



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

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

(11)



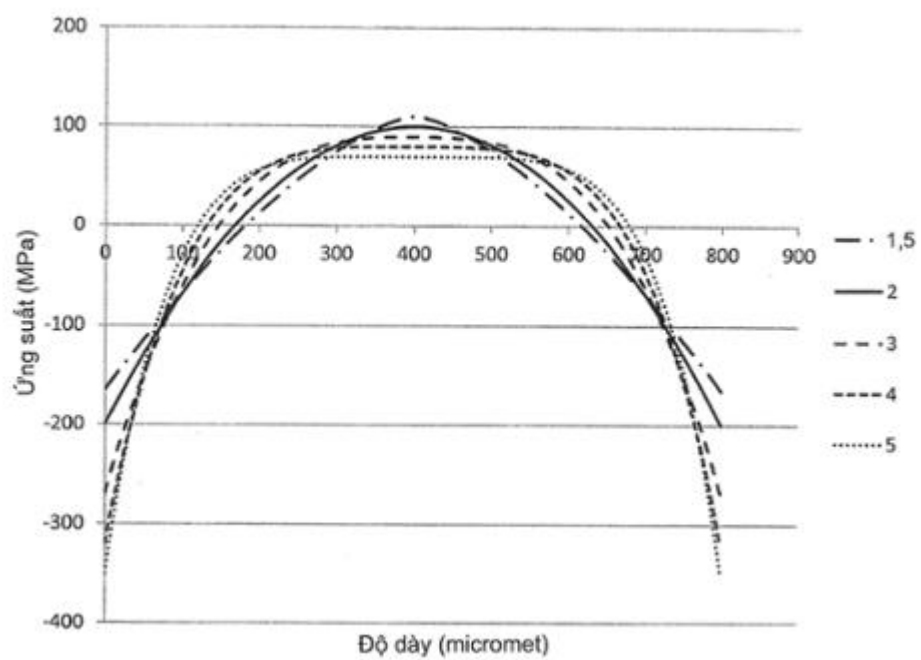
1-0031554

(51)⁷ C03C 10/00; C03C 3/097; C03C 3/091; (13) B
C03C 3/093; C03C 21/00; C03C 23/00

-
- (21) 1-2017-01666 (22) 08/10/2015
(86) PCT/US2015/054681 08/10/2015 (87) WO2016/057787 14/04/2016
(30) 62/061,372 08/10/2014 US; 62/117,585 18/02/2015 US; 62/171,110 04/06/2015 US;
62/194,967 21/07/2015 US
(45) 25/04/2022 409 (43) 25/09/2017 354A
(73) CORNING INCORPORATED (US)
1 Riverfront Plaza, Corning, New York 14831, United States of America
(72) HU, Guangli (CN); SMITH, Charlene Marie (US); TANG, Zhongzhi (CN); TIETJE,
Steven Alvin (US).
(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)
-

(54) VẬT PHẨM TRÊN CƠ SỞ THỦY TINH CÓ GRADIEN NỒNG ĐỘ OXIT KIM LOẠI VÀ THIẾT BỊ ĐIỆN TỬ CHỨA VẬT PHẨM TRÊN CƠ SỞ THỦY TINH NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gồm bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định ra độ dày (t) là khoảng 3 milimet hoặc nhỏ hơn (ví dụ, khoảng 1 milimet hoặc nhỏ hơn), và biên dạng ứng suất, trong đó tất cả các điểm của biên dạng ứng suất nằm trong khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ lên đến $0,3 \cdot t$ và từ lớn hơn $0,7 \cdot t$, có tang số nhỏ hơn khoảng $-0,1$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,1$ MPa/micromet. Theo một số phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có nồng độ oxit kim loại khác không, nồng độ này biến thiên dọc theo ít nhất một phần của độ dày (ví dụ, $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$). Theo một số phương án, nồng độ oxit kim loại hoặc oxit kim loại kiềm giảm từ bề mặt thứ nhất đến điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ điểm giữa này đến bề mặt thứ hai. Nồng độ oxit kim loại này có thể bằng hoặc lớn hơn khoảng 0,05% mol hoặc bằng hoặc lớn hơn khoảng 0,5% mol trên suốt độ dày. Ngoài ra, sáng chế còn đề cập đến thiết bị điện tử chứa vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có độ bền chống hư hỏng được cải thiện, gồm độ bền chống nứt vỡ được cải thiện, và cụ thể hơn là, sáng chế đề cập đến các vật phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh có gradien nồng độ oxit kim loại khác không hoặc nồng độ biến thiên dọc theo một phần đáng kể của độ dày. Sáng chế cũng đề cập đến thiết bị điện tử chứa vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thường bị các va chạm mạnh mà có thể tạo ra các vết rạn lớn trên bề mặt của các vật phẩm này. Các vết rạn này có thể kéo dài đến độ sâu lên tới khoảng 200 micromet từ bề mặt. Theo truyền thống, thủy tinh tôi nhiệt đã được sử dụng để ngăn ngừa hư hỏng do sự tạo ra các vết rạn này trên thủy tinh vì thủy tinh tôi nhiệt thường có các lớp ứng suất nén lớn (compressive stress: CS) (ví dụ, xấp xỉ 21% toàn bộ độ dày của thủy tinh), lớp này có thể ngăn ngừa các vết rạn lan ra và do đó, ngăn ngừa sự hư hỏng. Ví dụ về biên dạng ứng suất được tạo ra bởi sự tôi nhiệt được thể hiện trên Fig.1. Trên Fig.1, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được xử lý nhiệt 100 gồm bề mặt thứ nhất 101, độ dày t_1 , CS bề mặt 110. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 100 thể hiện CS mà giảm từ bề mặt thứ nhất 101 đến độ sâu của lớp (depth of layer: DOL) 130, như được định nghĩa ở đây, tại độ sâu này, ứng suất thay đổi từ ứng suất nén thành ứng suất kéo và đạt đến ứng suất kéo trung tâm (central tension: CT) tối đa 120.

Việc tôi nhiệt hiện bị giới hạn chỉ ở các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh dày (tức là, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có độ dày t_1 khoảng 3 milimet hoặc lớn hơn) vì, để đạt được sự gia cường nhiệt và đạt được các ứng suất dư mong muốn, gradien nhiệt đủ phải được tạo ra giữa phần lõi của các vật phẩm này và phần bề mặt. Các vật phẩm dày này là không thích hợp hoặc không thiết thực trong nhiều ứng dụng như trong các thiết bị hiển thị (ví dụ, các thiết bị điện tử tiêu dùng, gồm các loại điện thoại di động, máy tính bảng, máy tính, các hệ thống điều hướng, v.v.), trong ngành kiến trúc (ví dụ, cửa sổ, panen vôi hoa sen, mặt bàn, v.v.), trong ngành giao thông (ví dụ, ô tô, tàu hỏa,

máy bay, tàu biển, v.v.), các thiết bị, hoặc ứng dụng bất kỳ mà yêu cầu độ bền chống nứt vỡ ưu việt nhưng là các vật phẩm mỏng và có trọng lượng nhẹ.

Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học đã biết không thể hiện biên dạng ứng suất của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được tôi nhiệt, mặc dù việc gia cường hóa học không bị giới hạn bởi độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo cách giống như tôi nhiệt. Ví dụ về biên dạng ứng suất được tạo ra bằng việc gia cường hóa học (ví dụ, bằng quy trình trao đổi ion), được thể hiện trên Fig.2. Trên Fig.2, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học 200 gồm bề mặt thứ nhất 201, độ dày t_2 và CS bề mặt 210. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 200 thể hiện CS mà giảm từ bề mặt thứ nhất 201 đến DOC 230, như được định nghĩa ở đây, tại độ sâu này, ứng suất thay đổi từ ứng suất nén thành ứng suất kéo và đạt đến ứng suất kéo trung tâm (central tension: CT) tối đa 220. Như được thể hiện trên Fig.2, các biên dạng này thể hiện vùng CT bằng phẳng hoặc vùng CT với ứng suất kéo không đổi hoặc gần như không đổi và, thường thể hiện trị số CT tối đa thấp hơn so với trị số CT tối đa được thể hiện trên Fig.1.

Do đó, cần có các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh mỏng mà có độ bền chống nứt vỡ được cải thiện.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Khía cạnh thứ nhất của sáng chế đề cập đến vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gồm bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định ra độ dày (t) (ví dụ, khoảng 3 milimet hoặc nhỏ hơn, 1 milimet hoặc nhỏ hơn hoặc khoảng 0,5 milimet hoặc nhỏ hơn), và biên dạng ứng suất kéo dài dọc theo độ dày này. Theo một hoặc nhiều phương án, trong đó tất cả các điểm của biên dạng ứng suất nằm trong khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ lên đến khoảng $0,3 \cdot t$ và lớn hơn $0,7 \cdot t$ có tang số nhỏ hơn khoảng $-0,1$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,1$ MPa/micromet.

Theo một số phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có nồng độ oxit kim loại khác không, nồng độ này biến thiên dọc theo phần đáng kể của độ dày hoặc trên toàn bộ độ dày. Sự biến thiên nồng độ oxit kim loại ở đây có thể được đề cập như là gradien. Theo một số phương án, nồng độ oxit kim loại là khác không và biến thiên, dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$. Theo một số phương án, nồng

độ oxit kim loại là khác không và biến thiên dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,35 \cdot t$, từ khoảng $0t$ đến khoảng $0,4 \cdot t$, từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,45 \cdot t$ hoặc từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,48 \cdot t$. Oxit kim loại có thể được mô tả là tạo ra ứng suất trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Sự biến thiên nồng độ oxit kim loại có thể gồm sự thay đổi khoảng 0,2% mol dọc theo phân đoạn độ dày khoảng 100 micromet. Sự biến thiên nồng độ này có thể là liên tục dọc theo các khoảng độ dày nêu trên. Theo một số phương án, sự biến thiên nồng độ này có thể là liên tục dọc theo các phân đoạn độ dày nằm trong khoảng từ khoảng 10 micromet đến khoảng 30 micromet.

Theo một số phương án, nồng độ oxit kim loại giảm từ bề mặt thứ nhất đến điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ điểm giữa này đến bề mặt thứ hai.

Như được sử dụng ở đây, oxit kim loại gồm các ion gia cường hoặc các ion mà tạo ra CS trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Theo một số phương án, oxit kim loại này có đường kính ion lớn nhất trong số tất cả toàn bộ các oxit kim loại có trong vật nền trên cơ sở thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án, (các) oxit kim loại có thể gồm (các) oxit kim loại kiềm, hoặc các kết hợp của các oxit kim loại khác nhau hoặc các oxit kim loại kiềm. Các oxit kim loại được lấy làm ví dụ gồm Ag_2O . Các oxit kim loại kiềm được lấy làm ví dụ gồm một hoặc nhiều oxit kim loại bất kỳ trong số Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O . (Các) oxit kim loại có thể có mặt với nồng độ khác không của (các) oxit kim loại cụ thể đó, nồng độ này biến thiên dọc theo phần đáng kể hoặc toàn bộ độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Theo một số phương án, (các) nồng độ oxit kim loại giảm từ bề mặt thứ nhất đến điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ điểm giữa này đến bề mặt thứ hai. (Các) nồng độ oxit kim loại này có thể khác không ở điểm giữa này.

(Các) nồng độ oxit kim loại có thể bằng hoặc lớn hơn khoảng 0,05% mol hoặc khoảng 1% mol hoặc lớn hơn trên suốt độ dày. Ví dụ, nồng độ Na_2O có thể bằng hoặc lớn hơn khoảng 0,05% mol trên suốt độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh nhưng nồng độ Na_2O này giảm đi từ bề mặt thứ nhất đến điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai tăng từ điểm giữa này đến bề mặt thứ hai. Theo một số ví dụ, tổng nồng độ (các) oxit kim loại dọc theo toàn bộ độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh là nằm

trong khoảng từ khoảng 1% mol đến khoảng 20% mol. Theo một số phương án, nồng độ (các) oxit kim loại gần bề mặt có thể là gấp nhiều hơn 1 lần hoặc 1,5 lần (ví dụ 5 lần, 10 lần, 15 lần hoặc thậm chí 20 lần) nồng độ (các) oxit kim loại đó ở độ sâu nằm trong khoảng từ khoảng $0,4 \cdot t$ đến khoảng $0,6 \cdot t$. Nồng độ (các) oxit kim loại có thể được xác định từ lượng cơ sở của nồng độ (các) oxit kim loại đó trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh trước khi được biến đổi để thể hiện biên dạng nồng độ (tức là, gradien hoặc biến thiên, như được mô tả ở đây).

Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chứa nồng độ oxit kim loại thứ nhất và nồng độ oxit kim loại thứ hai, sao cho nồng độ oxit kim loại thứ nhất là nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 15% mol dọc theo khoảng độ dày thứ nhất từ khoảng $0t$ đến khoảng $0,5t$, và nồng độ oxit kim loại thứ hai nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 10% mol từ khoảng độ dày thứ hai từ khoảng 0 micromet đến khoảng 25 micromet. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể chứa nồng độ oxit kim loại thứ ba tùy ý. Oxit kim loại thứ nhất có thể là Na_2O và oxit kim loại thứ hai có thể là K_2O .

Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có CS bền mặt là khoảng 150 MPa hoặc lớn hơn hoặc khoảng 200 MPa hoặc lớn hơn. Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể thể hiện CS bề mặt lớn hơn khoảng 300 MPa, lớn hơn khoảng 600 MPa hoặc lớn hơn khoảng 700 MPa. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể thể hiện độ sâu hóa học khoảng $0,4 \cdot t$ hoặc lớn hơn.

Theo một số phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể có lớp CS kéo dài từ bề mặt thứ nhất đến DOC là khoảng $0,1 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Trong một số trường hợp, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có lớp CT, lớp này có nồng độ oxit kim loại khác không, nồng độ này biến thiên dọc theo phần đáng kể của độ dày t . Lớp CT có thể thể hiện CT tối đa trong đó tỷ lệ giữa CT tối đa và CS bề mặt là nằm trong khoảng từ khoảng 0,01 đến khoảng 0,5. CT tối đa có thể là khoảng 25 MPa hoặc lớn hơn.

Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể thể hiện độ bền chống nứt vỡ đến mức mà, nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh bị nứt vỡ, thì vật phẩm trên cơ sở thủy tinh sẽ vỡ thành ít nhất 2 mảnh/ inso^2 . Trong một số trường hợp,

vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể vỡ thành 3 mảnh/inso² hoặc nhiều hơn, 5 mảnh/inso² hoặc nhiều hơn, hoặc 10 mảnh/inso² hoặc nhiều hơn.

Trong một số trường hợp, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể thể hiện năng lượng kéo đứt là khoảng lớn hơn 0 J/m² đến nhỏ hơn 20 J/m².

Vùng CT theo một hoặc nhiều phương án về vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể thể hiện biên dạng ứng suất được định nghĩa bằng phương trình:

Ứng suất(x) = MaxCT – (((MaxCT • (n+1))/0,5ⁿ)•|(x/t)-0,5|ⁿ), trong đó MaxCT là trị số CT tối đa và được cung cấp dưới dạng trị số dương với đơn vị là MPa, x là vị trí dọc theo độ dày (t) với đơn vị là micromet, và n là nằm trong khoảng từ 1,5 đến 5 (hoặc nằm trong khoảng từ 1,8 đến khoảng 2).

Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể có cấu trúc vô định hình, cấu trúc tinh thể hoặc kết hợp các cấu trúc này. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể là trong suốt hoặc mờ đục. Theo một số phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có màu sắc về cơ bản là trắng hoặc về cơ bản là đen. Ngoài ra hoặc cách khác, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể có chất nhuộm màu mà tạo ra màu sắc cụ thể.

Khía cạnh thứ hai của sáng chế đề cập đến vật nền thủy tinh vô định hình có cấu tạo gồm, tính theo % mol, SiO₂ với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 68 đến khoảng 75, Al₂O₃ với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 12 đến khoảng 15, B₂O₃ với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 0,5 đến khoảng 5, Li₂O với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 2 đến khoảng 8, Na₂O với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 6, MgO với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 1 đến khoảng 4, ZnO với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 3, và CaO với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 5. Theo một số phương án, vật nền thủy tinh có một hoặc nhiều đặc điểm bất kỳ trong số: tỷ lệ giữa Li₂O và R₂O là nằm trong khoảng từ khoảng 0,5 đến khoảng 1; chênh lệch giữa tổng lượng R₂O và lượng Al₂O₃ là nằm trong khoảng từ khoảng -5 đến khoảng 0; chênh lệch giữa tổng lượng R_xO (tính theo % mol) và lượng Al₂O₃ là nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 3; và tỷ lệ giữa lượng MgO (tính theo % mol) và tổng lượng RO (tính theo % mol) là nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 2.

Theo một hoặc nhiều phương án, vật nền thủy tinh là có thể trao đổi ion. Theo các phương án khác, vật nền thủy tinh được gia cường bằng quy trình trao đổi ion.

Khía cạnh thứ ba của sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ra vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chống nứt vỡ như được mô tả ở đây. Các phương án về phương pháp bao gồm tạo ra vật nền trên cơ sở thủy tinh có bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai xác định ra độ dày khoảng 3 milimet hoặc nhỏ hơn, tạo biên dạng ứng suất trong vật nền trên cơ sở thủy tinh gồm lớp CT và lớp CS, trong đó lớp CS có CS bề mặt, độ sâu hóa học là khoảng 0,4t hoặc lớn hơn và DOC là khoảng 0,1•t hoặc lớn hơn, và trong đó lớp CT có CT tối đa và tỷ lệ giữa CT tối đa và CS bề mặt là từ khoảng 0,01 đến khoảng 0,5.

Các chi tiết bổ sung và ưu điểm sẽ được thể hiện trong phần mô tả chi tiết sau đây, và một phần 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 hành các phương án như được mô tả ở đây, bao gồm phần mô tả chi tiết dưới đây, các yêu cầu bảo hộ cũng như các hình vẽ kèm theo.

Cần phải hiểu rằng, cả phần mô tả chung trên đây và mô tả chi tiết dưới đây là chỉ nhằm làm ví dụ, và dự định để cung cấp một cái nhìn tổng thể hoặc khung để hiểu bản chất và đặc điểm của các yêu cầu bảo hộ. Các hình vẽ kèm theo được đưa vào để giúp hiểu rõ hơn về sáng chế và được kết hợp vào và tạo thành một phần của bản mô tả này. Các hình vẽ minh họa một hoặc nhiều phương án và cùng với phần mô tả dùng để giải thích các nguyên tắc và việc thực hiện các phương án khác nhau.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Fig.1 là mặt cắt ngang qua độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được tôi nhiệt đã biết;

Fig.2 là mặt cắt ngang qua độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học đã biết;

Fig.3 là mặt cắt ngang qua độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế;

Fig.4 là sơ đồ mặt cắt ngang của thiết bị vòng trên vòng;

Fig.5 là biểu đồ thể hiện nồng độ Na_2O trong các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học đã biết và các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế;

Fig.6 là biểu đồ thể hiện trị số CT và trị số DOC dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion, theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế;

Fig.7 là biểu đồ so sánh các biên dạng ứng suất dưới dạng hàm số của độ sâu của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học đã biết và các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế;

Fig.8 thể hiện biểu đồ của các biên dạng ứng suất của thủy tinh và gốm thủy tinh được gia cường hóa học đã biết;

Fig.9 thể hiện biểu đồ của các biên dạng ứng suất của thủy tinh và gốm thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế;

Fig.9A thể hiện biểu đồ của độ cao làm hỏng trong thử nghiệm rơi theo Ví dụ 3D;

Fig.10 là biểu đồ so sánh biên dạng ứng suất đã biết của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học và vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế;

Fig.11 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của các Ví dụ 4A-4D dưới dạng hàm số của độ dày;

Fig.12 là biểu đồ thể hiện các điểm số liệu năng lượng kéo đứt riêng biệt đối với các Ví dụ 4B-4D;

Fig.13 là biểu đồ thể hiện nồng độ K_2O và Na_2O dưới dạng hàm số của độ sâu trong các Ví dụ 4A-4D;

Fig.14 là biểu đồ thể hiện số liệu tương tự như Fig.12, nhưng với thang đo khác để minh họa rõ hơn nồng độ Na_2O dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.15 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của các Ví dụ 4A và 4C-4F dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.16 là biểu đồ thể hiện thang đo khác với Fig.14;

Fig.17 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của các ví dụ 5A-5G dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.18 là biểu đồ thể hiện trị số DOC đối với các Ví dụ 5A-5G dưới dạng hàm số của khoảng thời gian của các bước trao đổi ion thứ hai và/hoặc thứ ba;

Fig.19 là biểu đồ thể hiện trị số CT đối với các Ví dụ 5A-5G dưới dạng hàm số của khoảng thời gian của các bước trao đổi ion thứ hai và/hoặc thứ ba;

Fig.20 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của các Ví dụ từ 6A-1 đến 6A-6 dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.21 là biểu đồ thể hiện các trị số CT và DOC của các Ví dụ từ 6A-1 đến 6A-6 dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.22 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của các Ví dụ từ 6B-1 đến 6B-6 dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.23 là biểu đồ thể hiện các trị số CT và DOC của các Ví dụ từ 6B-1 đến 6B-6 dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.24 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của các Ví dụ từ 6C-1 đến 6C-6 dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.25 là biểu đồ thể hiện các trị số CT và DOC của các Ví dụ từ 6C-1 đến 6C-6 dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.26 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của các Ví dụ từ 6D-1 đến 6D-6 dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.27 là biểu đồ thể hiện các trị số CT và DOC của các Ví dụ từ 6D-1 đến 6D-6 dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.28 là biểu đồ thể hiện CT dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion đối với các Ví dụ 7A-7G;

Fig.29 là biểu đồ thể hiện sự thay đổi trong các trị số ứng suất kéo trung tâm và năng lượng kéo dự trữ, đều dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion đối với các Ví dụ 7A-7G;

Fig.30 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của Ví dụ so sánh 8A và Ví dụ 8B dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.31 là biểu đồ thể hiện năng lượng kéo dự trữ của Ví dụ so sánh 8A và Ví dụ 8B dưới dạng hàm số của CT; và

Fig.32 là biểu đồ thể hiện năng lượng kéo dự trữ của Ví dụ so sánh 8C và Ví dụ 8D dưới dạng hàm số của CT;

Fig.33 là biểu đồ thể hiện độ cao roi làm hỏng đối với các Ví dụ 2, 6 và 9B và Ví dụ so sánh 9I;

Fig.34 là biểu đồ thể hiện kết quả thử nghiệm vòng mài mòn trên vòng đối với các Ví dụ 2, 6, 9B và Ví dụ so sánh 9J;

Fig.35 là biểu đồ phân phối Weibull thể hiện kết quả uốn 4 điểm đối với các Ví dụ 2 và 9B;

Fig.36 là sơ đồ mặt cắt ngang của phương án về thiết bị mà được sử dụng để thực hiện thử nghiệm bi ngược trên giấy nhám (inverted ball on sandpaper: IBoS) được mô tả trong sáng chế;

Fig.37 là sự biểu thị sơ đồ mặt cắt ngang của cơ chế chính đối với hư hỏng do sự truyền lực phá hoại cộng với sự uốn cong mà thường xảy ra trong các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh mà được sử dụng trong các thiết bị điện tử di động hoặc cầm tay;

Fig.38 là lưu đồ về phương pháp tiến hành thử nghiệm IBoS trong thiết bị được mô tả ở đây; và

Fig.39 là biểu đồ minh họa các biên dạng ứng suất khác nhau theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, sáng chế sẽ được mô tả một cách chi tiết với các phương án khác nhau, ví dụ về các phương án này được minh họa trong các ví dụ và hình vẽ kèm theo.

Trong phần mô tả dưới đây, các số chỉ viện dẫn giống nhau biểu thị các phần giống nhau hoặc tương ứng trong một số hình được thể hiện trên các hình vẽ. Cũng cần hiểu rằng, trừ khi có quy định khác, các thuật ngữ như “đỉnh”, “đáy”, “hướng ra

ngoài”, “hướng vào trong”, và các từ tương tự là các từ dùng cho thuận tiện và không được hiểu là các thuật ngữ giới hạn. Ngoài ra, bất kỳ khi nào một nhóm được mô tả dưới dạng chứa ít nhất một trong nhóm các yếu tố và các kết hợp của chúng, thì cần hiểu rằng, nhóm này có thể chứa, về cơ bản là gồm, hoặc gồm một số bất kỳ trong số các yếu tố được nêu, riêng rẽ hoặc kết hợp với nhau. Tương tự, bất kỳ khi nào một nhóm được mô tả dưới dạng gồm ít nhất một trong nhóm các yếu tố và các kết hợp của chúng, thì cần hiểu rằng, nhóm này có thể gồm một số bất kỳ trong số các yếu tố được nêu, riêng rẽ hoặc kết hợp với nhau. Trừ khi có quy định khác, các khoảng trị số, khi được nêu, gồm cả giới hạn trên và giới hạn dưới của khoảng này cũng như các khoảng bất kỳ giữa chúng. Như được sử dụng ở đây, các danh từ không xác định số lượng có nghĩa là “ít nhất một” hoặc “một hoặc nhiều”, trừ khi có quy định khác. Cũng cần hiểu rằng, các dấu hiệu khác nhau được bộc lộ trong bản mô tả và các hình vẽ có thể được sử dụng trong kết hợp bất kỳ và tất cả các kết hợp.

Như được sử dụng ở đây, các thuật ngữ “vật phẩm trên cơ sở thủy tinh” và “các vật nền trên cơ sở thủy tinh” được sử dụng theo nghĩa rộng nhất của chúng và gồm đối tượng bất kỳ được làm toàn bộ hoặc một phần bằng thủy tinh. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gồm các tấm nhiều lớp làm từ vật liệu thủy tinh và vật liệu không phải thủy tinh, các tấm nhiều lớp làm từ vật liệu thủy tinh và vật liệu tinh thể, và các gốm thủy tinh (gồm cả pha vô định hình và pha tinh thể). Trừ khi có quy định khác, tất cả các thành phần cấu tạo được biểu thị theo phần trăm mol (% mol).

Lưu ý là, các thuật ngữ "hầu như" và "khoảng" có thể được sử dụng ở đây để biểu thị mức độ không chắc chắn vốn có mà có thể là thuộc tính của sự so sánh định lượng, trị số, số đo, hoặc sự biểu thị khác. Các thuật ngữ này cũng được sử dụng ở đây để biểu thị mức độ mà qua đó sự biểu thị định lượng có thể thay đổi so với giá trị tham chiếu được nêu mà không dẫn đến sự thay đổi về chức năng cơ sở của đối tượng ở vấn đề đó. Do đó, ví dụ, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh mà “hầu như không có MgO” là vật phẩm trên cơ sở thủy tinh mà trong đó MgO không được bổ sung hoặc đưa vào vật phẩm này một cách chủ động, nhưng có thể có mặt với lượng rất nhỏ dưới dạng tạp chất.

Liên quan đến các hình vẽ nói chung và cụ thể đến các Fig.1-3, cần hiểu rằng các minh họa là chỉ nhằm mục đích mô tả các phương án cụ thể và không được dự tính là giới hạn phần bộc lộ hoặc các yêu cầu bảo hộ kèm theo ở đó. Các hình vẽ không nhất thiết phải theo tỷ lệ, và các dấu hiệu nhất định và các mặt nhất định của các hình vẽ này có thể được thể hiện một cách phóng đại về tỷ lệ hoặc dưới dạng sơ đồ nhằm mục đích rõ ràng và ngắn gọn.

Như được sử dụng ở đây, DOC dùng để chỉ độ sâu mà tại đó ứng suất trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thay đổi từ ứng suất nén thành ứng suất kéo. Tại DOC, ứng suất vượt qua từ ứng suất dương (nén) sang ứng suất âm (kéo) (ví dụ, 130 trên Fig.1) và do đó, có trị số ứng suất bằng không.

Như được sử dụng ở đây, các thuật ngữ “độ sâu hóa học”, “độ sâu hóa học của lớp” và “độ sâu của lớp hóa học” có thể được sử dụng thay thế nhau và để chỉ độ sâu tại đó ion của oxit kim loại hoặc oxit kim loại kiềm (ví dụ, ion kim loại hoặc ion kim loại kiềm) khuếch tán vào trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh và độ sâu tại đó nồng độ ion này đạt đến trị số tối thiểu, như được xác định bằng phương pháp vi phân tích đầu dò điện tử (Electron Probe Micro-Analysis: EPMA) hoặc phương pháp đo phổ phát xạ quang- phóng điện phát sáng (Glow Discharge - Optical Emission Spectroscopy: GD-OES)). Cụ thể là, việc đánh giá độ sâu của sự khuếch tán Na_2O hoặc của nồng độ ion Na^+ có thể được xác định bằng cách sử dụng phương pháp EPMA và FSM (được mô tả chi tiết hơn dưới đây).

Theo quy ước thường được sử dụng trong lĩnh vực này, sự nén được biểu thị là ứng suất âm (<0) và sự kéo được biểu thị là ứng suất dương (>0). Tuy nhiên, trong toàn bộ phần mô tả này, CS được biểu thị là trị số dương hoặc trị số tuyệt đối – tức là, khi được nêu ở đây, $\text{CS} = |\text{CS}|$.

Được mô tả ở đây là các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học, mỏng, mà gồm các thủy tinh, như các thủy tinh silicat gồm thủy tinh chứa kiềm, và các gốm thủy tinh mà có thể được sử dụng làm thủy tinh phủ ngoài cho các thiết bị điện tử di động và các thiết bị hiển thị cho phép chạm. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh cũng có thể được sử dụng trong các thiết bị hiển thị (hoặc dưới dạng các vật phẩm hiển thị) (ví dụ, các bảng dán yết thị, một điểm của các hệ thống bán hàng, máy tính,

các hệ thống điều hướng, v.v.), các vật phẩm trong kiến trúc (tường, vật gắn cố định, panen, cửa sổ, v.v.), các vật phẩm trong giao thông (ví dụ, trong các ứng dụng ô tô, tàu hỏa, máy bay, tàu thủy, v.v.), đồ gia dụng (ví dụ, máy giặt, máy sấy, máy rửa bát, tủ lạnh, v.v.), hoặc vật phẩm bất kỳ mà cần độ bền chống nứt vỡ nhất định.

Cụ thể là, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được mô tả ở đây là mỏng và có các biên dạng ứng suất mà thường là chỉ có thể đạt được thông qua việc tôi các vật phẩm thủy tinh dày (ví dụ, có độ dày khoảng 2 mm hoặc 3 mm hoặc lớn hơn). Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thể hiện các biên dạng ứng suất duy nhất dọc theo độ dày của nó. Trong một số trường hợp, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thể hiện CS bề mặt lớn hơn các vật phẩm thủy tinh được tôi. Theo một hoặc nhiều phương án, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thể hiện độ sâu của lớp chịu nén lớn hơn (trong đó CS giảm và tăng từ từ hơn các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học đã biết), vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này thể hiện độ bền chống nứt vỡ được cải thiện đáng kể, ngay cả khi vật phẩm trên cơ sở thủy tinh hoặc thiết bị chứa vật phẩm trên cơ sở thủy tinh bị rơi lên bề mặt cứng, nhám. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thể hiện trị số CT tối đa lớn hơn một số vật nền thủy tinh được gia cường hóa học đã biết.

CS và độ sâu của lớp ứng suất nén (depth of compressive stress layer: “DOL”) được đo bằng cách sử dụng các biện pháp đã biết trong lĩnh vực này. DOL được phân biệt với DOC bằng kỹ thuật đo trong đó DOL được xác định bằng máy đo ứng suất bề mặt (surface stress meter: FSM) sử dụng các dụng cụ có sẵn trên thị trường như FSM-6000, được sản xuất bởi Luceo Co., Ltd. (Tokyo, Japan), hoặc dụng cụ tương tự và các phương pháp đo ứng suất nén CS và độ sâu của lớp được mô tả theo tiêu chuẩn ASTM 1422C-99, với tiêu đề “Standard Specification for Chemically Strengthened Flat Glass,” và tiêu chuẩn ASTM 1279.19779 “Standard Test Method for Non-Destructive Photoelastic Measurement of Edge and Surface Stresses in Annealed, Heat-Strengthened, and Fully-Tempered Flat Glass,” toàn bộ nội dung của các tiêu chuẩn này được kết hợp ở đây bằng cách tham khảo. Các số đo ứng suất bề mặt dựa trên phép đo chính xác về hệ số ứng suất quang (stress optical coefficient: SOC), hệ số này có liên quan đến tính lưỡng chiết quang của thủy tinh. Sau đó, SOC được đo bằng các phương pháp đã biết trong lĩnh vực này, như phương pháp sợi và bốn điểm uốn, cả hai

phương pháp này được mô tả theo tiêu chuẩn ASTM C770-98 (2008), với tiêu đề “Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient,” toàn bộ nội dung của tiêu chuẩn này được kết hợp ở đây bằng cách tham khảo, và phương pháp xi lanh khối.

Đối với các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường trong đó các lớp CS kéo dài đến các độ sâu sâu hơn trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh, kỹ thuật FSM có thể gặp phải các vấn đề về sự tương phản mà ảnh hưởng đến trị số DOL quan sát được. Ở các trị số DOL sâu hơn, có thể có sự tương phản không thích hợp giữa phổ TE và TM, do đó khiến cho việc tính toán khác biệt giữa phổ TE và TM – và xác định DOL – trở nên khó khăn hơn. Hơn nữa, việc kỹ thuật FSM cũng không có khả năng xác định biên dạng ứng suất (tức là, sự biến thiên CS dưới dạng hàm số của độ sâu trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh). Ngoài ra, kỹ thuật FSM cũng không thể xác định DOL thu được từ sự trao đổi ion của các nguyên tố nhất định như, ví dụ, trao đổi ion giữa natri và lithi.

Các kỹ thuật được mô tả dưới đây đã được phát triển để xác định chính xác hơn DOC và các biên dạng ứng suất đối với các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường.

Trong đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 13/463,322, có tên sáng chế là “Systems and Methods for Measuring the Stress Profile of Ion-Exchanged Glass (sau đây được gọi là “Roussev I”),” được nộp bởi Rostislav V. Roussev et al. vào ngày 03/05/2012, và yêu cầu hưởng quyền ưu tiên từ đơn yêu cầu cấp patent Mỹ tạm thời số 61/489,800, cũng có tên như vậy và được nộp vào ngày 25/05/2011, hai phương pháp để trích ra các biên dạng ứng suất chi tiết và chính xác (ứng suất dưới dạng hàm số của độ sâu) của thủy tinh cường lực hoặc thủy tinh gia cường hóa học đã được bộc lộ. Các phổ của các phương thức quang học biên đối với sự phân cực TM và TE được thu thập thông qua các kỹ thuật kết hợp lăng kính, và toàn bộ các phổ này được sử dụng để thu được các biên dạng hệ số khúc xạ TM và TE chi tiết và chính xác $n_{TM}(z)$ và $n_{TE}(z)$. Toàn bộ nội dung của đơn nêu trên được kết hợp vào đây bằng cách viện dẫn.

Theo một phương án, các biên dạng hệ số chi tiết thu được từ các phổ phương thức này bằng cách sử dụng phương pháp Wentzel–Kramers–Brillouin nghịch đảo (inverse Wentzel–Kramers–Brillouin: IWKB).

Theo phương án khác, các biên dạng hệ số chi tiết thu được bằng cách làm khớp thích hợp các phổ phương thức đo được với các phổ tính toán bằng số của các dạng hàm số xác định trước mà mô tả các hình dạng của các biên dạng hệ số và thu được các thông số của các dạng hàm số này từ việc làm khớp thích hợp nhất. Biên dạng ứng suất chi tiết $S(z)$ được tính từ hiệu số của các biên dạng hệ số TM và TE bằng cách sử dụng giá trị hệ số ứng suất quang đã biết (SOC):

$$S(z) = [n_{TM}(z) - n_{TE}(z)]/SOC \quad (2).$$

Do giá trị của SOC là nhỏ nên độ lưỡng chiết quang $n_{TM}(z) - n_{TE}(z)$ ở độ sâu z bất kỳ là phần nhỏ (thường vào khoảng 1%) của một trong hai hệ số $n_{TM}(z)$ và $n_{TE}(z)$. Việc thu nhận các biên dạng ứng suất mà không bị bóp méo một cách đáng kể do sự nhiễu tạp trong các phổ phương thức đo được cần sự xác định các hệ số hữu hiệu đối với phương thức với độ chính xác khoảng 0,00001 RIU. Các phương pháp được bộc lộ trong Roussev I còn bao gồm các kỹ thuật được áp dụng cho các dữ liệu thô để đảm bảo sự chính xác cao như vậy cho các hệ số phương thức đo, bất chấp tạp nhiễu và/hoặc sự tương phản kém trong các phổ phương thức TE và TM thu thập được hay trong các hình ảnh của các phổ phương thức này. Các kỹ thuật này bao gồm trung hòa tạp nhiễu, lọc, và khớp đường cong để phát hiện các vị trí của các điểm cực trị tương ứng với các phương thức với độ phân giải dưới pixel.

