , HClO_4 , H_3BO_3 hoặc H_3PO_4 .

Thấy rằng nếu muốn đạt độ pH nằm trong khoảng từ -0,5 đến 3 hoặc từ -0,5 đến 2 trong dung dịch axit trong giai đoạn xử lý axit thì phải giữ tỷ lệ silic oxit đáng kể trong dung dịch. Điều này là có lợi do nó cho phép cặn giàu silicon được xử lý axit (ATSER Acid Treated Silicon Enriched Residue) được tách ra khỏi chất lỏng qua bước lọc làm cho silic oxit trong dung dịch có thể được kết tủa theo cách tách rời với ATSER, tạo ra sản phẩm có độ tinh khiết cao hơn. Theo một phương án, độ pH trong giai đoạn này nằm trong khoảng từ 0,5 đến 1,5. Các cặn rắn được xử lý bằng axit bao gồm silic oxit mà không bị hòa tan bởi axit vô cơ, có thể được thu hồi và tinh chế như một sản phẩm từ quy trình theo sáng chế. Theo một phương án, silic oxit trong các cặn rắn được xử lý bằng axit tiếp nối giai đoạn xử lý axit có thể được sử dụng như nguyên liệu puzolan, ví dụ thay thế xi măng poocăng.

Các sản phẩm có giá trị khác có thể nhận được bằng cách nâng cao có lựa chọn độ pH và/hoặc điều chỉnh nhiệt độ của dung dịch axit trong giai đoạn xử lý axit để thu hồi thu hồi các loại hòa tan, kể cả silic oxit hòa tan. Việc sản xuất các sản phẩm có giá trị khác có thể thực hiện sau khi tách các cặn rắn được xử lý bằng axit từ dung dịch axit, ví dụ, bằng cách lọc dung dịch để loại bỏ các cặn rắn được xử lý bằng axit. Nếu độ pH cao hơn 2, silic oxit hòa tan có thể được kết tủa để thu được sản phẩm silic oxit có giá trị có độ tinh khiết cao. Theo một phương án, độ pH của dung dịch axit tách ra được nâng cao hơn 2, ví dụ đến độ pH nằm trong khoảng từ 4,5 đến 8,5 hoặc độ pH nằm trong khoảng từ 4,5 đến 5,5. Bằng cách bổ sung bazơ trong khi khuấy silic oxit kết tủa có thể được tách ra khỏi dung dịch dưới dạng sản phẩm. Khoảng nhiệt độ cho bước xử lý này nói chung nằm trong khoảng từ 20°C đến 100°C, ví dụ từ 60°C đến 90°C. Theo một phương án, silic oxit kết tủa hòa tan được từ quy trình này có thể được sử dụng như nguyên liệu puzolan, ví dụ như chất phụ gia trong sản phẩm bê tông làm bằng xi măng poocăng.

Theo phương án khác, các loại kim loại hòa tan, ví dụ bao gồm Fe, Ni và Al, có thể được kết tủa ra khỏi dung dịch axit bằng cách điều chỉnh theo lựa chọn độ pH của dung dịch. Cụ thể là, các loại kim loại có thể được thu hồi như các hydroxit kim loại bằng cách bổ sung bazơ. Theo phương án khác nữa, các oxit kim loại có thể thu được từ các hydroxit kim loại được tạo theo cách này qua quy trình thủy phân nhiệt hoặc phân ly nhiệt hoặc tổ hợp của các quy trình này.

Độ pH của dung dịch axit tách ra có thể giảm bằng cách bổ sung thêm axit vô cơ. Thấy được rằng nếu thấp hơn độ pH bằng 0, silic oxit hòa tan cũng có thể được kết tủa để thu được sản phẩm silic oxit có giá trị có độ tinh khiết cao. Theo một phương án, độ pH của dung dịch axit từ giai đoạn xử lý axit được hạ thấp để nằm trong khoảng độ pH từ -0,3 đến -1,5, hoặc -0,4 đến -1,5, hoặc -0,7 đến -1,2.

Việc axit hóa tiếp có thể được thực hiện ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 90°C, ví dụ nằm trong khoảng từ 20°C đến 80°C, hoặc nằm trong khoảng từ 20°C đến 60°C hoặc nằm trong khoảng từ 20°C đến 40°C. Lượng axit còn lại sau khi kết tủa silic oxit có thể được tái chế cho bước xử lý axit ban đầu.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất quy trình trong đó dung dịch cacbonat giàu magie được chế tạo bằng cách hòa tan magie từ magie silicat hoạt hóa trong một hoặc nhiều bước hòa tan trong một hoặc nhiều bình phản ứng được cấp bởi dòng khí nạp chứa CO₂ cao hơn áp suất khí quyển và sau đó, ở bước kết tủa riêng, tác động điều chỉnh độ pH trong dung dịch bằng cách loại bỏ CO₂ nhờ giảm áp suất để khử khí cho dung dịch nhờ đó cho kết tủa magie cacbonat.

Theo một phương án, sáng chế đề xuất quy trình trong đó dung dịch cacbonat giàu magie được chế tạo bằng cách hòa tan magie silicat hoạt hóa trong một hoặc nhiều bước hòa tan 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, ở bước kết tủa riêng, tác động điều chỉnh độ pH trong dung dịch bằng cách loại bỏ CO₂ bằng cách cấp chân không riêng phần hoặc áp suất thấp hơn khí quyển cho dung dịch để nhờ đó cho kết tủa magie cacbonat.

