



(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)



1-0045198

(51)^{2020.01} C03B 32/02

(13) B

(21) 1-2021-00574

(22) 15/07/2019

(86) PCT/US2019/041773 15/07/2019

(87) WO2020/018408 23/01/2020

(30) 62/698,623 16/07/2018 US; 62/769,253 19/11/2018 US

(45) 25/04/2025 445

(43) 25/05/2021 398A

(71) CORNING INCORPORATED (US)

1 Riverfront Plaza, Corning, New York 14831, United States of America

(72) CLICK, Carol Ann (US); DUTTA, Indrajit (US); GULBITEN, Ozgur (TR); HALL, Jill Marie (US); HUBERT, Mathieu Gerard Jacques (FR); KITTLESON, Andrew Peter (US); RAI, Rohit (IN); SALTZER, Jr., John Robert (US); TROSA, Matthew Daniel (US); ZHENG, Zheming (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) PHƯƠNG PHÁP GỒM HÓA VẬT PHẨM THỦY TINH THÀNH GỒM THỦY TINH

(21) 1-2021-00574

(57) Phương pháp gồm hóa vật phẩm thủy tinh thành gốm thủy tinh bao gồm bước đặt vật phẩm thủy tinh vào trong thiết bị gia nhiệt, và gia nhiệt vật phẩm thủy tinh đến nhiệt độ giữ thứ nhất ở tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất. Vật phẩm thủy tinh được giữ tại nhiệt độ giữ thứ nhất trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất. Độ nhớt của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong log độ nhớt $\pm 1,0$ poa trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất. Sau đó, vật phẩm thủy tinh được gia nhiệt từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai ở tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ hai. Vật phẩm thủy tinh được giữ tại nhiệt độ giữ thứ hai trong khoảng thời gian thứ hai. Tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh được giám sát từ khi gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến khoảng thời gian thứ hai, và khoảng thời gian thứ hai được kết thúc khi giá trị tuyệt đối của tốc độ thay đổi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh là nhỏ hơn hoặc bằng $0,10 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$.

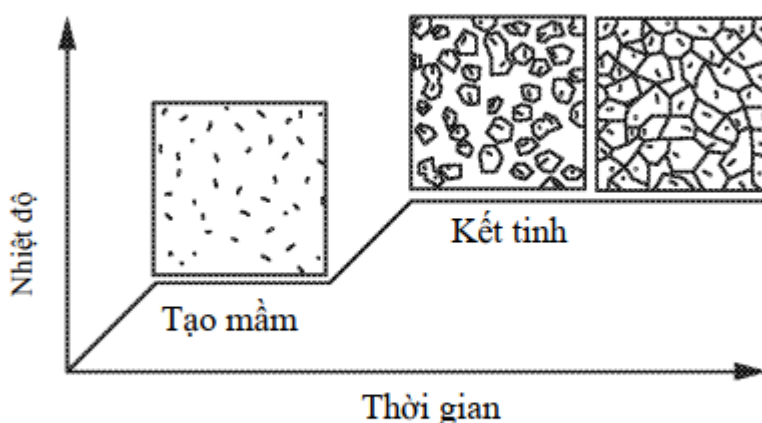


FIG. 2A

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế nhìn chung đề cập đến các quy trình gốm hóa vật phẩm thủy tinh để tạo thành vật phẩm gốm thủy tinh và cụ thể là đề cập đến các quy trình gốm hóa vật phẩm thủy tinh để tạo thành vật phẩm gốm thủy tinh bằng cách cải biến chu kỳ gốm hóa dựa trên các thay đổi ở tỷ trọng và độ nhót ở giai đoạn tạo mầm và phát triển của vật phẩm trong suốt chu kỳ gốm hóa.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Vẫn có nhu cầu đối với thủy tinh có độ bền cao mà có thể được sử dụng trong các thiết bị điện tử cầm tay. Một số vật liệu gần đây được sử dụng làm vật phủ cho các thiết bị điện tử cầm tay, như thủy tinh, zirconi oxit, chất dẻo, kim loại, và gốm thủy tinh. Lợi ích của việc sử dụng gốm thủy tinh bao gồm độ bền cao và hệ số truyền cao, mà làm cho gốm thủy tinh là lựa chọn tốt cho các thiết bị hiển thị quang học và bề mặt điện tử.

Tuy nhiên, việc tạo thành gốm thủy tinh có thể khó khăn, cụ thể là khi cố gắng để thu được các thông lượng cao trong suốt quy trình gốm hóa. Ví dụ, việc tạo thành gốm thủy tinh đòi hỏi sự kiểm soát chính xác đặc tính nhiệt của vật phẩm thủy tinh trong suốt quy trình gốm hóa, mà trở nên khó khăn khi vật phẩm thủy tinh bị dính trong thiết bị gia nhiệt, như, ví dụ, lò ủ kính.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo khía cạnh thứ nhất, phương pháp gốm hóa vật phẩm thủy tinh thành gốm thủy tinh bao gồm bước: đặt vật phẩm thủy tinh vào trong thiết bị gia nhiệt; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh đến nhiệt độ giữ thứ nhất tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất; giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ nhất trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất, trong đó độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong phạm vi log độ nhót $\pm 1,0$ poa của độ nhót đích trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ hai; giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ hai trong khoảng thời gian thứ hai, trong đó tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh được giám sát từ sự gia nhiệt vật phẩm

thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến khoảng thời gian thứ hai; và kết thúc khoảng thời gian thứ hai khi giá trị tuyệt đối của tốc độ thay đổi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh là nhỏ hơn hoặc bằng $0,10 \text{ (g/cm}^3\text{)}/\text{phút}$.

Khía cạnh thứ hai bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ nhất, trong đó bước kết thúc khoảng thời gian thứ nhất khi giá trị tuyệt đối của tốc độ thay đổi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh là bằng $0,00 \text{ (g/cm}^3\text{)}/\text{phút}$.

Khía cạnh thứ ba bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số khía cạnh thứ nhất và thứ hai, trong đó trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất, độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong log độ nhót $\pm 0,1$ poa của độ nhót đích.

Khía cạnh thứ tư bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ ba, trong đó độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong log độ nhót $\pm 1,0$ poa của độ nhót đích trong ít nhất một phần của quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai.

Khía cạnh thứ năm bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ tư, trong đó độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong log độ nhót $\pm 1,0$ poa của độ nhót đích trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất sử dụng số liệu từ hệ thống kiểm soát độ nhót tự động.

Khía cạnh thứ sáu bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ năm, trong đó tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh được giám sát tại chỗ trong suốt quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai và giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ hai trong khoảng thời gian thứ hai.

Khía cạnh thứ bảy bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ sáu, trong đó tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh được giám sát tại chỗ trong quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ hai và giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ hai trong khoảng thời gian thứ hai bằng máy đo giãn nở.

Khía cạnh thứ tám bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ bảy, trong đó khoảng thời gian thứ hai được kết thúc khi tỷ

trọng của vật phẩm thủy tinh là không đổi trong ít nhất 15 phút, hoặc tốt hơn là ít nhất 50 phút.

Khía cạnh thứ chín bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ một đến tám, trong đó khoảng thời gian thứ hai kết thúc khi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh không đổi trong ít nhất 100 phút.

Khía cạnh mười bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ chín, trong đó tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất được xác định dựa ít nhất một phần vào hiệu năng của hệ thống kiểm soát độ nhót tự động.

Khía cạnh mười một bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ mười, trong đó tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ hai được xác định dựa ít nhất một phần vào hiệu năng của hệ thống kiểm soát độ nhót tự động.

Khía cạnh mười hai bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến mười một, còn bao gồm bước đặt lực cưỡng bức khối lượng vào vật phẩm thủy tinh.

Khía cạnh mười ba bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến mười hai, trong đó vật phẩm thủy tinh là một phần của chồng thủy tinh.

Khía cạnh mười bốn bao gồm phương pháp theo khía cạnh mười ba, trong đó chồng thủy tinh bao gồm: cơ cấu định vị thứ nhất; nhiều tấm thủy tinh được đặt trên cơ cấu định vị thứ nhất; và cơ cấu định vị thứ hai trên chồng gồm các tấm thủy tinh.

Khía cạnh mười lăm bao gồm phương pháp theo khía cạnh mười bốn, trong đó nhiều tấm thủy tinh bao gồm ít nhất 10 tấm thủy tinh.

Khía cạnh mười sáu bao gồm phương pháp theo khía cạnh mười bốn, trong đó nhiều tấm thủy tinh bao gồm ít nhất 20 tấm thủy tinh.

Khía cạnh mười bảy bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến mười sáu, trong đó độ chênh lệch nhiệt độ của vật phẩm thủy

tinh từ nhiệt độ được lập trình nằm trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất là trong khoảng $\pm 8^{\circ}\text{C}$.

Khía cạnh mười tám bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến mười bảy, trong đó độ chênh lệch nhiệt độ của vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ được lập trình nằm trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất là trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Khía cạnh mười chín bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến mười tám, trong đó độ chênh lệch nhiệt độ của vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ được lập trình nằm trong khoảng thời gian thứ hai là trong khoảng $\pm 8^{\circ}\text{C}$.

Khía cạnh hai mươi bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến mười chín, trong đó độ chênh lệch nhiệt độ của vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ được lập trình nằm trong khoảng thời gian thứ hai là trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Khía cạnh hai mươi một bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến hai mươi, trong đó bước gia nhiệt vật phẩm thủy tinh đến nhiệt độ giữ thứ nhất tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất bao gồm sự gia nhiệt nhiều giai đoạn.

Khía cạnh hai mươi hai bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến hai mươi một, trong đó trong quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh đến nhiệt độ giữ thứ nhất tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất, độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì tại lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa.

Khía cạnh hai mươi ba bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến hai mươi hai, trong đó trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất, độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì tại lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa.

Khía cạnh hai mươi tư bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến hai mươi ba, trong đó trong quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy

tính đến nhiệt độ giữ thứ nhất tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất, độ nhớt của vật phẩm thủy tinh được duy trì tại lớn hơn hoặc bằng log độ nhớt 11,0 poa.

Khía cạnh hai mươi lăm bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến hai mươi tư, trong đó độ nhớt của vật phẩm thủy tinh được duy trì lớn hơn hoặc bằng log độ nhớt 11,0 poa trong toàn bộ thời gian của phương pháp.

Khía cạnh hai mươi sáu bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến hai mươi mốt, trong đó độ nhớt của vật phẩm thủy tinh được duy trì lớn hơn hoặc bằng log độ nhớt 11,0 poa trong toàn bộ thời gian của phương pháp.

Các dấu hiệu và ưu điểm khác sẽ được nêu trong phần mô tả chi tiết sau đây, và một phần sẽ rõ ràng đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật từ phần mô tả đó hoặc được nhận biết bằng cách thực hành các phương án được mô tả ở đây, bao gồm phần mô tả chi tiết sau đây, các điểm yêu cầu bảo hộ cũng như các hình vẽ kèm theo.

Cần hiểu rằng cả mô tả chung ở trên và phần mô tả chi tiết mô tả các phương án khác nhau và nhằm cung cấp tổng quan hoặc khung để hiểu bản chất và đặc điểm của đối tượng được yêu cầu bảo hộ. Các hình vẽ kèm theo được bao gồm để cung cấp sự hiểu biết thêm về các phương án khác nhau, và được kết hợp vào và cấu thành bộ phận của bản mô tả này. Các hình vẽ minh họa các phương án khác nhau được mô tả ở đây, và cùng với phần mô tả đóng vai trò giải thích các nguyên lý và sự vận hành của các đối tượng được yêu cầu bảo hộ.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig. 1 là sơ đồ minh họa chồng thủy tinh theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 2A là đồ thị minh họa các phép đo nhiệt độ theo thời gian và sự tạo mầm và sự kết tinh (sự phát triển) của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 2B là đồ thị minh họa tốc độ tạo mầm và tốc độ phát triển tinh thể theo nhiệt độ trong chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 3 là lưu đồ của logic tỉ lệ-tích phân-đạo hàm (proportional-integral-derivative - PID) được sử dụng trong pha tạo mầm kiểm soát độ nhớt tự động (automatic viscosity control - AVC) của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 4 là sơ đồ khối mô tả hệ thống được sử dụng để vận hành pha tạo mầm AVC của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 5 là đồ thị minh họa log độ nhớt tính bằng poa theo thời gian tính bằng phút của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 6 là đồ thị minh họa nhiệt độ tính bằng độ C theo thời gian tính bằng phút của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 7 là sơ đồ minh họa máy đo giãn nở mà có thể được sử dụng tại chỗ để đo tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 8 là đồ thị minh họa tỷ trọng tính bằng gam trên xentimet khối theo thời gian tính bằng phút của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 9 là đồ thị minh họa tỷ trọng tính bằng gam trên xentimet khối theo thời gian tính bằng phút của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 10 là đồ thị minh họa độ nhớt tính bằng log 10 poa theo thời gian tính bằng phút của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 11 là đồ thị minh họa nhiệt độ tính bằng độ C trên trục y bên trái theo thời gian tính bằng giờ trên trục x, và độ nhớt tính bằng log 10 poa trên trục y bên phải theo thời gian tính bằng giờ trên trục x của chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 12A thể hiện sự cong vênh của vật phẩm gốm thủy tinh được gồm hóa bởi chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 12B thể hiện sự cong vênh của vật phẩm gốm thủy tinh được gốm hóa bởi chu kỳ gốm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 12C thể hiện sự cong vênh của vật phẩm gốm thủy tinh được gốm hóa bởi chu kỳ gốm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 13A thể hiện sự cong vênh của vật phẩm gốm thủy tinh được gốm hóa bởi chu kỳ gốm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 13B thể hiện sự cong vênh của vật phẩm gốm thủy tinh được gốm hóa bởi chu kỳ gốm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 13C thể hiện sự cong vênh của vật phẩm gốm thủy tinh được gốm hóa bởi chu kỳ gốm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 14 là đồ thị minh họa độ võng nhót tính bằng mm so với bán kính đĩa tính bằng mm của vật phẩm gốm thủy tinh được gốm hóa bởi chu kỳ gốm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 15A là đồ thị minh họa sự định vị theo phương nằm ngang của thiết bị đo bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 15B là đồ thị minh họa sự định vị theo phương thẳng đứng của thiết bị đo bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 16 là đồ thị minh họa nhiệt độ tính bằng độ C theo thời gian tính bằng giây như được ghi lại bởi thiết bị đo trong buồng trống của thiết bị gia nhiệt theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 17 là đồ thị minh họa nhiệt độ của các tấm thủy tinh tính bằng độ C trên trục y bên trái theo thời gian tính bằng giây trên trục x và độ chênh lệch nhiệt độ giữa các tấm thủy tinh tính bằng độ C trên trục y bên phải theo thời gian tính bằng giây trên trục x khi được gốm hóa bởi chu kỳ gốm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 18 là đồ thị minh họa nhiệt độ của các tấm thủy tinh tính bằng độ C theo thời gian tính bằng giây với các hình chiếu khai triển của các phần khác nhau của đồ thị của các vật phẩm thủy tinh được gồm hóa bởi chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 19 là đồ thị minh họa ảnh hưởng của việc gia nhiệt nhiều giai đoạn đối với độ chênh lệch nhiệt độ của các tấm thủy tinh tính bằng độ C theo thời gian tính bằng phút theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 20 là đồ thị minh họa ảnh hưởng của việc gia nhiệt nhiều giai đoạn đối với độ chênh lệch nhiệt độ của các tấm thủy tinh tính bằng độ C theo thời gian tính bằng phút theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 21 là đồ thị minh họa ảnh hưởng của việc gia nhiệt nhiều giai đoạn đối với độ chênh lệch nhiệt độ của các tấm thủy tinh tính bằng độ C theo thời gian tính bằng phút theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây;

Fig. 22 là đồ thị minh họa nhiệt độ tính bằng độ C theo thời gian tính bằng phút của các chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây và các chu kỳ gồm hóa thông thường; và

Fig. 23 là đồ thị minh họa tỷ trọng tính bằng gam trên xentimet khối theo thời gian tính bằng phút của các chu kỳ gồm hóa theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây và các chu kỳ gồm hóa thông thường.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án về phương pháp gồm hóa vật phẩm thủy tinh sẽ được mô tả chi tiết hơn, các phương án về các phương pháp này được minh họa trong các hình vẽ kèm theo. Bất cứ khi nào có thể, các số chỉ dẫn giống nhau sẽ được sử dụng trên toàn bộ các hình vẽ để chỉ các phần giống nhau hoặc tương tự. Theo một phương án, phương pháp gồm hóa vật phẩm thủy tinh thành gồm thủy tinh bao gồm bước: đặt vật phẩm thủy tinh vào trong thiết bị gia nhiệt; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh đến nhiệt độ giữ thứ nhất tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất; giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ nhất trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất, trong đó độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong phạm vi log độ nhót $\pm 1,0$ poa của độ nhót đích trong khoảng thời gian đã

định trước thứ nhất; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ hai; giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ hai trong khoảng thời gian thứ hai, trong đó tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh được giám sát từ sự gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến khoảng thời gian thứ hai; và kết thúc khoảng thời gian thứ hai khi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh là không đổi. Các phương án khác nhau để gồm hóa vật phẩm thủy tinh sẽ được mô tả ở đây với sự tham chiếu cụ thể đến các hình vẽ kèm theo.

Nói chung, quy trình tạo thành gồm thủy tinh bao gồm bước tạo thành vật phẩm thủy tinh và gồm hóa vật phẩm thủy tinh này để biến đổi vật phẩm thủy tinh thành dạng gồm thủy tinh. Tham chiếu đến Fig. 1, cấu hình chồng làm ví dụ 100 cho việc gồm hóa được minh họa. Cấu hình chồng 100 bao gồm bản mang 102 đỡ hai bản cơ cấu định vị 104, và chồng thủy tinh 106 được đặt giữa các bản cơ cấu định vị 104.

Theo một số phương án, các lớp cách ly (không được thể hiện) có thể được định vị trên mặt trên cùng của bản cơ cấu định vị 104 bên trên và trên mặt đáy của bản cơ cấu định vị 104 bên dưới. Các lớp cách ly này có thể được tạo thành từ vật liệu bất kỳ có độ dẫn nhiệt thấp, và có thể làm giảm hoặc thậm chí loại bỏ các gradien nhiệt trực của các tấm thủy tinh 108 trên phần trên cùng và dưới cùng của chồng thủy tinh 106.

Như được thể hiện trên Fig. 1, chồng thủy tinh 106 bao gồm nhiều tấm thủy tinh 108, mỗi tấm thủy tinh 108 được tách khỏi tấm thủy tinh 108 liền kề bởi lớp chất làm trơn 110. Lớp chất làm trơn 110 làm giảm hoặc thậm chí loại bỏ sự xếp chồng của các tấm thủy tinh 108 trong chồng thủy tinh 106 trong quá trình gồm hóa. Mặc dù không được thể hiện trên Fig. 1, theo một số phương án, chồng thủy tinh 106 có thể còn bao gồm lớp chất làm trơn 110 ở giữa tấm thủy tinh 108 và bản cơ cấu định vị 104. Theo các phương án khác, như theo các phương án khác nhau được mô tả dưới đây, bản cơ cấu định vị 104 được làm từ vật liệu không phản ứng với tấm thủy tinh 108, và lớp chất làm trơn 110 không cần thiết để ngăn sự tương tác giữa tấm thủy tinh 108 và bản cơ cấu định vị 104.

Nói chung, để tạo thành gồm thủy tinh, chồng thủy tinh 106 được gia nhiệt tại nhiệt độ cao hơn điểm ủ của nó trong thời gian đủ để phát triển mầm tinh thể (còn được gọi là sự tạo mầm). Việc xử lý nhiệt được thực hiện, ví dụ, trong lò ủ kính hoặc lò nung.