Tương tự, đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 14/033,954, có tên sáng chế là “Systems và Methods for Measuring Birefringence in Glass và Glass-Ceramics” (sau đây gọi là “Roussev II”), được nộp bởi tác giả Rostislav V. Roussev et al. vào ngày 23/09/2013, và yêu cầu hưởng quyền ưu tiên từ đơn yêu cầu cấp patent Mỹ tạm thời số 61/706,891, có tên giống như vậy và được nộp vào ngày 28/09/2012, bộc lộ thiết bị và các phương pháp để đo bằng quang học tính lưỡng chiết quang trên bề mặt của thủy tinh và gốm thủy tinh, gốm thủy tinh mờ và gốm thủy tinh. Không giống như Roussev I, trong đó các phổ riêng biệt của các phương thức được nhận dạng, các phương pháp được bộc lộ trong Roussev II dựa vào việc phân tích cẩn thận sự phân bố cường độ góc

đối với ánh sáng TM và TE được phản xạ bởi mặt phân giới lăng kính-mẫu trong cấu hình kết hợp lăng kính của các phép đo. Toàn bộ nội dung của đơn nêu trên được kết hợp vào đây bằng cách viện dẫn.

Do đó, sự phân bố chính xác của cường độ quang học được phản xạ theo góc là quan trọng hơn nhiều so với các phép đo ứng suất kết hợp với lăng kính truyền thống, trong đó chỉ nhằm vào các vị trí của các kiểu mẫu rời rạc. Với điều này, các phương pháp được bộc lộ trong Roussev 1 và Roussev II gồm các kỹ thuật để chuẩn hóa phổ cường độ, bao gồm việc chuẩn hóa đối với hình ảnh hoặc tín hiệu tham chiến, hiệu chỉnh đối với tính phi tuyến của bộ dò, làm đều nhiều hình ảnh để giảm vết đốm và nhiễu hình ảnh, và áp dụng việc lọc số để làm mịn hơn nữa phổ góc cường độ. Ngoài ra, một phương pháp gồm việc tạo ra tín hiệu tương phản, tín hiệu này được chuẩn hóa bổ sung để hiệu chỉnh đối với các khác biệt cơ sở trong hình dạng giữa tín hiệu TM và tín hiệu TE. Phương pháp nêu trên dựa vào việc đạt được hai tín hiệu mà gần như giống nhau và xác định độ dịch chuyển chung của chúng với độ phân giải dưới pixel bằng cách so sánh các phần của các tín hiệu chứa các vùng dốc nhất. Tính lưỡng chiết quang tỷ lệ với sự dịch chuyển chung, với hệ số được xác định bằng kiểu dáng thiết bị, gồm hình dạng và chỉ số lăng kính, tiêu cự của thấu kính, và khoảng cách pixel trên cảm biến. Ứng suất được xác định bằng cách nhân mức độ lưỡng chiết quang đo được với hệ số quang ứng suất đã biết.

Theo phương pháp được bộc lộ khác, các đạo hàm của các tín hiệu TM và TE được xác định sau khi áp dụng một số kết hợp của các kỹ thuật điều hòa tín hiệu nêu trên. Vị trí của các đạo hàm tối đa của các tín hiệu TM và TE thu được với độ phân giải dưới pixel, và tính lưỡng chiết quang là tỷ lệ với khoảng cách của hai trị số tối đa nêu trên, với hệ số được xác định như trên đây bằng các thông số của thiết bị.

Kết hợp với yêu cầu trích ra cường độ chính xác, thiết bị gồm một số yếu tố tăng cường, như sử dụng bề mặt tán xạ ánh sáng (máy khuếch tán tĩnh) ở gần với hoặc trên bề mặt đi vào lăng kính để cải thiện tính đồng đều về góc của sự chiếu sáng, máy khuếch tán động để giảm vết đốm khi nguồn sáng là nhất quán hoặc một phần nhất quán, và các lớp phủ hấp thụ ánh sáng trên các phần của các mặt nhập và xuất của lăng kính và trên các mặt bên của lăng kính, để giảm nền tạp mà có xu hướng làm méo tín

hiệu cường độ. Ngoài ra, thiết bị có thể gồm nguồn sáng hồng ngoại để cho phép đo các vật liệu mờ đục.

Hơn nữa, Roussev II đã bộc lộ khoảng bước sóng và các hệ số tắt dần của mẫu được thử nghiệm, trong đó các phép đo được thực hiện bằng các phương pháp được mô tả và thiết bị có các yếu tố tăng cường. Khoảng bước sóng này được xác định bằng $\alpha_s \lambda < 250\pi\sigma_s$, trong đó α_s là hệ số tắt dần quang học tại bước sóng đo λ , và σ_s là trị số kỳ vọng của ứng suất được đo với độ chính xác yêu cầu điển hình đối với các ứng dụng thực tiễn. Khoảng rộng này cho phép các số đo tầm quan trọng trên thực tế thu được ở các bước sóng trong đó sự tắt dần quang học lớn làm cho các phương pháp đo đã tồn tại trước đây trở nên không thể áp dụng được. Ví dụ, Roussev II bộc lộ các phép đo thành công tính lưỡng chiết quang do ứng suất của gốm-thủy tinh trắng mờ ở bước sóng 1550 nm, trong đó sự tắt dần là lớn hơn khoảng 30 dB/mm.

Mặc dù đã có lưu ý trên đây rằng có một số vấn đề với kỹ thuật FSM ở các trị số DOL sâu hơn, FSM vẫn là kỹ thuật thông thường có lợi mà có thể sử dụng với hiệu biết rằng khoảng sai số lên tới $\pm 20\%$ là khả dĩ ở các trị số DOL sâu hơn. DOL được sử dụng ở đây để chỉ độ sâu của lớp ứng suất nén được tính bằng cách sử dụng kỹ thuật FSM, trong khi đó DOC để chỉ độ sâu của lớp ứng suất nén được xác định bằng các phương pháp được mô tả trong Roussev I & II.

Như nêu trên, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được mô tả ở đây có thể được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion và thể hiện các biên dạng ứng suất mà khác biệt với các ứng suất được thể hiện bởi thủy tinh được gia cường đã biết. Trong quy trình này, các ion ở hoặc ở gần bề mặt của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được thay thế bằng hoặc được trao đổi với các ion lớn hơn có hóa trị hoặc trạng thái oxy hóa giống nhau. Theo các phương án mà trong đó vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chứa thủy tinh nhôm silicat kiềm, các ion ở lớp bề mặt của thủy tinh và các ion lớn hơn là các cation kim loại kiềm hóa trị một, như Li^+ (nếu có mặt trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh), Na^+ , K^+ , Rb^+ , và Cs^+ . Cách khác, các cation hóa trị một trong lớp bề mặt có thể được thay thế bằng các cation hóa trị một không phải các cation kim loại kiềm, chẳng hạn như Ag^+ hoặc các ion tương tự.

Các quy trình trao đổi ion điển hình được thực hiện bằng cách ngâm vật phẩm trên cơ sở thủy tinh trong bể muối nóng chảy (hoặc hai hoặc nhiều bể muối nóng chảy) chứa các ion lớn hơn cần được trao đổi với các ion nhỏ hơn trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Cần lưu ý rằng, các bể muối chứa nước cũng có thể được sử dụng. Ngoài ra, thành phần trong (các) bể có thể còn gồm nhiều hơn một loại ion lớn hơn (ví dụ, Na^+ và K^+) hoặc chỉ gồm một loại ion lớn hơn. Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này kỹ thuật này sẽ hiểu rằng, các thông số của quy trình trao đổi ion, bao gồm, nhưng không bị giới hạn ở, thành phần và nhiệt độ bể chứa, thời gian ngâm, số lần ngâm của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh trong bể muối (hoặc các bể), việc sử dụng nhiều bể muối, các bước bổ sung như ủ, rửa và bước tương tự, thông thường được xác định bởi thành phần cấu tạo của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (bao gồm cấu trúc của vật phẩm này và các pha tinh thể có trong đó) và DOL hoặc DOC và CS mong muốn của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh mà phát sinh từ hoạt động gia cường. Bằng cách ví dụ, việc trao đổi ion của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể đạt được bằng cách ngâm các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này trong ít nhất một bể nóng chảy chứa muối như nhưng không bị giới hạn ở, nitrat, sulfat và clorua của ion kim loại kiềm lớn hơn. Các muối nitrat điển hình gồm KNO_3 , NaNO_3 , LiNO_3 , NaSO_4 và các hỗn hợp của chúng. Nhiệt độ của bể muối nóng chảy điển hình nằm trong khoảng từ 380°C đến khoảng 450°C , trong khi thời gian ngâm nằm trong khoảng từ 15 phút đến khoảng 100 giờ tùy thuộc vào độ dày của thủy tinh, nhiệt độ của bể và tính khuếch tán của thủy tinh. Tuy nhiên, nhiệt độ và thời gian ngâm khác với khoảng mô tả ở trên cũng có thể được sử dụng.

Theo một hoặc nhiều phương án, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được ngâm trong bể muối nóng chảy chứa 100% NaNO_3 có nhiệt độ từ khoảng 370°C đến khoảng 480°C . Theo một số phương án, vật nền trên cơ sở thủy tinh có thể được ngâm trong bể muối hỗn hợp nóng chảy chứa từ khoảng 5% đến khoảng 90% KNO_3 và từ khoảng 10% đến khoảng 95% NaNO_3 . Theo một số phương án, vật nền trên cơ sở thủy tinh có thể được ngâm trong bể muối hỗn hợp nóng chảy chứa Na_2SO_4 và NaNO_3 và có khoảng nhiệt độ rộng hơn (ví dụ, lên đến khoảng 500°C). Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được ngâm trong bể thứ hai, sau khi

ngâm trong bể thứ nhất. Việc ngâm trong bể thứ hai có thể gồm ngâm trong bể muối nóng chảy chứa 100% KNO_3 trong thời gian 15 phút đến 8 giờ.

Các điều kiện trao đổi ion có thể được điều chỉnh để tạo ra “sự tăng vọt” hoặc để gia tăng độ dốc của biên dạng ứng suất tại hoặc gần bề mặt. Sự tăng vọt này có thể đạt được bằng một bể hoặc nhiều bể, với (các) bể có thành phần đơn hoặc thành phần hỗn hợp, do các tính chất duy nhất của các chế phẩm thủy tinh được sử dụng trong các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được mô tả ở đây.

Như được minh họa trên Fig.3, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 300 theo một hoặc nhiều phương án gồm bề mặt thứ nhất 302 và bề mặt thứ hai 304 đối diện với bề mặt thứ nhất, xác định ra độ dày t . Theo một hoặc nhiều phương án, độ dày t có thể là khoảng 3 milimet hoặc nhỏ hơn (ví dụ, nằm trong khoảng từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 3 milimet, từ khoảng 0,1 milimet đến khoảng 3 milimet, từ khoảng 0,2 milimet đến khoảng 3 milimet, từ khoảng 0,3 milimet đến khoảng 3 milimet, từ khoảng 0,4 milimet đến khoảng 3 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 2,5 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 2 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 1,5 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 1 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 0,9 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 0,8 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 0,7 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 0,6 milimet, từ khoảng 0,01 milimet đến khoảng 0,5 milimet, từ khoảng 0,1 milimet đến khoảng 0,5 milimet, hoặc từ khoảng 0,3 milimet đến khoảng 0,5 milimet.)

Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này có biên dạng ứng suất kéo dài từ bề mặt thứ nhất 302 đến bề mặt thứ hai 304 (hoặc dọc theo toàn bộ chiều dài của độ dày t). Trong phương án được thể hiện trên Fig.3, biên dạng ứng suất 312 như được đo bởi Roussev I & II đã được mô tả ở đây, được thể hiện cùng với biên dạng ứng suất 340 được ước tính bằng kỹ thuật đo FSM như được mô tả ở đây. Trục x biểu thị trị số ứng suất và trục y biểu thị độ dày hoặc độ sâu trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh.

Như được minh họa trên Fig.3, biên dạng ứng suất 312 biểu thị lớp CS 315 (với CS bề mặt 310), lớp CT 325 (với CT tối đa 320) và DOC 317 tại đó biên dạng ứng suất 312 chuyển từ nén sang kéo tại 330. Lớp CT 325 còn có độ sâu hoặc độ dài kết hợp 327 (vùng CT của lớp). Biên dạng ứng suất ước tính 340 thể hiện DOL lớn hơn

DOC. Như được sử dụng ở đây, việc viện dẫn đến DOC và DOL là liên quan đến mỗi độ sâu từ một bề mặt (hoặc bề mặt thứ nhất 302 hoặc bề mặt thứ hai 304), với việc hiểu rõ rằng DOC hoặc DOL này cũng có thể có mặt từ bề mặt còn lại.

CS bề mặt 310 có thể là khoảng 150 MPa hoặc lớn hơn hoặc khoảng 200 MPa hoặc lớn hơn (ví dụ, khoảng 250 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 300 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 400 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 450 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 500 MPa hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 550 MPa hoặc lớn hơn). CS bề mặt 310 có thể lên đến khoảng 900 MPa, lên đến khoảng 1000 MPa, lên đến khoảng 1100 MPa, hoặc lên đến khoảng 1200 MPa. CT tối đa 320 có thể là khoảng 25 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 50 MPa hoặc lớn hơn hoặc khoảng 100 MPa hoặc lớn hơn (ví dụ, khoảng 150 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 200 MPa hoặc lớn hơn, 250 MPa hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 300 MPa hoặc lớn hơn). Theo một số phương án, CT tối đa 320 có thể nằm trong khoảng từ khoảng 50 MPa đến khoảng 250 MPa (ví dụ, từ khoảng 75 MPa đến khoảng 250 MPa, từ khoảng 100 MPa đến khoảng 250 MPa, từ khoảng 150 MPa đến khoảng 250 MPa, từ khoảng 50 MPa đến khoảng 175 MPa, từ khoảng 50 MPa đến khoảng 150 MPa, hoặc từ khoảng 50 MPa đến khoảng 100 MPa). CT tối đa 320 có thể được định vị nằm trong khoảng từ khoảng $0,3 \cdot t$ đến khoảng $0,7 \cdot t$, từ khoảng $0,4 \cdot t$ đến khoảng $0,6 \cdot t$ hoặc từ khoảng $0,45 \cdot t$ đến khoảng $0,55 \cdot t$. Cần lưu ý rằng, một hoặc nhiều trị số bất kỳ trong số CS bề mặt 310 và CT tối đa 320 có thể phụ thuộc vào độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Ví dụ, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh ở độ dày khoảng 0,8 mm có thể có CT tối đa là khoảng 100 MPa hoặc lớn hơn. Nếu độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh giảm, CT tối đa có thể gia tăng. Nói cách khác, CT tối đa gia tăng với sự giảm độ dày (hoặc khi vật phẩm trên cơ sở thủy tinh trở nên mỏng hơn).

Theo một số phương án, tỷ lệ giữa CT tối đa 320 và CS bề mặt 310 nằm trong khoảng từ khoảng 0,05 đến khoảng 1 (ví dụ, nằm trong khoảng từ khoảng 0,05 đến khoảng 0,5, từ khoảng 0,05 đến khoảng 0,3, từ khoảng 0,05 đến khoảng 0,2, từ khoảng 0,05 đến khoảng 0,1, từ khoảng 0,5 đến khoảng 0,8, từ khoảng 0,05 đến khoảng 1, từ khoảng 0,2 đến khoảng 0,5, từ khoảng 0,3 đến khoảng 0,5). Trong các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học đã biết, tỷ lệ giữa CT tối đa 320 và CS bề mặt 310 là 0,1 hoặc nhỏ hơn. Theo một số phương án, CS bề mặt có thể gấp 1,5 lần (hoặc 2

lần hoặc 2,5 lần) CT tối đa hoặc gấp nhiều hơn thế. Theo một số phương án, CS bề mặt có thể gấp đến khoảng 20 lần CT tối đa.

Theo một hoặc nhiều phương án, biên dạng ứng suất 312 gồm CS tối đa, mà điển hình là CS bề mặt 310, trị số này có thể được phát hiện ở một hoặc cả hai bề mặt thứ nhất 302 và bề mặt thứ hai 304. Theo một hoặc nhiều phương án, vùng hoặc lớp CS 315 kéo dài dọc theo một phần của độ dày đến DOC 317 và CT tối đa 320. Theo một hoặc nhiều phương án, DOC 317 có thể là khoảng $0,1 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Ví dụ, DOC 317 có thể là khoảng $0,12 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khoảng $0,14 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khoảng $0,15 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khoảng $0,16 \cdot t$ hoặc lớn hơn, $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn, $0,18 \cdot t$ hoặc lớn hơn, $0,19 \cdot t$ hoặc lớn hơn, $0,20 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khoảng $0,21 \cdot t$ hoặc lớn hơn, hoặc lên đến khoảng $0,25 \cdot t$. Theo một số phương án, DOC 317 là nhỏ hơn độ sâu hóa học 342. Độ sâu hóa học 342 có thể là khoảng $0,4 \cdot t$ hoặc lớn hơn, $0,5 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khoảng $55 \cdot t$ hoặc lớn hơn, hoặc khoảng $0,6 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Theo một hoặc nhiều phương án, biên dạng ứng suất 312 có thể được mô tả dưới hình dạng giống như hình parabol. Theo một số phương án, biên dạng ứng suất dọc theo vùng hoặc độ sâu của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thể hiện ứng suất kéo có hình giống hình parabol. Theo một hoặc nhiều phương án cụ thể, biên dạng ứng suất 312 không có phần ứng suất (tức là, ứng suất nén hoặc kéo) bằng phẳng hoặc không có phần mà thể hiện ứng suất (tức là, ứng suất nén hoặc kéo) hầu như không đổi. Theo một số phương án, vùng CT thể hiện biên dạng ứng suất mà hầu như không có ứng suất bằng phẳng hoặc không có ứng suất hầu như không đổi. Theo một hoặc nhiều phương án, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất 312 nằm trong khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ lên đến khoảng $0,2 \cdot t$ và lớn hơn $0,8 \cdot t$ (hoặc từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$ và lớn hơn $0,7 \cdot t$) có tang số nhỏ hơn khoảng $-0,1$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,1$ MPa/micromet. Theo một số phương án, tang số này có thể nhỏ hơn khoảng $-0,2$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,2$ MPa/micromet. Theo một số phương án cụ thể hơn, tang số này có thể nhỏ hơn khoảng $-0,3$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,3$ MPa/micromet. Theo một phương án cụ thể hơn nữa, tang số này có thể nhỏ hơn khoảng $-0,5$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,5$ MPa/micromet. Nói cách khác, biên dạng ứng suất của một hoặc nhiều phương án cùng với các khoảng độ dày này (tức là, $0 \cdot t$ lên đến khoảng $2 \cdot t$ và lớn hơn khoảng $0,8t$, hoặc từ khoảng $0t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$ và $0,7 \cdot t$ hoặc lớn hơn) loại

trừ các điểm có tang số, như được mô tả ở đây. Không bị giới hạn bởi lý thuyết bất kỳ, hàm sai số đã biết hoặc các biên dạng ứng suất gần như tuyến tính có các điểm dọc theo các khoảng độ dày này (tức là, $0 \cdot t$ lên đến khoảng $2 \cdot t$ và lớn hơn $0,8 \cdot t$, hoặc từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$ và $0,7 \cdot t$ hoặc lớn hơn) mà có tang số từ khoảng $-0,1$ MPa/micromet đến khoảng $0,1$ MPa/micromet, từ khoảng $-0,2$ MPa/micromet đến khoảng $0,2$ MPa/micromet, từ khoảng $-0,3$ MPa/micromet đến khoảng $0,3$ MPa/micromet, hoặc từ khoảng $-0,5$ MPa/micromet đến khoảng $0,5$ MPa/micromet (thể hiện biên dạng ứng suất phẳng hoặc có độ dốc bằng không dọc theo các khoảng độ dày này, như được thể hiện trên Fig.2, 220). Các biên dạng ứng suất của một hoặc nhiều phương án của sáng chế không thể hiện kiểu biên dạng ứng suất này có biên dạng ứng suất phẳng hoặc độ dốc bằng không dọc theo các khoảng độ dày này, như được thể hiện trên Fig.3.

Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thể hiện biên dạng ứng suất trên khoảng độ dày từ khoảng $0,1 \cdot t$ đến $0,3 \cdot t$ và từ khoảng $0,7 \cdot t$ đến $0,9 \cdot t$ có tang số tối đa và tang số tối thiểu. Trong một số trường hợp, chênh lệch giữa tang số tối đa và tang số tối thiểu là khoảng $3,5$ MPa/micromet hoặc nhỏ hơn, khoảng 3 MPa/micromet hoặc nhỏ hơn, khoảng $2,5$ MPa/micromet hoặc nhỏ hơn, hoặc khoảng 2 MPa/micromet hoặc nhỏ hơn.

Theo một hoặc nhiều phương án, biên dạng ứng suất 312 hầu như không có các đoạn tuyến tính bất kỳ mà kéo dài theo hướng độ sâu hoặc dọc theo ít nhất một phần của độ dày t của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Nói cách khác, biên dạng ứng suất 312 hầu như là liên tục tăng hoặc giảm dọc theo độ dày t . Theo một số phương án, biên dạng ứng suất này hầu như là không có các đoạn tuyến tính bất kỳ theo hướng độ sâu có độ dài khoảng 10 micromet hoặc hơn thế, khoảng 50 micromet hoặc hơn thế, hoặc khoảng 100 micromet hoặc hơn thế, hoặc khoảng 200 micromet hoặc hơn thế. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “tuyến tính” chỉ độ dốc có độ lớn nhỏ hơn khoảng 5 MPa/micromet, hoặc nhỏ hơn khoảng 2 MPa/micromet dọc theo đoạn tuyến tính. Theo một số phương án, một hoặc nhiều phần của biên dạng ứng suất mà hầu như không có đoạn tuyến tính bất kỳ theo hướng độ sâu, có mặt ở các độ sâu trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh là khoảng 5 micromet hoặc lớn hơn (ví dụ, 10 micromet hoặc lớn hơn, hoặc 15 micromet hoặc lớn hơn) tính từ một hoặc cả hai bề mặt thứ nhất

hoặc bề mặt thứ hai. Ví dụ, dọc theo độ sâu khoảng 0 micromet đến nhỏ hơn khoảng 5 micromet tính từ bề mặt thứ nhất, biên dạng ứng suất có thể gồm các đoạn tuyến tính, nhưng từ độ sâu khoảng 5 micromet hoặc lớn hơn tính từ bề mặt thứ nhất, biên dạng ứng suất có thể hầu như là không có các đoạn tuyến tính.

Theo một số phương án, biên dạng ứng suất có thể gồm các đoạn tuyến tính từ các độ sâu từ khoảng $0t$ lên đến khoảng $0,1t$ và có thể hầu như không có các đoạn tuyến tính ở các độ sâu từ khoảng $0,1t$ đến khoảng $0,4t$. Theo một số phương án, biên dạng ứng suất trên độ dày nằm trong khoảng từ khoảng $0t$ đến khoảng $0,1t$ có thể có độ dốc nằm trong khoảng từ khoảng 20 MPa/micron đến khoảng 200 MPa/micron. Như sẽ được mô tả ở đây, các phương án này có thể được tạo ra sử dụng quy trình trao đổi ion đơn qua đó bề chứa hai hoặc nhiều muối kiềm hoặc là bề muối kiềm hỗn hợp hoặc nhiều (ví dụ, 2 hoặc nhiều) quy trình trao đổi ion.

Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được mô tả dưới dạng hình dạng của biên dạng ứng suất dọc theo vùng CT (327 trên Fig.3). Ví dụ, theo một số phương án, biên dạng ứng suất dọc theo vùng CT (trong đó ứng suất là ở dạng kéo) có thể được làm xấp xỉ bằng một phương trình. Theo một số phương án, biên dạng ứng suất dọc theo vùng CT có thể được làm xấp xỉ bằng phương trình (1):

$$\text{Ứng suất}(x) = \text{MaxCT} - (((\text{MaxCT} \cdot (n+1))/0,5^n) \cdot |(x/t)-0,5|^n) \quad (1)$$

Trong phương trình (1), ứng suất (x) là trị số ứng suất ở vị trí x. Ở đây, ứng suất là số dương (kéo). MaxCT là ứng suất kéo trung tâm tối đa dưới dạng trị số dương với đơn vị là MPa. Trị số x là vị trí dọc theo độ dày (t) với đơn vị là micromet, nằm trong khoảng từ 0 đến t; $x=0$ là một bề mặt (302, trên Fig.3), $x=0,5t$ là tâm của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh, $\text{ứng suất}(x)=\text{MaxCT}$, và $x=t$ là bề mặt đối diện (304, trên Fig.3). MaxCT được sử dụng trong phương trình (1) có thể nằm trong khoảng từ khoảng 50 MPa đến khoảng 350 MPa (ví dụ, 60 MPa đến khoảng 300 MPa, hoặc từ khoảng 70 MPa đến khoảng 270 MPa), và n là thông số điều chỉnh từ 1,5 đến 5 (ví dụ, 2 đến 4, 2 đến 3 hoặc 1,8 đến 2,2) trong đó $n=2$ có thể tạo ra biên dạng ứng suất hình parabol, các số mũ mà khác với $n=2$ tạo ra các biên dạng ứng suất với kiểu biên dạng ứng suất gần giống hình parabol. Fig.39 thể hiện các biên dạng ứng suất minh họa đối với các kết

hợp khác nhau giữa MaxCT và n (từ 1,5 đến 5 như được thể hiện trên phần chú giải), đối với vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có độ dày 0,8mm.

Theo một số phương án, biên dạng ứng suất có thể được biến đổi bằng cách xử lý nhiệt. Theo các phương án này, việc xử lý nhiệt có thể diễn ra trước các quy trình trao đổi ion bất kỳ, giữa các quy trình trao đổi ion, hoặc sau tất cả các quy trình trao đổi ion. Theo một số phương án, việc xử lý nhiệt có thể dẫn đến sự giảm độ dốc của biên dạng ứng suất tại hoặc gần bề mặt. Theo một số phương án, độ dốc dốc hơn hoặc lớn hơn là mong muốn tại bề mặt, quy trình trao đổi ion sau khi xử lý nhiệt có thể được sử dụng để tạo ra “sự tăng vọt” hoặc để gia tăng độ dốc của biên dạng ứng suất tại hoặc gần bề mặt.

Theo một hoặc nhiều phương án, biên dạng ứng suất 312 (và/hoặc biên dạng ứng suất được ước tính 340) được tạo ra do nồng độ (các) oxit kim loại khác không, biến thiên dọc theo phân độ dày. Sự biến thiên nồng độ này ở đây có thể được đề cập như là gradien. Theo một số phương án, nồng độ oxit kim loại là khác không và biến thiên, dọc theo khoảng độ dày tính từ cả hai mặt là từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$. Theo một số phương án, nồng độ oxit kim loại là khác không và biến thiên dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,35 \cdot t$, từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,4 \cdot t$, từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,45 \cdot t$ hoặc từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,48 \cdot t$. Oxit kim loại có thể được mô tả là tạo ra ứng suất trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Sự biến thiên nồng độ này có thể là liên tục dọc theo các khoảng độ dày nêu trên. Sự biến thiên nồng độ có thể gồm sự thay đổi nồng độ oxit kim loại khoảng 0,2% mol dọc theo phân đoạn độ dày khoảng 100 micromet. Sự thay đổi này có thể được đo bằng các phương pháp đã biết trong lĩnh vực này bao gồm dụng cụ vi đầu dò, như được thể hiện trên Ví dụ 1. Oxit kim loại mà có nồng độ khác không và biến thiên dọc theo phân của độ dày có thể được mô tả là tạo ra ứng suất trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh.

Sự biến thiên nồng độ này có thể là liên tục dọc theo các khoảng độ dày nêu trên. Theo một số phương án, sự biến thiên nồng độ này có thể là liên tục dọc theo các phân đoạn độ dày nằm trong khoảng từ khoảng 10 micromet đến khoảng 30 micromet. Theo một số phương án, nồng độ oxit kim loại giảm từ bề mặt thứ nhất đến điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ điểm giữa này đến bề mặt thứ hai.

Nồng độ của oxit kim loại có thể chứa nhiều hơn một oxit kim loại (ví dụ, kết hợp của Na_2O và K_2O). Theo một số phương án, nếu hai oxit kim loại được sử dụng và nếu bán kính của các ion của chúng là khác nhau, thì nồng độ của các ion có bán kính lớn hơn là lớn hơn nồng độ của các ion có bán kính nhỏ hơn ở độ sâu nông, trong khi ở độ sâu sâu hơn, nồng độ của các ion có bán kính nhỏ hơn là lớn hơn nồng độ của các ion có bán kính lớn hơn. Ví dụ, nếu bể chứa duy nhất Na và K được sử dụng trong quy trình trao đổi ion, thì nồng độ của các ion K^+ trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh là lớn hơn nồng độ của các ion Na^+ ở độ sâu nông hơn, trong khi nồng độ của các ion Na^+ là lớn hơn nồng độ của các ion K^+ ở độ sâu sâu hơn. Điều này một phần là do kích cỡ của các ion. Trong các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này, vùng ở bề mặt hoặc gần bề mặt có CS lớn hơn do lượng các ion lớn hơn là nhiều hơn ở bề mặt hoặc gần bề mặt. CS lớn hơn này có thể được biểu thị bằng biên dạng ứng suất có độ dốc dốc hơn ở bề mặt hoặc gần bề mặt (tức là, sự tăng vọt biên dạng ứng suất ở bề mặt).

Gradien hoặc biến thiên nồng độ của một hoặc nhiều oxit kim loại được tạo ra bằng cách gia cường hóa học vật phẩm trên cơ sở thủy tinh, ví dụ, bằng các quy trình trao đổi ion đã được mô tả trước ở đây, trong đó nhiều ion kim loại thứ nhất trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được trao đổi với nhiều ion kim loại thứ hai. Các ion thứ nhất có thể là các ion lithi, natri, kali và rubidi. Các ion kim loại thứ hai có thể là các ion của một trong số các kim loại natri, kali, rubidi, và xesi, với điều kiện là ion kim loại kiềm thứ hai có bán kính ion lớn hơn bán kính ion của ion kim loại kiềm thứ nhất. Ion kim loại thứ hai có trong vật nền trên cơ sở thủy tinh dưới dạng oxit của nó (ví dụ, Na_2O , K_2O , Rb_2O , Cs_2O hoặc kết hợp của chúng).

Theo một hoặc nhiều phương án, gradien nồng độ oxit kim loại kéo dài qua phần đáng kể của độ dày t hoặc toàn bộ độ dày t của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh, gồm lớp CT 325. Theo một hoặc nhiều phương án, nồng độ oxit kim loại là bằng hoặc lớn hơn khoảng 0,5% mol trong lớp CT 325. Theo một số phương án, nồng độ oxit kim loại có thể là bằng hoặc lớn hơn khoảng 0,5% mol (ví dụ, khoảng 1% mol hoặc lớn hơn) dọc theo toàn bộ độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh, và là lớn nhất ở bề mặt thứ nhất 302 và/hoặc bề mặt thứ hai 304 và giảm về cơ bản là liên tục đến điểm giữa bề mặt thứ nhất 302 và bề mặt thứ hai 304. Tại điểm giữa này, nồng độ oxit kim loại là nhỏ nhất dọc theo toàn bộ độ dày t ; tuy nhiên nồng độ ở điểm này cũng khác

không. Nói cách khác, nồng độ khác không của oxit kim loại cụ thể kéo dài dọc theo phần đáng kể của độ dày t (như được mô tả ở đây) hoặc trên toàn bộ độ dày t . Theo một số phương án, nồng độ thấp nhất của một oxit kim loại cụ thể là trong lớp CT 327. Tổng nồng độ của oxit kim loại cụ thể trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể là nằm trong khoảng từ khoảng 1% mol đến khoảng 20% mol.

Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chứa nồng độ oxit kim loại thứ nhất và nồng độ oxit kim loại thứ hai, sao cho nồng độ oxit kim loại thứ nhất là nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 15% mol dọc theo khoảng độ dày thứ nhất từ khoảng 0t đến khoảng 0,5t, và nồng độ oxit kim loại thứ hai nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 10% mol từ khoảng độ dày thứ hai từ khoảng 0 micromet đến khoảng 25 micromet (hoặc từ khoảng 0 micromet đến khoảng 12 micromet). Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể chứa nồng độ oxit kim loại thứ ba tùy ý. Oxit kim loại thứ nhất có thể gồm Na_2O trong khi oxit kim loại thứ hai có thể gồm K_2O .

Nồng độ oxit kim loại có thể được xác định từ lượng cơ sở của oxit kim loại này trong vật phẩm trên cơ sở thủy tinh trước khi được biến đổi để có gradien nồng độ của oxit kim loại này.

Theo một hoặc nhiều phương án, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được mô tả theo cách mà chúng nứt vỡ và các mảnh vỡ thu được từ việc nứt vỡ đó. Theo một hoặc nhiều phương án, khi bị nứt vỡ, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh bị nứt vỡ thành 2 hoặc nhiều mảnh trên một in-sơ vuông (hoặc trên $6,4516 \text{ cm}^2$) của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (trước khi nứt vỡ). Trong một số trường hợp, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh nứt vỡ với số lượng mảnh trên một in-sơ vuông (hoặc trên $6,4516 \text{ cm}^2$) của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (trước khi nứt vỡ) là 3 hoặc nhiều hơn, 4 hoặc nhiều hơn, 5 hoặc nhiều hơn, hoặc 10 hoặc nhiều hơn. Trong một số trường hợp, khi bị nứt vỡ, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh nứt vỡ thành các mảnh mà 50% hoặc nhiều hơn số mảnh có diện tích bề mặt nhỏ hơn 5%, nhỏ hơn 2%, hoặc nhỏ hơn 1% diện tích bề mặt của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (trước khi nứt vỡ). Theo một số phương án, khi bị nứt vỡ, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh nứt vỡ thành các mảnh mà 90% hoặc nhiều

hơn hoặc thậm chí 100% số mảnh có diện tích bề mặt nhỏ hơn 5%, nhỏ hơn 2%, hoặc nhỏ hơn 1% diện tích bề mặt của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (trước khi nứt vỡ).

Theo một hoặc nhiều phương án, sau khi gia cường hóa học vật phẩm trên cơ sở thủy tinh, biên dạng ứng suất thu được 317 (và biên dạng ứng suất ước tính 340) của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh làm cải thiện khả năng chống nứt vỡ. Ví dụ, theo một số phương án, khi nứt vỡ, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chứa các mảnh có kích thước mặt cắt ngang dài nhất trung bình là nhỏ hơn hoặc bằng khoảng $2 \cdot t$ (ví dụ, $1,8 \cdot t$, $1,6 \cdot t$, $1,5 \cdot t$, $1,4 \cdot t$, $1,2 \cdot t$ hoặc $1 \cdot t$ hoặc nhỏ hơn).

Theo một hoặc nhiều phương án, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể biểu hiện độ bền chống nứt vỡ (K_{IC}) là khoảng $0,7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ hoặc lớn hơn. Trong một số trường hợp, độ bền chống nứt vỡ có thể là khoảng $0,8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ hoặc lớn hơn, hoặc khoảng $0,9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ hoặc lớn hơn. Theo một số phương án, độ bền chống nứt vỡ có thể nằm trong khoảng từ khoảng $0,7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ đến khoảng $1 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Theo một số phương án, vật nền có thể còn được đặc trưng là có độ cứng từ khoảng 500 HVN đến khoảng 800 HVN, như đo được bằng thử nghiệm độ cứng Vickers ở tải trọng 200 g.

Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được mô tả ở đây có thể có năng lượng kéo dự trữ nằm trong khoảng từ lớn hơn 0 J/m^2 đến khoảng 20 J/m^2 . Trong một số trường hợp, năng lượng kéo dự trữ có thể nằm trong khoảng từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 20 J/m^2 , từ khoảng 2 J/m^2 đến khoảng 20 J/m^2 , từ khoảng 3 J/m^2 đến khoảng 20 J/m^2 , từ khoảng 4 J/m^2 đến khoảng 20 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 19 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 18 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 16 J/m^2 , từ khoảng 4 J/m^2 đến khoảng 20 J/m^2 , hoặc từ khoảng 4 J/m^2 đến khoảng 18 J/m^2 . Năng lượng kéo dự trữ được tính bằng cách tích phân trong vùng kéo Σ năng lượng đàn hồi dự trữ trên một đơn vị diện tích của mẫu có độ dày t sử dụng phương trình (2):

$$\Sigma = 0,5 \sigma^2 t / E \quad (2)$$

trong đó σ là ứng suất và E là môđun young (môđun đàn hồi).