Theo phương án khác, sáng chế đề xuất hệ thống bình phản ứng được làm thích ứng để thực hiện các quy trình theo sáng chế. Hệ thống bình phản ứng bao gồm bình hòa tan, bình tách kết tủa và bình xử lý axit. Trong bình hòa tan, khoáng chất hoạt hóa

được hòa tan trong dung dịch trong nước chứa axit cacbonic. Dung dịch trong nước có thể được tạo ra trong bình hòa tan bằng cách phân phối dòng khí chứa cacbon đioxit vào trong dung dịch trong nước chứa trong bình. Sau các bước hòa tan và tách các cặn rắn không hòa tan, dung dịch trong bình hòa tan được chuyển vào trong bình khử khí/kết tủa nơi mà áp suất được giảm so với cụm hòa tan. Điều này làm cho cacbon đioxit được giải phóng từ dung dịch trong nước và magie cacbonat được kết tủa. Theo một phương án sáng chế, cacbon đioxit đã giải phóng có thể được tái chế về lại cụm hòa tan. Các cặn rắn không hòa tan tách ra được phản ứng với dung dịch axit trong bình xử lý axit. Dung dịch axit có thể được xử lý tiếp hoặc xử lý với thêm bazơ hoặc axit để kết tủa silic oxit từ dung dịch axit. Sau đó, silic oxit có thể được tách ra khỏi dung dịch đã xử lý.

Theo định dạng đơn giản nhất, hệ thống có thể bao gồm một bình hòa tan, một bình khử khí/kết tủa và một bình xử lý axit. Tuy nhiên, theo phương án khác hệ thống có thể bao gồm nhiều bình mỗi loại được lắp kiểu nối tiếp hoặc song song, cùng với cụm trước và sau xử lý vận hành như các quy trình tách chất lỏng/chất rắn. Trong trường hợp này, cacbon đioxit được giải phóng trong các bình khử khí/kết tủa tương ứng có thể được tái tuần hoàn vào một hoặc nhiều bình hòa tan để nâng cao hiệu suất của quy trình. Theo các phương án, dòng CO₂ đậm đặc có thể được phản ứng với nguyên liệu khoáng chất hoạt hóa trong các bình tách rời hoặc tái tuần hoàn vào một hoặc nhiều bình hòa tan, để tạo ra magie cacbonat qua các bước khử khí 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, cụ thể với việc sản xuất các sản phẩm cacbonat, hydroxit kim loại hoặc oxit kim loại và các sản phẩm silic oxit có giá trị. 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 cách năng động (về 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.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1

Hòa tan magie silicat hoạt hóa

Đá serpentinit bao gồm lizardit được gom từ Great Serpentine Belt ở bang New South Wales, Australia. Đá được xay và các mẫu xay được nghiền ướt trong máy nghiền bi bằng thép không gỉ và sàng ướt đến $<75\ \mu\text{m}$, và sấy khô trong lò của phòng thí nghiệm ở 110°C trong 24 giờ. Sau đó, lizardit thô đã sấy và nghiền được hoạt hóa nhiệt trong lò quay bằng thép không gỉ dùng điện ở 630°C trong 4 giờ, và sau đó để nguội.

400 g lizardit hoạt hóa nhiệt được trộn với 20L nước nhằm tạo ra 2% trọng lượng chất quánh rắn/lỏng (phần trăm theo khối lượng) trong bình phản ứng 30L mà sau đó được cấp dòng khí CO_2 tinh khiết giữ ở 6,5 bar (0,65Mpa) CO_2 . Bình phản ứng được lắp vừa với cánh quạt cảm ứng khí trực rỗng mà hút CO_2 vào trong huyền phù đặc. Nhiệt độ đối với giai đoạn hòa tan (thứ nhất) này được giữ ở 45°C qua ống xoắn làm nóng. Huyền phù đặc được khuấy bằng cánh quạt ở 800 rpm (vòng/phút) trong 2 giờ để trích Mg ra khỏi khoáng chất, tạo ra pha trong nước giàu ion magie và các cặn rắn kiệt magie. Hai lượt khuấy được thực hiện. Việc lấy mẫu dung dịch được tiến hành sau 30 phút, 60 phút, 90 phút và 120 phút và các mẫu được phân tích bởi máy quang phổ phát xạ quang plasma cặp cảm ứng (ICP-OES Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) đối với Mg và Si đã hòa tan. Các cặn rắn tạo ra ở giai đoạn này được tách và nghiền ướt trong máy nghiền bi bằng thép không gỉ và sau đó được hòa tan lại trong giai đoạn hòa tan thứ hai. Các điều kiện là tương tự như giai đoạn hòa tan thứ nhất. Fig.1 và Fig.2 thể hiện phần trăm của tổng Mg và Si có sẵn hòa tan vào trong dung dịch (được chiết) như hàm theo thời gian đối với cả hai lượt.

Các cặn rắn sau giai đoạn hòa tan thứ hai được lọc ra và sấy khô trong lò ở 110°C trong 24 giờ và được dùng như mẫu cặn giàu silicon ("SER" Silicon Enriched Residue). Dung dịch đã lọc nhận được sau khi hòa tan được cho phép khử khí ở các điều kiện khí quyển, khiến magie cacbonat được kết tủa ra khỏi dung dịch.