Sau khi được gia nhiệt cao hơn điểm ủ của nó, sau đó thủy tinh còn được gia nhiệt, luôn tại nhiệt độ cao hơn giữa điểm ủ thủy tinh và điểm mềm hóa thủy tinh, để phát triển pha tinh thể (còn được gọi là "sự phát triển" hoặc "sự kết tinh"). Theo các phương án khác nhau, việc xử lý nhiệt, hoặc quy trình gốm hóa, bao gồm bước gia nhiệt chông thủy tinh đến nhiệt độ tạo mầm, duy trì nhiệt độ tạo mầm này trong khoảng thời gian đã định trước, gia nhiệt chông thủy tinh đến nhiệt độ kết tinh, và duy trì nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian đã định trước.

Các tấm thủy tinh 108 có thể được làm từ chế phẩm thủy tinh bất kỳ mà thích hợp để tạo thành các vật phẩm gốm thủy tinh, mặc dù nên hiểu rằng chế phẩm thủy tinh của các tấm thủy tinh 108 có thể ảnh hưởng đến các tính chất cơ học và quang học của vật phẩm gốm thủy tinh. Theo các phương án khác nhau, chế phẩm thủy tinh được chọn sao cho vật phẩm gốm thủy tinh tạo thành có pha kết tinh petalit và pha kết tinh lithi silicat và trong đó pha kết tinh petalit và pha kết tinh lithi silicat có tỉ lệ phần trăm khối lượng cao hơn so với các pha kết tinh khác có mặt trong vật phẩm gốm thủy tinh.

Là ví dụ nhưng không làm giới hạn, theo các phương án khác nhau, các tấm thủy tinh 108 có thể được tạo thành từ chế phẩm thủy tinh bao gồm từ khoảng 55% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng SiO_2 , từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng Al_2O_3 , từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng Li_2O , từ khoảng 0% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng B_2O_3 , từ khoảng 0% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng Na_2O , từ khoảng 0% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng ZnO , từ khoảng 0,5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng P_2O_5 , và từ khoảng 0,2% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng ZrO_2 .

SiO_2 , oxit liên quan đến sự hình thành thủy tinh, có thể có chức năng làm ổn định kết cấu mạng của thủy tinh và gốm thủy tinh. Trong các chế phẩm thủy tinh khác nhau, nồng độ của SiO_2 nên đủ cao để tạo thành pha tinh thể petalit khi tấm thủy tinh được xử lý nhiệt để chuyển hóa thành gốm thủy tinh. Lượng SiO_2 có thể bị giới hạn để kiểm soát nhiệt độ nóng chảy của thủy tinh, vì nhiệt độ nóng chảy của SiO_2 nguyên chất hoặc thủy tinh chứa lượng SiO_2 cao là cao một cách không mong muốn. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh chứa từ khoảng 55% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng SiO_2 . Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh chứa từ khoảng 69% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng SiO_2 . Theo một số phương

án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 55% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng, từ khoảng 55% khối lượng đến khoảng 77% khối lượng, từ khoảng 55% khối lượng đến khoảng 75% khối lượng, từ khoảng 55% khối lượng đến khoảng 73% khối lượng, từ khoảng 60% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng, từ khoảng 60% khối lượng đến khoảng 77% khối lượng, từ khoảng 60% khối lượng đến khoảng 75% khối lượng, từ khoảng 60% khối lượng đến khoảng 73% khối lượng, từ khoảng 69% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng, từ khoảng 69% khối lượng đến khoảng 77% khối lượng, từ khoảng 69% khối lượng đến khoảng 75% khối lượng, từ khoảng 69% khối lượng đến khoảng 73% khối lượng, từ khoảng 70% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng, từ khoảng 70% khối lượng đến khoảng 77% khối lượng, từ khoảng 70% khối lượng đến khoảng 75% khối lượng, từ khoảng 70% khối lượng đến khoảng 73% khối lượng, từ khoảng 73% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng, từ khoảng 73% khối lượng đến khoảng 77% khối lượng, từ khoảng 73% khối lượng đến khoảng 75% khối lượng, từ khoảng 75% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng, từ khoảng 75% khối lượng đến khoảng 77% khối lượng, hoặc từ khoảng 77% khối lượng đến khoảng 80% khối lượng SiO_2 , và các khoảng con bất kỳ và tất cả các khoảng con được tạo thành từ đầu mút bất kỳ trong số các đầu mút nêu trên.

Al_2O_3 cũng có thể cung cấp tác dụng làm ổn định mạng và cũng cung cấp các tính chất cơ học và độ bền hóa học được cải thiện. Tuy nhiên, nếu lượng Al_2O_3 là quá cao, thì tỷ lệ các tinh thể lithi silicat có thể bị giảm, có thể đến mức độ mà cấu trúc liên khóa không thể tạo thành được. Lượng Al_2O_3 có thể được điều chỉnh để kiểm soát độ nhớt. Hơn nữa, nếu lượng Al_2O_3 là quá cao thì độ nhớt của phần nóng chảy nói chung cũng bị tăng lên. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng Al_2O_3 . Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng Al_2O_3 . Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ

khoảng 5% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ 6% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, 8% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, 10% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 12% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 12% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, hoặc từ khoảng 12% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng Al_2O_3 và các khoảng con bất kỳ và tất cả các khoảng con được tạo thành từ đầu mút bất kỳ trong số các đầu mút nêu trên.

Trong thủy tinh và gốm thủy tinh ở đây, Li_2O giúp tạo thành cả pha tinh thể petalit và lithi silicat. Thực tế, để thu được petalit và lithi silicat dưới dạng các pha tinh thể nổi trội, mong muốn có ít nhất khoảng 7% khối lượng Li_2O trong chế phẩm. Ngoài ra, đã phát hiện ra rằng khi Li_2O trở nên quá cao (cao hơn khoảng 15% khối lượng), chế phẩm trở nên rất lỏng. Do đó, theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng Li_2O . Theo các phương án khác, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 14% khối lượng Li_2O . Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 16% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 14% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng 16% khối lượng, từ

khoảng 7% khối lượng đến khoảng 14% khối lượng, từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 16% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 14% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 12% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 12% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 12% khối lượng đến khoảng 16% khối lượng, từ khoảng 12% khối lượng đến khoảng 14% khối lượng, từ khoảng 14% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 14% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, từ khoảng 14% khối lượng đến khoảng 16% khối lượng, từ khoảng 16% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng, từ khoảng 16% khối lượng đến khoảng 18% khối lượng, hoặc từ khoảng 18% khối lượng đến khoảng 20% khối lượng Li_2O và các khoáng con bất kỳ và tất cả các khoáng con được tạo thành từ đầu mút bất kỳ trong số các đầu mút nêu trên.

Như được lưu ý trên đây, Li_2O thường hữu dụng để tạo thành nhiều gốm thủy tinh khác nhau, nhưng các oxit kiềm khác có xu hướng làm giảm sự hình thành gốm thủy tinh và tạo thành thủy tinh dư nhôm silicat trong gốm thủy tinh. Đã phát hiện ra rằng nhiều hơn khoảng 5% khối lượng Na_2O hoặc K_2O , hoặc các tổ hợp của chúng, dẫn đến các lượng thủy tinh dư không mong muốn, mà có thể dẫn đến sự biến dạng trong quá trình tạo tinh thể và các vi cấu trúc không mong muốn từ việc cân nhắc đến tính chất cơ học. Thành phần cấu tạo của thủy tinh dư có thể được điều chỉnh để kiểm soát độ nhớt trong quá trình kết tinh, tối thiểu hóa sự biến dạng hoặc sự giãn nở nhiệt không mong muốn, hoặc để kiểm soát các tính chất vi cấu trúc. Do đó, nhìn chung, các tấm thủy tinh có thể được tạo thành từ các chế phẩm thủy tinh có lượng các oxit kiềm không phải lithi thấp. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 0% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng R_2O , trong đó R là một hoặc nhiều cation kiềm Na và K. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng R_2O , trong đó R là một hoặc nhiều cation kiềm Na và K. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ 0% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 1% khối

lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 1% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, hoặc từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng Na_2O , K_2O , hoặc các tổ hợp của chúng và các khoảng con bất kỳ và tất cả các khoảng con được tạo thành từ đầu mút bất kỳ trong số các đầu mút nêu trên.

Các chế phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh có thể chứa P_2O_5 . P_2O_5 có thể có tác dụng như là chất tạo mầm để tạo ra sự tạo mầm khối. Nếu nồng độ của P_2O_5 quá thấp, thủy tinh tiền chất tạo kết tinh, nhưng chỉ ở các nhiệt độ cao (do độ nhớt thấp hơn) và từ bề mặt hướng vào trong, sinh ra yếu kém và thường biến dạng thân. Tuy nhiên, nếu nồng độ của P_2O_5 quá cao, sự hóa mờ, do làm nguội trong quá trình tạo thành các tấm thủy tinh, có thể khó kiểm soát. Các phương án có thể bao gồm từ >0% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng P_2O_5 . Các phương án khác có thể bao gồm từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng P_2O_5 . Các phương án khác nữa có thể bao gồm từ khoảng 1,5% khối lượng đến khoảng 2,5% khối lượng P_2O_5 . Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể bao gồm từ 0% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 5,5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến 5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 4,5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 3,5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 2,5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 1,5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 1% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 5,5% khối lượng, từ >0% khối lượng đến 5% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 4,5% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 3,5% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng >2,5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng

15

khoảng 4,5% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 3,5% khối lượng, từ khoảng 3,5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 3,5% khối lượng đến khoảng 5,5% khối lượng, từ khoảng 3,5% khối lượng đến 5% khối lượng, từ khoảng 3,5% khối lượng đến khoảng 4,5% khối lượng, từ khoảng 3,5% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 5,5% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến 5% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 4,5% khối lượng, từ khoảng 4,5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 4,5% khối lượng đến khoảng 5,5% khối lượng, từ khoảng 4,5% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 5,5% khối lượng, hoặc từ khoảng 5,5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng P_2O_5 và các khoáng con bất kỳ và tất cả các khoáng con được tạo thành từ đầu mút bất kỳ trong số các đầu mút nêu trên.

Trong các chế phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh khác nhau, thường phát hiện ra rằng ZrO_2 có thể cải thiện độ ổn định của thủy tinh $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ bằng cách làm giảm đáng kể sự hóa mờ thủy tinh trong quá trình tạo thành và làm hạ nhiệt độ đường lỏng. Ở nồng độ cao hơn 8% khối lượng, $ZrSiO_4$ có thể tạo thành pha đường lỏng sơ cấp tại nhiệt độ cao, mà làm hạ đáng kể độ nhớt đường lỏng. Các thủy tinh trong suốt có thể được tạo ra khi thủy tinh chứa ZrO_2 với lượng trên 2% khối lượng. Việc bổ sung ZrO_2 cũng có thể giúp làm giảm cỡ hạt petalit, mà giúp hình thành gốm thủy tinh trong suốt. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 0,2% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng ZrO_2 . Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể bao gồm từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng ZrO_2 . Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ khoảng 0,2% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 0,2% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 0,2% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 0,2% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 0,2% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 0,2% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 0,5% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 0,5% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 0,5% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 0,5% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 0,5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 0,5% khối lượng đến khoảng

4% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng, từ khoảng 10% khối lượng đến khoảng 12% khối lượng, hoặc từ khoảng 12% khối lượng đến khoảng 15% khối lượng ZrO_2 , và khoảng con bất kỳ và tất cả các khoảng con được tạo thành từ điểm cuối bất kỳ trong số các điểm cuối nêu trên.

B_2O_3 là có lợi để tạo ra tấm thủy tinh có nhiệt độ nóng chảy thấp. Hơn thế nữa, việc bổ sung B_2O_3 trong tấm thủy tinh và do đó vật phẩm gồm thủy tinh giúp đạt được vi cấu trúc tinh thể liên khóa và cũng có thể cải thiện khả năng chống hư hỏng của vật phẩm gồm thủy tinh. Nếu bo trong thủy tinh dư không được cân bằng điện tích bằng các oxit kiềm hoặc các oxit cation hóa trị hai, thì nó sẽ ở trạng thái phối trí tam giác (hoặc bo phối trí ba), mà mở ra cấu trúc của thủy tinh. Mạng lưới xung quanh nguyên tử bo phối trí ba này không cứng như là với nguyên tử bo phối trí tứ diện (hoặc phối trí bốn). Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, được tin là các tấm thủy tinh và các gồm thủy tinh mà chứa bo phối trí ba có thể chịu độ biến dạng nhất định trước khi hình thành vết nứt. Bằng sự chịu biến dạng nhất định, trị số bắt đầu nứt bởi sự tạo vết lõm Vickers được tăng lên. Độ bền chống nứt vỡ của tấm thủy tinh và gồm thủy tinh mà chứa bo phối trí ba cũng

có thể được tăng lên. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, được tin rằng sự có mặt của bo trong thủy tinh dư của gốm thủy tinh (và tấm thủy tinh) làm hạ độ nhớt của thủy tinh dư (hoặc tấm thủy tinh), mà thúc đẩy sự phát triển các tinh thể lithi silicat, đặc biệt là các tinh thể lớn có hệ số co cao. Lượng bo phối trí ba lớn hơn (so với lượng bo phối trí bốn) được tin là dẫn đến gốm thủy tinh mà thể hiện tải trọng bắt đầu nứt bởi sự tạo vết lõm Vickers lớn hơn. Theo một số phương án, lượng bo phối trí ba (là phần trăm của tổng số B_2O_3) có thể là khoảng 40% hoặc lớn hơn, 50% hoặc lớn hơn, 75% hoặc lớn hơn, 85% hoặc lớn hơn, hoặc thậm chí 95% hoặc lớn hơn. Lượng bo nói chung nên được kiểm soát để duy trì độ bền hóa học và độ bền cơ học của khối gốm thủy tinh được gốm hóa.

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh chứa từ 0% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng hoặc từ 0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng B_2O_3 . Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ 0% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 1% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ >0% khối lượng đến khoảng 1% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến

khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 7,5% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, hoặc từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 5,5% khối lượng B_2O_3 , và khoảng con bất kỳ và tất cả các khoảng con được tạo thành từ điểm cuối bất kỳ trong số các điểm cuối nêu trên.

MgO có thể đi vào các tinh thể petalit trong dung dịch đặc một phần. Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ 0% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng MgO. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ 0% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 1% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, hoặc từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng

8% khối lượng MgO, và khoáng con bất kỳ và tất cả các khoáng con được tạo thành từ điểm cuối bất kỳ trong số các điểm cuối nêu trên.

ZnO có thể đi vào các tinh thể petalit trong dung dịch đặc một phần. Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ 0% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng ZnO. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể chứa từ 0% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ 0% khối lượng đến khoảng 1% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ khoảng 1% khối lượng đến khoảng 2% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 2% khối lượng đến khoảng 3% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 3% khối lượng đến khoảng 4% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 4% khối lượng đến khoảng 5% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến

khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 5% khối lượng đến khoảng 6% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 6% khối lượng đến khoảng 7% khối lượng, từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, từ khoảng 7% khối lượng đến khoảng 8% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng, từ khoảng 8% khối lượng đến khoảng 9% khối lượng, hoặc từ khoảng 9% khối lượng đến khoảng 10% khối lượng ZnO, và khoảng con bất kỳ và tất cả các khoảng con được tạo thành từ điểm cuối bất kỳ trong số các điểm cuối nêu trên.

Theo các phương án khác nhau, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể còn bao gồm một hoặc nhiều thành phần cấu tạo, như, ví dụ nhưng không bị giới hạn ở, TiO_2 , CeO_2 , và SnO_2 . Ngoài ra hoặc theo cách khác, các thành phần kháng vi sinh vật có thể được bổ sung vào chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh. Các thành phần kháng vi sinh vật có thể được bổ sung vào thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể bao gồm, nhưng không bị giới hạn ở, Ag, AgO, Cu, CuO, Cu_2O , và chất tương tự. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể còn bao gồm chất làm trong hóa học. Các chất làm trong hóa học này bao gồm, nhưng không bị giới hạn ở, SnO_2 , As_2O_3 , Sb_2O_3 , F, Cl, và Br. Chi tiết bổ sung về các chế phẩm thủy tinh và/hoặc gốm thủy tinh thích hợp để sử dụng theo các phương án khác nhau có thể được tìm thấy, ví dụ, trong Công bố đơn sáng chế Mỹ số 2016/0102010 có tiêu đề “Gốm thủy tinh độ bền cao có cấu trúc petalit và lithi silicat,” được nộp ngày 8/10/2015, mà được kết hợp toàn bộ ở đây bằng cách viện dẫn.

Theo các phương án khác nhau, chế phẩm thủy tinh có thể được sản xuất thành các tấm bằng các quy trình, bao gồm, nhưng không bị giới hạn ở, quy trình kéo qua khe, quy trình nổi, quy trình cán, và các quy trình tạo tấm khác mà đã biết đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này.

Sự tạo mầm khối và sự phát triển có kiểm soát là cần thiết để tạo ra sản phẩm gốm thủy tinh mong muốn. Sự tạo mầm khối (cả đồng nhất và không đồng nhất) được thực hiện tại nhiệt độ tăng trong khoảng thời gian nhất định như được thể hiện trên Fig. 2A. Về phương diện lịch sử, nhiệt độ và thời gian tạo mầm được chọn theo kinh nghiệm là cao hơn nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh (T_g) hoặc nhiệt độ ủ như được thể hiện trên

Fig. 2B. Tương tự, nhiệt độ và thời gian phát triển cũng được chọn theo kinh nghiệm là cao hơn nhiệt độ tạo mầm. Thời gian và nhiệt độ được tối ưu hóa có thể đạt được bằng cách thay đổi cả thời gian và nhiệt độ cho các giai đoạn xử lý tạo mầm và phát triển. Các hiện tượng tạo mầm và phát triển tinh thể thường chồng lấp. Do đó, các tính chất vật lý như độ nhớt khai triển là hàm thời gian ở cả hai bước tạo mầm và phát triển. Tuy nhiên, tốc độ tăng tỷ trọng và/hoặc độ nhớt thay đổi khi chuyển từ giai đoạn tạo mầm sang giai đoạn phát triển. Khi tốc độ tăng tỷ trọng và/hoặc độ nhớt thay đổi đáng kể, các quy trình gồm hóa không thể thu được thành phẩm gồm thủy tinh mong muốn.

Để tránh bị vồng, dính, hoặc biến dạng nhớt, thời gian và nhiệt độ của chu kỳ nên được kiểm soát. Các phương pháp phổ biến nhất gồm việc thử nghiệm dựa trên thí nghiệm và sai số của các chu kỳ nhiệt được thiết kế bằng trực giác, mà được cải thiện bằng các phương pháp phân tích đặc tính của vật liệu. Một số ví dụ về các phương pháp phân tích đặc tính này là phép đo dòng nhiệt của đỉnh tạo tinh thể là hàm số của thời gian ủ với máy đo nhiệt lượng quét vi sai hoặc phân tích tại cho các đỉnh nhiễu xạ tia X với thời gian. Phần lớn các phương pháp này không giúp nhà phát triển tìm ra các điều kiện tối ưu cho sự ổn định kích thước và chúng rất cần nhiều nhân lực và tiêu tốn thời gian. Để khắc phục tất cả các hạn chế đó, các phương án để gồm hóa vật phẩm thủy tinh được bộc lộ và được mô tả ở đây xác định một cách tự động các chu kỳ gồm hóa mà sẽ thu được vật phẩm gồm thủy tinh mong muốn. Các phương án về phương pháp gồm hóa bao gồm hai công cụ phân tích: (1) máy kiểm soát độ nhớt tự động (AVC) để xác định chu kỳ trong bước tạo mầm và trong các bước gia nhiệt chuyển tiếp từ sự tạo mầm sang sự phát triển tinh thể; và (2) phương pháp đo tỷ trọng tại chỗ không tiếp xúc mà xác định khoảng thời gian phát triển tinh thể. Toàn bộ chu kỳ gồm hóa trực tiếp thu được bằng cách sử dụng hai phương pháp này.

