



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

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

(11)



1-0048096

(51)^{2020.01} C03B 32/02; C03C 21/00; C03C 10/00 (13) B

(21) 1-2021-03178

(22) 05/11/2019

(86) PCT/US2019/059824 05/11/2019

(87) WO 2020/097046 14/05/2020

(30) 62/755,787 05/11/2018 US

(45) 25/06/2025 447

(43) 25/08/2021 401A

(73) CORNING INCORPORATED (US)

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

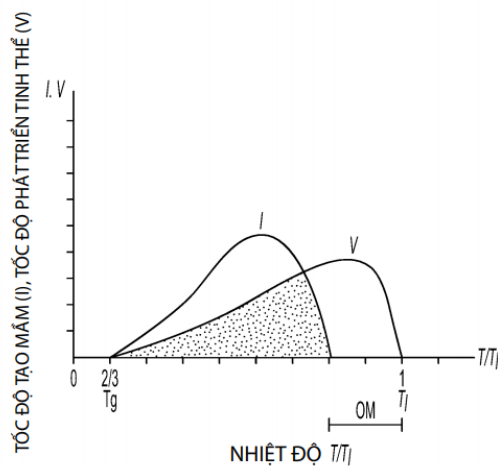
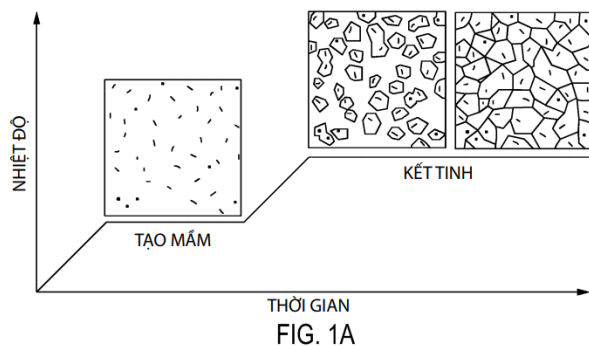
(72) RAI, Rohit (IN); SALTZER, JR., John Robert (US); UKRAINCZYK, Ljerka (US);
WASHINGTON, Sibrina Jean (US); IMMERMANN, Jacob (US).

(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) VẬT PHẨM GÓM THỦY TINH BA CHIỀU

(21) 1-2021-03178

(57) Sáng chế đề cập đến vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều có độ dày nằm trong khoảng từ 0,1 mm đến 2 mm, có mức kiểm soát độ chính xác kích thước là nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 0,1$ mm. Ngoài ra, sáng chế còn đề cập đến phương pháp tạo ra vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều bao gồm bước đặt vật phẩm thủy tinh được tạo mầm vào khuôn, và gia nhiệt vật phẩm thủy tinh được tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh, trong đó vật phẩm thủy tinh được tạo mầm ở trong khuôn trong quá trình gia nhiệt. Sau đó, giữ vật phẩm thủy tinh được tạo mầm ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian đủ để kết tinh vật phẩm thủy tinh được tạo mầm và tạo thành vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều, trong đó vật phẩm thủy tinh được tạo mầm ở trong khuôn trong quá trình giữ, và lấy vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều ra khỏi khuôn.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập chung đến các phương pháp để gồm hóa vật phẩm thủy tinh để tạo thành các vật phẩm gồm-thủy tinh ba chiều (3D) và cụ thể là đề cập đến các phương pháp để gồm hóa các vật phẩm thủy tinh 3D để tạo thành các vật phẩm gồm-thủy tinh ba chiều, và các vật phẩm được tạo thành bằng phương pháp này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Tiếp tục có nhu cầu về vật phủ trong suốt 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 gồm thủy tinh. Lợi ích của việc sử dụng gồm-thủy tinh trong suốt bao gồm độ bền cao vượt mức độ bền của thủy tinh trao đổi ion và khả năng truyền dẫn cao, điều này làm cho gồm-thủy tinh trở thành lựa chọn tốt đối với các thiết bị hiển thị quang học, truyền dẫn vi sóng đối với toàn phổ tần số ăng-ten và đối với việc sạc điện từ.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Khía cạnh thứ nhất bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều có độ dày nằm trong khoảng từ 0,1 mm đến 2 mm, có mức kiểm soát độ chính xác kích thước nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 0,1$ mm.

Khía cạnh thứ hai bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo khía cạnh thứ nhất, có mức truyền dẫn lớn hơn hoặc bằng 85% ở các bước sóng từ 400 nm đến 800 nm, trên độ dày mẫu là 0,8 mm.

Khía cạnh thứ ba bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo khía cạnh bất kỳ trong số khía cạnh thứ nhất hoặc khía cạnh thứ hai, trong đó vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều được gia cường bằng trao đổi ion.

Khía cạnh thứ tư bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ ba, trong đó độ mờ đục là nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%.

Khía cạnh thứ năm bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ tư, trong đó mức lưỡng chiết là nhỏ hơn 5,0 nm.

Khía cạnh thứ sáu bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ năm, trong đó sai lệch về độ phẳng là nhỏ hơn hoặc bằng 0,10 nm.

Khía cạnh thứ bảy bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ sáu, trong đó vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều được gia cường và có ứng suất nén từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa.

Khía cạnh thứ tám bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ bảy, trong đó vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều được gia cường và có ứng suất kéo trung tâm từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa.

Khía cạnh thứ chín bao gồm vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ thứ nhất đến thứ tám, trong đó vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều được gia cường và độ sâu nén lớn hơn hoặc bằng $0,17 \times \text{độ dày}$.

Khía cạnh thứ mười bao gồm phương pháp tạo thành vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều bao gồm các bước: đặt vật phẩm thủy tinh được tạo mầm vào khuôn; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh được tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh, trong đó vật phẩm thủy tinh được tạo mầm ở trong khuôn trong quá trình gia nhiệt; giữ vật phẩm thủy tinh được tạo mầm ở nhiệt độ kết tinh trong thời gian đủ để kết tinh vật phẩm thủy tinh được tạo mầm và tạo thành vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều, trong đó vật phẩm thủy tinh được tạo mầm ở trong khuôn trong quá trình giữ; và lấy vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều ra khỏi khuôn.

Khía cạnh thứ mười một bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ mười, trong đó vật phẩm thủy tinh được tạo mầm chứa pha tinh thể nhỏ hơn hoặc bằng 15% khi nó được đặt trong khuôn.

Khía cạnh thứ mười hai bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười đến mười một, trong đó vật phẩm thủy tinh được tạo mầm chứa pha tinh thể nhỏ hơn hoặc bằng 10% khi nó được đặt trong khuôn.

Khía cạnh thứ mười ba bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười đến mười hai, trong đó nhiệt độ kết tinh là từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 800°C.

Khía cạnh thứ mười bốn bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười đến mười ba, trong đó khoảng thời gian đủ để kết tinh vật phẩm thủy tinh được tạo mầm và tạo thành vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều là từ lớn hơn hoặc bằng 150 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây.

Khía cạnh thứ mười lăm bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười đến mười bốn, trong đó áp suất được áp dụng cho vật phẩm thủy tinh được tạo mầm trong ít nhất một phần của ít nhất một trong số bước gia nhiệt hoặc bước giữ, và áp suất này là từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa.

Khía cạnh thứ mười sáu bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười đến mười lăm, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước làm nguội vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều sau bước giữ.

Khía cạnh thứ mười bảy bao gồm phương pháp tạo ra vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều bao gồm các bước: đặt vật phẩm thủy tinh vô định hình vào khuôn; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh vô định hình đến nhiệt độ tạo mầm, trong đó vật phẩm thủy tinh vô định hình ở trong khuôn trong quá trình gia nhiệt; giữ vật phẩm thủy tinh vô định hình ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian thứ nhất mà đủ để tạo mầm vật phẩm thủy tinh vô định hình và tạo thành vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm, trong đó vật phẩm thủy tinh vô định hình này ở trong khuôn trong quá trình giữ; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh, trong đó vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm ở trong khuôn trong quá trình gia nhiệt; giữ vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian thứ hai mà đủ để kết tinh vật phẩm thủy tinh được tạo mầm và tạo thành vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều, trong

đó vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm ở trong khuôn trong quá trình giữ; và lấy vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều ra khỏi khuôn.

Khía cạnh thứ mười tám bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ mười bảy, trong đó nhiệt độ tạo mầm là từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C .

Khía cạnh thứ mười chín bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười bảy đến mười tám, trong đó khoảng thời gian thứ nhất là từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ.

Khía cạnh thứ hai mươi bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười bảy đến mười chín, trong đó nhiệt độ kết tinh là từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 800°C .

Khía cạnh thứ hai mươi một bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười bảy đến hai mươi, trong đó khoảng thời gian thứ hai là từ lớn hơn hoặc bằng 150 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây.

Khía cạnh thứ hai mươi hai bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười bảy đến hai mươi một, trong đó áp suất được áp dụng cho vật phẩm thủy tinh được tạo mầm trong ít nhất một phần của ít nhất một trong số bước gia nhiệt hoặc bước giữ, và áp suất này là từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa.

Khía cạnh thứ hai mươi ba bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ mười bảy đến hai mươi hai, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước làm nguội vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều sau khi giữ vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian thứ hai.

Khía cạnh thứ hai mươi tư bao gồm phương pháp tạo ra vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều bao gồm các bước: đặt vật phẩm thủy tinh vô định hình vào khuôn; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh vô định hình đến nhiệt độ tạo mầm, trong đó vật phẩm thủy tinh vô định hình ở trong khuôn trong quá trình gia nhiệt; giữ vật phẩm thủy tinh vô định hình ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian đủ để tạo mầm vật phẩm thủy tinh vô định hình và tạo thành vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm, trong đó vật phẩm thủy

tinh vô định hình ở trong khuôn trong quá trình giữ; và lấy vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm ra khỏi khuôn.

Khía cạnh thứ hai mươi lăm bao gồm phương pháp theo khía cạnh thứ hai mươi tư, trong đó nhiệt độ tạo mầm là từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C .

Khía cạnh thứ hai mươi sáu bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ hai mươi tư đến hai mươi lăm, trong đó khoảng thời gian đủ để tạo mầm vật phẩm thủy tinh vô định hình và tạo thành vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm là từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ.

Khía cạnh thứ hai mươi bảy bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ hai mươi tư đến hai mươi sáu, trong đó áp suất được áp dụng cho vật phẩm thủy tinh vô định hình trong ít nhất một phần của ít nhất một trong số bước gia nhiệt hoặc bước giữ, và áp suất này là từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa.

Khía cạnh thứ hai mươi tám bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ hai mươi tư đến hai mươi bảy, trong đó phương pháp còn bao gồm bước làm nguội vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều sau khi giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong một khoảng thời gian.

Khía cạnh thứ hai mươi chín bao gồm phương pháp theo khía cạnh bất kỳ trong số các khía cạnh từ hai mươi tư đến hai mươi tám, trong đó phương pháp này còn bao gồm bước kết tinh vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm sau khi vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm được lấy ra khỏi khuôn.

Các phương án bao gồm phương pháp tạo ra vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều bao gồm các bước: đặt vật phẩm thủy tinh vô định hình vào khuôn; gia nhiệt vật phẩm thủy tinh vô định hình đến nhiệt độ tạo mầm, trong đó vật phẩm thủy tinh vô định hình ở trong khuôn trong quá trình gia nhiệt; giữ vật phẩm thủy tinh vô định hình ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian đủ để tạo mầm vật phẩm thủy tinh vô định hình và tạo thành vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm, trong đó vật phẩm thủy tinh vô định

hình ở trong khuôn trong quá trình giữ; và lấy vật phẩm thủy tinh ba chiều được tạo mầm ra khỏi khuôn.

Các dấu hiệu bổ sung và các ưu điểm sẽ được nêu trong phần mô tả chi tiết sau đây, và phần nào sẽ trở nên rõ ràng với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này từ phần mô tả đó hoặc được thừa nhận bằng cách thực hiện các phương án được mô tả trong bản mô tả này, bao gồm phần mô tả chi tiết sau đây, yêu cầu bảo hộ, cũng như các hình vẽ kèm theo.

Cần hiểu rằng cả phần mô tả chung trên đây và phần mô tả chi tiết dưới đây mô tả các phương án khác nhau và được dự định để đưa ra cái nhìn tổng quan hoặc cốt lõi để hiểu bản chất và đặc điểm của đối tượng được yêu cầu bảo hộ. Các hình vẽ kèm theo được chứa để tạo ra việc hiểu rõ thêm về các phương án thực hiện khác nhau, và được kết hợp vào, và đóng vai trò là một phần của bản mô tả này. Các hình vẽ minh họa các phương án thực hiện khác nhau sẽ được mô tả ở đây, và cùng với phần mô tả đóng vai trò giải thích các nguyên lý và các cách vận hành của đối tượng được yêu cầu bảo hộ.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

FIG. 1A 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. 1B 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;

Các FIG. 2A – 2C là lưu đồ của các quy trình để tạo ra các vật phẩm thủy tinh ba chiều theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây;

FIG. 3A là ảnh chụp vật phẩm gồm thủy tinh 3D theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây;

FIG. 3B là giản đồ mô tả độ lệch của vật phẩm gồm thủy tinh 3D đã được tạo thành so với vật phẩm được thiết kế có sự hỗ trợ của máy tính (computer aided design - CAD) theo các phương án được tiết lộ và mô tả ở đây;

FIG. 4 là ảnh chụp các vật phẩm gồm thủy tinh 3D theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây;

FIG. 5A là ảnh chụp vật phẩm gồm thủy tinh 3D;

FIG. 5B là giản đồ mô tả độ lệch của vật phẩm gồm thủy tinh 3D đã được tạo thành so với vật phẩm được thiết kế CAD;

FIG. 6A là ảnh chụp vật phẩm gồm thủy tinh 3D;

FIG. 6B là giản đồ mô tả độ lệch của vật phẩm gồm thủy tinh 3D đã được tạo thành so với vật phẩm được thiết kế CAD;

FIG. 7A là ảnh chụp vật phẩm gồm thủy tinh 3D;

FIG. 7B là giản đồ mô tả độ lệch của vật phẩm gồm thủy tinh 3D đã được tạo thành so với vật phẩm được thiết kế CAD;

FIG. 8 là ảnh chụp của vật phẩm gồm thủy tinh 3D theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây;

FIG. 9 là ảnh chụp của vật phẩm gồm thủy tinh 3D theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây;

FIG. 10 là biểu đồ thể hiện kết quả của các thử nghiệm rơi lên nhựa đường theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây;

FIG. 11 là biểu đồ thể hiện kết quả của các thử nghiệm rơi lên giấy nhám 80 grit theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây;

Các FIG. 12A – 12C là các biểu đồ thể hiện độ mờ đục, sai lệch về độ phẳng, kiểm soát độ chính xác kích thước, và mức lưỡng chiết của các gồm thủy tinh 3D được nén trong 150 giây dưới dạng hàm số của nhiệt độ nén theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây;

Các FIG. 13A – 13C là các biểu đồ thể hiện độ mờ đục, sai lệch về độ phẳng, kiểm soát độ chính xác kích thước, và mức lưỡng chiết của các gồm thủy tinh 3D được nén ở nhiệt độ 800°C dưới dạng hàm số của thời gian nén theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây; và

Các FIG. 14A – 14C là các biểu đồ thể hiện độ mờ đục, sai lệch về độ phẳng, kiểm soát độ chính xác kích thước, và mức lưỡng chiết của các gồm thủy tinh 3D được

nén ở nhiệt độ 810°C dưới dạng hàm số của thời gian nén theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương án về phương pháp gồm hóa vật phẩm thủy tinh ba chiều 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 bộ phận giống nhau hoặc tương tự nhau. Theo các phương án, vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều có độ dày nằm trong khoảng từ 0,4 mm đến 2 mm, có mức kiểm soát độ chính xác kích thước nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 0,1$ mm được đề xuất. Các phương án này còn bao gồm các phương pháp sản xuất các vật phẩm thủy tinh ba chiều như vậy.