Cặn giàu silic oxit được xử lý axit (ATSER Acid treated silica-enriched residue)

Một phần mẫu SER khô được xử lý bằng nitric axit 2 M (5% trọng lượng chất rắn/lỏng) ở nhiệt độ trong phòng, trong bình phản ứng trộn ở 600 rpm (vòng/phút) trong 7 giờ trong giai đoạn xử lý tách axit. Hỗn hợp thu được được lọc, chất rắn rửa bằng nước cất và sấy khô ở 110°C trong 24 giờ. Nguyên liệu này được gọi là cặn giàu silicon được xử lý axit (ATSER - Acid Treated Silicon Enriched Residue). Mục đích của việc xử lý axit là để trích magie còn lại trong mẫu SER, tạo ra silic oxit vô định hình phản ứng hầu như tinh khiết. Sau đó, SER và ATSER được thử nghiệm độ hoạt tính puzolan như dưới đây.

Độ hoạt tính puzolan

Việc xác định tốc độ hòa tan silic oxit từ các nguyên liệu puzolan với sự có mặt của các ion hydroxit là quan trọng, do mức độ hòa tan Si trong các điều kiện kiềm xác định ứng dụng của nó như puzolan. Do thời gian đông cứng nhanh của vữa xi măng, việc lấy mẫu theo chu kỳ để xác định silicon hòa tan là khó khăn. Kết quả là, giao thức thực nghiệm được phát triển để mô phỏng việc chiết xuất silicon từ các puzolan trong dung dịch rỗng sệt xi măng, cho phép so sánh các nguyên liệu puzolan khác nhau bằng cách xác định tốc độ silicon ngâm chiết ở độ pH~13,5 (tương tự như độ pH của dung dịch rỗng sệt xi măng) của nguyên liệu và các phụ phẩm của các quy trình cacbonat hóa khoáng chất là lizardit hoạt hóa bằng nhiệt và thô, lizardit hoạt hóa nhiệt cacbonat, các nguyên liệu SER và ATSER. Tốc độ chiết xuất silicon từ các phụ phẩm này được so sánh với cát nền (nguồn silic oxit trơ) và hơi silic oxit (nguyên liệu puzolan thương phẩm dùng rộng rãi và phản ứng cao) như các tiêu chuẩn.

Các kết quả ICP trên Fig.3 biểu thị rằng tốc độ chiết xuất silicon từ ATSER là nhanh nhất trong số tất cả các nguyên liệu được nghiên cứu. Hầu hết 1650 ppm Si/g (92% trọng lượng của tổng silicon chứa trong mẫu) được chiết ra khỏi ATSER trong 24 giờ, và việc chiết xuất về cơ bản hoàn thành sau 28 ngày. Khi so sánh, hơi silic oxit cho thấy tốc độ chiết xuất thấp hơn, với khoảng 500 và 1250 ppm Si/g (24 và 60% trọng lượng của lượng silicon) được chiết lần lượt trong một ngày và bảy ngày. Sau 28 ngày, 1650 ppm Si/g (80% trọng lượng của lượng silicon) được chiết từ hơi silic oxit. SER thể hiện tốc độ hòa tan hơi cao hơn so với lizardit cacbonat và đã hoạt hóa nhiệt

mà thể hiện các tốc độ chiết xuất silicon tương tự, cả hai giải phóng 500 ppm Si/g (55% trọng lượng của tổng lượng silicon) sau 28 ngày.

Vữa xi măng pooc lăng được làm để đánh giá độ hoạt tính puzolan của ATSER và cường độ được đo ở 28 ngày. Độ bền nén của các vữa được trộn trong nghiên cứu này tùy thuộc vào cả lượng nước bổ sung và độ hoạt tính puzolan của các nguyên liệu do khối lượng của các nguyên liệu khác được giữ không đổi. Khi so sánh độ bền nén của vữa có 10% ATSER với vữa trộn xi măng nguyên (không có phụ gia) và vữa chứa 10% hơi silic oxit thể hiện rằng độ hoạt tính puzolan của ATSER là cao hơn so với xi măng và hơi thấp hơn so với hơi silic oxit. Cường độ trung bình sau 28 ngày của vữa có 10% trọng lượng ATSER là 51,7 MPa và cường độ trung bình của xi măng và 10% hơi silic oxit vữa lần lượt là 48,65 MPa và 54 MPa. Cường độ trung bình sau 28 ngày của vữa có 10% trọng lượng SER chỉ là 46 MPa, thấp hơn 10% so với cường độ có ATSER.

Các kết quả này biểu thị hiệu quả có lợi của việc xử lý axit cho các cặn rắn (nghĩa là nguyên liệu ATSER) sau hai lần tiếp xúc với dòng CO₂ trong các giai đoạn hòa tan ban đầu.

Ví dụ này còn biểu thị ưu điểm và hữu ích của sáng chế bằng cách thể hiện độ hoạt tính puzolan tăng của các cặn rắn xử lý axit, do đó tạo ra sản phẩm có giá trị.

Ví dụ 2

Ví dụ này biểu thị một phương án của sáng chế. Theo một phương án, độ pH của dung dịch axit tách ra được nâng cao hơn độ pH 2 bằng cách bổ sung bazơ và silic oxit kết tủa được tách ra như sản phẩm. Ví dụ này biểu thị cách mà tỷ lệ đáng kể silic oxit được giữ trong dung dịch ở độ pH nằm trong khoảng từ 0,63 đến 0,85.

