



(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)



1-0048448

(51)^{2022.01} C03C 21/00

(13) B

(21) 1-2023-00626

(22) 07/04/2017

(62) 1-2018-03868

(86) PCT/US2017/026554 07/04/2017

(87) WO 2017/177109 12/10/2017

(30) 62/320,109 08/04/2016 US

(45) 25/07/2025 448

(43) 25/05/2023 422A

(73) CORNING INCORPORATED (US)

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

(72) GROSS, Timothy Michael (US); GUO, Xiaojun (CN); ORAM, Pascale (US);
REIMAN, Kevin Barry (US); ROUSSEV, Rostislav Vatchev (BG); SCHNEIDER,
Vitor Marino (US); WILANTEWICZ, Trevor Edward (US).

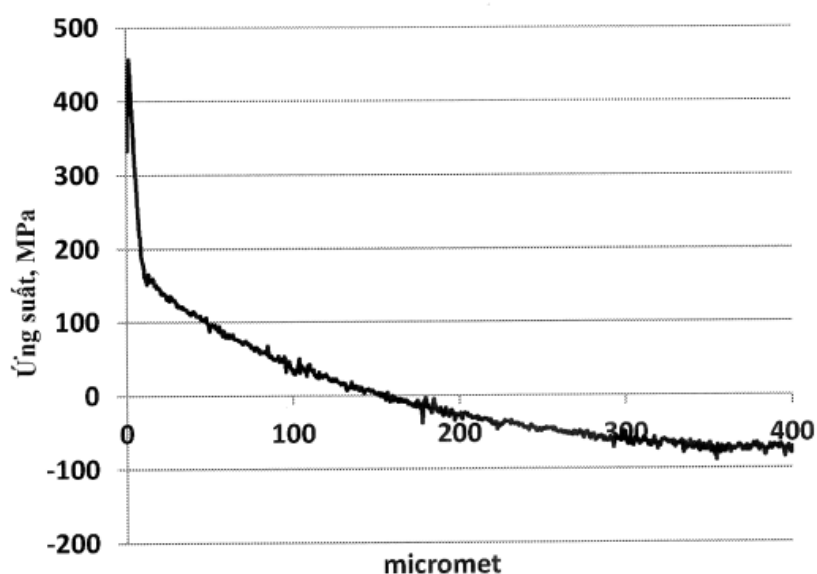
(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)

(54) PHƯƠNG PHÁP GIA CƯỜNG HÓA HỌC ĐỂ GỐC THỦY TINH

(21) 1-2023-00626

(57) Sáng chế đề cập đến vật phẩm gốc thủy tinh, sản phẩm điện tử tiêu dùng, và phương pháp gia cường để gốc thủy tinh. Vật phẩm gốc thủy tinh chứa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t), và biên dạng ứng suất được bộc lộ có độ dày (t) khoảng 3 milimet hoặc nhỏ hơn, và trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất giữa khoảng giới hạn độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,3 \cdot t$ và từ lớn hơn $0,7 \cdot t$, chứa tang với độ nghiêng là nhỏ hơn khoảng $-0,1$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,1$ MPa/micromet. Sáng chế cũng bộc lộ các vật phẩm gốc thủy tinh có độ dày (t) trong khoảng giới hạn từ $0,1$ mm và 2 mm; và trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet, và trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,035 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet.

FIG.6



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến các vật phẩm gốc thủy tinh có thể hiện độ bền chống hư hỏng được cải thiện, bao gồm có độ bền chống nứt vỡ được cải thiện và cụ thể hơn, là đề cập đến các vật phẩm thủy tinh và gốm thủy tinh có thể tạo ra bằng nung chảy thể hiện gradien nồng độ oxit kim loại khác 0 hoặc nồng độ thay đổi theo về cơ bản là một phần của độ dày. Sáng chế này cũng đề cập tới các vật phẩm gốc thủy tinh chứa biên dạng ứng suất bao gồm hai vùng có các tang thay đổi.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các vật phẩm gốc thủy tinh thường chịu các va chạm, vốn có thể tạo ra các vết rạn lớn trên bề mặt của các vật phẩm này. Các khuyết tật có thể mở rộng tới các chiều sâu lên tới khoảng 200 micromet từ bề mặt. Theo truyền thống, thủy tinh tôi nhiệt đã được sử dụng để ngăn chặn sự hư hại do sự tạo ra các khuyết tật như vậy ở thủy tinh, vì thủy tinh tôi nhiệt thường có các lớp ứng suất nén (compressive stress - CS) lớn (ví dụ, xấp xỉ 21% tổng độ dày của thủy tinh), các lớp này có thể ngăn ngừa các khuyết tật lan rộng thêm vào trong thủy tinh và do đó, có thể ngăn ngừa sự hư hỏng. Ví dụ về biên dạng ứng suất được tạo ra bởi việc tôi nhiệt được thể hiện trên Fig.1. Trên Fig.1, vật phẩm thủy tinh xử lý nhiệt 100 bao gồm bề mặt thứ nhất 101, độ dày t_1 , và ứng suất nén bề mặt 110. Vật phẩm thủy tinh được xử lý nhiệt 100 thể hiện CS giảm từ bề mặt thứ nhất 101 tới độ sâu nén (depth of compression - DOC) 130, như được xác định ở đây, mà tại độ sâu đó, ứng suất thay đổi từ nén thành căng và đạt tới ứng suất trung tâm (central tension - CT) tối đa 120.

Việc tôi nhiệt hiện nay chỉ giới hạn ở các vật phẩm gốc thủy tinh dày (tức là, các vật phẩm gốc 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 như vậy là không mong muốn hoặc không thiết thực trong nhiều ứng dụng như màn hiển thị (ví dụ, các thiết bị điện tử dân dụng, bao gồm điện thoại di động, máy

tính bằng, máy vi tính, hệ thống điều hướng, và tương tự), trong kiến trúc (ví dụ, cửa sổ, panen vôi hoa xen, các bề mặt ốp, v.v.), trong giao thông (ví dụ, ô tô, tàu hỏa, máy bay, tàu biển, v.v.), trong các thiết bị hoặc bất kỳ ứng dụng nào đòi hỏi độ bền chống nứt vỡ ưu việt nhưng là các vật phẩm mỏng và có trọng lượng nhẹ.

Mặc dù sự gia cường hóa học không bị giới hạn bởi độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh theo cách tương tự như tôi nhiệt, nhưng các vật phẩm gốc thủy tinh gia cường hóa học đã biết không thể hiện biên dạng ứng suất như của vật phẩm gốc thủy tinh tôi nhiệt. Ví dụ về biên dạng ứng suất tạo ra bằng cách gia cường hóa học (ví dụ, bằng quy trình trao đổi ion), được thể hiện trên Fig.2. Trên Fig.2, vật phẩm gốc thủy tinh gia cường hóa học 200 chứa bề mặt thứ nhất 201, độ dày t_2 và CS bề mặt 210. Vật phẩm gốc thủy tinh 200 thể hiện CS 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 CT trung tâm tối đa 220. Như được thể hiện trên Fig.2, các biên dạng như vậy thể hiện vùng CT gần như bằng phẳng hoặc vùng CT có ứng suất kéo không đổi hoặc gần như không đổi dọc theo ít nhất một phần của vùng CT. Thường thì các vật phẩm gốc thủy tinh gia cường hóa học đã biết đều thể hiện giá trị CT tối đa thấp hơn, khi so với giá trị trung tâm tối đa được thể hiện trên Fig.1.

Mong muốn là tạo ra được các vật phẩm gốc thủy tinh có ứng suất nén tương đối cao tại bề mặt của vật phẩm, vùng biên dạng ứng suất thứ nhất có độ nghiêng dốc và vùng biên dạng ứng suất thứ hai có vùng biên dạng ít dốc hơn, và phương pháp tạo thành các vật phẩm thủy tinh này.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Khía cạnh thứ nhất của sáng chế này đề xuất vật phẩm gốc thủy tinh chứa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t), nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và biến thiên dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,3 \cdot t$; và vùng ứng suất trung tâm (central tension - CT) chứa CT tối đa nhỏ hơn khoảng 80 MPa. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khi vật phẩm gốc thủy tinh bị nứt vỡ, vật phẩm gốc thủy tinh sẽ nứt vỡ thành ít nhất 2 mảnh

vỡ/in-sơ vuông ($1 \text{ in-sơ vuông} = 6,4516 \text{ cm}^2$). Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khi vật phẩm gốc thủy tinh bị nứt vỡ, vật phẩm gốc thủy tinh sẽ nứt vỡ thành ít nhất 1 mảnh vỡ/in-sơ vuông lên tới 40 mảnh vỡ/in-sơ vuông.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, nồng độ của oxit kim loại là khác 0 và thay đổi dọc theo toàn bộ độ dày. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, oxit kim loại sinh ra ứng suất dọc theo phạm vi độ dày. Ion hóa trị một của oxit kim loại có thể có đường kính ion lớn nhất trong số tất cả các ion hóa trị một của các oxit kim loại trong đế gốc thủy tinh. Nồng độ của oxit kim loại có thể giảm từ bề mặt thứ nhất tới trị số tại điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ trị số này tới bề mặt thứ hai. Ví dụ, nồng độ của oxit kim loại tại bề mặt thứ nhất có thể lớn hơn khoảng 1,5 lần so với nồng độ của các oxit kim loại tại độ sâu bằng khoảng $0,5 \cdot t$. Trong một số tình huống, nồng độ của oxit kim loại là khoảng 0,05% mol hoặc cao hơn trong suốt toàn bộ độ dày (ví dụ, nằm trong phạm vi từ khoảng 1% mol đến khoảng 15% mol). Oxit kim loại có thể bao gồm một hoặc nhiều oxit kim loại bất kỳ trong số Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O . Theo một hoặc nhiều phương án, gradien nồng độ oxit kim loại có thể có mặt ở vùng CT của vật phẩm gốc thủy tinh.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa biên dạng ứng suất kéo dài dọc theo độ dày, trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất giữa độ dày trải từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,3 \cdot t$ và từ lớn hơn $0,7 \cdot t$, chứa tang có độ nghiêng là nhỏ hơn khoảng $-0,1 \text{ MPa/micromet}$ hoặc lớn hơn khoảng $0,1 \text{ MPa/micromet}$. Theo một số phương án thực hiện, biên dạng ứng suất bao gồm CS tối đa, DOC và CT tối đa nhỏ hơn khoảng 80 MPa, trong đó, tỉ lệ của CT tối đa so với trị số tuyệt đối tối đa của CS là trong phạm vi từ khoảng 0,01 tới khoảng 0,2 và trong đó, DOC là khoảng $0,1 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Khi vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện bị vỡ thì vật phẩm gốc thủy tinh vỡ thành ít nhất 2 mảnh vỡ/in-sơ vuông.

Vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có thể chứa ứng suất nén (CS) bề mặt khoảng 300 MPa hoặc lớn hơn hoặc khoảng 500 MPa hoặc lớn hơn. Theo một số phương án, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm ứng suất

nén bề mặt khoảng 200 MPa hoặc lớn hơn và độ sâu hóa học của lớp là khoảng $0,4 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Theo một hoặc nhiều phương án, CS có thể kéo dài từ bề mặt thứ nhất tới DOC, trong đó DOC là khoảng $0,1 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Vật phẩm gốc thủy tinh theo một số phương án thể hiện tỷ lệ của CT tối đa trên giá trị tuyệt đối của ứng suất nén bề mặt (giá trị này có thể bao gồm CS tối đa) nằm trong phạm vi từ khoảng 0,01 đến khoảng 0,2. Tùy chọn là trị số tuyệt đối của CS bề mặt là lớn hơn CT tối đa.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa nồng độ oxit kim loại thứ nhất và nồng độ oxit kim loại thứ hai, trong đó, nồng độ oxit kim loại thứ nhất là trong phạm vi từ khoảng 0 % mol tới khoảng 15 % mol từ khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,5 \cdot t$, và trong đó, nồng độ oxit kim loại thứ hai là trong phạm vi từ khoảng 0 % mol tới khoảng 10 % mol từ khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng 0 micromet tới khoảng 25 micromet. Một cách tùy ý, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm oxit kim loại thứ ba.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa nồng độ oxit kim loại vừa khác 0 và vừa thay đổi dọc theo phạm vi độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,3 \cdot t$ (hoặc từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,4 \cdot t$ hoặc từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,45 \cdot t$), ứng suất nén bề mặt khoảng 200MPa hoặc lớn hơn; và vùng CT có CT tối đa nhỏ hơn khoảng 80 MPa.

Vật phẩm gốc thủy tinh có thể có độ dày t khoảng 3 milimet hoặc nhỏ hơn hoặc khoảng 1 milimet hoặc nhỏ hơn. Vật phẩm gốc thủy tinh có thể có cấu trúc vô định hình, cấu trúc tinh thể hoặc kết hợp cả hai cấu trúc này. Vật phẩm gốc thủy tinh có thể thể hiện hệ số truyền khoảng 88% hoặc lớn hơn theo bước sóng nằm trong phạm vi từ khoảng 380 nm đến khoảng 780 nm. Ngoài ra, theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh có thể biểu lộ hệ tọa độ không gian màu CIELAB, dưới nguồn sáng CIE F02, của các giá trị L^* khoảng 88 và lớn hơn, các giá trị a^* nằm trong phạm vi từ khoảng -3 đến khoảng +3, và các giá trị b^* nằm trong phạm vi từ khoảng -6 đến khoảng +6.

Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm gốc thủy tinh có suất Young nhỏ hơn 80 GPa. Vật phẩm gốc thủy tinh có độ nhớt đường lỏng khoảng 100 kilopoa (kP) hoặc lớn hơn.

Vật phẩm gốc thủy tinh có thể chứa thành phần có một hoặc nhiều thành phần trong số: thành phần chứa lượng kết hợp của Al_2O_3 và Na_2O lớn hơn khoảng 15 % mol, thành phần chứa lớn hơn khoảng 4 % mol Na_2O , thành phần về cơ bản là không có B_2O_3 , ZnO , hoặc cả hai B_2O_3 và ZnO , và thành phần chứa lượng khác không của P_2O_5 .

Vật phẩm gốc thủy tinh có thể chứa độ khuếch tán khoảng $450 \mu\text{m}^2/\text{giờ}$ hoặc lớn hơn tại khoảng 460°C và DOC lớn hơn khoảng $0,15 \cdot t$, và trong đó, trị số tuyệt đối của CS bề mặt là 1,5 lần của CT tối đa hoặc lớn hơn.

Theo một số phương án, vật phẩm gốc thủy tinh có độ bền chống nứt vỡ (K_{IC}) khoảng $0,7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ hoặc lớn hơn.

Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện năng lượng kéo dự trữ từ khoảng lớn hơn 0 J/m^2 đến nhỏ hơn 20 J/m^2 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa biên dạng ứng suất chứa vùng CS và vùng CT, trong đó, vùng CT được xấp xỉ bởi phương trình $\text{Stress}(x) = \text{MaxCT} - (((\text{MaxCT} \cdot (n+1))/0,5^n) \cdot |(x/t) - 0,5|^n)$, trong đó, MaxCT là trị số CT tối đa và trị số dương trong theo đơn vị là MPa, x là vị trí dọc theo độ dày (t) theo micromet, và n là giữa 1,5 và 5. Theo một số phương án thực hiện, vùng CT bao gồm giá trị CT tối đa nằm trong phạm vi từ khoảng 50 MPa đến khoảng 250 MPa và giá trị CT tối đa là tại độ sâu nằm trong phạm vi từ khoảng $0,4t$ đến khoảng $0,6t$. Theo một số trường hợp, từ độ dày trong phạm vi từ khoảng $0t$ tới khoảng $0,1t$ micron, biên dạng ứng suất bao gồm độ nghiêng trong phạm vi từ khoảng 20 MPa/micron tới khoảng 200 MPa/micron. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất được xác định bởi nhiều hàm lỗi được đo từ $0,5t$ tới bề mặt.

Khía cạnh thứ hai của sáng chế này bộc lộ việc sử dụng hợp phần thủy tinh trong vật phẩm gốc thủy tinh gia cường, chứa (tính theo % mol): SiO_2 với lượng

trong phạm vi từ khoảng 60 tới khoảng 75, Al_2O_3 với lượng trong phạm vi từ khoảng 12 tới khoảng 20, B_2O_3 với lượng trong phạm vi từ khoảng 0 tới khoảng 5, Li_2O với lượng trong phạm vi từ khoảng 2 tới khoảng 8, Na_2O với lượng lớn hơn 4, P_2O_5 với lượng khác không, MgO với lượng trong phạm vi từ khoảng 0 tới khoảng 5, ZnO với lượng trong phạm vi từ khoảng 0 tới khoảng 3, CaO với lượng trong phạm vi từ khoảng 0 tới khoảng 5, trong đó, thành phần thủy tinh là có thể trao đổi ion được và là vô định hình, trong đó, tổng lượng Al_2O_3 và Na_2O là lớn hơn khoảng 15 % mol, trong đó, thành phần thủy tinh về cơ bản là không có các tác nhân tạo nhân và thành phần thủy tinh bao gồm độ nhớt đường lỏng là khoảng 100 kP hoặc lớn hơn. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh hầu như không chứa B_2O_3 , ZnO , hoặc cả B_2O_3 và ZnO .

Khía cạnh thứ ba của sáng chế đề cập tới để thủy tinh bao gồm hợp phần chứa, tính theo % mol, SiO_2 với lượng nằm trong phạm vi từ khoảng 60 đến khoảng 75, Al_2O_3 với lượng nằm trong phạm vi từ khoảng 12 đến khoảng 20, B_2O_3 với lượng nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 5, Li_2O với lượng nằm trong phạm vi từ khoảng 2 đến khoảng 8, Na_2O với lượng lớn hơn khoảng 4, MgO với lượng nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 5, ZnO với lượng nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 3, CaO với lượng nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 5, và P_2O_5 với lượng khác 0; trong đó để thủy tinh có thể trao đổi ion được và là vô định hình, trong đó tổng lượng của Al_2O_3 và Na_2O trong hợp phần là lớn hơn khoảng 15% mol, trong đó hợp phần thủy tinh hầu như không chứa các chất tạo nhân và có độ nhớt đường lỏng khoảng 100 kP hoặc lớn hơn.

Theo một số phương án thực hiện, để thủy tinh là vô định hình và được gia cường, trong đó, nồng độ Na_2O thay đổi, trong đó, thành phần về cơ bản là không có các tác nhân tạo mầm, tổng lượng Al_2O_3 và Na_2O trong hợp phần là lớn hơn khoảng 15 % mol, và bao gồm độ nhớt đường lỏng khoảng 100 kP hoặc lớn hơn. Theo một số phương án thực hiện khác, để thủy tinh bao gồm lượng khác 0 của P_2O_5 .