Cụ thể hơn, năng lượng kéo dự trữ được tính bằng cách sử dụng phương trình (3) dưới đây:

$$\text{Năng lượng kéo dãn (J/m}^2\text{)} = 1-\nu/2E \int \sigma^2 dt \quad (3)$$

trong đó ν là hệ số Poát-xông (Poisson), E là môđun đàn hồi và phép tích phân này được tính chỉ cho vùng kéo.

Theo một hoặc nhiều phương án, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thể hiện độ bền bề mặt được cải thiện khi được đem thử nghiệm vòng mài mòn trên vòng (abraded ring-on-ring: AROR). Độ bền của vật liệu được quy định là ứng suất tại đó sự nứt vỡ diễn ra. Thử nghiệm A-ROR là phép đo độ bền bề mặt để thử nghiệm các mẫu thủy tinh phẳng, và tiêu chuẩn ASTM C1499-09(2013), có tiêu đề là “Phương pháp thử nghiệm chuẩn đối với độ bền uốn đẳng lượng trục đơn điều của gốm tăng cường ở nhiệt độ môi trường: Standard Test Method for Monotonic Equibiaxial Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature”, đóng vai trò là cơ sở cho phương pháp thử nghiệm vòng mài mòn trên vòng ROR được mô tả ở đây. Toàn bộ nội dung của tiêu chuẩn ASTM C1499-09 được đính kèm theo đây bằng cách viện dẫn. Theo một phương án, mẫu thủy tinh được mài mòn trước khi thử nghiệm vòng trên vòng bằng các hạt silic cabua (SiC) 90 grit mà được phân bố đến mẫu thủy tinh bằng cách sử dụng phương pháp và thiết bị được mô tả trong Phụ lục A2, có tiêu đề là “abrasion Procedures”, của tiêu chuẩn ASTM C158-02(2012), có tiêu đề là “Standard Test Methods for Strength of Glass by Flexure (Determination of Modulus of Rupture)”. Toàn bộ nội dung của tiêu chuẩn ASTM C158-02 và đặc biệt là nội dung của phần Phụ lục 2 được đính kèm theo đây bằng cách viện dẫn.

Trước khi thử nghiệm vòng trên vòng, bề mặt của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được mài mòn như được mô tả trong tiêu chuẩn ASTM C158-02, Phụ lục 2, để chuẩn hóa và/hoặc kiểm soát điều kiện khiếm khuyết bề mặt của mẫu sử dụng thiết bị được thể hiện trong hình vẽ trên Fig.A2.1 của tiêu chuẩn ASTM C158-02. Vật liệu mài mòn thường được phun cát lên bề mặt 110 của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh ở tải trọng 15 psi (103,42 kPa) sử dụng áp suất không khí là 304 kPa (44 psi); mặc dù trong các ví dụ dưới đây, vật liệu mài mòn được phun cát lên bề mặt 110 ở tải trọng 25 psi (172,37 kPa) và 45 psi (310,26 kPa). Sau khi dòng không khí được thiết lập, 5 cm³ vật liệu mài mòn được đổ vào phễu và mẫu được phun cát trong 5 giây sau khi cấp vật liệu mài mòn.

Đối với thử nghiệm vòng trên vòng, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có ít nhất một bề mặt mài mòn 410 như được thể hiện trên Fig.4 được đặt giữa hai vòng đồng tâm có kích cỡ khác nhau để xác định độ bền uốn đẳng lưỡng trục (tức là, ứng suất tối đa mà vật liệu có thể trụ vững khi được đem đi uốn giữa hai vòng đồng tâm), như cũng được thể hiện trên Fig. 4. Trong cấu hình vòng mài mòn-trên-vòng 400, vật phẩm thủy tinh đã mài mòn 410 được đỡ bằng vòng đỡ 420 có đường kính D2. Lực F được áp bằng hộp đo lực (không được thể hiện) lên bề mặt của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh bằng vòng tải 430 có đường kính D1.

Tỷ lệ giữa đường kính của vòng tải và đường kính của vòng đỡ D1/D2 có thể nằm trong khoảng từ 0,2 đến khoảng 0,5. Theo một số phương án, D1/D2 là khoảng 0,5. Vòng tải 130 và vòng đỡ 120 nên được sắp thẳng hàng đồng tâm với mức chính xác trong khoảng 0,5% đường kính vòng đỡ D2. Hộp đo lực được sử dụng để thử nghiệm nên chính xác đến mức trong khoảng $\pm 1\%$ tải lực bất kỳ trong khoảng được chọn. Theo một số phương án, thử nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ và độ ẩm tương đối $40 \pm 10\%$.

Đối với thiết kế gá lắp, bán kính r của bề mặt nhô ra của vòng tải 430 thỏa mãn $h/2 \leq r \leq 3h/2$, trong đó h là độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 410. Vòng tải 430 và vòng đỡ 420 thường được làm từ thép cứng với độ cứng HRC > 40. Các bộ gá lắp ROR là có bán trên thị trường.

Cơ chế hư hỏng dự tính đối với thử nghiệm ROR là quan sát sự nứt vỡ của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 410 khởi đầu từ bề mặt 430a trong vòng tải 430. Các hư hỏng mà diễn ra ngoài vùng này – tức là, giữa các vòng tải 430 và các vòng đỡ 420 – được bỏ qua khỏi việc phân tích dữ liệu. Tuy nhiên, do tính mỏng và độ bền cao của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 410, các độ lệch lớn mà vượt quá $\frac{1}{2}$ độ dày mẫu h đôi khi vẫn được quan sát. Do đó, sẽ hiếm gặp phần trăm hư hỏng cao khởi đầu từ bên dưới vòng tải 430. Ứng suất không thể tính được chính xác mà không có kiến thức về sự phát triển ứng suất cả bên trong và bên dưới vòng (được thu thập thông qua việc phân tích biến dạng kế) và nguồn gốc của hư hỏng trong mỗi mẫu. Do đó thử nghiệm AROR tập trung vào tải lực đỉnh tại điểm hư hỏng làm đáp ứng đo được.

Độ bền của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh tùy thuộc vào sự có mặt của các vết rạn trên bề mặt. Tuy nhiên, khả năng có mặt vết rạn với kích cỡ nhất định không thể dự báo được một cách chính xác, vì độ bền của thủy tinh bản chất là có tính thống kê. Do đó, hàm phân phối xác suất thường được sử dụng để biểu diễn về mặt thống kê dữ liệu thu được.

Theo một số phương án, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường được mô tả ở đây có độ bền bề mặt hoặc độ bền uốn đẳng lượng trực ít nhất là 20 kgf (196,13 N) và lên đến khoảng 30 kgf (294,2 N) như được xác định bằng thử nghiệm vòng mài mòn trên vòng sử dụng tải lượng 25 psi (172,37 kPa) hoặc thậm chí là 45 psi (310,26 kPa) để mài mòn bề mặt. Theo các phương án khác, độ bền bề mặt là ít nhất 25 kgf (245,17 N), và theo các phương án khác nữa, là ít nhất 30 kgf (294,2 N).

Theo một số phương án, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được gia cường được mô tả ở đây có thể được mô tả về đặc tính trong thử nghiệm bi ngược trên giấy nhám (inverted ball on sandpaper: IBoS). Thử nghiệm bi ngược trên giấy nhám (IBoS) là thử nghiệm mức thành phần động lực mà bắt chước cơ chế nổi bật đối với sự hư hỏng do sự truyền lực phá hoại cộng với sự uốn cong mà thường xảy ra trong các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được sử dụng trong các thiết bị điện tử di động hoặc cầm tay, như được thể hiện bằng sơ đồ trên Fig.36. Trong lĩnh vực này, sự truyền lực phá hoại (a trên Fig.37) xảy ra trên bề mặt trên của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Sự nứt vỡ bắt đầu trên bề mặt trên của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh và sự phá hoại hoặc xuyên qua vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (b trên Fig.37) hoặc sự nứt vỡ lan truyền từ điểm uốn trên bề mặt trên hoặc từ các phần bên trong của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (c trên Fig.37). Thử nghiệm IBoS được thiết kế để đồng thời truyền sự phá hoại đến bề mặt của thủy tinh và tạo ra sự uốn cong dưới tải trọng động lực. Trong một số trường hợp, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh, nếu nó có ứng suất nén, thể hiện đặc tính rơi được cải thiện hơn so với vật phẩm trên cơ sở thủy tinh tương tự nhưng không có ứng suất nén.

Thiết bị thử nghiệm IBoS được thể hiện bằng sơ đồ trên Fig.36. Thiết bị 500 gồm giá thử nghiệm 510 và bi 530. Bi 530 là bi cứng hoặc rắn như, ví dụ, bi thép không gỉ, hoặc bi tương tự. Theo một phương án, bi 530 là bi thép không gỉ trọng lượng 4,2 gam có đường kính 10 mm. Bi 530 được thả rơi trực tiếp lên vật phẩm trên

cơ sở thủy tinh 518 từ độ cao xác định trước h. Giá thử nghiệm 510 bao gồm một đế chắc 512 bằng vật liệu cứng, rắn như granit hoặc vật liệu tương tự. Tấm 514 có vật liệu nhám được bố trí trên bề mặt được đặt trên bề mặt trên của đế chắc 512 sao cho bề mặt với vật liệu nhám này hướng lên. Theo một số phương án, tấm 514 là giấy nhám có bề mặt có độ nhám là 30 grit và, theo các phương án khác, bề mặt có độ nhám là 180 grit. Mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 được giữ tại chỗ trên tấm 514 bằng kẹp giữ mẫu 515 sao cho khe không khí 516 tồn tại giữa mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 và tấm 514. Khe không khí 516 giữa tấm 514 và mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 cho phép mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 uốn cong khi va chạm bằng bi 530 và lên bề mặt nhám của tấm 514. Theo một phương án, mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 218 được kẹp trên tất cả các góc để giữ cho sự uốn cong chỉ có ở điểm va chạm với bi và để đảm bảo tính lặp lại. Theo một số phương án, kẹp giữ mẫu 514 và giá thử nghiệm 510 được lắp để điều tiết độ dày mẫu lên đến khoảng 2 mm. Khe không khí 516 là trong khoảng từ khoảng 50 μm đến khoảng 100 μm . Khe không khí 516 được thiết kế thích hợp để điều chỉnh cho các trường hợp khác biệt về độ cứng vật liệu (môđun Young, Emod), và cả môđun đàn hồi và độ dày của mẫu. Băng dính 520 có thể được sử dụng để phủ lên bề mặt trên của mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh để thu thập các mảnh vỡ trong trường hợp có sự nứt vỡ mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 khi có sự va chạm của bi 530.

Các vật liệu khác nhau có thể được sử dụng làm bề mặt nhám. Theo một phương án cụ thể, bề mặt nhám là giấy nhám, như giấy nhám silic cacbua hoặc nhôm oxit, giấy nhám kỹ thuật, hoặc vật liệu nhám bất kỳ đã được người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực này biết đến là có độ cứng và/hoặc độ nhọn so sánh được. Theo một số phương án, giấy nhám có độ nhám 30 grit có thể được sử dụng, vì nó có địa hình bề mặt thích hợp hơn so với bê tông hoặc nhựa đường, và cỡ hạt và độ nhọn mà tạo ra mức hư hỏng mong muốn trên bề mặt mẫu.

Theo một khía cạnh, phương pháp 600 tiến hành thử nghiệm IBoS sử dụng thiết bị 500 được mô tả trên đây được thể hiện trên Fig.38. Trong bước 610, mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (218 trên Fig.36) được đặt trong giá thử nghiệm 510, đã được mô tả ở trên và được giữ chặt trong kẹp giữ mẫu 515 sao cho, khe không khí 516 được tạo ra giữa mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 và tấm 514 với bề mặt nhám. Phương

pháp 600 coi như là tấm 514 với bề mặt nhám đã được đặt trong giá thử nghiệm 510. Tuy nhiên, theo một số phương án, phương pháp này có thể bao gồm việc đặt tấm 514 trong giá thử nghiệm 510 sao cho bề mặt với các mặt vật liệu nhám hướng lên. Theo một số phương án (bước 610a), băng dính 520 được dán lên bề mặt trên của mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 trước khi đảm bảo mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 nằm trong kẹp giữ mẫu 510.

Trong bước 520, bi rắn 530 có khối lượng và kích cỡ đã định được rơi từ độ cao đã định h lên bề mặt trên của mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518, sao cho bi 530 va chạm với bề mặt trên (hoặc băng dính 520 gắn vào bề mặt trên) ở gần tâm (tức là, cách tâm trong vòng 1 mm, hoặc trong vòng 3 mm, hoặc trong vòng 5 mm, hoặc trong vòng 10 mm) của bề mặt trên. Sau khi va chạm trong bước 520, mức độ hư hỏng của mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 được xác định (bước 630). Như đã được mô tả trên đây, thuật ngữ “nứt vỡ” có nghĩa là sự rạn nứt lan truyền qua toàn bộ độ dày và/hoặc toàn bộ bề mặt của vật nền khi vật nền này bị rơi hoặc bị va chạm với một đối tượng.

Trong phương pháp 600, tấm 518 với bề mặt nhám có thể được thay thế sau mỗi lần rơi để tránh các hiệu ứng "lão hóa" mà đã được quan sát trong việc sử dụng lặp lại các loại bề mặt thử nghiệm rơi khác (ví dụ, bê tông hoặc nhựa đường).

Các độ cao rơi đã định h và các gia số khác điển hình được sử dụng trong phương pháp 600. Thử nghiệm này có thể, ví dụ, sử dụng độ cao rơi tối thiểu để bắt đầu (ví dụ, khoảng 10-20 cm). Sau đó độ cao này có thể được gia tăng trong các lần rơi tiếp theo bằng gia số cố định hoặc các gia số thay đổi. Thử nghiệm được mô tả trong phương pháp 600 được dừng lại khi mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 vỡ hoặc nứt vỡ (bước 631). Cách khác, nếu độ cao rơi h đạt đến độ cao rơi tối đa (ví dụ, khoảng 100 cm) mà không có sự nứt vỡ, thì thử nghiệm rơi theo phương pháp 300 cũng có thể được dừng lại, hoặc bước 520 có thể được lặp lại ở độ cao tối đa cho đến khi sự nứt vỡ xảy ra.

Theo một số phương án, thử nghiệm IBoS theo phương pháp 600 chỉ được thực hiện một lần trên mỗi một mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 tại mỗi một độ cao xác định trước h . Tuy nhiên, theo các phương án khác, mỗi mẫu có thể được đem thực hiện nhiều thử nghiệm ở mỗi độ cao.

Nếu sự nứt vỡ của mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh 518 đã diễn ra (bước 631 trên Fig.38), thì thử nghiệm IBoS theo phương pháp 600 được kết thúc (bước 640). Nếu không thấy có sự nứt vỡ từ việc thả rơi bi ở độ cao rơi đã định (bước 632), thì độ cao rơi được gia tăng bằng gia số đã định (bước 634) – như, ví dụ 5, 10, hoặc 20 cm – và các bước 620 và 630 được lặp lại cho đến khi hoặc quan sát thấy sự nứt vỡ mẫu (631) hoặc đạt đến độ cao thử nghiệm tối đa (636) mà không có sự nứt vỡ mẫu. Nếu đạt đến bước 631 hoặc bước 636 thì thử nghiệm theo phương pháp 600 được kết thúc.

Khi được đem thử nghiệm bi ngược trên giấy nhám (IBoS) nêu trên, các phương án về vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được mô tả ở đây có tỷ lệ bền nguyên ít nhất khoảng 60% khi bi được rơi lên bề mặt thủy tinh từ độ cao 100 cm. Ví dụ, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được mô tả là có tỷ lệ bền nguyên là 60% khi được rơi từ độ cao nhất định nếu ba trong số năm mẫu giống nhau (hoặc gần giống nhau) (tức là, có thành phần gần giống nhau và, khi được gia cường, ứng suất nén và độ sâu của lớp chịu nén hoặc lớp ứng suất nén là gần như nhau, như được mô tả ở đây) còn bền nguyên qua thử nghiệm rơi IBoS mà không có sự nứt vỡ khi được rơi từ độ cao đã định (ở đây là 100 cm). Theo các phương án khác, tỷ lệ bền nguyên của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh đã được gia cường trong thử nghiệm IBoS 100 cm là ít nhất khoảng 70%, theo các phương án khác, ít nhất khoảng 80%, và theo các phương án khác nữa, ít nhất khoảng 90%. Theo các phương án khác, tỷ lệ bền nguyên của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gia cường được thả rơi từ độ cao 100 cm trong thử nghiệm IBoS ít nhất là khoảng 60%, theo các phương án khác, ít nhất là khoảng 70%, theo các phương án khác nữa, ít nhất là khoảng 80%, và theo các phương án khác, ít nhất là khoảng 90%. Theo một hoặc nhiều phương án, tỷ lệ bền nguyên của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gia cường được thả rơi từ độ cao 150 cm trong thử nghiệm IBoS ít nhất là khoảng 60%, theo các phương án khác, ít nhất là khoảng 70%, theo các phương án khác nữa, ít nhất là khoảng 80%, và theo các phương án khác, ít nhất là khoảng 90%.

Để xác định tỷ lệ bền nguyên của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh khi được thả rơi từ độ cao đã định bằng cách sử dụng phương pháp và thiết bị thử nghiệm IBoS nêu trên, ít nhất năm mẫu giống nhau (hoặc gần giống nhau) (tức là, có thành phần gần như nhau và, nếu được gia cường, ứng suất nén và độ sâu của lớp chịu nén hoặc lớp ứng suất nén là gần như nhau) của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh, được đem thử

nghiệm, mặc dù số lượng mẫu lớn hơn (ví dụ, 10, 20, 30, v.v.) có thể được đem thử nghiệm để tăng mức tin cậy của kết quả thử nghiệm. Mỗi một mẫu được thả rơi một lần từ độ cao xác định trước (ví dụ, 100 cm hoặc 150 cm) hoặc, cách khác là, được thả rơi từ các độ cao cao dần mà không có nút vỡ cho đến khi đạt đến độ cao xác định trước, và được kiểm tra bằng cách nhìn (tức là, bằng mắt thường) dấu hiệu nứt vỡ (sự hình thành và lan truyền vết rạn qua toàn bộ độ dày và/hoặc toàn bộ bề mặt của mẫu). Mẫu được cho là “bền nguyên” trong thử nghiệm thả rơi nếu như không quan sát thấy có vết nứt vỡ sau khi được thả rơi từ độ cao xác định trước, và mẫu được cho là bị “hư hỏng (hoặc “không còn bền nguyên”) nếu như quan sát thấy vết nứt vỡ khi mẫu được thả rơi từ độ cao nhỏ hơn hoặc bằng độ cao xác định trước. Tỷ lệ bền nguyên được xác định là phần trăm của tập hợp mẫu mà bền nguyên sau thử nghiệm rơi. Ví dụ, nếu 7 mẫu trong nhóm 10 mẫu không nứt vỡ khi rơi từ độ cao đã định thì tỷ lệ bền nguyên của thủy tinh sẽ là 70%.

Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được mô tả ở đây có thể là trong suốt hoặc mờ đục. Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể có độ dày khoảng 1 milimet hoặc nhỏ hơn và có độ truyền là khoảng 88% hoặc lớn hơn đối với ánh sáng có bước sóng nằm trong khoảng từ khoảng 380 nm đến khoảng 780 nm. Theo phương án khác, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể có độ dày khoảng 1 milimet hoặc nhỏ hơn và có độ truyền là khoảng 10% hoặc nhỏ hơn đối với ánh sáng có bước sóng nằm trong khoảng từ khoảng 380 nm đến khoảng 780 nm.

Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể còn có màu sắc về cơ bản là trắng. Ví dụ, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể thể hiện các tọa độ không gian màu CIELAB, dưới nguồn sáng CIE F02, với trị số L^* là khoảng 88 và lớn hơn, trị số a^* nằm trong khoảng từ khoảng -3 đến khoảng +3, và trị số b^* nằm trong khoảng từ khoảng -6 đến khoảng +6. Cách khác, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể thể hiện các tọa độ không gian màu CIELAB, dưới nguồn sáng CIE F02, với trị số L^* là khoảng 40 và nhỏ hơn, trị số a^* nằm trong khoảng từ khoảng -3 đến khoảng +3, và trị số b^* nằm trong khoảng từ khoảng -6 đến khoảng +6. Các tọa độ không gian màu này có thể được thể hiện dưới các nguồn sáng CIE khác (ví dụ, D65).

Việc lựa chọn các vật nền không bị giới hạn cụ thể. Theo một số ví dụ, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được mô tả là có độ khuếch tán cation cao đối với việc trao đổi ion. Theo một hoặc nhiều phương án, thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có khả năng trao đổi ion nhanh, tức là, độ khuếch tán là lớn hơn $500\mu\text{m}^2/\text{giờ}$ hoặc có thể được đặc trưng là lớn hơn $450\mu\text{m}^2/\text{giờ}$ ở 460°C .

Ở nhiệt độ nhất định, độ khuếch tán được tính bằng cách sử dụng phương trình (4):

$$\text{Độ khuếch tán} = \text{DOL}^2 / 5,6 * T \quad (4)$$

trong đó DOL là độ sâu của lớp trao đổi ion và T là thời gian trao đổi ion (IOX) cần thiết để đạt đến DOL.

Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể gồm vật nền vô định hình, vật nền tinh thể hoặc kết hợp các loại này (ví dụ, vật nền gốm thủy tinh). Theo một hoặc nhiều phương án, vật nền của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh (trước khi được gia cường hóa học như được mô tả ở đây) có thể gồm thủy tinh có cấu tạo, tính theo phần trăm mol (% mol), gồm:

SiO_2 nằm trong khoảng từ khoảng 40 đến khoảng 80, Al_2O_3 nằm trong khoảng từ khoảng 10 đến khoảng 30, B_2O_3 nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 10, R_2O nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 20, và RO nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 15. Trong một số trường hợp, chế phẩm thủy tinh có chứa một hoặc cả hai ZrO_2 nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 5% mol và P_2O_5 nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 15% mol. TiO_2 có thể có mặt với lượng nằm trong khoảng từ 0% mol đến khoảng 2% mol.

Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa SiO_2 với lượng, tính theo % mol, nằm trong khoảng từ khoảng 45 đến khoảng 80, từ khoảng 45 đến khoảng 75, từ khoảng 45 đến khoảng 70, từ khoảng 45 đến khoảng 65, từ khoảng 45 đến khoảng 60, từ khoảng 45 đến khoảng 65, từ khoảng 45 đến khoảng 65, từ khoảng 50 đến khoảng 70, từ khoảng 55 đến khoảng 70, từ khoảng 60 đến khoảng 70, từ khoảng 70 đến khoảng 75, từ khoảng 70 đến khoảng 72, hoặc từ khoảng 50 đến khoảng 65.

Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa Al_2O_3 với lượng, tính theo % mol, nằm trong khoảng từ khoảng 5 đến khoảng 28, từ khoảng 5 đến khoảng 26, từ khoảng 5 đến khoảng 25, từ khoảng 5 đến khoảng 24, từ khoảng 5 đến khoảng 22, từ khoảng 5 đến khoảng 20, từ khoảng 6 đến khoảng 30, từ khoảng 8 đến khoảng 30, từ khoảng 10 đến khoảng 30, từ khoảng 12 đến khoảng 30, từ khoảng 14 đến khoảng 30, từ khoảng 16 đến khoảng 30, từ khoảng 18 đến khoảng 30, từ khoảng 18 đến khoảng 28, hoặc từ khoảng 12 đến khoảng 15.

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa B_2O_3 với lượng, tính theo % mol, nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 8, từ khoảng 0 đến khoảng 6, từ khoảng 0 đến khoảng 4, từ khoảng 0,1 đến khoảng 8, từ khoảng 0,1 đến khoảng 6, từ khoảng 0,1 đến khoảng 4, từ khoảng 1 đến khoảng 10, từ khoảng 2 đến khoảng 10, từ khoảng 4 đến khoảng 10, từ khoảng 2 đến khoảng 8, từ khoảng 0,1 đến khoảng 5, hoặc từ khoảng 1 đến khoảng 3. Trong một số trường hợp, chế phẩm thủy tinh hầu như là không chứa B_2O_3 . Như được sử dụng ở đây, cụm từ "hầu như là không chứa" liên quan đến các thành phần của chế phẩm thủy tinh có nghĩa là thành phần này không được bổ sung một cách chủ động hoặc được dự tính trước vào chế phẩm thủy tinh trong quá trình phối liệu ban đầu hoặc quá trình trao đổi ion sau đó, nhưng có thể có mặt dưới dạng tạp chất. Ví dụ, thủy tinh có thể được mô tả là hầu như không chứa một thành phần khi thành phần đó có mặt với lượng nhỏ hơn khoảng 0,1001% mol.

Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm thổ, như MgO , CaO và ZnO . Theo một số phương án, tổng lượng của một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm thổ có thể là lượng khác không lên đến khoảng 15% mol. Theo một hoặc nhiều phương án cụ thể, tổng lượng của oxit kim loại kiềm thổ bất kỳ có thể là lượng khác không lên đến khoảng 14% mol, lên đến khoảng 12% mol, lên đến khoảng 10% mol, lên đến khoảng 8% mol, lên đến khoảng 6% mol, lên đến khoảng 4% mol, lên đến khoảng 2% mol, hoặc lên đến khoảng 1,5% mol. Theo một số phương án, tổng lượng, tính theo % mol, của một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm thổ có thể nằm trong khoảng từ khoảng 0,1 đến 10, từ khoảng 0,1 đến 8, từ khoảng 0,1 đến 6, từ khoảng 0,1 đến 5, từ khoảng 1 đến 10, từ khoảng 2 đến 10, hoặc từ khoảng 2,5 đến 8. Lượng MgO có thể nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 5% mol (ví dụ, từ khoảng 2% mol đến khoảng 4% mol). Lượng ZnO có thể nằm trong khoảng từ

khoảng 0 đến khoảng 2% mol. Lượng CaO có thể nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 2% mol. Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa MgO và có thể hầu như không chứa CaO và ZnO. Theo một biến thể, chế phẩm thủy tinh có thể chứa oxit bất kỳ trong số CaO hoặc ZnO và có thể hầu như không chứa các oxit khác còn lại trong số MgO, CaO và ZnO. Theo một hoặc nhiều phương án cụ thể, chế phẩm thủy tinh có thể chứa chỉ hai trong số các oxit kim loại kiềm thổ trong số MgO, CaO và ZnO và có thể là hầu như không chứa oxit thứ ba trong số các oxit kim loại kiềm thổ này.

Tổng lượng, tính theo % mol, của các oxit kim loại kiềm R_2O trong chế phẩm thủy tinh có thể nằm trong khoảng từ khoảng 5 đến khoảng 20, từ khoảng 5 đến khoảng 18, từ khoảng 5 đến khoảng 16, từ khoảng 5 đến khoảng 15, từ khoảng 5 đến khoảng 14, từ khoảng 5 đến khoảng 12, từ khoảng 5 đến khoảng 10, từ khoảng 5 đến khoảng 8, từ khoảng 5 đến khoảng 20, từ khoảng 6 đến khoảng 20, từ khoảng 7 đến khoảng 20, từ khoảng 8 đến khoảng 20, từ khoảng 9 đến khoảng 20, từ khoảng 10 đến khoảng 20, từ khoảng 6 đến khoảng 13, hoặc từ khoảng 8 đến khoảng 12.

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh chứa Na_2O với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 18% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 16% mol hoặc từ khoảng 0% mol đến khoảng 14% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 10% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 5% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 2% mol, từ khoảng 0,1% mol đến khoảng 6% mol, từ khoảng 0,1% mol đến khoảng 5% mol, từ khoảng 1 % mol đến khoảng 5% mol, từ khoảng 2 % mol đến khoảng 5% mol, hoặc từ khoảng 10% mol đến khoảng 20% mol.

Theo một số phương án, lượng Li_2O và Na_2O được kiểm soát đến lượng hoặc tỷ lệ cụ thể để cân bằng khả năng tạo hình và khả năng trao đổi ion. Ví dụ, vì lượng Li_2O gia tăng nên độ nhớt đường lỏng có thể được giảm đi, do đó ngăn chặn sử dụng một số phương pháp tạo hình; tuy nhiên, các chế phẩm thủy tinh này lại được trao đổi ion đến mức DOC sâu hơn, như được mô tả ở đây. Lượng Na_2O có thể biến đổi độ nhớt đường lỏng nhưng cũng có thể ức chế sự trao đổi ion đến mức DOC sâu hơn.

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa K_2O với lượng nhỏ hơn khoảng 5% mol, nhỏ hơn khoảng 4% mol, nhỏ hơn khoảng 3% mol,

nhỏ hơn khoảng 2% mol, hoặc nhỏ hơn khoảng 1% mol. Theo một hoặc nhiều phương án khác, chế phẩm thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, K_2O .

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa Li_2O với lượng từ khoảng 0% mol đến khoảng 18% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 15% mol hoặc từ khoảng 0% mol đến khoảng 10% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 8% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 6% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 4% mol hoặc từ khoảng 0% mol đến khoảng 2% mol. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa Li_2O với lượng từ khoảng 2% mol đến khoảng 10% mol, từ khoảng 4% mol đến khoảng 10% mol, từ khoảng 6% mol đến khoảng 10 mol, hoặc từ khoảng 5% mol đến khoảng 8% mol. Theo một hoặc nhiều phương án khác, chế phẩm thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, Li_2O .

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa Fe_2O_3 . Theo các phương án này, Fe_2O_3 có thể có mặt với lượng nhỏ hơn khoảng 1% mol, nhỏ hơn khoảng 0,9% mol, nhỏ hơn khoảng 0,8% mol, nhỏ hơn khoảng 0,7% mol, nhỏ hơn khoảng 0,6% mol, nhỏ hơn khoảng 0,5% mol, nhỏ hơn khoảng 0,4% mol, nhỏ hơn khoảng 0,3% mol, nhỏ hơn khoảng 0,2% mol, nhỏ hơn khoảng 0,1% mol và tất cả các khoảng này và các khoảng con nằm giữa chúng. Theo một hoặc nhiều phương án khác, chế phẩm thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, Fe_2O_3 .

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa ZrO_2 . Theo các phương án này, ZrO_2 có thể có mặt với lượng nhỏ hơn khoảng 1% mol, nhỏ hơn khoảng 0,9% mol, nhỏ hơn khoảng 0,8% mol, nhỏ hơn khoảng 0,7% mol, nhỏ hơn khoảng 0,6% mol, nhỏ hơn khoảng 0,5% mol, nhỏ hơn khoảng 0,4% mol, nhỏ hơn khoảng 0,3% mol, nhỏ hơn khoảng 0,2% mol, nhỏ hơn khoảng 0,1% mol và tất cả các khoảng này và các khoảng con nằm giữa chúng. Theo một hoặc nhiều phương án khác, chế phẩm thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, ZrO_2 .

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa P_2O_5 với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 0% mol đến khoảng 10% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 8% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 6% mol, từ khoảng 0% mol đến khoảng 4% mol, từ khoảng 0,1% mol đến khoảng 10% mol, từ khoảng 0,1% mol đến

khoảng 8% mol, từ khoảng 4% mol đến khoảng 8% mol, hoặc từ khoảng 5% mol đến khoảng 8% mol. Trong một số trường hợp, chế phẩm thủy tinh hầu như là không chứa P_2O_5 .

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm thủy tinh có thể chứa TiO_2 . Theo các phương án này, TiO_2 có thể có mặt với lượng nhỏ hơn khoảng 6% mol, nhỏ hơn khoảng 4% mol, nhỏ hơn khoảng 2% mol, hoặc nhỏ hơn khoảng 1% mol. Theo một hoặc nhiều phương án khác, chế phẩm thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, TiO_2 . Theo một số phương án, TiO_2 có mặt với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 0,1% mol đến khoảng 6% mol, hoặc từ khoảng 0,1% mol đến khoảng 4% mol.

Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh có thể có các mối quan hệ giữa các thành phần cấu tạo khác nhau. Ví dụ, chế phẩm thủy tinh có thể chứa tỷ lệ giữa lượng Li_2O (tính theo % mol) và tổng lượng R_2O (tính theo % mol) nằm trong khoảng từ khoảng 0,5 đến khoảng 1. Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh có thể có chênh lệch giữa tổng lượng R_2O (tính theo % mol) và lượng Al_2O_3 (tính theo % mol) nằm trong khoảng từ khoảng -5 đến khoảng 0. Trong một số trường hợp, chế phẩm thủy tinh có thể có chênh lệch giữa tổng lượng R_xO (tính theo % mol) và lượng Al_2O_3 nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 3. Chế phẩm thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án có thể thể hiện tỷ lệ giữa lượng MgO (tính theo % mol) và tổng lượng RO (tính theo % mol) nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 2.

Theo một số phương án, chế phẩm thủy tinh có thể là hầu như không chứa chất tạo mầm. Ví dụ về chất tạo mầm điển hình là TiO_2 , ZrO_2 và các chất tương tự. Các chất tạo mầm có thể được mô tả về mặt chức năng trong đó các chất tạo mầm là các thành phần cấu tạo trong thủy tinh mà có thể khởi xướng sự tạo thành các mầm tinh thể trong thủy tinh.

Theo một số phương án, các thành phần cấu tạo được sử dụng cho vật nền thủy tinh có thể được phối liệu với 0-2% mol của ít nhất một chất làm trong được chọn từ nhóm bao gồm Na_2SO_4 , $NaCl$, NaF , $NaBr$, K_2SO_4 , KCl , KF , KBr , và SnO_2 . Chế phẩm thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án có thể còn chứa SnO_2 với lượng nằm trong khoảng từ khoảng 0 đến khoảng 2, từ khoảng 0 đến khoảng 1, từ khoảng 0,1 đến

khoảng 2, từ khoảng 0,1 đến khoảng 1, hoặc từ khoảng 1 đến khoảng 2. Các chế phẩm thủy tinh được bọc lộ ở đây có thể hầu như không chứa As_2O_3 và/hoặc Sb_2O_3 .

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm này cụ thể là có thể chứa 62% mol đến 75% mol SiO_2 ; 10,5% mol đến khoảng 17% mol Al_2O_3 ; 5% mol đến khoảng 13% mol Li_2O ; 0% mol đến khoảng 4% mol ZnO ; 0% mol đến khoảng 8% mol MgO ; 2% mol đến khoảng 5% mol TiO_2 ; 0% mol đến khoảng 4% mol B_2O_3 ; 0% mol đến khoảng 5% mol Na_2O ; 0% mol đến khoảng 4% mol K_2O ; 0% mol đến khoảng 2% mol ZrO_2 ; 0% mol đến khoảng 7% mol P_2O_5 ; 0% mol đến khoảng 0,3% mol Fe_2O_3 ; 0% mol đến khoảng 2% mol MnOx ; và 0,05% mol đến khoảng 0,2% mol SnO_2 . Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm này có thể chứa 67% mol đến khoảng 74% mol SiO_2 ; 11% mol đến khoảng 15% mol Al_2O_3 ; 5,5% mol đến khoảng 9% mol Li_2O ; 0,5% mol đến khoảng 2% mol ZnO ; 2% mol đến khoảng 4,5% mol MgO ; 3% mol đến khoảng 4,5% mol TiO_2 ; 0% mol đến khoảng 2,2% mol B_2O_3 ; 0% mol đến khoảng 1% mol Na_2O ; 0% mol đến khoảng 1% mol K_2O ; 0% mol đến khoảng 1% mol ZrO_2 ; 0% mol đến khoảng 4% mol P_2O_5 ; 0% mol đến khoảng 0,1% mol Fe_2O_3 ; 0% mol đến khoảng 1,5% mol MnOx ; và 0,08% mol đến khoảng 0,16% mol SnO_2 . Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm này có thể chứa 70% mol đến 75% mol SiO_2 ; 10% mol đến khoảng 15% mol Al_2O_3 ; 5% mol đến khoảng 13% mol Li_2O ; 0% mol đến khoảng 4% mol ZnO ; 0,1% mol đến khoảng 8% mol MgO ; 0% mol đến khoảng 5% mol TiO_2 ; 0,1% mol đến khoảng 4% mol B_2O_3 ; 0,1% mol đến khoảng 5% mol Na_2O ; 0% mol đến khoảng 4% mol K_2O ; 0% mol đến khoảng 2% mol ZrO_2 ; 0% mol đến khoảng 7% mol P_2O_5 ; 0% mol đến khoảng 0,3% mol Fe_2O_3 ; 0% mol đến khoảng 2% mol MnOx ; và 0,05% mol đến khoảng 0,2% mol SnO_2 .