Mục đích của việc kiểm soát độ nhớt tự động (AVC) là để giữ thủy tinh ở độ nhớt không đổi để xác định chu kỳ thời gian-nhiệt độ với việc vồng tối thiểu trong chu kỳ gồm hóa thủy tinh. Trong phương án thực hiện này, độ nhớt không đổi được duy trì bằng cách a) tính toán độ nhớt tức thời sử dụng tốc độ lệch của chùm thủy tinh trong điều kiện ứng suất không đổi ở sự cài đặt uốn chùm tia 3 điểm, và b) thay đổi tốc độ gia nhiệt/làm nguội một cách linh động bằng cách sử dụng vòng kiểm soát tỉ lệ-tích phân-đạo hàm (PID) mà xác định đầu ra công suất được cấp cho lò nung. Khi độ nhớt của vật

phẩm thủy tinh tăng, logic PID tự động làm tăng nhiệt độ, và khi độ nhót của vật phẩm thủy tinh giảm, logic PID giảm nhiệt độ. Vòng kiểm soát PID đảm bảo đầu ra công suất thay đổi phụ thuộc vào độ lệch từ độ nhót đích sao cho tránh được những sự vượt quá. Fig. 3 thể hiện một phương án thực hiện của logic phần mềm AVC. Fig. 3 là lưu đồ PID thể hiện rằng tốc độ dốc tức thì đầu tiên được tính bằng cách sử dụng vòng kiểm soát PID đối với độ nhót đích so với độ nhót được đo hiện thời. Tiếp theo là, logic PID tính tốc độ dốc để tính điểm đặt máy kiểm soát. Tiếp theo, cần xác định xem liệu điểm đặt được tính trước đó có thay đổi so với điểm đặt sau đó không. Nếu điểm đặt được tính đã thay đổi, thì điểm đặt máy kiểm soát được thay đổi và logic PID được kết thúc và được đặt lại. Nếu điểm đặt được tính không thay đổi, thì logic PID được kết thúc và được đặt lại.

Fig. 4 thể hiện sự truyền thông giữa các thiết lập logic phần mềm, lò nung và phép đo theo các phương án. Phương pháp này được áp dụng cho máy đo độ nhót uốn ba điểm dựa trên ý tưởng về ứng suất không đổi, hình học đã biết và nhiệt độ lò nung thay đổi. Như được thể hiện trên Fig. 4, máy vi tính, như PC được kết nối với cả thiết bị kiểm soát lò nung và thiết bị đầu vào tương tự. Thiết bị kiểm soát lò nung thay đổi các thông số bên trong lò nung, như, ví dụ nhiệt độ dựa vào đầu vào nó tiếp nhận từ PC. Lò nung cũng được kết nối với máy kiểm soát vi sai biến thiên tuyến tính (linear variable differential controller - LVDT) mà thu thập các đầu ra từ lò nung, như đầu ra liên quan đến nhiệt độ, độ nhót, v.v. và truyền số liệu này đến thiết bị đầu vào tương tự. Như đã nêu trước đó, PC tiếp nhận dữ liệu từ thiết bị đầu vào tương tự và tính toán các điểm đặt, như các điểm đặt nhiệt độ, để gửi đến thiết bị kiểm soát lò nung. Sử dụng sự kiểm soát này, độ nhót của vật phẩm thủy tinh có thể được giữ tương đối không đổi (như nằm trong log độ nhót $\pm 1,0$ poa) trong suốt giai đoạn tạo mầm.

Chu kỳ thời gian - nhiệt độ thu được bằng cách xác định độ nhót không đổi đích mà vật phẩm thủy tinh sẽ được giữ tại đó. Trong bước này—và theo các phương án—nhiệt độ tối đa, tốc độ gia nhiệt tối đa, độ nhót đích, hình học mẫu, kích thước mẫu, tỷ trọng mẫu, tổng trọng tải đặt, kích thước khoảng cách của sự thiết lập uốn ba điểm là đầu vào duy nhất trong phần mềm. Sau đó, theo logic phần mềm, như được giải thích với sự tham chiếu đến Fig. 3, AVC tự động xác định lịch trình thời gian - nhiệt độ tới khi độ lệch chùm tia (độ nhót thủy tinh) nằm ngoài khoảng đo. Khoảng đo độ nhót

thường đủ tốt để bắt bước tạo mầm và sự chuyển tiếp (thay đổi khoảng gia nhiệt) từ bước tạo mầm sang bước phát triển tinh thể. Tuy nhiên, phép đo độ nhót không tự bắt một cách chính xác giai đoạn phát triển tinh thể.

Phương án về phương pháp được xác định cho ba độ nhót khác nhau bằng AVC được thể hiện trên Fig. 5. Sau khi đạt đến độ nhót đích (ví dụ, xung quanh 11,00 trên Fig. 5), độ nhót được duy trì bằng AVC tới khi tốc độ phát triển tinh thể được gia tốc (ví dụ, xung quanh 305 phút). Tại giai đoạn phát triển tinh thể, tốc độ gia nhiệt AVC không thể duy trì độ nhót không đổi và độ nhót bắt đầu tăng lên. Khi độ lệch đi xuống dưới sự dao động khoảng đo ở độ nhót được quan sát do độ tin cậy giới hạn của số liệu độ nhót. Do đó, chu kỳ thời gian - nhiệt độ được xác định bởi AVC nên được giới hạn ở thời gian khi độ nhót không thể được duy trì.

Fig. 6 thể hiện ví dụ về chu kỳ thời gian - nhiệt độ được xác định bởi AVC cho 5 độ nhót log đích khác nhau gồm 10,7, 10,8, 10,9, 11,0, và 11,1. Trên Fig. 6, tất cả các chu kỳ đạt được cùng nhiệt độ tối đa vì 800°C được lấy vào là nhiệt độ tối đa trong phần mềm. Cao hơn nhiệt độ này, AVC sẽ không được kỳ vọng là kiểm soát độ nhót và, do đó, không được giám sát hoặc được kiểm soát trong các phương án. Tương tự, sau khi sự chuyển hóa được hoàn thành, tốc độ gia nhiệt là tuyến tính và có cùng giá trị cho mỗi chế phẩm. Điều này tương ứng với giá trị tốc độ gia nhiệt tối đa được cung cấp cho phần mềm để tránh gia nhiệt quá mức khi tốc độ lệch (độ nhót) nằm ngoài khoảng đo. Do đó, số liệu thu được từ AVC bị giới hạn trong khoảng này trong quá trình tạo mầm ban đầu và khoảng chuyển đổi không tuyến tính. Lại nữa, số liệu này không mô tả chính xác quy trình trong suốt giai đoạn phát triển tinh thể. Để đo quy trình trong suốt giai đoạn phát triển tinh thể, tỷ trọng tại chỗ được giám sát.

Tỷ trọng tại chỗ được tính, theo một hoặc nhiều phương án, bằng cách đo trạng thái căng theo một chiều dưới dạng hàm theo thời gian và nhiệt độ và giả định rằng quy trình gồm hóa là đẳng hướng. Do đó, được tin rằng là có sự tương quan tuyến tính giữa thể tích và sức căng theo một chiều. Các phép đo bằng máy đo giãn nở không tiếp xúc được thực hiện dựa trên việc sử dụng máy đo giãn nở quang học được mua từ TA Instruments mẫu DIL806. Fig. 7 thể hiện sơ đồ thiết bị đo, mà bao gồm nguồn sáng phát ánh sáng vào trong lò nung đĩa và đến mẫu thủy tinh. Sau khi ánh sáng phát ra tiếp xúc với mẫu thủy tinh, nó được truyền đến thiết bị dò mà có thể xác định các thay đổi ánh

sáng được tiếp nhận trong đó, mà về cơ bản có thể được sử dụng để đo tỷ trọng của mẫu. Về cơ bản, phương pháp này bao gồm phép đo bóng của mẫu trên cả hai đầu trong khi mẫu đang được xử lý nhiệt trong lò. Nguồn sáng là trên mặt đối diện của lò từ thiết bị dò, và sự di chuyển của bóng có tương quan với sự thay đổi tỷ trọng trong suốt quá trình phát triển tinh thể. Không giống như phép đo giãn nở thông thường, mẫu đang đứng ở trạng thái tự do trên giá đỡ mẫu và không có ngoại lực nào được áp dụng. Các quy trình gồm hóa theo các phương án thường xảy ra ở khoảng độ nhót là log độ nhót 9 – 12 poa nơi mà dòng chảy nhót do lực hấp dẫn là không đáng kể trong các thang thời gian của quy trình.

Theo các phương án, AVC xác định sự tạo mầm và các chu kỳ thời gian - nhiệt độ chuyển hóa được cung cấp cho phần mềm của máy đo giãn nở quang học. Sau đó, các nhiệt độ phát triển tinh thể cuối cùng được thay đổi và đầu vào bước đẳng nhiệt được cung cấp lâu hơn khoảng thời gian phát triển tinh thể được kỳ vọng bất kỳ để đảm bảo quy trình phát triển tinh thể đã hoàn thành. Khi sự tăng tỷ trọng đạt đến điểm bão hòa, được coi là không có sự thay đổi đáng kể ở kích thước tinh thể và, do đó, độ nhót và tỷ trọng là không đổi dưới dạng hàm số theo thời gian. Bước này giúp xác định sự hình thành tinh thể không mong muốn bất kỳ hoặc sự giảm không mong đợi bất kỳ ở độ nhót tại nhiệt độ cao hơn nhiệt độ phát triển cần thiết. Sự lắp ráp và pha cuối của gốm thủy tinh có thể được xác định và được so sánh với số liệu được thu thập từ các phép đo tỷ trọng để xác định xem quy trình ảnh hưởng như thế nào đến sự lắp ráp và pha của gốm thủy tinh.

Như được sử dụng ở đây, tỷ trọng được coi là không đổi khi giá trị tuyệt đối của tốc độ thay đổi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh là nhỏ hơn hoặc bằng $0,10 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, như nhỏ hơn hoặc bằng $0,09 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, nhỏ hơn hoặc bằng $0,08 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, nhỏ hơn hoặc bằng $0,07 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, nhỏ hơn hoặc bằng $0,06 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, nhỏ hơn hoặc bằng $0,05 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, nhỏ hơn hoặc bằng $0,04 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, nhỏ hơn hoặc bằng $0,03 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, nhỏ hơn hoặc bằng $0,02 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, nhỏ hơn hoặc bằng $0,01 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$, hoặc $0,00 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$. Các khoảng này bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng con được bao gồm trong các khoảng được bọc lộ rộng rãi.

Fig. 8 thể hiện sự tiến hóa tỷ trọng tại sáu nhiệt độ phát triển khác nhau theo một phương án. Khi tỷ trọng đạt đến mức ổn định, quy trình này được coi là hoàn thành hoặc

gần hoàn thành, và với sự trợ giúp của các phương pháp phân tích đặc tính khác như nhiễu xạ tia X (XRD), có thể khẳng định và sử dụng như khoảng thời gian bước cuối của quy trình gốm hóa. Ở nhiệt độ cao, (tức là, 780°C và 800°C), có sự thay đổi không đơn điệu ở tỷ trọng, có khả năng do sự tạo thành các pha không mong muốn hoặc sự tách pha không mong muốn.

Theo các phương án, mong muốn cải biến chu kỳ gốm thủy tinh gốm hóa để đạt được sự cong vênh tối thiểu. Phép đo tỷ trọng tại chỗ của gốm thủy tinh trong suốt quá trình gốm hóa trong các lịch trình gốm hóa khác nhau được thể hiện trên Fig. 9. Trên Fig. 9, tỷ trọng tính bằng gam trên xentimet khối (như được đo trên trục y) được lập đồ thị theo thời gian tính bằng phút (như được đo trên trục x) được thể hiện. Hình này chỉ ra rằng vật phẩm thủy tinh không chỉ trải qua sự giãn nở và sự co do nhiệt phụ thuộc nhiệt độ, mà còn trải qua sự co không do nhiệt phụ thuộc thời gian, động lực trong suốt các giai đoạn tạo mầm, tạo dốc và phát triển. Như được thể hiện trên Fig. 9, trong quá trình tạo mầm được giữ tại nhiệt độ không đổi (tức là, từ khoảng 100 phút đến khoảng 350 phút), phần đang co do thay đổi vật liệu, được chỉ ra bởi tỷ trọng đang tăng. Trong quá trình tạo dốc từ sự tạo mầm đến sự phát triển, tỷ trọng được quan sát là sự giảm thứ nhất và sau đó tăng nhanh chóng, việc tăng nhanh này đáp ứng với sự kết tinh nhanh được gây ra bởi sự co ngót vật liệu.

Fig. 10 thể hiện phép đo độ nhót tại chỗ của các gốm thủy tinh trong quy trình gốm hóa đối với các chu kỳ gốm hóa khác nhau theo các phương án được mô tả trên Fig. 9. Trên Fig. 10, trục y thể hiện log độ nhót ($\log 10$) poa và trục x thể hiện thời gian thử nghiệm tính bằng phút. Độ nhót có các hành vi không nhiệt phụ thuộc thời gian và phụ thuộc nhiệt độ tương tự nhau trong giai đoạn tạo mầm. Trong quá trình tạo mầm được giữ tại nhiệt độ không đổi, độ nhót tăng dần với tốc độ phụ thuộc vào nhiệt độ tạo mầm. Trong quá trình tạo dốc, độ nhót đầu tiên giảm và sau đó tăng, tạo thành sự lún xuống và sự tối thiểu cục bộ. Số liệu phép đo độ nhót uốn chùm tia (Beam bending viscosity - BBV) đối với thủy tinh tiền chất và được gốm hóa được sử dụng, cùng với số liệu phép đo độ nhót tại chỗ, để tạo ra mô hình gốm hóa độ nhót thống nhất, như được thể hiện trên Fig. 11. Thành phần của thủy tinh được thể hiện trên Fig. 10 được trình bày trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1

Thành phần	% khối lượng
SiO ₂	73,89
Al ₂ O ₃	7,60
P ₂ O ₅	2,11
Li ₂ O	11,50
Na ₂ O	0,05
K ₂ O	0,15
ZrO ₂	4,24
SnO ₂	0,40
Fe ₂ O ₃	0,06

Sự mô phỏng số nhót đàn sau đó được thực hiện theo các phương án để hiểu về các ảnh hưởng của những thay đổi độ nhót này đối với sự cong vênh. Việc lập mô hình số đã khám phá ra rằng độ nhót tối thiểu cục bộ, được kết hợp với các gradien nhiệt độ trong mặt phẳng được sinh ra trong quá trình tạo dốc, có thể kích hoạt sự vênh nhót và gây cong vênh. Các Fig. 12A-12C thể hiện sự cong vênh đối với ba chu kỳ giả thiết (A, B, C). Chu kỳ A là trường hợp nền, Chu kỳ B có tốc độ tăng độ nhót nhanh hơn trong quá trình tạo mầm và có độ nhót tối thiểu cao hơn trong quá trình tạo dốc, và chu kỳ C có tốc độ tăng độ nhót chậm hơn trong quá trình tạo mầm và có độ nhót tối thiểu thấp hơn trong quá trình tạo dốc. Các giá trị cong vênh đối với các trường hợp này là: $C > A > B$, (được thể hiện trên Fig. 12C, Fig. 12A, và Fig. 12B, tương ứng). Độ nhót tối thiểu thấp hơn sẽ tạo ra sự cong vênh nhót lớn hơn. Nói cách khác, độ nhót tối thiểu tăng có lợi đối với việc giảm sự cong vênh.

Theo các phương án, độ nhót tối thiểu có thể được duy trì tại mức lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa cho phần dốc và giữ bất kỳ và/hoặc tất cả các phần dốc và giữ của chu kỳ nhiệt. Ví dụ, độ nhót có thể được giữ ở mức lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa trong độ dốc từ dốc nhiệt thứ nhất, dốc nhiệt thứ hai, hoặc toàn bộ chu kỳ xử lý nhiệt. Theo các phương án, độ nhót tối thiểu có thể được duy trì tại mức lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa cho phần dốc và giữ bất kỳ và/hoặc tất cả các phần dốc và giữ của chu kỳ nhiệt. Theo các phương án, trong ít nhất giai đoạn tạo mầm, độ nhót của vật phẩm thủy tinh có thể được giữ tại nhỏ hơn log độ nhót 11,0 poa, mà có thể được mong muốn khi tạo hình 3D vật phẩm thủy tinh trong quá trình xử lý nhiệt.

Các Fig. 13A-13C thể hiện sự cong vênh đối với ba chu kỳ gồm hóa tương ứng với nhiệt độ tạo mầm và nhiệt độ phát triển $\pm 10^\circ\text{C}$. Chu kỳ A được thực hiện tại nhiệt độ tạo mầm là 560°C trong 4 giờ, nhiệt độ phát triển là 730°C trong 1 giờ (được thể hiện trên Fig. 13A), chu kỳ D được thực hiện tại nhiệt độ tạo mầm là 570°C trong 4 giờ, nhiệt độ phát triển là 740°C trong 1 giờ (được thể hiện trên Fig. 13B), chu kỳ E được thực hiện tại nhiệt độ tạo mầm là 580°C trong 4 giờ, nhiệt độ phát triển là 750°C trong 1 giờ (được thể hiện trên Fig. 13C). Các giá trị cong vênh đối với các trường hợp này là: $E < D < A$. Một lần nữa có cùng xu hướng thể hiện rằng độ nhót tối thiểu tăng sẽ làm giảm độ cong vênh. Trong chu kỳ E, trong đó độ nhót tối thiểu trong quá trình tạo dốc được giữ cao hơn log độ nhót 11,0 poa, sự cong vênh thu được là rất nhỏ, như $< 1\ \mu\text{m}$.

Khi mục đích là để gồm hóa miếng thủy tinh phẳng với sự cong vênh tối thiểu, chu kỳ E sẽ được ưu tiên, theo một số phương án, so với các chu kỳ khác do giá trị thấp của độ nhót tối thiểu trong quá trình dốc phát triển. Lưu ý rằng độ nhót thấp hơn đối với chu kỳ E trong pha tạo mầm ít có khả năng gây vênh vì ΔT thấp hơn trong các khoảng thời gian nhiệt độ được giữ (so với các khoảng thời gian dốc nhiệt độ).

Thông thường hơn là, các chu kỳ mà tạo ra “độ nhót tối thiểu” cao hơn trong giai đoạn “dốc-đến-sự phát triển”—trong đó thu được ΔT cao nhất—có thể được ưu tiên, theo một số phương án, để giảm thiểu sự cong liên quan đến sự vênh. Điều này có thể được dùng để chỉ là “độ nhót tối thiểu” trong giai đoạn dốc, và việc lập mô hình có thể được sử dụng để dự đoán sự ảnh hưởng của giá trị tối thiểu đó so với sự cong vênh cuối cùng làm công cụ sàng lọc.

Ngoài việc làm tăng độ nhót tối thiểu cục bộ để làm giảm sự cong vênh, cũng có khả năng đặt lực cưỡng bức khối lượng nào đó để làm tăng ngưỡng vênh. Trong cấu hình chông, có khối lượng trên phía trên cùng của chông đủ để ngăn làm vênh miếng thủy tinh cao nhất sẽ đảm bảo rằng các lớp bên dưới cũng không vênh. Việc đặt lực cưỡng bức khối lượng lên trên cùng của chông cũng có thể làm giảm độ nhót chấp nhận được tối thiểu để ngăn chặn việc làm vênh vật phẩm thủy tinh.

Vì phần được đặt nằm ngang trên vật liệu cơ cấu định vị, trọng lượng cũng có thể gây ra sự cong vênh, ngoài sự cong vênh do vênh nhót, nếu cơ cấu định vị không phẳng. Phép phân tích sự võng nhót được thể hiện trên Fig. 14. Trong khu vực đường kính 30

mm, tại log độ nhót 11,0 poa và 0,5 giờ, sự võng nhót sẽ đạt đến khoảng 100 μm . Fig. 14 gợi ý rằng vùng lớn hơn (đường kính >30 mm) / độ nhót thấp hơn (log độ nhót < 11 poa) / thời gian lâu hơn ($> 0,5$ giờ) sẽ sinh ra sự võng nhót > 100 μm . Nếu cơ cấu định vị có độ phẳng tốt hơn 100 μm , thủy tinh sẽ võng và phù hợp với cơ cấu định vị tại các điều kiện đó. Nếu cơ cấu định vị có độ phẳng lớn hơn 100 μm , độ võng nhót cũng sẽ lớn hơn 100 μm . Do đó, cơ cấu định vị cần phẳng (ví dụ, nhỏ hơn hoặc bằng 100 micron) đối với sự cong vênh do trọng lực tối thiểu gây ra.