Tham chiếu đến FIG. 1A, để tạo thành gồm thủy tinh, tiền chất thủy tinh 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 có thể được thực hiện, ví dụ, trong lò ủ thủy tinh hoặc lò nung. Như được thể hiện trên FIG. 1A, quy trình tạo mầm tạo thành nhân tinh thể nhỏ trong thủy tinh vô định hình. Ở trạng thái này, vật phẩm duy trì nhiều đặc tính liên quan đến vật phẩm thủy tinh vô định hình và vẫn đủ độ nhớt để có thể định hình 3D. Vật phẩm có thể phát triển khoảng 10% pha tinh thể. 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"). Như được thể hiện trên FIG. 1A, trong giai đoạn kết tinh, các tinh thể lớn hơn phát triển xung quanh mầm tinh thể—mầm này được tạo thành trong giai đoạn tạo mầm—theo thời gian ở nhiệt độ cao. Khi vật phẩm trở nên được kết tinh ngày một nhiều hơn (chẳng hạn như khi tinh thể phát triển ngày càng lớn hơn), các đặc tính của vật phẩm ngày càng giống với gồm tinh thể hơn và vật phẩm không thể tạo hình 3D. Nhiều lần, việc xử lý nhiệt, hoặc quy trình gồm hóa, bao gồm việc gia nhiệt tiền chất thủy tinh đến nhiệt độ tạo mầm, duy trì nhiệt độ tạo mầm trong một khoảng thời gian định trước, gia nhiệt thủy tinh đã tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh, và duy trì nhiệt độ kết tinh trong một khoảng thời gian định trước.

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. 1B. 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 có lợi 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 lấn. Do đó, các tính chất vật lý như độ nhớt được rút ra dưới dạng hàm của thời gian trong cả các bước tạo mầm và phát triển. Tuy nhiên, tốc độ của việc tăng tỷ trọng và/hoặc độ nhớt thay đổi khi chuyển tiếp từ giai đoạn tạo mầm tới giai đoạn phát triển.

Các tấm thủy tinh có thể được làm từ chế phẩm thủy tinh bất kỳ mà thích hợp để tạo ra các vật phẩm gồm thủy tinh, mặc dù cần phải hiểu rằng chế phẩm thủy tinh của các tấm thủy tinh có thể ảnh hưởng đến các đặc tính cơ học và quang học của vật phẩm gồm thủy tinh. Theo các phương án khác nhau, chế phẩm thủy tinh được chọn sao cho vật phẩm gồm thủy tinh thu được có pha tinh thể petalit và pha tinh thể lithi silicat. Theo một số phương án, pha tinh thể petalit và pha tinh thể lithi silicat có mức phần trăm khối lượng cao hơn so với các pha tinh thể khác có trong vật phẩm gồm thủy tinh.

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

Trong các quy trình truyền thống để tạo ra các vật phẩm gồm thủy tinh 3D, tấm tiền chất thủy tinh được tạo ra bằng các quy trình thông thường và được đặt trong khuôn trong khi ở trạng thái hoàn toàn vô định hình (như trước khi thực hiện bước tạo mầm). Tiền chất thủy tinh được tạo thành dạng 3D mong muốn, nhờ đó tạo ra vật phẩm thủy tinh 3D trong khuôn, như bằng cách gia nhiệt và áp dụng áp suất cơ học cho khuôn, trong khoảng thời gian đủ để tạo ra vật phẩm thủy tinh 3D. Khi vật phẩm thủy tinh 3D đã được tạo ra, vật phẩm thủy tinh 3D được gốm hóa theo truyền thống bằng cách lấy vật phẩm thủy tinh 3D ra khỏi khuôn và đặt vật phẩm thủy tinh 3D vào lò nung hoặc lò ủ thủy tinh trong đó vật phẩm thủy tinh 3D được đưa đến nhiệt độ mà gốm hóa vật phẩm thủy tinh 3D, như được bàn luận trên đây, và tạo ra vật phẩm gồm thủy tinh 3D.

Tuy nhiên, trong chu trình gôm hóa này có sự thay đổi thể tích do sự kết tinh, do đó hình dạng 3D được tạo ra thường bị biến dạng. Nói cách khác, vật phẩm thủy tinh 3D thay đổi hình dạng, thường theo những cách bất ngờ và khó kiểm soát, trong quy trình gôm hóa.

Cụ thể hơn là, gôm thủy tinh với pha tinh thể vượt quá khoảng 15% khối lượng không thể tạo thành được hình dạng che phủ thiết bị điện tử tiêu dùng với bán kính cong nhỏ (<10 mm). Một lựa chọn để có được vật phẩm có hình dạng 3D bằng gôm thủy tinh với pha tinh thể $> 15\%$ khối lượng là tạo thành tiền chất thủy tinh, và sau đó gôm hóa vật phẩm 3D thu được. Tuy nhiên, khi vật phẩm 3D được gôm hóa, nó phải trải qua sự đông đặc và thay đổi thể tích. Vật phẩm 3D được đưa đến nhiệt độ tương ứng với độ nhớt thấp trong chu trình gôm hóa trong đó nó có thể dễ dàng bị biến dạng, đặc biệt là khi vật phẩm 3D được làm từ thủy tinh mỏng mà thường được sử dụng làm thủy tinh che phủ thiết bị điện tử tiêu dùng (độ dày nằm trong khoảng từ 0,4 mm đến 1,5 mm). Do đó, để đạt được dung sai chính xác $\leq \pm 0,100$ mm của vật phẩm 3D được gôm hóa được làm từ thủy tinh xanh, vật phẩm 3D được giữ trên khuôn trong quy trình gôm hóa. Quy trình gôm hóa điển hình là kéo dài lâu hơn 1 giờ (hr), điều này khiến cho việc gôm hóa vật phẩm thủy tinh che phủ 3D trên khuôn chính xác là tốn kém. Ngoài ra, với thời gian xử lý trên khuôn lâu và ở độ nhớt thấp trong khoảng thời gian của chu trình gôm hóa, tuổi thọ của khuôn là rất ngắn, do đó làm tăng giá thành của vật phẩm gôm hóa 3D hơn nữa. Do dung sai chặt chẽ đối với các thành phần 3D trong thiết bị điện tử tiêu dùng (chẳng hạn như dung sai nhỏ hơn ± 100 μm) nên sự thay đổi hình dạng này có thể dẫn đến các vật phẩm không thể chấp nhận được.

Do đó, cần thiết có các quy trình để tạo thành các vật phẩm gôm thủy tinh 3D mà ăn khớp chặt chẽ với hình dạng được thiết kế của vật phẩm 3D sau khi quy trình gôm hóa đã được thực hiện. Điều đặc biệt thử thách là phải gôm hóa các vật phẩm thủy tinh mỏng hình dạng 3D có độ dày nằm trong khoảng từ 0,4 mm đến khoảng 2 mm, vì chúng dễ bị biến dạng nếu được gôm hóa theo hình dạng 3D mà không được giữ dưới lực nén giữa 2 khuôn.

Các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây giải quyết các vấn đề nêu trên của quy trình gôm thủy tinh 3D thông thường bằng cách tiến hành ít nhất một phần của quy

trình gồm hóa trong khi vật phẩm ở trong khuôn. Theo các phương án, ít nhất giai đoạn kết tinh của quy trình gồm hóa được tiến hành trong khuôn.

Kết tinh thủy tinh tiền tạo mầm trong khuôn

Theo một số phương án, tấm thủy tinh xanh (còn được gọi là tiền chất thủy tinh hoặc tấm tiền chất thủy tinh) được tạo mầm trong lò nung hoặc lò ủ thủy tinh sử dụng các phương pháp tạo mầm thông thường. Ba lưu đồ của quy trình được thể hiện trên các FIG. 2A – 2C. Mỗi lưu đồ trong các lưu đồ trên các FIG. 2A – 2C bắt đầu với tấm tiền chất thủy tinh và sự tạo mầm trước khi tạo hình 3D. Tuy nhiên, theo các phương án, tấm thủy tinh được xử lý trước khi tạo mầm—như bằng cách tạo hình trước đối với phần mép, mài, đánh bóng, và gia công phần mép bằng cách điều khiển số bằng máy tính (computer numerical control - CNC)—trước khi tạo mầm (các FIG. 2A và 2B). Theo các phương án, tấm thủy tinh được tạo mầm trước khi xử lý như vậy (FIG. 2C). Trong mỗi phương án trong số các phương án được thể hiện trên các FIG. 2A – 2C, việc xử lý thêm—như CNC 3D, đánh bóng, và gia cường (như bằng cách trao đổi ion)—có thể được thực hiện sau bước tạo hình 3D và gồm hóa trong quy trình 2 khuôn, mà được mô tả chi tiết dưới đây. Trước khi giai đoạn kết tinh bắt đầu, vật phẩm thủy tinh được tạo mầm được lấy ra khỏi lò nung hoặc lò ủ thủy tinh và được đặt vào khuôn. Theo các phương án, thủy tinh được tạo mầm có thể được làm nguội từ nhiệt độ tạo mầm đến nhiệt độ trong phòng—hoặc nhiệt độ bất kỳ giữa nhiệt độ tạo mầm và nhiệt độ trong phòng—trước khi đặt thủy tinh được tạo mầm vào khuôn. Bước làm nguội này có thể cho phép các ứng suất trong thủy tinh được tạo mầm được xả bỏ. Thủy tinh được tạo mầm được để đến nhiệt độ trong phòng, và được mài và được đánh bóng thành phôi mẫu để tạo hình 3D. Cách khác, thủy tinh được tạo mầm có thể chỉ được cắt thành hình dạng phôi mẫu và được đặt vào khuôn. Tuy nhiên, theo cách này bề mặt thủy tinh được tạo mầm là nhám và có thể có các khuyết tật bề mặt xảy ra trong quá trình tạo mầm và do đó có thể làm hỏng khuôn và rút ngắn tuổi thọ của khuôn. Do đó, ưu tiên là mài và đánh bóng tấm được tạo mầm trước khi đưa nó vào khuôn. Như đã nêu trên, khi gồm thủy tinh trở nên kết tinh, thì càng khó để tạo hình 3D gồm thủy tinh này. Do đó, theo các phương án trong đó thủy tinh được tạo mầm trước khi đặt nó vào khuôn, thuận lợi là thủy tinh có thể có hàm lượng pha tinh thể thấp nhờ đó nó có thể trở nên đủ nhớt khi

được gia nhiệt trên khuôn để được uốn thành bán kính cong mong muốn để có thể tạo nên vật phẩm thủy tinh 3D. Do đó, theo các phương án, vật phẩm thủy tinh chứa pha tinh thể với lượng nhỏ hơn hoặc bằng 15% khi nó được đặt vào khuôn, chẳng hạn như chứa pha tinh thể với lượng nhỏ hơn hoặc bằng 14%, nhỏ hơn hoặc bằng 13%, nhỏ hơn hoặc bằng 12%, nhỏ hơn hoặc bằng 11%, nhỏ hơn hoặc bằng 10%, nhỏ hơn hoặc bằng 9%, nhỏ hơn hoặc bằng 8%, nhỏ hơn hoặc bằng 7%, nhỏ hơn hoặc bằng 6%, hoặc nhỏ hơn hoặc bằng 5%, ví dụ pha tinh thể chiếm lượng từ 5% đến 15%, hoặc từ 6% đến 14%, hoặc từ 7% đến 13%, hoặc từ 8% đến 12%, hoặc từ 9% đến 11%, bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo các phương án, chế phẩm gồm thủy tinh chứa lithi disilicat với lượng lớn hơn hoặc bằng 40% đến nhỏ hơn hoặc bằng 45%, petalit với lượng từ lớn hơn hoặc bằng 40% đến nhỏ hơn hoặc bằng 45%, và lithi metasilicat với lượng từ lớn hơn hoặc bằng 0% đến nhỏ hơn hoặc bằng 5%.

Mặc dù quy trình tạo mầm theo các phương án này không bị giới hạn cụ thể, nhưng theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở các nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 475°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 500°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 525°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 550°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 575°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 700°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 725°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C, từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C, từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C, từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C, từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 600°C, từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 575°C, từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 550°C, từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng

525°C, từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 500°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 475°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 475°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 500°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C, từ lớn hơn hoặc bằng 525°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C, từ lớn hơn hoặc bằng 550°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 575°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng vừa nêu.

Vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 1,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 2,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 2,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 3,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 3,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,0 giờ, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,5 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 2,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Sau khi vật phẩm thủy tinh được tạo mầm được đặt vào khuôn, vật phẩm thủy tinh được tạo mầm được gia nhiệt đến nhiệt độ kết tinh trong đó vật phẩm thủy tinh được tạo mầm trải qua sự kết tinh trong khi vẫn ở trong khuôn. Trong quy trình gia nhiệt này, thủy tinh được tạo mầm—có độ nhớt mà có thể chịu được sự tạo hình 3D—tuần

theo hình dạng của khuôn và tạo ra vật phẩm gồm thủy tinh 3D. Theo các phương án, thủy tinh nhanh chóng được gia nhiệt đến nhiệt độ kết tinh. Sự gia nhiệt nhanh chóng này làm giảm sự biến dạng bằng cách nhanh chóng phát triển các tinh thể trong thủy tinh được tạo mầm và tạo thành gồm thủy tinh. Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này sẽ hiểu rằng khi số lượng tinh thể đủ được tạo thành trong gồm thủy tinh, thì gồm thủy tinh ít có xu hướng bị hỏng do khuôn. Do đó, bằng cách nhanh chóng gia nhiệt thủy tinh được tạo mầm đến nhiệt độ kết tinh, các tinh thể được tạo thành nhanh chóng hơn và số lần mà thủy tinh có xu hướng bị khuyết tật được giảm xuống. Theo các phương án, nhiệt độ kết tinh là nhiệt độ mà dẫn đến pha tinh thể là 70% hoặc lớn hơn và pha thủy tinh là 30% hoặc nhỏ hơn trong vật phẩm thủy tinh được tạo hình 3D. Vật phẩm thủy tinh 3D được tạo ra từ tấm được tạo mầm có thể được kết tinh ở nhiệt độ lớn hơn từ lớn hơn hoặc bằng 50°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 100°C so với nhiệt độ mà được sử dụng trong các quy trình gồm hóa thông thường để gồm hóa tấm thủy tinh mà là một phần của một chồng trong lò ủ thủy tinh. Nhiệt độ gia tăng này cho phép rút ngắn thời gian phát triển tinh thể từ khoảng 0,5 đến 1 giờ (trong các quy trình thông thường) đến khoảng từ 1 đến 2 phút. Theo các phương án, nhiệt độ kết tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 700°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 725 °C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 750°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 775°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, nhiệt độ kết tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 825°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 800°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 775°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, nhiệt độ kết tinh có thể

từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 775°C , chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Vật phẩm thủy tinh được tạo mầm có thể được giữ ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 100 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 125 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 150 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 175 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 200 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 225 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 250 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 275 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 300 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 325 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 350 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 375 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 400 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 400 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 425 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh được tạo mầm có thể được giữ ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 425 giây, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 375 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 350 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 325 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 300 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 275 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 250 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 225 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 200 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 175 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 125 giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 100 giây bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh được tạo mầm có thể được giữ ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 175 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 425 giây, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 200 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 225 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 375 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 250 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 350 giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 275 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 325 giây bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Sau khi thủy tinh được tạo mầm được gia nhiệt và giữ ở nhiệt độ kết tinh, nó từ từ được làm nguội về nhiệt độ trong phòng ở tốc độ từ lớn hơn hoặc bằng $0,1\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $8\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ và tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong khoảng đã nêu, ví dụ từ lớn hơn hoặc bằng $0,2\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $7,5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $0,3\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $7\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $0,4\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $6,5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $0,5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $6\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $0,6\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $5,5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $0,7\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $0,8\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $4,5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $0,9\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $4\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $1,0\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $3,5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $1,1\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $3\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $1,2\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $2,5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $1,3\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $2\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $1,4\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $2\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng $1,5\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ đến nhỏ hơn hoặc bằng $2\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$. Theo các phương án, thủy tinh có thể được làm nguội chủ động từ nhiệt độ kết tinh đến nhiệt độ trong phòng. Theo một số phương án, thủy tinh có thể được để nguội thụ động từ nhiệt độ kết tinh đến nhiệt độ trong phòng bằng cách cho thủy tinh tiếp xúc với môi trường mà có nhiệt độ trong phòng.

Theo các phương án, áp suất cơ học có thể được áp dụng lên thủy tinh trong quy trình kết tinh qua khuôn. Không bị giới hạn bởi lý thuyết cụ thể bất kỳ, việc áp dụng áp suất cho thủy tinh qua khuôn trong quy trình kết tinh làm giảm sự biến dạng của thủy tinh trong quy trình kết tinh bằng cách cản trở vật lý sự chuyển động và giãn nở của

thủy tinh trong khuôn, và việc áp dụng áp suất này có thể cho phép gia nhiệt nhanh thủy tinh đến nhiệt độ kết tinh. Ngoài ra, và không bị giới hạn bởi lý thuyết cụ thể bất kỳ, việc áp dụng áp suất cho thủy tinh qua khuôn cũng có thể cho phép sự kết tinh được thực hiện trong khoảng thời gian ngắn hơn, chẳng hạn như các khoảng thời gian được bộc lộ trên đây.

Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,40 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,50 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,60 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,75 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,80 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,90 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,90 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,80 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,75 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,60 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,40 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,25 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,90 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,40 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,80 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,50 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,75 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Khi thủy tinh đã được kết tinh để tạo thành vật phẩm gồm thủy tinh 3D và được làm nguội xuống nhiệt độ trong phòng, vật phẩm gồm thủy tinh 3D có thể được hoàn

thiện bằng các quy trình hoàn thiện truyền thống và thường đã được biết, ví dụ gia công được điều khiển số bằng máy tính (CNC), mài, đánh bóng, gia cường (ví dụ, gia cường hóa học hoặc nhiệt), và các quy trình tương tự.

Tạo mầm và kết tinh thủy tinh trong khuôn

Theo một số phương án, tấm thủy tinh xanh, vô định hình được tạo mầm và kết tinh trong khuôn. Theo một số phương án, thủy tinh vô định hình có thể được làm nguội xuống nhiệt độ trong phòng trước khi đặt thủy tinh vô định hình vào khuôn. Bước làm nguội này có thể cho phép các ứng suất trong thủy tinh vô định hình được xả bỏ.

Khi thủy tinh vô định hình được đặt vào khuôn, thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 475°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 500°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 525°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 550°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 575°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 700°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 725°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C , chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 600°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 575°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 550°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 525°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 500°C , hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 475°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 475°C đến

nhỏ hơn hoặc bằng 725°C , chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 500°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C , từ lớn hơn hoặc bằng 525°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C , từ lớn hơn hoặc bằng 550°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C , hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 575°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng vừa nêu.

Vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 1,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 2,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 2,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 3,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 3,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,0 giờ, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,5 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 2,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Trong quy trình tạo mầm này, thủy tinh tuân theo hình dạng của khuôn và tạo thành vật phẩm thủy tinh 3D được tạo mầm.

Sau khi tạo mầm, vật phẩm thủy tinh 3D được gia nhiệt đến nhiệt độ kết tinh trong đó vật phẩm thủy tinh được tạo mầm trải qua sự kết tinh trong khi vẫn ở trong khuôn. Theo các phương án, thủy tinh nhanh chóng được gia nhiệt đến nhiệt độ kết tinh. Sự gia nhiệt nhanh chóng này làm giảm sự biến dạng bằng cách nhanh chóng phát triển các tinh thể trong thủy tinh được tạo mầm và tạo thành gốm thủy tinh. Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này sẽ hiểu rằng khi số lượng tinh thể đủ được tạo thành trong gốm thủy tinh, thì gốm thủy tinh ít có xu hướng có khuyết tật do khuôn. Do đó,

bằng cách gia nhiệt nhanh chóng vật phẩm thủy tinh, các tinh thể nhanh chóng được tạo thành làm giảm lượng thời gian mà các khuyết tật có thể được tạo thành. Theo các phương án, nhiệt độ kết tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 700°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 725 °C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 750°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 775°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, nhiệt độ kết tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 825°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 800°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 775°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, nhiệt độ kết tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 775°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Vật phẩm thủy tinh được tạo mầm có thể được giữ ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 100 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 125 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 150 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 175 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 200 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 225 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 250 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 275 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 300 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 325 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 350 giây

đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 375 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 400 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 400 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 425 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 450 giây bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh được tạo mầm có thể được giữ ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 425 giây, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 375 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 350 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 325 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 300 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 275 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 250 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 225 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 200 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 175 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 125 giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 90 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 100 giây bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh được tạo mầm có thể được giữ ở nhiệt độ kết tinh trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 175 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 425 giây, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 200 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 225 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 375 giây, từ lớn hơn hoặc bằng 250 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 350 giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 275 giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 325 giây bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Sau khi thủy tinh được tạo mầm được gia nhiệt và được giữ ở nhiệt độ kết tinh, nó được từ từ làm nguội về nhiệt độ trong phòng ở tốc độ 0,1 °C/giây đến 8,0 °C/giây bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong khoảng này, ví dụ từ lớn hơn hoặc bằng 0,2 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 7,5 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,3 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 7 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,4 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 6,5 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,5 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 6 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,6 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 5,5

°C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,7 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 5 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,8 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,9 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 4 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,1 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 3 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,2 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,3 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 2 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,4 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 2 °C/giây, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,5 °C/giây đến nhỏ hơn hoặc bằng 2 °C/giây. Theo các phương án, thủy tinh có thể được làm nguội chủ động từ nhiệt độ kết tinh đến nhiệt độ trong phòng. Theo một số phương án, thủy tinh có thể được để nguội thụ động từ nhiệt độ kết tinh đến nhiệt độ trong phòng bằng cách cho thủy tinh tiếp xúc với môi trường mà có nhiệt độ trong phòng.

Theo một số phương án, áp suất cơ học có thể được áp dụng lên thủy tinh trong các quy trình tạo mầm và kết tinh qua khuôn. Không bị giới hạn bởi lý thuyết cụ thể bất kỳ, việc áp dụng áp suất lên thủy tinh qua khuôn trong các quy trình tạo mầm và kết tinh làm giảm sự biến dạng của thủy tinh trong các quy trình tạo mầm và kết tinh bằng cách cản trở vật lý sự chuyển động và giãn nở của thủy tinh trong khuôn, và việc áp dụng áp suất này có thể cho phép gia nhiệt nhanh thủy tinh đến nhiệt độ kết tinh. Ngoài ra, và không bị giới hạn bởi lý thuyết cụ thể bất kỳ, việc áp dụng áp suất cho thủy tinh qua khuôn cũng có thể cho phép sự kết tinh được thực hiện trong khoảng thời gian ngắn hơn, chẳng hạn như các khoảng thời gian được bộc lộ trên đây.

Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,40 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,50 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,60 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,75 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,80 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,90 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn

hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,90 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,80 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,75 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,60 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,40 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,25 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,90 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,40 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,80 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,50 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,75 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Khi thủy tinh đã được kết tinh để tạo thành vật phẩm gồm thủy tinh 3D và được làm nguội xuống nhiệt độ trong phòng, vật phẩm gồm thủy tinh 3D có thể được hoàn thiện bằng các quy trình hoàn thiện truyền thống và thường đã được biết, ví dụ gia công được điều khiển số bằng máy tính (CNC), mài, đánh bóng, gia cường (ví dụ, gia cường hóa học hoặc nhiệt), và các quy trình tương tự.

Tạo mầm thủy tinh trong khuôn

Theo một số phương án, tấm thủy tinh xanh, vô định hình được tạo mầm trong khuôn và kết tinh ở ngoài khuôn này. Theo một số phương án, thủy tinh vô định hình có thể được làm nguội xuống nhiệt độ trong phòng trước khi đặt thủy tinh vô định hình vào khuôn. Bước làm nguội này có thể cho phép các ứng suất trong thủy tinh vô định hình được xả bỏ.

Khi thủy tinh vô định hình được đặt vào khuôn, thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 475°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 500°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 525°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 550°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ

lớn hơn hoặc bằng 575°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , từ lớn hơn hoặc bằng 700°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C , hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 725°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C , chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 600°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 575°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 550°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 525°C , từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 500°C , hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 475°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được tạo mầm ở nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 475°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C , chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 500°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C , từ lớn hơn hoặc bằng 525°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C , từ lớn hơn hoặc bằng 550°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C , hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 575°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng vừa nêu.

Vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 1,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 2,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 2,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 3,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 3,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng

1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,0 giờ, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 1,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,5 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, vật phẩm thủy tinh vô định hình có thể được giữ ở nhiệt độ tạo mầm trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 1,5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 2,0 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 giờ bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Trong quy trình tạo mầm này, thủy tinh tuân theo hình dạng của khuôn và tạo thành vật phẩm thủy tinh 3D được tạo mầm.

Theo một số phương án, áp suất cơ học có thể được áp dụng lên thủy tinh trong quy trình tạo mầm qua khuôn. Không bị giới hạn bởi lý thuyết cụ thể bất kỳ, việc áp dụng áp suất lên thủy tinh qua khuôn trong quy trình tạo mầm làm giảm sự biến dạng của thủy tinh trong quy trình tạo mầm bằng cách cản trở vật lý sự chuyển động và giãn nở của thủy tinh trong khuôn.

Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,40 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,50 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,60 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,75 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,80 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,90 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 1,00 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,90 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,80 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,75 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,60 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,40 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,25 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy

tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,90 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,40 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,80 MPa, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 0,50 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,75 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, áp suất được áp dụng cho thủy tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 0,10 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,25 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,50 MPa bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Sau khi tạo mầm, vật phẩm thủy tinh 3D được tạo mầm được lấy ra khỏi khuôn và sau đó được gia nhiệt đến nhiệt độ kết tinh bên ngoài của khuôn, ví dụ, trong lò nung hoặc lò ủ thủy tinh. Cần hiểu rằng quy trình kết tinh thông thường bất kỳ có thể được sử dụng để kết tinh vật phẩm thủy tinh 3D được tạo mầm. Theo các phương án, nhiệt độ kết tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 700°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 725 °C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, từ lớn hơn hoặc bằng 750°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 775°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 850°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, nhiệt độ kết tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 825°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 800°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 775°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 700°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 675°C, từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 650°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 600°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 625°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Theo một số phương án, nhiệt độ kết tinh có thể từ lớn hơn hoặc bằng 625°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 775°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 650°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 750°C, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 675°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 725°C bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Khoảng thời gian của quy trình

kết tinh có thể là khoảng thời gian thích hợp bất kỳ, bao gồm các khoảng thời gian được bộc lộ trên đây.

Mặc dù các phương pháp theo các phương án có thể được sử dụng trong chế phẩm tiền chất thủy tinh bất kỳ đã biết, theo một số phương án, tiền chất thủy tinh có thành phần, trên cơ sở oxit, nằm trong các khoảng được nêu trong bảng 1 dưới đây:

Bảng 1

Oxit	% mol
SiO ₂	60-72
Al ₂ O ₃	0-6
Li ₂ O	20-32
B ₂ O ₃	0-2
Na ₂ O	0-2
K ₂ O	0-2
P ₂ O ₅	0,7-2,2
ZrO ₂	1,7-4,5
SnO ₂	0,05-0,5
Fe ₂ O ₃	0-0,5
MgO	0-1
ZnO	0-1
BaO	0-1
SrO	0-1
La ₂ O ₃	0-1
GeO ₂	0-1
Ta ₂ O ₅	0-1

Theo một số phương án, tiền chất thủy tinh có thành phần, trên cơ sở oxit, như được thể hiện trong bảng 2 dưới đây:

Bảng 2

Oxit	% mol	% mol	% mol
SiO ₂	70,65	69,35	68,34
Al ₂ O ₃	4,20	3,73	2,71
Li ₂ O	22,10	21,68	21,36
Na ₂ O	0,00	0,49	1,93
K ₂ O	0,00	0,74	0,72
P ₂ O ₅	0,90	0,98	0,97
ZrO ₂	2,00	2,94	3,87
SnO ₂	0,15	0,10	0,10
B ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00
Li ₂ O/R ₂ O	1,00	0,95	0,89
R ₂ O/Al ₂ O ₃	5,26	6,14	8,88

Khi thủy tinh đã được kết tinh để tạo thành vật phẩm gồm thủy tinh 3D và được làm nguội xuống nhiệt độ trong phòng, vật phẩm gồm thủy tinh 3D có thể được hoàn thiện bằng các quy trình hoàn thiện truyền thống và thường đã được biết, ví dụ gia công được điều khiển số bằng máy tính (CNC), mài, đánh bóng, gia cường (ví dụ, gia cường hóa học hoặc nhiệt), và các quy trình tương tự.

Theo các phương án, gốm thủy tinh 3D có thể được gia cường hóa học, chẳng hạn như bằng cách gia cường bằng trao đổi ion. Việc gia cường bằng trao đổi ion có thể được đề xuất bằng cách cho gốm thủy tinh 3D tiếp xúc với muối nóng chảy, chẳng hạn như bằng cách ngâm gốm thủy tinh 3D trong bể muối nóng chảy, hoặc bằng cách áp dụng muối nóng chảy lên một hoặc nhiều bề mặt của gốm thủy tinh 3D, chẳng hạn như bằng cách phun hoặc cách áp dụng khác muối nóng chảy lên một hoặc nhiều bề mặt của gốm thủy tinh 3D. Theo các phương án, muối nóng chảy bao gồm các nitrat kiềm (chẳng hạn như kali nitrat (KNO₃), natri nitrat (NaNO₃), và lithi nitrat (LiNO₃)), các nitrit kiềm (chẳng hạn như kali nitrit (KNO₂), natri nitrit (NaNO₂), và lithi nitrit (LiNO₂)), và axit silicic. Các kết hợp khác nhau của các nitrat kiềm, các nitrit kiềm, và axit silicic có thể được sử dụng. Theo các phương án, muối nóng chảy có thể chứa KNO₃ với lượng từ

lớn hơn hoặc bằng 50,0% khối lượng đến nhỏ hơn hoặc bằng 70,0% khối lượng, NaNO_3 với lượng từ lớn hơn hoặc bằng 30,0% khối lượng đến nhỏ hơn hoặc bằng 50,0% khối lượng. Theo một số phương án, muối nóng chảy có thể bao gồm một hoặc nhiều trong số các muối LiNO_3 , NaNO_2 , và axit silicic được bổ sung làm các phần gia tăng vượt trội với lượng từ lớn hơn hoặc bằng 0,1% khối lượng đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,7% khối lượng. Các phần gia tăng vượt trội, như được sử dụng ở đây, để chỉ việc bổ sung thành phần với lượng tính theo 100% chế phẩm. Ví dụ đơn giản hóa và không giới hạn là, khi muối nóng chảy chứa 70 g (70% khối lượng) KNO_3 và 30 g (30% khối lượng) NaNO_3 , phần gia tăng vượt trội 1% khối lượng LiNO_3 sẽ là 1 g LiNO_3 (tức là, 1% của 100 g của KNO_3 và NaNO_3). Bể muối nóng chảy có thể được gia nhiệt đến nhiệt độ từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 600°C, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 450°C đến nhỏ hơn hoặc bằng 550°C, hoặc khoảng 500°C. Theo các phương án, gốm thủy tinh 3D có thể được xử lý trong bể muối nóng chảy trong khoảng thời gian lớn hơn hoặc bằng 3 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 8 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 4 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 8 giờ, từ lớn hơn hoặc bằng 5 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 8 giờ, hoặc từ lớn hơn hoặc bằng 6 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 8 giờ. Theo các phương án, gốm thủy tinh 3D có thể được xử lý trong bể muối nóng chảy trong khoảng thời gian từ lớn hơn hoặc bằng 3 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 5 giờ, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 3 giờ đến nhỏ hơn hoặc bằng 4 giờ.

Đã phát hiện ra rằng các vật phẩm gốm thủy tinh 3D được sản xuất theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây cho phép khuếch tán nhanh hơn các ion từ bể muối nóng chảy vào vật phẩm thủy tinh so với các vật phẩm thủy tinh mà được gốm hóa bằng cách sử dụng lò ủ thủy tinh. Không bị giới hạn bởi lý thuyết cụ thể bất kỳ, tin rằng việc khuếch tán nhanh hơn các ion từ bể muối nóng chảy vào vật phẩm gốm thủy tinh 3D diễn ra do lịch sử nhiệt của các gốm thủy tinh 3D được tạo ra theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây là khác với lịch sử nhiệt của các vật phẩm thủy tinh được tạo ra trong lò ủ thủy tinh. Cụ thể là, các vật phẩm mà được gốm hóa trong lò ủ thủy tinh được làm nguội từ từ để kiểm soát độ cong vênh, trong khi các vật phẩm gốm thủy tinh 3D được tạo ra theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây có thể nhanh chóng làm nguội các vật phẩm gốm thủy tinh 3D. Các tính chất đạt được bằng quy trình

trao đổi ion cải tiến này trên các vật phẩm gốm thủy tinh 3D được mô tả dưới đây và trong các ví dụ kèm theo.

Sau khi bước gia cường đã được thực hiện đối với gốm thủy tinh 3D, theo các phương án, gốm thủy tinh 3D có ứng suất nén (compressive stress - CS) từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 345 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 350 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 355 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 360 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 365 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 370 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 375 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 380 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 385 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 390 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 395 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 395 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 400 MPa, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương án, sau khi bước gia cường hóa học đã được thực hiện đối với gốm thủy tinh 3D, gốm thủy tinh 3D có CS từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 395 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 390 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 385 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 380 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 375 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 370 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 365 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 360 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 355 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 350 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 340 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 345 MPa, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương án, sau khi bước gia cường hóa học đã được thực hiện đối với gốm thủy tinh 3D, gốm thủy tinh 3D có CS từ lớn hơn hoặc bằng 200 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 395 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 250 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 390 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 300 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 385 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 360 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 380 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 325 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 375 MPa và tất cả các khoảng, và các

khoảng phụ nằm trong các khoảng này. CS được đo bằng cách sử dụng hệ thống đo ứng suất màng (film stress measurement - FSM) và đo ứng suất nén gần bề mặt.

