



(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)



1-0049615

(51)⁷ C21D 6/00; G21D 1/04

(13) B

(21) 1-2017-02870

(22) 01/12/2015

(86) PCT/RU2015/000838 01/12/2015

(87) WO2016/108730 07/07/2016

(30) 2014153831 30/12/2014 RU

(45) 25/08/2025 449

(43) 25/10/2017 355A

(73) JOINT STOCK COMPANY "AKME-ENGINEERING" (RU)

ul. Pyatnitskaya, 13, stroenie 1 Moscow, 115035, Russia

(72) TOSHINSKY, Georgiy Il'ich (RU).

(74) Công ty TNHH Đại Tín và Liên Danh (DAITIN AND ASSOCIATES CO.,LTD)

(54) PHƯƠNG PHÁP Ủ LỖI LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN VÀ LÒ PHẢN ỨNG HẠT NHÂN

(21) 1-2017-02870

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp ủ lõi lò phản ứng hạt nhân được áp dụng cho lò phản ứng bao gồm việc dự đoán liều lượng gây hại của các neutron nhanh gây ra suy giảm không chấp nhận được các đặc tính tạo bột nhão của thép. Sau khi đạt được năng suất năng lượng của lò phản ứng, hướng của dòng chất tải lạnh sẽ được thay đổi từ hướng tiêu chuẩn thành hướng ngược lại. Tiếp đó, quãng thời gian có thể chấp nhận được thiết lập để ủ các bộ phận lõi lò phản ứng, nhiệt độ của chế độ ủ được xác lập và được duy trì bằng cách điều chỉnh mức năng suất, quãng thời gian này đủ để khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của thép của phần lõi phía dưới trong quãng thời gian đã được xác lập. Vào cuối quãng thời gian ủ đã được thiết lập trước, hướng của dòng chất tải lạnh sẽ được thay đổi từ hướng ngược lại thành hướng tiêu chuẩn. Sáng chế cũng đề xuất lò phản ứng hạt nhân được làm mát bằng kim loại lỏng (Liquid Metal Cooled, LMC) có thể thực hiện phương pháp được đề xuất.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến lĩnh vực công nghiệp điện hạt nhân, cụ thể là các quy trình được dùng để khôi phục các đặc tính tạo bột nhão (paste forming properties) của các vật liệu kết cấu bị phơi nhiễm bức xạ, và việc thực hiện các quy trình này sẽ làm tăng độ an toàn cho việc vận hành lò phản ứng hạt nhân (Nuclear Reactor, NR). Sáng chế có thể được áp dụng thành công cho các lò phản ứng được làm mát bằng kim loại lỏng (Liquid Metal Cooled, LMC), cụ thể là cho các lò phản ứng hạt nhân neutron nhanh có chất tải lạnh kim loại nặng lỏng (Heavy Liquid Metal Coolant, HLMC), cụ thể như hợp kim eutectic, chì và bismut, chì.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các lõi của các lò phản ứng neutron nhanh HLMC này (các vỏ thanh nhiên liệu, các mạng lưới thanh nhiên liệu) được chế tạo bằng thép ferit mactensit chống ăn mòn (Ferritic Martensitic Steel, FMS) ở nhiệt độ đến 650°C khi bị phơi nhiễm với HLMC. Tuy nhiên, một trong các nhược điểm đã biết rõ của thép này là nó có xu hướng bị giòn (dễ vỡ) do bức xạ ở nhiệt độ thấp (Low-Temperature Radiation Embrittlement, LTRE) khi bị phơi nhiễm với liều lượng gây hại của các neutron nhanh, liều lượng này lớn hơn 10 chuyển vị trên một nguyên tử (Displacements Per Atom, dpa), trong khi liều lượng gây hại trong chu trình nhiên liệu là khoảng 100 dpa. Hiện tượng bị giòn do bức xạ nhiệt độ thấp diễn ra ở nhiệt độ bức xạ nhỏ hơn 350-380 °C và làm mất các đặc tính tạo bột nhão của thép mà điều này có thể gây nứt hỏng sản phẩm dưới tác động biến dạng rất nhỏ. Khả năng xảy ra các hư hỏng này tăng lên trong các công đoạn tiếp nhiên liệu và sắp xếp lại cụm nhiên liệu trong lõi, bao gồm việc tháo dỡ nhiên liệu cuối cùng của các cụm nhiên liệu này. Các hư hỏng của các vỏ thanh nhiên liệu, các vỏ thanh hấp thụ và các nắp đầu phía dưới được làm bằng thép ferit mactensit được quan sát thấy trong quá trình vận hành các lõi của các lò phản ứng trên tàu thủy (ship reactors) có chất tải lạnh kim loại nặng lỏng (HLMC) cụ thể như chì và bismut.