Khía cạnh thứ tư của sáng chế đề cập tới vật phẩm gốc thủy tinh chứa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t) trong

khoảng giới hạn từ 0,1 mm và 2 mm; và biên dạng ứng suất kéo dài dọc theo độ dày (t), trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất là ở trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet, trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,035 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet, trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm CS bề mặt là từ khoảng 200 MPa tới khoảng 1100 MPa, và trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm DOC trải từ khoảng $0,1 \cdot t$ đến $0,25 \cdot t$. Theo một số phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong phạm vi độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,025 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,975 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,02 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai tạo thành biên dạng luật lũy thừa có số mũ lũy thừa, trong đó, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,2 đến 3,2. Theo một số phương án thực hiện, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,3 và 2,8.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, CS bề mặt là từ khoảng 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 610, 620 MPa tới khoảng 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000 hoặc 1100 MPa.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,025 \cdot t$ và lớn hơn $0,975 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,025 \cdot t$ và lớn hơn $0,975 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong

khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,035 \cdot t$ và lớn hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khoảng giới hạn độ dày thứ nhất được thu bằng cách trao đổi ion trong muối chứa K.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khoảng giới hạn độ dày thứ hai được thu bằng cách trao đổi ion trong muối chứa Na.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất được thu sử dụng bước trao đổi ion đơn.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất được thu bằng cách sử dụng hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, CS bề mặt là giữa khoảng 690 MPa và 950 MPa.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa giữa khoảng 0,5 % mol P_2O_5 và 10 % mol P_2O_5 .

Khía cạnh thứ năm của sáng chế đề cập tới vật phẩm gốc thủy tinh chứa mặt phẳng trung tâm, trong đó, mặt phẳng trung tâm bao gồm từ khoảng 2 tới khoảng 20 % mol Li_2O ; bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t) trong khoảng giới hạn từ 0,1 mm và 2 mm; và biên dạng ứng suất kéo dài dọc theo độ dày (t), trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet, trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm CS bề mặt là từ khoảng 200 MPa tới khoảng 1100 MPa, và trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm DOC trải từ khoảng $0,05 \cdot t$ tới $0,25 \cdot t$. Theo một số phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khoảng giới hạn độ dày thứ nhất được thu bằng cách trao đổi ion trong muối chứa K.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khoảng giới hạn độ dày thứ hai được thu bằng cách trao đổi ion trong muối chứa Na hoặc K.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất được thu sử dụng bước trao đổi ion đơn.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất được thu bằng cách sử dụng hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, CS bề mặt trải dài từ khoảng 690 MPa và 950 MPa.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai tạo thành biên dạng luật lũy thừa có số mũ lũy thừa, trong đó, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,2 đến 3,4. Theo một số phương án thực hiện, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,3 và 2,8.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa khoảng 0,5 % mol P_2O_5 và 10 % mol P_2O_5 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, mặt phẳng trung tâm còn bao gồm thành phần chứa từ khoảng 0,5 % mol và 20 % mol Na_2O . Theo một số phương án thực hiện, mặt phẳng trung tâm còn bao gồm thành phần chứa từ khoảng 2 % mol và 10 % mol Li_2O . Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của Na_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là giữa khoảng 5 % mol và 16 % mol. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của Na_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là giữa khoảng 10 % mol và 15 % mol. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của Li_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là giữa khoảng 3 % mol và 10 % mol.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các quy trình được tạo ra để thu các biên dạng ứng suất được mô tả ở đây. Các quy trình này chứa các thời gian trao đổi ion tương đối dài, hoặc là bởi việc trao đổi ion đơn hoặc bởi hai hoặc hơn hai việc trao đổi ion. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, thời gian trao đổi ion là lớn hơn 1 giờ, lớn hơn 1,5 giờ, lớn hơn 2 giờ, lớn hơn 2,5 giờ, lớn hơn 3 giờ, lớn hơn 3,5 giờ, lớn hơn 4 giờ, lớn hơn 4,5 giờ, lớn hơn 5 giờ, lớn hơn 5,5 giờ, lớn hơn 6 giờ, lớn hơn 6,5 giờ, lớn hơn 7 giờ, lớn hơn 7,5 giờ và lớn hơn 8 giờ.

Các đặc điểm và các ưu điểm bổ sung 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 kỹ thuật 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 chỉ nhằm minh họa, và nhằm 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 và tạo thành một phần của bản mô tả này. Các hình vẽ này minh họa một hoặc nhiều phương án thực hiện và cùng với phần mô tả dùng để giải thích các nguyên tắc và cách 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 thủy tinh tôi nhiệt đã biết;

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

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

Fig.4 là mặt cắt sơ lược của thiết bị vòng trên vòng (ring-on-ring);

Fig.5 là biểu đồ thể hiện các giá trị CT tối đa trong các ví dụ 1A-1G dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.6 là đồ thị thể hiện ứng suất đo được của ví dụ 1E như là hàm của độ sâu kéo dài từ bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh của ví dụ 1E vào trong vật phẩm gốc thủy tinh;

Fig.7 là biểu đồ thể hiện các giá trị tải gây hư hỏng của các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A sau khi được làm trầy xước tại các tải hoặc áp suất khác nhau;

Fig.8 là biểu đồ thể hiện các độ cao mà tại đó các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A bị hư hỏng sau khi được thả rơi lên giấy ráp 180 grit và sau đó, lên giấy ráp 30 grit;

Fig.9 là biểu đồ thể hiện các độ cao mà tại đó các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 3A và ví dụ đối chứng 3B bị hư hỏng sau khi được để rơi lên giấy ráp 30 grit;

Fig.10 là biểu đồ so sánh tải gây hư hỏng trung bình của các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 3A và ví dụ đối chứng 3B, sau khi được làm trầy xước tại mức tải hoặc áp suất 25 psi;

Fig.11 là biểu đồ so sánh tải gây hư hỏng trung bình của các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 3A và ví dụ đối chứng 3B, sau khi được làm trầy xước tại mức tải hoặc áp suất 45 psi;

Fig.12 là biểu đồ thể hiện biên dạng ứng suất của các ví dụ từ 4A-1 đến 4A-6 dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.13 là biểu đồ thể hiện các giá trị CT và DOC tối đa của các ví dụ từ 4A-1 đến 4A-6 dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.14 là biểu đồ thể hiện biên dạng ứng suất của các ví dụ từ 4B-1 đến 4B-6 dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.15 là biểu đồ thể hiện các giá trị CT và DOC tối đa của các ví dụ từ 4B-1 đến 4B-6 dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.16 là biểu đồ thể hiện biên dạng ứng suất của các ví dụ từ 4C-1 đến 4C-6 dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.17 là biểu đồ thể hiện các giá trị CT và DOC tối đa của các ví dụ từ 4C-1 đến 4C-6 dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.18 là biểu đồ thể hiện biên dạng ứng suất của các ví dụ từ 4D-1 đến 4D-6 dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.19 là biểu đồ thể hiện các giá trị CT và DOC tối đa của các ví dụ từ 4D-1 đến 4D-6 dưới dạng hàm số của thời gian trao đổi ion;

Fig.20 là biểu đồ thể hiện biên dạng ứng suất của ví dụ đối chứng 5A và ví dụ 5B dưới dạng hàm số của độ sâu;

Fig.21 là biểu đồ thể hiện năng lượng kéo dự trữ của ví dụ đối chứng 5A và ví dụ 5B dưới dạng hàm số của CT tối đa;

Fig.22 là biểu đồ thể hiện năng lượng kéo dự trữ của ví dụ đối chứng 5C và ví dụ 5D dưới dạng hàm số của CT tối đa;

Fig.23 là hình cắt ngang qua độ dày của bốn vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện theo phần bộc lộ này;

Fig.24 là đồ thị thể hiện các biên dạng nồng độ vi đầu dò được chuẩn hóa cho K, Na và Li của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện theo phần bộc lộ này;

Fig.25 là ảnh của các kết quả thử nghiệm cào xước cho bốn vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện theo phần bộc lộ này; và

Fig.26 là đồ thị so sánh tải trung bình để làm hỏng các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện theo phần bộc lộ này.

Fig.27A là hình cắt sơ lược thể hiện cơ chế trượt cho việc thất bại do việc tạo phá hủy cộng với việc gấp thường xuất hiện trong các vật phẩm gốc thủy tinh được sử dụng trong các thiết bị điện tử di động hoặc cầm tay.

Fig.27B là hình cắt sơ lược của phương án thực hiện của thiết bị được sử dụng để thực hiện thử nghiệm bị ngược trên giấy ráp (inverted ball on sandpaper - IBoS) được mô tả trong phần bộc lộ này.

Fig.28 là lưu đồ cho phương pháp thực hiện thử nghiệm IBoS trong thiết bị được mô tả ở đây.

Fig.29 là hình chiếu cạnh của thiết bị thử nghiệm cho các vật phẩm gốc thủy tinh;

Fig.30 là hình chiếu cạnh của một phần thiết bị thử nghiệm được thể hiện trên Fig.29;

Fig.31 là hình vẽ phối cảnh từ phía sau của thiết bị thử nghiệm được thể hiện trên Fig.29;

Fig.32 là hình vẽ phối cảnh từ phía trước của thiết bị thử nghiệm được thể hiện trên Fig.29;

Fig.33 là hình chiếu cạnh của thiết bị thử nghiệm của các vật phẩm gốc thủy tinh;

Fig.34 là hình chiếu cạnh của một phần thiết bị thử nghiệm được thể hiện trên Fig.29;

Fig.35 là hình vẽ sơ lược của cấu hình thay thế của một phần của thiết bị thử nghiệm được thể hiện trên Fig.29.

Fig.36 là đồ thị thể hiện các biên dạng ứng suất khác nhau theo một số phương án thực hiện.

Fig.37 là đồ thị thể hiện các kết quả thử nghiệm IBoS cho các mẫu theo một số phương án thực hiện.

Fig.38 là đồ thị thể hiện các kết quả thử nghiệm ngưỡng tác động bề mặt cho các mẫu theo một số phương án thực hiện, và cho một số mẫu đối chứng.

Fig.39 là đồ thị thể hiện các kết quả thử nghiệm tác động gờ cho các mẫu theo một số phương án thực hiện.

Fig.40A là hình chiếu bằng của thiết bị điện tử làm ví dụ tích hợp vật phẩm bất kỳ trong các vật phẩm gốc thủy tinh được bộc lộ ở đây.

Fig.40B là hình phối cảnh của thiết bị điện tử làm ví dụ trên Fig.40A.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, sáng chế sẽ được mô tả một cách chi tiết với các phương án thực hiện 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 ký tự viện dẫn giống nhau biểu thị các phần giống nhau hoặc tương ứng trong suốt các 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 dạng tương tự là các từ được sử dụng để tạo 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 yếu tố trong nhóm các yếu tố và các tổ hợp của chúng, thì phải cần hiểu rằng, nhóm này có thể chứa, về cơ bản là gồm, hoặc gồm một số bất kỳ các yếu tố trong số các yếu tố được nêu, hoặc là riêng rẽ hoặc kết hợp với nhau. Tương tự, bất kỳ khi nào một nhóm được mô tả dưới dạng được tạo thành từ ít nhất một yếu tố trong nhóm các yếu tố và các kết hợp của chúng, thì cần hiểu rằng, nhóm này có thể gồm một số bất kỳ yếu tố trong số các yếu tố được nêu, hoặc riêng rẽ hoặc kết hợp với nhau. Trừ khi có quy định khác, các khoảng trị số, khi được nêu, sẽ 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 mạo 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 gốc thủy tinh” và “các đế gốc thủy tinh” được sử dụng theo nghĩa rộng nhất của chúng và gồm đối tượng bất kỳ được làm hoàn toàn hoặc một phần bằng thủy tinh. Các vật phẩm gốc thủy tinh bao 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 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 gốc thủy tinh mà “hầu như không có MgO” là vật

phẩm gốc 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.

Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ "khoảng" có nghĩa là các lượng, các kích cỡ, các công thức, các thông số, và các yếu tố định lượng và các đặc tính khác là không và không cần phải chính xác, nhưng có thể là xấp xỉ và/hoặc lớn hơn hoặc nhỏ hơn, nếu muốn, phản ánh dung sai, hệ số chuyển hóa, sự làm tròn, sai số phép đo và dạng tương tự, và các yếu tố khác đã được người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này biết rõ. Khi thuật ngữ "khoảng" được sử dụng khi mô tả trị số hoặc điểm đầu mút của một khoảng giới hạn, thì phần bậc lộ này sẽ được hiểu là gồm trị số hoặc điểm đầu mút cụ thể được nêu. Dù có hay không có trị số số học hoặc điểm cuối của khoảng giới hạn trong bản mô tả này trích dẫn "khoảng," thì trị số số học hoặc điểm cuối của khoảng giới hạn là nhằm chứa cả hai phương án thực hiện: một được điều chỉnh bởi "khoảng," và một không được điều chỉnh bởi "khoảng." Cần hiểu thêm là các điểm cuối của mỗi khoảng giới hạn trong số các khoảng giới hạn là quan trọng, cả liên quan đến điểm cuối khác, và độc lập với điểm cuối khác.

Trừ khi có quy định khác, tất cả các nhiệt độ được biểu thị theo độ C ($^{\circ}\text{C}$). Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ "điểm làm mềm" đề cập tới nhiệt độ mà tại đó độ nhớt của thủy tinh xấp xỉ là $10^{7,6}$ poa (poise) (P), thuật ngữ "điểm ủ" đề cập tới nhiệt độ mà tại đó độ nhớt của thủy tinh xấp xỉ là $10^{13,2}$ poa, thuật ngữ "nhiệt độ 200 poa ($T^{200\text{P}}$)" đề cập tới nhiệt độ mà tại đó độ nhớt của thủy tinh xấp xỉ là 200 poa, thuật ngữ "nhiệt độ 10^{11} poa" đề cập tới nhiệt độ mà tại đó độ nhớt của thủy tinh xấp xỉ là 10^{11} poa, thuật ngữ "nhiệt độ 35 kP ($T^{35\text{kP}}$)" đề cập tới nhiệt độ mà tại đó độ nhớt của thủy tinh xấp xỉ là 35 kilopoa (kP), và thuật ngữ "nhiệt độ 160 kP ($T^{160\text{kP}}$)" đề cập tới nhiệt độ mà tại đó độ nhớt của thủy tinh xấp xỉ là 160 kP.

Liên quan đến các hình vẽ nói chung và các hình vẽ từ Fig.1 đến Fig.3 nói riêng, cần hiểu rằng các minh họa là chỉ nhằm mục đích mô tả các phương án thực hiện cụ thể và không được nhằm giới hạn phần bậc lộ hoặc các yêu cầu bảo hộ kèm theo ở đó. Các hình vẽ không nhất thiết phải theo một tỷ lệ, và các dấu hiệu cụ thể và các hình cụ thể của các hình vẽ này có thể được thể hiện theo cách phóng đại về tỷ lệ hoặc dưới dạng sơ đồ để 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 gốc 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 đổi cho nhau và đề cập tới độ sâu mà tại đó ion của oxit kim loại hoặc oxit kim loại kiềm (ví dụ, ion kim loại hoặc ion kim loại kiềm) phân tán vào trong vật phẩm gốc thủy tinh và độ sâu mà tại đó nồng độ của ion đạt tới trị số tối thiểu, như được xác định bởi phân tích vi đầu dò điện tử (Electron Probe Micro-Analysis - EPMA) hoặc phổ kế phát xạ quang - phóng điện phát sáng (Glow Discharge - Optical Emission Spectroscopy - GD-OES)). Cụ thể, việc đánh giá độ sâu khuếch tán Na_2O hoặc nồng độ ion Na^+ có thể được xác định sử dụng EPMA và ứng suất kế bề mặt (được mô tả chi tiết hơn dưới đây).

Theo cách thông thường được sử dụng trong tình trạng kỹ thuật của sáng chế, ứng suất nén được biểu diễn như là ứng suất âm (< 0) và ứng suất kéo được biểu diễn là ứng suất dương (> 0). Tuy nhiên, trong toàn bộ phần mô tả này, CS được biểu thị bằng trị số dương hoặc trị số tuyệt đối – tức là, khi được nêu trong bản mô tả, $\text{CS} = |\text{CS}|$.

Được mô tả ở đây là vật phẩm gốc thủy tinh gia cường hóa học, mỏng, chứa thủy tinh, như thủy tinh silicat bao gồm thủy tinh chứa kiềm, và các gốm thủy tinh mà có thể được sử dụng làm thủy tinh phủ trong các thiết bị điện tử di động và các thiết bị hiển thị cho phép chạm. Các vật phẩm gốc 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, các hệ thống điểm bán hàng, máy tính, các hệ thống định vị, và dạng tương tự), các vật phẩm trong kiến trúc (tường, vật gắn cố định, các tấm 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, và dạng tương tự), hoặc vật phẩm bất kỳ mà cần độ bền chống nứt vỡ nhất định.

Cụ thể, các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây là mỏng và thể hiện các biên dạng ứng suất mà thường là chỉ có thể đạt được thông qua việc tôi nhiệt các vật phẩm thủy tinh dày (ví dụ, có độ dày khoảng 2 mm hoặc 3 mm hoặc lớn hơn). Các vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh được mô tả ở đây thể hiện CS bề mặt lớn hơn so với các vật phẩm thủy tinh được tôi nhiệt. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh có lớp ứng suất nén mở rộng sâu hơn vào trong vật phẩm gốc thủy tinh (trong đó CS giảm và tăng từ từ hơn so với vật phẩm gốc thủy tinh gia cường hóa học đã biết) sao cho, vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện độ bền chống nứt vỡ được cải thiện đáng kể, ngay cả khi vật phẩm gốc thủy tinh hoặc thiết bị chứa nó bị rơi trên bề mặt cứng (ví dụ, granit) hoặc bề mặt cứng và gồ ghề (ví dụ, asphalt). Các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện thể hiện trị số CT tối đa lớn hơn một số để thủy tinh gia cường hóa học đã biết.

CS và độ sâu thâm nhập của các ion kali (“DOL kali”), hoặc độ sâu của lớp hóa học “DOL” hoặc “DOL hóa học”, thường là chỉ thị của độ sâu của lớp ứng suất nén cụ thể của đỉnh nhọn bề mặt gây ra bởi các ion kali, được đo bằng cách sử dụng các phương tiện đã biết trong tình trạng kỹ thuật của sáng chế. Như được sử dụng ở đây, DOC có nghĩa là độ sâu mà tại đó ứng suất trong vật phẩm thủy tinh nhôm silicat được gia cường hóa học được mô tả ở đây thay đổi từ nén thành kéo. DOC có thể được đo bởi FSM hoặc phân cực nghiệm tán xạ ánh sáng (scattered light polariscope - SCALP) phụ thuộc vào việc xử lý trao đổi ion. FSM được sử dụng để đo DOC tại chỗ ứng suất trong vật phẩm thủy tinh được sinh ra bằng cách trao đổi các ion kali trong vật phẩm thủy tinh. SCALP được sử dụng để đo DOC tại chỗ ứng suất được sinh ra bằng cách trao đổi các ion natri trong vật phẩm thủy tinh. Tại chỗ ứng suất trong vật phẩm thủy tinh được sinh ra bằng cách trao đổi cả ion kali và natri trong thủy tinh, DOC được đo bằng SCALP do tin rằng độ sâu trao đổi ion natri biểu thị DOC và độ sâu trao đổi các ion kali biểu thị sự thay đổi về độ lớn của ứng suất nén (nhưng không phải là sự thay đổi về ứng suất từ có khuynh hướng nén

thành có khuynh hướng kéo); độ sâu trao đổi các ion kali trong các vật phẩm thủy tinh này được đo bằng FSM.