Liên quan đến việc đo FSM, việc đo này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các thiết bị có trên thị trường, ví dụ FSM-6000, được sản xuất bởi công ty Orihara Industrial Co., Ltd. (Japan). Các phép đo ứng suất bề mặt dựa vào phép đo chính xác hệ số quang ứng suất (SOC - stress optical coefficient), liên quan đến tính lưỡng chiết của gốm thủy tinh. SOC được đo theo Quy trình C (Phương pháp đĩa thủy tinh - Glass Disc Method) được mô tả trong tiêu chuẩn ASTM C770-16, với tiêu đề “Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient,” nội dung của tiêu chuẩn này được kết hợp toàn bộ vào bản mô tả này bằng cách viện dẫn.

Sau khi bước gia cường hóa học đã được thực hiện đối với gốm thủy tinh 3D, theo các phương án, gốm thủy tinh 3D có ứng suất kéo trung tâm (central tension - CT) từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 105 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 110 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 115 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 120 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 125 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 130 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 135 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 140 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 145 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 150 MPa, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương án, sau khi bước gia cường hóa học đã được thực hiện đối với gốm thủy tinh 3D, gốm thủy tinh 3D có CT từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 145 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 140 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 135 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 130 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 125 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 120 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 115 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 110 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 100 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 105 MPa, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương

án, sau khi bước gia cường hóa học đã được thực hiện đối với gốm thủy tinh 3D, gốm thủy tinh 3D có CT từ lớn hơn hoặc bằng 90 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 145 MPa, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 110 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 140 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 115 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 135 MPa, từ lớn hơn hoặc bằng 120 MPa đến nhỏ hơn hoặc bằng 130 MPa, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. CT được đo bằng SLP 2000 (405 nm) sử dụng khớp đa thức bậc sáu.

Liên quan đến SLP 2000 (405 nm) sử dụng khớp đa thức bậc sáu, phép đo này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng máy đo ứng suất quang đàn hồi ánh sáng tán xạ Orihara SLP 2000 hoạt động ở 405 nm được sử dụng để thu được độ sâu nén và ứng suất kéo trung tâm. Bước sóng 405 nm có thể đặc biệt có lợi đối với gốm thủy tinh trong suốt vì người ta cho rằng bước sóng 405 nm làm giảm thiểu vết đốm. Tuy nhiên, có thể sử dụng bước sóng cao hơn (ví dụ, 633 nm), mặc dù nó có thể làm tăng đáng kể vết đốm. Theo một số phương án như vậy, vết đốm có thể được tính trung bình bằng cách di chuyển mẫu trong khi đo

Orihara SLP 2000 bao gồm ống kính viễn tâm phóng đại 2x tích hợp, cho phép trường quan sát của máy ảnh lên đến 600 μm theo hướng sâu. Tuy nhiên, do bản chất chỉ số khúc xạ cao của gốm thủy tinh, độ cảm nhận độ sâu có thể được mở rộng đến khoảng 800 μm , cho phép SLP 2000 được sử dụng để đo biên dạng ứng suất đầy đủ của các vật phẩm gốm thủy tinh khác nhau được mô tả ở đây.

Khi hoạt động, một diot laze ở bước sóng 405 nm được điều biến pha định kỳ thông qua bộ làm chậm biến đổi tinh thể lỏng trước khi đi vào gốm thủy tinh. Do sự phân bố ứng suất trong gốm thủy tinh, ánh sáng tán xạ trải qua sự thay đổi về cường độ và pha khi nó truyền qua độ dày của gốm thủy tinh. Trong khi ánh sáng tán xạ theo mọi hướng, máy ảnh đặt nghiêng 45° so với bề mặt của gốm thủy tinh sẽ chụp thành phần thẳng đứng của các dao động cường độ dọc theo đường đi của tia laze. Sự dịch pha trải qua tại mỗi điểm dọc theo đường đi của tia laze được ghi lại thông qua phân tích hình ảnh và ứng suất bên trong σ có thể được suy ra theo phương trình (2) sau:

$$\sigma = \left(\frac{1}{\beta}\right) \left(\frac{\lambda}{360}\right) \left(\frac{d\varphi}{dx}\right) \quad (2)$$

trong đó λ là bước sóng của laze, β là hệ số quang ứng suất (stress optical coefficient-SOC), ϕ là độ dịch pha và x là độ dài quang trình.

Phần mềm SLP 2000 cung cấp màn hình trực tiếp của chùm tia laze bên trong mẫu. Theo các phương án khác nhau, sự khớp đa thức bậc 6 có thể được sử dụng để tạo ra các kết quả nhất quán trên các mẫu gốm thủy tinh khác nhau. Tuy nhiên, khu vực xử lý, bước sóng laze, và chức năng làm khớp thích hợp có thể thay đổi tùy thuộc vào phương án cụ thể.

Sau khi bước gia cường hóa học đã được thực hiện đối với gốm thủy tinh 3D, theo các phương án, gốm thủy tinh 3D có độ sâu nén (DOC) lớn hơn hoặc bằng 0,17*độ dày. DOC được đo bằng SLP 2000 (405 nm) sử dụng khớp đa thức bậc sáu.

Hiệu quả của bước trao đổi ion có thể thể hiện ở kết quả thử nghiệm rơi của vật phẩm gốm thủy tinh 3D. Mặc dù bước trao đổi ion được thực hiện trong khoảng thời gian ngắn hơn so với các vật phẩm được gốm hóa trong lò ủ thủy tinh, các gốm thủy tinh 3D theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây thể hiện khả năng tốt bằng hoặc thậm chí tốt hơn so với được gốm hóa trong lò ủ thủy tinh. Theo các phương án, vật phẩm gốm thủy tinh 3D còn nguyên sau 20 lần hoặc nhiều lần hơn thế để bề mặt rộng của vật phẩm gốm thủy tinh 3D từ 1 mét rơi lên bề mặt nhựa đường, chẳng hạn như 22 lần rơi hoặc nhiều lần rơi hơn thế, 25 lần rơi hoặc nhiều lần rơi hơn thế, 27 lần rơi hoặc nhiều lần rơi hơn thế, hoặc 30 lần rơi hoặc nhiều lần rơi hơn thế mà không có hư hỏng nào do vỡ thủy tinh.

Ngoài ra, các thử nghiệm rơi được thực hiện bằng cách để rơi mặt rộng của các gốm thủy tinh 3D lên giấy nhám 80 grit thả rơi ở độ cao tăng dần bắt đầu từ 30 cm với số gia 10cm, để xác định độ cao mà thủy tinh bị vỡ. Theo các phương án, 50% trở lên trong số các gốm thủy tinh 3D được thử nghiệm rơi không vỡ từ 150 xăng-ti-mét (cm) hoặc cao hơn, chẳng hạn như 155 cm hoặc cao hơn, 160 cm hoặc cao hơn, 165 cm hoặc cao hơn, 170 cm hoặc cao hơn, 175 cm hoặc cao hơn, 180 cm hoặc cao hơn, 185 cm hoặc cao hơn, 190 cm hoặc cao hơn, hoặc 195 cm hoặc cao hơn. Giới hạn trên của thử nghiệm này là 220 cm.

Theo các phương án, gốm thủy tinh 3D có độ mờ đục nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%, chẳng hạn như nhỏ hơn hoặc bằng 0,35%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,30%, nhỏ hơn hoặc

bằng 0,25%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,20%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,15%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,10%, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương án, độ mờ đục là nhỏ hơn hoặc bằng 0,15% và lớn hơn hoặc bằng 0,10%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,14% và lớn hơn hoặc bằng 0,10%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,13% và lớn hơn hoặc bằng 0,10%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,12% và lớn hơn hoặc bằng 0,10%, nhỏ hơn hoặc bằng 0,11% và lớn hơn hoặc bằng 0,10%, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Độ mờ đục được đo bằng cách sử dụng máy đo độ mờ đục- chuẩn tiêu chuẩn BYK-Gardner (standard BYK-Gardner haze-guard meter).

Ngoài ra, các gồm thủy tinh 3D được tạo ra theo các phương pháp được bộc lộ và mô tả ở đây có mức lưỡng chiết tương tự như hoặc cải thiện hơn so với gồm thủy tinh được gồm hóa trong lò ủ thủy tinh. Theo các phương án, các gồm thủy tinh 3D có mức lưỡng chiết nhỏ hơn 5,0 nm, chẳng hạn như nhỏ hơn hoặc bằng 4,7 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 4,2 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 3,7 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 3,2 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 2,7 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 2,5 nm, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương án, các gồm thủy tinh 3D có mức lưỡng chiết từ lớn hơn hoặc bằng 2,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, chẳng hạn như lớn hơn hoặc bằng 2,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,2 nm, lớn hơn hoặc bằng 2,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,0 nm, lớn hơn hoặc bằng 2,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,7 nm, lớn hơn hoặc bằng 2,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,5 nm, lớn hơn hoặc bằng 2,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,2 nm, lớn hơn hoặc bằng 2,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 3,0 nm, lớn hơn hoặc bằng 2,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 2,7 nm, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương án, các gồm thủy tinh 3D có mức lưỡng chiết từ lớn hơn hoặc bằng 2,7 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 3,0 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 3,2 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 3,5 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 3,7 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 4,0 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 4,2 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 4,5 nm, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Mức lưỡng chiết được đo theo sự truyền dẫn sử dụng hệ thống đo mức lưỡng chiết Stress Photonics GFP 1000.

Bằng cách sử dụng các phương pháp tạo ra các vật phẩm gốm thủy tinh 3D nêu trên, các vật phẩm gốm thủy tinh 3D có thể có kích thước rất giống với kích thước của kiểu dáng vật phẩm 3D, chẳng hạn như vật phẩm 3D được thiết kế bằng CAD. Khác biệt giữa vật phẩm gốm thủy tinh 3D được tạo thành và vật phẩm 3D được thiết kế có thể được đề cập là mức kiểm soát độ chính xác kích thước và có thể được đo ở điểm bất kỳ theo $\pm x$ mm. Theo các phương án, vật phẩm gốm thủy tinh 3D có độ dày nằm trong khoảng từ 0,1 và 2 mm có thể có mức kiểm soát độ chính xác kích thước nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 0,1$ mm, chẳng hạn như nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 0,05$ mm bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu. Các độ lệch so với CAD được đo bằng cách sử dụng hệ thống quét 3D ánh sáng trắng ATOS GOM, và dữ liệu được phân tích bằng cách sử dụng phần mềm Rapidform XOR để thu được các độ lệch so với CAD lý tưởng. Vật phẩm gốm thủy tinh 3D cũng có thể có mức truyền dẫn lớn hơn hoặc bằng 85% ở các bước sóng ánh sáng nằm trong khoảng từ 500 nm đến 800 nm trên mẫu có độ dày 1 mm trong đó các phép đo được thực hiện ở các số gia bước sóng 1 nm và sau đó được tính trung bình trong khoảng bước sóng, chẳng hạn như lớn hơn hoặc bằng 90% ở các bước sóng ánh sáng nằm trong khoảng từ 500 nm đến 800 nm, hoặc lớn hơn hoặc bằng 95% ở các bước sóng ánh sáng nằm trong khoảng từ 500 nm đến 800 nm bao gồm tất cả các khoảng và các khoảng phụ trong các khoảng đã nêu.

Ngoài mức kiểm soát độ chính xác kích thước được cải thiện, các gốm thủy tinh 3D được tạo ra theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây có sai lệch về độ phẳng là nhỏ hơn hoặc bằng 0,10 nm, chẳng hạn như nhỏ hơn hoặc bằng 0,07 nm, nhỏ hơn hoặc bằng 0,05 nm, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương án, các gốm thủy tinh 3D có sai lệch về độ phẳng từ lớn hơn hoặc bằng 0,05 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,10 nm, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,06 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,10 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 0,07 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,10 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 0,08 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,10 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 0,09 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,10 nm, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Theo các phương án, các gốm thủy tinh 3D có sai lệch về độ phẳng từ lớn hơn hoặc bằng 0,05 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,09 nm, chẳng hạn như từ lớn hơn hoặc bằng 0,05 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,08 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 0,05 nm đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,07 nm, từ lớn hơn hoặc bằng 0,05 nm

đến nhỏ hơn hoặc bằng 0,06 nm, và tất cả các khoảng và các khoảng phụ nằm trong các khoảng này. Các sai lệch về độ phẳng được đo bằng cách sử dụng hệ thống quét 3D ATOS GOM, theo cách tương tự như các sai lệch về độ cong so với CAD.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các phương án sẽ được làm rõ hơn bằng các ví dụ dưới đây.

VÍ DỤ 1

Trong ví dụ 1, tấm thủy tinh của thủy tinh có thành phần như được bộc lộ trong bảng 3 dưới đây có độ dày 0,8 mm được tạo mầm trong 2 giờ ở 600°C.

Bảng 3

Oxit	% mol
SiO ₂	70,65
Al ₂ O ₃	4,20
Li ₂ O	22,10
Na ₂ O	0,00
K ₂ O	0,00
P ₂ O ₅	0,90
ZrO ₂	2,00
TiO ₂	0,00
MgO	0
SnO ₂	0,15
B ₂ O ₃	0,00

Thủy tinh được tạo mầm được làm nguội xuống nhiệt độ trong phòng từ 600°C, và sau đó được đặt trên khuôn graphit và được gia nhiệt đến nhiệt độ tối đa là 755°C, tương ứng với nhiệt độ phát triển tinh thể đối với chế phẩm này. Thủy tinh được giữ ở 755°C trong 300 giây với áp suất 0,5 MPa và sau đó được từ từ làm nguội trong khi vẫn duy trì áp suất như cũ trong các giai đoạn làm nguội ban đầu. Tổng thời gian chu trình tạo thành 3D đối với thủy tinh được tạo mầm là 45 phút, bao gồm gia nhiệt từ nhiệt độ

trong phòng và làm nguội trở lại nhiệt độ trong phòng. Vật phẩm gốm thủy tinh 3D thu được được tạo ra theo ví dụ 1 có tập hợp pha tinh thể dưới đây và trực quan là trong suốt về mặt quang học (theo % khối lượng):

Thủy tinh	$\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	Petalit	Li_2SiO_3
31,0%	26,0%	37,0%	5,4%

Ảnh chụp vật phẩm gốm thủy tinh 3D được sản xuất theo ví dụ 1 được thể hiện trên FIG. 3A. Hình dạng của vật phẩm gốm thủy tinh 3D được tạo ra theo ví dụ 1 được so với vật phẩm được thiết kế (mà được thiết kế bằng cách sử dụng phần mềm thiết kế có sự hỗ trợ của máy tính (CAD) thông thường) được thể hiện trên FIG. 3B. Như có thể thấy trên FIG. 3B, các thông số của vật phẩm gốm thủy tinh 3D được tạo thành và vật phẩm 3D được thiết kế CAD là tương tự đến mức mà mức kiểm soát độ chính xác kích thước là nhỏ hơn hoặc bằng $\pm 0,1$ mm.

VÍ DỤ 2

Hai vật phẩm gốm thủy tinh 3D bổ sung được sản xuất theo quy trình được bộc lộ trên đây trong ví dụ 1, ngoại trừ là đối với một vật phẩm gốm thủy tinh 3D, áp suất 0,25 MPa được áp dụng, và đối với vật phẩm gốm thủy tinh 3D còn lại, áp suất 0,75 MPa được áp dụng. FIG. 4 thể hiện các vật phẩm gốm thủy tinh 3D thu được trong đó vật phẩm gốm thủy tinh 3D được tạo ra với áp suất 0,75 MPa nằm phía bên trái của FIG. 4 và vật phẩm gốm thủy tinh 3D được tạo ra với áp suất 0,25 MPa nằm phía bên phải của FIG. 4. Như được thể hiện trên FIG. 4, các vật phẩm gốm thủy tinh 3D có diện mạo hơi mờ đục, điều này thể hiện áp suất góp phần tạo nên tập hợp pha tinh thể. Tuy nhiên, các dấu vết nén hơi xám này dễ dàng loại bỏ được bằng cách đánh bóng khoảng 5 μm ra khỏi bề mặt vật phẩm gốm thủy tinh.