Khi mục đích là để tạo cho thủy tinh thành các dạng 3D, thì các chu kỳ với độ nhót thấp hơn sẽ được ưu tiên, theo một số phương án, và ứng dụng áp suất tạo hình sẽ trùng khớp với các giai đoạn độ nhót thấp trong chu kỳ. Việc tạo hình 3D có thể được tiến hành trước khi tạo mầm, trong quá trình tạo mầm, trong quá trình dốc từ sự tạo mầm-đến-sự phát triển, và trong một số trường hợp thậm chí trong giai đoạn giữ sự phát triển. Việc lựa chọn đúng có thể phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau, như hình học 3D cần được tạo thành, các độ nhót trong mỗi giai đoạn (mà phụ thuộc vào nhiệt độ, thời gian và các tốc độ dốc), và sự cong vênh. Ví dụ, khi việc gồm hóa thủy tinh được tạo hình 3D có thể dẫn đến sự cong vênh đáng kể, việc tạo hình thủy tinh được tạo mầm trước có thể là cách để làm giảm sự cong vênh sau gồm hóa cuối cùng của vật phẩm 3D.

Khi việc tạo hình 3D cần được thực hiện trong quá trình giữ tạo mầm, chu kỳ E (được mô tả trên đây với sự tham chiếu đến Fig. 13) có thể được ưu tiên, theo một số phương án, được ưu tiên hơn chu kỳ A và D vì nó có độ nhót thấp hơn so với các chu kỳ khác trong khoảng 100 phút bắt đầu tại thời điểm bắt đầu quy trình giữ sự tạo mầm. Các kết quả của Fig. 14 chỉ ra rằng đối với đường cong E, độ nhót đủ thấp để gây ra một số milimet võng dưới điều kiện trọng lực trong 60 phút. Do đó, nhiều hình dạng 3D có thể được tạo thành trong các điều kiện này với sự hỗ trợ của áp suất tạo hình bổ sung trong giai đoạn giữ sự tạo mầm. Trong trường hợp tạo hình một khuôn đúc, áp suất này có thể ở dạng chân không một phần hoặc hoàn toàn trên một mặt của khuôn đúc hoặc áp suất khí dương (thường là N_2 hoặc không khí) trên mặt còn lại của khuôn đúc tạo hình. Trong trường hợp ép hai (hoặc nhiều khuôn đúc), áp suất được đặt từ cả hai mặt.

Theo cách khác, trong các phương án, việc tạo hình 3D có thể được thực hiện hoàn toàn trong giai đoạn dốc từ sự tạo mầm đến sự phát triển. Trong trường hợp này, chu kỳ A sẽ được ưu tiên, theo một số phương án, so với các chu kỳ D và E. Trong

trường hợp đó, nguy cơ vênh vẫn được quản lý do lực hãm áp suất tiếp xúc/tạo hình khuôn đúc.

Các chu kỳ mới cũng được nghĩ đến để tạo hình trong quá trình tạo mầm. Ví dụ là, nhiệt độ tạo mầm có thể được tăng thêm, như đến 590°C, 600°C, hoặc thậm chí 610°C trong phần thứ nhất của chu kỳ, được giữ chỉ trong thời gian đủ cho sự tạo hình 3D được hoàn thành, sau đó được hạ xuống trong thời gian còn lại của chu kỳ (với khoảng thời gian giữ sự tạo mầm được rút ngắn, nếu cần) sao cho hàm lượng tinh thể cuối cùng tại cuối của chu kỳ vẫn còn bằng với của chu kỳ nền A. Các nhiệt độ cao hơn sẽ tạo ra độ nhót thấp hơn ngay từ ban đầu và cho phép tạo thành các hình dạng nhiều thử thách hơn trong lượng thời gian ngắn hơn. Có cùng hàm lượng tinh thể như trường hợp nền có nghĩa là, ngoài sự phân bố mong muốn của các pha, mà độ nhót thấp của đường cong A trong quá trình dốc đến sự phát triển có thể được lập lại tạo ra cơ hội khác để hoàn thành việc tạo hình 3D.

Việc tạo hình 3D và gồm hóa có thể được thực hiện trong cùng chu kỳ hoặc trong nhiều chu kỳ. Ví dụ, theo một phương án, thủy tinh tiền chất có thể được tạo thành hình dạng 3D và sau đó chu kỳ riêng rẽ có thể được sử dụng để gồm hóa vật phẩm 3D. Theo phương án khác, thủy tinh tạo trước có thể "được tạo mầm trước" một phần hoặc hoàn toàn trong chu kỳ thứ nhất, sau đó được tạo hình 3D trong chu kỳ thứ hai, và sau đó việc gồm hóa có thể được hoàn thành trong chu kỳ thứ hai hoặc trong chu kỳ riêng biệt, thứ ba. Vì việc tạo hình 3D chỉ có thể thực hiện một vật phẩm thủy tinh một lần, việc tạo mầm trước thủy tinh tạo trước—so với sự tạo mầm và tạo hình 3D trong cùng một chu kỳ—có thể làm tăng thông lượng bằng cách cho phép các cấu hình được xếp chồng trong quá trình tạo mầm.

Dốc nhiệt độ đến sự phát triển là lựa chọn tự nhiên cho sự tạo hình 3D khi thủy tinh tạo trước được tạo mầm trước hoàn toàn. Như đã nêu trước đó, chu kỳ A có thể được ưu tiên, theo một số phương án, so với chu kỳ D hoặc E trong trường hợp này, vì độ nhót thấp hơn trong quá trình dốc đến sự phát triển. Khi thủy tinh chỉ được tạo mầm trước một phần, việc tạo hình 3D có thể được thực hiện trong quá trình tạo mầm, trong quá trình dốc đến sự phát triển, hoặc một phần trong quá trình tạo mầm và một phần trong quá trình dốc đến sự phát triển.

Để ngăn chặn sự cong vênh của vật phẩm 3D trong chu kỳ gồm hóa, việc gồm hóa có thể được thực hiện trên khuôn đúc (một mảnh, hai mảnh hoặc ba mảnh), các gradien nhiệt độ nên được giữ thấp hơn (ví dụ, bằng cách sử dụng các khuôn đúc của vật liệu có độ dẫn nhiệt cao như graphit hoặc SiC) và tải trọng nên được áp dụng để buộc vật phẩm 3D vẫn phù hợp với khuôn đúc trong quá trình gồm hóa.

Như được bộc lộ trên đây, việc kiểm soát chính xác nhiệt độ của vật phẩm thủy tinh được yêu cầu để đạt được vật phẩm gồm thủy tinh được mong muốn. Do đó, độ đồng đều nhiệt bên trong thiết bị gia nhiệt, ví dụ, như lò ủ kính hoặc lò nung, và bên trong chõng thủy tinh là thuộc tính quan trọng của quy trình, theo các phương án. Ví dụ, theo các phương án, nhiệt độ truyền đến chõng thay đổi nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 8^{\circ}\text{C}$, như nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 7^{\circ}\text{C}$, nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 6^{\circ}\text{C}$, nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 5^{\circ}\text{C}$, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 4^{\circ}\text{C}$, trong đó nhiệt độ được đo trên chính các tấm thủy tinh.

Để đạt được độ đồng nhất nhiệt độ được mô tả trên đây, việc lập bản đồ nhiệt độ được thực hiện trên buồng bên trong của thiết bị gia nhiệt trống trước khi chèn các vật cố định (như vật mang, cơ cấu định vị, và chõng thủy tinh) vào trong thiết bị gia nhiệt. Việc lập bản đồ nhiệt của buồng thiết bị gia nhiệt trống được thực hiện để xác định không gian gia nhiệt hữu dụng bên trong buồng thiết bị gia nhiệt bằng cách xác định khoảng không mà có thể duy trì độ đồng đều nhiệt nằm trong dung sai mong muốn. Ví dụ, các phần của buồng thiết bị gia nhiệt mà không thể duy trì độ đồng đều nhiệt nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 8^{\circ}\text{C}$ từ nhiệt độ chu kỳ đã lập trình sẵn sẽ được loại trừ khỏi không gian gia nhiệt mà các chõng thủy tinh có thể được đặt trong đó. Sau đó, lập bản đồ buồng thiết bị gia nhiệt trống để xác định không gian gia nhiệt hữu dụng, vật cố định được đặt vào trong không gian gia nhiệt được xác định bây giờ và độ đồng đều nhiệt với các chõng thủy tinh được đo để xác định xem liệu các tấm thủy tinh bên trong các chõng thủy tinh đã cho có thể được duy trì bên trong dung sai nhiệt độ mong muốn của nhiệt độ chu kỳ được lập trình sẵn. Ngay khi độ đồng đều nhiệt được xác định, các chõng thủy tinh có thể được tạo cấu hình và được đặt vào trong không gian gia nhiệt theo cách để tận dụng các phép đo độ đồng đều nhiệt thu được.

Các phương pháp để xác định độ đồng đều nhiệt bên trong buồng bên trong của thiết bị gia nhiệt sẽ được mô tả với sự tham chiếu đến Fig. 15A và Fig. 15B. Việc đặt các thiết bị đo (ví dụ như cặp nhiệt điện) bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt, theo các

phương án, nên tính đến thiết kế thiết bị gia nhiệt, ví dụ như các vách, cửa ra vào, các phần tử gia nhiệt, các lỗ thông v.v. của buồng của thiết bị gia nhiệt. Các thiết bị đo nên được đặt tại các vị trí và cách xa các phần tử thiết kế sao cho sự không đồng đều nhiệt bất kỳ được cải thiện trong quá trình lập bản đồ nhiệt. Ngoài ra, các thiết bị đo nên được đặt trong buồng của thiết bị gia nhiệt theo cách mà độ đồng đều nhiệt của toàn bộ không gian gia nhiệt có thể được xác định. Ví dụ, thiết bị đo nên được đặt bên trong buồng thiết bị gia nhiệt, các phép đo này được thực hiện tại nhiều vị trí bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt để giảm thiểu “các điểm chết” hoặc các vị trí bất kỳ mà không có các phép đo.

Fig. 15A và Fig. 15B thể hiện sự đặt lần lượt theo hướng nằm ngang và thẳng đứng, của các thiết bị đo bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt. Ban đầu, không gian gia nhiệt được kỳ vọng 310 (được chỉ ra bởi khoảng không bên trong các đường nét đứt trên Fig. 15A và Fig. 15B) được lấy gần đúng có tính đến các phần tử thiết kế của buồng của thiết bị gia nhiệt. Như được thể hiện trên Fig. 15A và Fig. 15B, không gian gia nhiệt được kỳ vọng 310 được chọn lựa sao cho có khoảng không giữa vách trên cùng, vách đáy và các vách bên của buồng của thiết bị gia nhiệt. Fig. 15A thể hiện sự đặt theo hướng nằm ngang (*tức là*, hình chiếu từ trên xuống hoặc từ dưới lên của buồng của thiết bị gia nhiệt) của các thiết bị đo theo các phương án. Như được thể hiện trên Fig. 15A, có mười lăm thiết bị đo (các phần tử 1-15) được đặt theo cấu hình được đặt cách trong mỗi tiết diện nằm ngang của buồng của thiết bị gia nhiệt. Sự đặt theo hướng nằm ngang của các thiết bị đo 1-15 trong buồng của thiết bị gia nhiệt theo phương án được mô tả trên Fig. 15A sẽ được kỳ vọng là để cung cấp bản đồ nhiệt thích hợp của khoảng không nằm ngang của buồng của thiết bị gia nhiệt. Tuy nhiên, cần hiểu rằng các cấu hình nằm ngang khác của các thiết bị đo có thể được sử dụng trong các phương án thay thế.

Tương tự, Fig. 15B thể hiện việc đặt theo phương thẳng đứng (*tức là*, hình chiếu cạnh) của các thiết bị đo trong buồng của thiết bị gia nhiệt. Ba hàng của các thiết bị đo—trên cùng, giữa, và dưới cùng lần lượt được thể hiện bằng “T”, “M”, và “B” trên Fig. 15B—được đặt vào trong buồng của thiết bị gia nhiệt trong cấu hình được đặt cách. Sự đặt theo phương thẳng đứng của các thiết bị đo trong các hàng trên cùng, ở giữa và dưới cùng bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt theo phương án này được minh họa trên Fig. 15B sẽ được kỳ vọng là để cung cấp bản đồ nhiệt thích hợp của không gian thẳng đứng

của buồng của thiết bị gia nhiệt. Tuy nhiên, cần hiểu rằng các cấu hình nằm ngang khác của các thiết bị đo có thể được sử dụng trong các phương án thay thế. Khi được quan sát cùng nhau, Fig. 15A và Fig. 15B thể hiện 45 thiết bị đo (ba hàng—trên cùng, giữa, và dưới cùng—gồm mười lăm thiết bị đo) trong cấu hình được đặt cách mà được kỳ vọng là để lập bản đồ thích hợp các tính chất nhiệt của không gian gia nhiệt được kỳ vọng 310. Tuy nhiên, cần hiểu rằng các cấu hình khác của các thiết bị đo có thể được sử dụng trong các phương án thay thế.

Theo các phương án, các thiết bị đo được bố trí tại tối thiểu của mỗi góc, tất cả các đường tâm, và toàn bộ trung tâm của các điểm thể tích bên trong không gian gia nhiệt được kỳ vọng. Nếu các phần tử thiết kế không đồng đều về nhiệt có mặt, các thiết bị đo bổ sung có thể được đặt gần các phần tử này để lập bản đồ tác dụng của các phần tử này đối với tính đồng đều nhiệt và để xác định không gian gia nhiệt có thể đến các phần tử thiết kế không đồng đều về mặt nhiệt này gần như thế nào. Sự đặt theo phương thẳng đứng của các thiết bị đo nên tính đến và theo các phương án, sẽ quy định chiều cao của các chông thủy tinh và/hoặc các vật cố định mà có thể được đặt bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt. Nếu bề mặt trên cùng hoặc dưới cùng của buồng của thiết bị gia nhiệt được gia nhiệt hoặc không được gia nhiệt, các thiết bị đo liền kề nên tính đến các vị trí phần tử nóng hơn và bề mặt không phẳng khác bất kỳ mà có thể làm rối loạn hoặc làm gián đoạn sự đáp ứng nhiệt của các thiết bị đo. Việc đặt cách theo phương thẳng đứng của buồng trống của thiết bị gia nhiệt, theo một hoặc nhiều phương án, là cứ mỗi 25 mm từ đáy 320 của buồng của thiết bị gia nhiệt đến khoảng cách nằm giữa 50 và 100 mm từ trên cùng 330 của buồng của thiết bị gia nhiệt.

Ngay khi các thiết bị đo này được đặt vào trong buồng trống của thiết bị gia nhiệt, chu kỳ gia nhiệt được thực hiện. Theo các phương án, chu kỳ gia nhiệt có thể bao gồm cùng các điều kiện gia nhiệt như chu kỳ để gồm hóa vật phẩm thủy tinh. Trong chu kỳ gia nhiệt này, các thiết bị đo đo một cách định kỳ hoặc thống nhất nhiệt độ tại các vị trí tương ứng của chúng bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt. Các nhiệt độ này mà được đo bằng các thiết bị gia nhiệt sau đó có thể được phân tích và được so sánh để xác định xem liệu một hoặc nhiều vị trí bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt có không nằm trong dung sai mong muốn hay không, ví dụ như $\pm 8^{\circ}\text{C}$, của nhiệt độ chu kỳ được lập trình sẵn. Nếu một hoặc nhiều vị trí của buồng của thiết bị gia nhiệt không nằm trong dung

sai mong muốn, thì các vị trí của buồng của thiết bị gia nhiệt sẽ được loại trừ khỏi không gian gia nhiệt vốn có thể được sử dụng trong chu kỳ gồm hóa. Theo các phương án, nếu một hoặc nhiều vị trí của buồng của thiết bị gia nhiệt không nằm trong dung sai mong muốn, việc lập bản đồ nhiệt bổ sung có thể được thực hiện bằng cách di chuyển các thiết bị đo để loại trừ các vị trí bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt mà không nằm trong dung sai mong muốn này và chạy một hoặc nhiều chu kỳ gia nhiệt bổ sung. Quy trình này có thể được lặp lại số lần bất kỳ để xác định không gian gia nhiệt nằm trong buồng của thiết bị gia nhiệt mà có thể được giữ nằm trong các dung sai mong muốn.

Ngay khi các thiết bị đo ở trong các vị trí sao cho tất cả các vị trí được đo của buồng của thiết bị gia nhiệt nằm trong dung sai mong muốn, thì khoảng không bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt được xác định bởi các thiết bị đo sẽ được coi là không gian gia nhiệt. Theo các phương án, khi không gian gia nhiệt đã được xác định, các chồng thủy tinh và các vật cố định (ví dụ như các vật mang) có thể được thiết kế và/hoặc được tạo cấu hình sao cho chúng trùng khít trong không gian gia nhiệt. Các chồng thủy tinh và các vật cố định sau đó được tải vào trong không gian gia nhiệt bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt, và các thiết bị đo trong tâm của không gian gia nhiệt được loại bỏ để chứa các vật cố định. Chu kỳ gia nhiệt nghĩa là, theo các phương án, giống như chu kỳ gia nhiệt được sử dụng để xác định không gian gia nhiệt được thực hiện để xác định tác dụng mà các vật cố định có trên sự đồng đều về nhiệt bên trong không gian gia nhiệt. Sau đó, các điều chỉnh có thể được tạo ra cho biên dạng nhiệt được lập trình sẵn để chứa tác dụng của các phần cố định và các chồng thủy tinh.

Theo các phương án thực hiện, sau khi không gian gia nhiệt bên trong buồng của thiết bị gia nhiệt và tác dụng của các chồng thủy tinh và các vật cố định trên sự đáp ứng nhiệt đã được xác định, thì sự đồng đều về nhiệt bên trong các chồng thủy tinh có thể được phát hiện bằng cách đặt các thiết bị đo vào trong các chồng thủy tinh, và loại bỏ các thiết bị đo bất kỳ được sử dụng để trong các bước xác định trước đó không gian gia nhiệt và tác dụng của các chồng thủy tinh và các vật cố định trên sự đáp ứng nhiệt.

Việc đặt thiết bị đo bên trong chồng thủy tinh là quan trọng để tạo ra số liệu tin cậy và lặp lại được, theo các phương án. Khả năng dẫn nhiệt của thủy tinh nên được xem xét cho từng lớp, do đó chỉ có một tấm thủy tinh giữa cơ cấu định vị và thiết bị đo sẽ tạo ra sự phân tích đặc điểm nhiệt đủ của các tấm thủy tinh và sẽ thu được tác dụng

nhiệt của cơ cấu định vị trên chồng. Do đó, số lượng các thiết bị đo được bao gồm trong chồng thủy tinh sẽ thay đổi theo các phương án theo các kích thước vật lý của chồng thủy tinh và chi tiết mong muốn của việc lập bản đồ nhiệt. Ví dụ, theo một hoặc nhiều phương án, chín thiết bị đo có thể được đặt trong chồng trong đó ba thiết bị đo được đặt dọc theo đường trung tâm của tấm thủy tinh là bên dưới cơ cấu định vị trên cùng; ba thiết bị đo được đặt dọc theo đường trung tâm của tấm thủy tinh mà ở trong tâm hình học của chồng thủy tinh; và ba thiết bị đo được đặt dọc theo đường trung tâm của tấm thủy tinh mà là một tấm ở bên trên cơ cấu định vị đáy. Đường trung tâm, như được sử dụng trong ví dụ này, là đường được vẽ dọc theo chiều dọc ngang qua tấm thủy tinh về cơ bản song song với hai gờ của tấm thủy tinh và về cơ bản vuông góc với hai gờ của tấm thủy tinh và giao cắt với tâm hình học của tấm thủy tinh. Cần hiểu rằng “về cơ bản song song” và “về cơ bản vuông góc với” như được sử dụng ở đây có nghĩa là đường trung tâm là song song hoặc vuông góc, theo cách tương ứng, với các gờ này, có xem xét tới các bất thường của các gờ do việc sản xuất. Theo phương án thực hiện được bộc lộ ở trên trong đó ba thiết bị đo được đặt dọc theo đường trung tâm của tấm thủy tinh, thiết bị đo (ví dụ như, cặp nhiệt điện) được đặt trên đường trung tâm gần cạnh trái của tấm thủy tinh, thiết bị đo được đặt tại tâm hình học của tấm thủy tinh, và thiết bị đo được đặt dọc theo đường trung tâm của tấm thủy tinh gần cạnh phải của tấm thủy tinh. Cấu hình này được tuân theo cho tất cả ba tấm thủy tinh được xem xét. Lớp ở giữa của chồng thường tạo ra tham khảo trung vị của toàn bộ chồng. Cần hiểu rằng cấu hình được bộc lộ ở trên của các thiết bị đo chỉ là ví dụ và các cấu hình khác có thể được sử dụng theo các phương án phụ thuộc vào tính đặc trưng được mong muốn của việc lập bản đồ nhiệt. Ví dụ, theo các phương án trong đó sự đồng đều về nhiệt được điều khiển một cách chặt chẽ, nhiều thiết bị đo sẽ được đặt trên từng tấm thủy tinh để thu được việc lập bản đồ nhiệt chi tiết hơn. Số lượng bất kỳ thiết bị đo có thể được sử dụng trong chồng thủy tinh miễn là số lượng thiết bị đo về cơ bản không ảnh hưởng với biên dạng nhiệt của các tấm thủy tinh. Sau đó, tất cả các lớp của các phép đo có thể được đo để hiểu biên dạng nhiệt của thủy tinh đáp ứng với biên dạng nhiệt như được lập trình, như được thảo luận chi tiết hơn dưới đây.