Theo một hoặc nhiều phương án, chế phẩm này có thể chứa 52% mol đến khoảng 63% mol SiO_2 ; 11% mol đến khoảng 15% mol Al_2O_3 ; 5,5% mol đến khoảng 9% mol Li_2O ; 0,5% mol đến khoảng 2% mol ZnO ; 2% mol đến khoảng 4,5% mol MgO ; 3% mol đến khoảng 4,5% mol TiO_2 ; 0% mol đến khoảng 2,2% mol B_2O_3 ; 0% mol đến khoảng 1% mol Na_2O ; 0% mol đến khoảng 1% mol K_2O ; 0% mol đến khoảng 1% mol ZrO_2 ; 0% mol đến khoảng 4% mol P_2O_5 ; 0% mol đến khoảng 0,1%

mol Fe_2O_3 ; 0% mol đến khoảng 1,5% mol MnOx ; và 0,08% mol đến khoảng 0,16% mol SnO_2 .

Các chế phẩm được lấy làm ví dụ khác của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh trước khi được gia cường hóa học, như được mô tả ở đây, được thể hiện trên Bảng 1.

Bảng 1: Các chế phẩm được lấy làm ví dụ trước khi gia cường hóa học.

Mol%	Ví dụ A	Ví dụ B	Ví dụ C	Ví dụ D	Ví dụ E	Ví dụ F
SiO_2	71,8	69,8	69,8	69,8	69,8	69,8
Al_2O_3	13,1	13	13	13	13	13
B_2O_3	2	2,5	4	2,5	2,5	4
Li_2O	8	8,5	8	8,5	8,5	8
MgO	3	3,5	3	3,5	1,5	1,5
ZnO	1,8	2,3	1,8	2,3	2,3	1,8
Na_2O	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
TiO_2	0	0	0	1	1	1
Fe_2O_3	0	0	0	0,8	0,8	0,8
SnO_2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Mol%	Ví dụ G	Ví dụ H	Ví dụ I	Ví dụ J	Ví dụ K	Ví dụ L	Ví dụ M	Ví dụ N
SiO ₂	70,18	70,91	71,28	71,65	71,65	71,65	74,77	72,00
Al ₂ O ₃	12,50	12,78	12,93	13,07	13,07	13,07	10,00	12,50
B ₂ O ₃	1,91	1,95	1,98	2,00	2,00	2,00	1,99	2,00
Li ₂ O	7,91	7,95	7,96	7,98	6,98	5,00	6,13	6,00
Na ₂ O	4,43	2,43	1,42	0,41	1,41	3,40	3,97	0,50
MgO	2,97	2,98	2,99	3,00	3,00	3,00	2,94	2,10
ZnO	0,00	0,89	1,34	1,80	1,80	1,80	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	4,90
SnO ₂	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Li ₂ O/R ₂ O	0,64	0,77	0,85	0,95	0,83	0,60	0,61	0,92
R ₂ O- Al ₂ O ₃	-0,16	-2,41	-3,54	-4,68	-4,68	-4,67	0,10	-6,00
R _x O- Al ₂ O ₃	2,81	1,47	0,79	0,12	0,12	0,13	3,09	1,00
MgO/RO	1,00	0,77	0,69	0,63	0,63	0,63	1,00	1,00
R ₂ O	12,34	10,38	9,39	8,39	8,39	8,40	10,10	6,50
RO	2,97	3,88	4,34	4,79	4,79	4,79	2,99	7,00

Nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chứa gồm thủy tinh thì các pha tinh thể có thể gồm β -spodumen, rutil, ganit hoặc các pha tinh thể đã biết khác và các kết hợp của chúng.

Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể về cơ bản là phẳng, mặc dù các phương án khác có thể sử dụng vật nền cong hoặc vật nền được tạo hình hoặc điêu khắc khác. Trong một số trường hợp, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể có hình dạng 3D hoặc 2,5D. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể về cơ bản là trong về mặt quang học, trong suốt, và không tán xạ ánh sáng. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể có hệ số khúc xạ nằm trong khoảng từ khoảng 1,45 đến khoảng 1,55. Như được sử dụng ở đây, hệ số khúc xạ là tính cho bước sóng 550 nm.

Ngoài ra hoặc cách khác, độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể là không đổi dọc theo một hoặc nhiều chiều hoặc có thể thay đổi dọc theo một hoặc nhiều chiều của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh vì các lý do thẩm mỹ và/hoặc chức năng. Ví dụ, các mép của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể dày hơn so với các vùng trung tâm hơn của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Các chiều dài, rộng và độ dày của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh cũng có thể thay đổi theo ứng dụng hoặc mục đích sử dụng vật phẩm này.

Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được đặc trưng bằng cách thức trong đó nó được tạo ra. Ví dụ, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được đặc trưng là có thể tạo ra bằng phương pháp nổi (tức là, được tạo ra bằng quy trình nổi), có thể được tạo ra bằng phương pháp kéo xuôi và, cụ thể là, có thể tạo ra bằng phương pháp dung hợp hoặc kéo qua khe (tức là, được tạo ra bằng quy trình kéo xuôi như quy trình kéo dung hợp hoặc quy trình kéo qua khe).

Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể tạo ra bằng phương pháp nổi có thể được đặc trưng bằng các bề mặt mịn và độ dày đồng đều, được tạo ra bằng cách làm nổi thủy tinh nóng chảy trên nền kim loại nóng chảy, thường là thiếc. Trong một quy trình ví dụ, thủy tinh nóng chảy mà được cấp lên bề mặt của nền thiếc nóng chảy tạo ra dải thủy tinh nổi. Khi giải thủy tinh này chảy dọc theo bề thiếc, nhiệt độ giảm dần cho đến khi dải thủy tinh này hóa rắn thành vật phẩm trên cơ sở thủy tinh rắn mà có thể được nhấc ra khỏi nền thiếc vào các con lăn. Khi ra khỏi bề thiếc, vật phẩm trên cơ sở thủy

tinh là thủy tinh có thể được làm nguội thêm và được ủ để giảm ứng suất trong. Nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh là gốm thủy tinh, thì vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được tạo ra từ quy trình nổi có thể được đưa vào quy trình gốm hóa qua đó một hoặc nhiều pha tinh thể được tạo ra.

Các quy trình kéo xuôi tạo ra các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có độ dày đồng đều mà có các bề mặt tương đối tinh khôi. Vì độ bền uốn trung bình của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được kiểm soát bằng số lượng và kích cỡ các vết rạn trên bề mặt, nên bề mặt tinh khôi mà có sự tiếp xúc tối thiểu sẽ có độ bền ban đầu cao hơn. Nếu sau đó vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có độ bền cao này được gia cường thêm (ví dụ, gia cường hóa học), thì độ bền thu được có thể cao hơn độ bền của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh với bề mặt mà đã được mài và đánh bóng. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được kéo xuôi có thể được kéo đến độ dày nhỏ hơn khoảng 2 mm. Ngoài ra, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được kéo xuôi có bề mặt mịn, rất phẳng có thể được sử dụng trong ứng dụng cuối cùng của nó mà không cần việc mài và đánh bóng tốn kém. Nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh là gốm thủy tinh, thì vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được tạo ra từ quy trình kéo xuôi có thể được đưa vào quy trình gốm hóa qua đó một hoặc nhiều pha tinh thể được tạo ra.

Quy trình kéo dung hợp, ví dụ, sử dụng thùng kéo mà có kênh để nhận vật liệu thô thủy tinh nóng chảy. Kênh này có các đập chắn mà hở ở phần trên dọc theo chiều dài của kênh trên cả hai phía của kênh. Khi kênh chứa đầy vật liệu nóng chảy, thủy tinh nóng chảy chảy tràn qua các đập chắn. Nhờ trọng lực, thủy tinh nóng chảy chảy xuống các bề mặt bên ngoài của thùng kéo dưới dạng hai màng thủy tinh chảy. Các bề mặt ngoài này của thùng kéo kéo dài xuôi xuống và hướng vào phía trong sao cho chúng gặp nhau ở mép dưới thùng kéo. Hai màng thủy tinh chảy này gặp nhau ở mép này để dung hợp và tạo ra một vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chảy duy nhất. Phương pháp kéo dung hợp có ưu điểm ở chỗ, vì hai màng thủy tinh chảy tràn trên kênh dung hợp với nhau nên không có bề mặt ngoài nào của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thu được tiếp xúc với phần bất kỳ của thiết bị. Do đó, các tính chất bề mặt của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được kéo dung hợp không bị ảnh hưởng bởi sự tiếp xúc này. Nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh là gốm thủy tinh, thì vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được

tạo ra từ quy trình dung hợp có thể được đưa vào quy trình gồm hóa qua đó một hoặc nhiều pha tinh thể được tạo ra.

Quy trình kéo qua khe là khác biệt với quy trình kéo dung hợp. Trong các quy trình kéo qua khe, vật liệu thủy tinh thô nóng chảy được cung cấp vào thùng kéo. Đáy của thùng kéo có khe hở với vòi kéo dài suốt độ dài của khe này. Thủy tinh nóng chảy chảy qua khe/vòi và được kéo xuôi xuống dưới dạng vật phẩm trên cơ sở thủy tinh liên tục và đi vào vùng ủ. Nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh là gồm thủy tinh, thì vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được tạo ra từ quy trình kéo qua khe có thể được đưa vào quy trình gồm hóa qua đó một hoặc nhiều pha tinh thể được tạo ra.

Theo một số phương án, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được tạo ra bằng cách sử dụng quy trình cán mỏng, như được mô tả trong patent Mỹ số 8,713,972, có tiêu đề là “Precision Glass Roll Forming Process and Apparatus”, patent Mỹ số 9,003,835, có tiêu đề là “Precision Roll Forming of Textured Sheet Glass”, công bố đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 20150027169, có tiêu đề là “Methods And Apparatus For Forming A Glass Ribbon”, và công bố đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 20050099618, có tiêu đề là “Apparatus and Method for Forming Thin Glass Articles”, nội dung của các tài liệu này được kết hợp vào đây toàn bộ bằng cách viện dẫn. Cụ thể hơn là, vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được tạo ra bằng cách cung cấp dòng thủy tinh nóng chảy thẳng đứng, tạo hình dòng thủy tinh hoặc gồm thủy tinh nóng chảy được cung cấp này bằng cách trực tiếp tạo hình được duy trì ở nhiệt độ bề mặt khoảng 500°C hoặc cao hơn hoặc khoảng 600°C hoặc cao hơn để tạo ra dải thủy tinh được tạo hình có độ dày được tạo hình, định cỡ dải thủy tinh được tạo hình này bằng cách trực tiếp định cỡ được duy trì ở nhiệt độ bề mặt khoảng 400°C hoặc thấp hơn để tạo ra dải thủy tinh được định cỡ có độ dày mong muốn nhỏ hơn độ dày được tạo hình và tính đồng đều về độ dày mong muốn. Thiết bị được sử dụng để tạo ra dải thủy tinh có thể gồm thiết bị cấp thủy tinh để cung cấp dòng cấp thủy tinh nóng chảy; cấp trực tiếp tạo hình được duy trì ở nhiệt độ bề mặt khoảng 500°C hoặc cao hơn, các trực tiếp tạo hình được đặt gần kề với nhau xác định ra khe tạo hình thủy tinh giữa các trực tiếp tạo hình với khe tạo hình thủy tinh được bố trí thẳng đứng phía dưới thiết bị cấp thủy tinh để nhận dòng cấp thủy tinh nóng chảy và làm mỏng dòng cấp thủy tinh nóng chảy giữa các trực tiếp tạo hình để tạo ra dải thủy tinh được tạo hình có độ dày được tạo hình; và cấp trực tiếp định cỡ được

duy trì ở nhiệt độ bề mặt khoảng 400°C hoặc thấp hơn, các trục định cỡ này được đặt gần kề với nhau xác định ra khe định cỡ thủy tinh giữa các trục định cỡ với khe định cỡ thủy tinh được bố trí thẳng đứng phía dưới các trục tạo hình để nhận dải thủy tinh được tạo hình và làm mỏng dải thủy tinh được tạo hình này để tạo ra dải thủy tinh được định cỡ có độ dày mong muốn và tính đồng đều về độ dày mong muốn.

Trong một số trường hợp, quy trình cán mỏng này có thể được sử dụng nếu độ nhót của thủy tinh không cho phép sử dụng phương pháp kéo qua khe hoặc kéo dung hợp. Ví dụ, việc cán mỏng có thể được sử dụng để tạo ra các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh nếu thủy tinh có độ nhót đường lòng nhỏ hơn 100 kP.

Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có thể được đánh bóng bằng axit hoặc cách khác là được xử lý để loại bỏ hoặc giảm tác động của các vết rạn bề mặt.

Khía cạnh khác của sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ra vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chống nứt vỡ. Phương pháp này bao gồm bước cung cấp vật nền trên cơ sở thủy tinh có bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai xác định ra độ dày khoảng 1 milimet hoặc nhỏ hơn, và tạo ra biên dạng ứng suất trong vật nền trên cơ sở thủy tinh, như được mô tả ở đây để tạo ra vật phẩm trên cơ sở thủy tinh chống nứt vỡ. Theo một hoặc nhiều phương án, bước tạo ra biên dạng ứng suất gồm quy trình trao đổi ion đưa nhiều ion kiềm vào vật nền trên cơ sở thủy tinh để tạo ra nồng độ oxit kim loại kiềm khác không, nồng độ này biến thiên dọc theo phần đáng kể của độ dày (như được mô tả ở đây) hoặc dọc theo toàn bộ độ dày. Theo một ví dụ, bước tạo ra biên dạng ứng suất gồm ngâm vật nền trên cơ sở thủy tinh trong bể muối nóng chảy chứa các nitrat của Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ hoặc hỗn hợp của chúng, có nhiệt độ khoảng 350°C hoặc lớn hơn (ví dụ, khoảng 350°C đến khoảng 500°C). Theo một ví dụ, bể muối nóng chảy có thể chứa NaNO_3 và có thể có nhiệt độ khoảng 485°C . Theo ví dụ khác, bể này có thể chứa NaNO_3 và có nhiệt độ khoảng 430°C . Vật nền trên cơ sở thủy tinh có thể được ngâm trong bể này trong khoảng 2 giờ hoặc lâu hơn, lên đến khoảng 48 giờ (ví dụ, từ khoảng 12 giờ đến khoảng 48 giờ, từ khoảng 12 giờ đến khoảng 32 giờ, từ khoảng 16 giờ đến khoảng 32 giờ, từ khoảng 16 giờ đến khoảng 24 giờ, hoặc từ khoảng 24 giờ đến khoảng 32 giờ).

Theo một số phương án, phương pháp này có thể gồm quy trình gia cường hóa học hoặc trao đổi ion đối với vật nền trên cơ sở thủy tinh với nhiều hơn một bước sử dụng các bước ngâm liên tiếp trong nhiều hơn một bể. Ví dụ, hai bể hoặc nhiều hơn có thể được sử dụng một cách liên tiếp. Thành phần trong một hoặc nhiều bể có thể gồm một kim loại duy nhất (ví dụ, Ag^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , hoặc Cs^+) hoặc hỗn hợp các kim loại trong cùng một bể. Nếu nhiều hơn một bể được sử dụng thì các bể có thể có thành phần và/hoặc nhiệt độ giống hoặc khác nhau. Thời gian ngâm trong mỗi bể này có thể giống nhau hoặc có thể thay đổi để tạo ra biên dạng ứng suất mong muốn.

Theo một hoặc nhiều phương án, bể thứ hai hoặc các bể tiếp theo có thể được sử dụng để tạo ra CS bề mặt lớn hơn. Trong một số trường hợp, phương pháp này gồm ngâm vật nền trên cơ sở thủy tinh trong bể thứ hai hoặc các bể tiếp theo để tạo ra CS bề mặt lớn hơn, mà không làm ảnh hưởng đáng kể đến độ sâu hóa học của lớp và/hoặc DOC. Theo các phương án này, bể thứ hai hoặc tiếp theo có thể chứa một kim loại (ví dụ, KNO_3 hoặc NaNO_3) hoặc hỗn hợp của các kim loại (KNO_3 và NaNO_3). Nhiệt độ của bể thứ hai hoặc tiếp theo này có thể được điều chỉnh để tạo ra CS bề mặt lớn hơn. Theo một số phương án, thời gian ngâm của vật nền trên cơ sở thủy tinh trong bể thứ hai hoặc tiếp theo có thể cũng được điều chỉnh để tạo ra CS bề mặt lớn hơn mà không ảnh hưởng đến độ sâu hóa học của lớp và/hoặc DOC. Ví dụ, thời gian ngâm trong bể thứ hai hoặc các bể tiếp theo có thể là ngắn hơn 10 giờ (ví dụ, khoảng 8 giờ hoặc ngắn hơn, khoảng 5 giờ hoặc ngắn hơn, khoảng 4 giờ hoặc ngắn hơn, khoảng 2 giờ hoặc ngắn hơn, khoảng 1 giờ hoặc ngắn hơn, khoảng 30 phút hoặc ngắn hơn, khoảng 15 phút hoặc ngắn hơn, hoặc khoảng 10 phút hoặc ngắn hơn).

Theo một hoặc nhiều phương án khác, phương pháp này có thể gồm một hoặc nhiều bước xử lý nhiệt mà có thể được sử dụng kết hợp với các quy trình trao đổi ion được mô tả ở đây. Việc xử lý nhiệt bao gồm xử lý nhiệt đối với vật phẩm trên cơ sở thủy tinh để thu được biên dạng ứng suất mong muốn. Theo một số phương án, việc xử lý nhiệt bao gồm ủ, tôi hoặc gia nhiệt vật nền trên cơ sở thủy tinh đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ khoảng 300°C đến khoảng 600°C . Việc xử lý nhiệt có thể kéo dài trong 1 phút lên đến khoảng 18 giờ. Theo một số phương án, việc xử lý nhiệt có thể được sử dụng sau một hoặc nhiều quy trình trao đổi ion, hoặc giữa các quy trình trao đổi ion.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các phương án khác nhau sẽ được làm sáng tỏ hơn nữa thông qua các ví dụ sau. Trong các ví dụ này, trước khi được gia cường, các Ví dụ được gọi là “vật nền”. Sau khi được đem gia cường, các Ví dụ được gọi là các “vật phẩm” hoặc các “vật phẩm trên cơ sở thủy tinh”.

Ví dụ 1

Các vật nền gồm thủy tinh có thành phần cấu tạo trên danh nghĩa như được thể hiện trong bảng 2 dưới đây được tạo ra. Các vật nền gồm thủy tinh này có độ dày là 0,8 milimet và chứa tập hợp pha tinh thể gồm dung dịch đặc β -spodumen là pha tinh thể chiếm ưu thế và một hoặc nhiều pha thứ yếu gồm rutil. Các vật nền gồm thủy tinh được ngâm trong bể muối nóng chảy chứa NaNO_3 có nhiệt độ là 485°C trong 10 giờ (Điều kiện A), 13 giờ (Điều kiện B) hoặc 24 giờ (Điều kiện C), hoặc bể muối nóng chảy chứa NaNO_3 có nhiệt độ là 430°C trong 2 giờ (Điều kiện so sánh D) để tạo ra các vật phẩm gồm thủy tinh.

Bảng 2: Thành phần của vật nền gồm thủy tinh theo ví dụ 1, trước khi gia cường hóa học.

Ví dụ $\Rightarrow$	1
Oxit [%mol]	
SiO_2	69,2
Al_2O_3	12,6
B_2O_3	1,8
Li_2O	7,7
Na_2O	0,4
MgO	2,9

Ví dụ =>	1
ZnO	1,7
TiO ₂	3,5
SnO ₂	0,1
$\frac{[Li_2O+Na_2O+MgO+ZnO+K_2O]}{[Al_2O_3+B_2O_3]}$	$\frac{12,7}{14,4} = 0,88$
$\frac{[TiO_2+SnO_2]}{[SiO_2+B_2O_3]}$	$\frac{3,6}{71} = 0,051$

Các biên dạng ứng suất của các vật phẩm gốm thủy tinh được đo bằng dụng cụ vi đầu dò và được thể hiện trên Fig.5. Như được thể hiện trên Fig.5, các ion Na⁺ được trao đổi ion trên hầu hết toàn bộ độ dày của các vật phẩm khi bề nhiệt độ cao hơn được sử dụng (tức là, các Điều kiện A-C). Trong các gốm thủy tinh này, Na₂O có mặt trong vùng CT với lượng khoảng 1,2% mol hoặc lớn hơn. Vật phẩm gốm thủy tinh được trao đổi ion trong bề nhiệt độ thấp hơn (Điều kiện so sánh D) thể hiện biên dạng ứng suất mà tương tự như các biên dạng ứng suất đã biết.

Ví dụ 2

Các vật nền thủy tinh có thành phần tương tự như được thể hiện trong bảng 2 và độ dày là 0,8 mm, nhưng có cấu trúc vô định hình (và không có các pha tinh thể) được gia cường hóa học bằng cách ngâm trong bể muối nóng chảy chứa 100% NaNO₃ có nhiệt độ khoảng 430°C trong các khoảng thời gian khác nhau để tạo ra các vật phẩm thủy tinh. Trị số DOC và CT tối đa của các vật phẩm thủy tinh được đo bằng cách sử dụng máy nghiệm phân cực ánh sáng tán xạ (SCALP). Như được thể hiện trên Fig.6, DOC và CT tối đa gia tăng với sự tăng thời gian ngâm hoặc trao đổi ion. Trị số CT lớn nhất được thấy sau khi ngâm thủy tinh trong khoảng 16 giờ.

Biên dạng ứng suất của các vật phẩm thủy tinh theo ví dụ 2 được đo bằng các sử dụng SCALP và được thể hiện trên Fig.7. Phần trên trục x thể hiện trị số ứng suất dương là lớp CT và phần dưới trục x thể hiện trị số ứng suất âm là các trị số CS. Biên dạng ứng suất của vật phẩm thủy tinh mà được gia cường hóa học trong 16 giờ thể hiện trị số CT lớn nhất (tức là, 175 MPa) và hình dạng mà giống như hình parabol, biên dạng này hầu như là không chứa các phần tuyến tính, theo hướng độ sâu, dày 100 micromet. CS bề mặt đo được bằng SCALP là khoảng 410 MPa. Do đó, tỷ lệ giữa CT tối đa và CS bề mặt của Ví dụ 2 là khoảng 0,4375.

Ví dụ 3

Để so sánh, vật nền gồm thủy tinh theo Ví dụ 1 và vật nền thủy tinh theo Ví dụ 2, mỗi vật nền này có độ dày of khoảng 0,8 mm, được đem gia cường hóa học bằng cách ngâm trong bể muối nóng chảy chứa NaNO_3 có nhiệt độ là 350°C trong 3,5 giờ (lần lượt tương ứng là Ví dụ 3A và 3B). Biên dạng ứng suất thu được của vật phẩm gồm thủy tinh và vật phẩm thủy tinh được thể hiện trên Fig.8 tương tự với hàm sai số (error function: erfc) hoặc hình dạng gần như tuyến tính. Hơn nữa, độ sâu CS của lớp là nhỏ hơn độ sâu của ion kiềm được trao đổi vào trong thủy tinh hoặc gồm thủy tinh (hoặc độ sâu trao đổi ion hóa học).

Nếu vật nền gồm thủy tinh theo Ví dụ 1 và vật nền thủy tinh theo Ví dụ 2, mỗi vật nền này độ dày of khoảng 0,8mm, được đem gia cường hóa học như được mô tả ở đây bằng cách ngâm trong bể muối nóng chảy chứa NaNO_3 có nhiệt độ là 430°C trong 24 giờ (lần lượt tương ứng là Ví dụ 3C và 3D), thì các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thu được biểu thị các biên dạng nồng độ oxit kim loại (thu được bằng EPMA) như được thể hiện trên Fig.9. Các biên dạng nồng độ oxit kim loại này là giống như hình parabol và thể hiện sự trao đổi ion đối với các ion Na^+ trên khắp toàn bộ độ dày. Các biên dạng hóa học được đo bằng cách sử dụng EMPA và độ sâu hóa học của sự khuếch tán Na_2O được thể hiện là bằng hoặc lớn hơn 400 micromet. Hơn nữa, Na_2O có mặt với nồng độ khoảng 1% mol hoặc lớn hơn trên suốt độ dày, kể cả trong lớp CT. Các vật phẩm gồm thủy tinh thu được theo Ví dụ 3D thể hiện độ bền chống nứt vỡ ưu việt trong thử nghiệm rơi trong đó các vật nền gồm thủy tinh được lắp vào vỏ điện thoại di động như nhau. Cụ thể là, năm mẫu theo Ví dụ 3D được lắp vào dụng cụ điện

thoại di động và được thả rơi lên giấy nhám trong các lần thả rơi liên tiếp bắt đầu từ độ cao 50 cm. Nếu mỗi mẫu còn bền nguyên sau việc thả rơi từ một độ cao thì nó được thả rơi lần nữa từ độ cao được tăng lên cho đến khi nó nứt vỡ, tạo điểm này, độ cao làm hỏng mẫu đó được ghi lại trên Fig.9A. Ví dụ 3D thể hiện độ cao làm hỏng trung bình là 172,5cm.

Fig.10 thể hiện các biên dạng ứng suất của vật nền trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học theo các quy trình đã biết và vật nền trên cơ sở thủy tinh được gia cường hóa học theo các phương pháp được mô tả ở đây. Như được thể hiện trên Fig.10, biên dạng ứng suất của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo các phương án được mô tả ở đây có hình dạng mà hầu như không chứa các đoạn tuyến tính (có độ dài hoặc độ sâu tuyệt đối lớn hơn khoảng 50 micromet) và thể hiện DOC là khoảng $0,2 \cdot t$, trong khi biên dạng ứng suất đã biết thể hiện phần hầu như tuyến tính từ độ sâu khoảng 0,1 milimet đến khoảng 0,7 milimet (cho tổng chiều dài là khoảng 0,6 milimet hoặc 600 micromet). Biên dạng ứng suất đã biết còn thể hiện trị số CT thấp hơn và DOC thấp hơn.

Ví dụ 4

Các vật nền thủy tinh (mỗi vật nền có độ dày khoảng 1 mm) có thành phần nêu trên bảng 2 được đem gia cường hóa học bằng cách ngâm trong bể muối nóng chảy thứ nhất chứa NaNO_3 có nhiệt độ là 430°C trong 24 giờ. Một vật phẩm trên cơ sở thủy tinh không được đem qua bước gia cường bổ sung bất kỳ thêm nữa (Ví dụ 4A). Ba vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được đem qua bước gia cường thứ hai bằng cách ngâm trong bể muối nóng chảy thứ hai chứa KNO_3 có nhiệt độ là khoảng 430°C trong 0,75 giờ, 4 giờ, hoặc 8 giờ (lần lượt tương ứng với các Ví dụ 4B, 4C và 4D). Các biên dạng ứng suất như được đo bằng SCALP của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thu được được thể hiện trên Fig.11, với độ sâu hoặc độ dày của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được biểu thị trên trục x và ứng suất được biểu thị trên trục y. Các trị số ứng suất dương là các trị số CT và các trị số ứng suất âm là các trị số CS. Độ phân giải không gian của thiết bị đo ngăn cản việc đo CS kết hợp với bước trao đổi ion KNO_3 thứ hai. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo các Ví dụ 4A và 4B thể hiện các biên dạng tương tự nhau. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo các Ví dụ 4C và 4D thể hiện CT

giảm (so với các Ví dụ 4A và 4B) và CS giảm (so với các Ví dụ 4A và 4B), với thời gian và sau quá trình ngâm ở bước gia cường thứ hai. Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo các Ví dụ 4C và 4D còn thể hiện DOC gia tăng, so với các Ví dụ 4A và 4B, và các trị số DOC này là lớn hơn $0,2 \cdot t$.

Fig.12 thể hiện năng lượng kéo dãn theo J/m^2 đối với mỗi vật phẩm theo các Ví dụ 4B-4D, năng lượng này là lớn hơn $15 J/m^2$ tùy thuộc vào thời gian được ngâm trong bể muối nóng chảy thứ hai chứa KNO_3 . Năng lượng kéo dãn có thể được tính từ số liệu biên dạng ứng suất đo được bằng SCALP và sử dụng phương trình (3) đã nêu.

Fig.13 và Fig.14 thể hiện các biên dạng nồng độ của mỗi oxit trong số K_2O và Na_2O dưới dạng hàm số của độ sâu (tính theo micromet) cho mỗi Ví dụ trong số các Ví dụ 4B-4D. Như được thể hiện trên Fig.13, độ sâu hóa học của K_2O là 3 micromet (Ví dụ 4B, ngâm trong 0,75 giờ trong bể KNO_3), 6 micromet (Ví dụ 4C, ngâm trong 4 giờ trong bể KNO_3) và 5 micromet (Ví dụ 4D, ngâm trong 8 giờ trong bể KNO_3). Như được thể hiện trên Fig.14, Na_2O xuyên qua toàn bộ độ sâu và có nồng độ khoảng 1% mol hoặc lớn hơn đối với mỗi vật phẩm theo các Ví dụ 4B-4D dọc theo toàn bộ độ sâu của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh.

Các ví dụ 4E và 4F gồm các vật nền thủy tinh (mỗi vật nền có độ dày khoảng 1 mm) có thành phần nêu trên bảng 2, các vật nền này được đem gia cường hóa học bằng cách ngâm trong bể muối nóng chảy thứ nhất chứa $NaNO_3$ có nhiệt độ là $430^\circ C$ trong 24 giờ, sau đó là xử lý nhiệt đến nhiệt độ $430^\circ C$ trong không khí lần lượt trong 4 giờ hoặc 8,25 giờ. Các biên dạng ứng suất của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo các Ví dụ 4E, 4F được thể hiện trên Fig.15, với các biên dạng ứng suất đối với các Ví dụ 4A, 4C và 4D được thể hiện để so sánh. Fig.16 thể hiện biểu đồ giống như Fig.15, ở quy mô nhỏ hơn để minh họa các khác biệt giữa các biên dạng ứng suất tại hoặc gần độ sâu $0,5 \cdot t$.

Ví dụ 5

Các vật nền thủy tinh (mỗi vật nền có độ dày khoảng 1 mm) có thành phần nêu trên bảng 2 được đem gia cường hóa học bằng cách ngâm trong bể muối nóng chảy thứ nhất chứa $NaNO_3$ có nhiệt độ là $430^\circ C$ trong 24 giờ. Một vật phẩm trên cơ sở thủy

tinh không được đem qua bước gia cường bổ sung bất kỳ thêm nữa (Ví dụ 5A). Hai vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được đem thực hiện bước gia cường thứ hai bằng cách đặt các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh trong lò ở 390°C và giữ các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh trong lò này trong khoảng 8 giờ hoặc 28 giờ (lần lượt tương ứng là Ví dụ 5B và Ví dụ 5C). Bốn vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được đem thực hiện bước gia cường thứ ba (sau bước gia cường thứ nhất và một trong hai bước gia cường thứ hai khác nhau) bằng cách ngâm trong bể muối nóng chảy thứ hai chứa KNO₃ có nhiệt độ là 430°C trong 4 giờ hoặc 8 giờ (lần lượt tương ứng với các Ví dụ 5D-5G). Các bước gia cường đối với mỗi vật nền theo các Ví dụ 5A-5G được thể hiện trong bảng 3. Các trị số CT đo được cũng được thể hiện trên bảng 3.

Bảng 3: Các bước gia cường đối với các Ví dụ 5A-5G.

Bước	Ví dụ 5A	Ví dụ 5B	Ví dụ 5C	Ví dụ 5D	Ví dụ 5E	Ví dụ 5F	Ví dụ 5G
Bước thứ nhất	NaNO ₃ , 430°C, 24 giờ	NaNO ₃ , 430°C, 24 giờ	NaNO ₃ , 430°C, 24 giờ	NaNO ₃ , 430°C, 24 giờ	NaNO ₃ , 430°C, 24 giờ	NaNO ₃ , 430°C, 24 giờ	NaNO ₃ , 430°C, 24 giờ
Bước thứ hai		Không khí, 390°C, 8 giờ	Không khí, 390°C, 28 giờ	Không khí, 390°C, 8 giờ	Không khí, 390°C, 28 giờ	Không khí, 390°C, 8 giờ	Không khí, 390°C, 28 giờ
Bước thứ ba				KNO ₃ , 430°C, 4 giờ	KNO ₃ , 430°C, 4 giờ	KNO ₃ , 430°C, 8 giờ	KNO ₃ , 430°C, 8 giờ
CT	174 MPa	148 MPa	96 MPa	129 MPa	82 MPa	103 MPa	72 MPa

Các biên dạng ứng suất của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh thu được được thể hiện trên Fig.17, với độ sâu hoặc độ dày của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được biểu thị trên trục x và ứng suất được biểu thị trên trục y. Các trị số ứng suất dương là các trị số CT và các trị số ứng suất âm là các trị số CS. Như được thể hiện trên Fig.17,

nếu khoảng thời gian của việc xử lý nhiệt thứ hai và/hoặc thứ ba được gia tăng thì DOC gia tăng và CT giảm. Mức giảm của DOC và CT được thể hiện rõ hơn lần lượt trên Fig.18 và Fig.19.

Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo các Ví dụ 5A-5G sau đó được đem qua thử nghiệm thọc trong đó một mặt của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được dán vào dải băng và mặt không dán đối diện được va chạm với dụng cụ nhọn và nứt vỡ. Số lượng mảnh vỡ thu được có thể tương quan với năng lượng kéo dãn của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh. Các Ví dụ 5A, 5B và 5D thể hiện số mảnh vỡ nhiều (tức là, trên 50 và thậm chí 100 mảnh), trong khi Ví dụ 5F thể hiện 10 mảnh vỡ, Ví dụ 5C thể hiện 3 mảnh vỡ, và Ví dụ 5E và 5G thể hiện 4 mảnh vỡ. Các Ví dụ 5A, 5B và 5D, mà bị nứt vỡ thành nhiều mảnh thể hiện CT cao hơn (lớn hơn khoảng 100 MPa) so với các Ví dụ 5C, 5E, 5F và 5G, trong đó tất cả các Ví dụ này có trị số CT là khoảng 100 MPa hoặc nhỏ hơn.

Ví dụ 6

Vật nền thủy tinh có thành phần danh nghĩa là 57,5% mol SiO_2 , 16,5% mol Al_2O_3 , 16,7% mol Na_2O , 2,5% mol MgO , và 6,5% mol P_2O_5 , và có độ dày khoảng 0,4 mm, 0,55 mm, hoặc 1 mm được đem gia cường hóa học. Độ dày và điều kiện của việc gia cường hóa học được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4: Độ dày và điều kiện gia cường hóa học đối với các Ví dụ 6A-6D.

Ví dụ	Độ dày	Thành phần của bể	Nhiệt độ của bể
6A	0,4 mm	80% KNO_3 , 20% NaNO_3	430°C
6B	0,55 mm	80% KNO_3 , 20% NaNO_3	430°C
6C	0,55 mm	90% KNO_3 , 10% NaNO_3	430°C
6D	1,0 mm	70% KNO_3 , 30% NaNO_3	430°C

Ví dụ 6A được ngâm trong bể muối nóng chảy, như được thể hiện trong bảng 4, trong 4 giờ, 8 giờ, 16 giờ, 32 giờ, 64 giờ và 128 giờ (các Ví dụ 6A-1 đến 6A-6). Ví dụ 6B được ngâm trong bể muối nóng chảy, như được thể hiện trong bảng 4, trong 4 giờ, 8 giờ, 16 giờ, 32 giờ, 64 giờ và 128 giờ (các Ví dụ 6B-1 đến 6B-6). Ví dụ 6C được ngâm trong bể muối nóng chảy, như được thể hiện trong bảng 4, trong 1 giờ, 2 giờ, 4 giờ, 8 giờ, 16 giờ và 32 giờ (các Ví dụ 6C-1 đến 6C-6). Ví dụ 6D được ngâm trong bể muối nóng chảy, như được thể hiện trong bảng 4, trong 4 giờ, 8 giờ, 16 giờ, 32 giờ, 64 giờ và 128 giờ (các Ví dụ 6D-1 đến 6D-6). Các biên dạng ứng suất theo các Ví dụ 6A-1 đến 6A-6, 6B-1 đến 6B-6, 6C-1 đến 6C-6, và 6D-1 đến 6D-6 lần lượt được thể hiện trên Fig.20, Fig.22, Fig.24 và Fig.26. Trên các Fig.20, 22, 24 và 26, độ sâu hoặc độ dày của các vật phẩm thủy tinh được biểu thị trên trục x và ứng suất được biểu thị trên trục y. Các trị số ứng suất dương là các trị số CT và các trị số ứng suất âm là các trị số CS.