Do đó, thép đã bị giòn của các kết cấu lò phản ứng có thể làm ngừng hoạt động khẩn cấp các lò phản ứng hạt nhân. Phương pháp ủ nhiệt độ cao các khuyết tật bức xạ có thể được sử dụng để phục hồi các đặc tính tạo bột nhão của thép, phương pháp này bao gồm việc gia nhiệt các sản phẩm thép ferit mactensit tới nhiệt độ khoảng 500 °C trong vài giờ.

Thiết bị được dùng để ủ các thùng phơi nhiễm bức xạ của các cụm nhiên liệu đã được biết đến (Patent Liên Xô số SU 1023817), thiết bị này bao gồm thùng chứa chất tải lạnh, nắp được đục lỗ, buồng xử lý nằm trong thùng này, và các ống vào và các ống ra; các ống này là khác nhau, do thiết kế của buồng xử lý này bao gồm các kênh hở đầu thẳng đứng được nối thông ở đỉnh và đáy, và bộ gia nhiệt bằng điện được lắp trong kênh, phía trên bộ gia nhiệt này, ống vào được đặt phía trên mép trên của buồng xử lý này, và ống ra được đặt phía trên đầu trên của bộ gia nhiệt này. Giải pháp kỹ thuật này cho phép ngăn ngừa việc ủ trực tiếp trong các lò phản ứng hạt nhân.

Do việc gia nhiệt chất tải lạnh ở lõi là khoảng 150°C trong các điều kiện vận hành, và nhiệt độ HLHC trung bình là khoảng 500°C, phần dưới của lõi sẽ bị giòn do phơi nhiễm bức xạ, khi nó chảy qua chất tải lạnh “lạnh”.

Phương pháp ủ nhiệt độ cao đẳng nhiệt đã được đề xuất để ủ các lõi của các lò phản ứng trên tàu thủy có HLHC chì-và-bismut trước khi tháo liệu khỏi các lõi; phương pháp này tương tự với phương pháp thu hồi hydro nhiệt độ cao (High-Temperature Hydrogen Recovery, HTHR) được sử dụng để thu hồi lượng dư chì monoxit bằng cách phun hỗn hợp gồm hydro và khí vào trong dòng HLHC. Phương pháp này được thực hiện cùng với các thiết bị tạo hơi nước (Steam Generators, SG) đã được rút nước ở nhiệt độ HLHC khoảng 300 – 320 °C, nhiệt độ này giống nhiệt độ ở cửa vào và cửa ra của lõi do việc vận hành các bơm tái tuần hoàn của vòng sơ cấp và sự giải phóng năng lượng dư của lõi. (B.F. Gromov Sposob ochistki vnutrenney poverkhnosti stalnogo cirkulyacionnogo kontura s zhidkometallicheskim teplonositelem na osnove svintsy. [Phương pháp xử lý bề mặt bên trong vòng tái tuần hoàn bằng thép được nạp chất tải lạnh kim loại lỏng trên nền chì] Đơn sáng chế quốc tế số PCT/RU96/00219 nộp ngày 06/08/1996, A.G. Karabash “Khimiko-spectralny analiz i osnovy khimicheskoy tekhnologii zhidkometallicheskogo teplonositelya evtekticheskogo splava svinets-vismut”. [Phân tích phổ hóa học và các nguyên tắc xử lý hóa học của chất tải lạnh kim