Fig. 16 thể hiện độ chênh lệch nhiệt độ thủy tinh của chồng (ΔT) giữa đỉnh (tức là, tấm thủy tinh bên dưới cơ cấu định vị trên cùng), ở giữa (tức là, tấm thủy tinh tại tâm hình học của chồng thủy tinh), và đáy (tức là, tấm thủy tinh bên trên cơ cấu định vị dưới

cùng) của chồng thủy tinh như được đo bởi thiết bị đo được định vị tại hoặc gần tâm hình học của tấm thủy tinh tương ứng. Đồ thị này có thể được sử dụng để hiểu độ lớn và vị trí của các độ lệch nhiệt độ. Fig. 16 thể hiện nhiệt độ của chồng thủy tinh có 18 tấm thủy tinh và ba cơ cấu định vị được phân tán bên trong chồng sao cho có sáu tấm thủy tinh giữa hai cơ cấu định vị tương ứng. Như được thể hiện trên Fig. 16, tấm thủy tinh đặt gần phần đáy của chồng thủy tinh có nhiệt độ thấp hơn cả tấm thủy tinh được đặt gần phần giữa của chồng thủy tinh và tấm thủy tinh được đặt gần phần trên cùng của chồng thủy tinh. Việc xác định này trở nên hoàn chỉnh do khả năng thay đổi các thuộc tính được mong đợi về mặt đo lường học sau quá trình gồm hóa, như màu sắc, độ mờ đục, ứng suất, việc tập hợp pha, v.v. có thể bị tác động bởi thời gian và nhiệt độ mà tại đó vật phẩm thủy tinh được gồm hóa. Do đó, việc hiểu và kiểm soát độ chênh lệch nhiệt độ giữa các tấm thủy tinh trong chồng thủy tinh có tác động lên các tính chất cuối cùng của vật phẩm gồm thủy tinh.

Khác biệt nhiệt độ so với biên dạng nhiệt được mong đợi, theo các phương án thực hiện, được đo và được phân tích trong cả hai mặt phẳng thẳng đứng và nằm ngang. ΔT thẳng đứng thường bị tác động bởi việc chọn vật liệu cơ cấu định vị, chiều cao chồng thủy tinh, và các tốc độ gia nhiệt và tốc độ làm nguội của thiết bị xử lý. ΔT nằm ngang thường bị tác động bởi tính không đồng đều của thiết bị xử lý, việc đặt của chồng thủy tinh nằm trong không gian gia nhiệt, và thiết kế gia nhiệt (cách nhiệt được hướng tới chồng thủy tinh). Việc kiểm soát ΔT bên trong chồng là quan trọng để thu được sự không đồng đều của các tấm thủy tinh tại thông lượng cao, theo các phương án. Cần hiểu rằng các dung sai cho ΔT sẽ thay đổi phụ thuộc vào chế phẩm thủy tinh cũng như các thuộc tính mong muốn của vật phẩm gồm thủy tinh cuối cùng.

Theo các phương án trong đó vật phẩm thủy tinh có chế phẩm thủy tinh như được bộc lộ và được mô tả ở đây ΔT bên trong chồng thủy tinh có thể được duy trì nằm trong $\pm 5^\circ\text{C}$ của biên dạng nhiệt độ được lập trình trong suốt các giai đoạn giữ đẳng nhiệt (còn được gọi là “ngâm”) của quy trình gồm hóa (*tức là*, các giai đoạn tương ứng với giai đoạn tạo mầm và giai đoạn phát triển). Khi ΔT nằm ngoài dung sai này trong quá trình giữ đẳng nhiệt trong suốt các giai đoạn tạo mầm và giai đoạn phát triển, các tấm gồm thủy tinh khác nhau từ quy trình gồm hóa tạo thành có thể có các thuộc tính không mong muốn, như độ vênh, độ cong, độ mờ đục, v.v.. 17 thể hiện các kết quả từ chồng thủy tinh

có mười tám thiết bị đo. Trên Fig. 17, trục x là thời gian được đo theo giây, trục y bên phải là ΔT tính theo $^{\circ}\text{C}$, và trục y bên trái là nhiệt độ của các tấm thủy tinh tính theo $^{\circ}\text{C}$. Việc nhóm các đường được lập đồ thị xít nhau thể hiện nhiệt độ của tấm thủy tinh (tương ứng với trục y bên trái), và việc nhóm các đường lập đồ thị rộng hơn thể hiện ΔT của các tấm thủy tinh (tương ứng với trục y bên phải). Như được thể hiện trên Fig. 17, trong chu kỳ tạo dốc thứ nhất trong đó chồng thủy tinh được gia nhiệt từ xung quanh nhiệt độ xung quanh đến khoảng 570°C , ΔT —được đo từ nhiệt độ gốm hóa được lập trình—đối với một số tấm thủy tinh bên trong chồng thủy tinh là quá 40°C . Tuy nhiên, sau khi chu kỳ tạo dốc hoàn thành và quá trình giữ đẳng nhiệt bắt đầu, ΔT của các tấm thủy tinh hạ xuống và được duy trì tại hoặc dưới $\pm 5^{\circ}\text{C}$ trong quá trình giữ đẳng nhiệt. Theo các phương án, chu kỳ gốm hóa được điều chỉnh dựa trên các số đo ΔT thu được.

Ví dụ, mong muốn rằng, theo một hoặc nhiều phương án, trong khoảng thời gian giữ đẳng nhiệt được lập trình để được thực hiện trong đó ΔT nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Như được thể hiện trên Fig. 17, sự giữ đẳng nhiệt tại khoảng 570°C bắt đầu trước ΔT của chồng thủy tinh là nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$ của chu kỳ gốm hóa đã được lập trình. Do đó, việc giữ đẳng nhiệt được lập trình có thể được mở rộng sao cho khoảng thời gian ban đầu của quá trình giữ đẳng nhiệt được thực hiện, trong đó ΔT nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Ví dụ không làm giới hạn là, nếu việc giữ đẳng nhiệt tại khoảng 570°C được lập trình ban đầu để có khoảng thời gian là 4 giờ, thì mong muốn giữ chồng thủy tinh tại ΔT nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$ trong khoảng thời gian 4 giờ (*tức là*, trùng khớp với khoảng thời gian giữ đẳng nhiệt được lập trình ban đầu). Để đạt được điều này, việc giữ đẳng nhiệt có thể phải được kéo dài quá 4 giờ để tính đến thời gian mà cần để chồng thủy tinh đạt đến ΔT nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Lượng thời gian mà việc giữ đẳng nhiệt được thay đổi có thể được xác định bằng cách sử dụng có số liệu thu thập được theo cách như được thể hiện trên Fig. 17 và xác định lượng thời gian cần để ΔT của toàn bộ chồng thủy tinh nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Theo một hoặc nhiều phương án, khoảng thời gian giữ đẳng nhiệt trong giai đoạn tạo mầm có thể được thay đổi là + 10%, như + 9%, + 8%, + 7%, + 6%, + 5%, + 4%, + 3%, + 2%, hoặc + 1%.

Trình tự như mô tả trên đây, Fig. 17 chỉ ra rằng ΔT trong chu kỳ dốc từ khoảng 570°C đến khoảng 750°C vượt quá $\pm 5^{\circ}\text{C}$ và có thể đạt được cao hơn 20°C trong các

tấm thủy tinh nhất định bên trong chõng thủy tinh. Tuy nhiên, như trường hợp tại quá trình giữ đẳng nhiệt trong suốt giai đoạn tạo mầm tại khoảng 570°C , ΔT quay lại nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$ sau một thời gian nào đó tại quá trình giữ đẳng nhiệt tại khoảng 750°C trong suốt giai đoạn phát triển. Như trường hợp với việc giữ đẳng nhiệt tại khoảng 570°C , theo các phương án, mong muốn là để duy trì các chõng thủy tinh tại ΔT nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$ cho quãng thời gian giữ đẳng nhiệt được lập trình ban đầu trong suốt giai đoạn phát triển. Do đó, khoảng thời gian giữ đẳng nhiệt của giai đoạn phát triển có thể được điều chỉnh như được mô tả ở trên sao cho chõng thủy tinh được duy trì tại ΔT nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$ trong khoảng thời gian được lập trình ban đầu của giữ đẳng nhiệt của giai đoạn phát triển. Theo một hoặc nhiều phương án, khoảng thời gian giữ đẳng nhiệt trong suốt giai đoạn phát triển có thể được điều chỉnh là $+10\%$, như $+9\%$, $+8\%$, $+7\%$, $+6\%$, $+5\%$, $+4\%$, $+3\%$, $+2\%$, hoặc $+1\%$.

Fig. 18 thể hiện góc nhìn chi tiết tại sự đáp ứng nhiệt của chõng thủy tinh theo các phương án. Sự chênh lệch nhiệt độ của các tấm riêng rẽ trong chõng thủy tinh trong các chu kỳ tạo dốc khác nhau và chu kỳ làm nguội được thể hiện trong các hình chiếu khai triển bên trong đồ thị của Fig. 18. Thông tin này giúp hiểu cách chõng thủy tinh đang đáp ứng nhiệt với biên dạng gia nhiệt như được lập trình. Các độ lệch của nhiệt độ được đo của các tấm thủy tinh từ biên dạng gia nhiệt như được lập trình trong suốt quá trình chuyển tiếp có thể hoặc không có thể tác động lên thuộc tính thủy tinh, nhưng nó có thể hạn chế quy trình nếu thiết bị xử lý nhiệt đang vận hành tại hoặc gần 100% công suất đầu ra để đạt được biên dạng nhiệt mong muốn. Dữ liệu này có thể được sử dụng để tinh chỉnh các biên dạng nhiệt để cải thiện hoặc duy trì các thuộc tính của vật phẩm gồm thủy tinh cuối cùng.

Các biên dạng nhiệt độ nằm trong buồng của thiết bị gia nhiệt và nằm trong chõng thủy tinh cung cấp thông tin quan trọng có thể được sử dụng, theo các phương án khác nhau, để biến đổi biên dạng gia nhiệt đã được lập trình trong suốt chu kỳ gốm hóa. Theo một số phương án, các thay đổi cho biên dạng gia nhiệt đã được lập trình sẽ cải thiện các tính chất của các vật phẩm gồm thủy tinh cuối cùng, như, ví dụ, độ vênh, độ cong, độ mờ đục, độ trong, v.v.. Tuy nhiên, theo các phương án khác, các thay đổi này đối với chu kỳ gia nhiệt đã được lập trình có thể không tác động lên các thuộc tính của vật phẩm gồm thủy tinh cuối cùng, nhưng có thể cải thiện năng suất của việc xử lý gốm hóa. Tuy

nhiên, theo các phương án khác, không nhất thiết phải thay đổi chu kỳ gia nhiệt được lập trình dựa trên sự đồng đều về nhiệt độ được đo. Ví dụ, một số sản phẩm cuối cùng có các dung sai rất khắt khe, yêu cầu các vật phẩm thủy tinh phải rất trong, rất phẳng. Với các sản phẩm này, mong muốn thay đổi chu kỳ gia nhiệt được lập trình. Tuy nhiên, các sản phẩm cuối cùng khác có các dung sai rộng hơn đối với độ trong, màu sắc, độ phẳng, và ứng suất thủy tinh. Với các sản phẩm này, không mong muốn thay đổi chu kỳ gia nhiệt được lập trình dựa trên sự đồng đều về nhiệt bên trong chõng thủy tinh.

Như được thảo luận chi tiết ở trên, theo các phương án, có thể mong muốn thay đổi chu kỳ gia nhiệt được lập trình dựa vào dữ liệu độ đồng đều về nhiệt thu thập được. Tuy nhiên, cũng có thể kiểm soát sự đồng đều về nhiệt bên trong chõng thủy tinh. Như được đề cập ở trên ΔT thẳng đứng, có thể được kiểm soát bằng cách thay đổi cấu hình chõng, vật liệu cơ cấu định vị, cấu hình cơ cấu định vị (như các lớp ở giữa chèn vào được thành từ vật liệu cơ cấu định vị giữa cơ cấu định vị đỉnh và cơ cấu định vị đáy), v.v.. Cách khác là sự đồng đều về nhiệt bên trong chõng thủy tinh có thể được điều khiển là bằng cách sử dụng việc gia nhiệt nhiều giai đoạn trong chu kỳ gồm hóa. Việc làm chậm tốc độ dốc trong các giai đoạn tạo mầm và/hoặc phát triển bằng cách sử dụng sự gia nhiệt nhiều giai đoạn sẽ dẫn đến sự gia nhiệt chõng thủy tinh chậm hơn nhiều và, do đó độ đồng đều nhiệt của các tấm thủy tinh sẽ tăng. Phương án làm ví dụ của việc gia nhiệt nhiều giai đoạn được bộc lộ bên dưới.

Sự đồng đều về nhiệt của tấm thủy tinh có thể được cải thiện bằng cách đặt các nguồn gia nhiệt (ví dụ, các thiết bị gia nhiệt bức xạ, các thiết bị gia nhiệt đối lưu, v.v.) tại nhiều mức trung gian trong suốt quá trình gia nhiệt do việc làm chậm tốc độ gia nhiệt. Tính hiệu quả của sự vận hành gia nhiệt nhiều giai đoạn này có thể được đánh giá bằng cách sử dụng mô hình nhiệt lò ủ kính quy mô đầy đủ giả định là dung tích với 9 chõng và 23 tấm thủy tinh trong từng chõng trên một vật mang đơn. Để gia nhiệt từ nhiệt độ phòng tới điều kiện tạo mầm, mẫu gia nhiệt chín giai đoạn được nghiên cứu, các mức nhiệt bộ gia nhiệt được kiểm soát trong từng giai đoạn được tổng hợp trong Bảng 2. Sự giảm đáng kể việc biến thiên nhiệt độ tấm thủy tinh được thể hiện trên Fig. 19 khi so sánh với việc gia nhiệt giai đoạn đơn mà trong đó bộ gia nhiệt được đặt tới nhiệt độ tạo mầm là 570°C. Với việc gia nhiệt nhiều giai đoạn, tốc độ gia nhiệt được giảm và thời gian gia nhiệt dài hơn được yêu cầu để đạt được nhiệt độ tạo mầm đích. Đối với việc gia

nhệt chín giai đoạn như được đề cập, mất 180 phút để đạt tới nhiệt độ tạo mầm, trong khi việc gia nhiệt một giai đoạn được thực hiện trong 100 phút. Việc gia nhiệt nhiều giai đoạn có thể được tối ưu hóa để làm giảm sự thay đổi nhiệt thấp hơn các mức mong muốn mà không thêm lượng đáng kể thời gian gia nhiệt.

Bảng 2

Giai đoạn	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nhiều giai đoạn (°C)	400	450	500	500	530	530	540	560	570
Một giai đoạn (°C)	570								

Việc thiết lập thiết bị gia nhiệt nhiều giai đoạn có thể được áp dụng cho việc gia nhiệt giai đoạn phát triển cũng như để làm giảm sự biến thiên nhiệt trên các tấm thủy tinh. Cùng tác dụng được minh họa trên Fig. 20, thể hiện sự biến thiên nhiệt độ tấm thủy tinh tối đa được giảm từ trên 40°C xuống khoảng 25°C với sự thiết lập thiết bị gia nhiệt ba giai đoạn. Các việc thiết lập nhiệt độ thiết bị gia nhiệt thực tế cho việc gia nhiệt ba giai đoạn là 620°C, 680°C, và 740°C, trong khi thiết bị gia nhiệt được đặt tới mức không đổi là 740°C trong việc gia nhiệt một giai đoạn.

Việc duy trì mức độ biến thiên nhiệt ở mức thấp trong suốt quá trình làm mát sau sự phát triển là điều quan trọng, theo các phương án, để đáp ứng các yêu cầu ứng suất và độ cong vênh của sản phẩm gốm thủy tinh. Bằng cách kiểm soát môi trường nhiệt tới mức mà các chồng thủy tinh nóng bức xạ nhiệt ra, tốc độ làm nguội có thể được điều hòa, mà có thể làm giảm mức độ biến thiên nhiệt của tấm thủy tinh. Trong quá trình vận hành lò ủ kính, điều này có thể được thực hiện bằng cách đặt các thiết bị gia nhiệt tại nhiều mức trung gian trong suốt giai đoạn làm mát. Hiệu quả của việc làm mát nhiều giai đoạn được đánh giá bằng cách sử dụng mô hình nhiệt lò ủ kính quy mô đầy đủ có khả năng sản xuất lớn. Sự giảm đáng kể sự biến thiên nhiệt độ tấm thủy tinh đạt được như được thể hiện trên Fig. 21 so với việc làm nguội một giai đoạn. Việc làm nguội nhiều giai đoạn được thực hiện trong bốn giai đoạn, và các bộ gia nhiệt được điều khiển lần lượt tại 665°C, 590°C, 515°C và 440°C. Với việc làm nguội một giai đoạn, thiết bị gia nhiệt được đặt tại 300°C. Một sự cân nhắc việc làm nguội nhiều giai đoạn là tốc độ

làm nguội thấp hơn, hoặc thời gian được yêu cầu lâu hơn để đạt được nhiệt độ ra đích. Với việc làm nguội bốn giai đoạn như được đề cập ở trên, tốc độ làm nguội trung bình là $3,3^{\circ}\text{C}$, thấp hơn $5,3^{\circ}\text{C}$ của trường hợp làm nguội một giai đoạn.

Theo phân mô tả nêu trên, sự đồng đều về nhiệt của các chồng thủy tinh có thể được kiểm soát một phần nhờ cấu hình của chồng thủy tinh, các cơ cấu định vị, và các lớp ở giữa. Ngoài ra, sự đồng đều về nhiệt của chồng thủy tinh có thể được kiểm soát một phần bởi các chu kỳ gia nhiệt được sử dụng để gia nhiệt chồng thủy tinh tới các nhiệt độ tạo mầm và phát triển. Một hoặc nhiều sự kiểm soát này có thể được sử dụng trong chu kỳ gồm hóa nơi mà các dung sai đối với sự đồng đều nhiệt là nhỏ, như khi mong muốn kiểm soát ΔT nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Fig. 22 thể hiện chu kỳ gồm hóa thu được theo cách truyền thống (được đánh dấu là COR) với hai bước đẳng nhiệt và tốc độ gia nhiệt tuyến tính khi so sánh với các chu kỳ AVC đối với các độ nhót đích khác nhau. Như được thể hiện bởi các bước tạo mầm và phát triển chồng lần, không có bước đẳng nhiệt trong phương pháp AVC và nhiệt độ tăng tại tốc độ nhỏ tương đối chậm hơn so với bước chuyển tiếp. Điều này cũng giúp rút ngắn tổng thời gian gồm hóa.