DOL kali khác biệt với DOC vì nó biểu thị độ sâu xâm nhập kali là kết quả của quá trình trao đổi ion. DOL kali thường nhỏ hơn DOC của các vật phẩm được mô tả ở đây. CS và DOL kali được đo bằng ứng suất kế bề mặt (surface stress meter - FSM) sử dụng các dụng cụ có sẵn trên thị trường như FSM-6000, được sản xuất bởi Orihara Industrial Co., Ltd. (Japan). Các số đo ứng suất bề mặt dựa trên phép đo chính xác hệ số ứng suất quang (stress optical coefficient - SOC), hệ số này có liên quan đến tính lưỡng chiết quang của thủy tinh. SOC được đo theo phiên bản sửa đổi của Quy trình C (Procedure C) được mô tả trong tiêu chuẩn ASTM C770-98 (2013), có tiêu đề “Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient”, nội dung của tài liệu này được kết hợp tham khảo ở đây. Sửa đổi bao gồm việc sử dụng đĩa thủy tinh làm mẫu có độ dày nằm trong khoảng từ 5 đến 10 mm và đường kính 12,7 mm, trong đó đĩa này đẳng hướng và đồng nhất và được khoan lỗ với cả hai mặt được đánh bóng và song song với nhau. Sửa đổi cũng bao gồm việc tính toán lực tối đa, F_{max} cần áp dụng. Lực cần phải đủ để tạo ra ứng suất nén 20 MPa hoặc cao hơn. F_{max} được tính toán như sau:

$$F_{max} = 7,854 \cdot D \cdot h$$

Trong đó:

$$F_{max} = \text{Lực tính theo N}$$

$$D = \text{đường kính của đĩa}$$

$$h = \text{độ dày của đường sáng}$$

Với mỗi lực tác dụng, ứng suất được tính toán như sau:

$$\sigma_{MPa} = 8F / (\pi \cdot D \cdot h)$$

Trong đó:

$$F = \text{Lực tính theo N}$$

$$D = \text{đường kính của đĩa}$$

h = độ dày của đường sáng

Các trị số CT tối đa được đo sử dụng phân cực nghiệm tán xạ ánh sáng (scattered light polariscope - SCALP). Phương pháp trường gần khúc xạ (Refracted near-field - RNF) hoặc SCALP có thể được sử dụng để đo biên dạng ứng suất. Khi phương pháp RNF được sử dụng, giá trị CT tối đa cung cấp bởi SCALP được sử dụng. Cụ thể, biên dạng ứng suất được đo bằng phương pháp RNF là lực được cân bằng và hiệu chỉnh đến giá trị CT tối đa cung cấp bởi phép đo SCALP. Phương pháp RNF được mô tả trong bằng sáng chế Mỹ số 8,854,623, với tên sáng chế “Systems và methods for measuring a profile characteristic of a glass sample”, được kết hợp toàn bộ ở đây bằng cách viện dẫn. Cụ thể, phương pháp RNF bao gồm bước đặt vật thể nền thủy tinh liền kề với khối tham chiếu, tạo chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực được chuyển giữa các trạng thái phân cực trực giao ở tốc độ từ 1 Hz đến 50 Hz, đo lường công suất trong chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực và tạo tín hiệu tham chiếu chuyển trạng thái phân cực, trong đó lường công suất đo được trong mỗi trạng thái phân cực trực giao nằm trong khoảng 50% so với nhau. Phương pháp này còn bao gồm bước truyền chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực qua mẫu thủy tinh và khối tham chiếu ở những độ sâu khác nhau vào mẫu thủy tinh, sau đó chuyển tiếp chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực đã truyền vào bộ phát hiện quang tín hiệu bằng cách sử dụng hệ thống quang học chuyển tiếp, với bộ phát hiện quang tín hiệu sinh ra tín hiệu bộ phát hiện chuyển trạng thái phân cực. Phương pháp này cũng bao gồm bước chia tín hiệu của bộ phát hiện cho tín hiệu tham chiếu để tạo ra tín hiệu bộ phát hiện chuẩn hóa và xác định biên dạng đặc trưng cho mẫu thủy tinh từ tín hiệu bộ phát hiện đã chuẩn hóa. Sau đó, biên dạng RNF được làm mịn và được sử dụng cho vùng CT. Như đã lưu ý ở trên, kỹ thuật FSM được sử dụng trong ứng suất nén bề mặt và độ dốc của biên dạng ứng suất ở vùng CS gần bề mặt.

Như đã nêu ở trên, các vật phẩm gốc thủy tinh mô tả ở đây được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion và thể hiện các biên dạng ứng suất khác biệt với các biên dạng ứng suất được thể hiện bởi các vật phẩm thủy tinh gia cường đã biết. Các đế gốc thủy tinh theo sáng chế thường không được gia cường và vật phẩm gốc thủy

tinh thường đề cập đến các đế gốc thủy tinh đã được gia cường (ví dụ, bằng phương pháp trao đổi ion). Trong quá trình này, các ion tại hoặc ở gần bề mặt của vật phẩm gốc 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 gốc 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 gốc thủy tinh), Na^+ , K^+ , Rb^+ , và Cs^+ . Theo 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 dạng tương tự.

Quá trình trao đổi ion điển hình được thực hiện bằng cách nhúng đế gốc thủy tinh trong bể muối nóng chảy (hoặc hai hoặc hơn hai bể muối nóng chảy) chứa các ion lớn hơn để được trao đổi với các ion nhỏ hơn trong vật liệu đế gốc thủy tinh. Cần lưu ý rằng, các bể muối chứa dung dịch nước cũng có thể được sử dụng. Ngoài ra, thành phần trong bể (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 kỹ thuật sẽ hiểu rằng các thông số cho quy trình trao đổi ion, chứa, nhưng không giới hạn ở, thành phần và nhiệt độ bể, thời gian nhúng, số lần nhúng của vật phẩm gốc thủy tinh trong bể muối (hoặc các bể), việc sử dụng của nhiều bể muối, các bước bổ sung như ủ, rửa, và dạng tương tự, nói chung là được xác định bởi thành phần của vật phẩm gốc thủy tinh (chứa cấu trúc của vật phẩm và pha tinh thể học bất kỳ nào có mặt) và DOL hoặc DOC, và CS mong muốn của vật phẩm gốc thủy tinh tạo thành từ việc gia cường. Theo cách ví dụ, việc trao đổi ion của đế gốc thủy tinh có thể đạt được bằng cách nhúng đế gốc thủy tinh 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 nhúng khác với phạm vi mô tả ở trên cũng có thể được sử dụng.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các đế gốc thủy tinh có thể được nhúng trong bể muối nóng chảy 100% NaNO_3 có nhiệt độ từ khoảng 370 °C tới khoảng 480 °C. Theo một số phương án thực hiện, đế gốc thủy tinh có thể được nhúng trong bể muối trộn lẫn nóng chảy chứa từ khoảng 5% tới khoảng 90% KNO_3 và từ khoảng 10% tới khoảng 95% NaNO_3 . Theo một số phương án, đế gốc thủy tinh có thể được nhúng trong bể muối hỗn hợp nóng chảy chứa Na_2SO_4 và NaNO_3 và có phạm vi nhiệt độ rộng hơn (ví dụ, lên đến khoảng 500°C). Theo một hoặc nhiều phương án, vật phẩm gốc thủy tinh có thể được nhúng trong bể thứ hai, sau khi nhúng trong bể thứ nhất. Việc nhúng trong bể thứ hai có thể bao gồm nhúng trong bể muối nóng chảy chứa 100% KNO_3 trong thời gian từ 15 phút đến 8 giờ.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, đế gốc thủy tinh có thể được nhúng trong bể muối hỗn hợp chứa NaNO_3 và KNO_3 (ví dụ, 49%/51%, 50%/50%, 51%/49%) có nhiệt độ dưới khoảng 420°C (ví dụ, khoảng 400°C hoặc khoảng 380°C) trong thời gian dưới khoảng 5 giờ, hoặc thậm chí khoảng 4 giờ hoặc ít hơn.

Các điều kiện trao đổi ion có thể được điều chỉnh để tạo ra “đỉnh nhọn” hoặc để gia tăng độ dốc của biên dạng ứng suất tại hoặc gần bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh thu được. Đỉnh nhọn này có thể đạt được bằng một bể hoặc nhiều bể, với (các) bể có thành phần đơn hoặc thành phần hỗn hợp, nhờ các tính chất khác biệt của các thành phần thủy tinh được sử dụng trong các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây.

Như được minh họa trên Fig.3, vật phẩm gốc thủy tinh 300 theo một hoặc nhiều phương án thực hiện bao gồm bề mặt thứ nhất 302 và bề mặt thứ hai 304 đối diện bề mặt thứ nhất, xác định rõ độ dày t . Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, độ dày t có thể là khoảng 3 milimet hoặc nhỏ hơn (ví dụ, nằm trong phạm vi 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 gốc thủy tinh 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). Theo phương án thực hiện thực hiện được thể hiện trên Fig.3, biên dạng ứng suất 312 như được đo bởi các kỹ thuật được mô tả ở đây được thể hiện cùng với biên dạng ứng suất 340 được ước lượng bởi các kỹ thuật 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 gốc thủy tinh.

Như được minh họa trên Fig.3, biên dạng ứng suất 312 chứa lớp CS 315 (với CS bề mặt 310), lớp CT 325 (với CT tối đa 320) và DOC 317 mà 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 hoặc lớp CT). Biên dạng ứng suất được ước lượng 340 chứa DOL lớn hơn DOC. Như được sử dụng ở đây, thao khảo tới DOC và DOL là liên quan tới độ sâu từ một bề mặt (hoặc là bề mặt thứ nhất 302 hoặc bề mặt thứ hai 304), với hiểu biết rằng DOC hoặc DOL này cũng có thể có mặt từ bề mặt khác.

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. Các trị số CS bề mặt được tạo ra ở đây cũng có thể bao gồm CS tối đa. Theo một số phương án thực hiện, ứng suất nén bề mặt là nhỏ hơn CS tối đa.

CT tối đa 320 có thể là khoảng 80 MPa hoặc nhỏ hơn, khoảng 75 MPa hoặc nhỏ hơn, hoặc khoảng 70 MPa hoặc nhỏ hơn (ví dụ, khoảng 60 MPa hoặc nhỏ hơn, khoảng 55 MPa hoặc nhỏ hơn, 50 MPa hoặc nhỏ hơn, hoặc khoảng 40 MPa hoặc nhỏ hơn). Theo một số phương án thực hiện, CT tối đa 320 có thể trong phạm vi từ

khoảng 25 MPa tới khoảng 80 MPa (ví dụ, từ khoảng 25 MPa tới khoảng 75 MPa, từ khoảng 25 MPa tới khoảng 70 MPa, từ khoảng 25 MPa tới khoảng 65 MPa, từ khoảng 45 MPa tới khoảng 80 MPa, từ khoảng 50 MPa tới khoảng 80 MPa, hoặc từ khoảng 60 MPa tới khoảng 80 MPa).

CT tối đa 320 có thể được định vị nằm trong phạm vi 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 gốc thủy tinh. Ví dụ, các vật phẩm gốc thủy tinh có độ dày khoảng 0,8 mm có thể có CT tối đa khoảng 75 MPa hoặc nhỏ hơn. Nếu độ dày của vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh trở nên mỏng hơn).

Theo một số phương án thực hiện, tỉ lệ của CT tối đa 320 so với CS bề mặt 310 trong phạm vi từ khoảng 0,01 tới khoảng 0,2 (ví dụ, trong phạm vi từ khoảng 0,01 tới khoảng 0,18, từ khoảng 0,01 tới khoảng 0,16, từ khoảng 0,01 tới khoảng 0,15, từ khoảng 0,01 tới khoảng 0,14, từ khoảng 0,01 tới khoảng 0,1, từ khoảng 0,02 tới khoảng 0,2, từ khoảng 0,04 tới khoảng 0,2, từ khoảng 0,05 tới khoảng 0,2, từ khoảng 0,06 tới khoảng 0,2, từ khoảng 0,08 tới khoảng 0,2, từ khoảng 0,1 tới khoảng 0,2, hoặc từ khoảng 0,12 tới khoảng 0,2). Trong các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường hóa học đã biết, tỉ lệ của CT tối đa 320 so với trị số tuyệt đối của CS bề mặt 310 là 0,2 hoặc nhỏ hơn, hoặc khoảng 0,15 hoặc nhỏ hơn. Theo một số phương án thực hiện, trị số tuyệt đối của CS bề mặt có thể là 1,5 lần (hoặc 2 lần hoặc 2,5 lần) CT tối đa hoặc lớn hơn. Theo một số phương án thực hiện, trị số tuyệt đối của CS bề mặt có thể lên tới khoảng 48 lần CT tối đa, lên tới 40 lần CT tối đa, lên tới 20 lần CT tối đa, lên tới 10 lần CT tối đa, hoặc lên tới 8 lần CT tối đa. Trị số tuyệt đối của CS bề mặt có thể trong phạm vi từ khoảng 5 lần lên tới khoảng 50 lần CT tối đa.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất 312 bao gồm CS tối đa, mà điển hình là CS bề mặt 310 và 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

thực hiện, 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 thực hiện, 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 thực hiện, DOC 317 là nhỏ hơn độ sâu hóa học 342. Độ sâu hóa học 342 có thể khoảng $0,4 \cdot t$ hoặc lớn hơn, $0,5 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khoảng $0,55 \cdot t$ hoặc lớn hơn, hoặc khoảng $0,6 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất 312 có thể được mô tả dưới hình dạng giống như hình parabol. Theo một số phương án thực hiện, biên dạng ứng suất dọc theo vùng hoặc độ sâu của vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện ứng suất kéo có hình giống hình parabol. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện cụ thể, biên dạng ứng suất 312 không có phần ứng suất (tức là, ứng suất nén hoặc kéo) phẳng hoặc không có phần thể hiện ứng suất (tức là, ứng suất nén hoặc kéo) về cơ bản là không đổi. Theo một số phương án thực hiện, vùng CT thể hiện biên dạng ứng suất về cơ bản là không có ứng suất phẳng hoặc không có ứng suất về cơ bản là không đổi. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất 312 giữa giới hạn độ dày từ khoảng $0t$ lên tới khoảng $0,2 \cdot t$ và lớn hơn $0,8 \cdot t$ (hoặc từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,3 \cdot t$ và lớn hơn $0,7 \cdot t$) chứa tang có độ nghiêng là nhỏ hơn khoảng $-0,1$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,1$ MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, độ nghiêng có thể nhỏ hơn khoảng $-0,2$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,2$ MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện cụ thể, độ nghiêng có thể nhỏ hơn khoảng $-0,3$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,3$ MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện cụ thể khác nữa, độ nghiêng 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 thực hiện dọc theo cách giới hạn độ dày này (tức là, $0 \cdot t$ lên tới khoảng $0,2 \cdot t$ và lớn hơn $0,8t$, hoặc từ khoảng $0t$ tới khoảng $0,3 \cdot t$ và $0,7 \cdot t$ hoặc lớn hơn) ngoại trừ các điểm có tang với độ nghiêng, như được mô tả ở đây. Không bị bó buộc vào lý thuyết, hàm sai số đã biết hoặc các biên dạng

ứng suất giả tuyến tính có các điểm dọc theo các phạm vi độ dày này (tức là, từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới khoảng $0,2 \cdot t$ và lớn hơn $0,8 \cdot t$, hoặc từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,3 \cdot t$ và $0,7 \cdot t$ hoặc lớn hơn) có thể có tang với độ nghiêng là trong phạm vi từ khoảng $-0,1$ MPa/micromet tới khoảng $0,1$ MPa/micromet, (chỉ thị biên dạng ứng suất phẳng hoặc có độ nghiêng bằng không dọc theo các giới hạn độ dày này, như được thể hiện trên Fig.2, 220). Các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế này không thể hiện biên dạng ứng suất có biên dạng ứng suất có độ dốc phẳng hoặc bằng 0 như vậy dọc theo phạm vi độ dày này, như được thể hiện trên Fig.3.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện biên dạng ứng suất trong giới hạn độ dày từ khoảng $0,1 \cdot t$ tới $0,3 \cdot t$ và từ khoảng $0,7 \cdot t$ tới $0,9 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng tối đa và tang với độ nghiêng tối thiểu. Trong một số trường hợp, chênh lệch giữa độ nghiêng tối đa và độ nghiêng 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 các phương án thực hiện khác, giới hạn độ dày mà trong đó khác biệt giữa độ nghiêng tối đa và độ nghiêng tối thiểu sẽ nằm trong các giới hạn nêu trên bao gồm lên tới khoảng $0,02 \cdot t$ và lớn hơn $0,980 \cdot t$, ví dụ lên tới khoảng $0,0250 \cdot t$ và lớn hơn $0,9750 \cdot t$, hoặc lên tới khoảng $0,0275 \cdot t$ và lớn hơn $0,9725 \cdot t$, hoặc lên tới khoảng $0,030 \cdot t$ và lớn hơn $0,970 \cdot t$, hoặc lên tới khoảng $0,0350 \cdot t$ và lớn hơn $0,9650 \cdot t$.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh có biên dạng ứng suất 312 hầu như không chứa bất kỳ đoạn phẳng nào mà kéo dài theo chiều sâu hoặc dọc theo ít nhất một phần của độ dày t của vật phẩm gốc thủy tinh. Nói cách khác, biên dạng ứng suất 312 cơ bản gia tăng hoặc giảm một cách liên tục dọc theo độ dày t . Theo một số phương án thực hiện, biên dạng ứng suất hầu như không chứa bất kỳ đoạn phẳng nào theo chiều sâu có độ dài khoảng 10 micromet hoặc lớn hơn, khoảng 50 micromet hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 100 micromet hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 200 micromet hoặc lớn hơn. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “phẳng” để chỉ độ nghiêng có độ lớn nhỏ hơn khoảng 5 MPa/micromet, hoặc

nhỏ hơn khoảng 2 MPa/micromet dọc theo đoạn phẳng. Theo một số phương án thực hiện, một hoặc nhiều phần của biên dạng ứng suất mà hầu như không chứa bất kỳ đoạn phẳng nào theo hướng độ sâu có mặt ở các độ sâu bên trong vật phẩm gốc thủy tinh ở khoảng 5 micromet hoặc lớn hơn (ví dụ, 10 micromet hoặc lớn hơn, hoặc 15 micromet hoặc lớn hơn) từ một hoặc cả hai bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai. Ví dụ, dọc theo độ sâu khoảng 0 micromet tới nhỏ hơn khoảng 5 micromet tính từ bề mặt thứ nhất, biên dạng ứng suất có thể bao 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 về cơ bản là không chứa các đoạn phẳng. Như được sử dụng ở đây “tuyến tính” bao gồm các đoạn đường có độ nghiêng phẳng cũng như các đoạn không có độ nghiêng phẳng, ví dụ cho trường hợp sau, xem Fig.6, nằm trong độ sâu khoảng 12 micron từ bề mặt.