6 g cặn rắn nguyên liệu SER từ các giai đoạn hòa tan trong CO₂ theo Ví dụ 1 (trong nước + CO₂) được hòa tan trong 240 ml dung dịch 1M NaHSO₄ (muối axit) trong 24 giờ ở nhiệt độ phòng theo tỷ lệ chất rắn với chất lỏng là 2,5% theo khối lượng. Độ pH thay đổi từ 0,63 đến 0,85. Các mẫu được lấy ở thời điểm 5 phút, 10 phút, 30 phút và 1 giờ, 3 giờ, 5 giờ, 7 giờ và 24 giờ và được phân tích bằng ICP-OES. Fig.4 thể hiện các kết quả ICP-OES xác nhận rằng tỷ lệ đáng kể của tổng silic oxit được giữ trong dung dịch và không kết tủa ra ở các điều kiện này. Khi độ pH được tăng hoặc giảm một cách đáng kể ngoài vùng nằm trong khoảng từ -0,5 đến 2, silic

oxit được kết tủa ra khỏi dung dịch. Silic oxit này biểu thị cho sản phẩm giá trị có độ tinh khiết cao.

Ví dụ 3

Ví dụ này biểu thị phương án khác của sáng chế. Trong phương án này, độ pH của dung dịch axit tách ra được hạ thấp bằng cách bổ sung thêm axit vô cơ và lượng silic oxit giữ trong dung dịch được giảm bằng cách kết tủa.

Bốn mẫu SER từ Ví dụ 1 được hòa tan trong dung dịch nitric axit 0,5M, 2M, 4M và 8M ở tải 5% chất rắn trong 7 giờ ở nhiệt độ trong phòng. độ pH của các dung dịch nitric axit 0,5M, 2M, 4M và 8M lần lượt là 0,32, - 0,39, - 0,61 và -1,02. Độ pH được duy trì gần như không đổi trong các thử nghiệm. Các mẫu được lấy định kỳ trong khi các thử nghiệm hòa tan này để phân tích bằng ICP.

Fig.5 thể hiện nồng độ Si trong dung dịch axit các như hàm theo thời gian trong khi Fig.6 thể hiện phần trăm tương ứng của Si sẵn có được giữ trong dung dịch đối với mỗi nồng độ axit tương ứng với các trị số độ pH khác nhau. Rõ ràng rằng nhiều silic oxit được hòa tan ở độ pH 0,32 hơn và được giữ trong dung dịch trong khoảng thời gian thử nghiệm, đỉnh ở 18% của tổng silic oxit có sẵn. Các trị số độ pH càng thấp, càng ít silic oxit được giữ trong dung dịch và kết tủa được quan sát ra khỏi dung dịch trong thử nghiệm. Rõ ràng rằng từ các nồng độ silic oxit cao ban đầu của đối với các trị số độ pH bằng -0,39, -0,61 và -1,02 tiếp nối bởi việc giảm theo thời gian do silic oxit kết tủa ra khỏi dung dịch. Điều này biểu thị rõ ràng việc giảm độ pH từ 0,32 đến -1,02 làm kết tủa silic oxit ra khỏi dung dịch. Chủ đơn dùng phát kiến này như phương pháp có lợi để làm kết tủa silic oxit có giá trị từ cặn giàu silic oxit từ quy trình tích hợp theo sáng chế.

Ví dụ 4

Ví dụ này biểu thị hai phương án của sáng chế.

Trong phương án thứ nhất, độ pH của dung dịch axit tách ra từ bước hòa tan axit ban đầu của SER từ Ví dụ 1 được giảm tiếp bằng cách bổ sung thêm axit vô cơ. Điều này khiến cho silic oxit tinh khiết được kết tủa ra khỏi dung dịch axit ở các trị số độ pH thấp hơn và sau đó silic oxit kết tủa này có thể được tách ra như sản phẩm có giá trị.

Theo phương án thứ hai, độ pH của dung dịch axit tách ra từ bước hòa tan axit ban đầu của SER từ Ví dụ 1 được tăng theo cách khác bằng cách bổ sung bazơ. Điều này làm cho silic oxit được kết tủa ra khỏi dung dịch, cùng với các loại kim loại hòa tan khác như các hydroxit kim loại. Sau đó silic oxit kết tủa và các hydroxit kim loại có thể được tiếp tục xử lý để trích các sản phẩm có giá trị. Các hydroxit kim loại có thể được chuyển đổi thành các oxit kim loại tương ứng qua quy trình thủy phân nhiệt hoặc phân ly nhiệt hoặc tổ hợp của các quy trình này.

Mẫu SER từ Ví dụ 1 được hòa tan trong dung dịch nitric axit 0,5 M ở tải 5% chất rắn trong 4,5 giờ ở nhiệt độ trong phòng bằng cách khuấy. Độ pH của dung dịch ban đầu là 0,5 và tăng lên đến độ pH 1,15 sau khi 4,5 giờ. Huyền phù đặc sau khi hòa tan được lọc bằng cách sử dụng chân không và phần lọc được ghi nhãn SP1. Phần này được phân tích bằng ICP và Fig.7 thể hiện các kết quả. Điều này thể hiện bước xử lý axit thứ nhất theo sáng chế. Phần này được chia thành hai mẫu, SP2 và SP3 cho các thử nghiệm kết tủa tiếp theo.