loại lỏng trên cơ sở hợp kim *Eutecti Chì-và-Bitmut*], các biên bản lưu của hội thảo “Heavy Liquid Metal Coolants for Nuclear Technologies” (TZhMT-98), Tập 2, trang 595, Obninsk, 1999, K.D. Ivanov, Yu.I. Orlov, P.N. Martynov. “Tekhnologiya svintsovo-vismutovogo teplonositelya na YaEU pervogo i vtorogo pokoleniya” [*Công nghệ chất tải lạnh Chì và Bismut cho NPP thế hệ thứ nhất và thứ hai*], sách gồm các bản báo cáo của hội thảo “Heavy Liquid Metal Coolants for Nuclear Technologies” (TZhMT-2003), Obninsk: Trung tâm Khoa học quốc gia Nga: Viện Vật lý và Công Nghệ Năng Lượng, 2003). Sự thải nhiệt bằng 0 bởi SG đã được rút nước và sự tiêu thụ nhiều của HLMC khiến có thể đảm bảo chế độ nhiệt độ đẳng nhiệt của vòng sơ cấp ở 300 °C – 320 °C. Vào cuối chế độ HTHR, hệ thống được chuyển sang chế độ thải giải phóng năng lượng dư: các bơm tái tuần hoàn của vòng sơ cấp đã được tắt (hoặc tốc độ của các bơm này được giảm đáng kể dẫn đến làm giảm lượng năng lượng được chuyển tới HLMC), và các SG được nạp chất lỏng ngưng tụ được tạo ra bằng cách cấp hơi nước vào vòng thứ cấp từ nguồn bên ngoài có áp suất tương ứng với nhiệt độ bão hòa và lớn hơn nhiệt độ HLMC. Mức thấp của việc giải phóng năng lượng dư là điển hình cho chế độ vận hành của lò phản ứng HLMC tàu thủy và làm giảm nhanh nhiệt độ HLMC do các tổn hao nhiệt của vòng sơ cấp, ngay khi các bơm tái tuần hoàn của các vòng sơ cấp được dừng lại.

Do không thể tắt nhà máy điện hạt nhân trong khoảng thời gian dài để làm mát nhà máy điện hạt nhân và để giảm giải phóng năng lượng, việc thực hiện chế độ này ở nhà máy điện hạt nhân có hệ số tận dụng công suất lắp đặt cao (Installed Capacity Utilization Factor, ICUF) và mức giải phóng năng lượng dư cao sẽ gây khó khăn trong việc chuyển tiếp trở lại chế độ làm mát tắt vào cuối phương pháp ủ khuyết tật bức xạ nhiệt độ cao, như được mô tả trên đây, và khiến cho phương pháp này tiềm ẩn khả năng gây nguy hiểm. Điều này có liên quan đến thực tế là việc chuyển tiếp sang chế độ đẳng nhiệt ở 500 °C bằng SG đã được rút nước là quy trình động, do quy trình này được dẫn động bởi năng lượng của việc giải phóng năng lượng dư vượt quá các tổn hao nhiệt của vòng sơ cấp, và nó ra lệnh chuyển tiếp tới chế độ làm mát tắt càng sớm càng tốt để ngăn ngừa lỗi bị quá nhiệt.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp ủ lõi khắc phục được các nhược điểm nêu trên của các giải pháp kỹ thuật đã được biết đến trong lĩnh vực này.

Việc thực hiện giải pháp kỹ thuật theo sáng chế mang lại các hiệu quả kỹ thuật sau, cụ thể là:

tăng độ an toàn của việc ủ khuyết tật bức xạ nhiệt độ cao và phục hồi các đặc tính tạo bột nhão của thép, cụ thể là các phần bằng thép ferrit mactensit của các lõi lò phản ứng;

có khả năng ủ các khuyết tật bức xạ nhiệt độ cao và khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của thép, cụ thể là các phần bằng thép ferit mactensit của các lõi lò phản ứng, một cách trực tiếp trong lò phản ứng hạt nhân;

chi phí thấp hơn của việc ủ khuyết tật bức xạ nhiệt độ cao và khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của thép, cụ thể là các phần bằng thép ferit mactensit của các lõi lò phản ứng;

giảm bớt các nguy cơ bất ngờ trong quá trình tiếp nhiên liệu lò phản ứng nhờ các đặc tính tạo bột nhão của thép tốt hơn, cụ thể là các đặc tính của các thành phần thép ferit mactensit của các lõi lò phản ứng hạt nhân trước khi tiếp nhiên liệu cho chúng;

có khả năng khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của các phần bằng thép tại các lõi lò phản ứng và ủ các khuyết tật bức xạ ở nhiệt độ cao trong thời gian vận hành, mà không phải ngắt quãng thời gian tiếp nhiên liệu, nếu cần thiết.