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

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh có thể được mô tả liên quan đến hình dạng của biên dạng ứng suất dọc theo vùng CT (327 trên Fig.3). Ví dụ, theo một số phương án thực hiện, 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 thực hiện, 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 gốc thủy tinh, ứng suất(x)= MaxCT , và $x=t$ là bề mặt đối diện (304, trên Fig.3). MaxCT được sử dụng trong phương trình (1) có thể trong phạm vi từ khoảng 50 MPa tới khoảng 80 MPa (ví dụ, từ khoảng 60 MPa tới khoảng 80 MPa, từ khoảng 70 MPa tới khoảng 80 MPa, từ khoảng 50 MPa tới khoảng 75 MPa, từ khoảng 50 MPa tới khoảng 70 MPa, hoặc từ khoảng 50 MPa tới khoảng 65 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 dạng parabol, các mũ khác $n \neq 2$ tạo ra các biên dạng ứng suất với các biên dạng ứng suất gần parabol.

Theo một số phương án thực hiện, biên dạng ứng suất có thể được biến đổi bằng cách xử lý nhiệt. Theo các phương án thực hiện 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 thực hiện, việc xử lý nhiệt có thể làm giảm độ nghiêng của biên dạng ứng suất tại hoặc gần bề mặt. Theo một số phương án thực hiện, trong đó độ dốc lớn hoặc độ nghiêng lớn hơn là mong muốn tại bề mặt thì quy trình trao đổi ion sau khi xử lý nhiệt có thể được sử dụng để tạo ra "đỉnh nhọn" hoặc để tăng độ nghiêng của biên dạng ứng suất tại hoặc gần bề mặt.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất 312 (và/hoặc biên dạng ứng suất được ước lượng 340) được sinh ra do nồng độ khác không của oxit (các oxit) kim loại thay đổi dọc theo phần của độ dày, ví dụ dọc theo đoạn độ dày khoảng 10 micromet, 100 micromet, hoặc toàn bộ độ dày. Sự biến thiên nồng độ này ở đây có thể được đề cập như là gradien. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo giới hạn độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,3 \cdot t$. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ oxit kim loại là khác 0 và biến thiên dọc theo phạm vi 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 gốc thủy tinh. Sự biến thiên nồng độ này có thể là liên tục dọc theo các phạm vi 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 có nồng độ khác 0 và biến thiên dọc theo phần của độ dày có thể được mô tả là tạo ra ứng suất trong vật phẩm gốc thủy tinh.

Sự biến thiên nồng độ này có thể là liên tục dọc theo các phạm vi 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 phạm vi từ khoảng 10 micromet đến khoảng 30 micromet. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của oxit kim loại giảm từ bề mặt thứ nhất tới trị số tại điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ trị số tới 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 thực hiện, 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 quá trình trao đổi ion, thì nồng độ của các ion K^+ trong vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh này, vùng ở bề mặt hoặc gần bề mặt có CS lớn hơn do lượng các ion lớn hơn (tức là ion K^+) 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 nghiêng 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 để gốc thủy tinh, như đã mô tả trên đây trong bản mô

tả, trong đó nhiều ion kim loại thứ nhất trong đế gốc 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 natri, kali, rubidi, và cesi, 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 mặt trong đế gốc 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 thực hiện, gradien nồng độ oxit kim loại kéo dài qua phần về cơ bản là có độ dày t hoặc toàn bộ độ dày t của vật phẩm gốc thủy tinh, bao gồm lớp CT 327. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, nồng độ oxit kim loại là khoảng 0,5% mol hoặc lớn hơn trong lớp CT 327. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của oxit kim loại có thể khoảng 0,5 % mol hoặc lớn hơn (ví dụ, khoảng 1 % mol hoặc lớn hơn) dọc theo toàn bộ độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh, và là lớn nhất tại bề mặt thứ nhất 302 và/hoặc bề mặt thứ hai 304 và giảm về cơ bản là không đổi tới trị số tại điểm giữa bề mặt thứ nhất 302 và bề mặt thứ hai 304. Tại điểm 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 0. 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 thực hiện, nồng độ thấp nhất của oxit kim loại cụ thể là ở lớp CT 327. Tổng nồng độ của oxit kim loại cụ thể trong vật phẩm gốc thủy tinh có thể nằm trong phạm vi từ khoảng 1% mol đến khoảng 20% mol.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc 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 nằm trong phạm vi từ khoảng 0% mol đến khoảng 15% mol dọc theo phạm vi độ dày thứ nhất từ khoảng $0t$ đến khoảng $0,5t$, và nồng độ oxit kim loại thứ hai nằm trong phạm vi từ khoảng 0% mol đến khoảng 10% mol từ phạm vi độ dày thứ hai từ khoảng 0 micromet đến khoảng 25 micromet (hoặc từ khoảng 0 micromet đến khoảng 12 micromet); tuy nhiên, nồng độ của một hoặc cả hai oxit kim loại thứ nhất và oxit kim loại thứ hai là khác 0 dọc theo phần cơ bản hoặc toàn bộ độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh. Vật phẩm gốc thủy tinh có thể chứa nồng độ oxit kim

loại thứ ba tùy ý. Oxit kim loại thứ nhất có thể bao gồm Na_2O trong khi oxit kim loại thứ hai có thể bao 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 gốc thủy tinh trước khi được biến đổi để có gradien nồng độ của oxit kim loại này.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các vật phẩm gốc 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 thực hiện, khi bị nứt vỡ, các vật phẩm gốc thủy tinh vỡ thành 2 hoặc hơn hai mảnh cho mỗi in-sơ vuông (hoặc cho mỗi 6,4516 cm vuông) của vật phẩm gốc thủy tinh (trước khi nứt vỡ), trong đó, kích cỡ mẫu là hình vuông 5,08 cm x 5,08 cm (2 in-sơ x 2 in-sơ). Trong một số trường hợp, các vật phẩm gốc thủy tinh vỡ thành 3 hoặc hơn ba, 4 hoặc hơn 4, 5 hoặc hơn 5, hoặc 10 hoặc hơn 10 mảnh cho mỗi in-sơ vuông (hoặc cho mỗi 6,4516 cm vuông) của vật phẩm gốc thủy tinh (trước khi vỡ), trong đó, kích cỡ mẫu là hình vuông 5,08 cm x 5,08 cm (2 in-sơ x 2 in-sơ). Trong một số trường hợp, khi bị vỡ, các vật phẩm gốc thủy tinh vỡ thành các mảnh sao cho 50% hoặc lớn hơn các mảnh có diện tích bề mặt nhỏ hơn 5%, nhỏ hơn 2%, hoặc nhỏ hơn 1% của diện tích bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh (trước khi vỡ). Theo một số phương án thực hiện, khi bị nứt vỡ, các vật phẩm gốc thủy tinh nứt vỡ thành các mảnh sao cho 90% hoặc lớn hơn hoặc thậm chí là 100% các mảnh có diện tích bề mặt là nhỏ hơn 5%, nhỏ hơn 2%, hoặc nhỏ hơn 1% của diện tích bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh (trước khi nứt vỡ).

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, sau khi gia cường hóa học vật phẩm gốc thủy tinh, biên dạng ứng suất thu được 317 (và biên dạng ứng suất ước tính 340) của vật phẩm gốc thủy tinh tạo ra khả năng chống nứt vỡ được cải thiện. Ví dụ, theo một số phương án thực hiện, khi nứt vỡ, vật phẩm gốc thủy tinh chứa các mảnh có kích thước mặt cắt ngang dài nhất trung bình là nhỏ hơn hoặc bằng khoảng $0,2 \cdot t$ (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 thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh có thể thể hiện độ bền chống nứt vỡ (K_{IC}) 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 phạm vi từ khoảng $0,7 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ đến khoảng $1 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. Trị số độ bền chống nứt vỡ (K_{IC}) được trích dẫn trong phần bộc lộ này đề cập tới trị số như được đo bởi phương pháp thanh ngắn được cắt khắc hình chữ V (chevron notched short bar - CNSB) được bộc lộ trong tài liệu của Reddy, K.P.R. và cộng sự, "Fracture Toughness Measurement of Glass và Ceramic Materials Using Chevron-Notched Specimens," J. Am. Ceram. Soc., 71 [6], C-310-C-313 (1988) ngoại trừ Y^*_m được tính toán sử dụng phương trình 5 của Bubsey, R.T. và cộng sự, "Closed-Form Expressions for Crack-Mouth Displacement và Stress Intensity Factors for Chevron-Notched Short Bar và Short Rod Specimens Based on Experimental Compliance Measurements," NASA Technical Memorandum 83796, pp. 1-30 (Tháng 10, 1992).

Theo một số phương án thực hiện, để 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 gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể có năng lượng kéo dãn từ nằm trong khoảng từ lớn hơn 0 J/m^2 đến khoảng 20 J/m^2 . Trong một số trường hợp, năng lượng kéo dãn 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 dãn được tính toán theo phương trình (2) sau:

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

trong đó, ν là tỷ lệ Poisson, E là suất Young (tính bằng MPa), σ là ứng suất (tính theo MPa) và phép tích phân được tính toán ngang qua độ dày (tính bằng micron) của duy nhất vùng ứng suất kéo.

Các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây nói chung là có suất đàn hồi hoặc suất Young nhỏ hơn khoảng 80 GPa. Suất đàn hồi này là nội tại bên trong thành phần của vật phẩm dựa vào thủy tinh, có thể có độ cứng cao mong muốn, đây là đặc tính ngoại sinh, cho vật phẩm gốc thủy tinh cuối cùng được tạo ra từ đó. Để rõ ràng, trừ khi loại việc đo suất đàn hồi cụ thể được chỉ thị một cách rõ ràng, suất đàn hồi được mô tả ở đây sẽ là suất Young của vật liệu, hơn là, ví dụ, mô đun trượt, mô đun khối, hệ số Poisson, và dạng tương tự.

Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh có độ nhớt đường lỏng cao cho phép tạo ra các vật phẩm gốc thủy tinh thông qua các kỹ thuật kéo xuống (ví dụ, kéo nóng chảy, kéo qua khe, và các phương pháp tương tự khác), các kỹ thuật này có thể tạo ra độ nhẵn bề mặt có độ chính xác cao. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “độ nhớt đường lỏng” để chỉ độ nhớt của thủy tinh nóng chảy ở nhiệt độ đường lỏng, trong đó thuật ngữ “nhiệt độ đường lỏng” để chỉ nhiệt độ mà tại đó, các tinh thể trước tiên xuất hiện khi thủy tinh nóng chảy lạnh xuống từ nhiệt độ nóng chảy (hoặc nhiệt độ mà tại đó, các tinh thể cuối cùng nóng chảy khi nhiệt độ được tăng lên từ nhiệt độ trong phòng). Độ nhớt đường lỏng được xác định bằng phương pháp sau. Trước tiên, nhiệt độ đường lỏng của thủy tinh được đo tuân theo tiêu chuẩn ASTM C829-81 (2015), với tiêu đề tài liệu là “Standard Practice for Measurement of Liquidus Temperature of Glass by the Gradient Furnace Method”. Tiếp theo, độ nhớt của thủy tinh ở nhiệt độ đường lỏng được đo tuân theo tiêu chuẩn ASTM C965-96(2012), với tiêu đề tài liệu là “Standard Practice for Measuring Viscosity of Glass Above the Softening Point”. Nói chung, các vật phẩm gốc thủy tinh (hoặc các thành phần được sử dụng để tạo ra các vật phẩm này) mô tả ở đây có độ nhớt đường lỏng khoảng 100 kilopoa (kP) hoặc lớn hơn. Trong những tình huống trong đó đòi hỏi độ nhớt đường lỏng cao hơn trong khả năng xử lý kéo xuống, thì các vật phẩm gốc thủy tinh (hoặc các thành phần được sử dụng để tạo ra các vật phẩm này) thể hiện độ nhớt đường lỏng khoảng 200 kP hoặc lớn hơn (ví dụ, khoảng 600 kP hoặc lớn hơn).

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện ngưỡng cào xước nứt vỡ ngang Knoop (Knoop Lateral Cracking Scratch

Threshold) trong phạm vi từ khoảng 4 N tới khoảng 7 N, từ khoảng 4,5 N tới khoảng 7 N, từ khoảng 5 N tới khoảng 7 N, từ khoảng 4 N tới khoảng 6,5 N, từ khoảng 4 N tới khoảng 6 N, hoặc từ khoảng 5 N tới khoảng 6 N. Như được sử dụng ở đây, ngưỡng cào xước nứt vỡ ngang Knoop là sự bắt đầu nứt vỡ ngang (trong 3 hoặc hơn ba trong số 5 sự kiện ấn lõm) mở rộng bằng hoặc lớn hơn 2 hai lần chiều rộng của rãnh cào xước vi rãnh, được tạo thành sử dụng bộ phận ấn lõm Knoop. Theo một số phương án thực hiện, ngưỡng cào xước nứt vỡ ngang Knoop có thể trong phạm vi là từ khoảng 10 tới khoảng 16 N. Như được sử dụng ở đây, ngưỡng cào xước nứt vỡ ngang Knoop là sự bắt đầu của việc nứt vỡ ngang (trong 3 hoặc hơn ba trong số 5 sự kiện ấn lõm). Các chuỗi của các vết cào xước tải không đổi tăng dần (tối thiểu 3 cho mỗi tải, nhưng nhiều tải hơn cũng có thể được sử dụng để tăng mức tin cậy) được thực hiện để nhận diện ngưỡng cào xước Knoop. Trong thử nghiệm ngưỡng nứt vỡ ngang cào xước Knoop, với từng tải, các mẫu của các đế thủy tinh và/hoặc các vật phẩm được cào xước với bộ phận ấn lõm Knoop qua chiều dài 10mm với tốc độ là 0,25 mm/s. Khoảng giới hạn ngưỡng xước Knoop có thể được xác định bằng cách so sánh mẫu thử nghiệm với một trong 3 phương thức hư hỏng sau: 1) các vết nứt bề mặt bên còn lại lớn hơn hai lần độ rộng của rãnh, 2) sự tổn hại được duy trì bên trong rãnh, nhưng có các vết nứt bề mặt bên nhỏ hơn hai lần độ rộng của rãnh và có sự tổn hại nhìn thấy được bằng mắt thường, hoặc 3) sự có mặt của các vết nứt bên dưới bề mặt bên lớn hơn hai lần độ rộng của rãnh và/hoặc có vết nứt trung bình tại đỉnh của vết xước. Ngưỡng cào xước sau đó là tải cao nhất không xuất hiện trong ba hoặc hơn ba trong 5 sự kiện.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện ngưỡng nứt vỡ ấn lõm Vickers trong phạm vi từ khoảng 10 kg lực hoặc lớn hơn, khoảng 12 kg lực hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 15 kg lực hoặc lớn hơn. Như được sử dụng ở đây, ngưỡng nứt vỡ ấn lõm (hoặc ngưỡng bắt đầu nứt vỡ Vickers) được đo bởi bộ phận ấn lõm Vickers. Ngưỡng nứt vỡ ấn lõm Vickers là số đo khả năng chịu phá hủy ấn lõm của thủy tinh. Thử nghiệm tham gia vào việc sử dụng của bộ phận ấn lõm kim cương hình kim tự tháp để hình vuông với góc 136° giữa các mặt, được đề cập tới như là bộ phận ấn lõm Vickers. Bộ phận ấn lõm Vickers là

giống như được sử dụng trong thử nghiệm độ cứng tế vi tiêu chuẩn (tham khảo tiêu chuẩn ASTM-E384-11). Tối thiểu năm mẫu được chọn để thể hiện loại thủy tinh và/hoặc dòng quan tâm. Với mỗi mẫu, nhiều bộ năm việc ấn lõm được đưa vào bề mặt mẫu. Mỗi bộ năm việc ấn lõm được đưa vào tại tải đã cho, với mỗi việc ấn lõm riêng rẽ được tách biệt bởi tối thiểu 5 mm và không gần hơn 5 mm tới cạnh mẫu. Tốc độ tải/dỡ tải của bộ phận ấn lõm là 50 kg/phút được sử dụng cho các tải được thử nghiệm ≥ 2 kg. Với các tải thử nghiệm < 2 kg, tốc độ 5 kg/phút sẽ được sử dụng. Thời gian dừng (tức là, giữ) 10 giây tại tải mục tiêu sẽ được sử dụng. Máy sẽ duy trì việc điều khiển tải trong suốt quá trình dừng. Sau chu kỳ ít nhất là 12 giờ, các việc ấn lõm được khảo sát dưới ánh sáng được phản xạ sử dụng tổ hợp kính hiển vi tại độ phóng đại 500X. Sự có mặt hoặc vắng mặt của các vết nứt ở giữa/theo hướng kính, hoặc các nứt vỡ mẫu sẽ được ghi lại cho từng việc ấn lõm. Chú ý rằng việc hình thành của các vết nứt ngang không được xem là chỉ thị của hành vi ngưỡng thể hiện do việc tạo thành của các vết nứt ở giữa/theo hướng kính được quan tâm, hoặc việc nứt vỡ mẫu, cho thử nghiệm này. Trị số ngưỡng mẫu được xác định làm điểm giữa của các tải ấn liên tiếp thấp nhất với khoảng lớn hơn 50% của ngưỡng gặp các việc ấn riêng rẽ. Ví dụ, nếu nằm trong mẫu riêng rẽ 2 trong 5 (40%) việc ấn lõm được tạo ra tại tải 5 kg có ngưỡng vượt quá, và 3 trong 5 (60%) việc ấn lõm được tạo ra tại tải 6 kg có ngưỡng vượt quá thì trị số ngưỡng mẫu như được xác định tại điểm giữa của 5 kg và 6 kg, hoặc 5,5 kg. Trị số ngưỡng trung bình mẫu được xác định là trung bình số học của các trị số ngưỡng mẫu riêng rẽ. Cùng với trị số trung bình, khoảng giới hạn (trị số thấp nhất tới trị số cao nhất) của tất cả các điểm giữa mẫu sẽ được báo cáo cho từng mẫu. Môi trường trước khi thử nghiệm, khi thử nghiệm và sau khi thử nghiệm được giám sát tới $23 \pm 2^\circ\text{C}$ và $50 \pm 5\%\text{RH}$ để tối thiểu hóa thay đổi trong hành vi mỏi (bào mòn ứng suất) của các mẫu thủy tinh. Cần hiểu rằng khi thử nghiệm đầu tiên, hợp phần hoặc dòng không quen thuộc, các tải ấn lõm được yêu cầu và độ tăng khoảng giới hạn được xác định bằng cách thực hiện “việc tìm kiếm lặp lại.” Khi độ quen thuộc với hiệu quả của mẫu đã tăng, thử nghiệm tương lai có thể được tạo luồng bằng cách chỉ thử nghiệm các tải gần với ngưỡng được mong đợi, và sau đó “điền” các tải tăng bổ sung chỉ khi cần thiết.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các vật phẩm gốc 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 định nghĩa là ứng suất tại đó sự nứt gãy xảy ra. Thử nghiệm AROR là phép đo độ bền bề mặt trong thử nghiệm các mẫu thủy tinh phẳng, và ASTM C1499-09(2013), với tiêu đề “Standard Test Method for Monotonic Equibiaxial Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature”, sẽ dùng làm cơ sở cho phương pháp luận thử nghiệm AROR được mô tả ở đây. Toàn bộ nội dung của tiêu chuẩn ASTM C1499-09 được kết hợp làm tham khảo trong sáng chế này. Theo một phương án thực hiện, mẫu thủy tinh được mài mòn trước khi thử nghiệm vòng trên vòng bằng các hạt silic cabua (SiC) 90 grit được phân phối 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 thử nghiệm vòng trên vòng, bề mặt của vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh ở mức tải 15 psi sử dụng áp suất không khí 304 kPa (44 psi); mặc dù trong các ví dụ dưới đây, vật liệu mài mòn được phun cát lên bề mặt 110 ở các mức tải khác (ví dụ, 25 psi hoặc 45 psi). 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 AROR, vật phẩm gốc 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 một vật liệu có khả năng trụ vững khi được cho tiến hành uốn giữa hai vòng đồng tâm), như cũng được thể hiện trên Fig.4. Trong cấu hình AROR 400, vật phẩm gốc thủy

tinh mài mòn 410 được đỡ bằng vòng đỡ 420 có đường kính D2. Lực F được áp dụng bằng cảm biến lực (không được thể hiện) lên bề mặt của vật phẩm gốc 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 cần được sắp thẳng hàng đồng tâm với mức trong khoảng 0,5% đường kính vòng đỡ D2. Cảm biến lực được sử dụng để thử nghiệm cần chính xác đến mức trong khoảng $\pm 1\%$ tải trọng bất kỳ trong khoảng đã 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 gốc thủy tinh 410. Vòng tải 430 và vòng đỡ 420 thường được làm từ thép cứng với độ cứng HRC > 40. Bộ gá lắp AROR có sẵn trên thị trường.