Các trị số CT và DOC dưới dạng hàm số của thời gian được ngâm trong bể muối nóng chảy đối với các Ví dụ 6A-1 đến 6A-6, các Ví dụ 6B-1 đến 6B-6, các Ví dụ 6C-1 đến 6C-6 và các Ví dụ 6D-1 đến 6D-6, được thể hiện lần lượt trên các Fig.21, 23, 25, và 27.

Ví dụ 7

Các vật nền thủy tinh có thành phần danh nghĩa như được thể hiện trên bảng 2 và có độ dày khoảng 1 mm được đem gia cường hóa học trong bể muối nóng chảy chứa 100% NaNO_3 và nhiệt độ là 430°C . Khoảng thời gian mà các vật nền thủy tinh được ngâm trong bể muối nóng chảy được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 4: Khoảng thời gian gia cường hóa học (hoặc thời gian trao đổi ion) đối với các Ví dụ 7A-7G.

Ví dụ	Thời gian trao đổi ion (giờ)
7A	2
7B	4
7C	8

7D	16
7E	24
7F	32,5
7G	48

Các biên dạng ứng suất của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo các Ví dụ 7A-7G được thể hiện trên Fig.28. Các biên dạng ứng suất này được đo bằng cách sử dụng SCALP. Như được thể hiện trên Fig.28, việc ngâm các vật nền thủy tinh trong bể muối nóng chảy trong 16 giờ và 24 giờ dẫn đến các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh có trị số CS bề mặt lớn nhất và trị số CT lớn nhất, tính theo trị số tuyệt đối. Biểu đồ thể hiện sự thay đổi trong các trị số CT và năng lượng kéo dự trữ, đều dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion được thể hiện trên Fig.29.

Ví dụ 8

Các vật nền thủy tinh có thành phần danh nghĩa như được thể hiện trong bảng 2 và mỗi vật nền có độ dày khoảng 0,8 mm, được đem gia cường hóa học trong bể muối nóng chảy chứa hỗn hợp NaNO_3 và NaSO_4 và nhiệt độ 500°C trong 15 phút (ví dụ so sánh 8A) và trong 16 giờ (Ví dụ 8B). Biên dạng ứng suất của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo Ví dụ 8A và 8B được thể hiện trên Fig.30. Như được thể hiện trên Fig.30, ví dụ so sánh 8A thể hiện biên dạng ứng suất đã biết, trong khi đó Ví dụ 8B thể hiện biên dạng ứng suất theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế. Năng lượng kéo dự trữ của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo các Ví dụ 8A và 8B được tính theo cách giống như đối với các Ví dụ 4B-4D. Năng lượng kéo dự trữ tính được được vẽ biểu đồ dưới dạng hàm số của CT đo được (MPa), như được thể hiện trên Fig.31.

Như được thể hiện trên Fig.31, Ví dụ so sánh 8A thể hiện trị số năng lượng kéo dự trữ đối với trị số CT nhất định là lớn hơn rất nhiều so với Ví dụ 8B (đối với cùng trị số CT như vậy). Cụ thể là, ở mức CT bằng khoảng 55 MPa, ví dụ so sánh 8A thể hiện năng lượng kéo dự trữ là khoảng 8 J/m^2 , trong khi đó Ví dụ 8B thể hiện năng lượng kéo dự trữ là khoảng $3,5 \text{ J/m}^2$. Ví dụ so sánh 8A và Ví dụ 8B bị nứt vỡ và Ví dụ 8B nứt vỡ thành ít mảnh hơn so với Ví dụ so sánh 8A, Ví dụ 8A này nứt vỡ thành số lượng mảnh lớn hơn đáng kể. Do đó, không bị giới hạn bởi lý thuyết bất kỳ, người ta

tin rằng việc kiểm soát năng lượng kéo dự trữ có thể tạo ra cách thức để kiểm soát hoặc dự đoán các kiểu vỡ hoặc số lượng mảnh vỡ thu được từ sự nứt vỡ.

Các vật nền thủy tinh có thành phần danh nghĩa như được thể hiện trong bảng 2 và mỗi vật nền có độ dày khoảng 1 mm, được đem gia cường hóa học trong bể muối nóng chảy chứa NaNO_3 và nhiệt độ 430°C trong 4 giờ (ví dụ so sánh 8C) và trong 61,5 giờ (Ví dụ 8D). Ví dụ so sánh 8C thể hiện biên dạng ứng suất đã biết, trong khi đó Ví dụ 8D thể hiện biên dạng ứng suất theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế. Năng lượng kéo dự trữ theo các Ví dụ 8C và 8D được tính bằng các sử dụng phương pháp giống như phương pháp được sử dụng đối với các Ví dụ 4B-4D và được vẽ biểu đồ dưới dạng hàm số của CT đo được (MPa), như được thể hiện trên Fig.32.

Như được thể hiện trên Fig.32, Ví dụ so sánh 8C thể hiện trị số năng lượng kéo dự trữ đối với trị số CT nhất định là lớn hơn rất nhiều so với Ví dụ 8D (đối với cùng trị số CT như vậy). Ví dụ so sánh 8C và Ví dụ 8D bị nứt vỡ và Ví dụ 8D nứt vỡ thành ít mảnh hơn so với Ví dụ so sánh 8C, Ví dụ 8C này nứt vỡ thành số lượng mảnh lớn hơn đáng kể.

Ví dụ 9

Các vật nền thủy tinh có thành phần danh nghĩa là 70,9% mol SiO_2 , 12,8% mol Al_2O_3 , 1,95% mol B_2O_3 , 7,95% mol Li_2O , 2,43% mol Na_2O , 2,98% mol MgO , 0,89% mol ZnO , và 0,1% mol SnO_2 và có độ dày khoảng 0,8 mm được đem thực hiện trao đổi ion với các điều kiện nêu trong bảng 5. Các tính chất khác nhau của Ví dụ 9 được so sánh với Ví dụ 2 trong bảng 6.

Bảng 5: Các điều kiện trao đổi ion đối với Ví dụ 9.

Điều kiện	Thành phần của bể	Nhiệt độ của bể ($^\circ\text{C}$)	Thời gian ngâm
1	100% NaNO_3	430°C	16 giờ
2	20% NaNO_3 , 80% KNO_3	430°C	11 giờ
3	100% NaNO_3	430°C	24 giờ
4	20% NaNO_3 , 80% KNO_3	430°C	12,5 giờ

Bảng 6: So sánh các tính chất của Ví dụ 9B và Ví dụ 2.

Tính chất	Đơn vị	Ví dụ 9B	Ví dụ 2
Điểm biến dạng	°C	592	615
Điểm ủ	°C	642	663
Môđun đàn hồi	GPa	81,4	83,8
Môđun trượt	GPa	33,8	34,3
Hệ số Poát-xông		0,211	0,222
CTE (nhiệt độ trong phòng-300°C)	ppm/°C	4,58	3,84
Độ dẫn nhiệt	W/cm*K		
SOC	nm/cm/MPa	30,94	32,65
Hệ số khúc xạ (ở 550 nm)		1,5087	1,532

Các biên dạng ứng suất của các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo Ví dụ 9 được đo và biểu thị hình dạng như được mô tả ở đây.

Các vật nền thủy tinh theo Ví dụ 2, Ví dụ 6, và Ví dụ so sánh 9A được tạo ra có độ dày như Ví dụ 9. Các vật nền thủy tinh theo Ví dụ 2 được trao đổi ion trong bể nóng chảy chứa 100% NaNO_3 , có nhiệt độ là 430°C trong 33 giờ. Các vật nền thủy tinh theo Ví dụ 6 được trao đổi ion để thể hiện biên dạng ứng suất hàm sai số đã biết. Ví dụ so sánh 9A được trao đổi ion trong bể nóng chảy chứa 100% NaNO_3 , có nhiệt độ là 390°C trong 16 giờ và cũng thể hiện biên dạng ứng suất hàm sai số đã biết. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “biên dạng ứng suất hàm sai số” chỉ biên dạng ứng suất giống với Fig.1.

Các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh từ Ví dụ 2, Ví dụ so sánh 6, Ví dụ 9 và Ví dụ so sánh 9A sau đó được lắp vào các thiết bị điện thoại di động như nhau. Các thiết bị điện thoại này được thả rơi từ các độ cao tăng dần bắt đầu từ 20 cm lên giấy nhám có độ nhám 30 grit. Nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh còn bền nguyên sau khi thả rơi từ

một độ cao (ví dụ, 20 cm), thì điện thoại di động được thả rơi lại lần nữa từ độ cao lớn hơn (ví dụ, 30 cm, 40 cm, 50 cm, v.v.). Độ cao tại đó vật phẩm trên cơ sở thủy tinh bị hỏng được thể hiện bằng biểu đồ đối với Ví dụ 32, biểu đồ cũng thể hiện độ cao làm hỏng trung bình đối với các mẫu theo các Ví dụ 2, 6, và 9 và Ví dụ so sánh 9A. Như được thể hiện trên Fig.33, các Ví dụ 2 và 9 thể hiện hư hỏng ở độ cao rơi lớn hơn đáng kể so với Ví dụ 6 và Ví dụ so sánh 9A. Cụ thể là, các Ví dụ 6 và các Ví dụ so sánh 9A thể hiện hư hỏng ở độ cao rơi lần lượt là khoảng 38 cm và 55 cm, trong khi Ví dụ 2 và 9 thể hiện hư hỏng ở độ cao rơi lần lượt là khoảng 147 cm và 132 cm.

Thử nghiệm tương tự được lặp lại với các mẫu mới sử dụng thiết bị điện thoại di động tương tự lên giấy nhám có độ nhám 180 grit. Độ cao làm hỏng trung bình đối với Ví dụ 6 là 190 cm, đối với Ví dụ so sánh 9A là 204 cm, đối với Ví dụ 2 là 214 cm và đối với Ví dụ 9 là 214 cm.

Các vật nền thủy tinh theo ví dụ so sánh 9B, có thành phần danh nghĩa là 65% mol SiO_2 , 5% mol B_2O_3 , 14% mol Al_2O_3 , 14% mol Na_2O , 2% mol MgO , và 0,1% mol SnO_2 và độ dày là 0,8 mm, được trao đổi ion để thể hiện biên dạng ứng suất hàm sai số đã biết. Các mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo Ví dụ 2 và Ví dụ so sánh 6 (thể hiện biên dạng ứng suất nêu trên trong Ví dụ này), Ví dụ so sánh 9B và các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo Ví dụ 9 được trao đổi ion theo Điều kiện 4, như được thể hiện trong bảng 5, được đem thử nghiệm A-ROR như được mô tả ở đây.

Các Ví dụ 6 và 9 và Ví dụ so sánh 9B được mài mòn sử dụng tải trọng hoặc áp suất 25 psi (172,37 kPa) và 45 psi (310,26 kPa), và Ví dụ 2 được mài mòn chỉ sử dụng tải trọng 25 psi (172,37 kPa). Số liệu AROR được thể hiện trên Fig.34. Như được thể hiện trên Fig.34, các Ví dụ 2 và 9 thể hiện tải trọng cao hơn để gây hỏng so với Ví dụ 6, và Ví dụ so sánh 9B.

Các mẫu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo Ví dụ 2 (được trao đổi ion như nêu trên trong Ví dụ này) và Ví dụ 9 (được trao đổi ion theo Điều kiện 4) được đem thử nghiệm uốn 4 điểm. Kết quả được thể hiện trên biểu đồ phân phối Weibull trên Fig.35. Như được thể hiện trên Fig.35, Ví dụ 9 thể hiện ứng suất hoặc tải trọng cao hơn để gây hỏng (ví dụ, lớn hơn khoảng 400 MPa).

Như được thể hiện trên đây, các vật phẩm trên cơ sở thủy tinh được tạo ra từ các chế phẩm có điểm biến dạng lớn hơn 525°C cho phép nhiệt độ trao đổi ion (hoặc nhiệt độ bể trao đổi ion) nằm trong khoảng từ khoảng 350°C đến khoảng 480°C . Theo một số phương án, các chế phẩm thủy tinh thể hiện độ khuếch tán lớn hơn khoảng 800 micromet vuông/giờ cho phép các oxit kim loại khuếch tán vào vật phẩm trên cơ sở thủy tinh xuyên thấu toàn bộ độ sâu hoặc độ dày của vật phẩm một cách nhanh chóng đến mức mà sự tích thoát ứng suất được tối thiểu hóa, sự tích thoát ứng suất dư có thể làm giảm ứng suất nén bề mặt của vật phẩm trên cơ sở thủy tinh.

Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này sẽ hiểu rõ rằng, các biến đổi, thay đổi khác nhau có thể được đưa ra mà không nằm ngoài phạm vi bảo hộ của sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gồm:

bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định ra độ dày (t); và

nồng độ oxit kim loại mà vừa khác không vừa biến thiên dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$, như được đo bằng dụng cụ vi đầu dò;

biên dạng ứng suất, như được đo bằng sự kết hợp máy nghiệm phân cực ánh sáng tán xạ và máy đo ứng suất bề mặt, là giảm từ bề mặt thứ nhất đến một điểm nằm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ điểm này đến bề mặt thứ hai; và

vùng CT của biên dạng ứng suất, trong đó vùng CT được định nghĩa bằng phương trình: $\text{Ứng suất}(x) = \text{MaxCT} - (((\text{MaxCT} \cdot (n+1))/0,5^n) \cdot |(x/t) - 0,5|^n)$,

trong đó MaxCT là trị số CT tối đa và được cung cấp dưới dạng trị số dương với đơn vị là MPa, x là vị trí dọc theo độ dày (t) với đơn vị là micromet, và n là nằm trong khoảng từ 1,5 đến 5.

2. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 1, trong đó nồng độ oxit kim loại là khác không và biến thiên dọc theo toàn bộ độ dày.

3. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 1, trong đó oxit kim loại tạo ra ứng suất dọc theo khoảng độ dày.

4. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 1, trong đó nồng độ oxit kim loại bằng hoặc lớn hơn khoảng 0,05% mol trên suốt độ dày.

5. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 1, trong đó nồng độ oxit kim loại ở bề mặt thứ nhất là gấp khoảng 1,5 lần so với nồng độ oxit kim loại ở độ sâu bằng khoảng $0,5 \cdot t$, như được đo bằng dụng cụ vi đầu dò.

6. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gồm:

bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện với bề mặt thứ nhất xác định ra độ dày (t) là khoảng nhỏ hơn khoảng 3 millimet;

nồng độ oxit kim loại vừa khác không vừa biến thiên dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$ như được đo bằng dụng cụ vi đầu dò;

biên dạng ứng suất, như được đo bằng sự kết hợp máy nghiệm phân cực ánh sáng tán xạ và máy đo ứng suất bề mặt, là giảm từ bề mặt thứ nhất đến một điểm nằm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ điểm này đến bề mặt thứ hai;

vùng CT của biên dạng ứng suất, trong đó vùng CT này được định nghĩa bằng phương trình $\text{Ứng suất}(x) = \text{MaxCT} - (((\text{MaxCT} \cdot (n+1))/0,5^n) \cdot |(x/t) - 0,5|^n)$,

trong đó MaxCT là trị số CT tối đa và được cung cấp dưới dạng trị số dương với đơn vị là MPa, x là vị trí dọc theo độ dày (t) với đơn vị là micromet, và n là nằm trong khoảng từ 1,5 đến 5; và

trong đó tất cả các điểm của biên dạng ứng suất nằm trong khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$ và từ lớn hơn $0,7 \cdot t$, có tang số nhỏ hơn khoảng -0,1 MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng 0,1 MPa/micromet, và

trong đó biên dạng ứng suất có CS tối đa, DOC và CT tối đa, trong đó tỷ lệ giữa CT tối đa so với CS tối đa là nằm trong khoảng từ khoảng 0,01 đến khoảng 0,5 và trong đó DOC là khoảng $0,1 \cdot t$ hoặc lớn hơn.

7. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 6, trong đó vật phẩm này còn có trị số tuyệt đối của CS bề mặt là khoảng 300 MPa hoặc lớn hơn, như được đo bằng máy đo ứng suất bề mặt.

8. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 6, trong đó vật phẩm này còn có trị số tuyệt đối của CS bề mặt là khoảng 200 MPa hoặc lớn hơn, như được đo bằng máy đo ứng suất bề mặt, và độ sâu hóa học của lớp (DOL) là khoảng $0,4 \cdot t$ hoặc lớn hơn.

9. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 6, trong đó vật phẩm này còn bao gồm lớp CS kéo dài từ bề mặt thứ nhất đến DOC, trong đó DOC là khoảng $0,1 \cdot t$ hoặc lớn hơn.

10. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 6, trong đó vật phẩm này còn bao gồm vùng CT, trong đó vùng CT này có gradien nồng độ oxit kim loại.

11. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 7, trong đó tỷ lệ giữa CT tối đa so với CS bề mặt là nằm trong khoảng từ khoảng 0,01 đến khoảng 0,5.

12. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 6, trong đó t bằng hoặc nhỏ hơn khoảng 1 millimet.

13. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gồm:

bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện với bề mặt thứ nhất xác định ra độ dày (t); và

nồng độ oxit kim loại vừa khác không vừa biến thiên dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$, như được đo bằng dụng cụ vi đầu dò;

biên dạng ứng suất, như được đo bằng sự kết hợp máy nghiệm phân cực ánh sáng tán xạ và máy đo ứng suất bề mặt, là giảm từ bề mặt thứ nhất đến một điểm nằm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ điểm này đến bề mặt thứ hai;

vùng CT của biên dạng ứng suất, trong đó vùng CT này được định nghĩa bằng phương trình Ứng suất(x) = $\text{MaxCT} - (((\text{MaxCT} \cdot (n+1))/0,5^n) \cdot |(x/t) - 0,5|^n)$,

trong đó MaxCT là trị số CT tối đa và được cung cấp dưới dạng trị số dương với đơn vị là MPa, x là vị trí dọc theo độ dày (t) với đơn vị là micromet, và n là nằm trong khoảng từ 1,5 đến 5; và

trị số tuyệt đối của CS bề mặt là khoảng 200 MPa hoặc lớn hơn, như được đo bằng máy đo ứng suất bề mặt.

14. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó nếu vật phẩm trên cơ sở thủy tinh bị nứt vỡ thì vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này sẽ nứt vỡ thành ít nhất 1 mảnh/in² (mảnh/6,45cm²) lên đến 40 mảnh/in² (mảnh/6,45cm²).

15. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này có độ khuếch tán là khoảng 450 $\mu\text{m}^2/\text{giờ}$ hoặc lớn hơn ở nhiệt độ khoảng 460°C, CT tối đa, và DOC lớn hơn khoảng $0,15 \cdot t$, và trong đó CS bề mặt là gấp 1,5 lần CT tối đa hoặc lớn hơn.

16. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này có độ bền chống nứt vỡ (K_{IC}) là khoảng $0,7 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ hoặc lớn hơn.
17. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 15, trong đó CS bề mặt là lớn hơn CT tối đa, và trong đó CS bề mặt là khoảng 600 MPa hoặc lớn hơn, như được đo bằng máy đo ứng suất bề mặt.
18. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó nồng độ oxit kim loại là khoảng $0,05 \text{ mol } \%$ hoặc lớn hơn trên suốt độ dày.
19. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó nồng độ oxit kim loại ở bề mặt thứ nhất gấp khoảng $1,5$ lần nồng độ oxit kim loại ở độ sâu bằng khoảng $0,5\cdot t$, như được đo bằng dụng cụ vi đầu dò.
20. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vật phẩm này còn có trị số tuyệt đối của ứng suất nén bề mặt (CS) là khoảng 300 MPa hoặc lớn hơn, như được đo bằng máy đo ứng suất bề mặt.
21. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vật phẩm này còn có lớp CS kéo dài từ bề mặt thứ nhất đến DOC, trong đó DOC là khoảng $0,1\cdot t$ hoặc lớn hơn.
22. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vùng CT có CT tối đa và tỷ lệ giữa CT tối đa so với CS bề mặt là nằm trong khoảng từ khoảng $0,01$ đến khoảng $0,5$.
23. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vật phẩm này còn thể hiện độ truyền bằng khoảng 88% hoặc lớn hơn đối với ánh sáng có bước sóng nằm trong khoảng từ khoảng 380 nm đến khoảng 780 nm .
24. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó t bằng hoặc nhỏ hơn khoảng 1 millimet .
25. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vật phẩm này còn có DOC lớn hơn khoảng $0,15\cdot t$, và trong đó CS bề mặt là khoảng 300 MPa hoặc lớn hơn, như được đo bằng máy đo ứng suất bề mặt.

26. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này có năng lượng kéo đứt là khoảng lớn hơn 0 J/m^2 đến nhỏ hơn 20 J/m^2 .

27. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13, trong đó vật phẩm này còn có DOC, trong đó $0,25t \geq \text{DOC} \geq 0,15t$.

28. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh gồm:

bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện với bề mặt thứ nhất xác định ra độ dày (t) là khoảng nhỏ hơn khoảng 3 millimet;

nồng độ của oxit kim loại vừa khác không vừa biến thiên dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$, như được đo bằng dụng cụ vi đầu dò;

biên dạng ứng suất, như được đo bằng sự kết hợp máy nghiệm phân cực ánh sáng tán xạ và máy đo ứng suất bề mặt, là giảm từ bề mặt thứ nhất đến một điểm nằm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ điểm này đến bề mặt thứ hai;

vùng CT của biên dạng ứng suất, trong đó vùng CT này được định nghĩa bằng phương trình $\text{Ứng suất}(x) = \text{MaxCT} - (((\text{MaxCT} \cdot (n+1))/0,5^n) \cdot |(x/t) - 0,5|^n)$,

trong đó MaxCT là trị số CT tối đa và được cung cấp dưới dạng trị số dương với đơn vị là MPa, x là vị trí dọc theo độ dày (t) với đơn vị là micromet, và n là nằm trong khoảng từ 1,5 và 5; và

trong đó tất cả các điểm của biên dạng ứng suất giữa khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ đến khoảng $0,3 \cdot t$ và từ lớn hơn $0,7 \cdot t$, có tang số nhỏ hơn khoảng $-0,1 \text{ MPa/micromet}$ hoặc lớn hơn khoảng $0,1 \text{ MPa/micromet}$,

trong đó biên dạng ứng suất có CS tối đa, DOC và CT tối đa, trong đó tỷ lệ giữa CT tối đa so với CS tối đa là nằm trong khoảng từ khoảng 0,01 đến khoảng 0,5 và trong đó DOC là khoảng $0,1 \cdot t$ hoặc lớn hơn, và

trong đó vật phẩm trên cơ sở thủy tinh này có năng lượng kéo đứt là khoảng lớn hơn 0 J/m^2 đến nhỏ hơn 20 J/m^2 .

29. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 28, trong đó vật phẩm này còn có trị số tuyệt đối của CS bề mặt là khoảng 200 MPa hoặc lớn hơn, như được đo bằng máy đo ứng suất bề mặt, và độ sâu hóa học của lớp là khoảng 0,4•t hoặc lớn hơn.
30. Vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 28, trong đó t bằng hoặc nhỏ hơn khoảng 1 millimet.
31. Thiết bị điện tử chứa vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 1.
32. Thiết bị điện tử chứa vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 6.
33. Thiết bị điện tử chứa vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 13.
34. Thiết bị điện tử chứa vật phẩm trên cơ sở thủy tinh theo điểm 28.

1/40

FIG. 1 (TRONG LĨNH VỰC KỸ THUẬT NÀY)

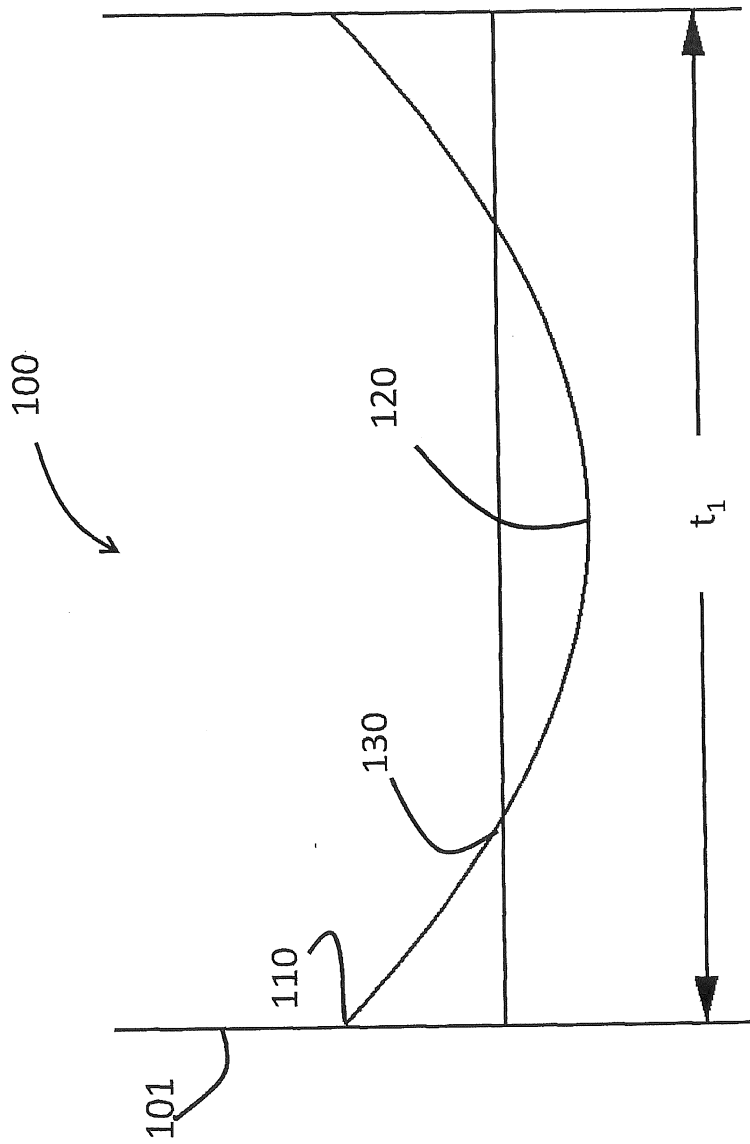
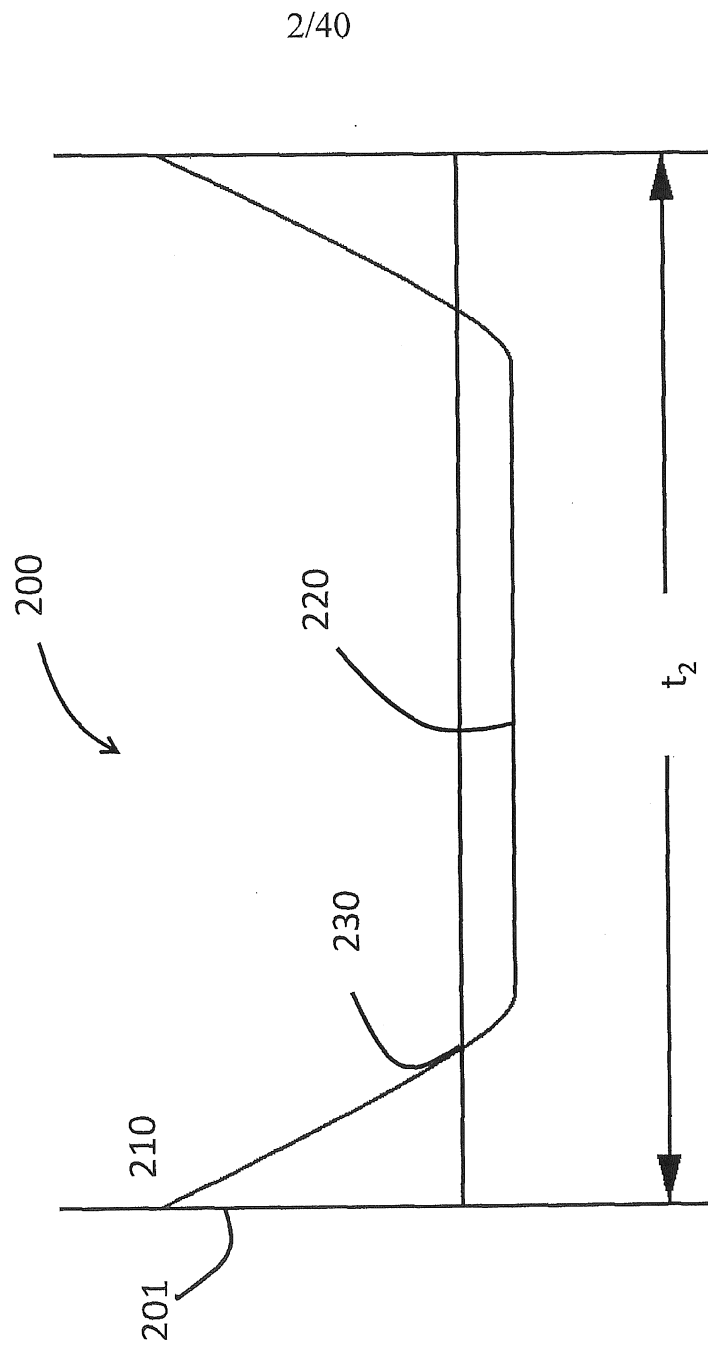
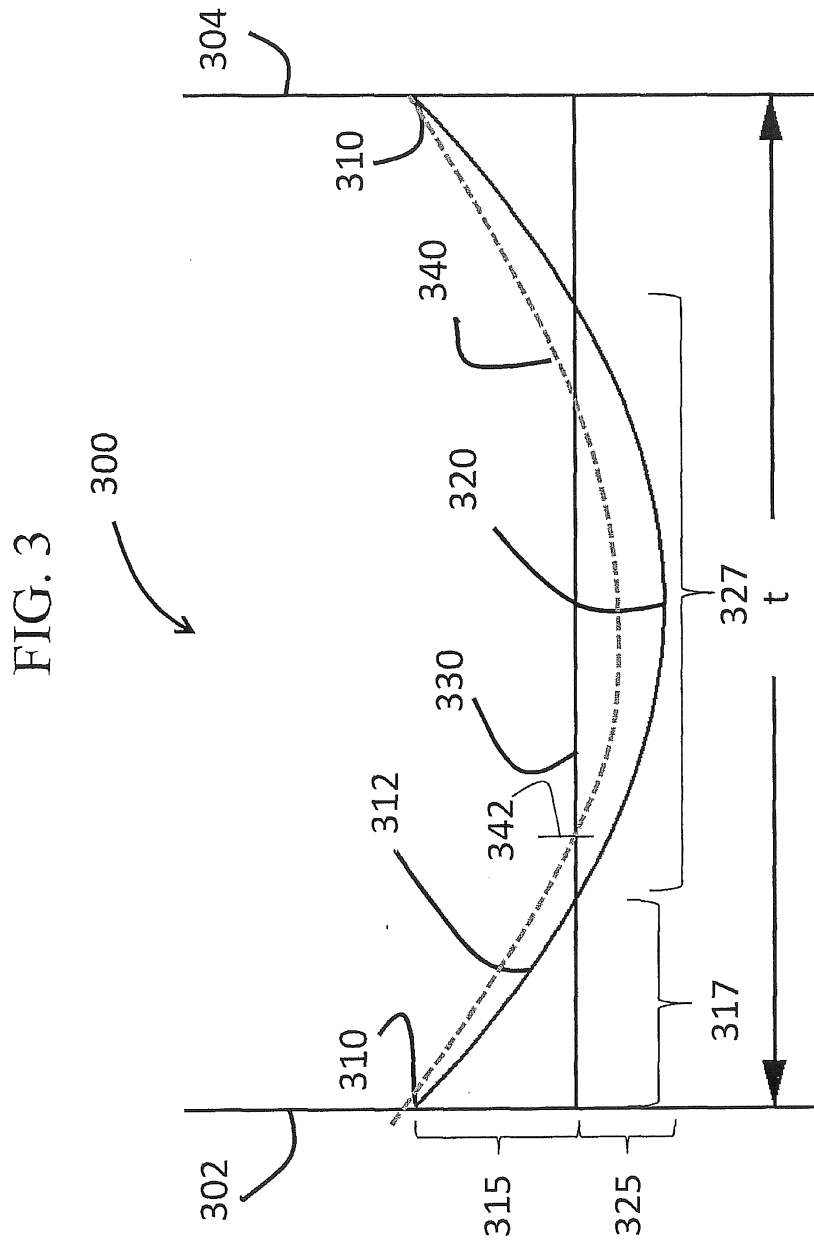


FIG. 2 (TRONG LĨNH VỰC KỸ THUẬT NÀY)