Các dấu hiệu sau đây của sáng chế góp phần đạt được các hiệu quả kỹ thuật nêu trên.

Phương pháp ủ lõi theo sáng chế được áp dụng cho, ví dụ, các lò phản ứng hạt nhân LMC bao gồm lõi, ít nhất một thiết bị tạo hơi nước (Steam Generator, SG) và ít nhất một bơm tái tuần hoàn hướng trục được dẫn động bằng điện của vòng sơ cấp.

Sáng chế đề xuất phương pháp ủ lõi lò phản ứng hạt nhân. Phương pháp này bao gồm bước dự tính liều lượng gây hư hại của các neutron nhanh (tính theo đơn vị dpa) làm

suy giảm không chấp nhận được các đặc tính tạo bột nhão của thép, đặc biệt là thép ferit mactensit. Tiếp đó, ngay khi đạt được năng suất năng lượng tương ứng của lò phản ứng, cần thay đổi hướng của dòng chất tải lạnh, ví dụ, LMC, để thay đổi hướng tiêu chuẩn (dưới - lên trên) thành hướng ngược lại (trên - xuống dưới). Khi đó, hệ thống này chuyển tiếp sang chế độ ủ, do chất tải lạnh nóng ở nhiệt độ 450 °C (tối thiểu), ví dụ LMC, chảy qua phần phía dưới của lõi bao gồm các bộ phận làm bằng thép bị giòn. Sau đó, quãng thời gian chấp nhận được đối với chế độ ủ sẽ được xác lập, quãng thời gian này đủ để ủ các bộ phận lõi lò phản ứng và khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của thép của phần lõi phía dưới. Sau đó, nhiệt độ bằng hoặc cao hơn nhiệt độ cần để khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của thép của phần lõi phía dưới trong quãng thời gian được thiết lập trước sẽ được xác lập. Sao cho nhiệt độ cao hoặc thấp quá mức, độ bền sẽ được điều chỉnh tương ứng và nhiệt độ sẽ được đặt lại (xác lập lại). Nhiệt độ được thiết lập trước sẽ được duy trì trong quãng thời gian được thiết lập trước bằng cách điều chỉnh mức năng lượng lò phản ứng và mức tiêu thụ chất tải lạnh, nếu cần. Vào cuối giai đoạn ủ đã được thiết lập trước, hướng của dòng chất tải lạnh sẽ được thay đổi, ví dụ, LMC, từ hướng ngược lại (trên - xuống dưới) thành hướng tiêu chuẩn (dưới - lên trên).

Thiết kế được đề xuất của các lò phản ứng hạt nhân LMC bao gồm lõi, ít nhất một thiết bị tạo hơi nước và ít nhất một bơm tái tuần hoàn hướng trục được dẫn động bằng điện của vòng sơ cấp. Ngoài ra, bộ dẫn động bằng điện của bơm tái tuần hoàn bao gồm mạch cấp nguồn khiến có thể chuyển hướng quay của bơm tái tuần hoàn thành hướng ngược lại và có thể điều chỉnh tần số quay.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các tác giả sáng chế đề xuất giải pháp kỹ thuật liên quan đến việc ủ khuyết tật bức xạ nhiệt độ cao của các vật liệu công nghệ của lõi để khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của thép trong môi trường của các lò phản ứng LMC và HLMC (ví dụ, hợp kim eutectic chì và bismut, chì), bao gồm thép ferit mactensit (FMS) chống ăn mòn có nhiệt độ lớp vỏ đến 650 °C khi bị phơi nhiễm với LMC.

Phương pháp ủ lõi lò phản ứng hạt nhân theo sáng chế được áp dụng cho các lò phản ứng hạt nhân LMC được trang bị các bơm hướng trục tái tuần hoàn chất tải lạnh được dẫn động bằng điện.