Cơ chế hư hỏng dự tính đối với thử nghiệm AROR là quan sát sự nứt vỡ của vật phẩm gốc thủy tinh 410 bắt đầu từ bề mặt 430a trong vòng tải 430. Các hư hỏng diễn ra ngoài vùng này – tức là, giữa các vòng tải 430 và các vòng đỡ 420 – được bỏ qua không phân tích dữ liệu. Tuy nhiên, do độ mỏng và độ bền cao của vật phẩm gốc thủy tinh 410, nên đôi khi độ lệch lớn hơn $\frac{1}{2}$ độ dày mẫu h sẽ được quan sát thấy. Do đó, sẽ hiếm gặp phần trăm hư hỏng cao sinh ra 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 trọng đỉnh tại điểm hư hỏng như là đáp ứng đo được.

Độ bền của vật phẩm gốc thủy tinh tùy thuộc vào sự có mặt của các khuyết tật bề mặt. Tuy nhiên, khả năng có mặt của khuyết tật với kích cỡ nhất định không thể dự báo được một cách chính xác, vì về bản chất, độ bền của thủy tinh là mang 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 thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh mô tả ở đây có độ bền uốn bề mặt hoặc độ bền uốn đẳng lưỡng trục là 20 kg lực hoặc cao hơn, và đến khoảng 30 kg lực như được xác định bằng thử nghiệm AROR sử dụng tải 25 psi hoặc thậm chí 45 psi để mài mòn bề mặt. Theo các phương án khác, độ bền bề mặt là 25 kg lực hoặc cao hơn, và theo các phương án khác nữa, thậm chí là 30 kg lực hoặc cao hơn.

Theo một số phương án, các vật phẩm gốc thủy tinh mô tả ở đây có thể được mô tả về đặc tính trong thử nghiệm bi ngược trên giấy ráp (inverted ball on sandpaper - IBoS). Thử nghiệm IBoS là thử nghiệm thành phần động bất chước cơ chế thất bại do việc tạo ra phá hủy cộng với việc uốn cong thường xuất hiện trong các vật phẩm gốc thủy tinh được sử dụng trong các thiết bị điện tử di động hoặc cầm tay, như được thể hiện sơ lược trên Fig.27A. Trong lĩnh vực này, việc tạo ra phá hủy (a trên Fig.27A) xuất hiện tại bề mặt trên của vật phẩm gốc thủy tinh. Nứt vỡ khởi tạo trên bề mặt trên của vật phẩm gốc thủy tinh và phá hủy hoặc là thâm nhập vào vật phẩm gốc thủy tinh (b trên Fig.27A) hoặc là nứt vỡ lan truyền từ việc uốn trên bề mặt trên hoặc từ các phần bên trong của vật phẩm gốc thủy tinh (c trên Fig.27A). Thử nghiệm IBoS được thiết kế để đồng thời tạo phá hủy cho bề mặt của thủy tinh và tác dụng lực uốn dưới tải động. Trong một số trường hợp, vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện tính năng thả rơi được cải thiện hơn khi nó có ứng suất nén, hơn là so với vật phẩm gốc thủy tinh tương tự nhưng không có ứng suất nén.

Thiết bị thử nghiệm IBoS được thể hiện sơ lược trên Fig.27B. Thiết bị 500 bao gồm giá thử nghiệm 510 và bi 530. Bi 530 là bi cứng hoặc rắn như, ví dụ, bi thép không gỉ, hoặc dạng tương tự. Theo một phương án thực hiện, bi 530 là bi thép không gỉ 4,2 gam có đường kính 10 mm. Bi 530 được thả rơi trực tiếp lên mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 từ độ cao 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 thực hiện, tấm 514 là giấy ráp có bề mặt có độ nhám là 30 grit và, theo các phương án thực hiện khác, bề mặt có độ nhám là 180 grit. Mẫu vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh 518 và tấm 514. Khe không khí 516 giữa tấm 514 và mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 cho phép mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 uốn cong khi va chạm bằng bi 530 và lên bề mặt nhám của tấm 514. Theo một phương án thực hiện, mẫu vật phẩm gốc 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 thực hiện, bộ phận giữ mẫu 514 và giá thử nghiệm 510 được thiết kế thích hợp để phù hợp với độ dày mẫu lên đến khoảng 2 mm. Khe không khí 516 nằm 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 (suất Young, Emod), và cả mô đun 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 gốc thủy tinh để thu thập các mảnh vỡ trong trường hợp có sự nứt rạn mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 khi va chạm với bi 530.

Các vật liệu khác nhau có thể được sử dụng làm bề mặt nhám. Theo một phương án thực hiện cụ thể, bề mặt nhám là giấy ráp, như giấy ráp silic cacbua hoặc nhôm oxit, giấy ráp 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 sắc có thể so sánh được. Theo một số phương án thực hiện, giấy ráp có độ nhám 30 grit có thể được sử dụng, vì nó có địa hình bề mặt đồng nhất hơn so với bê tông hoặc nhựa đường, và cỡ hạt và độ sắc tạo ra mức hư hỏng mong muốn trên bề mặt mẫu.

Theo một khía cạnh, phương pháp 600 để tiến hành thử nghiệm IBoS sử dụng thiết bị 500 mô tả ở trên được thể hiện trong Fig.28. Trong bước 610, mẫu vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh 518 và tấm 514 với bề mặt nhám. Phương pháp 600 giả định rằng tấm 514 với bề mặt nhám đã được đặt trong giá thử nghiệm 510. Tuy nhiên, theo một số phương án thực hiện, phương pháp này có thể bao gồm bước 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 thực hiện (bước 610a), băng dính 520

được đưa lên bề mặt trên của mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 trước khi giữ mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 nằm trong kẹp 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 gốc 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 gốc thủy tinh 518 sẽ được xác định (bước 630). Như đã được mô tả trên đây, thuật ngữ “nứt vỡ” có nghĩa là vết nứt lan truyền qua toàn bộ chiều dày và/hoặc toàn bộ bề mặt của đế khi đế này bị thả rơi hoặc bị tác động bởi vật thể.

Trong phương pháp 600, tấm 518 với bề mặt nhám có thể được thay thế sau từng việc rơi để loại bỏ các hiệu ứng “già hóa” quan sát được khi sử dụng lặp lại các loại khác (ví dụ, bê tông hoặc nhựa đường) làm bề mặt thử nghiệm rơi.

Các độ cao thả rơi định trước h khác nhau và các gia số thường được sử dụng trong phương pháp 600. Thử nghiệm này có thể, ví dụ, sử dụng độ cao thả rơi tối thiểu để bắt đầu (ví dụ, khoảng 10-20 cm). Sau đó độ cao này có thể được tăng lên trong các lần rơi tiếp theo với lượng tăng cố định hoặc thay đổi. Thử nghiệm được mô tả trong phương pháp 600 được dừng lại khi mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 vỡ hoặc nứt vỡ (bước 631). Theo cách khác, nếu độ cao thả rơi h đạt đến độ cao thả rơi tối đa (ví dụ, khoảng 100 cm) mà không có sự nứt vỡ, thì thử nghiệm thả 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 thực hiện, thử nghiệm IBoS của phương pháp 600 được tiến hành chỉ một lần trên mỗi một mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 tại mỗi một độ cao định trước h. Tuy nhiên, theo các phương án thực hiện khác, mỗi một mẫu có thể được cho tiến hành nhiều thử nghiệm tại mỗi từng độ cao.

Nếu việc nứt vỡ của mẫu vật phẩm gốc thủy tinh 518 xuất hiện (bước 631 trên Fig.28), thì thử nghiệm IBoS theo phương pháp 600 được kết thúc (bước 640). Nếu

không quan sát thấy sự nứt vỡ khi thả rơi bi ở độ cao rơi định trước (bước 632), thì độ cao thả rơi được tăng lên với lượng tăng định trước (bước 634) – như, ví dụ 5, 10, hoặc 20 cm – và các bước 620 và 630 được lặp lại cho đến khi quan sát thấy sự nứt vỡ mẫu (631) hoặc khi 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 cho tiến hành thử nghiệm thử nghiệm bi ngược trên giấy nhám (IBoS) mô tả ở trên, các phương án thực nghiệm của vật phẩm gốc thủy tinh mô tả ở đây có tỷ lệ sống sót khoảng 60% hoặc cao hơn khi bi được thả rơi lên bề mặt của thủy tinh từ độ cao 100 cm. Ví dụ, vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả là có tỷ lệ sống sót 60% khi được thả rơi từ độ cao nhất định khi 3 trong số 5 mẫu giống nhau (hoặc gần giống nhau) (tức là, có thành phần gần như nhau và, khi được gia cường, gần như có cùng ứng suất nén và độ sâu nén hoặc lớp ứng suất nén, như được mô tả ở đây) tồn tại sau thử nghiệm thả rơi IBoS mà không bị nứt vỡ khi được thả rơi từ độ cao đã định (ở đây là 100 cm). Theo các phương án thực hiện khác, tỷ lệ sống sót trong thử nghiệm IBoS độ cao 100 cm của các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường là khoảng 70% hoặc cao hơn, theo các phương án thực hiện khác, là khoảng 80% hoặc cao hơn, và theo các phương án khác nữa, là khoảng 90% hoặc cao hơn. Theo các phương án thực hiện khác, tỷ lệ sống sót của các vật phẩm gốc thủy tinh gia cường được rơi từ độ cao 100 cm trong thử nghiệm IBoS là khoảng 60% hoặc cao hơn, theo các phương án thực hiện khác, là khoảng 70% hoặc cao hơn, theo các phương án thực hiện khác nữa, là khoảng 80% hoặc cao hơn, và, theo các phương án thực hiện khác, là khoảng 90% hoặc cao hơn. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tỷ lệ sống sót của các vật phẩm gốc thủy tinh gia cường được rơi từ độ cao 150 cm trong thử nghiệm IBoS là khoảng 60% hoặc cao hơn, theo các phương án thực hiện khác, khoảng 70% hoặc cao hơn, theo các phương án thực hiện khác nữa, là khoảng 80% hoặc cao hơn, và theo các phương án thực hiện khác, là khoảng 90% hoặc cao hơn.

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

Đề cập tới các hình vẽ Fig. 29 đến Fig.33, phương án thực hiện của thiết bị 1100 cho thử nghiệm tác động thay thế có để dễ vỡ được thể hiện; thiết bị này được sử dụng để thực hiện “thử nghiệm ngưỡng tác động - Impact Threshold Testing” trên cả bề mặt chính của mẫu và cạnh của mẫu. Thiết bị 1100 bao gồm con lắc 1102 chứa quả lắc 1104 được gắn vào điểm tựa 1106. Quả lắc trên con lắc là một quả nặng được treo từ điểm tựa và được nối với điểm tựa bằng cánh tay đòn. Do đó, quả lắc 1104 thể hiện trong các hình vẽ được nối với chốt 1106 bằng cánh tay đòn 1108, cánh tay đòn này có thể ở dạng vòng, hoặc thanh hoặc nhiều thanh, như hai thanh như được thể hiện. Như được thể hiện rõ nhất trên Fig.33, quả lắc 1104 có vị trí cân bằng 1105 được thể hiện là đường nét chấm sao cho góc β bằng 0. Nói cách khác, cánh tay đòn 1108 không ở vị trí được nâng lên.

Quả lắc 1104 chứa bộ 1110 để nhận để dễ vỡ. Như có thể thấy chi tiết rõ hơn trên Fig.34, bộ 1110 để nhận để dễ vỡ 1112 có hai đầu cuối 1114, 1116, bề mặt bên trong 1113 và bề mặt bên ngoài 1115. Bộ 1110 có đầu cuối thứ nhất 1120 và đầu

cuối thứ hai 1122, và bề mặt cong 1124 định rõ bán kính uốn cong giữa đầu thứ nhất 1120 và đầu thứ hai 1122. Vật liệu thích hợp cho bộ 1110 là kim loại. Bề mặt cong 1124 có đỉnh 1125.

Thiết bị 1100 theo một hoặc nhiều phương án thực hiện còn chứa bộ phận cố định thứ nhất 1130 và bộ phận cố định thứ hai 1132 để giữ hai đầu cuối 1114, 1116 của đế dễ vỡ 1112 và đề tác dụng lực để uốn đế dễ vỡ 1112 quanh bề mặt cong 1124 và để ép đế dễ vỡ theo bán kính cong. Bằng cách uốn vật đế dễ vỡ 1112, đế dễ vỡ có đỉnh 1127 đi theo với đỉnh 1125 của bề mặt cong 1124. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện cụ thể, bề mặt cong 1124 và độ cong của đế giòn dễ vỡ 1112 có thể là bán kính cố định hoặc bán kính tổ hợp. Bộ phận cố định thứ nhất 1130 và bộ phận cố định thứ hai 1132 mỗi bộ phận là kẹp, cặp kẹp như được thể hiện trên Fig.34.

Thiết bị 1100 còn chứa bề mặt được làm thô, là tấm mài mòn có bề mặt mài mòn được đặt tiếp xúc với bề mặt bên ngoài 1115 (hoặc các góc 3501, 3503, v.v., như được thể hiện trên Fig.35) của đế 1112. Tấm giấy ráp được gắn lên bề mặt va chạm 1150 (của đối tượng va chạm 1140 mô tả dưới đây) bằng băng dính hai mặt, với bề mặt nhám của tấm giấy ráp hướng về phía bề mặt cong 1124 mà vật nền 1112 được lắp trên đó. Một loại giấy ráp thích hợp là giấy ráp Rhynowet® Plus Line P180 grit. Giấy ráp theo một hoặc nhiều phương án được cắt thành các miếng hình vuông 25 mm, và giấy ráp được là phẳng nếu các miếng bị uốn cong trong quá trình cắt.

Thiết bị 1100 còn bao gồm đối tượng va chạm 1140 được đặt sao cho khi quả lắc 1104 được giải phóng từ vị trí với góc β lớn hơn 0 so với vị trí cân bằng 1105, thì bề mặt cong 1124 của quả lắc 1104 (hoặc đế 1112 đặt trên bề mặt cong 1124) tiếp xúc với bề mặt va chạm 1150 (hoặc mặt nhám của tấm giấy ráp được bố trí trên bề mặt va chạm 1150) của đối tượng va chạm 1140. Theo phương án thực hiện được thể hiện, đối tượng va chạm 1140 là một khung giá dạng chữ L được gắn lên sàn 1142, và đối tượng va chạm 1140 được gắn lên sàn 1142 bằng vít 1144. Đối tượng va chạm 1140 cũng có thể được cố định bởi cơ chế thích hợp khác như bulông, đinh tán, kẹp, v.v.. Sàn 1142 chứa bộ phận hãm 1146, cho phép thiết bị

1100 được giữ tại đầu cuối của bàn xử lý 1148. Theo phương án thực hiện được thể hiện, đối tượng va chạm 1140 được cố định và không di chuyển khi quả lắc 1104 tiếp xúc với đối tượng va chạm 1140 ở bề mặt va chạm 1150. Bề mặt va chạm 1150 có thể là thành phần tách biệt có thể dịch chuyển được trong mặt phẳng x-y như có thể nhìn thấy được tốt nhất trên Fig.32 nằm trong khe 1152. Theo cách khác, bề mặt va chạm 1150 không cần di chuyển so với đối tượng va chạm 1140. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, quả lắc 1104 và bộ 1110 có kích thước và hình dạng sao cho khi đế giòn dễ vỡ được gắn lên bộ 1110 và khi quả lắc 1104 được giải phóng từ vị trí với góc β lớn hơn 0 tính từ vị trí cân bằng 1105, đế giòn dễ vỡ 1112 được đưa vào bán kính uốn và lực va chạm mô phỏng bán kính uốn của thủy tinh che phủ gia cường hóa học của điện thoại di động hoặc thiết bị máy tính bảng khi điện thoại di động hoặc thiết bị máy tính bảng được thả rơi lên mặt nền bởi người sử dụng điện thoại di động hoặc thiết bị máy tính bảng.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, bán kính uốn cong của bề mặt cong 1124 trên bộ 1110 được lựa chọn để tạo lực kéo uốn 100 MPa khi đế được uốn xung quang bề mặt cong 1124 sao cho lực kéo là lực kéo tác dụng từ bên ngoài xuất phát từ ứng suất uốn cong đế. Do đó, khi đế được uốn, thì lực kéo ở tại đỉnh 1125 của đế giòn dễ vỡ. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, bán kính uốn cong nằm trong phạm vi từ 0,25 m đến 1,5 m, ví dụ, nằm trong phạm vi từ 0,5 m đến 1 m.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, bộ kẹp thứ nhất 1130 và bộ kẹp thứ hai 1132 được đặt cách nhau một khoảng của độ dài thủy tinh che phủ của điện thoại di động hoặc máy tính bảng. Theo các phương án thực hiện cụ thể, bộ kẹp thứ nhất 1130 và bộ kẹp thứ hai 1132 được đặt cách nhau một khoảng nằm trong phạm vi từ 50 mm đến 500 mm.

Khía cạnh khác của sáng chế đề cập đến phương pháp thử nghiệm va chạm tấm giòn dễ vỡ, phương pháp thử nghiệm ngưỡng tác động bao gồm các bước:

uốn tấm giòn dễ vỡ có bề mặt tiếp xúc để tạo tấm uốn cong có bán kính uốn cong và đỉnh trên bề mặt tiếp xúc; và cho tấm uốn cong tại đỉnh va chạm với đối tượng va chạm sử dụng con lắc. Theo một phương án thực hiện, tấm uốn cong được

gắn với quả lắc của con lắc. Theo một phương án thực hiện, tấm uốn cong gắn lên quả lắc con lắc được đặt sao cho đối tượng va chạm tiếp xúc với đỉnh của bề mặt tiếp xúc. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tấm giòn dễ vỡ là thủy tinh và bán kính uốn cong nằm trong khoảng mô phỏng bán kính uốn cong của thủy tinh che phủ gia cường nhiệt hoặc hóa học của điện thoại di động hoặc thiết bị máy tính bảng khi điện thoại di động hoặc thiết bị máy tính bảng được thả rơi lên mặt đất bởi người sử dụng điện thoại di động hoặc thiết bị máy tính bảng, trong đó sự kiện thả rơi là sự kiện sao cho, cạnh của thiết bị tiếp xúc với mặt đất trước tiên (đối diện với việc rơi thứ nhất của mặt, trong đó thiết bị thường va vào mặt đất theo hướng sao cho bề mặt tiếp xúc thường song song với mặt đất). 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 gốc 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.