3/40



4/40

FIG. 4

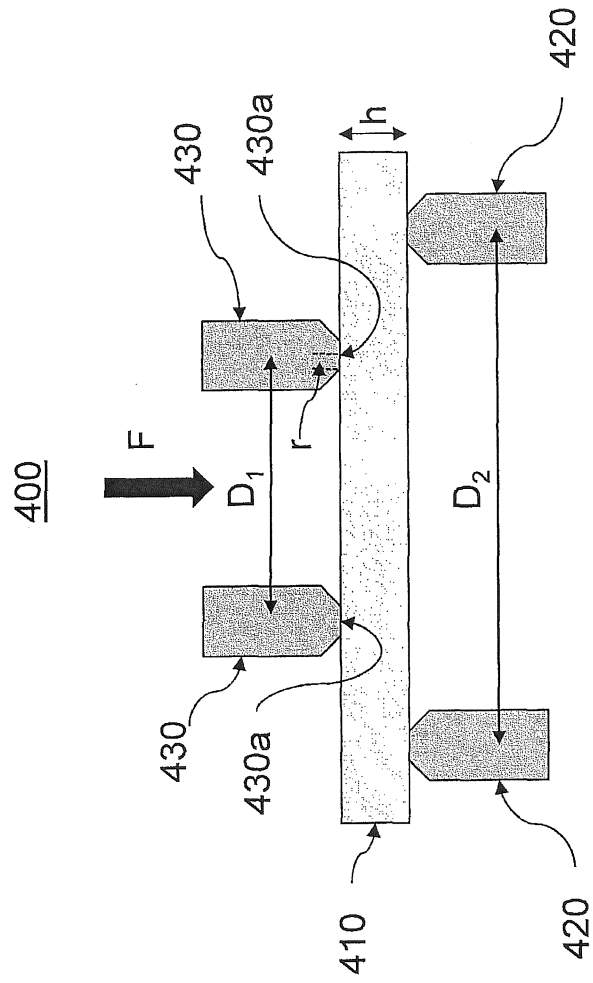
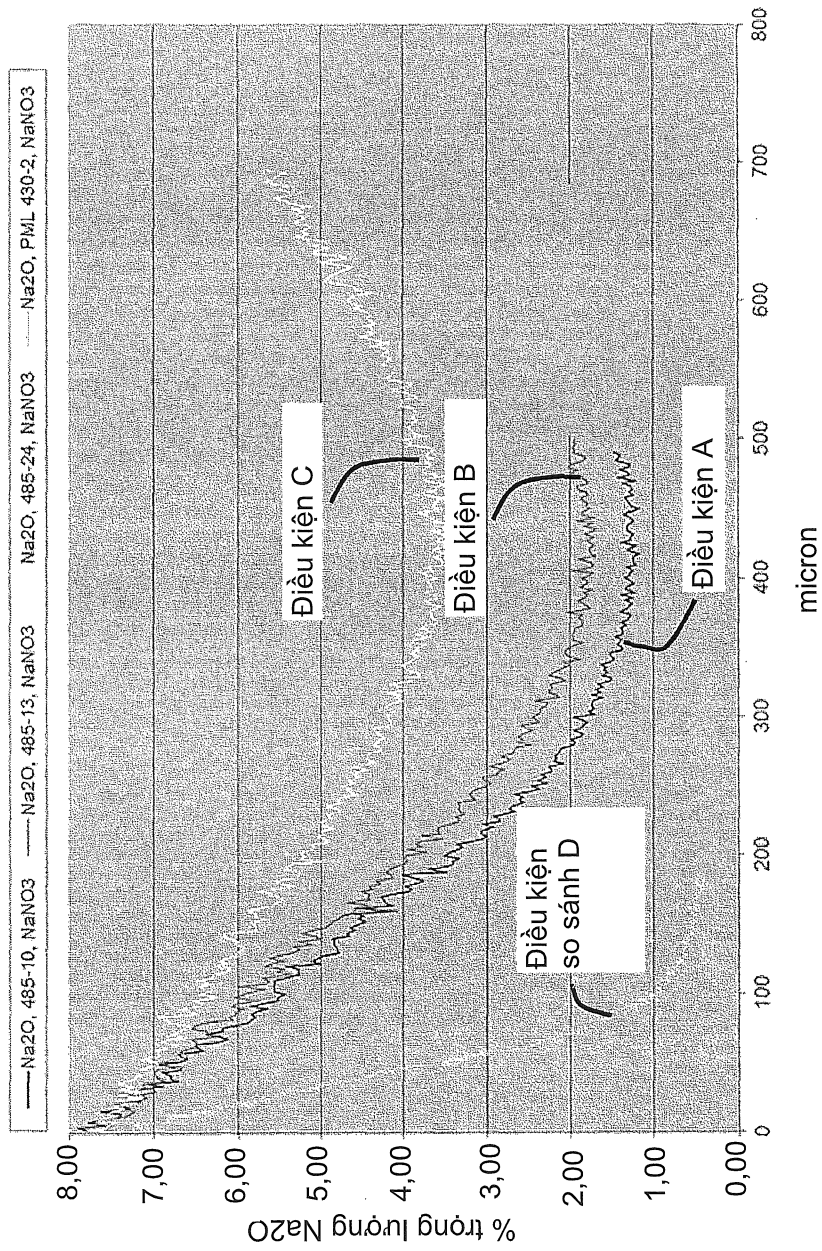
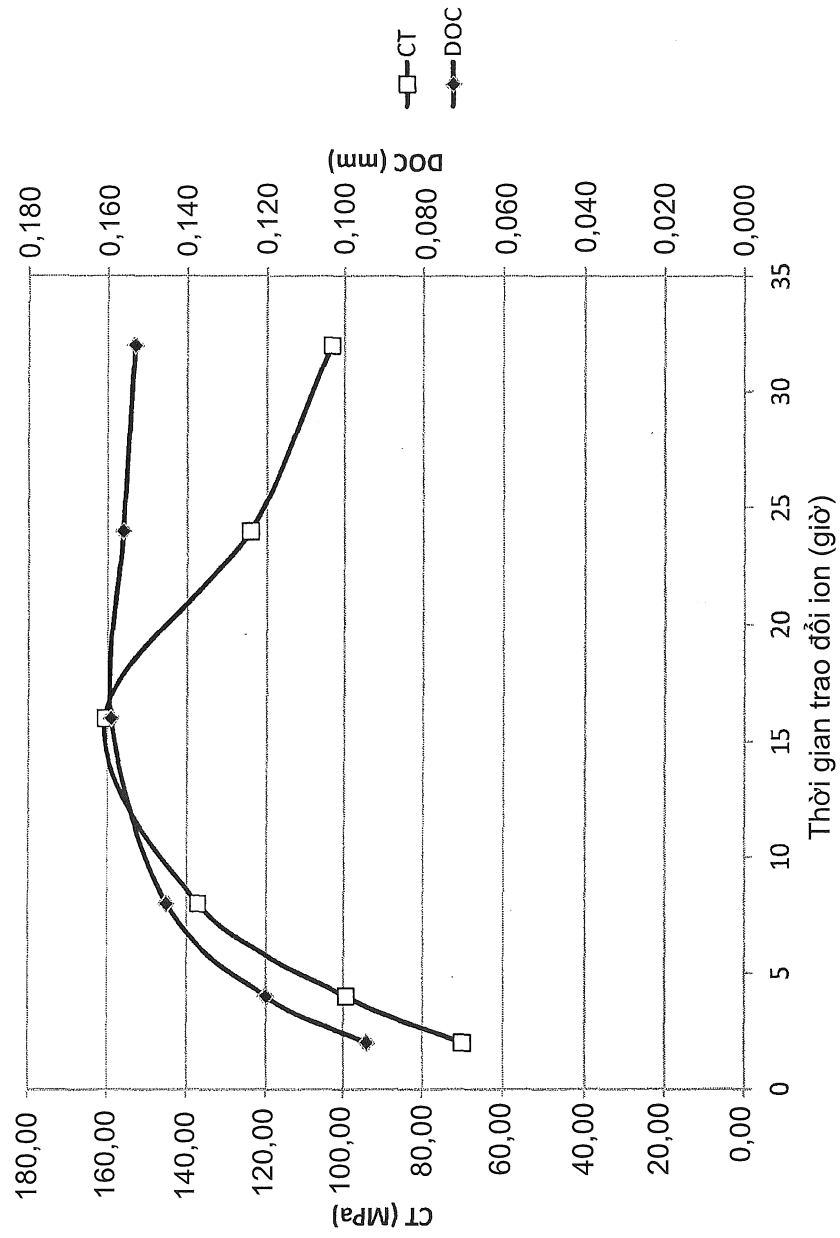


FIG. 5



6/40

FIG. 6



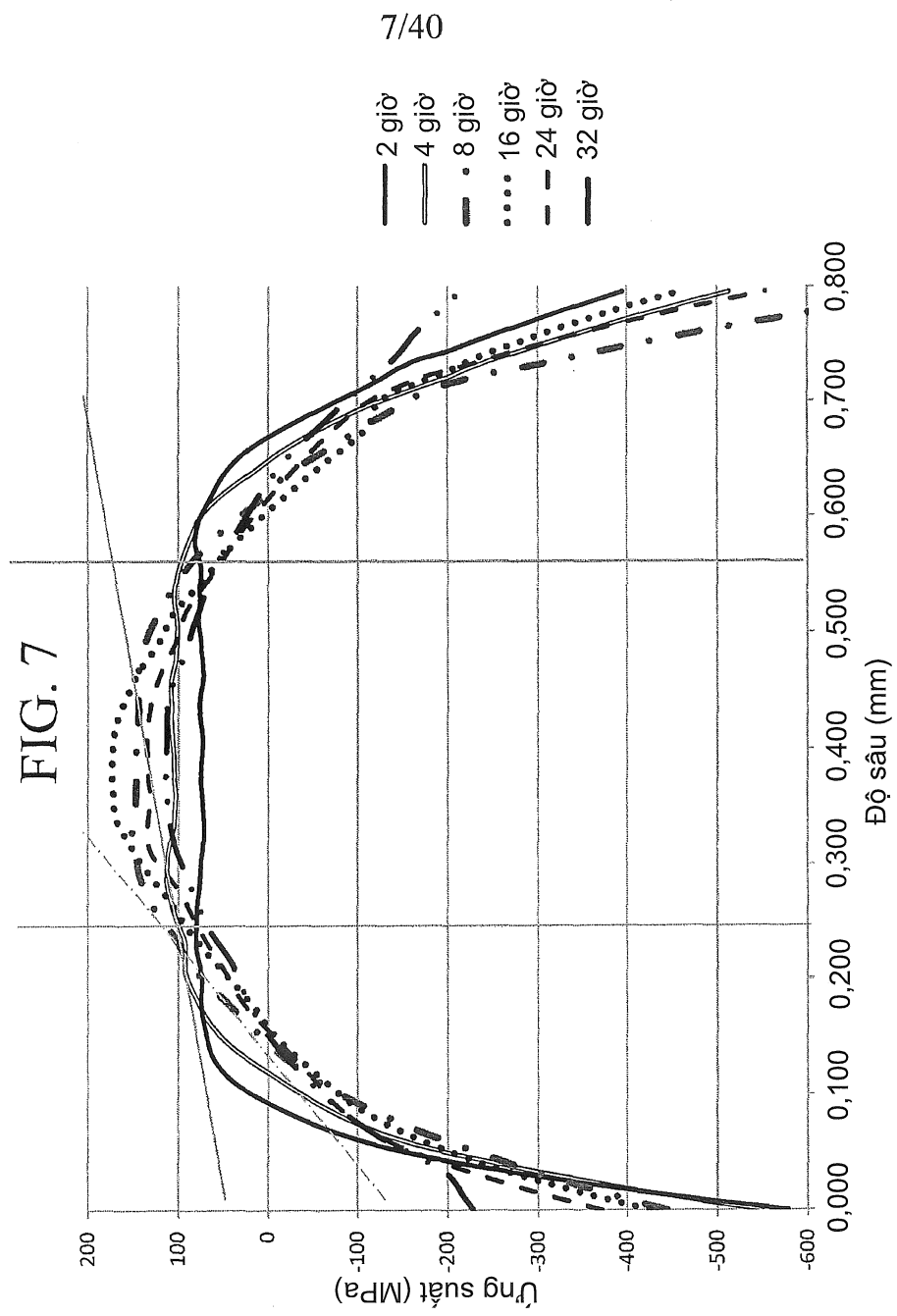


FIG. 8

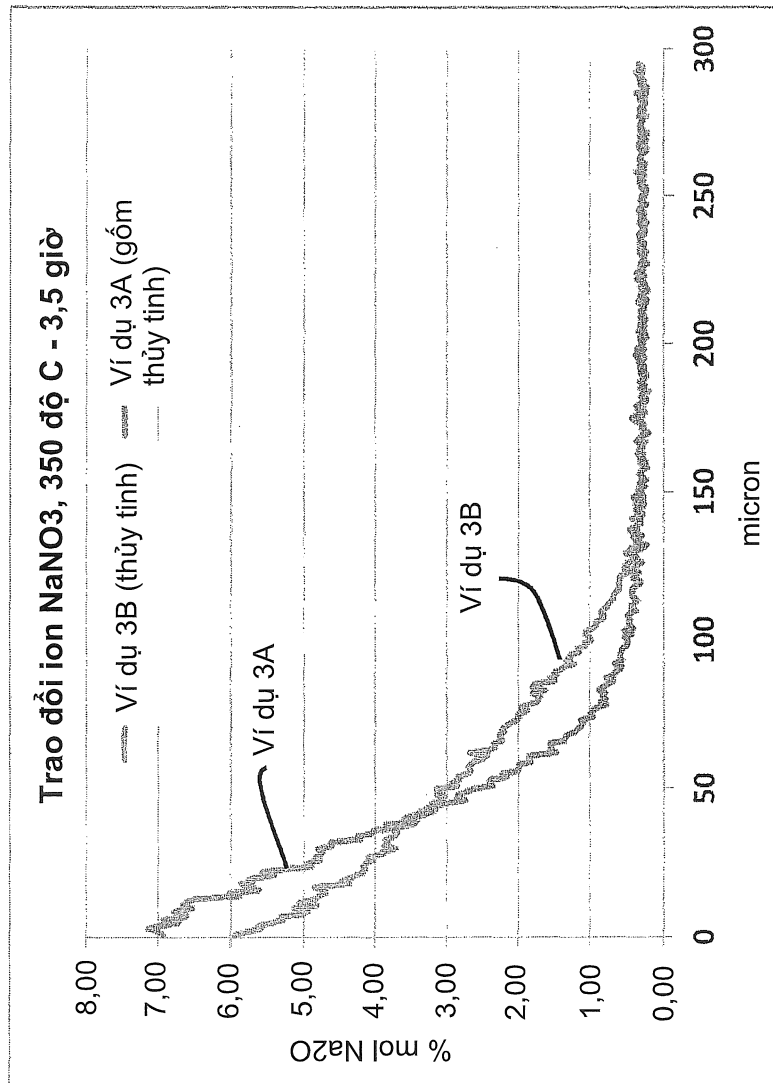


FIG. 9

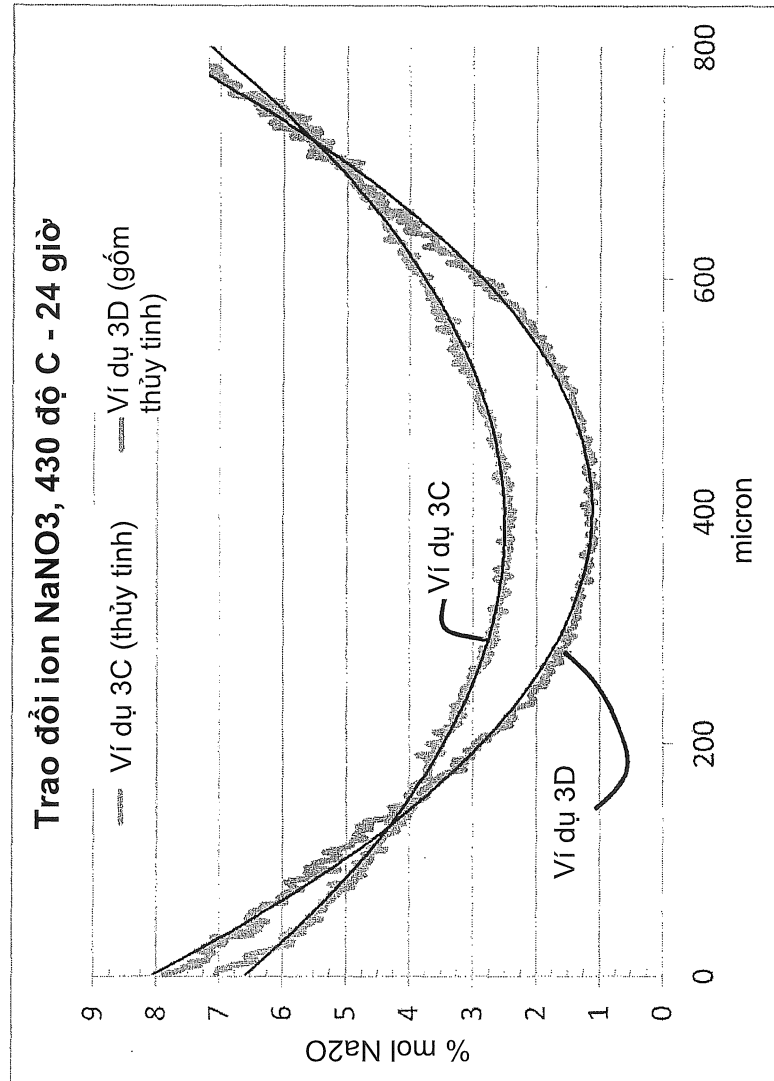


FIG. 9A

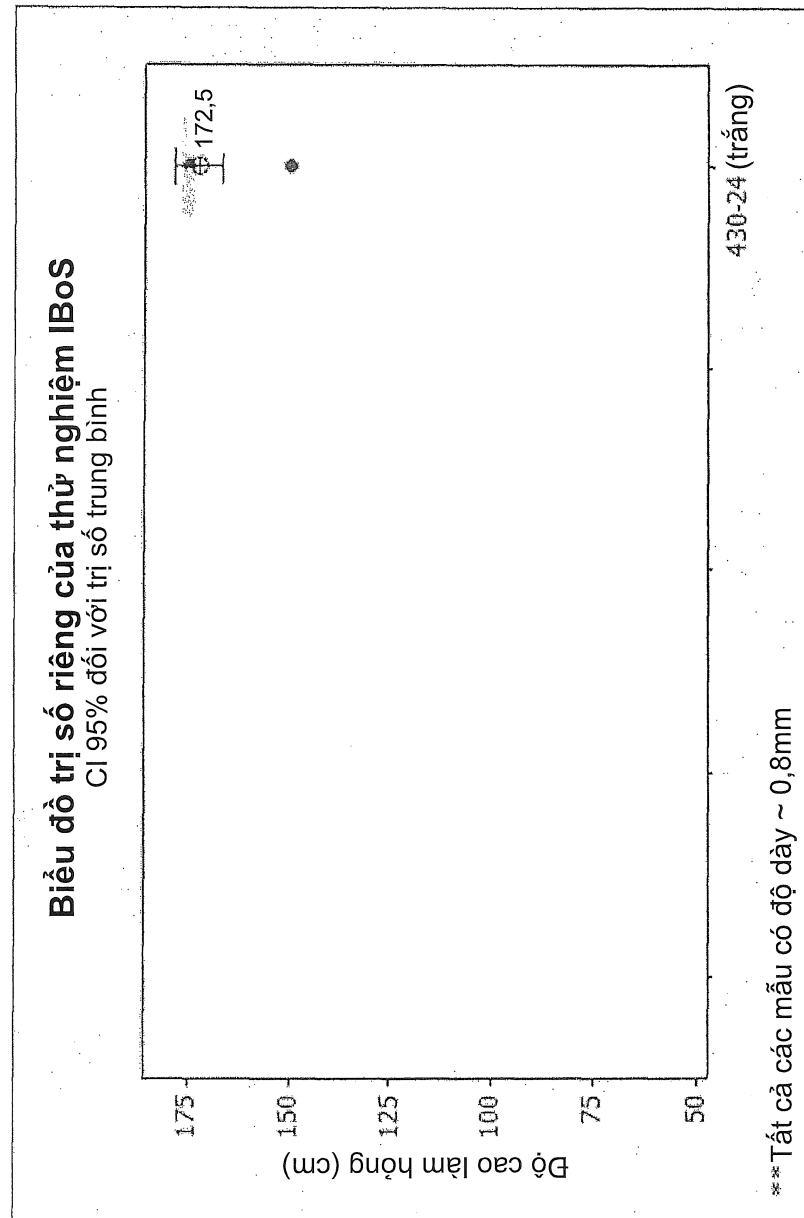
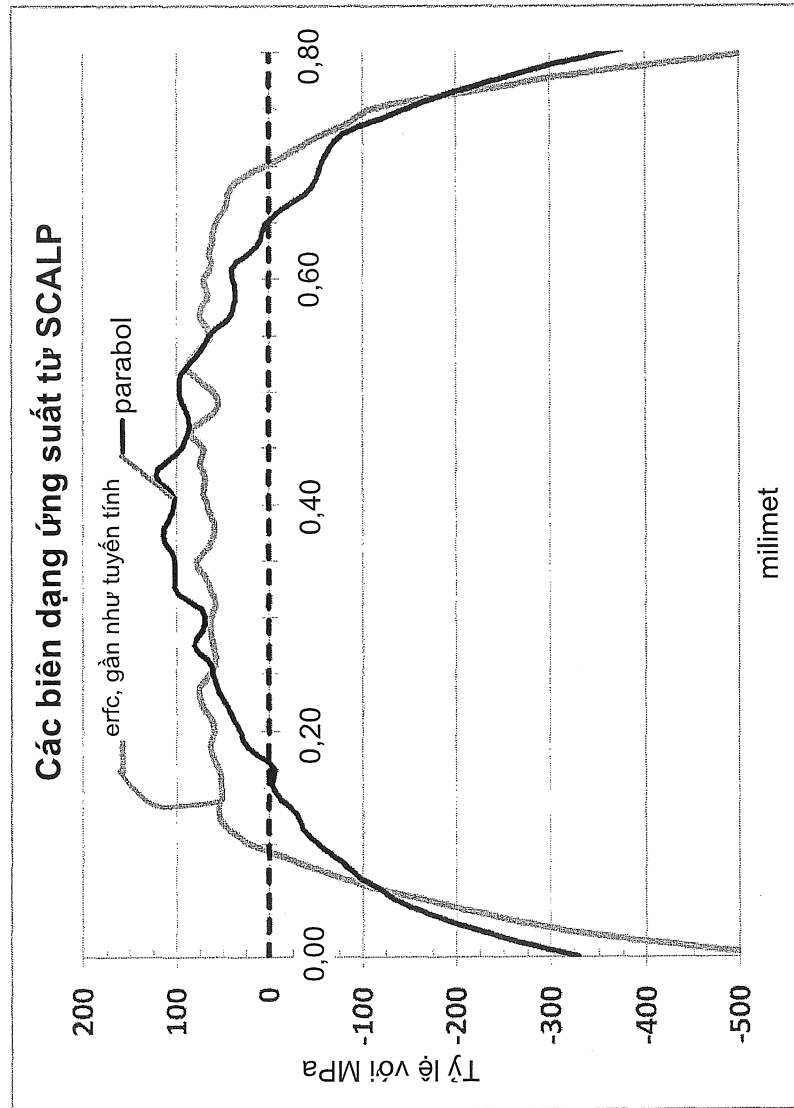


FIG. 10



12/40

FIG. 11

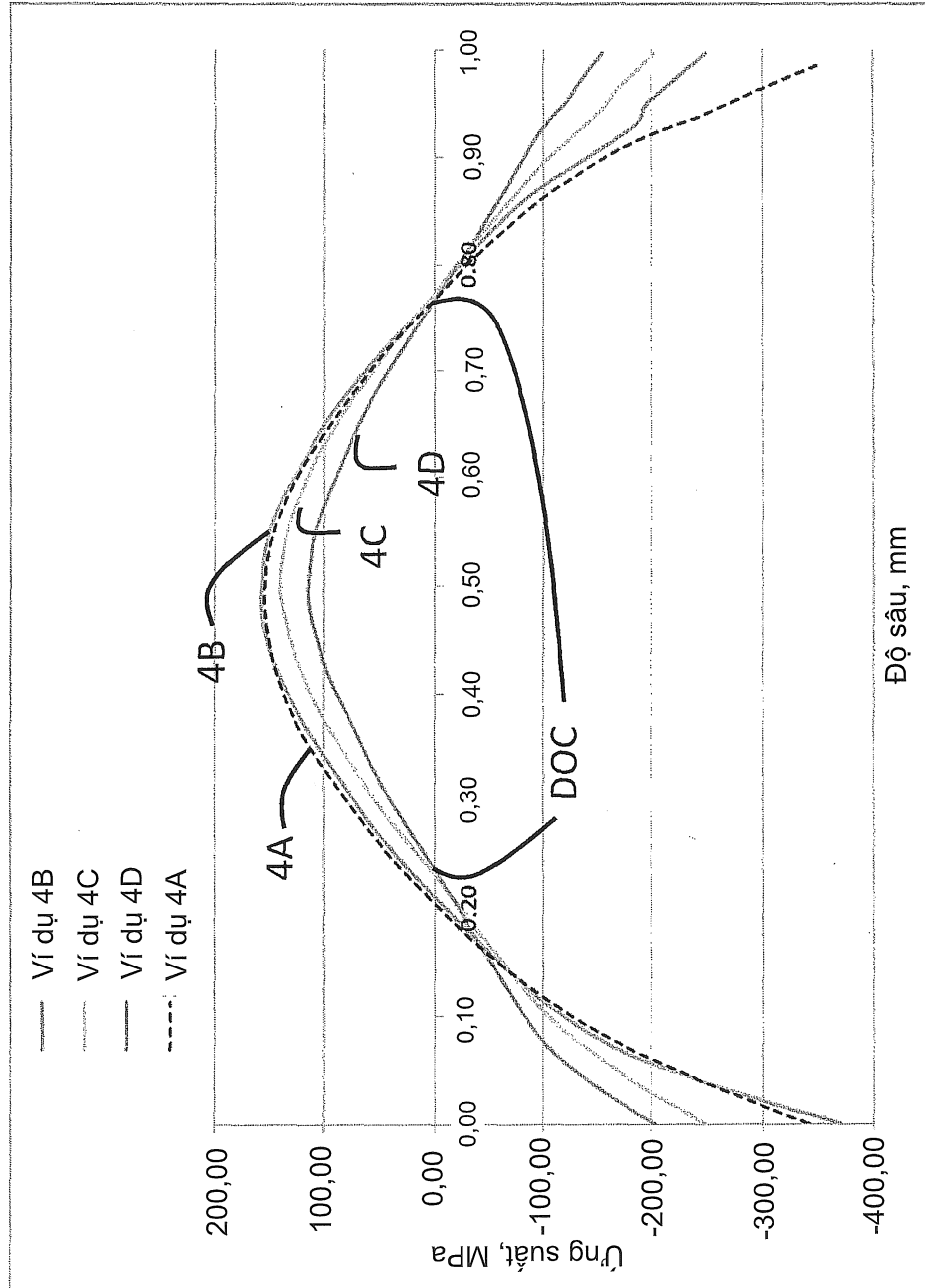
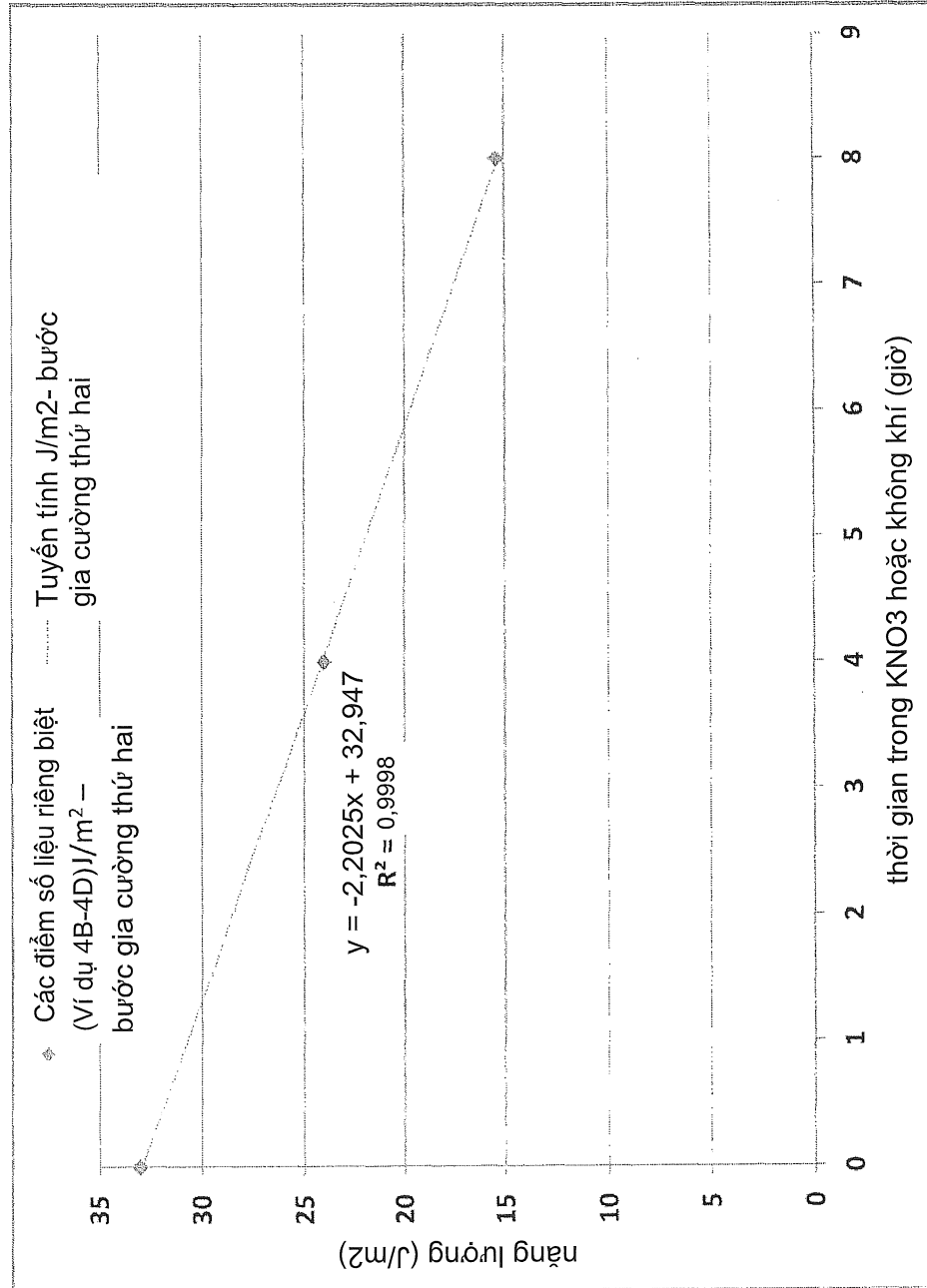
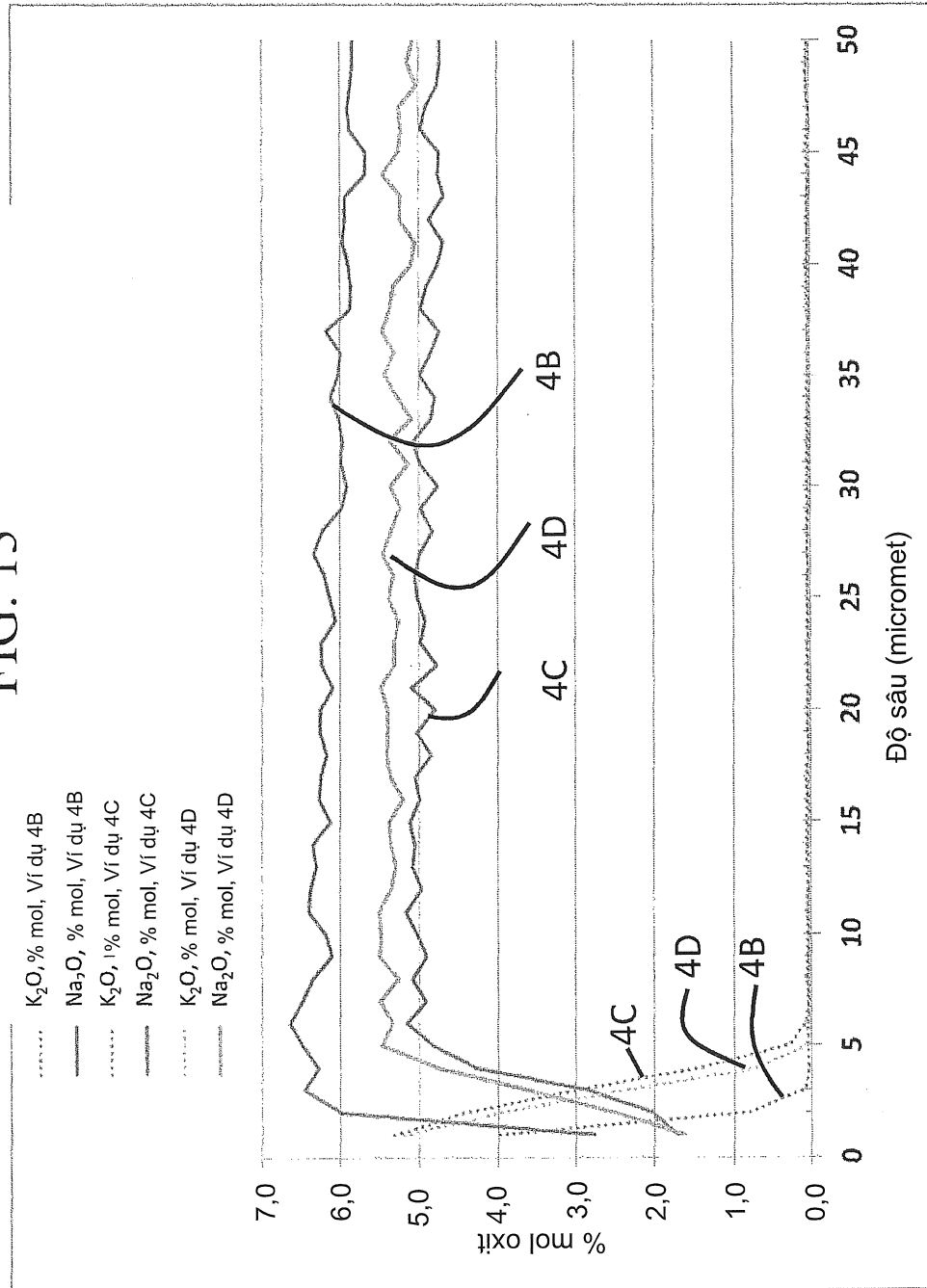