Fig. 23 thể hiện sự tiến hóa về tỷ trọng đối với cùng chu kỳ COR thông thường và các chu kỳ AVC như được thể hiện trên Fig. 22. Như được mong đợi, tỷ trọng giữ không đổi trong suốt bước tạo mầm, sao cho gradien biến dạng/chảy tối thiểu được quan sát cho tới khi các tinh thể bắt đầu phát triển. Sau đó, việc chuyển tiếp tuân theo xu hướng mượt hơn, không giống như phương pháp truyền thống trong đó hành vi không đơn điệu được quan sát, với việc giảm đột ngột tỷ trọng.

Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này sẽ hiểu rõ rằng các cải biến và thay đổi khác nhau có thể được thực hiện đối với các phương án được mô tả trong bản mô tả này mà không vượt quá phạm vi của đối tượng được yêu cầu bảo hộ. Do đó, bản mô tả này nhằm mục đích bao hàm cả các cải biến và các thay đổi của các phương án khác nhau được mô tả ở đây miễn là các cải biến và các thay đổi này nằm trong phạm vi bảo hộ của các yêu cầu bảo hộ kèm theo và các dạng tương đương của chúng.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp gồm hóa vật phẩm thủy tinh thành thủy tinh bao gồm các bước:

đặt vật phẩm thủy tinh vào trong thiết bị gia nhiệt;

gia nhiệt vật phẩm thủy tinh đến nhiệt độ giữ thứ nhất tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất;

giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ nhất trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất, trong đó độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong log của độ nhót $\pm 1,0$ poa của độ nhót đích trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất;

gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ hai;

giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ hai trong khoảng thời gian thứ hai, trong đó tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh được giám sát từ việc gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất qua khoảng thời gian thứ hai; và

kết thúc khoảng thời gian thứ hai khi giá trị tuyệt đối của tốc độ thay đổi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh nhỏ hơn hoặc bằng $0,10 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước kết thúc khoảng thời gian thứ hai xảy ra khi giá trị tuyệt đối của tốc độ thay đổi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh là $0,00 \text{ (g/cm}^3\text{)/phút}$.

3. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất, độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong log của độ nhót $\pm 0,1$ poa của độ nhót đích.

4. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong log của độ nhót $\pm 1,0$ poa của độ nhót đích trong suốt ít nhất một phần của quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai.

5. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì trong log độ nhót $\pm 1,0$ poa của độ nhót đích trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất sử dụng số liệu từ hệ thống kiểm soát độ nhót tự động.

6. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh được giám sát tại chỗ trong suốt quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai và giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ hai trong khoảng thời gian thứ hai.

7. Phương pháp theo điểm 6, trong đó tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh được giám sát tại chỗ trong quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai tại tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ hai và giữ vật phẩm thủy tinh tại nhiệt độ giữ thứ hai trong khoảng thời gian thứ hai bằng máy đo giãn nở.
8. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó khoảng thời gian thứ hai được kết thúc khi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh không đổi trong ít nhất 50 phút.
9. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó khoảng thời gian thứ hai được kết thúc khi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh không đổi trong ít nhất 100 phút.
10. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất được xác định dựa ít nhất một phần vào hiệu năng của hệ thống kiểm soát độ nhót tự động.
11. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ hai được xác định dựa ít nhất một phần vào hiệu năng của hệ thống kiểm soát độ nhót tự động.
12. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước đặt lực cưỡng bức khối lượng vào vật phẩm thủy tinh.
13. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó độ chênh lệch nhiệt độ của vật phẩm thủy tinh so với nhiệt độ được lập trình trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất là nằm trong khoảng $\pm 8^{\circ}\text{C}$.
14. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó độ chênh lệch nhiệt độ của vật phẩm thủy tinh so với nhiệt độ được lập trình trong khoảng thời gian đã định trước thứ nhất là nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$.
15. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó độ chênh lệch nhiệt độ của vật phẩm thủy tinh so với nhiệt độ đã định trước trong khoảng thời gian thứ hai nằm trong khoảng $\pm 8^{\circ}\text{C}$.

16. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó độ chênh lệch nhiệt độ của vật phẩm thủy tinh so với nhiệt độ đã định trước trong khoảng thời gian thứ hai nằm trong khoảng $\pm 5^{\circ}\text{C}$.
17. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó bước gia nhiệt vật phẩm thủy tinh đến nhiệt độ giữ thứ nhất ở tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất bao gồm việc gia nhiệt nhiều giai đoạn.
18. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó trong suốt quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh đến nhiệt độ giữ thứ nhất ở tốc độ gia nhiệt đã định trước thứ nhất, độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì ở mức lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa.
19. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất, độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì ở mức lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa.
20. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó trong suốt quá trình gia nhiệt vật phẩm thủy tinh từ nhiệt độ giữ thứ nhất đến nhiệt độ giữ thứ hai, độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì ở mức lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa.
21. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì ở mức lớn hơn hoặc bằng log độ nhót 11,0 poa trong toàn bộ thời gian của phương pháp.
22. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó trong suốt khoảng thời gian đã định trước thứ nhất, độ nhót của vật phẩm thủy tinh được duy trì ở mức nhỏ hơn log độ nhót 11,0 poa.
23. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó khoảng thời gian thứ hai được kết thúc khi tỷ trọng của vật phẩm thủy tinh không đổi trong ít nhất 15 phút.