Theo một hoặc nhiều phương án, tấm giấy ráp được đặt trên bề mặt va chạm 1150 ở vị trí để tiếp xúc với đỉnh của tấm giòn dễ vỡ theo di chuyển xoay của cánh tay đòn 1108. Theo một hoặc nhiều phương án, tấm giòn dễ vỡ được bắt chặt vào đối tượng va chạm bằng băng dính hai mặt.

Phương án khác đề cập đến phương pháp thử nghiệm va chạm tấm giòn dễ vỡ, phương pháp bao gồm: gắn tấm giòn dễ vỡ với quả lắc của con lắc để tiếp xúc bề mặt tiếp xúc lên tấm giòn dễ vỡ; và di chuyển quả lắc của con lắc với tấm giòn dễ vỡ được gắn lên quả lắc của con lắc để khiến cho bề mặt tiếp xúc tiếp xúc với đối tượng va chạm. Theo một phương án, phương pháp bao gồm bước uốn tấm giòn dễ vỡ để cung cấp tấm uốn cong có bán kính uốn cong và đỉnh trên bề mặt tiếp xúc. Theo một phương án, tấm uốn cong gắn lên quả lắc của con lắc được đặt sao cho đối tượng va chạm tiếp xúc với đỉnh của bề mặt tiếp xúc. Theo một hoặc nhiều phương án, tấm giòn dễ vỡ là thủy tinh và bán kính uốn cong nằm trong khoảng mô phỏng bán kính uốn cong của thủy tinh phủ gia cường nhiệt hoặc hóa học của điện thoại di động hoặc thiết bị máy tính bảng khi điện thoại di động hoặc thiết bị máy

tính bằng được thả rơi lên mặt đất bởi người sử dụng điện thoại di động hoặc thiết bị máy tính bảng, trong đó sự kiện thả rơi là sự kiện sao cho, cạnh của thiết bị tiếp xúc với mặt đất trước tiên (đối diện với mặt rơi trước tiên, trong đó thiết bị thường va vào mặt đất theo hướng sao cho bề mặt tiếp xúc thường song song với mặt đất). Theo một số phương án, tấm giòn dễ vỡ được bắt chặt lên bề mặt cong trước khi cho đỉnh va chạm với đối tượng va chạm.

Bây giờ tham chiếu các hình vẽ trên Fig.29 và Fig.30, các chi tiết cụ thể, không giới hạn về hoạt động của thiết bị bao gồm dấu chỉ 1200 trên chốt 1106, dấu này có thể chỉ tới các vị trí thử nghiệm khác nhau 1202, tức là, các vị trí mà tại đó, cánh tay đòn 1108 được định vị ở góc β so với vị trí cân bằng 1105, và các vị trí mà từ đó, sự vận động của con lắc được khởi đầu. Dấu chỉ 1200 cho phép căn chỉnh hàng với nhiều vị trí thử nghiệm 1202, các vị trí này có thể là số vị trí thử nghiệm thích hợp bất kỳ, ví dụ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, và tiếp tục để gia tăng tới 50 hoặc nhiều hơn. Thiết bị 1100 có thể bao gồm thêm một khóa, khóa này có thể ở dạng đai ốc 1204 để khóa cánh tay đòn 1108 theo hướng quay mong muốn xung quanh trục dọc tâm của nó nhằm để điều chỉnh bộ 1110 với bề mặt va chạm 1150 của đối tượng va chạm 1140.

Thiết bị 1100 mô phỏng sự kiện thả rơi điện thoại thực theo một hoặc nhiều phương án. Năng lượng va chạm tới, E và lực va đập trung bình, $\vec{F}_{avg}$ được tính theo các phương trình

$$E = mgL\{1 - \cos \beta\}$$

$$|\vec{F}_{avg}| = \frac{|m\vec{v}_f - m\vec{v}_i|}{\Delta t}$$

Trong đó, m = khối lượng của con lắc 1102 (bao gồm cánh tay quay 1108, quả lắc 1104, và bộ 1110), L = độ dài của tay đòn, g = gia tốc rơi tự do, v_f là tốc độ va chạm ban đầu (tức là, tốc độ tại điểm khi thủy tinh đầu tiên tiếp xúc với bề mặt va chạm 1150 của đối tượng va chạm 1140), và v_i là tốc độ va chạm cuối cùng (tức là, tốc độ mà tại đó, thủy tinh rời khỏi bề mặt va chạm 1150 của đối tượng va chạm

1140, hoặc nói cách khác, tại điểm khi thủy tinh bắt đầu tách ra khỏi bề mặt va chạm 1150 của đối tượng va chạm 1140), và Δt = thời gian tương tác tiếp xúc (tức là, thời gian mà trong đó, thủy tinh tiếp xúc với bề mặt va chạm 1150 của đối tượng va chạm 1140). Thời gian tương tác tiếp xúc được đo bằng máy quay phim tốc độ cao bằng cách quan sát số lượng khung trong đó, thủy tinh tiếp xúc với bề mặt va chạm 1150, và nhân với số lượng khung trong 1 thời gian đơn vị bởi máy quay phim tốc độ cao. Phương trình lực trung bình hữu dụng cho các mẫu còn chưa bị nứt vỡ, tức là, các mẫu được nạp vào thiết bị 1100 trước khi thử nghiệm là các mẫu mà còn chưa bị nứt vỡ. Khi khối lượng và độ dài của cánh tay quay đã biết, thiết đặt góc β tới vị trí lựa chọn, lực va chạm có thể được tính toán và sử dụng để mô phỏng các va chạm trên thiết bị khi được thả rơi từ độ cao cụ thể. Ví dụ, lực trung bình phải chịu bởi thủy tinh che phủ để trên thiết bị điện thoại di động 130 g khi được thả rơi từ độ cao 1 m được tính toán là 800 N. Sử dụng khối lượng, chiều dài tay đòn và góc β , lực này có thể được tái tạo sử dụng thiết bị 1100 được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.29 đến Fig.34.

Theo cách khác, như được thể hiện trên Fig.35, quả lắc 1104 có thể được định vị lại sao cho cạnh của đế 1112 có thể bị tác động bởi đối tượng va chạm, theo thử nghiệm ngưỡng tác động cạnh. Trong trường hợp này, bề mặt va chạm 1150 của đối tượng va chạm 1140 không được nâng lên mà chỉ đơn giản là phần phẳng của đối tượng va chạm 1140 quay mặt về phía con lắc 1140. Theo hướng này, góc 3501 của đế 1112 tiếp xúc với đối tượng va chạm 1140 mà tấm mài mòn được gắn vào đó theo cùng một cách như được mô tả ở trên. Do đó, hướng này mô phỏng việc rơi của thiết bị điện tử lên trên cạnh của nó sao cho năng lượng tác động của cạnh của đế là có thể chịu được và sau đó sẽ được xác định theo cách tương tự như đã được chỉ ra ở trên. Trong trường hợp của thử nghiệm cạnh, đế 1112 được thử nghiệm tại mỗi góc của nó một lần, và được thử nghiệm sao cho phần trên đỉnh của cạnh của đế tạo thành điểm tác động với đối tượng va chạm 1140. Góc 3501 được thử nghiệm đầu tiên và sau đó tại độ cao con lắc cao hơn, tăng dần, góc đối diện 3503 sẽ được thử nghiệm. Không có nhiều hơn một tác động được thực hiện tại cùng một vị trí trên mẫu, để loại bỏ việc tích tụ của phá hủy. 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 gốc 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.

Các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể là trong suốt. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh có thể có độ dày khoảng 1 milimet hoặc nhỏ hơn và có độ truyền qua là khoảng 88% hoặc lớn hơn đối với ánh sáng có bước sóng nằm trong phạm vi từ khoảng 380 nm đến khoảng 780 nm.

Vật phẩm gốc thủy tinh có thể còn thể hiện màu sắc gần như màu trắng. Ví dụ, vật phẩm gốc 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.

Việc lựa chọn để không bị giới hạn cụ thể. Theo một số ví dụ, vật phẩm gốc 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 thực hiện, thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có khả năng trao đổi ion nhanh, tức là, trong đó độ khuếch tán là lớn hơn $500\mu\text{m}^2/\text{giờ}$ hoặc có thể đặc trưng ở chỗ lớn hơn $450\mu\text{m}^2/\text{giờ}$ tại nhiệt độ 460°C .

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

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

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 gốc thủy tinh có thể bao gồm để vô định hình, để tinh thể hoặc kết hợp các loại này (ví dụ, để gốm thủy tinh). Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, để vật phẩm gốc thủy tinh (trước khi được gia cường hóa học như được mô tả ở đây) có thể bao gồm thành phần thủy tinh, tính theo % mol (% mol), bao gồm: SiO_2 nằm trong phạm vi từ khoảng 40 đến khoảng 80, Al_2O_3 nằm trong phạm vi từ

khoảng 10 đến khoảng 30, B_2O_3 nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 10, R_2O nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 20, và RO nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 15. Trong một số trường hợp, thành phần có thể bao gồm một trong hai hoặc cả hai thành phần ZrO_2 trong phạm vi từ khoảng 0% mol đến khoảng 5% mol và P_2O_5 trong phạm vi 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 thực hiện, hợp phần 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 thực hiện, hợp phần 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 thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể chứa B_2O_3 với lượng, tính theo % mol, nằm trong phạm vi 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, hợp phần 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 hợp phần thủy tinh có nghĩa là thành phần này không được bổ sung một cách chủ động hoặc được dự tính trước vào hợp phần 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 thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể chứa một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm thổ, như MgO, CaO và ZnO. Theo một số phương án thực hiện, tổng lượng của một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm thổ có thể là lượng khác 0 lên đến khoảng 15% mol. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện cụ thể, tổng lượng của oxit kim loại kiềm thổ bất kỳ có thể là lượng khác 0, 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 thực hiện, 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 trong phạm vi từ khoảng 0 % mol tới khoảng 5 % mol (ví dụ, từ khoảng 2 % mol tới khoảng 4 % mol, từ khoảng 0,01 tới khoảng 2, hoặc từ khoảng 0,001 tới khoảng 1). Lượng ZnO có thể trong phạm vi từ khoảng 0 tới khoảng 2 % mol (ví dụ, từ khoảng 1 tới khoảng 2). Lượng CaO có thể nằm trong phạm vi từ khoảng 0% mol đến khoảng 2% mol. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể chứa MgO và có thể hầu như không chứa CaO và ZnO. Theo một biến thể, hợp phần 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 thực hiện cụ thể, hợp phần 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 hợp phần thủy tinh có thể nằm trong phạm vi 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 11 đến khoảng 20, từ khoảng 12 đến khoảng 18, hoặc từ khoảng 14 đến khoảng 18.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh chứa Na_2O với lượng trong phạm vi từ khoảng 0 % mol tới khoảng 18 % mol, từ khoảng 0 % mol tới khoảng 16 % mol hoặc từ khoảng 0 % mol tới khoảng 14 % mol, từ khoảng 0 % mol tới khoảng 12 % mol, từ khoảng 2 % mol tới khoảng 18 % mol, từ khoảng 4 % mol tới khoảng 18 % mol, từ khoảng 6 % mol tới khoảng 18 % mol, từ khoảng 8 % mol tới khoảng 18 % mol, từ khoảng 8 % mol tới khoảng 14 % mol, từ khoảng 8 % mol tới khoảng 12 % mol, hoặc từ khoảng 10 % mol tới khoảng 12 % mol. Theo một số phương án, hợp phần có thể bao gồm Na_2O với lượng khoảng 4% mol hoặc cao hơn.

Theo một số phương án thực hiện, 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, khi lượng Li_2O tăng thì độ nhớt đường lỏng có thể được giảm đi, do đó ngăn không cho sử dụng một số phương pháp tạo hình; tuy nhiên, các hợp phần 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 các mức DOC sâu hơn.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần 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 thực hiện khác, hợp phần thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, K_2O .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần 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 thực hiện, hợp phần 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 thực hiện khác, hợp phần thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, Li_2O .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể chứa Fe_2O_3 . Theo các phương án thực hiện 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 giới hạn này và các khoảng giới hạn con nằm giữa chúng. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện khác, hợp phần thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, Fe_2O_3 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể chứa ZrO_2 . Theo các phương án thực hiện 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 thực hiện khác, hợp phần thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, ZrO_2 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm P_2O_5 nằm trong phạm vi 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 2% mol đến khoảng 8% mol, từ khoảng 2% mol đến khoảng 6% mol hoặc từ khoảng 2% mol đến khoảng 4% mol. Trong một số trường hợp, hợp phần thủy tinh hầu như là không chứa P_2O_5 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể chứa TiO_2 . Theo các phương án thực hiện 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 thực hiện khác, hợp phần thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, TiO_2 . Theo một số phương án thực hiện, 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 thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể có các mối quan hệ giữa các thành phần cấu tạo khác nhau. Ví dụ, hợp phần thủy tinh có thể chứa tỷ lệ giữa lượng của Li_2O (tính theo % mol) trên tổng lượng của R_2O (tính theo % mol) nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 1, từ khoảng 0 đến khoảng 0,5, từ khoảng 0 đến khoảng 0,4, từ khoảng 0,1 đến khoảng 0,5, hoặc từ khoảng 0,2 đến khoảng 0,4.

Theo một số phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể chứa khác biệt giữa tổng lượng R_2O (theo % mol) so với tổng lượng Al_2O_3 (theo % mol) ($\text{R}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3$) trong phạm vi từ khoảng 0 tới khoảng 5 (ví dụ, từ khoảng 0 tới khoảng 4, từ khoảng 0 tới khoảng 3, từ khoảng 0,1 tới khoảng 4, từ khoảng 0,1 tới khoảng 3, từ khoảng 0,1 tới khoảng 2 hoặc từ khoảng 1 tới khoảng 2).

Theo một số phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm độ chênh lệch giữa tổng lượng của R_xO (tính theo % mol) trên lượng của Al_2O_3 (tính theo % mol) ($\text{R}_x\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$) nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 5 (ví dụ, từ khoảng 0 đến khoảng 4, từ khoảng 0 đến khoảng 3, từ khoảng 0,1 đến khoảng 4, từ khoảng 0,1 đến khoảng 3, từ khoảng 1 đến khoảng 3, hoặc từ khoảng 2 đến khoảng 3).

Theo một số phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh có thể bao gồm tỷ lệ giữa tổng lượng của R_2O (tính theo % mol) trên lượng của Al_2O_3 (tính theo % mol) ($\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$) nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 5 (ví dụ, từ khoảng 0 đến khoảng 4, từ khoảng 0 đến khoảng 3, từ khoảng 1 đến khoảng 4, từ khoảng 1 đến khoảng 3, hoặc từ khoảng 1 đến khoảng 2).

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần thủy tinh bao gồm một lượng kết hợp của Al_2O_3 và Na_2O lớn hơn khoảng 15% mol (ví dụ, lớn hơn 18% mol, lớn hơn khoảng 20% mol, hoặc lớn hơn khoảng 23% mol). Lượng kết hợp của Al_2O_3 và Na_2O có thể lên tới và bao gồm khoảng 30% mol, khoảng 32% mol hoặc khoảng 35% mol.

Hợp phần thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có thể thể hiện tỷ lệ giữa lượng MgO (tính theo % mol) và tổng lượng RO (tính theo % mol) nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 2.

Theo một số phương án thực hiện, hợp phần 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 để 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 . Hợp phần thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án có thể còn chứa SnO_2 với lượng nằm trong phạm vi 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 hợp phần thủy tinh được bộc 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 thực hiện, 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 thực hiện, hợp phần có thể chứa 52 % mol tới khoảng 65 % mol SiO_2 ; 4 % mol tới khoảng 18 % mol Al_2O_3 ; 5,5 % mol tới khoảng 7 % mol Li_2O ; 1 % mol tới khoảng 2 % mol ZnO ; 0,01 % mol tới khoảng 2 % mol MgO ; 4 % mol tới khoảng 12 % mol Na_2O ; 0,1 % mol tới khoảng 4 % mol P_2O_5 ; và 0,01 % mol tới khoảng 0,16 % mol SnO_2 . Theo một số phương án thực hiện, thành phần có thể hầu như không chứa một hoặc nhiều chất bất kỳ trong số B_2O_3 , TiO_2 , K_2O và ZrO_2 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hợp phần có thể bao gồm 0,5% mol hoặc cao hơn của P_2O_5 , Na_2O và, một cách tùy ý, Li_2O , trong đó $\text{Li}_2\text{O}(\% \text{ mol})/\text{Na}_2\text{O}(\% \text{ mol}) < 1$. Ngoài ra, các hợp phần này có thể hầu như không chứa B_2O_3 và K_2O . Theo một số phương án thực hiện, hợp phần này có thể bao gồm ZnO , MgO , và SnO_2 .

Theo một số phương án, hợp phần này có thể chứa: từ khoảng 58 % mol đến khoảng 65 % mol SiO_2 ; từ khoảng 11 % mol đến khoảng 19 % mol Al_2O_3 ; từ khoảng 0,5 % mol đến khoảng 3 % mol P_2O_5 ; từ khoảng 6 % mol đến khoảng 18 % mol Na_2O ; từ 0 % mol đến khoảng 6 % mol MgO ; và từ 0 % mol đến khoảng 6 % mol ZnO . Theo các phương án thực hiện nhất định, hợp phần này có thể chứa: từ khoảng 63 % mol đến khoảng 65 % mol SiO_2 ; từ 11 % mol đến khoảng 17 % mol Al_2O_3 ; từ khoảng 1 % mol đến khoảng 3 % mol P_2O_5 ; từ khoảng 9 % mol đến khoảng 20 % mol Na_2O ; từ 0 % mol đến khoảng 6 % mol MgO ; và từ 0 % mol đến khoảng 6 % mol ZnO .

Theo một số phương án thực hiện, hợp phần này có thể bao gồm tỷ lệ thành phần sau $\text{R}_2\text{O}(\% \text{ mol})/\text{Al}_2\text{O}_3(\% \text{ mol}) < 2$, trong đó $\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$. Theo một số phương án thực hiện, $65 \% \text{ mol} < \text{SiO}_2(\% \text{ mol}) + \text{P}_2\text{O}_5(\% \text{ mol}) < 67\% \text{ mol}$. Theo các phương án thực hiện nhất định, $\text{R}_2\text{O}(\% \text{ mol}) + \text{R}'\text{O}(\% \text{ mol}) - \text{Al}_2\text{O}_3(\% \text{ mol}) + \text{P}_2\text{O}_5(\% \text{ mol}) > -3\% \text{ mol}$, trong đó $\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ và $\text{R}'\text{O}$ là tổng lượng oxit kim loại hóa trị hai có trong chế phẩm.