VÍ DỤ 3

Thủy tinh được tạo mầm được tạo ra từ thủy tinh có thành phần nêu trong bảng 1 trên đây và có độ dày 0,8 mm và bằng cách tạo mầm trong 2 giờ ở 600°C . Thủy tinh được tạo mầm này được làm nguội xuống nhiệt độ trong phòng từ 600°C , và sau đó

được đặt lên khuôn graphit và gia nhiệt đến nhiệt độ tối đa 650°C và nén với áp suất 0,25 MPa trong 135 giây. Sau đó thủy tinh được gia nhiệt đến nhiệt độ 755°C và được nén với áp suất 0,21 MPa trong 45 phút. Tập hợp pha tinh thể tương ứng đối với vật phẩm gồm thủy tinh 3D trong suốt được tạo ra bằng cách sử dụng quy trình này là (theo % khối lượng):

Thủy tinh	$\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	Petalit	Li_2SiO_3
13,0%	38,0%	47,0%	2,6%

CÁC VÍ DỤ SO SÁNH 1-3

Các ví dụ so sánh được thực hiện đối với thủy tinh có thành phần và độ dày như trong ví dụ 1. Ví dụ so sánh thứ nhất được nén mà ban đầu không được tạo mầm và được thể hiện trên FIG. 5A, đây là ảnh chụp vật phẩm 3D được tạo ra. FIG. 5B thể hiện sự so sánh kích thước của vật phẩm 3D được tạo thành với vật phẩm được thiết kế CAD. Ví dụ so sánh này có mức kiểm soát độ chính xác kích thước lớn hơn $\pm 0,1$ mm.

Trong ví dụ so sánh thứ hai, thủy tinh xanh với thành phần trên đây và có độ dày 0,8 mm được nén với áp suất 0,25 MPa trong 90 giây ở nhiệt độ nén tối đa 600°C. Quy trình này không tạo mầm đáng kể thủy tinh. Sau đó vật phẩm thủy tinh có hình dạng 3D được gồm hóa (tạo mầm và kết tinh) trong lò nung sử dụng chu trình xử lý nhiệt ở 570°C trong 4 giờ sau đó là 740°C trong 1 giờ. Vật phẩm gồm thủy tinh 3D được tạo ra theo ví dụ so sánh thứ hai được thể hiện trên FIG. 6A, và kết quả so sánh kích thước của vật phẩm gồm thủy tinh 3D được tạo ra so với vật phẩm được thiết kế CAD được thể hiện trên FIG. 6B. Như được thể hiện trên FIG. 6A và FIG. 6B có hình dạng bị méo trong chu trình gồm hóa do sự đông đặc của vật liệu. Ví dụ so sánh này có mức kiểm soát độ chính xác kích thước lớn hơn $\pm 0,1$ mm.

Ví dụ so sánh thứ ba được tạo ra theo cách tương tự như ví dụ so sánh thứ hai, ngoại trừ khối lượng được bổ sung vào vật phẩm thủy tinh 3D trong quy trình gồm hóa. Vật phẩm gồm thủy tinh 3D được tạo ra theo ví dụ so sánh thứ ba được thể hiện trên FIG. 7A, và kết quả so sánh kích thước của vật phẩm gồm thủy tinh 3D được tạo ra so

với vật phẩm được thiết kế CAD được thể hiện trên FIG. 7B. Như được thể hiện trên FIG. 7A và FIG. 7B, phần của vật phẩm có tải trên diện tích phẳng có thể duy trì hình dạng trong chu trình gôm hóa. Ví dụ so sánh này có mức kiểm soát độ chính xác kích thước lớn hơn $\pm 0,1$ mm.

VÍ DỤ 4

Các ví dụ về vật phẩm thủy tinh xanh được tạo hình 3D được tạo ra bằng cách sử dụng thủy tinh có thành phần như được bộc lộ trong bảng 1 mà đã được tạo mầm và kết tinh theo quy trình tạo hình 3D để tạo ra màu trắng như được thể hiện trên FIG. 8. Thủy tinh xanh được đặt lên khuôn 3D và được nén ở nhiệt độ nén tối đa 750°C trong 300 giây ở áp suất 0,25 MPa. Việc gia tăng áp suất lên 0,75 MPa với thời gian và nhiệt độ giống như trước đã tạo ra màu trắng đục hơn. Tổng thời gian tạo hình 3D đối với cả hai ví dụ là khoảng 45 phút.

VÍ DỤ 5

Quá trình nén diễn ra trong máy nén có 11 mô đun, khuôn nằm trong mỗi mô đun trong thời gian được thể hiện trong bảng. Tất cả các ví dụ dưới đây là đối với thủy tinh có thành phần như được bộc lộ trong bảng 1 được tạo mầm ở 600°C trong 2 giờ. Ví dụ này thể hiện rằng có thể hướng đích các pha tinh thể nhất định bằng cách sử dụng các phương pháp theo các phương án như được thể hiện trên bảng 4 dưới đây:

Bảng 4

Mẫu	Nhiệt độ nén (°C)	Áp suất (MPa)	Thời gian nén (giây)	Li disilicat $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	Petalit	Li metasilicat Li_2SiO_3	Virgilit
1	775	0,9	250	38	45	3,1	-
2	775	0,9	125	33	44	4,3	-
3	785	0,9	150	37	44	3,3	-
4	800	0,9	150	41	44	1,6	-
5	800	0,9	250	42	42	-	1,2

Ảnh chụp thủy tinh được sản xuất theo ví dụ này được thể hiện trên FIG. 9

VÍ DỤ 6

Vật phẩm gốm thủy tinh 3D được tạo ra từ tiền chất thủy tinh có thành phần như được thể hiện trong bảng dưới đây:

% mol Oxit	% mol
SiO ₂	70,65
Al ₂ O ₃	4,20
Li ₂ O	22,10
Na ₂ O	0,00
K ₂ O	0,00
P ₂ O ₅	0,90
ZrO ₂	2,00
SnO ₂	0,15
B ₂ O ₃	0,00
Li ₂ O/R ₂ O	1,00
R ₂ O/Al ₂ O ₃	5,26

Thủy tinh được tạo mầm bằng cách gia nhiệt ở tốc độ gia nhiệt là 5°C/phút với thời gian tạo mầm là 2 giờ. Tốc độ làm nguội là 5 °C/phút. Sau đó, thủy tinh được tạo mầm được đặt vào khuôn và được gốm hóa. Các điểm đặt trong quy trình tạo hình trong máy nén khuôn được thể hiện trong bảng dưới đây. Thời gian chu trình trong mỗi mô đun là 150 giây.

	Gia nhiệt sơ bộ	Gia nhiệt sơ bộ	Gia nhiệt sơ bộ	Gia nhiệt sơ bộ	Nén 1	Nén 2	Nén 3	Làm nguội	Làm nguội
Nhiệt độ mới	560	600	650	720	800	785	650	525	450

(° C)									
Áp suất (MPa)					0,9	0,9	0,9	0,9	

Sau khi gôm hóa, vật phẩm gôm thủy tinh 3D được gia cường hóa học bằng cách đặt vật phẩm gôm thủy tinh 3D trong bể muối nóng chảy chứa 60,0% khối lượng KNO_3 , 40,0% khối lượng NaNO_3 , 0,1% khối lượng LiNO_3 , 0,5% khối lượng NaNO_2 , và 0,5% khối lượng axit silicic (trong đó LiNO_3 , NaNO_2 , và axit silicic được bổ sung dưới dạng các phần gia tăng vượt trội) được gia nhiệt đến nhiệt độ 500°C trong khoảng thời gian năm giờ. Sau đó vật phẩm gôm thủy tinh 3D được gia cường được để rơi từ độ cao 1 mét lên bề mặt nhựa đường. Việc để rơi được lặp lại cho đến khi một phần của gôm thủy tinh bị hỏng (chẳng hạn như bị vỡ). Số lần để rơi (số lần rơi) trước khi hỏng do vỡ được đo. FIG. 10 thể hiện kết quả của thử nghiệm rơi nêu trên, trong đó trung bình 25,7 lần để rơi được thực hiện trước khi thấy có hư hỏng có thể nhìn thấy được bằng mắt thường.

Để so sánh, gôm thủy tinh được sản xuất bằng cách sử dụng tiền chất thủy tinh có thành phần như được thể hiện trong bảng dưới đây tính trên cơ sở oxit và sau đó gôm hóa, thủy tinh được đúc trong khuôn trong lò ủ thủy tinh được đem thử nghiệm rơi như được bộc lộ trên đây, và trung bình 10,3 lần rơi được thực hiện cho đến khi thủy tinh bị vỡ. Do đó, các thử nghiệm này thể hiện độ bền được cải thiện của các gôm thủy tinh 3D được tạo ra theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây.

Oxit	% mol
Al_2O_3	17,83
B_2O_3	6,11
MgO	4,41
Na_2O	1,73
SiO_2	58,39
SnO_2	0,08
K_2O	0,18

Fe ₂ O ₃	0,02
CaO	0,58
Li ₂ O	10,66
SrO	0,00
ZnO	0,00
P ₂ O ₅	0,00

VÍ DỤ 7

Các vật phẩm gốm thủy tinh 3D được tạo ra từ tiền chất thủy tinh có thành phần, trên cơ sở oxit, như được thể hiện trong bảng dưới đây.

Oxit	% mol
SiO ₂	70,65
Al ₂ O ₃	4,20
Li ₂ O	22,10
Na ₂ O	0,00
K ₂ O	0,00
P ₂ O ₅	0,90
ZrO ₂	2,00
SnO ₂	0,15
B ₂ O ₃	0,00
Li ₂ O/R ₂ O	1,00
R ₂ O/Al ₂ O ₃	5,26

Thủy tinh được tạo mầm và gốm hóa như được mô tả trên đây trong ví dụ 6. Sau khi gốm hóa, vật phẩm gốm thủy tinh 3D được gia cường hóa học bằng cách đặt vật phẩm gốm thủy tinh 3D trong bể muối nóng chảy chứa 60,0% khối lượng KNO₃, 40,0% khối lượng NaNO₃, 0,1% khối lượng LiNO₃, 0,5% khối lượng NaNO₂, và 0,5% khối lượng axit silicic (trong đó LiNO₃, NaNO₂, và axit silicic là các phần gia tăng vượt trội) được gia nhiệt đến nhiệt độ 500°C trong khoảng thời gian năm giờ. Sau đó vật phẩm

gốm thủy tinh 3D được gia cường được để rơi lên bề mặt rộng từ các độ cao gia tăng bắt đầu ở 30 cm với các số gia 10 cm lên giấy nhám 80 grit cho đến khi thủy tinh bị hỏng do vỡ. Độ cao để rơi khi thủy tinh bị vỡ được báo cáo. FIG. 11 thể hiện kết quả của thử nghiệm rơi trên đây, trong đó độ cao trung bình 194 cm đạt được trước khi thủy tinh bị vỡ.

Thử nghiệm nêu trên được lặp lại, nhưng khoảng thời gian gia cường hóa học được tăng lên đến 8 giờ. Trong thử nghiệm này, và như được thể hiện trên FIG. 11, độ cao trung bình 197 cm đạt được trước khi thấy có hư hỏng nhìn được bằng mắt thường.

Để so sánh, gốm thủy tinh tương tự được tạo ra bằng cách gốm hóa thủy tinh được đúc trong khuôn trong lò ủ thủy tinh ở 570°C trong 4 giờ và 740°C trong 1 giờ được đem thử nghiệm rơi như được bộc lộ trên đây, và độ cao trung bình 194 cm đạt được trước khi thấy có hư hỏng có thể nhìn được bằng mắt thường. Do đó, các thử nghiệm này thể hiện rằng độ bền của các gốm thủy tinh được tạo ra theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây là tốt bằng hoặc tốt hơn so với các gốm thủy tinh mà được gốm hóa trong lò ủ thủy tinh.

VÍ DỤ 8

Các vật phẩm gốm thủy tinh 3D có độ dày 0,8 mm được tạo ra từ thủy tinh có thành phần như được mô tả trong ví dụ 7. Thủy tinh được tạo mầm và gốm hóa như được mô tả trên đây trong ví dụ 6. Sau khi gốm hóa, vật phẩm gốm thủy tinh 3D được gia cường hóa học bằng cách đặt vật phẩm gốm thủy tinh 3D trong bể muối nóng chảy chứa 60,0% khối lượng KNO_3 , 40,0% khối lượng NaNO_3 , 0,1% khối lượng LiNO_3 , 0,5% khối lượng NaNO_2 , và 0,5% khối lượng axit silicic (trong đó LiNO_3 , NaNO_2 , và axit silicic được bổ sung dưới dạng các phần gia tăng vượt trội). Khoảng thời gian gia cường hóa học thay đổi như được thể hiện trong bảng dưới đây, bảng này cũng thể hiện ứng suất nén (CS), ứng suất kéo trung tâm (CT), và độ sâu nén (DOC) của gốm thủy tinh 3D:

	Khoảng thời gian (giờ)	CS (MPa)	CT (MPa)	DOC (μm)

Ví dụ so sánh 4	8	338	106	181
Ví dụ 1	5	362	106	TBD
Ví dụ 2	8	345	123	TBD

Như được thể hiện trong bảng trên đây, gồm thủy tinh 3D theo ví dụ 1, mà được tạo ra theo các phương án được bộc lộ và mô tả ở đây, có CS tốt hơn và CT giống như ví dụ so sánh 1, mặc dù nó được tiếp xúc với bề trao đổi ion trong thời gian ngắn hơn so với ví dụ so sánh 1. Tương tự, gồm thủy tinh 3D theo ví dụ 2, mà được tạo thành theo các phương án được bộc lộ và được mô tả ở đây, có CS tốt hơn và CT tốt hơn so với ví dụ so sánh 1, khi được tiếp xúc với bề trao đổi ion trong thời gian giống như ví dụ so sánh 1.

VÍ DỤ 9

Các vật phẩm gồm thủy tinh 3D được tạo ra từ thủy tinh có thành phần như được mô tả trên đây trong ví dụ 7. Thủy tinh được tạo mầm và gồm hóa như được mô tả trên đây trong ví dụ 6. Sau đó, thủy tinh được tạo mầm được đặt vào khuôn và được nén ở các nhiệt độ khác nhau trong 150 giây. Độ mờ đục, sai lệch về độ phẳng, mức kiểm soát độ chính xác kích thước, và mức lưỡng chiết được đo. Như được thể hiện trên các FIG. 12A-12C, độ mờ đục (FIG. 12A), sai lệch về độ phẳng (FIG. 12B), mức kiểm soát độ chính xác kích thước (FIG. 12B), và mức lưỡng chiết (FIG. 12C) đều thể hiện các giá trị chấp nhận được ở nhiệt độ xung quanh 800°C.

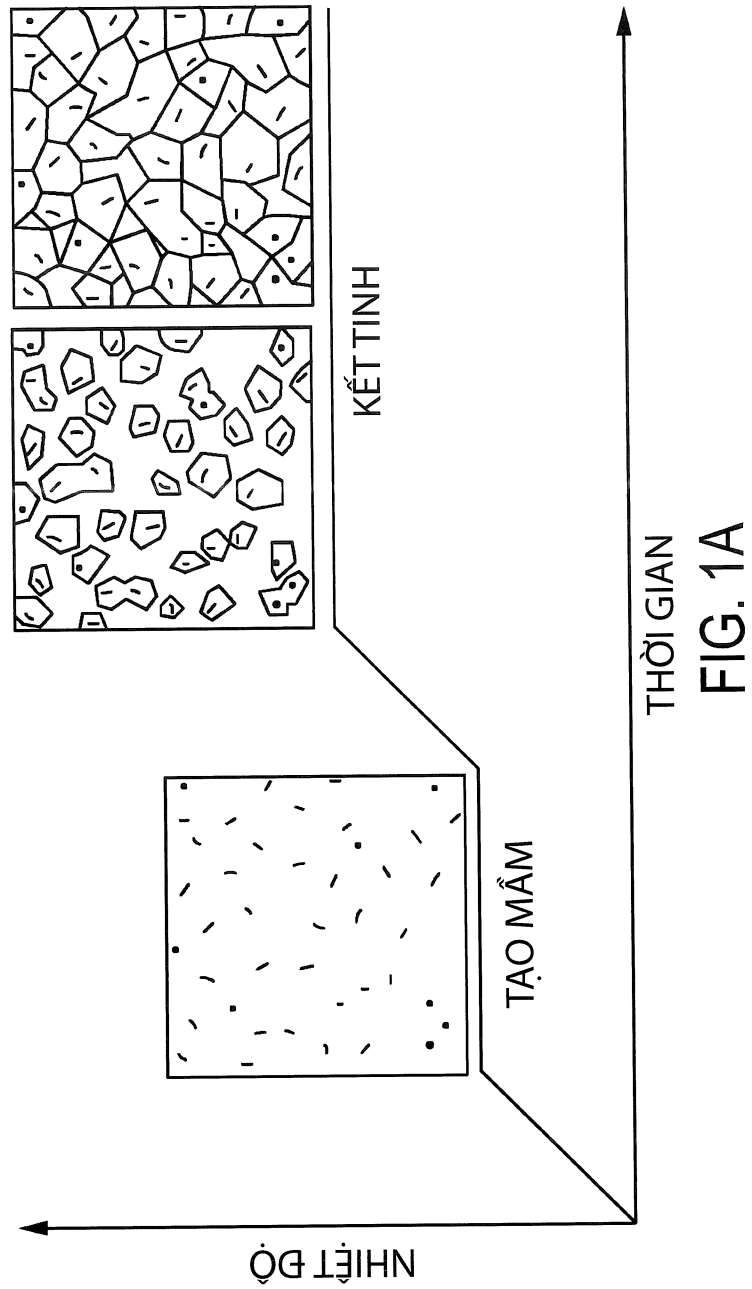
Từ đó, các thử nghiệm được thực hiện bằng cách nén gồm thủy tinh 3D ở các nhiệt độ nén 800°C và 810°C và thay đổi thời gian nén từ khoảng 80 giây đến khoảng 160 giây. Kết quả từ các thử nghiệm này được thể hiện trên các FIG. 13A-13C đối với các thử nghiệm 800°C và 14A-14C đối với các thử nghiệm 810°C.

Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sẽ hiểu rằng các cải biến và các thay đổi khác nhau có thể được tạo ra cho các phương án được mô tả ở đây mà không tách khỏi tinh thần hoặc phạm vi của các 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. Vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều có độ dày nằm trong khoảng từ 0,1 mm đến 2 mm, có mức lưỡng chiết nhỏ hơn 5,0 nm.
2. Vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo điểm 1, có mức truyền dẫn lớn hơn hoặc bằng 85% ở các bước sóng từ 400 nm đến 800 nm, trên độ dày mẫu là 0,8 mm.
3. Vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo điểm 1, trong đó vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều này được gia cường bằng cách trao đổi ion.
4. Vật phẩm gồm thủy tinh ba chiều theo điểm 1, trong đó độ mờ đục là nhỏ hơn hoặc bằng 0,40%.

1/17



2/17

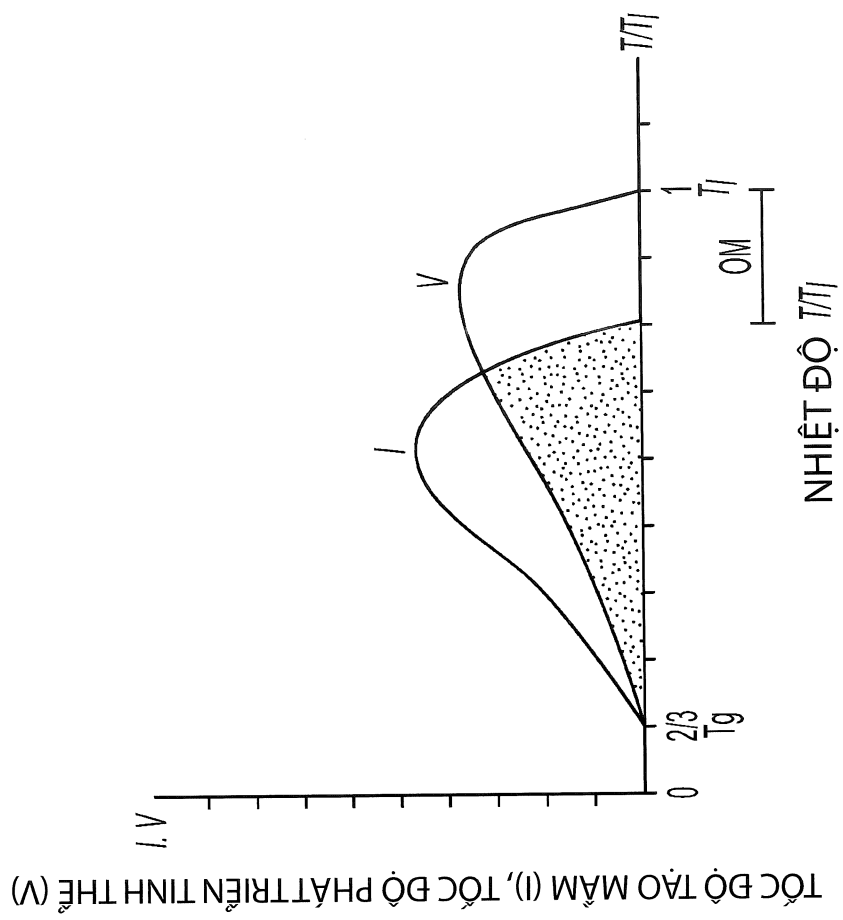


FIG. 1B

3/17

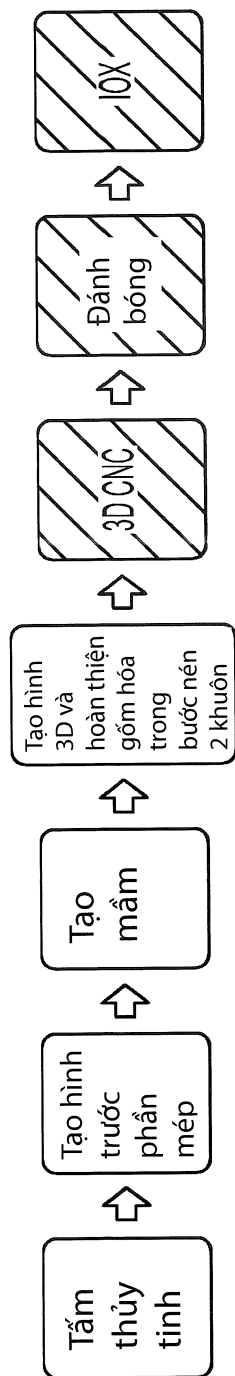


FIG. 2A

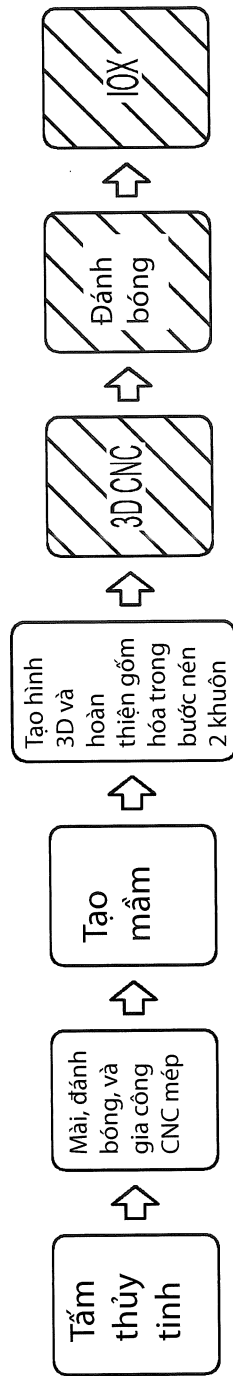


FIG. 2B

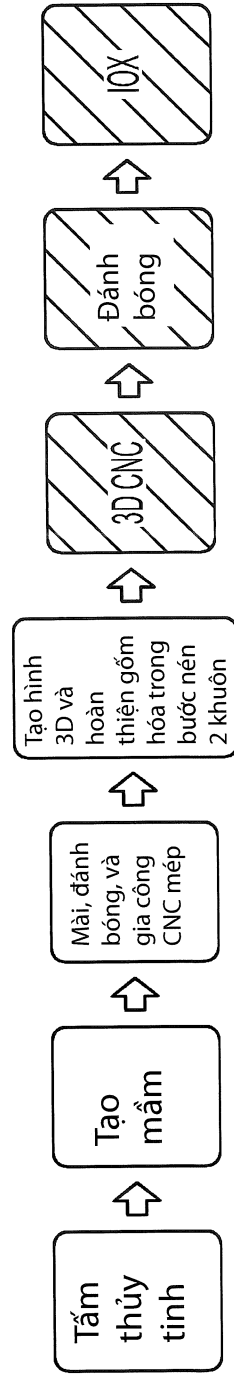


FIG. 2C

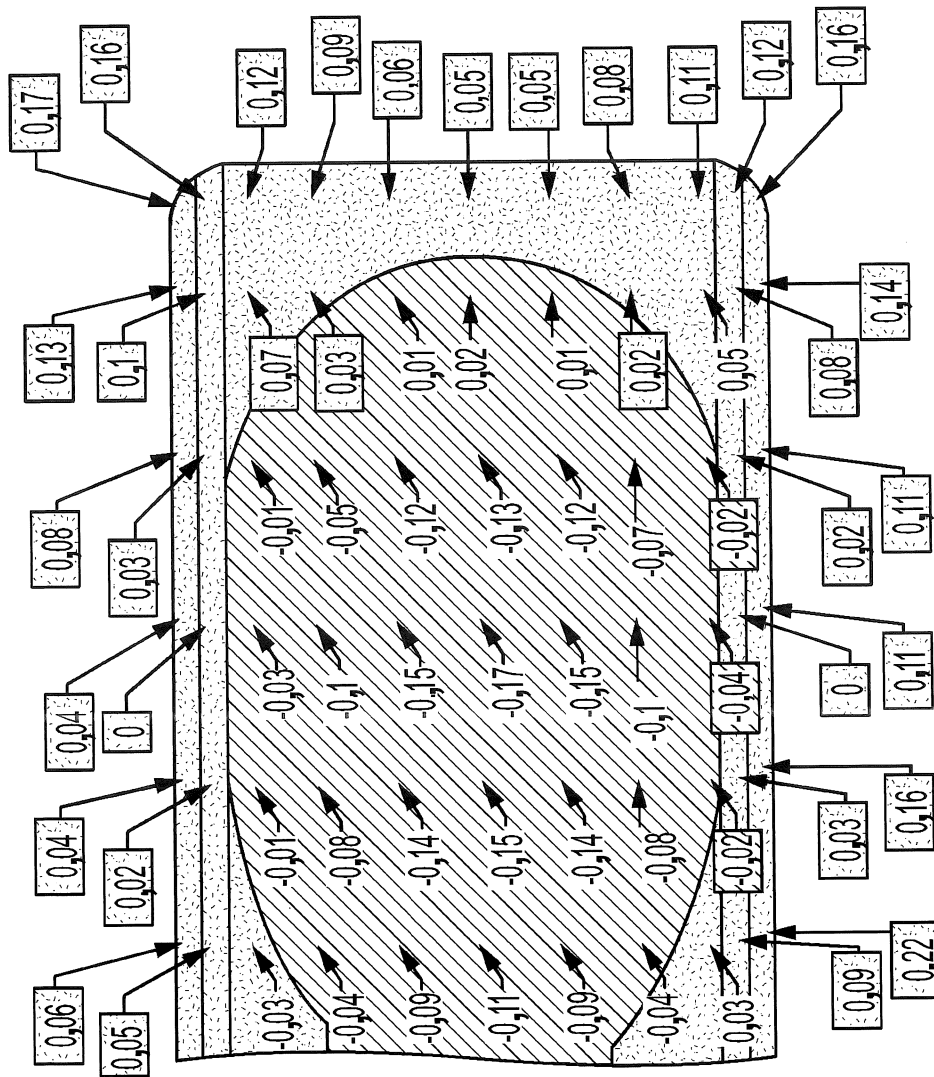


FIG. 3B

Áp suất 0,5MPa

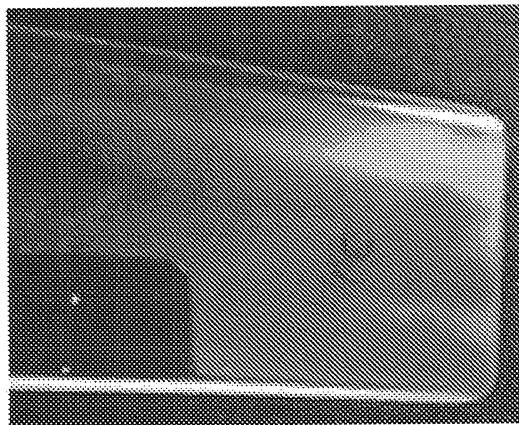
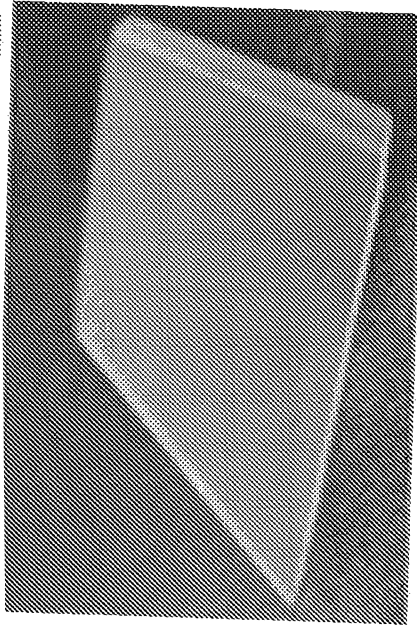


FIG. 3A

5/17

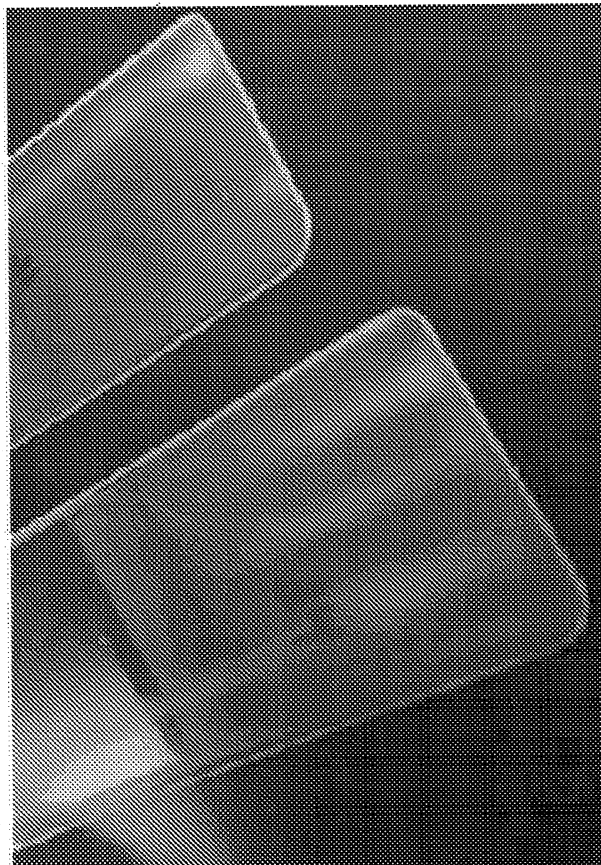
Đối với thủy tinh xanh được nén, 0,8mm



Độ cong vênh diện tích phẳng 0,11mm

FIG. 5A

Áp suất 0,25MPa

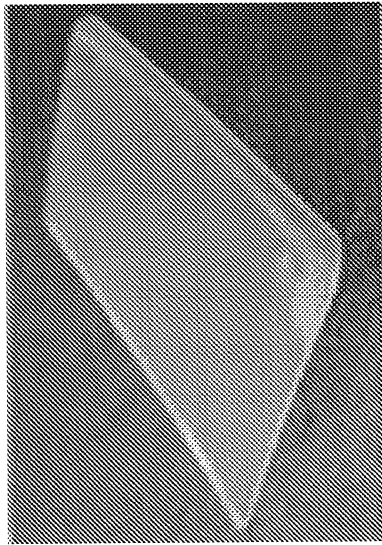


Áp suất 0,75MPa

FIG. 4

7/17

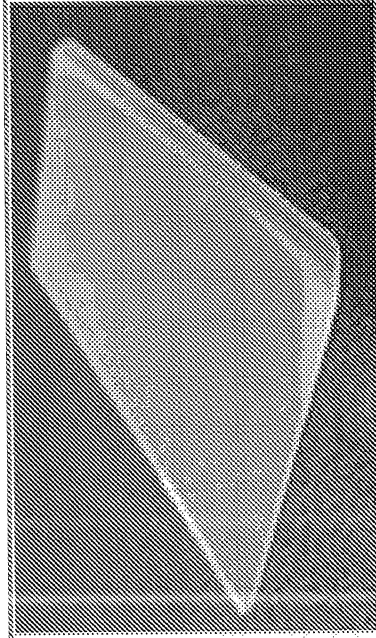
Thủy tinh xanh được nén và gổm hóa được lấy ra khỏi khuôn trong lò nung với khối lượng trên diện tích phẳng, 0,8mm



Độ cong vênh diện tích phẳng ~3mm

FIG. 6A

Thủy tinh xanh được nén và gổm hóa được lấy ra khỏi khuôn trong lò nung với khối lượng trên diện tích phẳng, 0,8mm