Sau đó, độ pH của dung dịch SP2 được hạ bằng cách bổ sung axit sulfuric đặc. Tại thời điểm không, độ pH là 0,98. 15 mL axit sulfuric 50% được bổ sung để hạ độ pH đến -0,8 ở nhiệt độ trong phòng. Sau 90 phút, dung dịch có độ pH -0,78 và được làm nóng đến 80°C. Sau 15 phút, dung dịch đạt đến 80°C và độ pH giảm còn -1,32. Ba mẻ 10 mL axit sulfuric 50% được bổ sung trong khi dung dịch được giữ ở 80°C. Sau mỗi mẻ bổ sung axit, độ pH lần lượt giảm còn -1,5, -1,8 và -2. Sau 150 phút, quan sát thấy kết tủa silic oxit. Dung dịch, nay đã chứa silic oxit thể keo, để qua đêm và dung dịch đã lọc được phân tích bằng ICP trong ngày hôm sau. Fig.8 thể hiện các kết quả ICP. Điều này cho thấy rằng kết tủa là silic oxit tinh khiết, do không có các loại kim loại khác bị giảm nồng độ, do đó không đồng kết tủa.

Mẫu SP3 được làm nóng đến 80°C. Khi đạt 80°C, thử nghiệm bắt đầu và thử nghiệm được xem ở thời điểm không. Độ pH tại thời điểm không, là 0,28. Sau đó, dung dịch 4M NaOH được bổ sung từ từ. Khi độ pH đạt đến 1,5, dung dịch chuyển đỏ và quan sát được tín hiệu ban đầu của việc kết tủa. Ở độ pH bằng 5 dung dịch có màu đỏ và gel silic oxit được kết tủa. Sau 60 phút, thử nghiệm được chấm dứt. Phân tích ICP của dung dịch xác nhận rằng cũng như silic oxit, sắt và nhôm từ SP1 đã kết tủa ra khỏi dung dịch, như các hydroxit.

Fig.9 thể hiện nồng độ của các kim loại này giảm về không, cũng như silic oxit, xác nhận việc đồng kết tủa.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình tích hợp để thu giữ, cang hóa và sử dụng cacbon đioxit, bao gồm các bước:
 - a) tạo ra huyền phù đặc trong nước bao gồm dung dịch trong nước và chất rắn dạng hạt bao gồm khoáng chất magie silicat hoạt hóa;
 - b) trong giai đoạn hòa tan, cho dòng khí chứa CO_2 tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước để hòa tan magie ra khỏi khoáng chất magie silicat hoạt hóa nhằm tạo ra dung dịch trong nước giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie;
 - c) thu hồi ít nhất một phần cặn rắn kiệt magie;
 - d) trong giai đoạn xử lý tách axit, cho phần thu hồi của cặn rắn kiệt magie phản ứng với dung dịch bao gồm axit vô cơ hoặc muối axit để hòa tan tiếp magie và các kim loại khác và tạo ra cặn rắn được xử lý bằng axit;
 - e) thu hồi silic oxit từ cặn rắn được xử lý bằng axit; và
 - f) trong giai đoạn kết tủa riêng, cho kết tủa và thu hồi magie cacbonat từ dung dịch trong nước giàu ion magie.

2. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó giai đoạn hòa tan bao gồm:
 - b') giai đoạn hòa tan thứ nhất trong đó dòng khí chứa CO_2 được cho tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước để hòa tan một phần magie ra khỏi khoáng chất magie silicat hoạt hóa nhằm tạo ra dung dịch trong nước giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie; tiếp nối bởi
 - c') thu hồi cặn rắn kiệt magie từ b' và tạo ra huyền phù đặc trong nước bao gồm dung dịch trong nước và cặn rắn kiệt magie;
 - d') trong giai đoạn hòa tan tiếp theo cho dòng khí chứa CO_2 tiếp xúc với huyền phù đặc trong nước bao gồm cặn rắn kiệt magie từ c' để hòa tan tiếp magie ra khỏi cặn rắn kiệt magie nhằm tạo ra dung dịch trong nước giàu ion magie và cặn rắn kiệt magie hơn nữa;
 - e') thu hồi ít nhất một phần cặn rắn kiệt magie hơn nữa từ d';
 - f') trong giai đoạn xử lý tách axit, cho phần thu hồi của cặn rắn kiệt magie

hơn nữa từ c' và e' phản ứng với dung dịch bao gồm axit vô cơ hoặc muối axit để hòa tan tiếp magie và các kim loại khác và tạo ra cặn rắn được xử lý bằng axit;

g') thu hồi silic oxit từ cặn rắn được xử lý bằng axit từ f'; và

h') trong giai đoạn kết tủa riêng, cho kết tủa và thu hồi magie cacbonat từ dung dịch trong nước giàu ion magie từ giai đoạn hòa tan thứ nhất b' và/hoặc giai đoạn hòa tan tiếp theo d'.

3. Quy trình tích hợp theo điểm 2, trong đó giai đoạn hòa tan thứ nhất và giai đoạn hòa tan tiếp theo được thực hiện ở áp suất nằm trong khoảng từ 100 kPa đến 20000 kPa và nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 185°C.
4. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó dung dịch trong nước giàu ion magie được chế tạo bằng cách hòa tan khoáng chất magie silicat 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 giai đoạn kết tủa riêng, tác động điều chỉnh độ pH trong dung dịch trong nước giàu ion magie bằng cách loại bỏ CO₂ hòa tan bằng cách cấp chân không riêng phần hoặc áp suất thấp hơn khí quyển cho dung dịch trong nước giàu ion magie nhờ đó làm kết tủa magie cacbonat.
5. Quy trình tích hợp theo điểm 4, trong đó CO₂ hòa tan bị loại bỏ được tái tuần hoàn về lại giai đoạn hòa tan.
6. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó giai đoạn kết tủa riêng bao gồm hai hoặc nhiều giai đoạn kết tủa riêng, trong đó dung dịch trong nước giàu ion magie được chế tạo bằng cách hòa tan khoáng chất magie silicat 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 trong nước giàu ion magie 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 trong số các giai đoạn kết tủa riêng nhờ đó làm kết tủa magie cacbonat.

7. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó dòng khí chứa CO₂ bao gồm khí thải từ quy trình đốt hydrocacbon.
8. Quy trình tích hợp theo điểm 1, còn bao gồm việc đưa cặn rắn kiệt magie đến quy trình tách từ tính ướt để trích phân giàu ion.
9. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó axit vô cơ hoặc muối axit dùng trong giai đoạn xử lý tách axit được chọn từ HNO₃, H₂SO₄, HCl, NaHSO₄, HBr, HF, HI, HClO₄, H₃BO₃ và H₃PO₄.
10. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó giai đoạn xử lý tách axit được thực hiện ở áp suất nằm trong khoảng từ 100 kPa đến 200 kPa và nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 120°C.
11. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó dung dịch trong giai đoạn xử lý tách axit có độ pH nằm trong khoảng từ -0,5 đến 3.
12. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó giai đoạn xử lý tách axit tạo ra dung dịch axit có độ pH nằm trong khoảng từ -0,5 đến 3 mà bao gồm silic oxit hòa tan, quy trình này còn bao gồm bước tăng độ pH của dung dịch axit nằm trong khoảng từ 4 đến 8,5 bằng cách bổ sung bazơ để làm kết tủa silic oxit mà được thu hồi từ dung dịch axit.
13. Quy trình tích hợp theo điểm 12, trong đó độ pH của dung dịch axit được tăng lên bằng cách bổ sung bazơ trong khi khuấy ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 20°C đến 100°C.
14. Quy trình tích hợp theo điểm 13, trong đó các loại kim loại hòa tan được kết tủa ra khỏi dung dịch axit bằng cách điều chỉnh theo lựa chọn độ pH của dung

dịch bằng cách bổ sung bazơ để thu hồi các loại kim loại hòa tan dưới dạng các hydroxit kim loại.

15. Quy trình tích hợp theo điểm 14, trong đó các hydroxit kim loại được chuyển đổi thành các oxit kim loại tương ứng thông qua quy trình thủy phân nhiệt hoặc phân ly nhiệt hoặc tổ hợp của các quy trình này.
16. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó dung dịch axit được tách ra khỏi cặn rắn được xử lý bằng axit trong giai đoạn xử lý tách axit có độ pH được hạ xuống dưới pH bằng 0 bằng cách bổ sung axit vô cơ và silic oxit kết tủa được tách ra khỏi dung dịch.
17. Quy trình tích hợp theo điểm 16, trong đó nhiệt độ của dung dịch axit có độ pH thấp hơn độ pH bằng 0 nằm trong khoảng từ 20°C đến 80°C.
18. Quy trình tích hợp theo điểm 1, trong đó khoáng chất silicat hoạt hóa được hoạt hóa bằng cách nghiền hoặc làm nóng hoặc cả hai cách này.