Các hợp phần minh họa khác của vật phẩm gốc thủy tinh trước khi được gia cường hóa học, như được mô tả ở đây, được thể hiện trên bảng 1 A. Bảng 1B liệt kê các tính chất vật lý chọn lọc được xác định trong các ví dụ liệt kê trong bảng 1A. Các tính chất vật lý liệt kê trong bảng 1B bao gồm: khối lượng riêng; CTE ở nhiệt độ thấp và nhiệt độ cao; điểm biến dạng, điểm ủ và điểm làm mềm; nhiệt độ 10^{11} Poa, nhiệt độ 35 kP, nhiệt độ 200 kP, nhiệt độ đường lỏng, và nhiệt độ phân hóa zircon; độ nhót phân hóa zircon và độ nhót đường lỏng; tỷ lệ Poisson; mô đun Young; chỉ số khúc xạ và hệ số ứng suất quang. Theo một số phương án, các vật phẩm gốc thủy tinh và nền thủy tinh mô tả ở đây có CTE nhiệt độ cao thấp hơn hoặc tương đương 30 ppm/°C và/hoặc mô đun Young bằng 70 GPa hoặc cao hơn và, theo một số phương án, mô đun Young lên tới 80 GPa.

Bảng 1A: Các chế phẩm minh họa trước khi gia cường hóa học.

Thành phần (% mol)	VD 1	VD 2	VD 3	VD 4	VD 5	VD 6	VD 7
SiO_2	63,77	64,03	63,67	63,91	64,16	63,21	63,50
Al_2O_3	12,44	12,44	11,83	11,94	11,94	11,57	11,73

Thành phần (% mol)	VD 1	VD 2	VD 3	VD 4	VD 5	VD 6	VD 7
P ₂ O ₅	2,43	2,29	2,36	2,38	1,92	1,93	1,93
Li ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	16,80	16,81	16,88	16,78	16,80	17,63	16,85
ZnO	0,00	4,37	0,00	4,93	0,00	5,59	5,93
MgO	4,52	0,02	5,21	0,02	5,13	0,02	0,01
SnO ₂	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1,35	1,35	1,43	1,41	1,41	1,52	1,44
Li ₂ O/Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	6,45	6,46	7,89	7,40	8,07	9,74	9,14

Thành phần (% mol)	VD 8	VD 9	VD 10	VD 11	VD 12	VD 13	VD 14
SiO ₂	63,37	63,43	63,56	63,58	63,66	63,62	63,67
Al ₂ O ₃	11,72	12,49	12,63	12,59	12,91	12,85	12,89
P ₂ O ₅	2,00	2,32	2,46	2,46	2,43	2,45	2,47
Li ₂ O	0,00	0,00	1,42	2,87	0,00	1,42	2,92
Na ₂ O	16,84	17,16	15,45	14,04	16,89	15,48	13,92
ZnO	6,00	4,54	4,43	4,41	4,04	4,12	4,06
MgO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
SnO ₂	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1,44	1,37	1,34	1,34	1,31	1,31	1,31
Li ₂ O/Na ₂ O	0,00	0,00	0,09	0,20	0,00	0,09	0,21
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	9,14	6,90	6,22	6,29	5,62	5,72	5,57

Thành phần (% mol)	VD 15	VD 16	VD 17	VD 18	VD 19	VD 20	VD 21
SiO ₂	63,55	63,80	63,76	63,88	63,74	64,03	63,68
Al ₂ O ₃	12,92	12,90	12,95	13,48	13,37	13,26	13,19
P ₂ O ₅	2,35	2,34	2,37	2,31	2,34	2,29	2,46
Li ₂ O	0,00	1,47	2,94	0,00	1,48	2,94	0,00
Na ₂ O	17,97	16,36	14,85	17,20	15,96	14,37	16,84
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,77
MgO	3,17	3,08	3,09	3,08	3,08	3,06	0,02
SnO ₂	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1,39	1,38	1,37	1,28	1,30	1,31	1,28
Li ₂ O/Na ₂ O	0,00	0,09	0,20	0,00	0,09	0,20	0,00
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	5,87	5,67	5,56	4,48	4,81	4,83	4,98

Thành phần (% mol)	VD 22	VD 23	VD 24	VD 25	VD 26	VD 27	VD 28
SiO ₂	63,66	63,76	63,67	63,73	63,73	63,64	63,76
Al ₂ O ₃	14,15	15,31	13,87	14,82	12,93	16,62	16,59
P ₂ O ₅	2,47	2,44	2,47	2,43	2,48	2,47	2,47
Li ₂ O	1,49	2,98	1,50	2,96	0,00	2,52	4,91
Na ₂ O	15,31	13,79	15,36	13,93	16,83	14,68	12,20
ZnO	2,85	1,64	0,00	0,00	2,98	0,00	0,00
MgO	0,03	0,03	3,09	2,08	1,00	0,03	0,03
SnO ₂	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1,19	1,10	1,22	1,14	1,30	1,03	1,03
Li ₂ O/Na ₂ O	0,10	0,22	0,10	0,21	0,00	0,17	0,40
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	3,05	0,70	3,61	1,72	5,40	-1,86	-1,92

Thành phần (% mol)	VD 29	VD 30	VD 31	VD 32	VD 33	VD 34	VD 35
SiO ₂	63,89	63,92	63,77	63,73	63,70	63,65	63,87
Al ₂ O ₃	16,55	15,29	15,27	15,30	15,27	15,22	15,29
P ₂ O ₅	2,47	2,24	2,31	2,39	2,40	2,48	2,37
Li ₂ O	7,27	3,46	2,98	4,02	4,46	4,96	5,39
Na ₂ O	9,74	13,46	13,99	12,91	12,51	11,99	11,44
ZnO	0,00	1,56	1,61	1,57	1,58	1,63	1,57
MgO	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02
SnO ₂	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1,03	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,10
Li ₂ O/Na ₂ O	0,75	0,26	0,21	0,31	0,36	0,41	0,47
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	-1,98	0,97	1,01	0,84	0,90	0,91	0,76

Thành phần (% mol)	VD 36	VD 37	VD 38	VD 39	VD 40	VD 41	VD 42
SiO ₂	63,69	63,75	63,70	63,62	63,74	63,77	63,77
Al ₂ O ₃	15,26	15,30	15,27	15,23	15,27	15,27	15,33
P ₂ O ₅	2,45	2,42	2,45	2,46	2,47	2,46	2,44
Li ₂ O	2,96	2,98	3,94	3,98	4,93	4,93	2,91
Na ₂ O	13,50	13,46	12,54	12,57	11,49	11,50	13,94
ZnO	2,06	2,01	2,03	2,06	2,03	2,00	0,00
MgO	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	1,57
SnO ₂	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04

Thành phần (% mol)	VD 36	VD 37	VD 38	VD 39	VD 40	VD 41	VD 42
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1,08	1,08	1,08	1,09	1,08	1,08	1,10
Li ₂ O/Na ₂ O	0,22	0,22	0,31	0,32	0,43	0,43	0,21
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	0,83	0,77	0,80	0,95	0,73	0,73	0,66

Thành phần (% mol)	VD 43	VD 44	VD 45	VD 46	VD 47	VD 48	VD 49
SiO ₂	63,69	63,81	63,65	63,71	63,62	63,65	63,62
Al ₂ O ₃	15,25	15,26	15,33	15,32	15,24	15,68	15,67
P ₂ O ₅	2,43	2,41	2,46	2,44	2,47	2,44	2,48
Li ₂ O	4,00	4,89	2,96	4,01	4,91	6,07	6,06
Na ₂ O	13,01	12,03	13,29	12,25	11,42	10,93	10,53
ZnO	0,00	0,00	2,24	2,20	2,27	1,17	1,57
MgO	1,57	1,56	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
SnO ₂	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1,12	1,11	1,06	1,06	1,07	1,08	1,06
Li ₂ O/Na ₂ O	0,31	0,41	0,22	0,33	0,43	0,56	0,58
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	0,90	0,81	0,73	0,73	0,91	0,08	0,04

Thành phần (% mol)	VD 50	VD 51	VD 52	VD 53	VD 54	VD 55	VD 56
SiO ₂	63,60	63,89	63,84	63,90	63,88	64,74	60,17
Al ₂ O ₃	15,65	16,09	16,47	16,87	16,97	15,25	18,58
P ₂ O ₅	2,46	2,42	2,43	2,43	2,42	0,98	1,90
Li ₂ O	6,13	6,80	7,84	8,75	9,78	5,28	5,16
Na ₂ O	10,29	9,97	8,96	7,99	6,88	12,09	12,58
ZnO	1,81	0,78	0,39	0,00	0,00	1,61	1,55
MgO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
SnO ₂	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1,05	1,04	1,02	0,99	0,98	1,14	0,96
Li ₂ O/Na ₂ O	0,60	0,68	0,87	1,10	1,42	0,44	0,41
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	0,14	-0,94	-1,68	-2,54	-2,70	2,78	-1,16

Thành phần (% mol)	VD 57	VD 58	VD 59	VD 60	VD 61	VD 62	VD 63	VD 64
SiO ₂	58,32	63,3	63,3	63,3	63,3	63,3	63,3	63,46

Thành phần (% mol)	VD 57	VD 58	VD 59	VD 60	VD 61	VD 62	VD 63	VD 64
Al ₂ O ₃	18,95	15,25	15,65	16,2	15,1	15,42 5	15,7	15,71
P ₂ O ₅	2,42	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,45
Li ₂ O	4,96	6	7	7,5	6	7	7,5	6,37
Na ₂ O	13,74	10,7	9,7	9,45	10,55	9,475	8,95	10,69
ZnO	1,56	1,2	0,8	0	2,5	2,25	2	1,15
MgO	0,02	1	1	1	0	0	0	0,06
SnO ₂	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
R ₂ O/Al ₂ O ₃	0,99	1,10	1,07	1,05	1,10	1,07	1,05	1,09
Li ₂ O/Na ₂ O	0,36	0,56	0,72	0,79	0,57	0,74	0,84	0,6
(R ₂ O + RO) - Al ₂ O ₃ - P ₂ O ₅	-1,09	1,15	0,35	-0,75	1,45	0,80	0,25	-1,1

Bảng 2. Các tính chất vật lý lựa chọn của các thủy tinh được liệt kê trong bảng

1.

	VD 1	VD 2	VD 3	VD 4	VD 5	VD 6	VD 7
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,434	2,493	2,434	2,504	2,44	2,514	2,519
CTE nhiệt độ thấp 25-300°C (ppm/°C)	8,9	8,62	8,95	8,6	8,82	8,71	8,54
CTE nhiệt độ cao (ppm/°C)	17,67	19,1	17,16	21	18,12	20	20,11
Điểm biến dạng (°C)	630	591	612	580	605	580	589
Điểm ủ (°C)	683	641	662	628	651	629	639
Nhiệt độ 1011 Poa (°C)	770	725	748	710	734	711	721
Điểm làm mềm (°C)	937	888	919	873	909	868	874
T35 kP (°C)				1167	1180	1158	1160
T200 kP (°C)				1070	1083	1061	1064
Nhiệt độ phân hóa zircon (°C)		1205		1220	1170	1185	1205
Độ nhớt phân hóa zircon (P)				1,56 x10 ⁴	4,15 x10 ⁴	2,29 x10 ⁴	1,74 x10 ⁴
Nhiệt độ đường lỏng (°C)		980		990	975	990	1000
Độ nhớt đường lỏng (P)				1,15 x10 ⁶	2,17 x10 ⁶	9,39 x10 ⁵	7,92 x10 ⁵
Tỷ lệ Poisson	0,200	0,211	0,206	0,214	0,204	0,209	0,211
Mô đun Young (GPa)	69,2	68,8	69,4	68,5	69,6	68,3	69,0
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,4976	1,5025	1,4981	1,5029	1,4992	1,5052	1,506

	VD 1	VD 2	VD 3	VD 4	VD 5	VD 6	VD 7
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/MPa)	2,963	3,158	3,013	3,198	2,97	3,185	3,234

	VD 8	VD 9	VD 10	VD 11	VD 12	VD 13	VD 14
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,516	2,501	2,498	2,493	2,493	2,492	2,486
CTE nhiệt độ thấp 25-300°C (ppm/°C)	8,35	8,67	8,87	8,49	8,65	8,71	8,49
CTE nhiệt độ cao (ppm/°C)	20,11	20,6	20,94		19,52	20,77	
Điểm biến dạng (°C)	590	589	591	584	600	579	588
Điểm ủ (°C)	641	639	640	628	652	620	630
Nhiệt độ 1011 Poa (°C)	726	724	720	704	738	695	704
Điểm làm mềm (°C)	888	890	865	857	900	867	860
T35 kP (°C)	1170	1176	1159	1139	1197	1169	
T200 kP (°C)	1073	1080	1061	1041	1099	1070	
Nhiệt độ phân hóa ziricon (°C)	1195	1195	1210	1225	1195	1195	1220
Độ nhót phân hóa ziricon (P)	2,33 x10 ⁴	2,58 x10 ⁴	1,60 x10 ⁴	9,94 x10 ³	3,63 x10 ⁴	2,35 x10 ⁴	
Nhiệt độ đường lông (°C)	1005	990	990	980	990	980	980
Độ nhót đường lông (P)	8,69 x10 ⁴	1,48E+ 06	9,02E+ 05	7,10E+ 05	2,19E+ 06	1,33E+ 06	
Tỷ lệ Poisson	0,211	0,205	0,208	0,209	0,209	0,210	0,217
Mô đun Young (GPa)	69,0	68,7	71,4	73,5	68,4	71,6	74,0
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,506	1,5036	1,505	1,5063	1,5026	1,5041	1,5052
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/MPa)	3,234	3,194	3,157	3,131	3,18	3,156	3,131

	VD 15	VD 16	VD 17	VD 18	VD 19	VD 20	VD 21
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,433	2,429	2,426	2,431	2,428	2,433	2,486
CTE nhiệt độ	9,15	9,16	8,83	8,97	8,97	8,79	8,45

	VD 15	VD 16	VD 17	VD 18	VD 19	VD 20	VD 21
thấp 25-300°C (ppm/°C)							
CTE nhiệt độ cao (ppm/°C)	20	20	21	17,3	20		
Điểm biến dạng (°C)	615	606	599	633	616	611	602
Điểm ủ (°C)	662	659	653	684	670	665	653
Nhiệt độ 10 ¹¹ Poa (°C)	747	745	741	771	758	751	739
Điểm làm mềm (°C)	935	903	901	943	918	905	910
T ³⁵ kP (°C)	1182	1166	1152	1221	1185	1167	1207
T ²⁰⁰ kP (°C)	1083	1066	1051	1122	1084	1066	1108
Nhiệt độ phân hóa zircon (°C)							
Độ nhót phân hóa zircon (P)							
Nhiệt độ đường lỏng (°C)							
Độ nhót đường lỏng (P)							
Tỷ lệ Poisson	0,203	0,207	0,205	0,209	0,199		0,207
Mô đun Young (GPa)	68,9	71,2	72,7	69,4	70,9		68,1
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,4964	1,4981	1,4991	1,4965	1,4984	1,5006	1,5019
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/MPa)	2,994	3,022	2,982	2,979	2,99	0	3,173

	VD 22	VD 23	VD 24	VD 25	VD 26	VD 27	VD 28
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,468	2,448	2,434	2,428	2,47	2,419	2,414
CTE nhiệt độ thấp 25-300°C (ppm/°C)	8,6	8,23	8,91	8,25	8,66	8,52	8,17
CTE nhiệt độ cao (ppm/°C)	19,52		19,49				19,47

	VD 22	VD 23	VD 24	VD 25	VD 26	VD 27	VD 28
Điểm biến dạng (°C)	596	595	638	616	608	640	620
Điểm ủ (°C)	644	649	695	656	654	700	677
Nhiệt độ 1011 Poa (°C)	728	741	785	732	736	798	771
Điểm làm mềm (°C)	905	922	941	925	911	978	946
T35 kP (°C)	1217	1227	1209	1215	1209	1283	1249
T200 kP (°C)	1115	1125	1109	1115	1107	1184	1150
Nhiệt độ phân hóa ziricon (°C)	1185	1185	1180	1185			1185
Độ nhót phân hóa ziricon (P)	5,86E+04	6,91E+04	5,59E+04	5,72E+04			1,05E+05
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	975	980	1080	1025			940
Độ nhót đường lỏng (P)	4,14E+06	4,52E+06	3,56E+05	1,27E+06			2,92E+07
Tỷ lệ Poisson	0,210		0,204	0,210	0,212		0,213
Mô đun Young (GPa)	71,4		71,6	73,5	68,8		76,9
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,502	1,5025	1,4996	1,5008	1,5006	1,4987	1,5014
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/MPa)	3,123	3,03	3,001	3,021	3,148	3,039	3,015

	VD 29	VD 30	VD 31	VD 32	VD 33	VD 34	VD 35
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,408	2,446	2,448	2,446	2,445	2,443	2,442
CTE nhiệt độ thấp 25-300°C (ppm/°C)	7,86	8,29	8,38	8,17	8,14	8,04	7,97
CTE nhiệt độ cao (ppm/°C)	18,57					19,71	
Điểm biến dạng (°C)	610	591	595	585	580	574	577
Điểm ủ (°C)	665	645	649	638	633	627	629

	VD 29	VD 30	VD 31	VD 32	VD 33	VD 34	VD 35
Nhiệt độ 1011 Poa (°C)	755	736	740	726	722	717	717
Điểm làm mềm (°C)	924	915	919	894	894	895	890
T35 kP (°C)	1216	1223	1227	1216	1210	1203	1196
T200 kP (°C)	1120	1122	1126	1114	1108	1102	1095
Nhiệt độ phân hóa ziricon (°C)	1210	1175	1180	1190	1195	1210	1205
Độ nhớt phân hóa ziricon (P)	3,86E+ 04	7,72E+ 04	7,55E+ 04	5,29E+ 04	4,43E+ 04	3,14E+ 04	3,04E+ 04
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1080	990	975	975	975	975	980
Độ nhớt đường lỏng (P)	4,55E+ 05	3,28E+ 06	5,43E+ 06	3,80E+ 06	3,33E+ 06	3,02E+ 06	2,29E+ 06
Tỷ lệ Poisson	0,211	0,206	0,202	0,21	0,204	0,204	0,203
Mô đun Young (GPa)	75,0	73,91	73,02	74,60	74,67	75,15	75,43
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,5053	1,503	1,5025	1,5035	1,5041	1,5046	1,5053
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/M Pa)	3,002	3,074	3,083	3,071	3,059	3,016	3,053

	VD 36	VD 37	VD 38	VD 39	VD 40	VD 41	VD 42
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,453	2,453	2,452	2,451	2,449	2,449	2,425
CTE nhiệt độ thấp 25-300°C (ppm/°C)	8,17	8,14	7,97	8,01	7,79	7,9	8,54