Độ cong vênh diện tích phẳng ~0,4mm

FIG. 7A

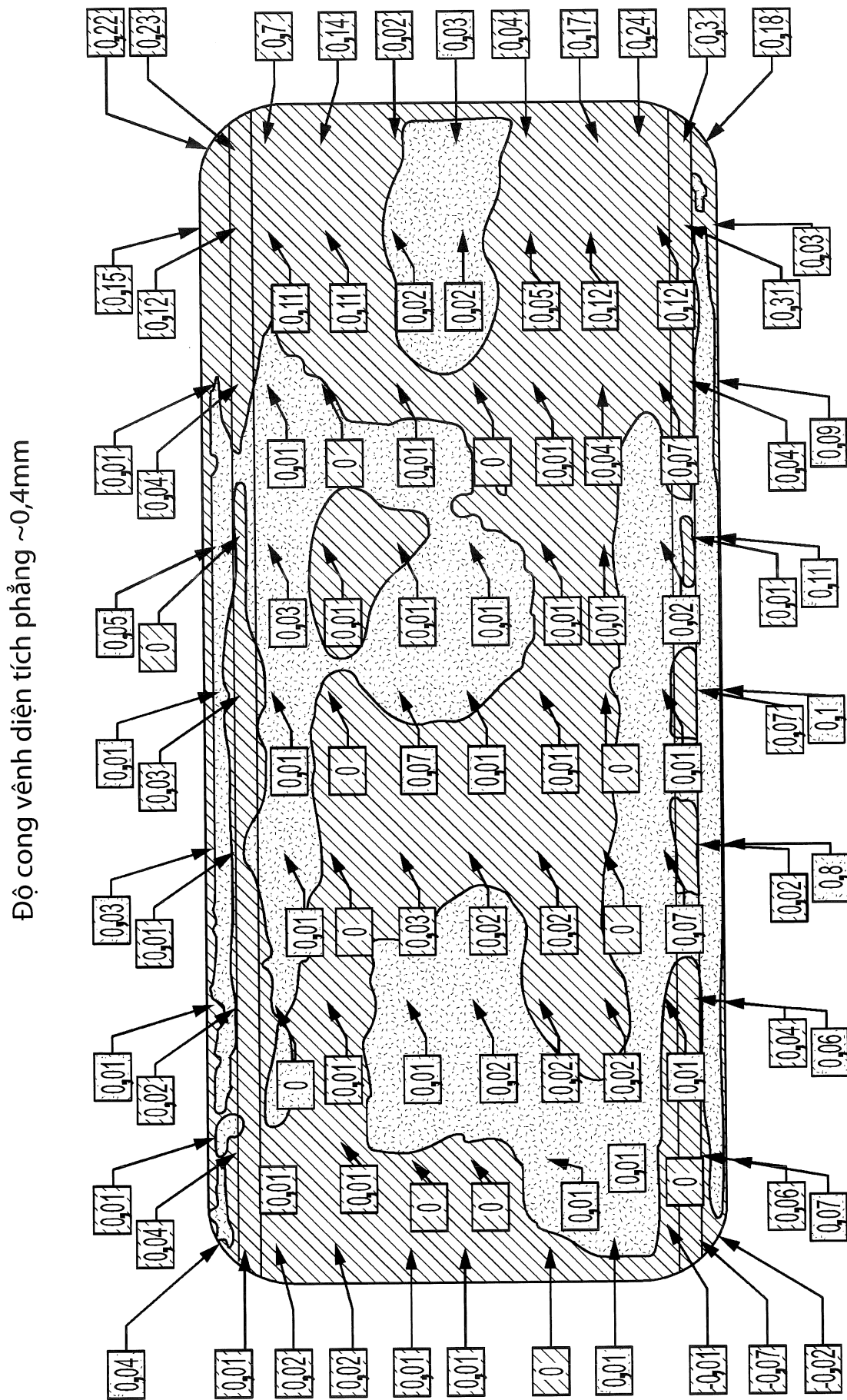


FIG. 7B

10/17

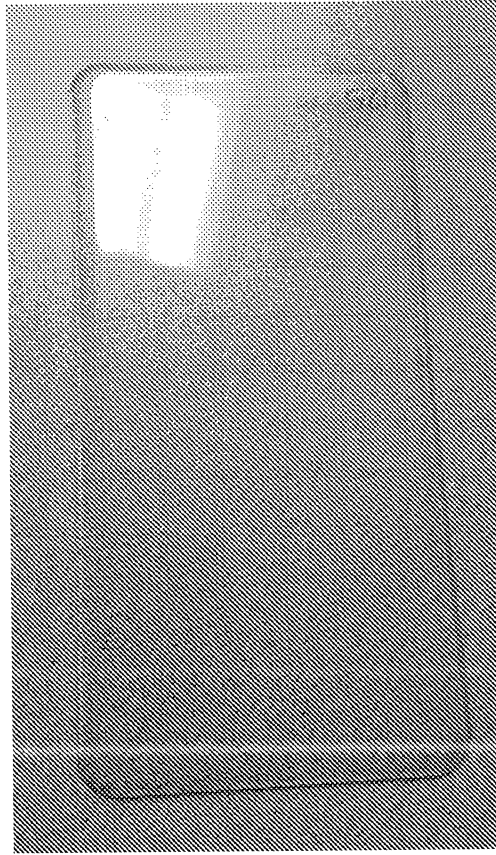


FIG. 9

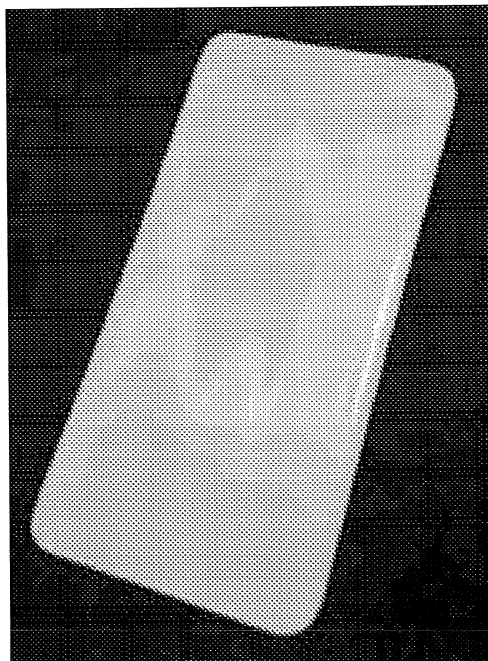


FIG. 8



12/17

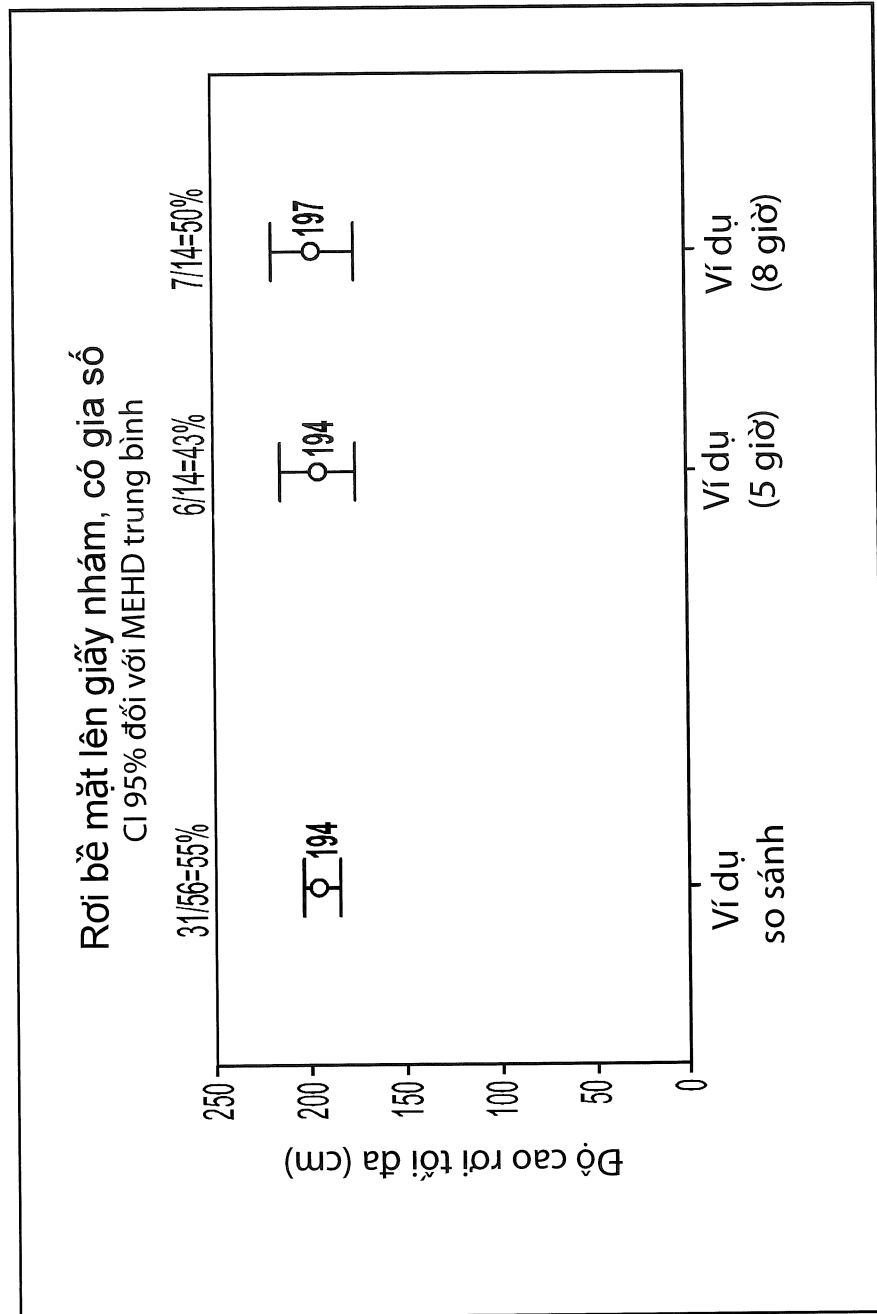


FIG. 11

13/17

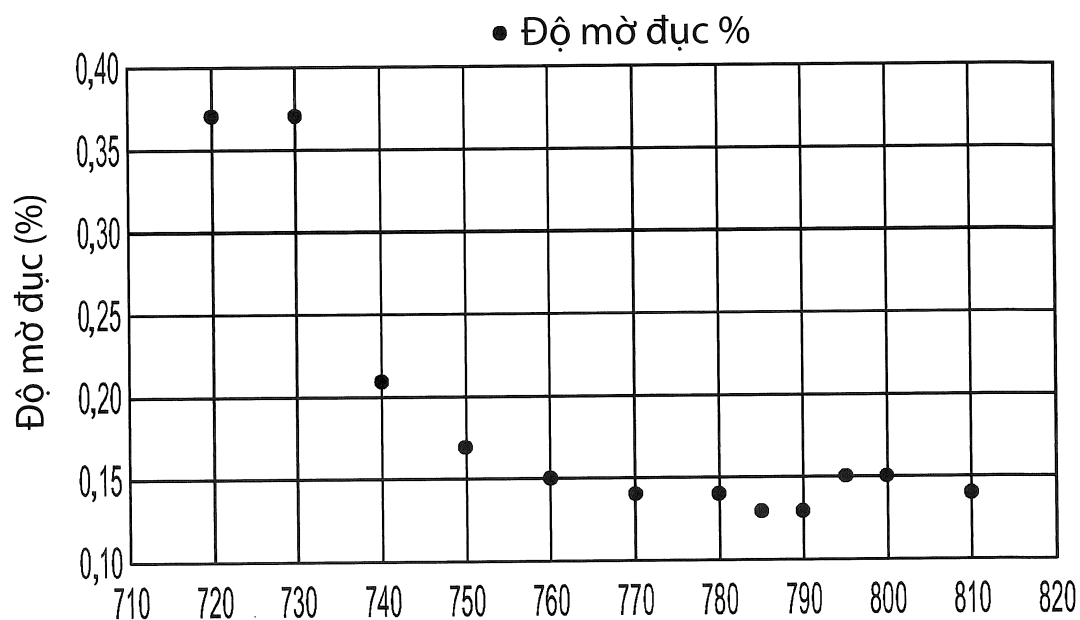


FIG. 12A

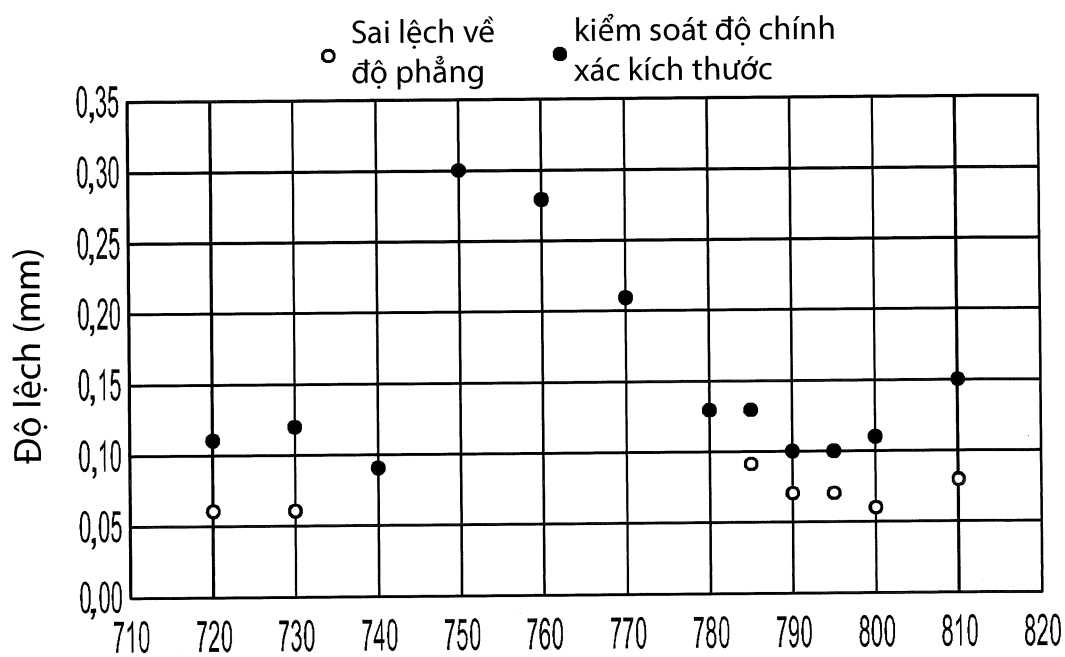


FIG. 12B

14/17