1/16

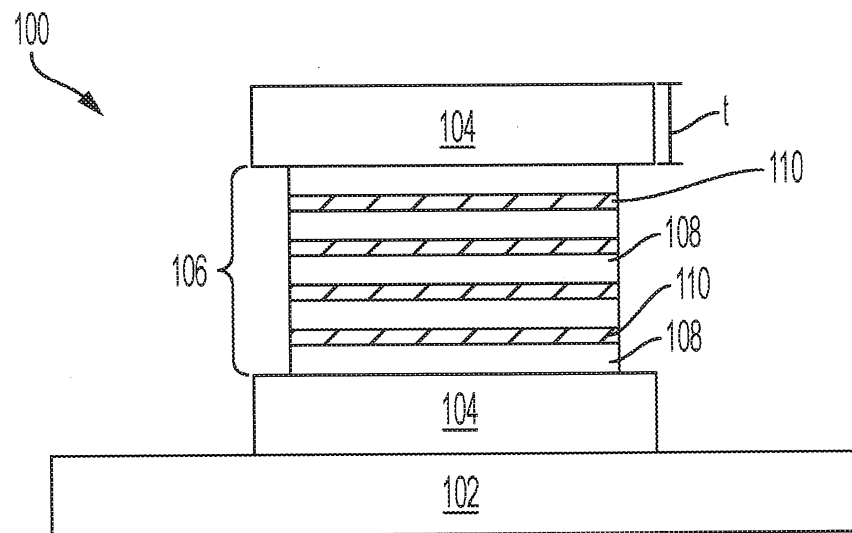


FIG. 1

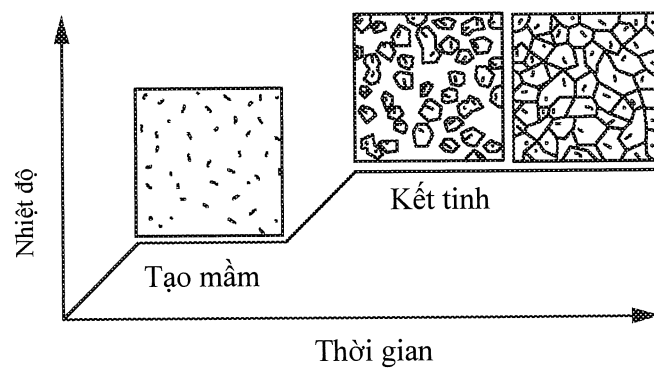


FIG. 2A

2/16

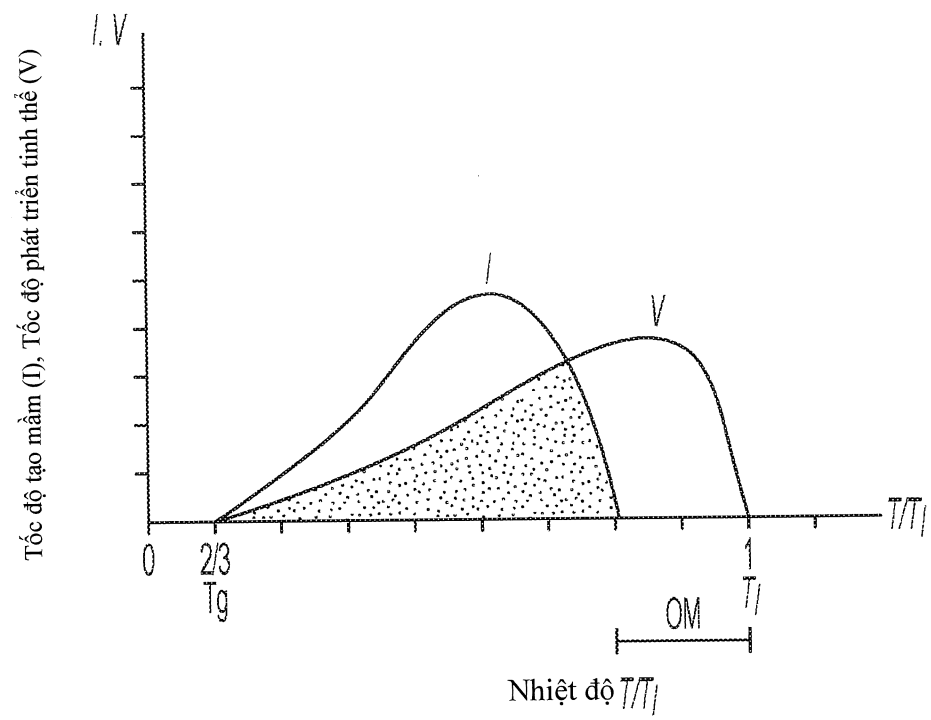


FIG. 2B

3/16

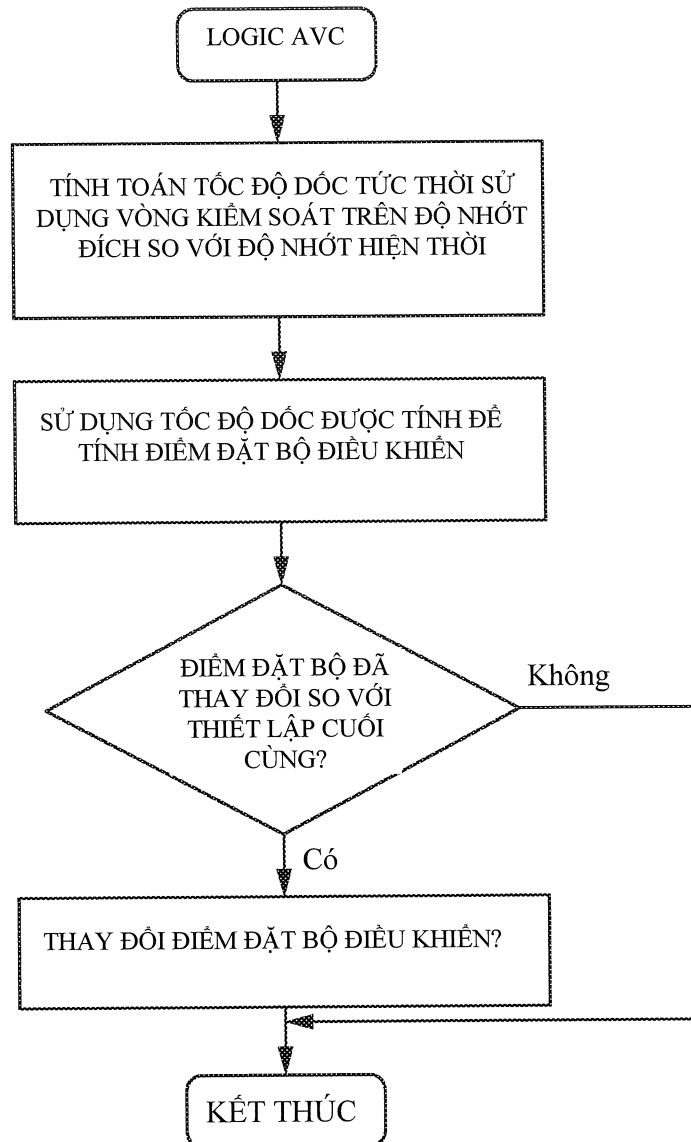


FIG. 3

4/16

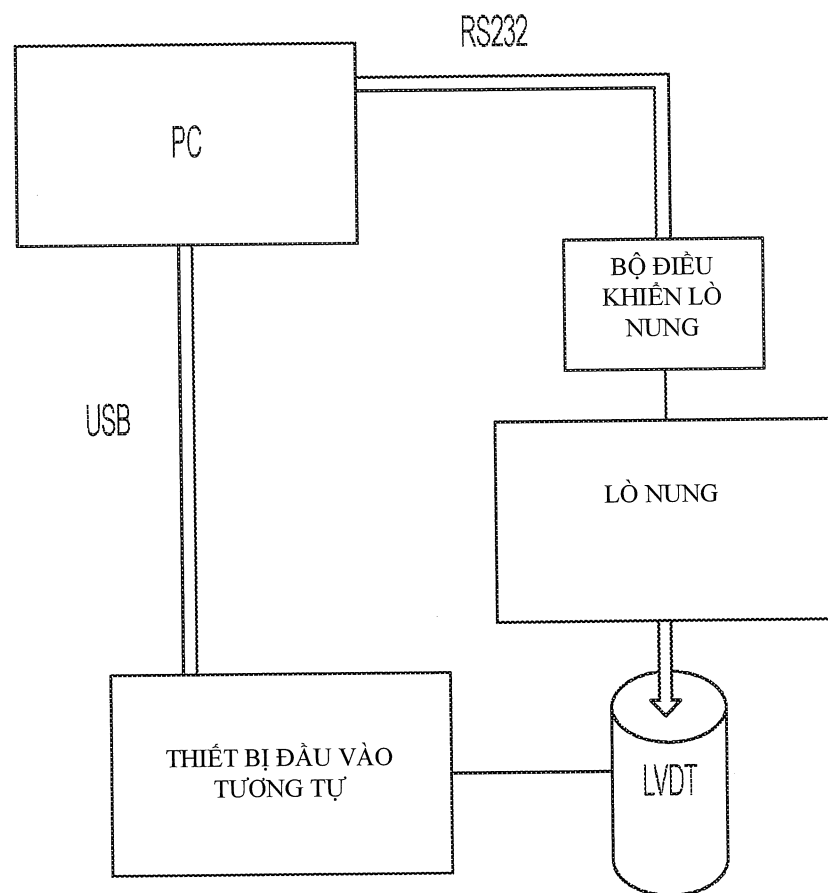


FIG. 4

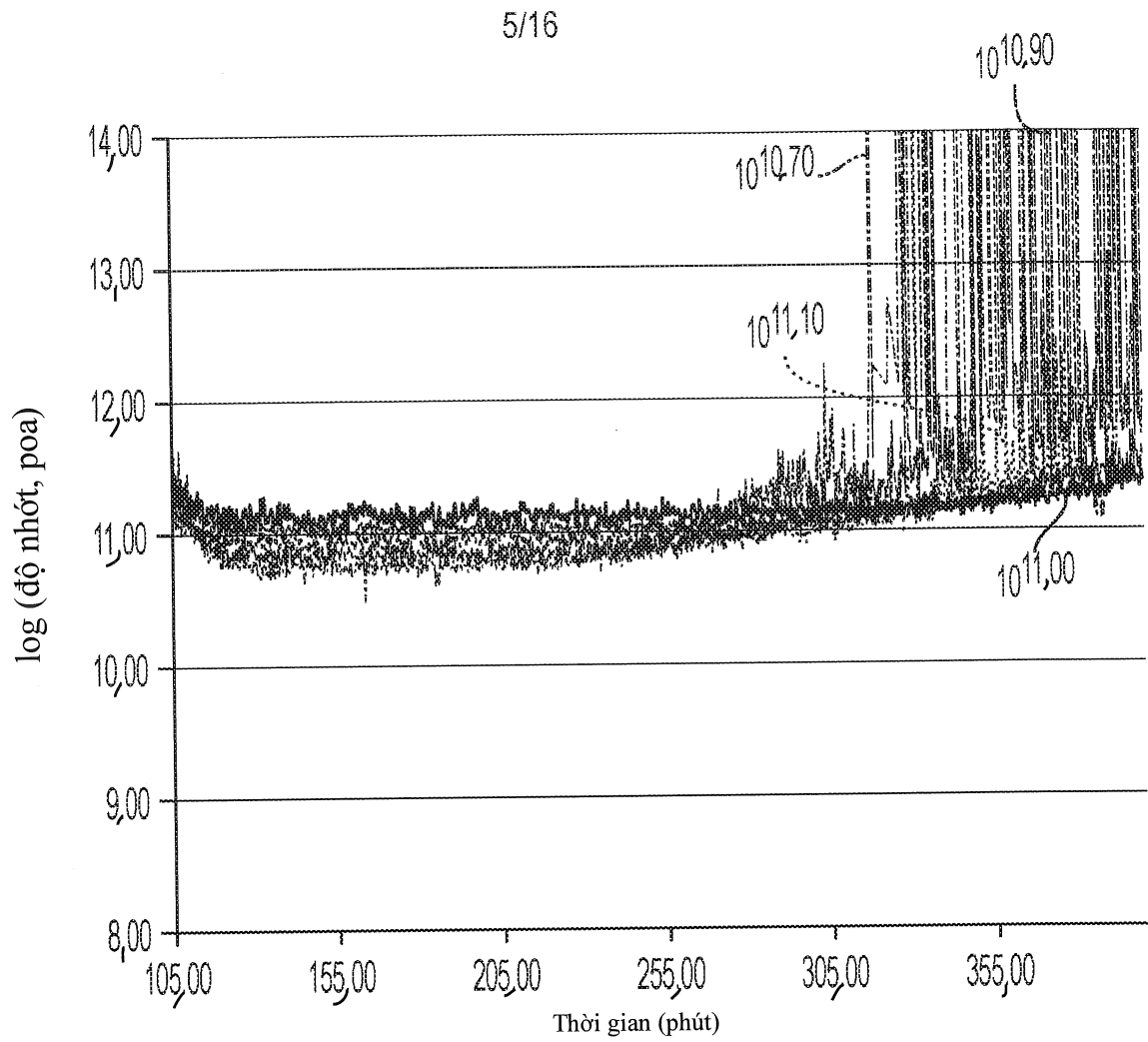


FIG. 5

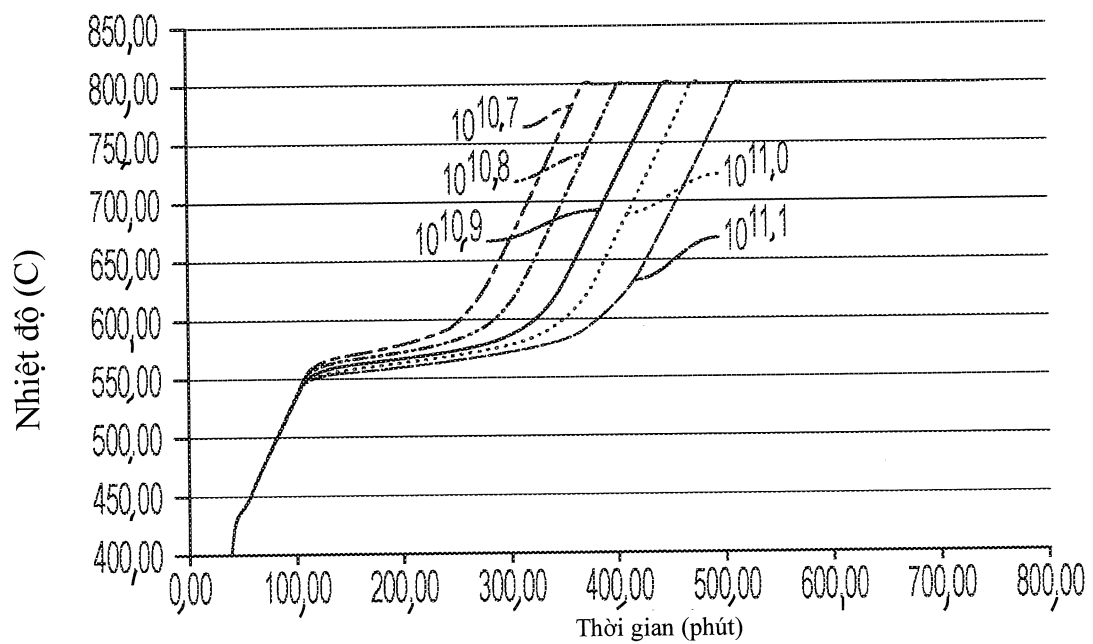


FIG. 6

6/16

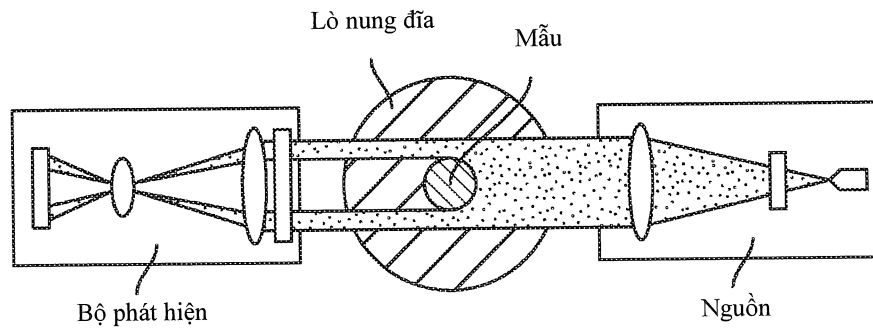


FIG. 7

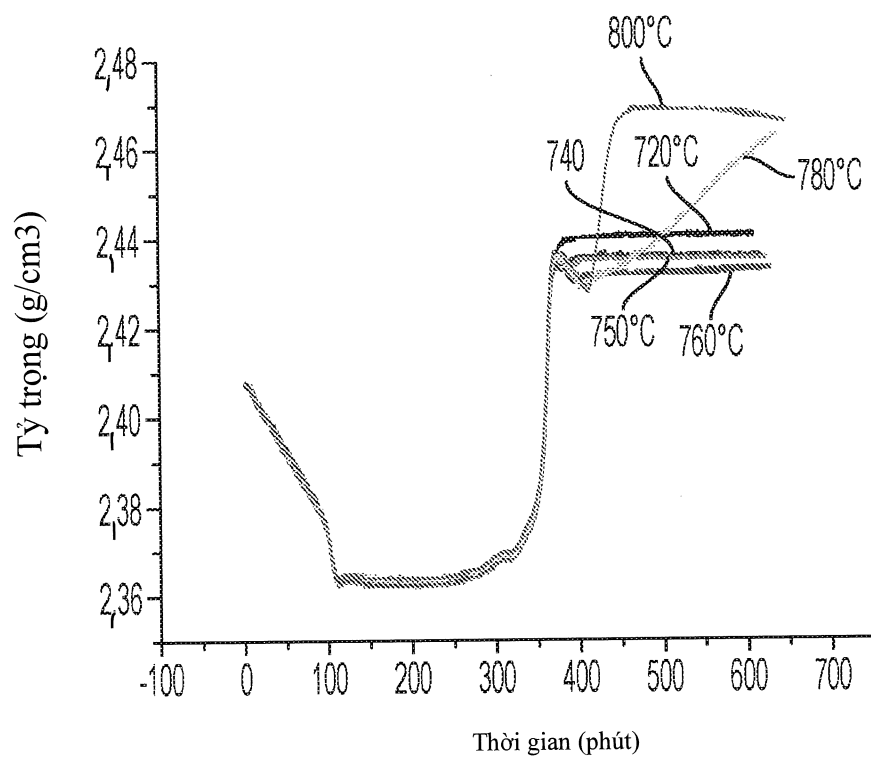


FIG. 8

7/16

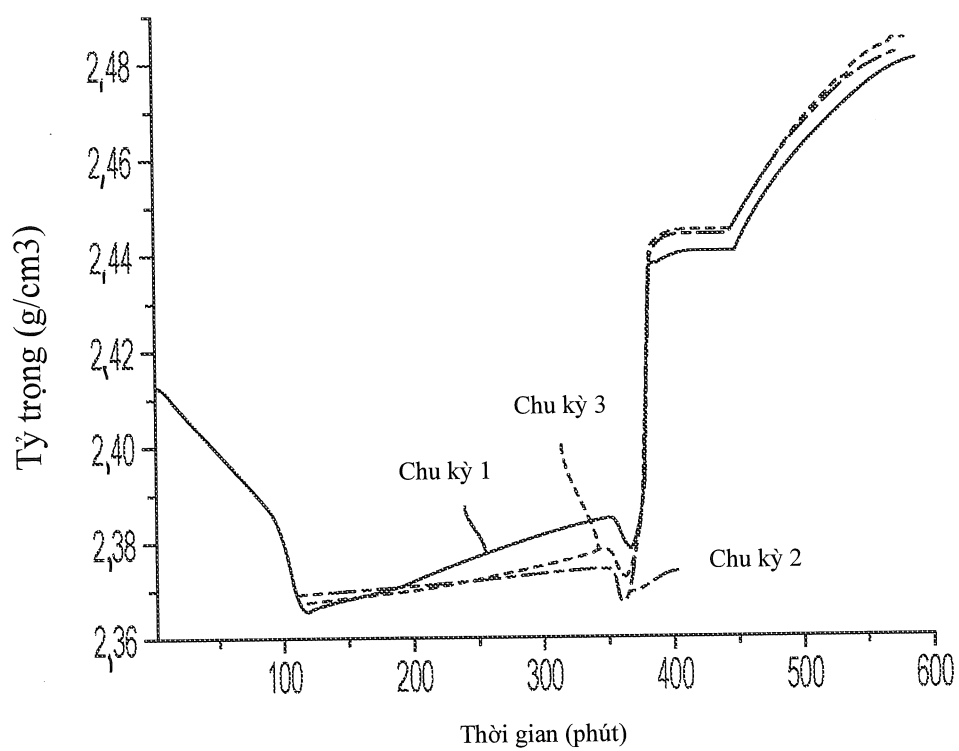


FIG. 9

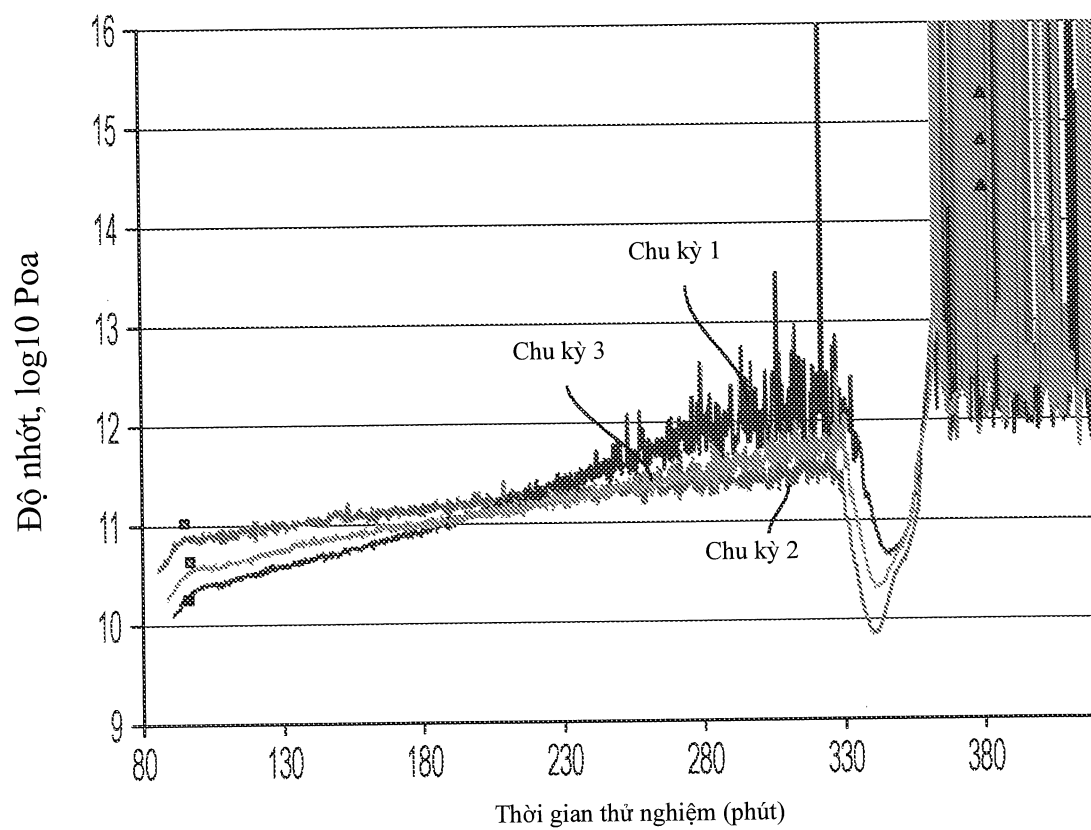


FIG. 10

8/16

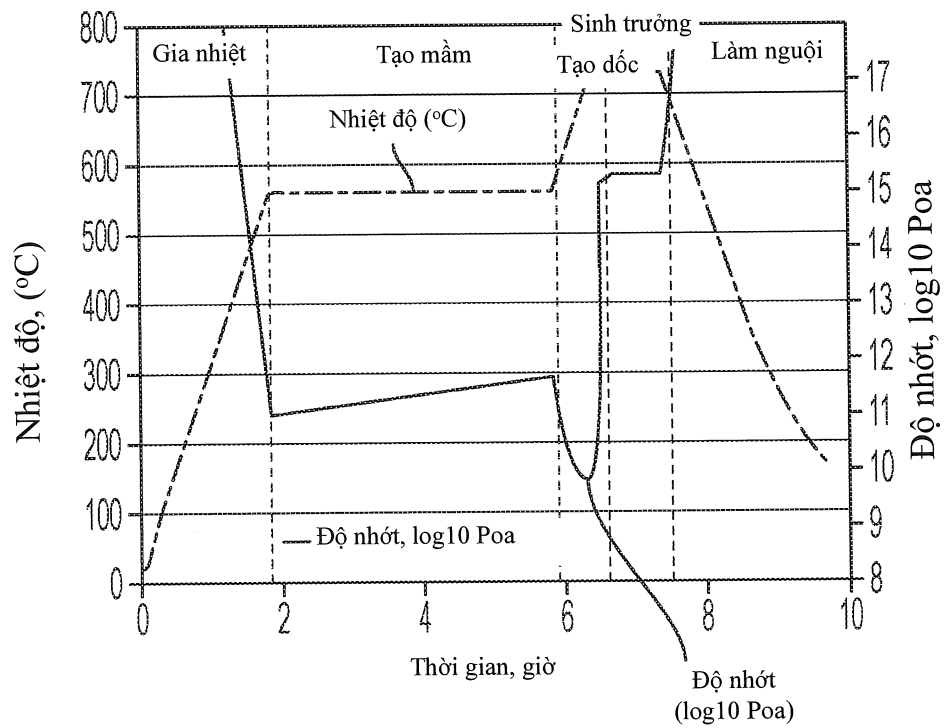


FIG. 11

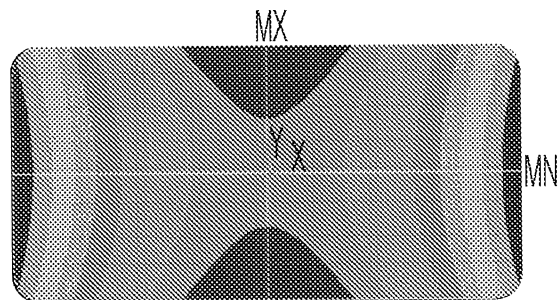


FIG. 12A

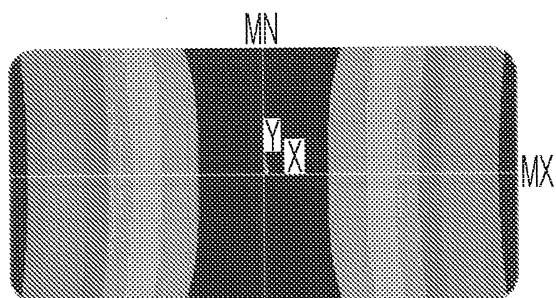


FIG. 12B

9/16

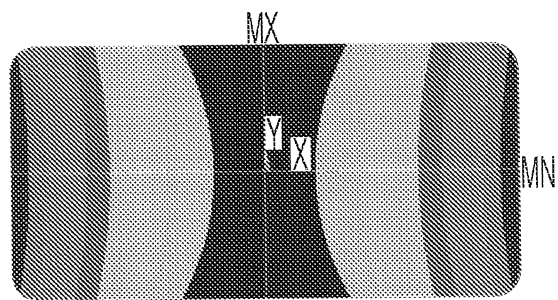


FIG. 12C

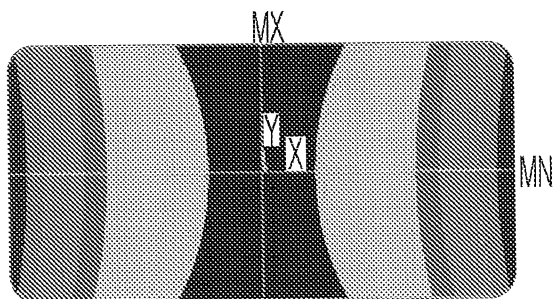


FIG. 13A

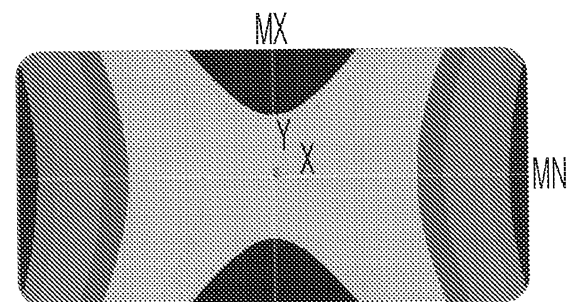


FIG. 13B

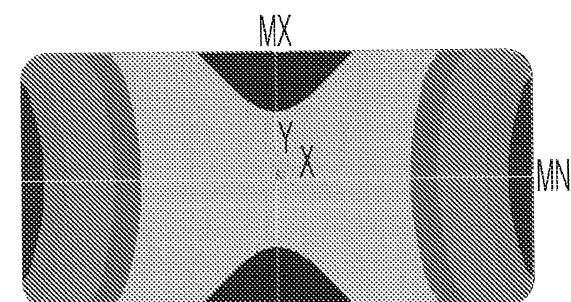


FIG. 13C

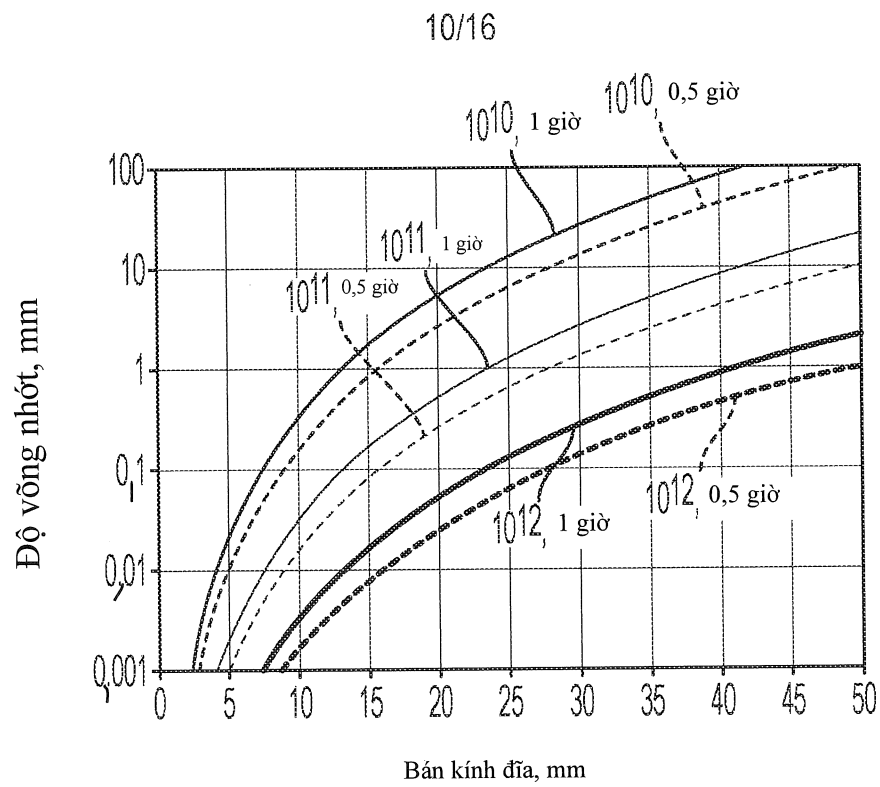


FIG. 14

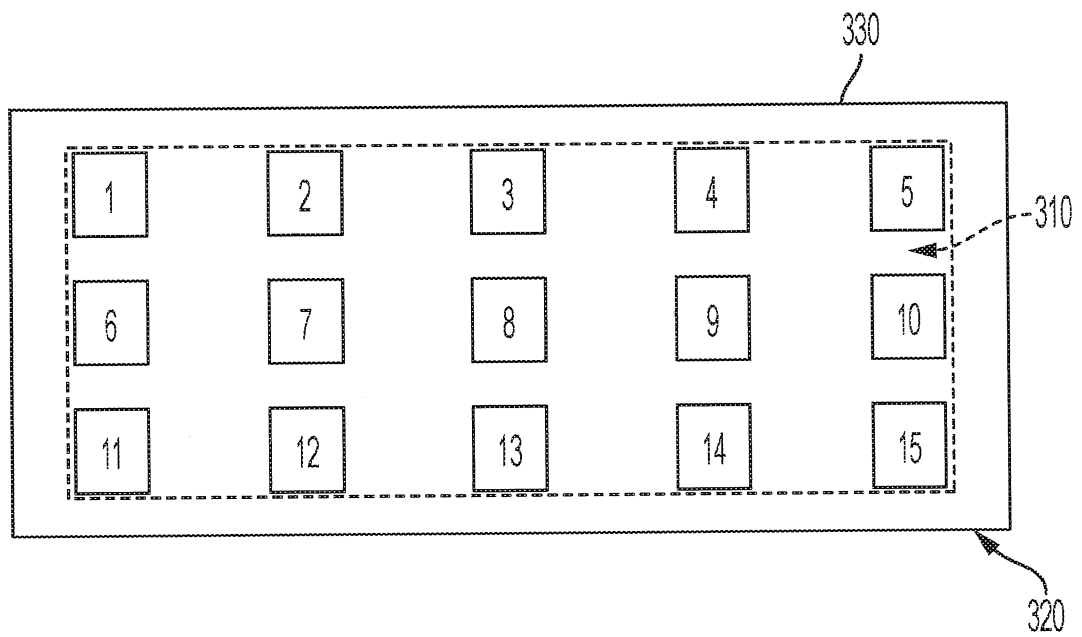
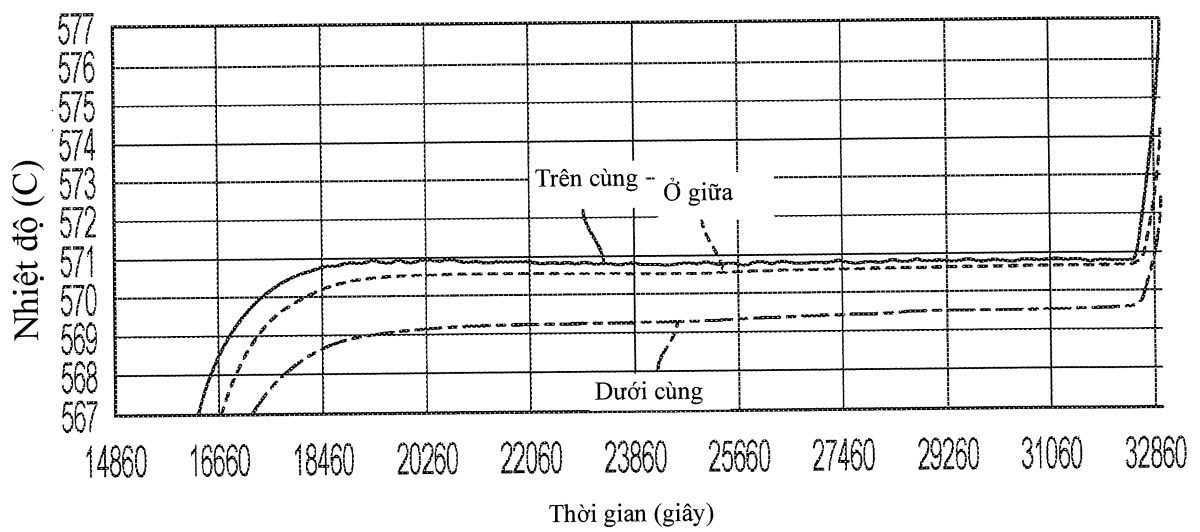
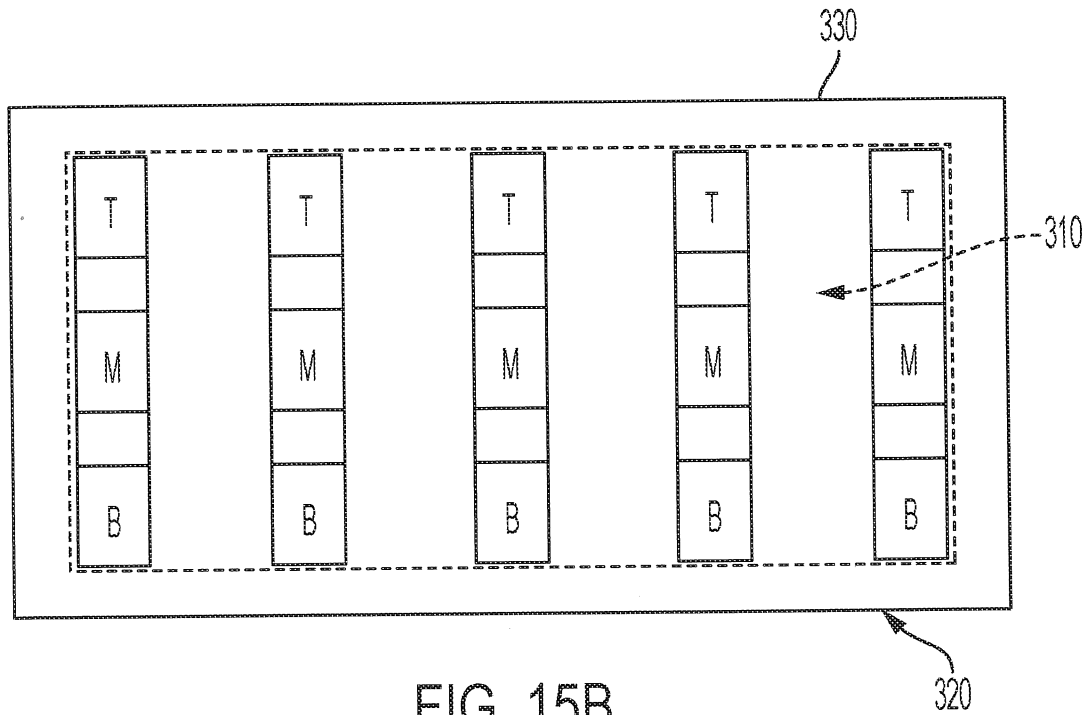