Khi ở chế độ không đẳng nhiệt và ở mức năng suất tương đối thấp, có thể thay đổi hướng quay của bơm bằng cách chuyển mạch cấp nguồn điện của bộ dẫn động bơm để ủ lõi lò phản ứng ở nhiệt độ cao bằng các bơm hướng trục. Điều này làm thay đổi hướng của dòng chất tải lạnh qua lõi. Trong trường hợp này, chất tải lạnh nhiệt độ thấp phía sau thiết bị tạo hơi nước được cấp vào cửa ra của lõi, chất tải lạnh nhiệt độ cao ở nhiệt độ 450 °C chảy qua phần phía dưới của lõi có các bộ phận bằng thép bị giòn. Điều này cho phép khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của thép. Do không cần phải rút nước ra khỏi SG để thực hiện phương pháp ủ nhiệt độ cao, năng lượng dư đã giải phóng sẽ được loại bỏ vào cuối quá trình ủ và ngừng lò phản ứng. Do đó, phương pháp ủ này an toàn hơn. Do hiệu suất thủy lực của bơm đầu âm giảm khi bơm quay theo chiều ngược lại, lượng tiêu thụ chất tải lạnh ở cùng một số vòng quay của bơm (tốc độ quay) cũng thấp hơn lượng tiêu thụ chất tải lạnh khi bơm quay theo chiều thuận. Điều này sẽ hỗ trợ chế độ ủ có công suất tương đối lớn hơn mức tiêu thụ tương đối, và sẽ duy trì nhiệt độ chất tải lạnh ở 450 °C tại phần lõi dưới ở năng suất lò phản ứng thấp hơn, tức là trong môi trường an toàn hơn. Giải pháp kỹ thuật của sáng chế này không làm giảm tuổi thọ bơm, do chế độ này không tồn tại dài lâu.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp ủ lõi lò phản ứng hạt nhân được áp dụng cho lò phản ứng bao gồm, ít nhất một lõi, ít nhất một thiết bị tạo hơi nước, và ít nhất một bơm tái tuần hoàn hướng trục được dẫn động bằng điện của vòng sơ cấp, trong đó phương pháp bao gồm các bước:

dự tính giá trị của liều lượng gây hại của các neutron gây ra suy giảm không chấp nhận được các đặc tính tạo bột nhão của thép;

thay đổi hướng của dòng chất tải lạnh từ hướng tiêu chuẩn (dưới - lên trên) thành hướng ngược lại (trên - xuống dưới) ở giá trị năng suất năng lượng lò phản ứng tương ứng;

ủ các bộ phận bằng thép bị giòn của phần lõi phía dưới là nơi chất tải lạnh nóng xuất phát, sau đó xác lập quãng thời gian chấp nhận được của chế độ ủ và nhiệt độ đủ để khôi phục các đặc tính tạo bột nhão của thép của phần lõi phía dưới trong quãng thời gian đã được thiết lập trước;

điều chỉnh năng suất lò phản ứng để duy trì nhiệt độ trong quãng thời gian đã được thiết lập trước; và

trong công đoạn cuối quá trình ủ, chế độ ủ sẽ được kết thúc và hướng chất tải lạnh sẽ được thay đổi từ hướng ngược lại (trên - xuống dưới) thành hướng tiêu chuẩn (dưới - lên trên).

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó chất tải lạnh nóng chảy qua phần lõi phía dưới ở nhiệt độ tối thiểu là 450°C.

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó cần phải điều chỉnh mức tiêu thụ chất tải lạnh ở chế độ ủ để duy trì nhiệt độ đã được thiết lập trước trong quãng thời gian đã được thiết lập trước.

4. Lò phản ứng hạt nhân được làm mát bằng kim loại lỏng (Liquid Metal Cooled, LMC) bao gồm lõi, ít nhất một thiết bị tạo hơi nước, ít nhất một bơm tái tuần hoàn

hướng trục được dẫn động bằng điện của vòng sơ cấp, bơm này được trang bị mạch cấp nguồn để thay đổi hướng quay của bơm tái tuần hoàn.

5. Lò phản ứng hạt nhân LMC theo điểm 4, trong đó bơm tái tuần hoàn được dẫn động bằng điện được trang bị mạch cấp nguồn cho phép điều chỉnh tần số quay của bơm này.