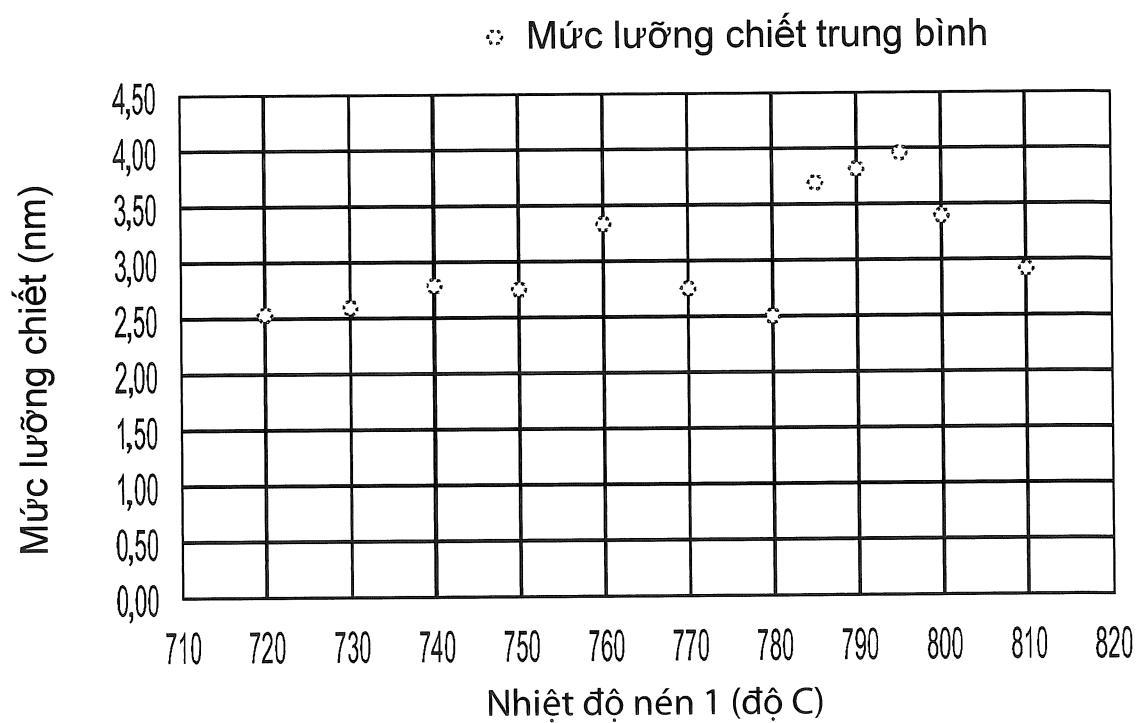


FIG. 12C

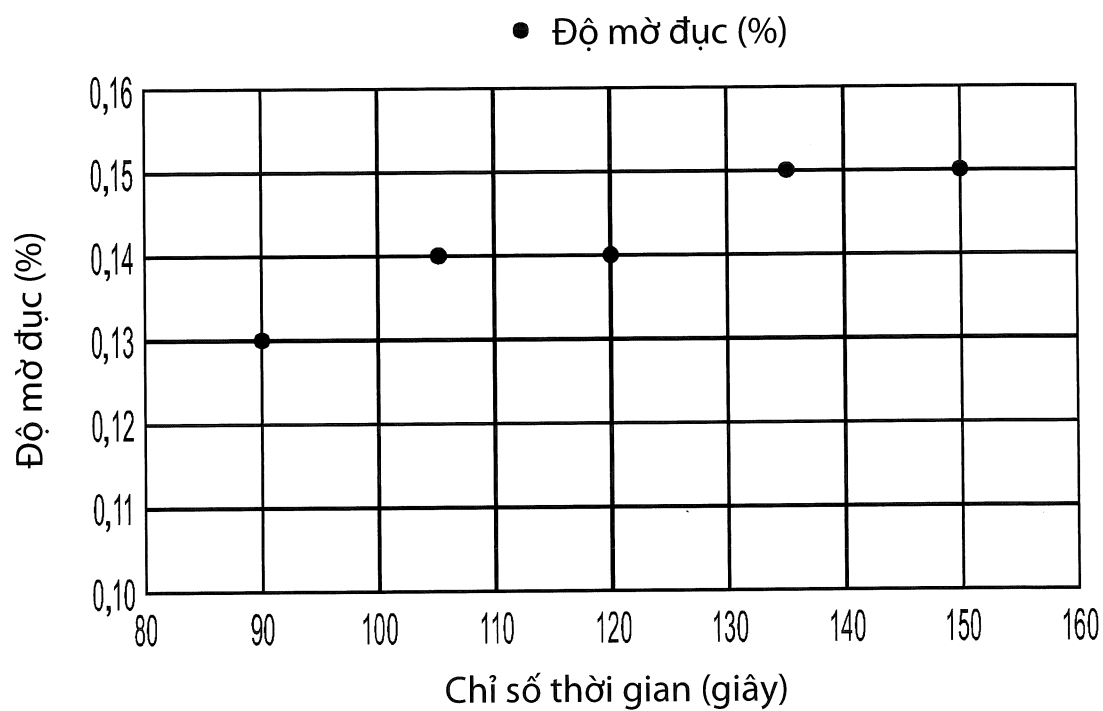


FIG. 13A

15/17

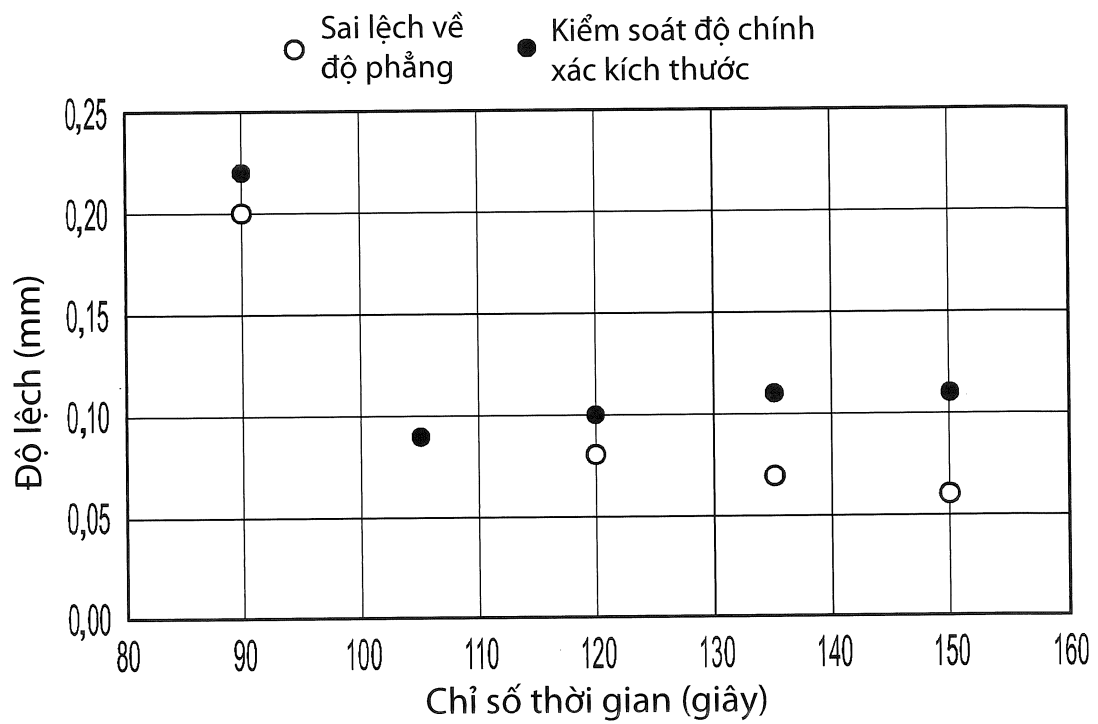


FIG. 13B

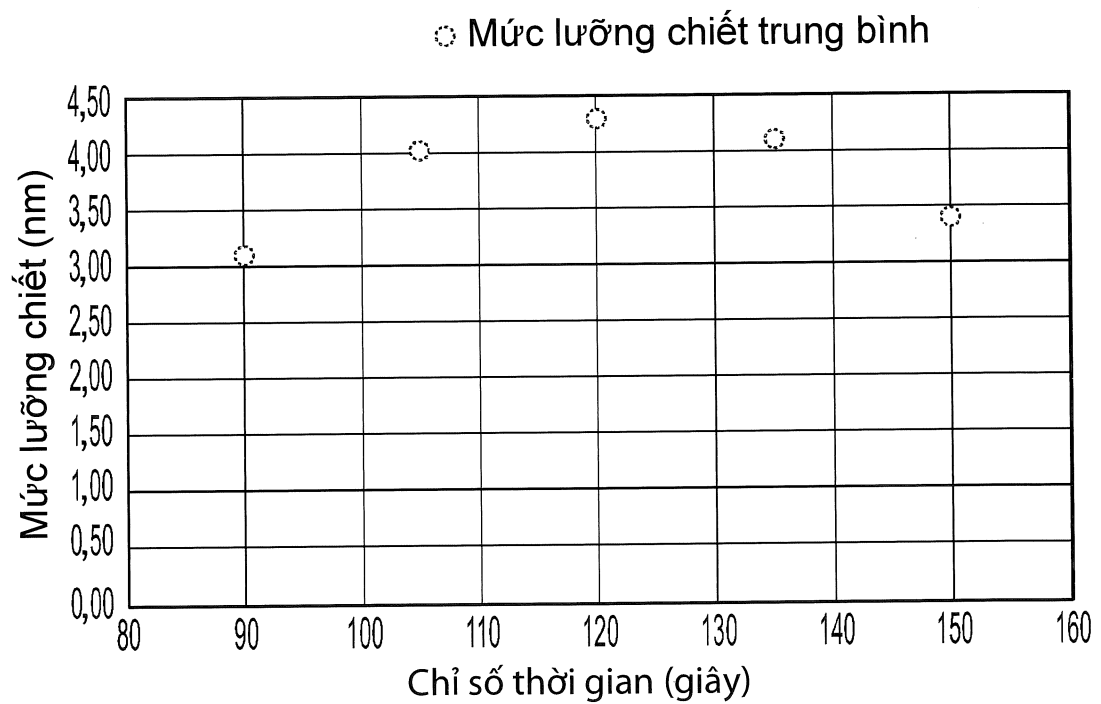


FIG. 13C

16/17

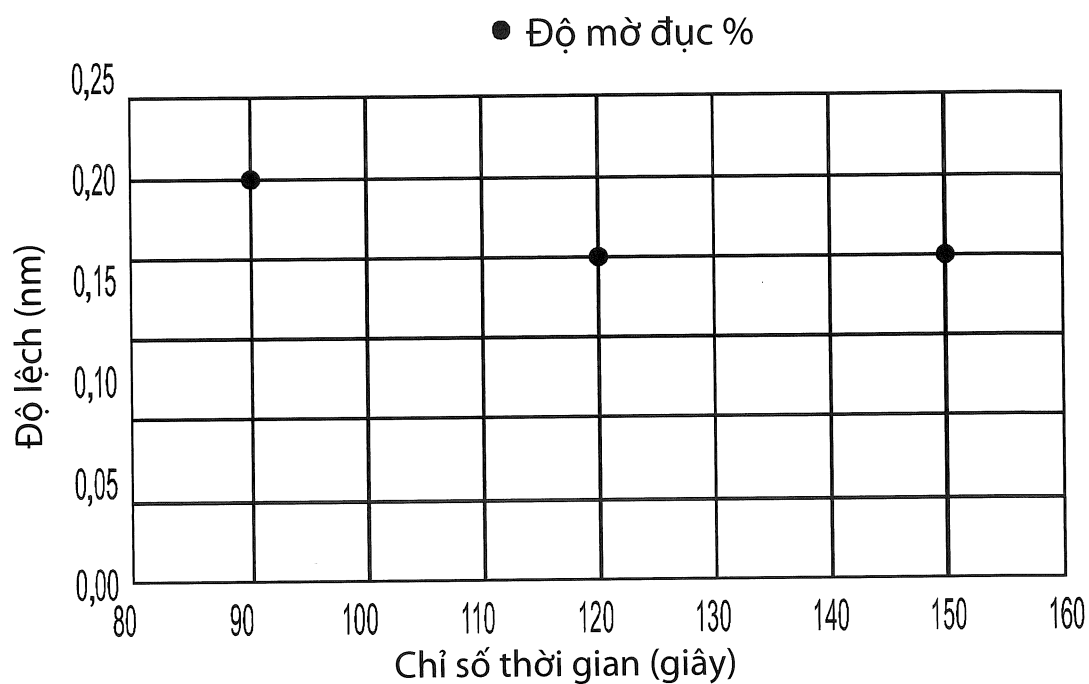


FIG. 14A

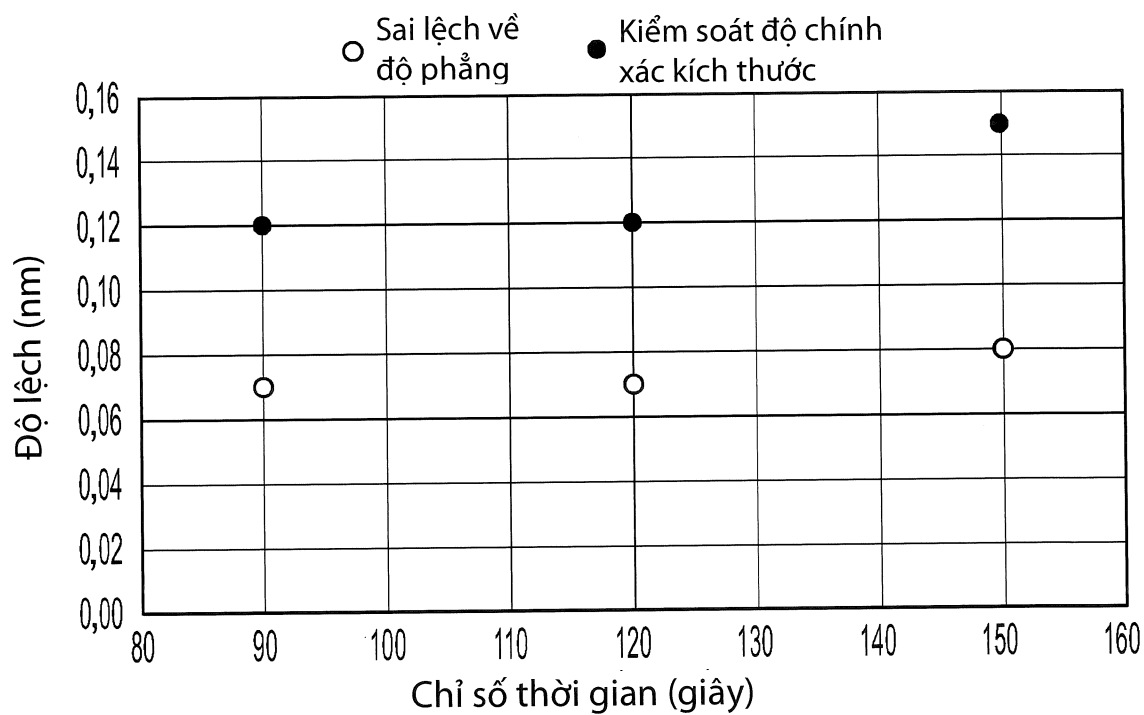


FIG. 14B

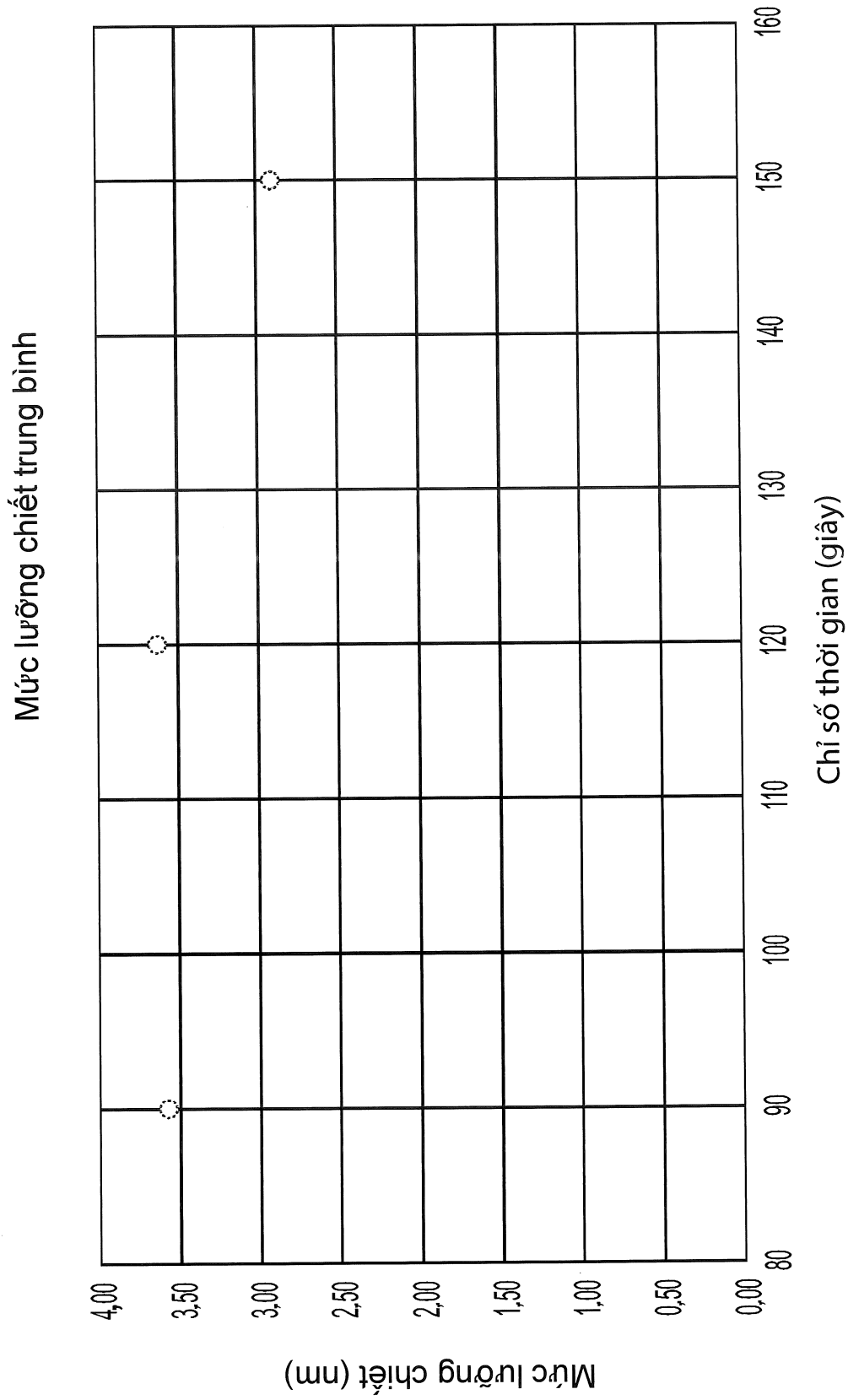


FIG. 14C