FIG. 15A

11/16



12/16

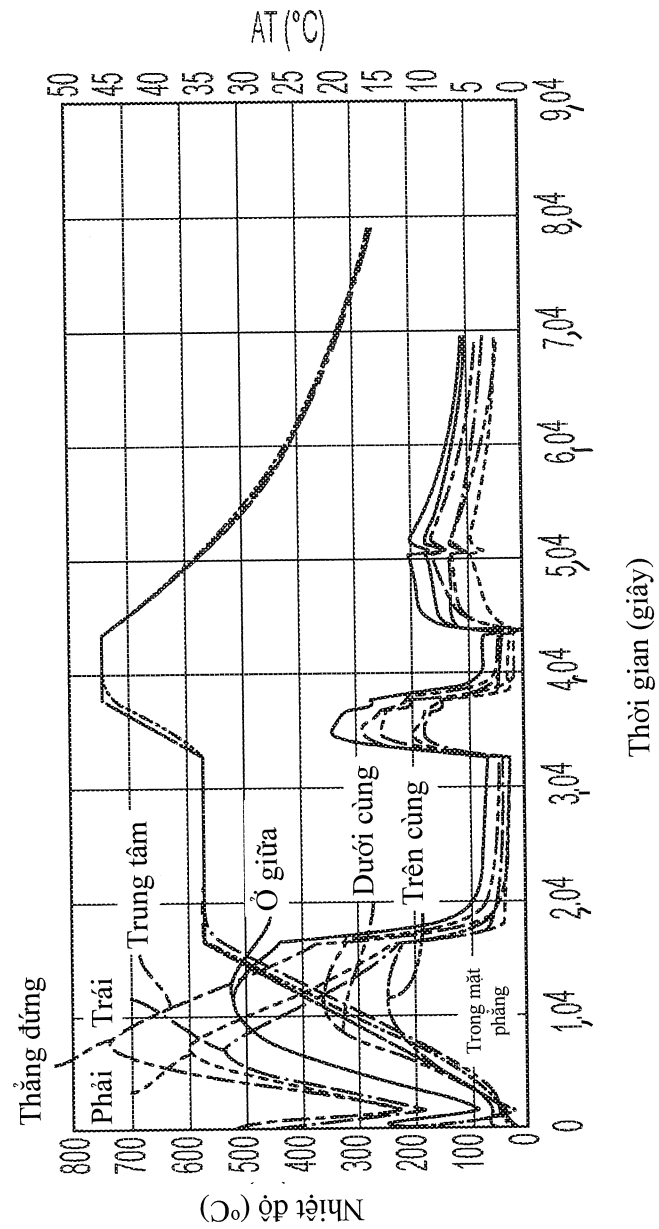


FIG. 17

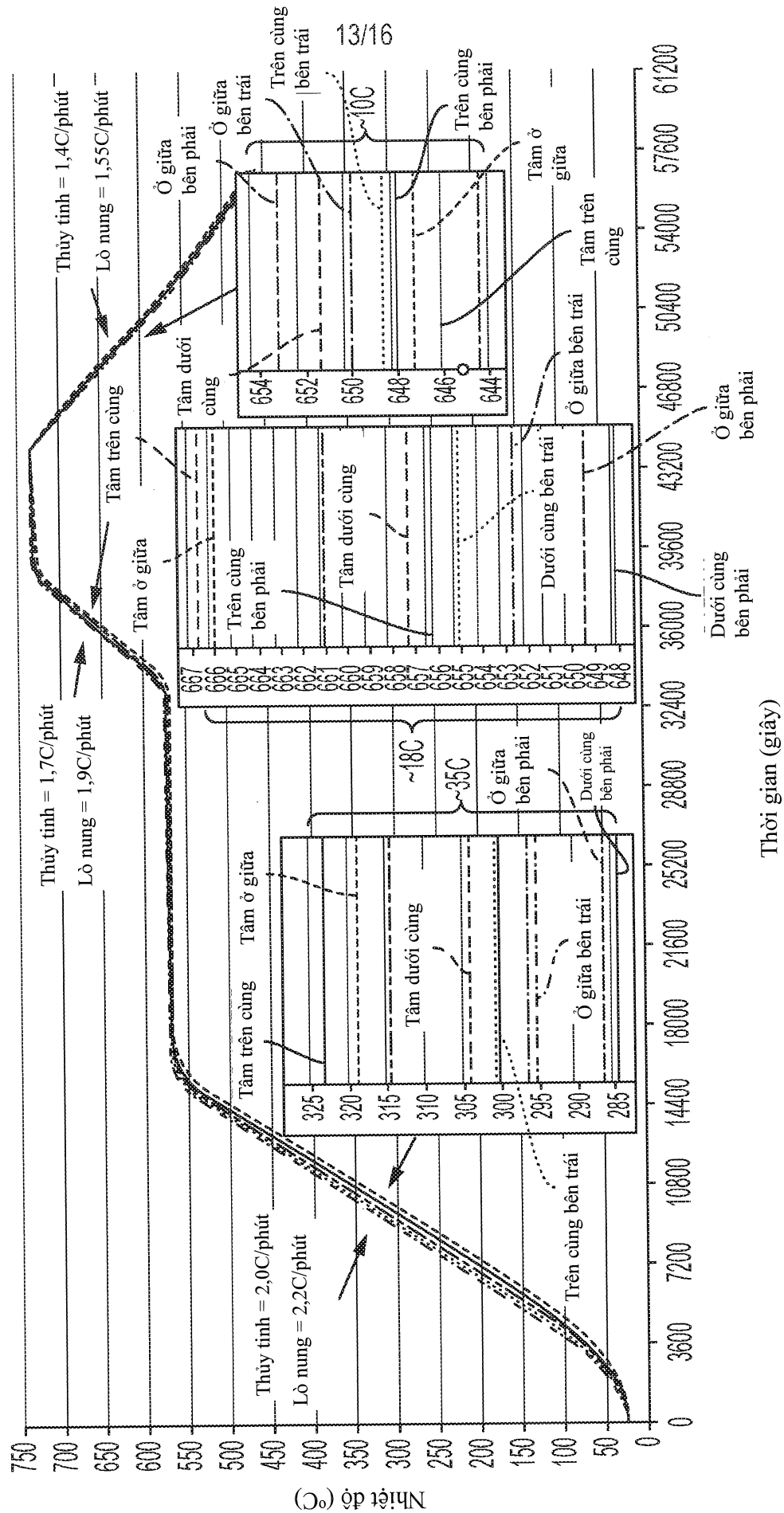


FIG. 18

14/16

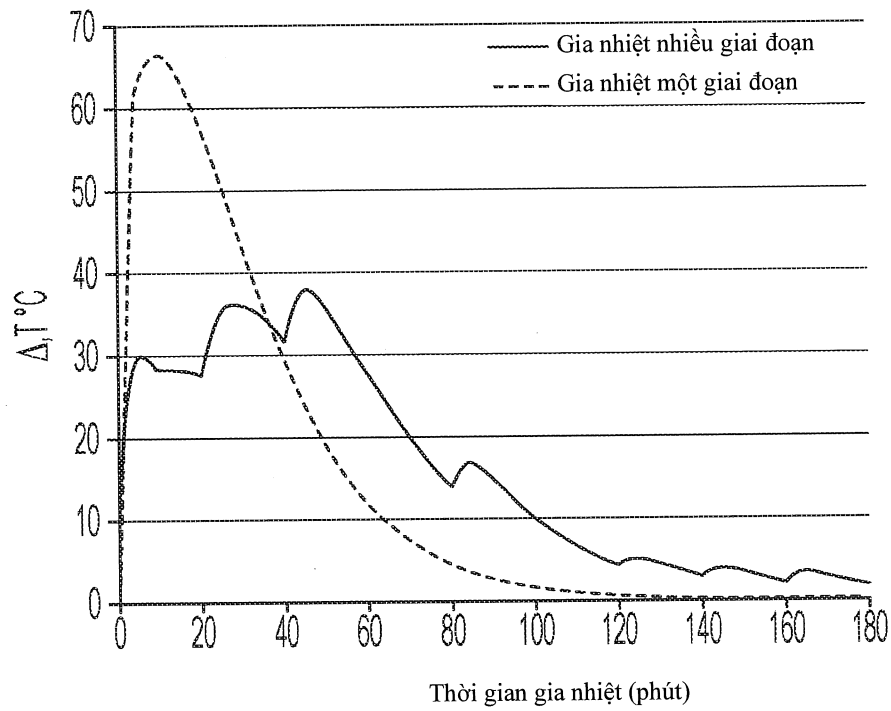


FIG. 19

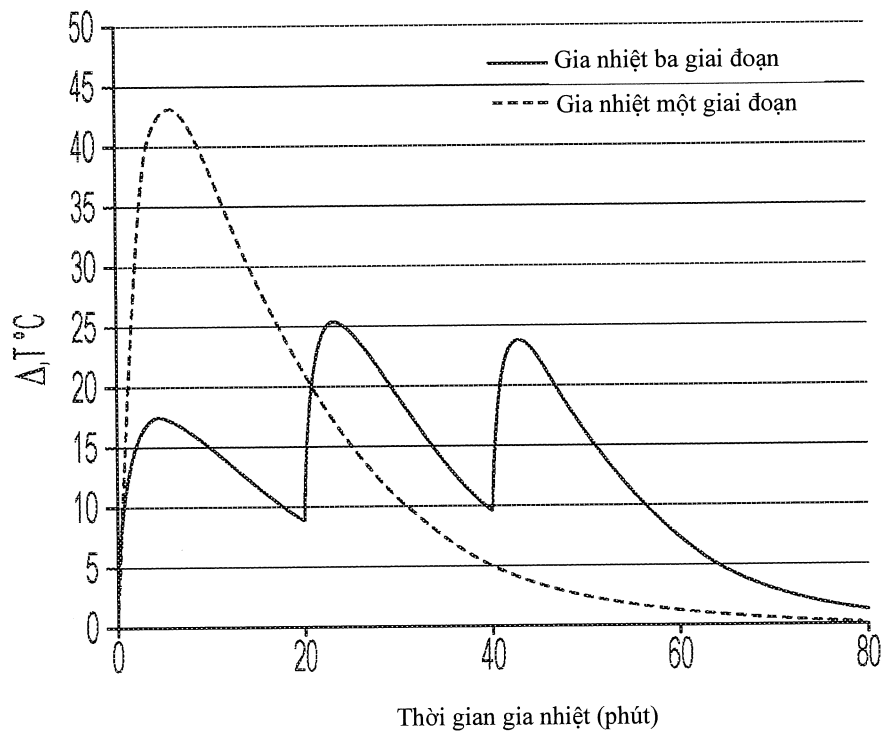


FIG. 20

15/16

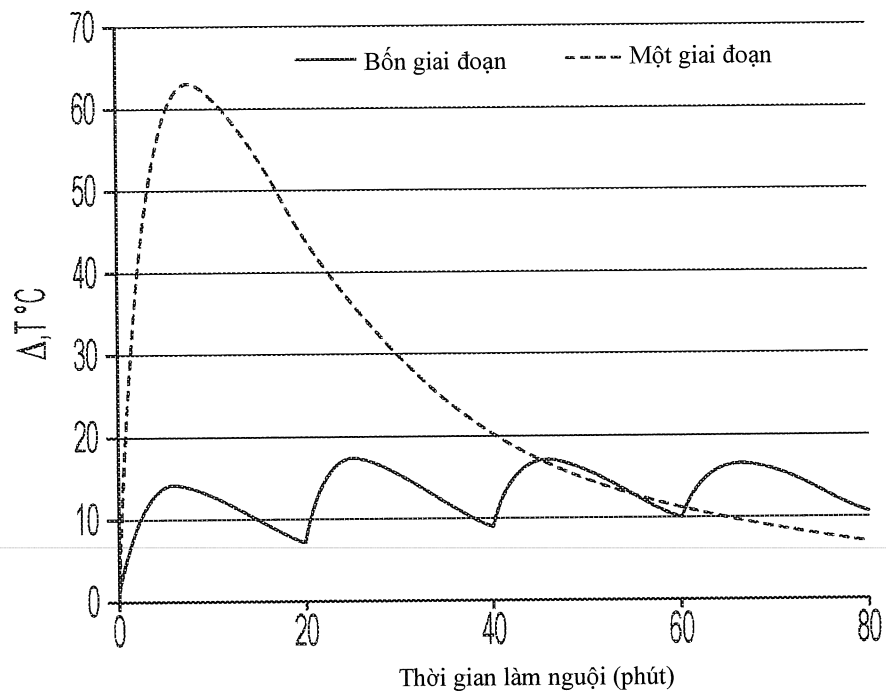


FIG. 21

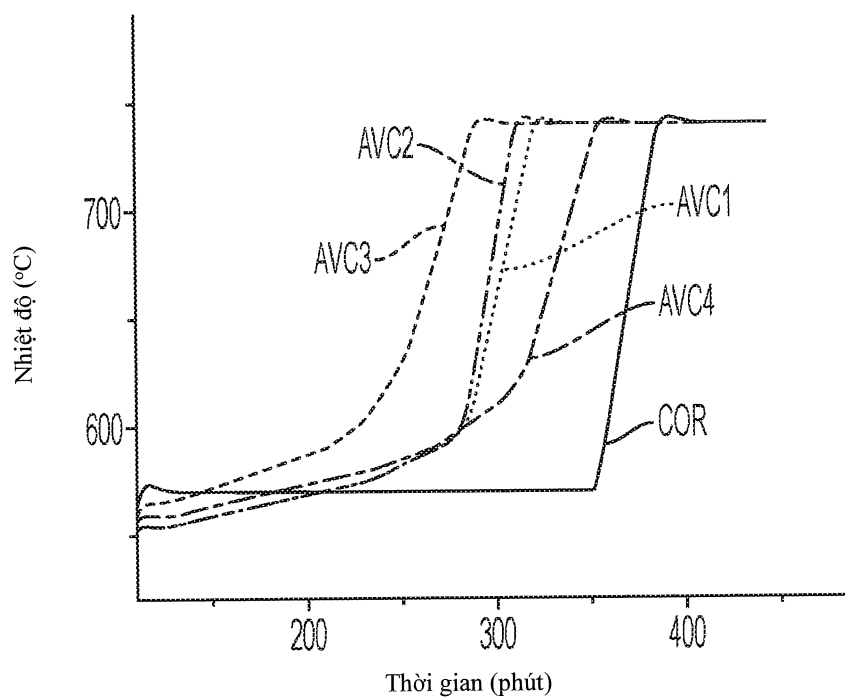


FIG. 22

16/16

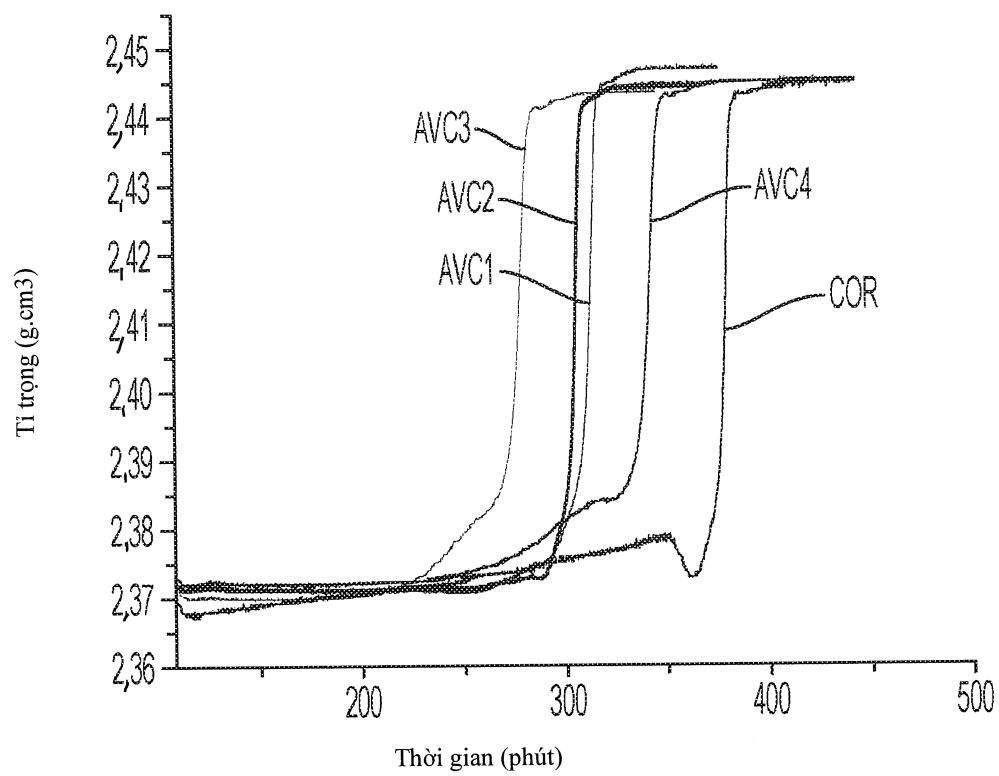


FIG. 23