FIG. 12



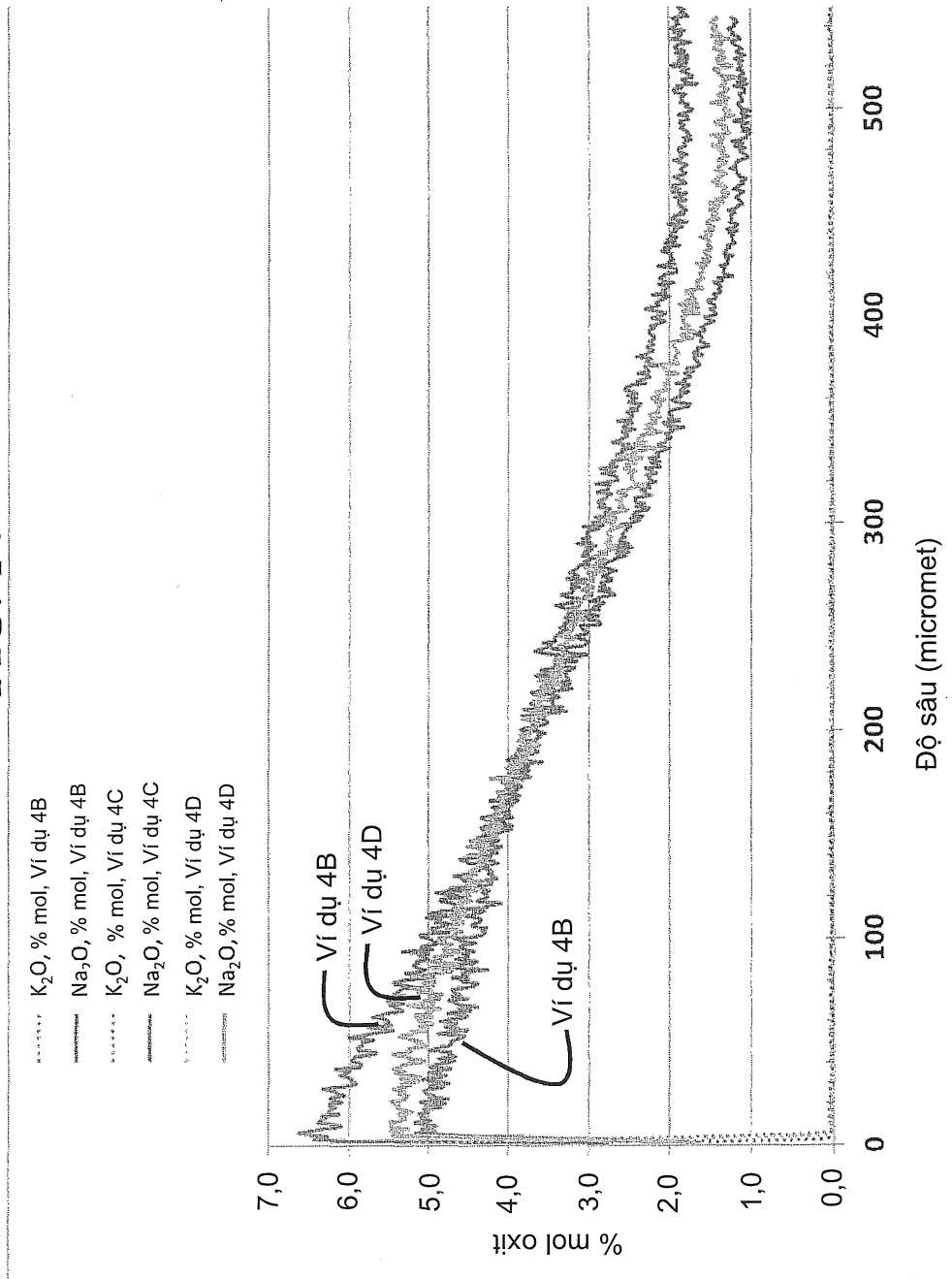
14/40

FIG. 13



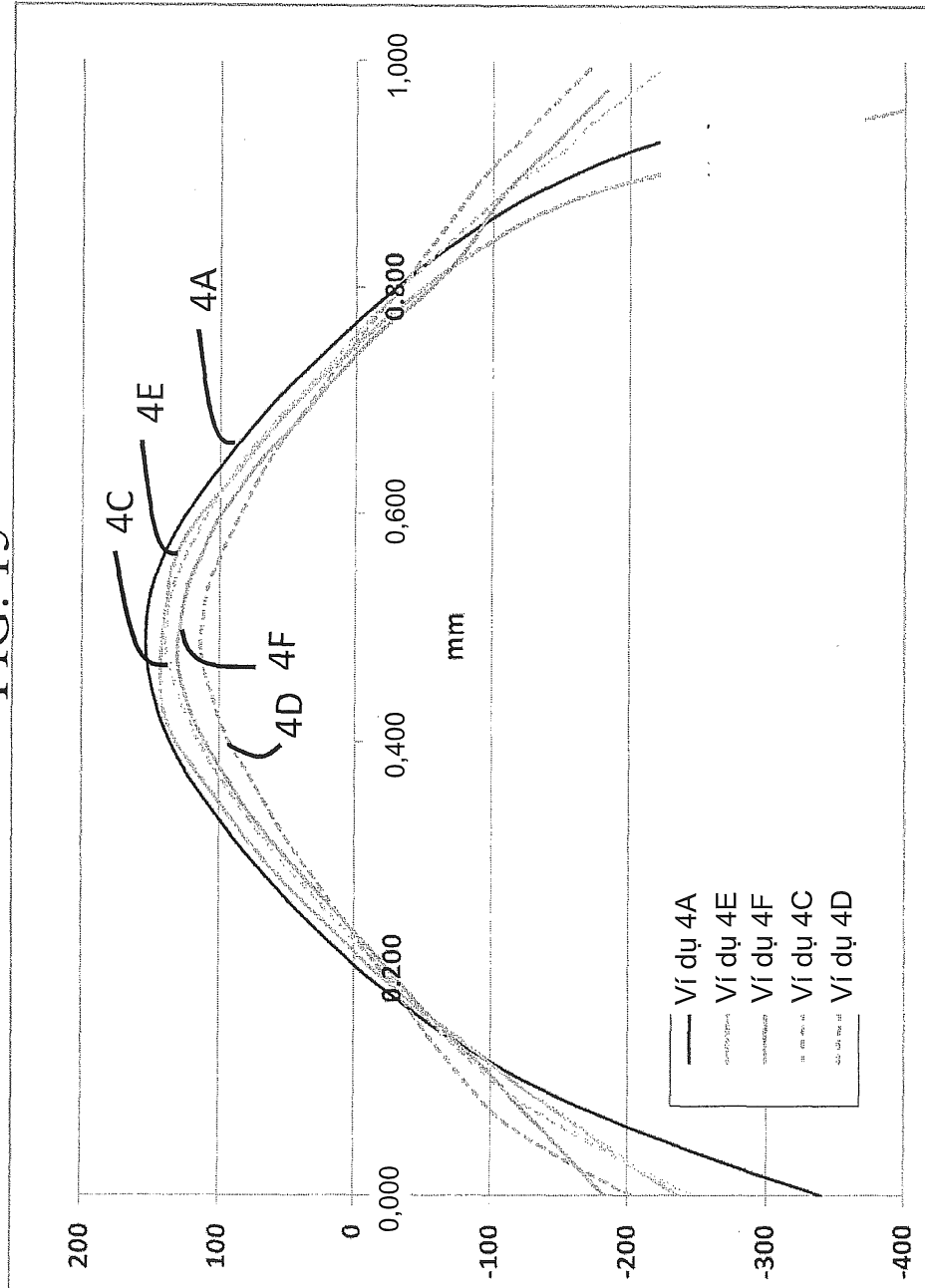
15/40

FIG. 14



16/40

FIG. 15



17/40

FIG. 16

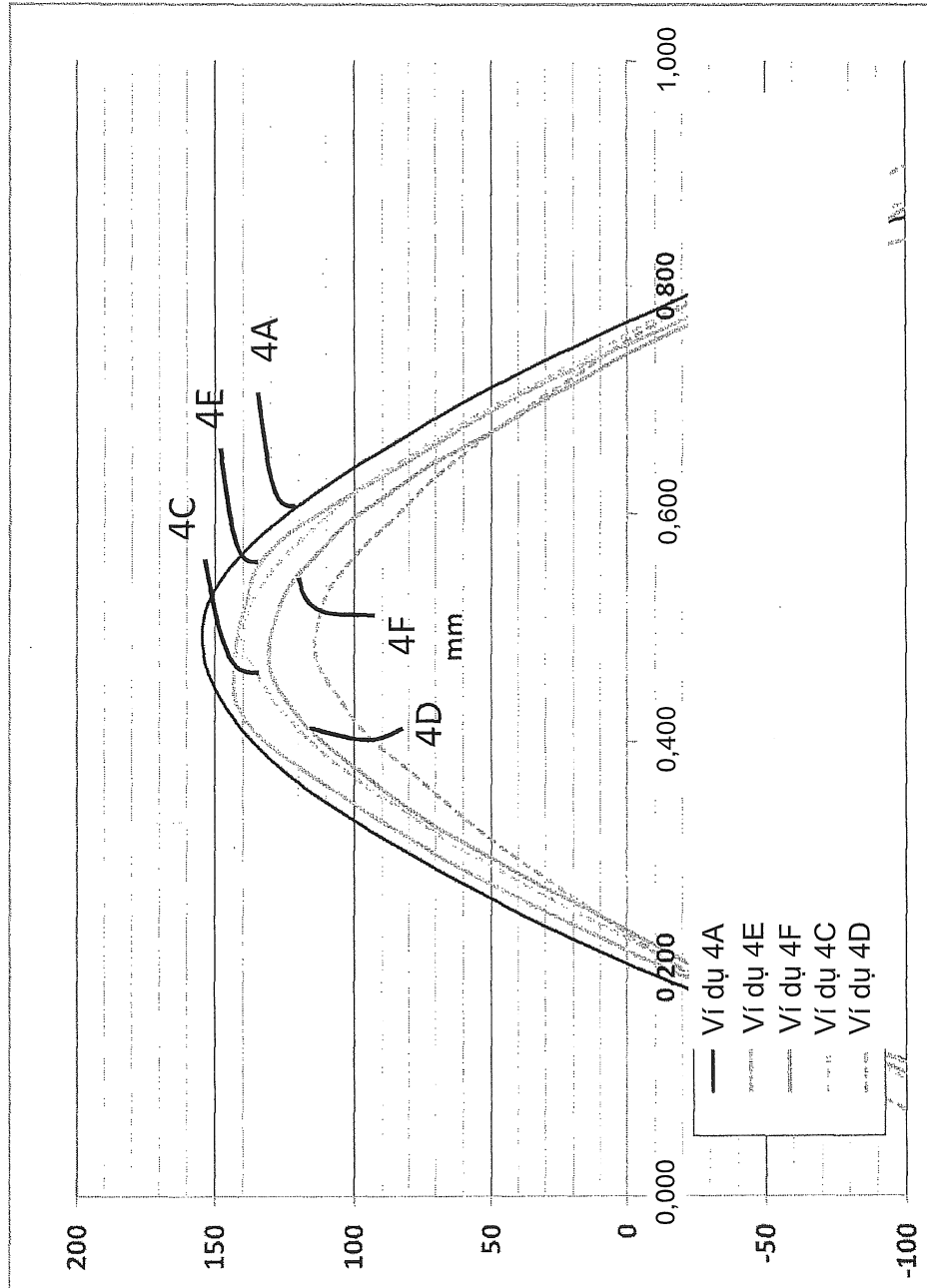
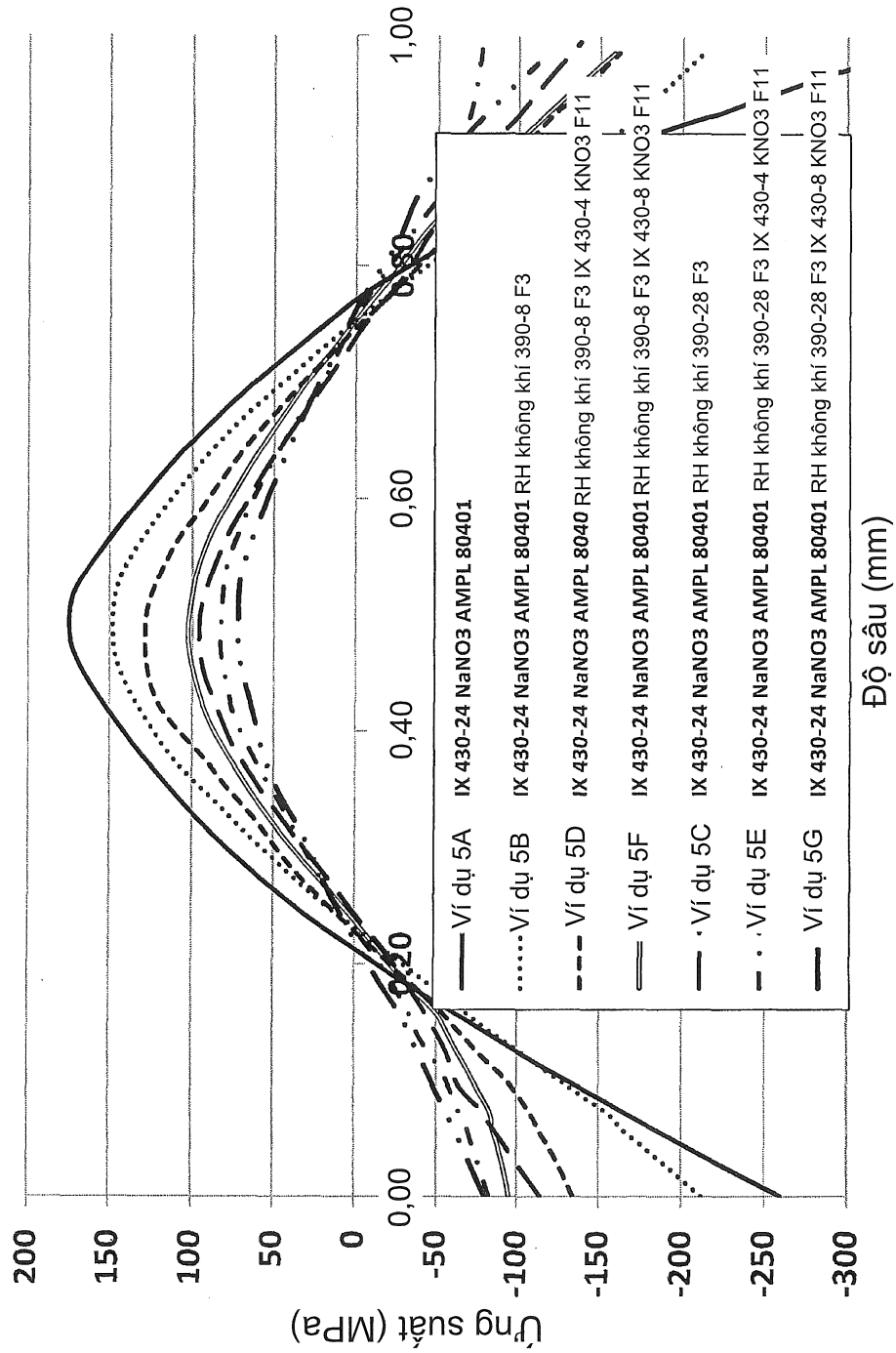
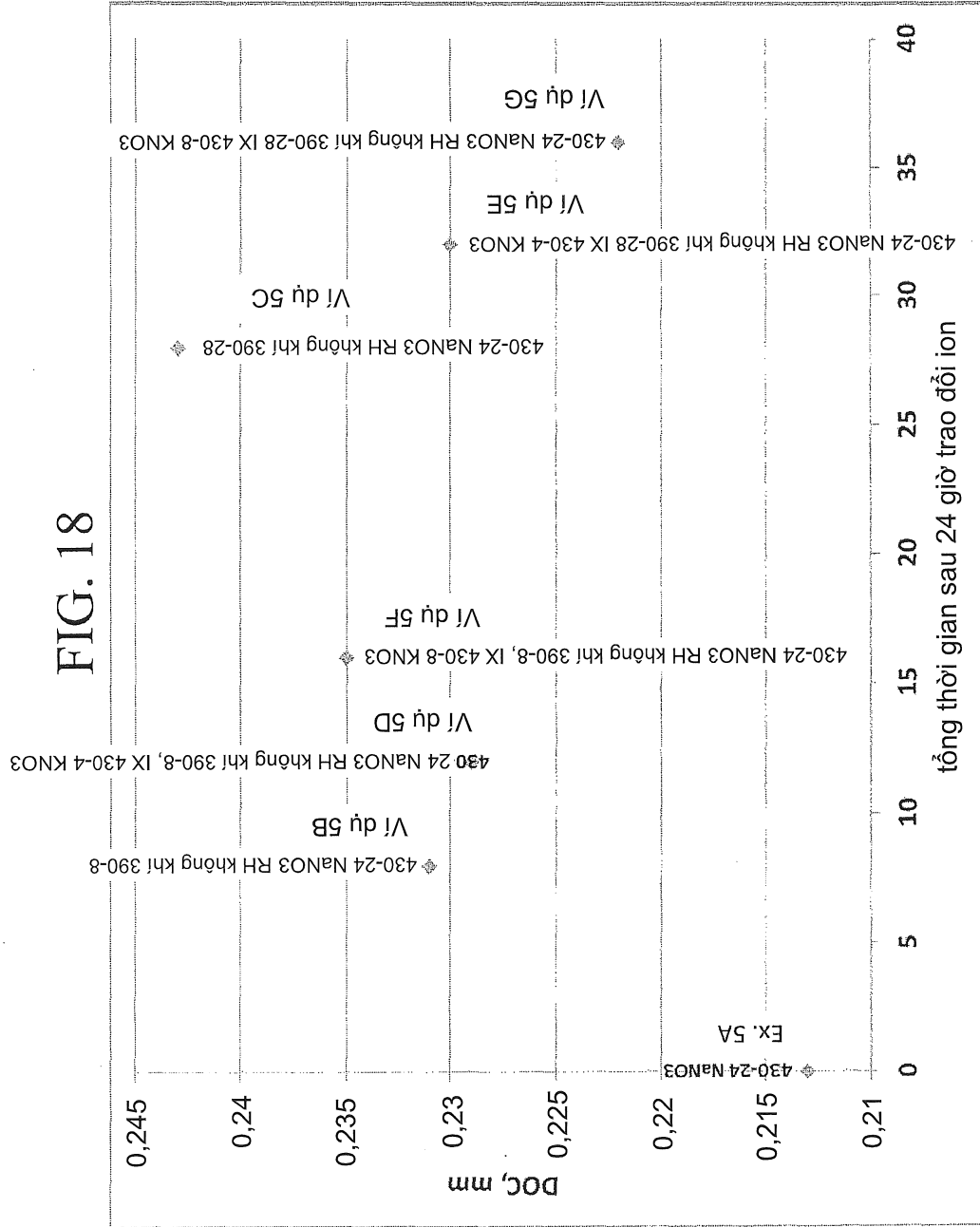