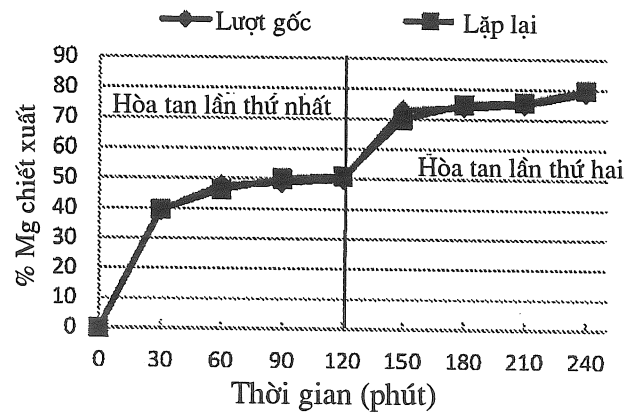


Fig.1

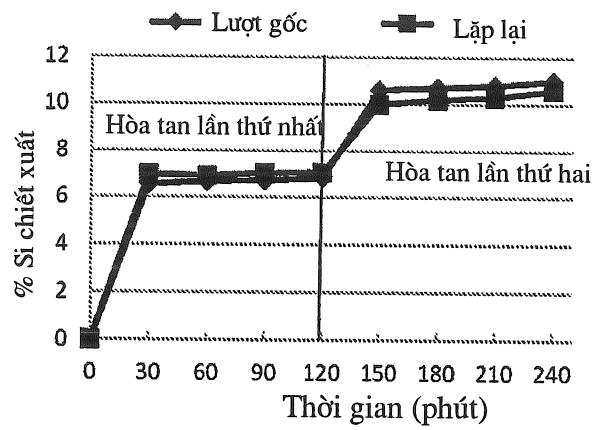


Fig.2

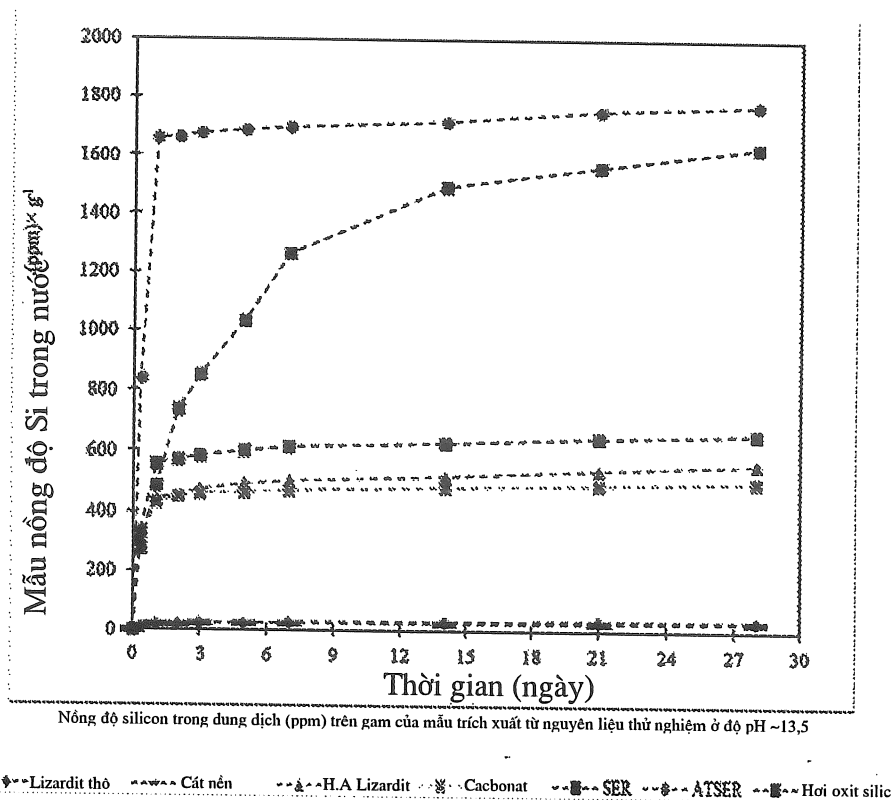


Fig.3

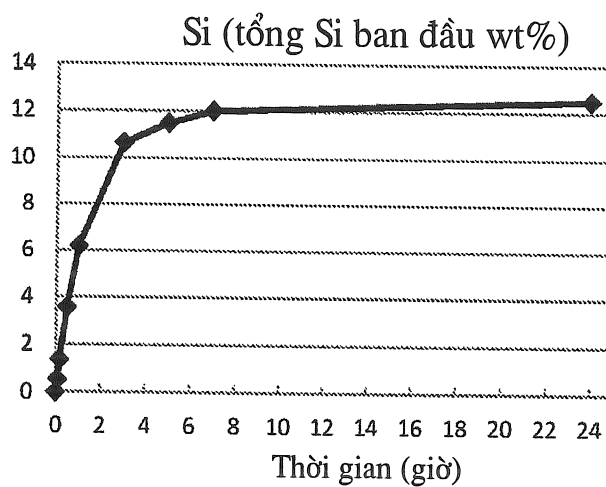


Fig.4

3/5

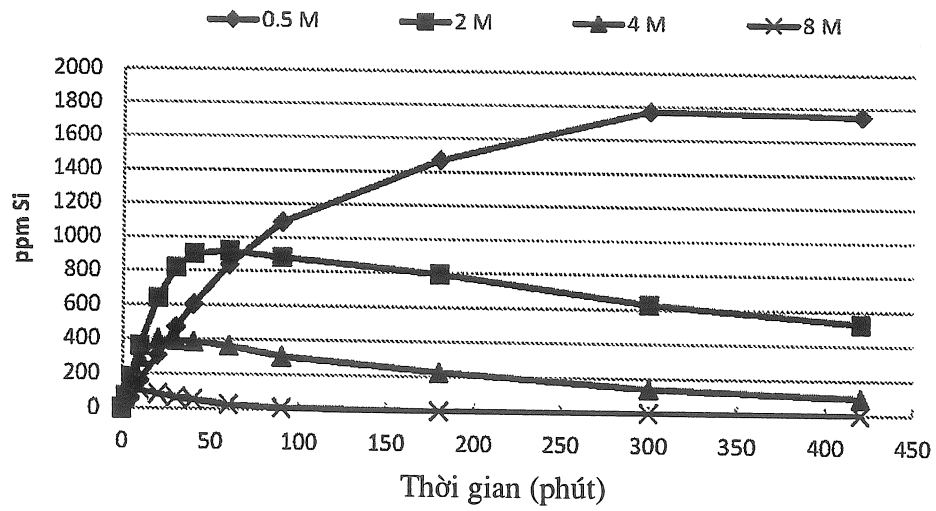


Fig.5

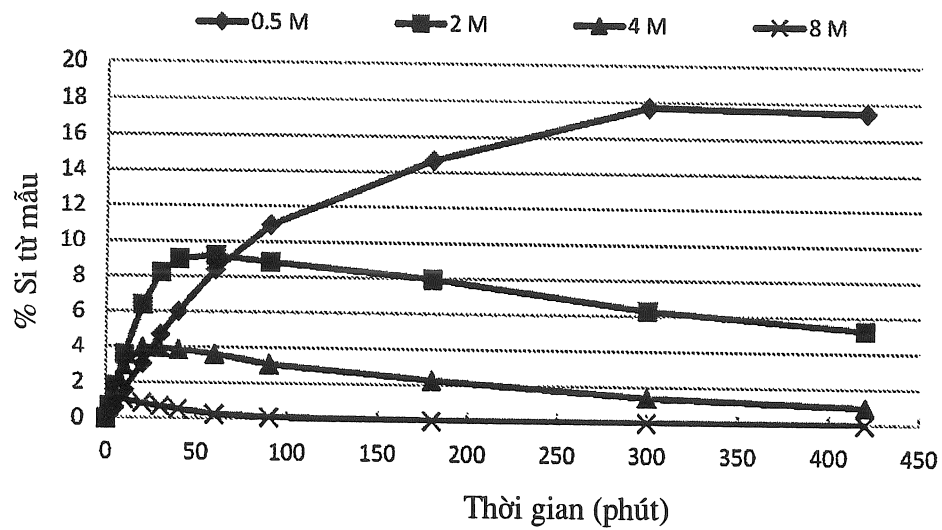


Fig.6

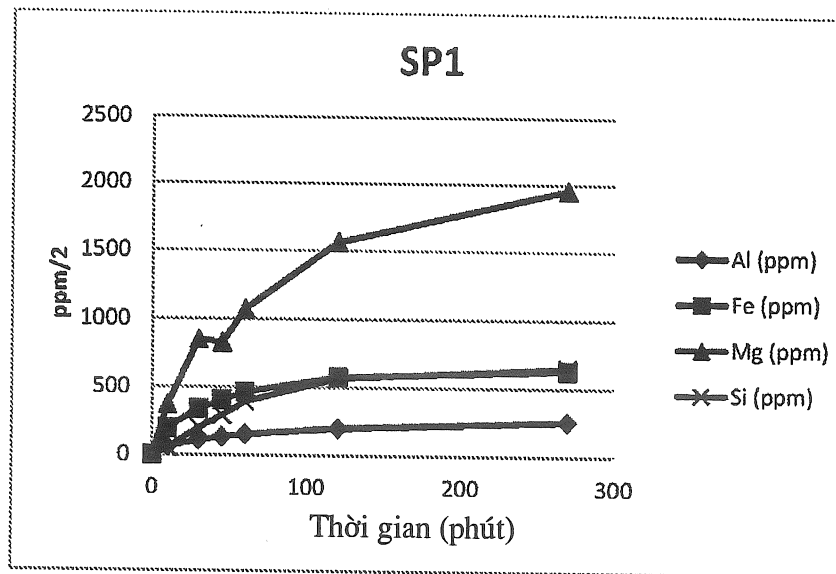


Fig.7

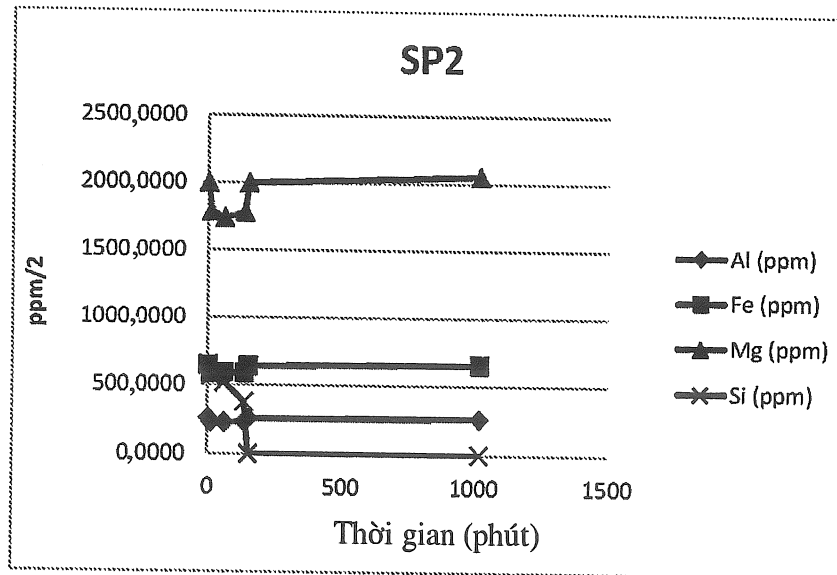


Fig.8

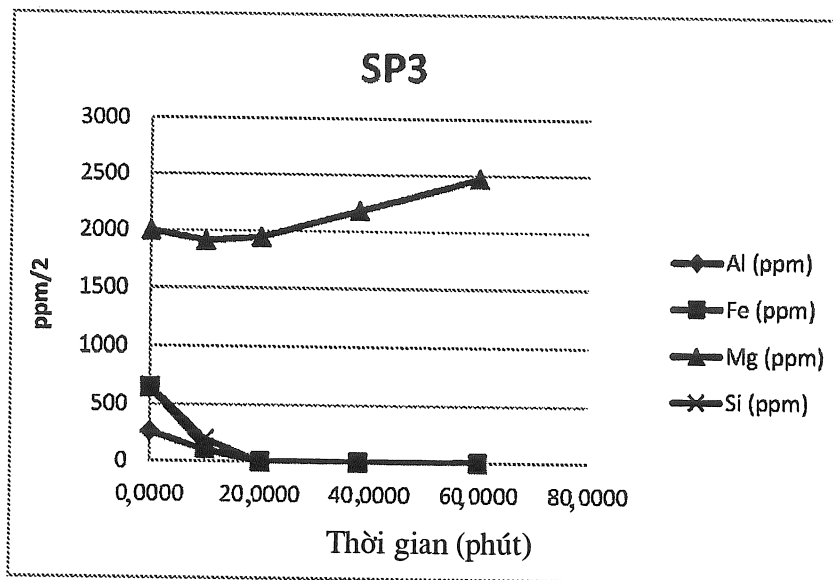


Fig.9