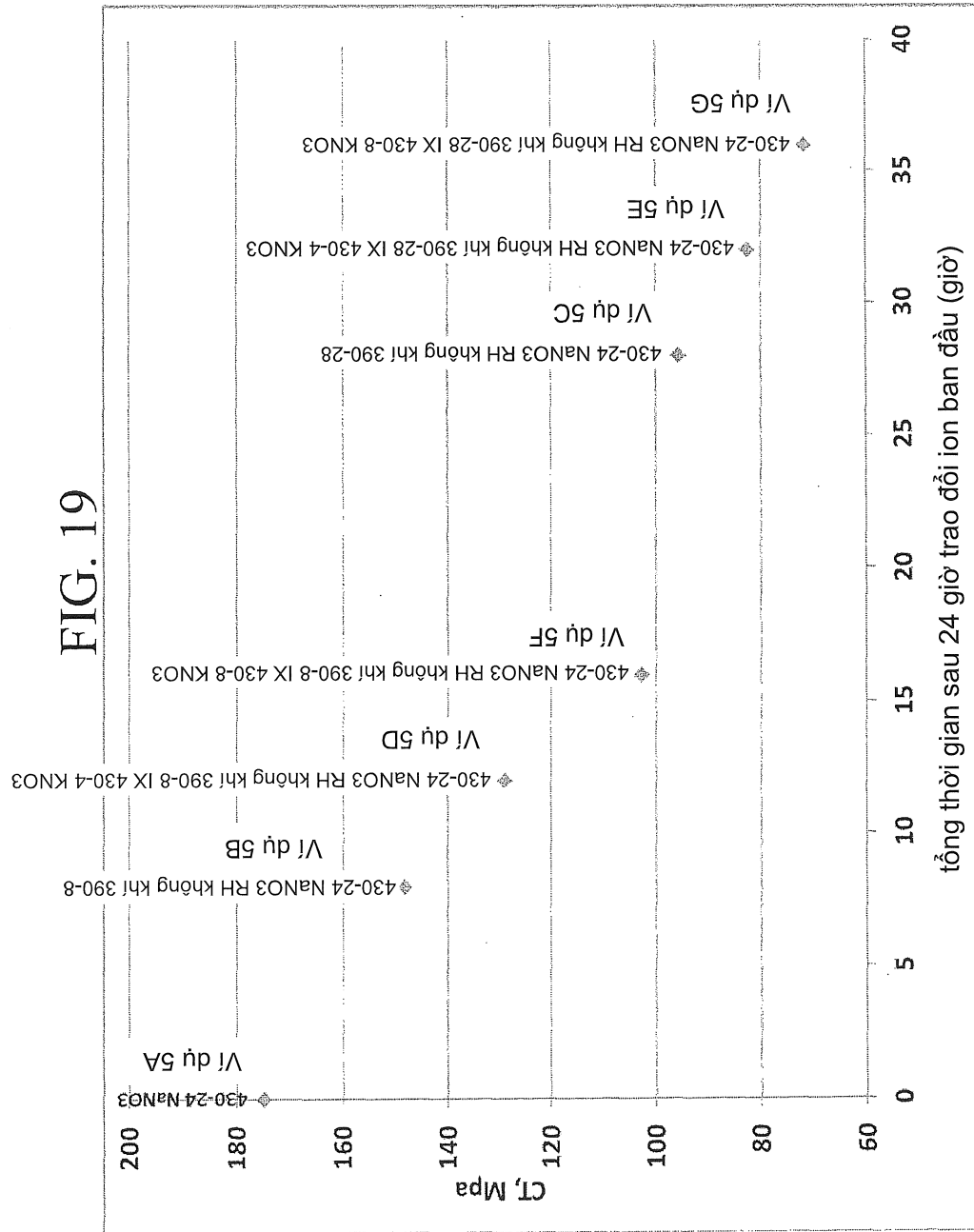
FIG. 17



19/40

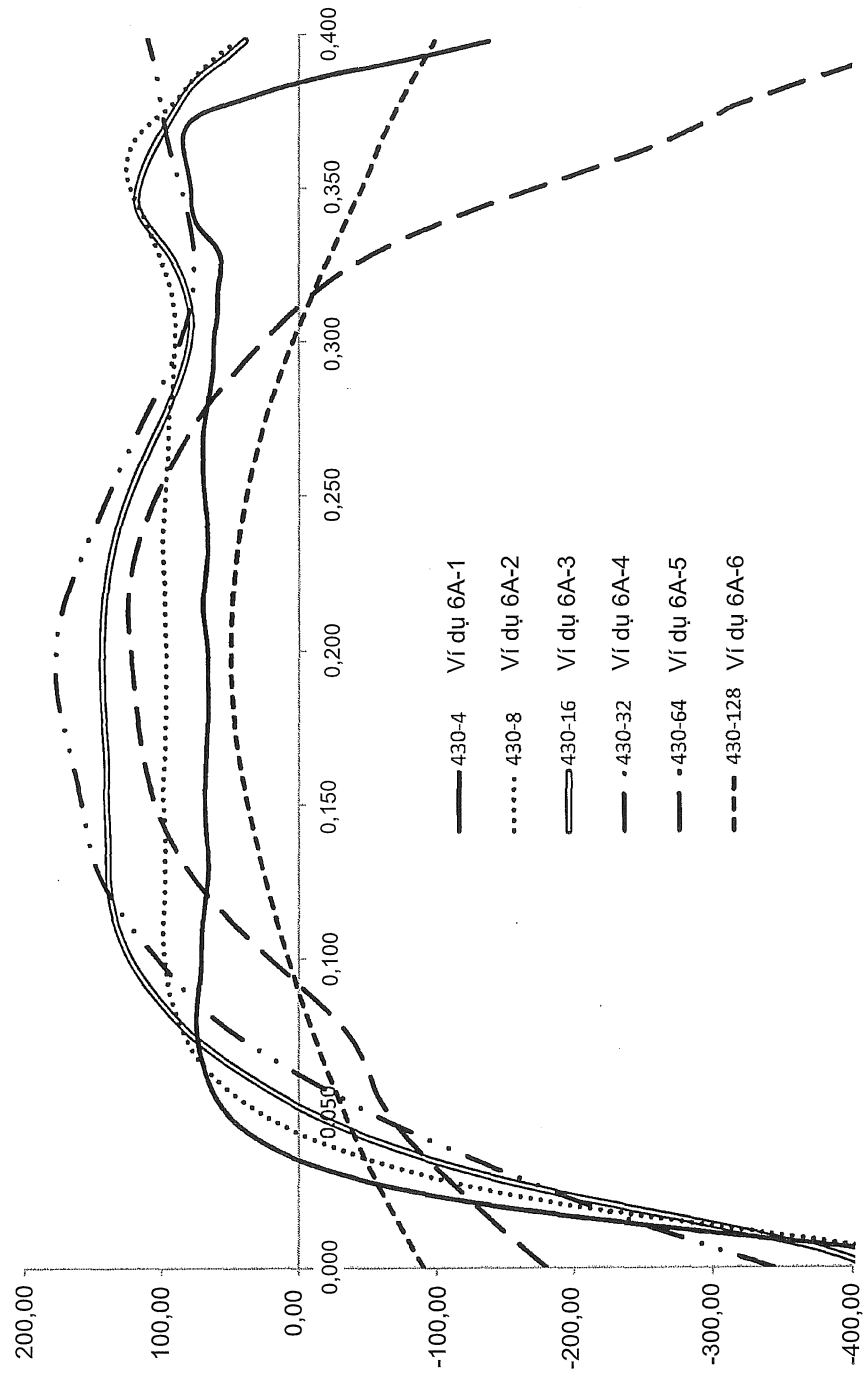


20/40



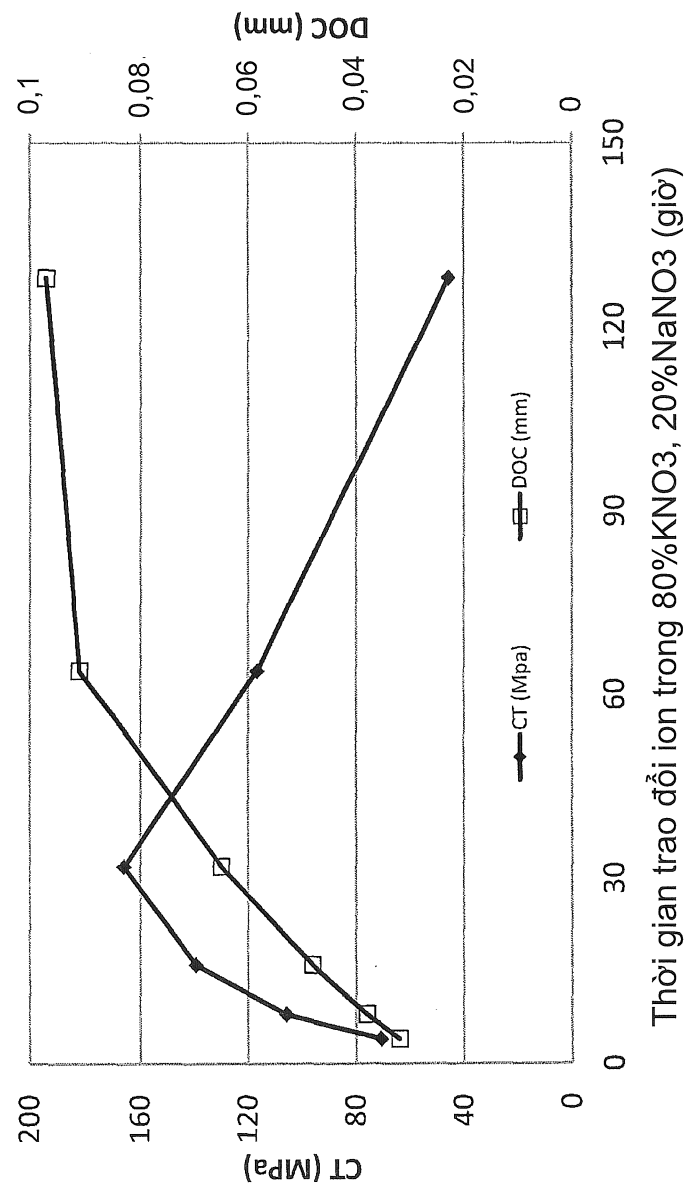
21/40

FIG. 20



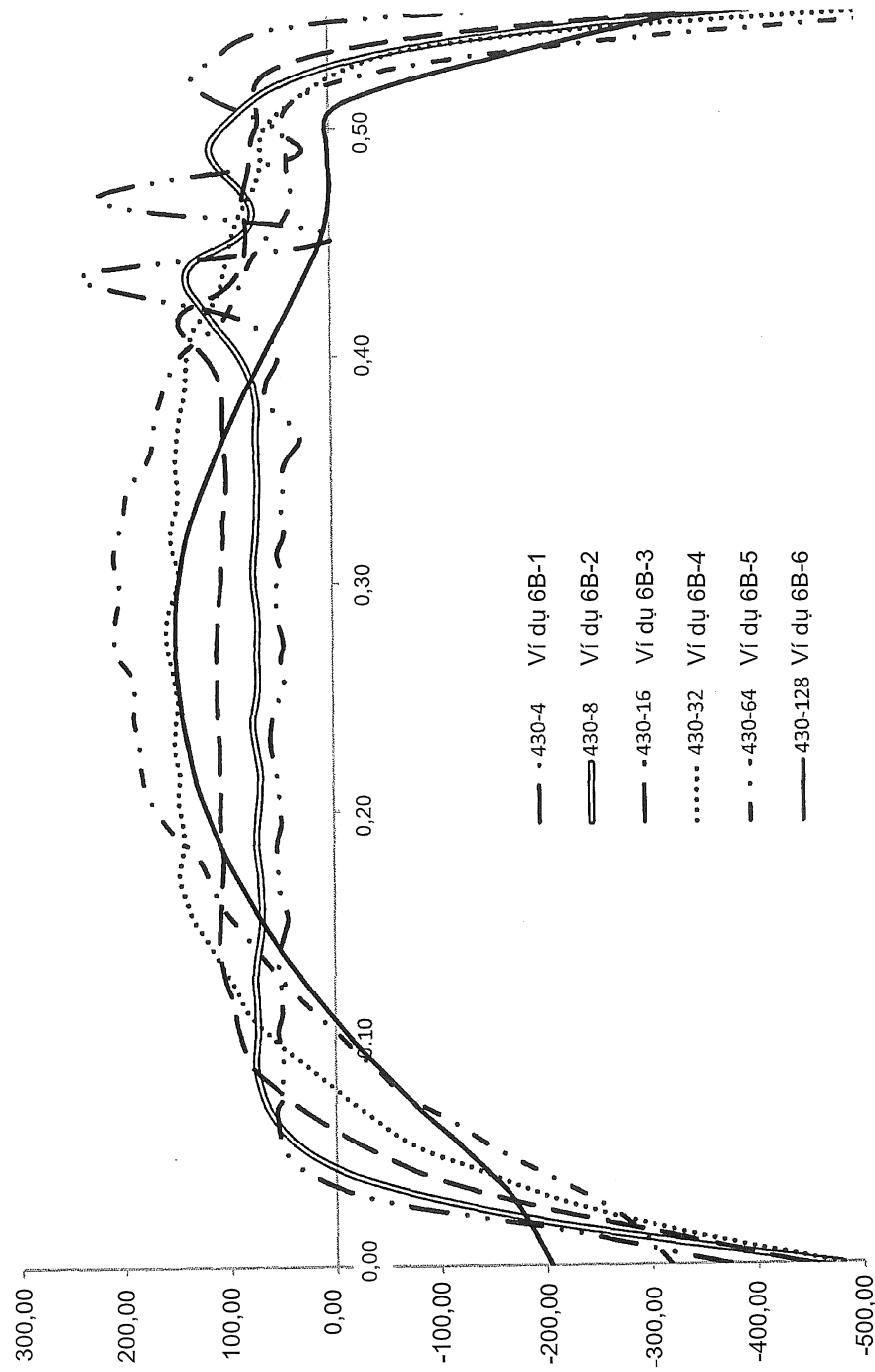
22/40

FIG. 21



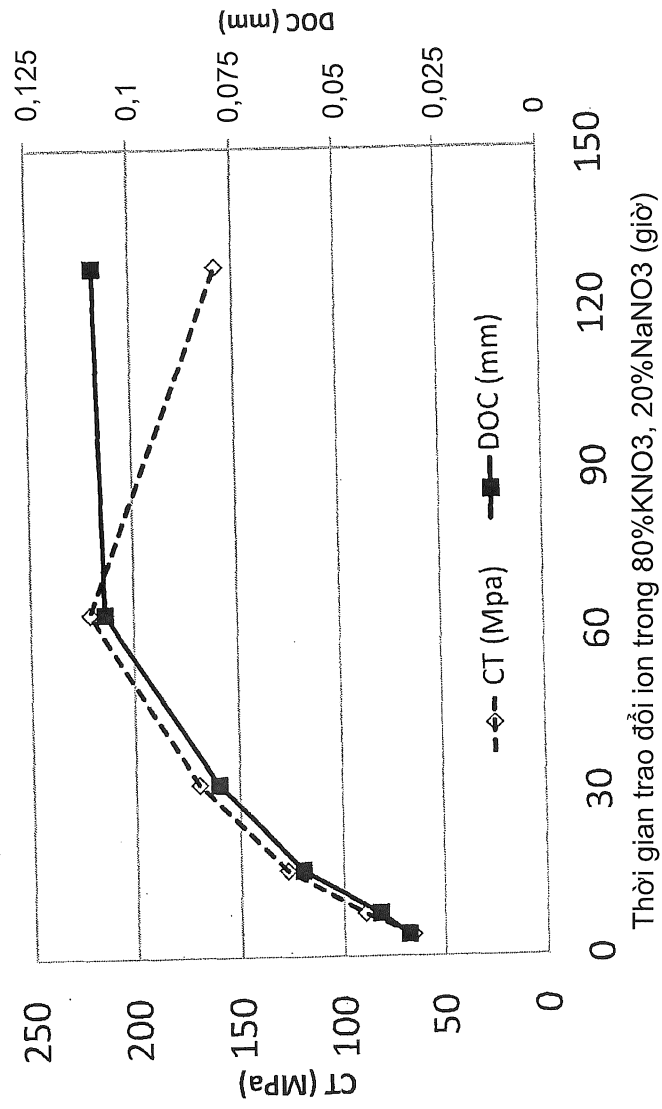
23/40

FIG. 22



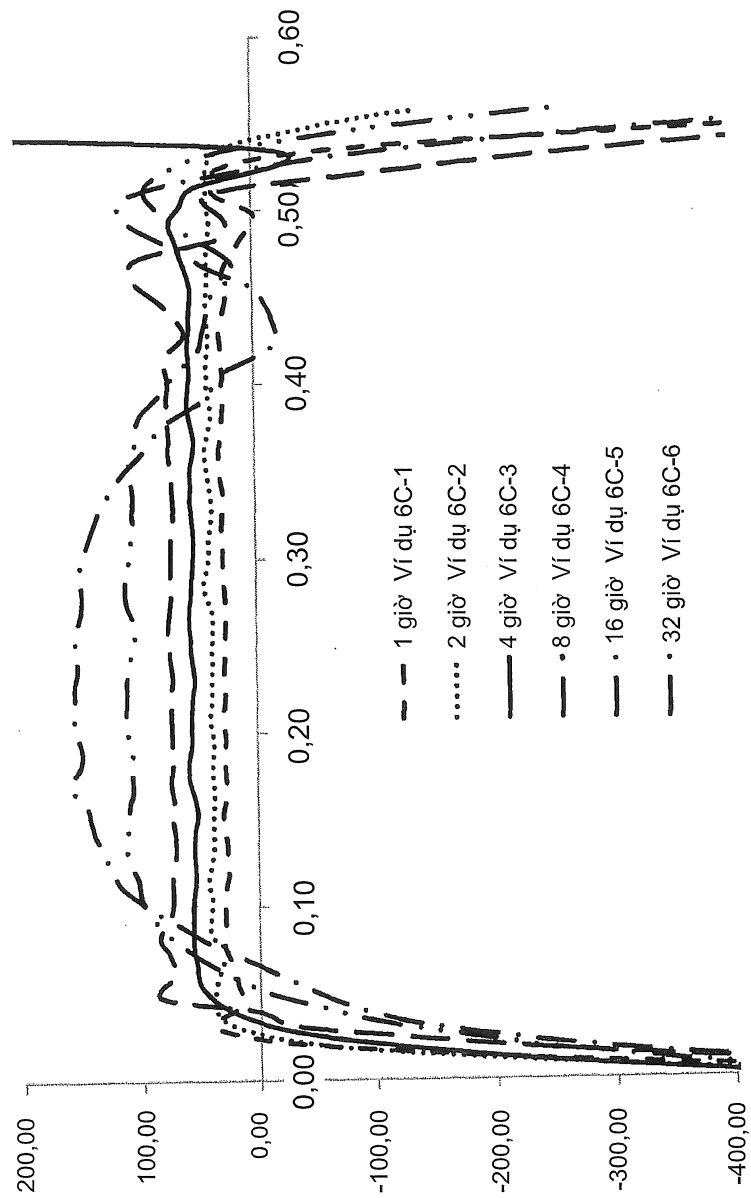
24/40

FIG. 23



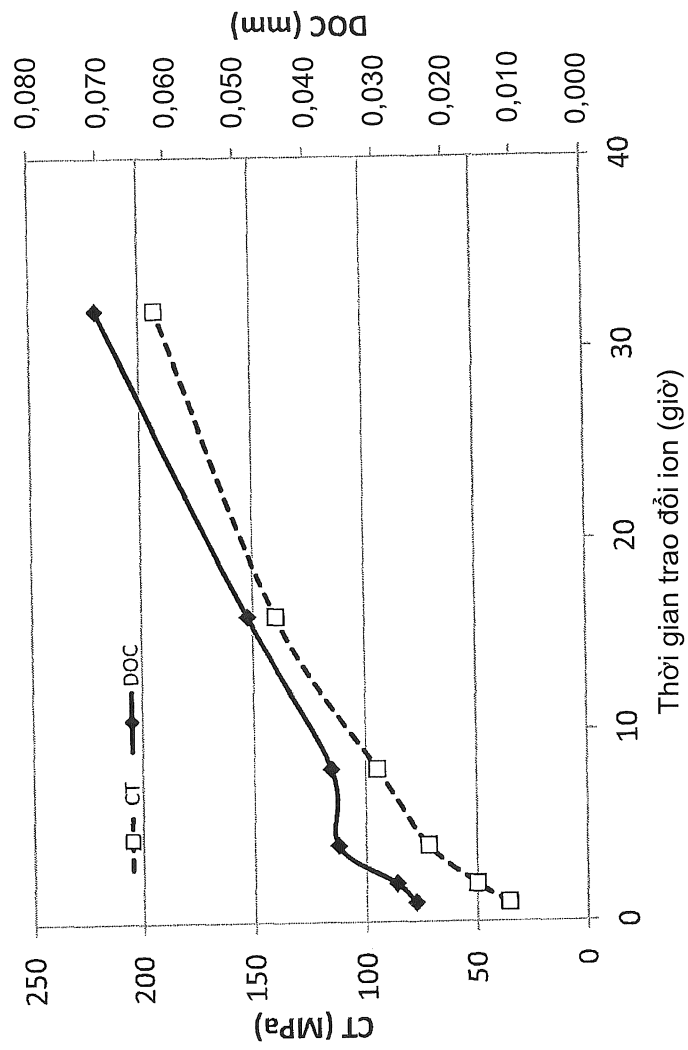
25/40

FIG. 24



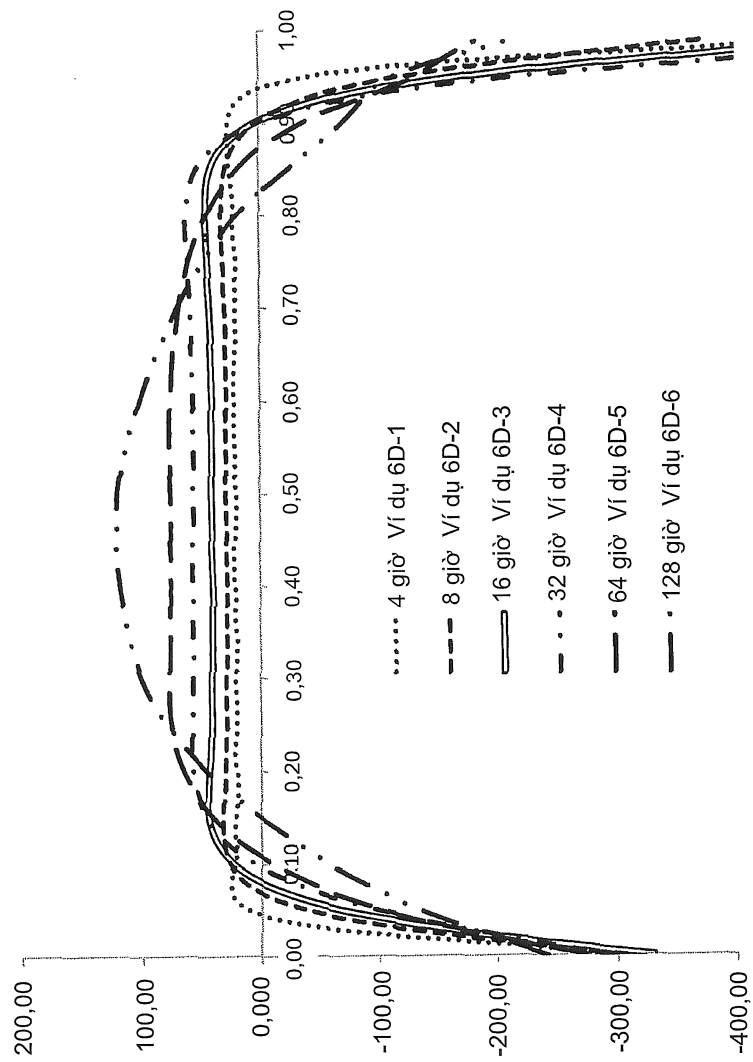
26/40

FIG. 25



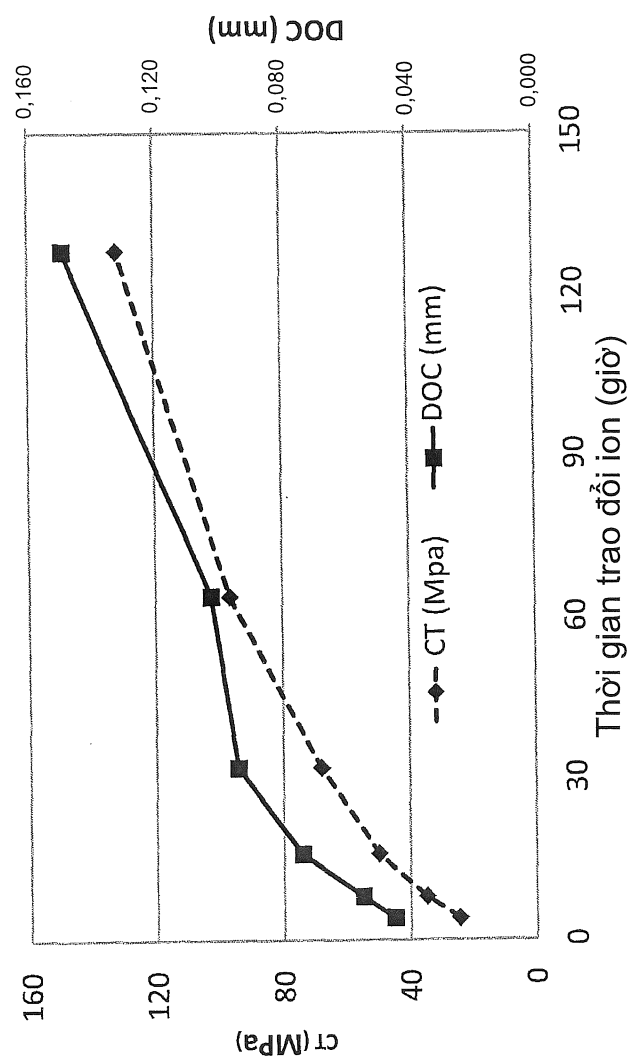
27/40

FIG. 26



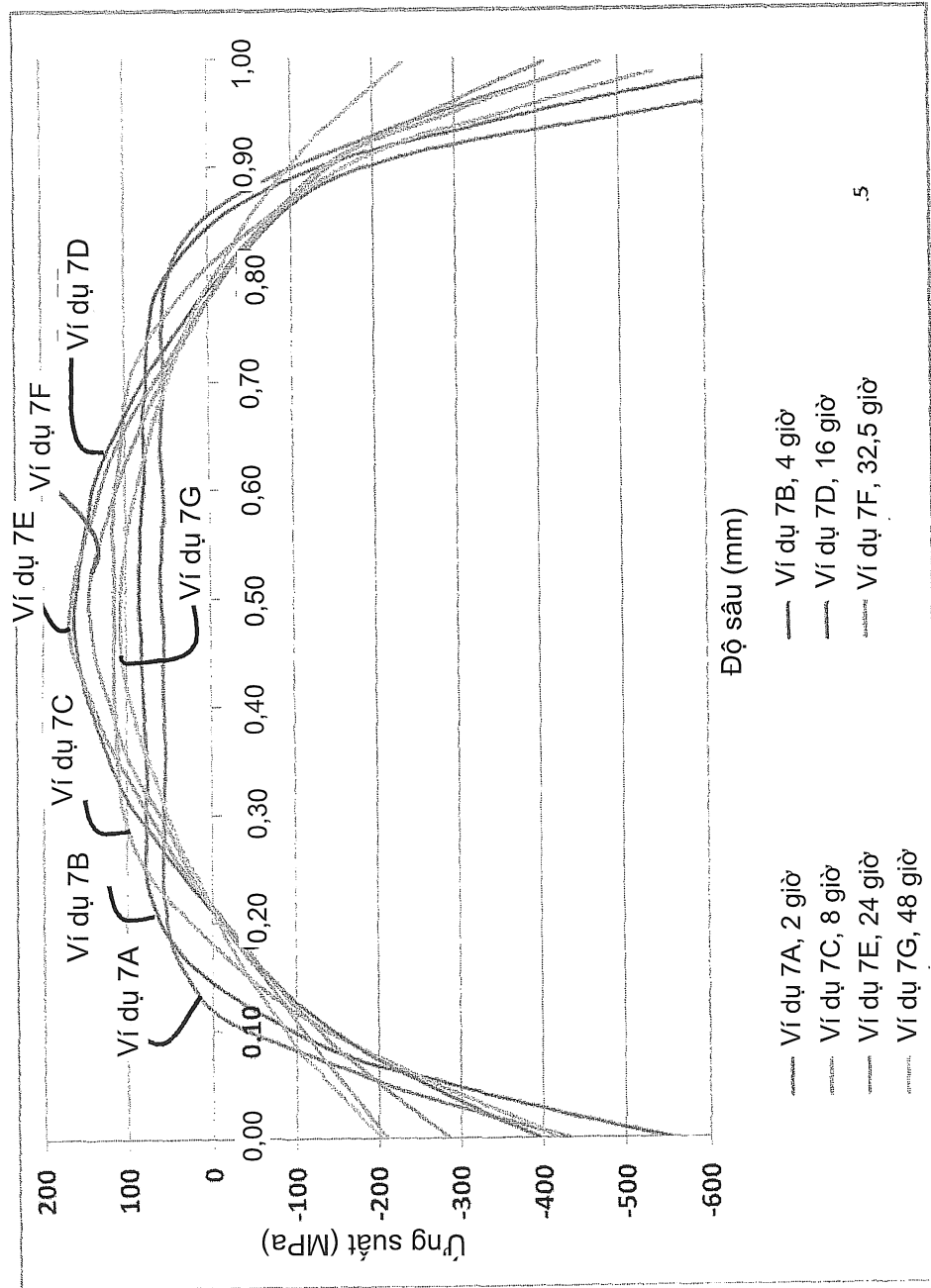
28/40

FIG. 27



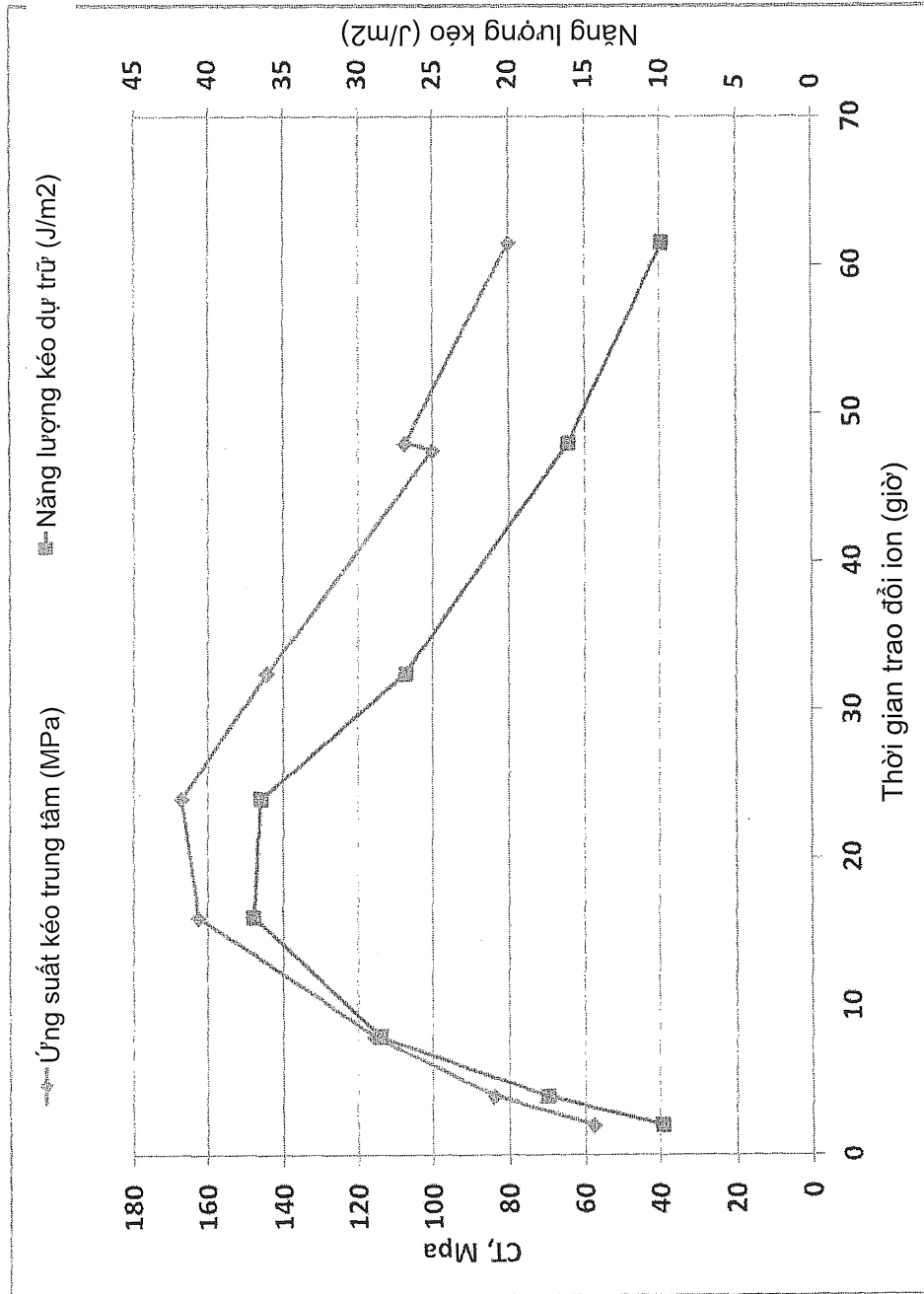
29/40

FIG. 28



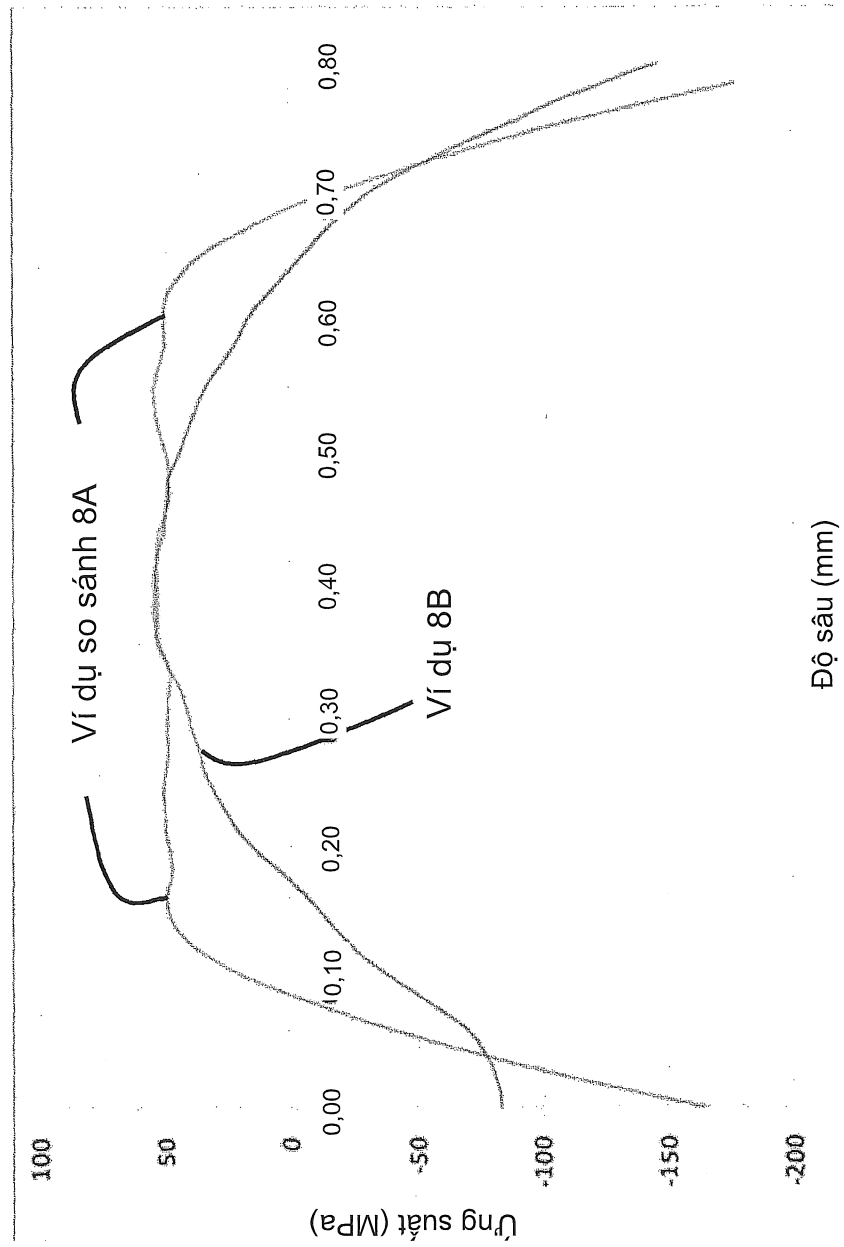
30/40

FIG. 29



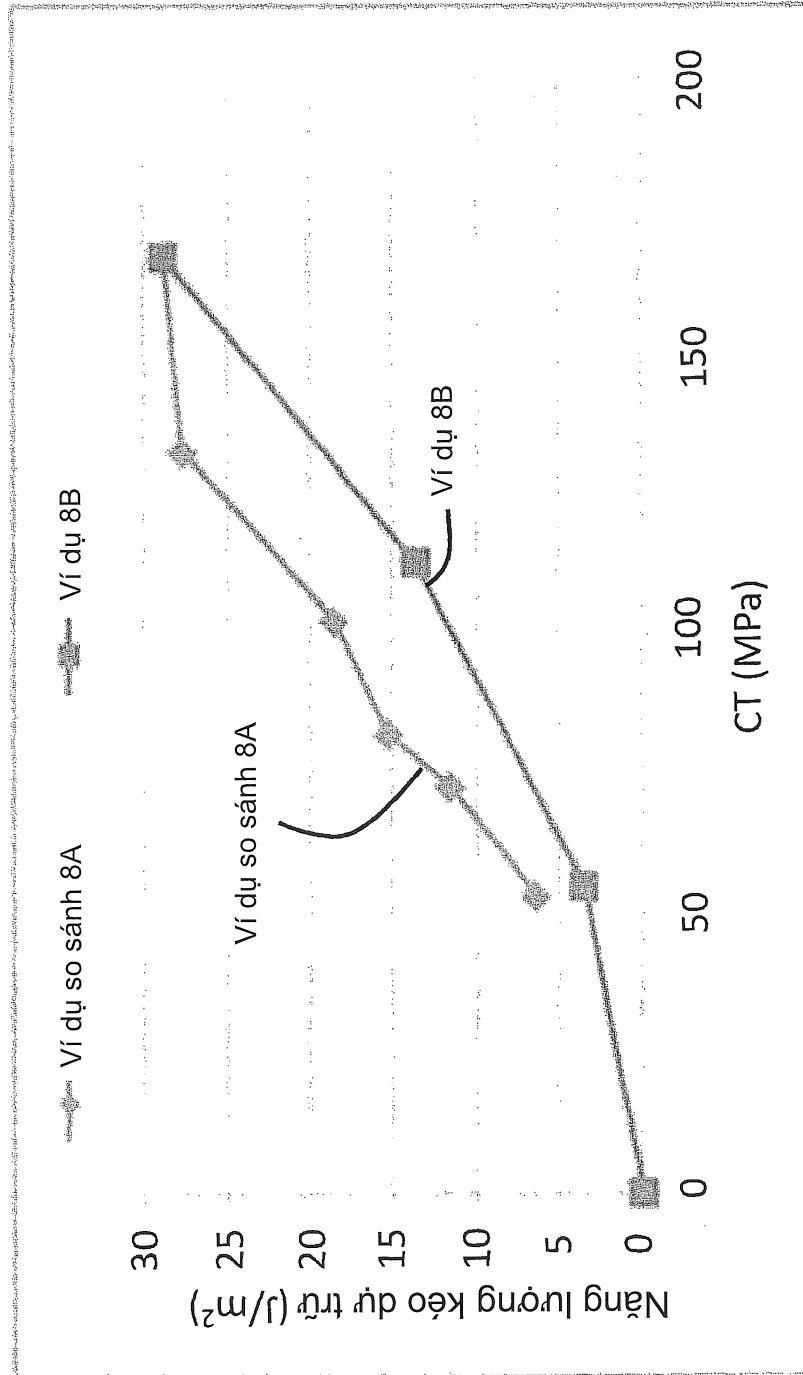
31/40

FIG. 30



32/40

FIG. 31



33/40

FIG. 32

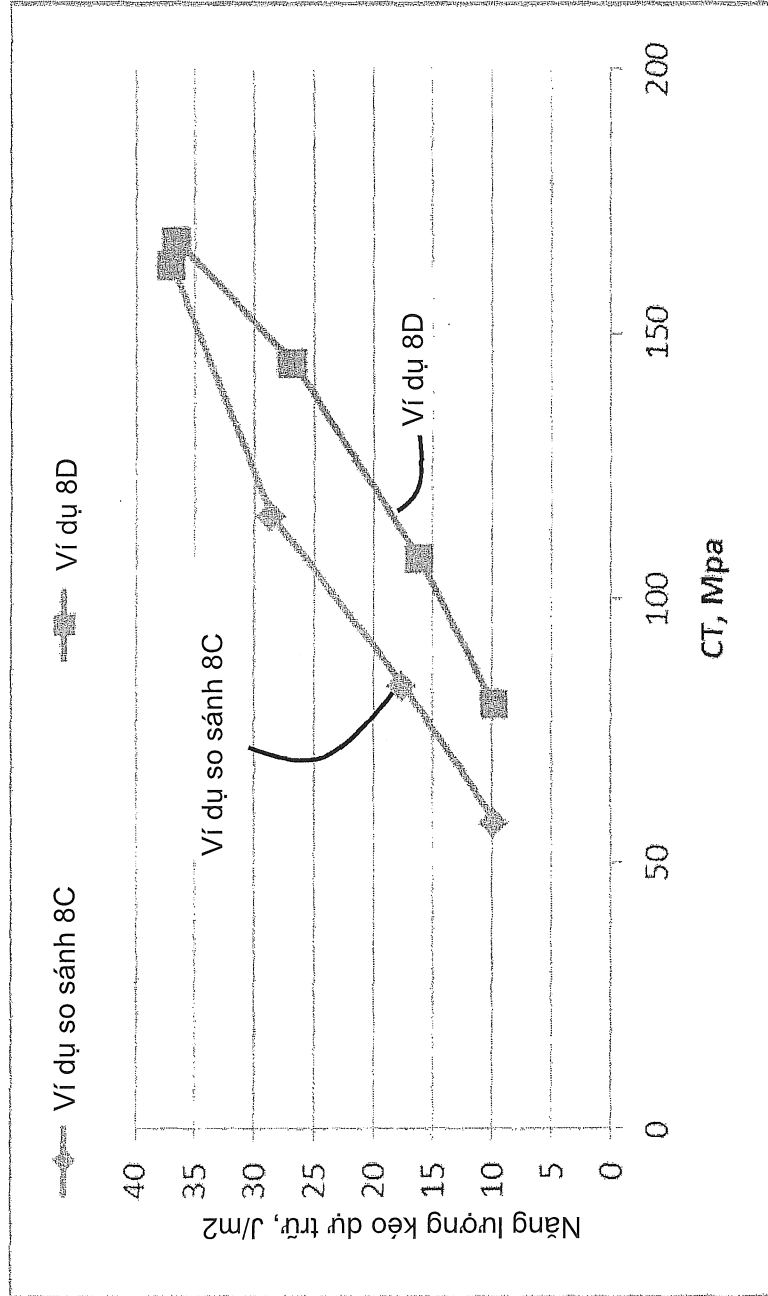
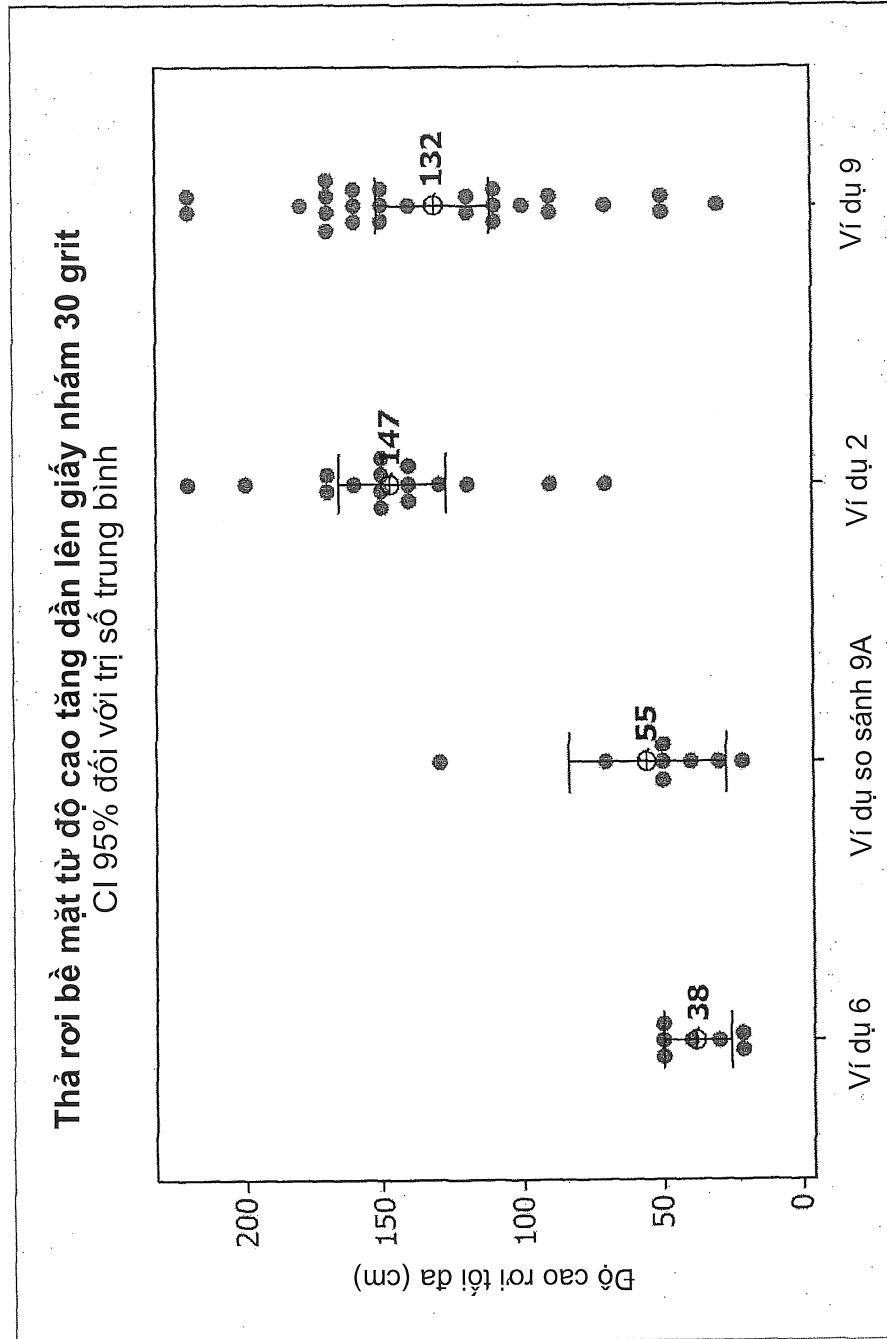
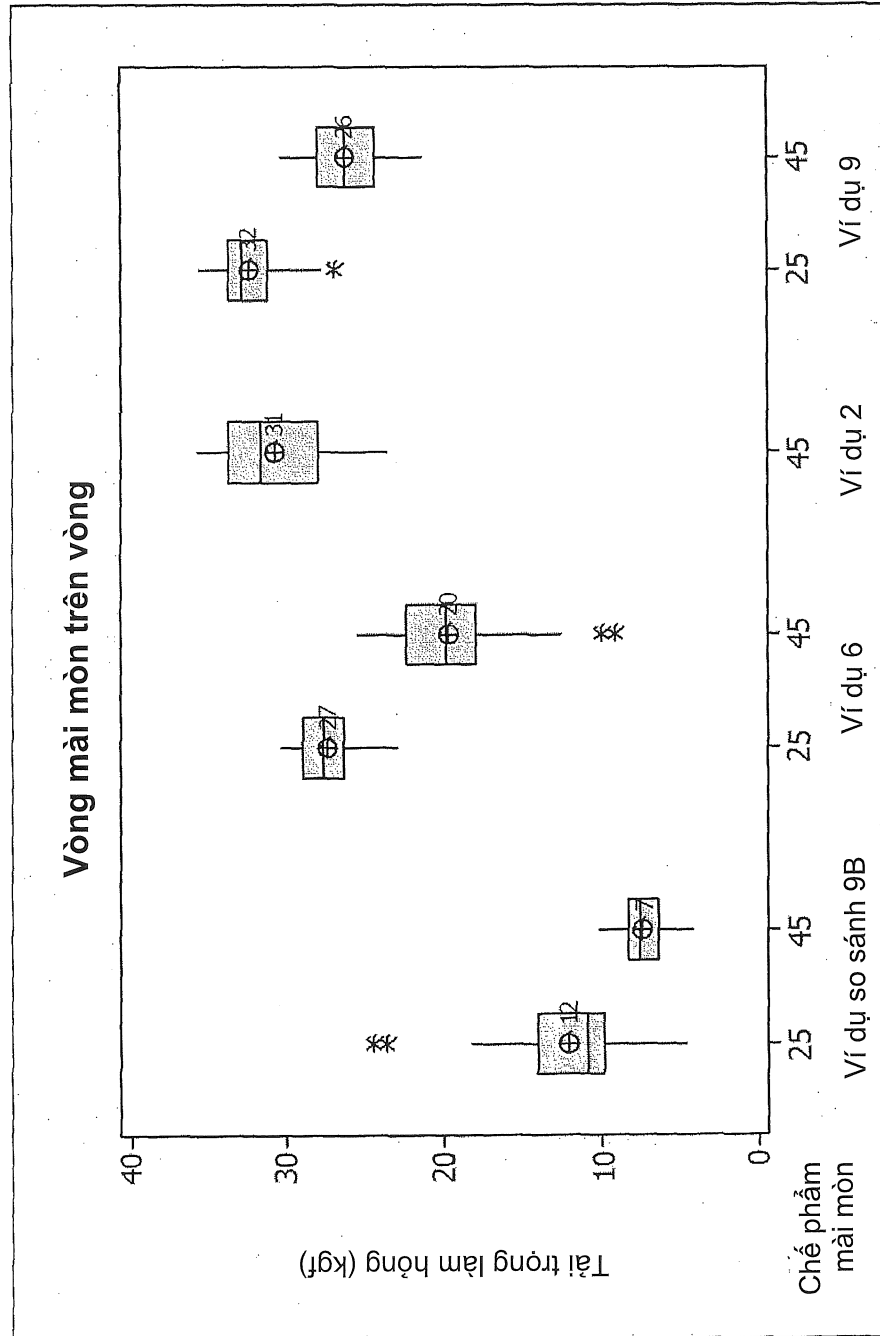


FIG. 33



34/40

FIG. 34

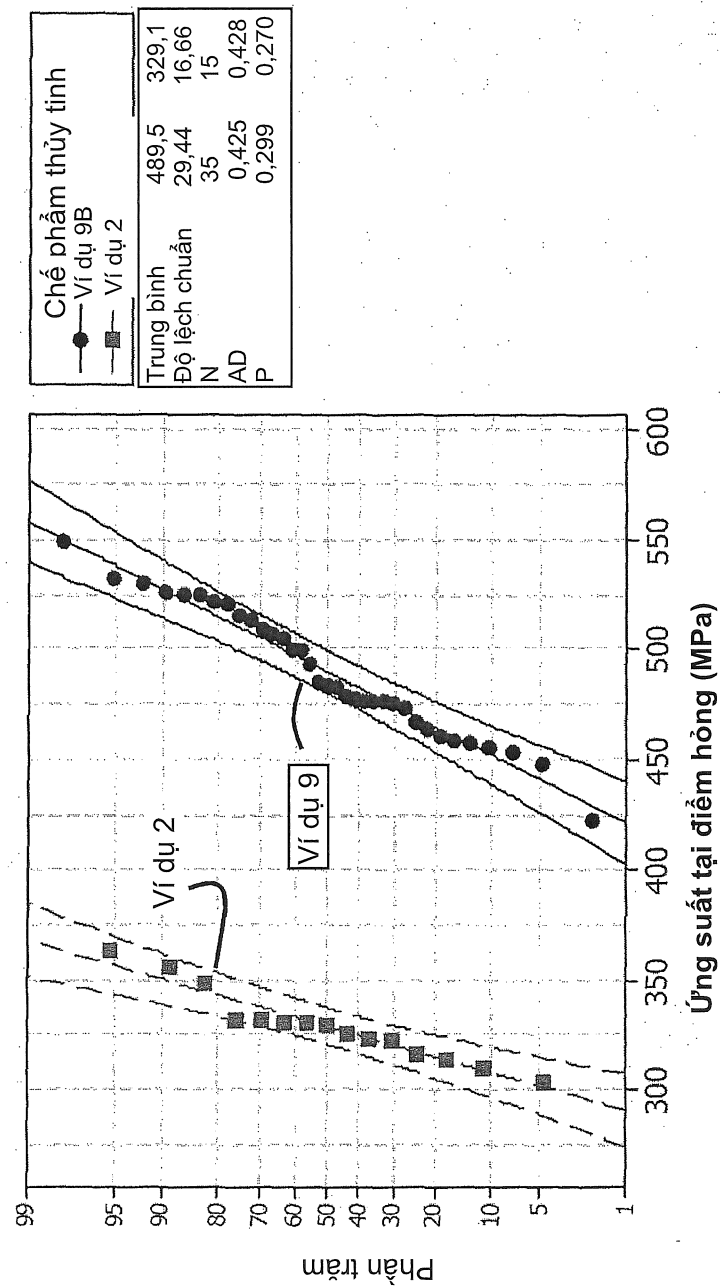


36/40

FIG. 35

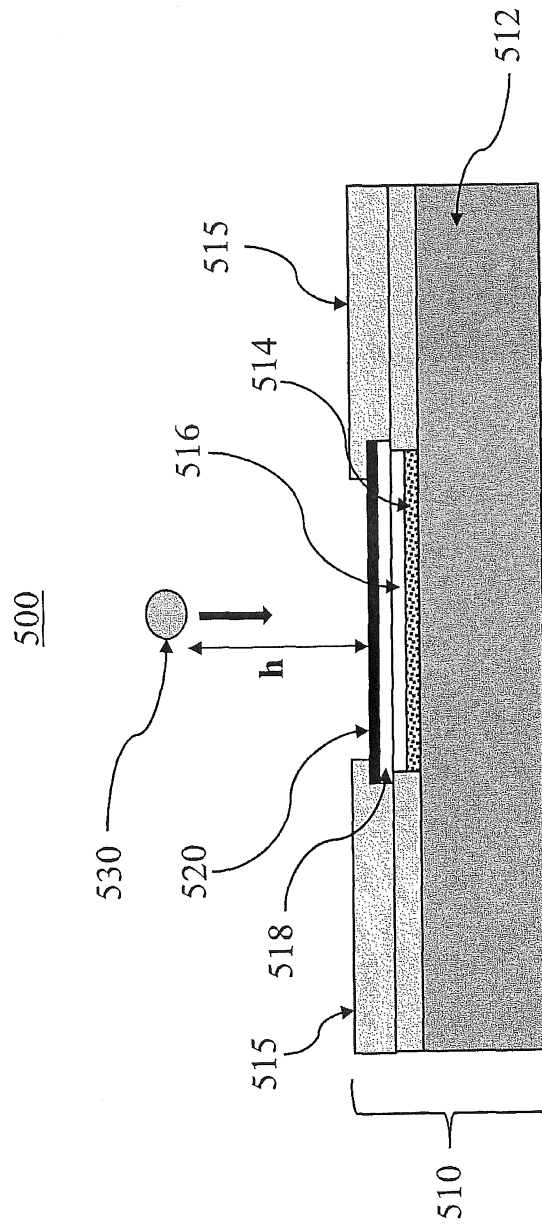
Biểu đồ xác suất của ứng suất tại điểm hỏng (MPa)

Chuẩn -CI 95%



37/40

FIG. 36



38/40

FIG. 37

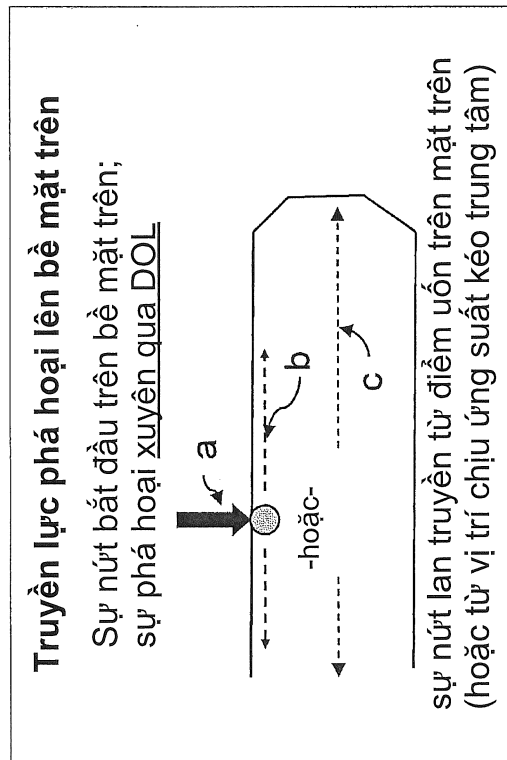


FIG. 38

600

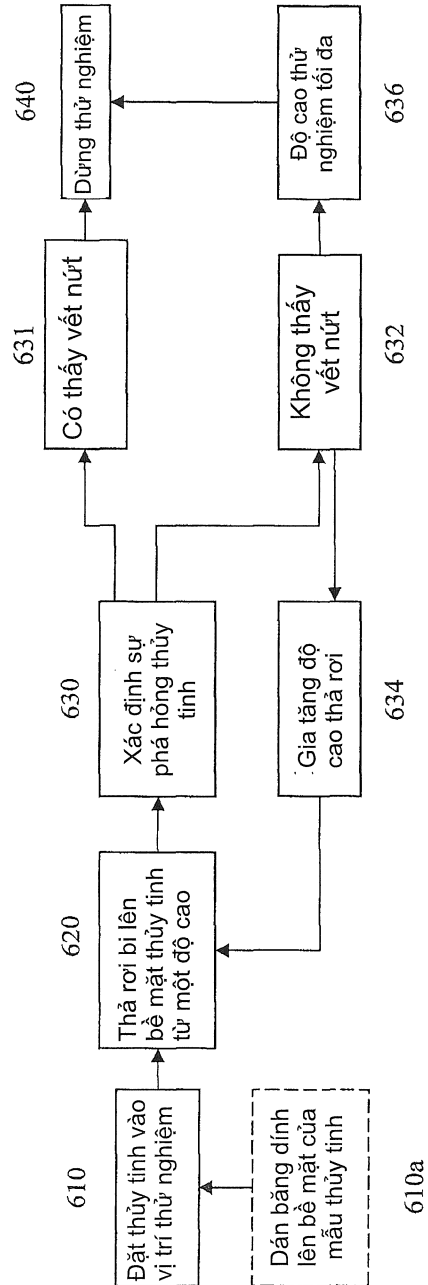


FIG. 39