	VD 36	VD 37	VD 38	VD 39	VD 40	VD 41	VD 42
CTE nhiệt độ cao (ppm/°C)					20,56		
Điểm biến dạng (°C)	595	595	584	587	578	584	617
Điểm ủ (°C)	649	649	638	640	630	637	663
Nhiệt độ 10 ¹¹ Poa (°C)	740	741	729	730	718	726	746
Điểm làm mềm (°C)	918	921	905	907	894	901	929
T ³⁵ kP (°C)	1229	1232	1212	1219	1200	1204	1232
T ²⁰⁰ kP (°C)	1128	1131	1111	1118	1100	1103	1132
Nhiệt độ phân hóa ziricon (°C)	1185		1200		1210		
Độ nhớt phân hóa ziricon (P)	7,20E+04		4,26E+04		3,00E+04		
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	995		990		965		
Độ nhớt đường lỏng (P)	3,33E+06		2,51E+06		3,71E+06		
Tỷ lệ Poisson	0,208		0,206		0,206		
Mô đun Young (GPa)	73,70		74,67		75,50		
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,5032		1,5042		1,5054		1,5005
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/MPa)	3,093		3,071		3,072		3,033

	VD 43	VD 44	VD 45	VD 46	VD 47	VD 48	VD 49	VD 50
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,424	2,422	2,455	2,454	2,454	2,434	2,439	2,443
Hệ số giãn nở nhiệt nhiệt độ thấp 25 -300 °C (ppm/°C)	8,48	8,34	8,03	7,88	7,76	7,87	7,71	7,63
Hệ số giãn nở nhiệt nhiệt độ cao (ppm/°C)								

	VD 43	VD 44	VD 45	VD 46	VD 47	VD 48	VD 49	VD 50
Nhiệt độ điểm biến dạng (°C)	614	594	595	586	579	580	581	579
Nhiệt độ điểm ủ (°C)	659	640	649	639	630	633	633	632
Nhiệt độ 1011 Poa (°C)	739	722	740	729	718	722	721	721
Nhiệt độ điểm làm mềm (°C)	912	899	918	909	898	892	893	895
Nhiệt độ 35 kP (°C)	1216	1204		1212	1200	1203	1203	1203
Nhiệt độ 200 kP (°C)	1116	1102		1113	1099	1105	1102	1103
Nhiệt độ phân hóa ziricon (°C)								
Độ nhót phân hóa ziricon (P)								
Nhiệt độ đường lỏng (°C)			985		965	1005	1010	1030
Độ nhót đường lỏng (P)					4,E+06	1,78E+06	1,34E+06	8,98E+05
Tỷ lệ Poisson						0,211	0,21	0,213
Mô đun Young (GPa)						76,32	76,60	76,81
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,5014	1,5026	1,5036	1,5047	1,5061	1,505	1,5059	1,5064
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/MPa)	2,965	2,981	3,082	3,057	3,063	3,025	3,004	3,046

	VD 51	VD 52	VD 53	VD 54	VD 55	VD 56	VD 57
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

	VD 51	VD 52	VD 53	VD 54	VD 55	VD 56	VD 57
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,424	2,431	2,403	2,4	2,45	2,462	2,468
CTE nhiệt độ thấp 25-300°C (ppm/°C)	77,1	76,1	74,3	73,1	80,2	79,7	83,6
CTE nhiệt độ cao (ppm/°C)							
Điểm biến dạng (°C)	588	599	611	612	580	611	597
Điểm ủ (°C)	640	651	665	665	631	663	649
Nhiệt độ 1011 Poa (°C)	728	738	753	752	718	750	735
Điểm làm mềm (°C)	900,4	907,5	916	912,5	892,2	915,6	899,4
T35 kP (°C)	1204	1209	1209	1202	1206	1205	1184
T200 kP (°C)	1106	1113	1113	1106	1102	1111	1093
Nhiệt độ phân hóa ziricon (°C)							
Độ nhớt phân hóa ziricon (P)							
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1060	1115	1160	1205			
Độ nhớt đường lỏng (P)	5,11E+05	1,90E+05	8,18E+04	3,32E+04			
Tỷ lệ Poisson	0,211	0,212	0,208	0,214			
Mô đun Young (GPa)	77,01	78,05	77,57	78,74			
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,5054	1,5055	1,5059	1,5072			
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/MPa)	3,011	2,98	2,982	2,964			

	VD 64
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,428
CTE 25-300°C (ppm/°C)	7,8
Điểm biến dạng (°C)	571
Điểm ủ (°C)	622
Nhiệt độ 1011 Poa (°C)	
Điểm làm mềm (°C)	881,4
T35 kP (°C)	
T200 kP (°C)	1645
Nhiệt độ phân hóa ziricon (°C)	

	VD 64
Độ nhót phân hóa zircon (P)	
Nhiệt độ đường lỏng (°C)	1000
Độ nhót đường lỏng (P)	1524280
Tỷ lệ Poisson	0,211
Mô đun Young (GPa)	76,3
Chỉ số khúc xạ tại 589,3 nm	1,51
Hệ số ứng suất quang (nm/mm/MPa)	3,02

Nếu vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh có thể về cơ bản là phẳng, mặc dù các phương án khác có thể sử dụng để cong hoặc để được tạo hình hoặc được điều khắc khác. Trong một số trường hợp, vật phẩm gốc thủy tinh có thể có hình dạng 3D hoặc 2,5D. Vật phẩm gốc thủy tinh có thể về cơ bản là trong về mặt quang học, trong suốt, và không tán xạ ánh sáng. Vật phẩm gốc thủy tinh có thể có hệ số khúc xạ nằm trong phạm vi 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 theo cách khác, độ dày của vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh vì các lý do thẩm mỹ và/hoặc chức năng. Ví dụ, các cạnh của vật phẩm gốc thủy tinh có thể dày hơn so với các vùng trung tâm hơn của vật phẩm gốc thủy tinh. Các chiều dài, rộng và độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh cũng có thể thay đổi theo ứng dụng hoặc mục đích sử dụng vật phẩm này.

Vật phẩm gốc thủy tinh có thể được đặc trưng bằng cách thức mà nó được tạo ra. Ví dụ, vật phẩm gốc 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). Theo các phương án thực hiện cụ thể, các vật phẩm gốc thủy tinh là có thể tạo hình được theo cách dung hợp.

Vật phẩm gốc thủy tinh có thể được đặc trưng bởi 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. Theo một quy trình ví dụ, thủy tinh nóng chảy mà được cấp lên bề mặt của tầng thiếc nóng chảy tạo ra dải thủy tinh nổi. Khi dải thủy tinh này chảy dọc theo bề thiếc, nhiệt độ giảm dần cho đến khi dải thủy tinh này hóa rắn thành vật phẩm gốc thủy tinh rắn vốn có thể được nhấc ra khỏi nền thiếc lên trên các con lăn. Khi ra khỏi bề thiếc, vật phẩm gốc thủy tinh có thể được làm nguội thêm và được ủ để giảm ứng suất bên trong. Nếu vật phẩm gốc thủy tinh là gốm thủy tinh, thì vật phẩm gốc thủy tinh được tạo ra từ quy trình nổi có thể được đưa vào quy trình gốm hóa mà nhờ đó, một hoặc nhiều pha tinh thể sẽ được tạo ra.

Các quy trình kéo xuôi tạo ra các vật phẩm gốc thủy tinh có độ dày đồng đều, có các bề mặt tương đối ban sơ. Vì độ bền uốn trung bình của vật phẩm gốc thủy tinh được kiểm soát bằng số lượng và kích cỡ các vết rạn trên bề mặt, nên bề mặt ban sơ có sự tiếp xúc tối thiểu sẽ có độ bền ban đầu cao hơn. Nếu sau đó vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh với bề mặt đã được mài và đánh bóng. Các vật phẩm gốc thủy tinh được kéo xuôi có thể được kéo đến độ dày nhỏ hơn khoảng 2 mm. Ngoài ra, các vật phẩm gốc 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 tới việc mài và đánh bóng tốn kém. Nếu vật phẩm gốc thủy tinh là gốm thủy tinh, thì vật phẩm gốc thủy tinh tạo ra từ quy trình kéo xuôi có thể được đưa vào quy trình gốm hóa mà nhờ đó, một hoặc nhiều pha tinh thể sẽ được tạo ra.

Ví dụ, quy trình rút dung hợp sử dụng bể rút có kênh nhận vật liệu thô thủy tinh nóng chảy. Kênh này có các cửa tràn mở ở phần trên, dọc theo chiều dài kênh trên cả hai phía của kênh. Khi kênh nạp đầy vật liệu nóng chảy, thủy tinh nóng chảy sẽ tràn qua các cửa tràn. Nhờ trọng lực, thủy tinh nóng chảy chảy xuống các bề mặt bên ngoài của bể rút dưới dạng hai màng thủy tinh chảy. Các bề mặt ngoài này của bể rút kéo dài xuống dưới và hướng vào phía trong sao cho chúng gặp nhau ở mép dưới bể rút. Hai màng thủy tinh chảy này gặp nhau ở cạnh này để dung hợp và tạo ra một vật phẩm gốc 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 gốc thủy tinh thu được tiếp xúc với phần bất kỳ của thiết bị. Do đó, các tính chất bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh được kéo dung hợp không bị ảnh hưởng bởi sự tiếp xúc này. Nếu vật phẩm gốc thủy tinh là gốm thủy tinh, thì vật phẩm gốc thủy tinh tạo ra từ quy trình dung hợp có thể được đưa vào quy trình gốm hóa mà nhờ đó, một hoặc nhiều pha tinh thể sẽ được tạo ra.

Quy trình rút qua khe khác với quy trình rút dung hợp. Trong các quy trình rút qua khe, vật liệu thủy tinh thô nóng chảy được cấp vào bể rút. Đáy của bể rút có khe mở với miệng kéo dài theo độ dài của khe này. Thủy tinh nóng chảy chảy qua khe/vòi và được kéo xuôi xuống dưới dạng vật phẩm gốc thủy tinh liên tục và chuyển vào vùng ủ.

Vật phẩm gốc thủy tinh có thể được đánh bóng bằng axit hoặc theo cách khác, được xử lý để loại bỏ hoặc làm giảm sự tác động của các khuyết tật bề mặt.

Khía cạnh khác của sáng chế đề cập đến phương pháp tạo ra vật phẩm gốc thủy tinh chống nứt vỡ. Phương pháp này bao gồm bước cung cấp đế gốc 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 đế gốc thủy tinh, như được mô tả ở đây để tạo ra vật phẩm gốc 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 đế gốc thủy tinh để tạo ra nồng độ oxit kim loại kiềm khác 0, 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 việc nhúng đế gốc 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). Trong một ví dụ, bể nóng chảy có thể bao gồm NaNO_3 , KNO_3 hoặc hỗn hợp của chúng, và có thể có nhiệt độ khoảng 485°C hoặc thấp hơn. Theo một ví dụ khác, bể có thể chứa hỗn hợp của NaNO_3 và KNO_3 và có nhiệt độ khoảng 460°C . Đế gốc thủy tinh có thể được nhúng trong bể trong khoảng 2 giờ hoặc lớn hơn, lên tới khoảng 48 giờ (ví dụ, từ khoảng 2 giờ tới khoảng 10 giờ, từ khoảng 2 giờ tới

khoảng 8 giờ, từ khoảng 2 giờ tới khoảng 6 giờ, từ khoảng 3 giờ tới khoảng 10 giờ, hoặc từ khoảng 3,5 giờ tới khoảng 10 giờ).

Theo một số phương án, phương pháp có thể bao gồm bước gia cường hóa học hoặc trao đổi ion để gốc thủy tinh trong một bể đơn hoặc trong nhiều hơn một bước sử dụng các bước nhúng liên tục 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 nhúng 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 của phương pháp, bể thứ hai hoặc các bể sau đó có thể được sử dụng để sinh ra ứng suất nén bề mặt lớn hơn. Trong một số trường hợp, phương pháp còn bao gồm bước nhúng để gốc thủy tinh trong bể thứ hai hoặc các bể tiếp theo để tạo ra ứng suất nén 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 bể tiếp theo này có thể được điều chỉnh để tạo ra ứng suất nén bề mặt lớn hơn. Theo một số phương án, thời gian nhúng của để gốc thủy tinh trong bể thứ hai hoặc bể tiếp theo có thể cũng được điều chỉnh để tạo ra ứng suất nén bề mặt lớn hơn mà không ảnh hưởng đến độ sâu hóa học của lớp và/hoặc DOC. Ví dụ, thời gian nhúng trong bể thứ hai hoặc các bể tiếp theo có thể là ít hơn 10 giờ (ví dụ, khoảng 8 giờ hoặc ít hơn, khoảng 5 giờ hoặc ít hơn, khoảng 4 giờ hoặc ít hơn, khoảng 2 giờ hoặc ít hơn, khoảng 1 giờ hoặc ít hơn, khoảng 30 phút hoặc ít hơn, khoảng 15 phút hoặc ít hơn, hoặc khoảng 10 phút hoặc ít hơn).

Theo một hoặc nhiều phương án khác, phương pháp này có thể gồm một hoặc nhiều bước xử lý nhiệt 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 gốc 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 để gốc thủy tinh tới nhiệt độ nằm trong phạm vi từ khoảng 300°C đến khoảng 600°C. Việc xử lý nhiệt có thể kéo dài trong thời gian từ 1 phút đến khoảng 18 giờ. Theo một số phương án, bước 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.

Một khía cạnh khác của sáng chế đề cập tới vật phẩm gốc thủy tinh chứa:

bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t) trong khoảng giới hạn từ 0,1 mm và 2 mm; và

biên dạng ứng suất kéo dài dọc theo độ dày (t),

trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 200 MPa/micromet tới khoảng 25 MPa/micromet,

trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,035 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet,

trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm CS bề mặt là từ khoảng 200 MPa tới khoảng 1100 MPa, và

trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm DOC trải từ khoảng $0,1 \cdot t$ đến $0,25 \cdot t$. Theo một số phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 200 MPa/micromet tới khoảng 25 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, các độ nghiêng đã ghi cho khoảng giới hạn độ dày thứ hai có thể ở trong khoảng giới hạn từ khoảng $0,1 \cdot t$ đến $0,9 \cdot t$, hoặc từ $0,15 \cdot t$ đến $0,85 \cdot t$, hoặc từ $0,2 \cdot t$ đến $0,8 \cdot t$, hoặc từ $0,22 \cdot t$ đến $0,78 \cdot t$, hoặc từ $0,24 \cdot t$ đến $0,76 \cdot t$, hoặc từ $0,26 \cdot t$ đến $0,74 \cdot t$, hoặc từ $0,28 \cdot t$ đến $0,72 \cdot t$, hoặc từ $0,3 \cdot t$ đến $0,7 \cdot t$, hoặc từ $0,35 \cdot t$ đến $0,65 \cdot t$, hoặc từ $0,4 \cdot t$ đến $0,6 \cdot t$, hoặc từ $0,45 \cdot t$ đến $0,55 \cdot t$.

Một hoặc nhiều phương án thực hiện của các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây bao gồm biên dạng ứng suất cụ thể có thể tạo hiệu quả cào xước được cải thiện cho bề mặt thủy tinh. Ngoài ra, các hiệu quả rơi (ví dụ đồng thời trên cả giấy ráp 180 grit và giấy ráp 30 grit) không bị suy giảm và được giữ ở các mức hiệu quả hoạt động chấp nhận được cho việc sử dụng tại thực địa. Các bề mặt rắn thử nghiệm này tạo ra khoảng giới hạn khuyết tật là đáng kể và liên quan tới hiệu quả hoạt động trên thực địa. Do đó, các biên dạng ứng suất thể hiện khả năng chống chịu cào xước được cải thiện và khả năng chống chịu tốt với nứt vỡ trong thử nghiệm rơi vốn là mục tiêu của sáng chế này. Các biên dạng ứng suất này cũng là không bị nứt vỡ.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các biên dạng ứng suất cho nhiều khuếch tán ion được bộc lộ trong đó tạo thêm cải thiện bất ngờ cho hiệu quả cào xước. Một số biên dạng ứng suất có thể được thu trong bước trao đổi ion đơn, các biên dạng khác được thu bằng cách sử dụng hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các biên dạng ứng suất thể hiện hai vùng - vùng đỉnh nhọn có độ nghiêng cao hơn tiếp theo bởi đuôi sâu của độ nghiêng về cơ bản là nhỏ hơn dẫn tới độ sâu rất lớn của việc nén được xác định như là điểm mà trong đó ứng suất thay đổi từ nén sáng kéo bên trong thủy tinh.

Theo các phương án thực hiện liên quan tới các thủy tinh mỏng (tức là, độ dày trải từ 0,05 mm đến 2 mm), các quy trình khuếch tán là có thời gian đủ dài mà ma sát không tầm thường của các ion Na được trao đổi vào trong thủy tinh từ bể trao đổi ion có thể đi tới trung tâm của thủy tinh sao cho các biên dạng sâu trong hai nửa của độ dày kết nối trong phần giữa mà không có vùng trung tâm của nồng độ Na về cơ bản là không đổi với nồng độ Na gốc trong để không được trao đổi ion. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khoảng thời gian của việc trao đổi ion là lớn hơn 1 giờ, lớn hơn 1,5 giờ, lớn hơn 2 giờ, lớn hơn 2,5 giờ, lớn hơn 3 giờ, lớn hơn 3,5 giờ, lớn hơn 4 giờ, lớn hơn 4,5 giờ, lớn hơn 5 giờ, lớn hơn 5,5 giờ, lớn hơn 6 giờ, lớn hơn 6,5 giờ, lớn hơn 7 giờ, lớn hơn 7,5 giờ và lớn hơn 8 giờ.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất tạo ra vật phẩm không dễ vỡ. Như được sử dụng ở đây, "không dễ vỡ" nghĩa là khi thủy tinh vỡ, thủy tinh sẽ vỡ thành ít mảnh tương đối lớn. Trái lại, thủy tinh dễ vỡ sẽ vỡ thành các

mảnh rất nhỏ, và với khả năng phóng ra các hạt thủy tinh tại các khoảng cách lớn do năng lượng đàn hồi cao được giữ trong vật phẩm thủy tinh.

Vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện bao gồm bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất, xác định độ dày t . Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, độ dày t có thể khoảng 2 milimet hoặc nhỏ hơn (ví dụ, trong phạm vi từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 2 milimet, từ khoảng 0,1 milimet tới khoảng 2 milimet, từ khoảng 0,2 milimet tới khoảng 2 milimet, từ khoảng 0,3 milimet tới khoảng 2 milimet, từ khoảng 0,4 milimet tới khoảng 2 milimet, từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 1,75 milimet, từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 1,5 milimet, từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 1 milimet, từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 0,9 milimet, từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 0,8 milimet, từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 0,7 milimet, từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 0,6 milimet, từ khoảng 0,01 milimet tới khoảng 0,5 milimet, từ khoảng 0,1 milimet tới khoảng 0,5 milimet, hoặc từ khoảng 0,3 milimet tới khoảng 0,5 milimet.)

Biên dạng ứng suất của một hoặc nhiều phương án thực hiện đặc trưng ở sự có mặt của hai vùng CT phân biệt có các tang với các độ dốc nằm trong các khoảng giới hạn cụ thể - một với độ dốc tương đối lớn và một với độ dốc nông hơn. Nói chung, biên dạng ứng suất có thể đạt được nhờ hai cách sau. Phương pháp thứ nhất đặc trưng ở việc khuếch tán trao đổi ion đơn, trong đó, hai hoặc hơn hai ion được khuếch tán một cách đồng thời. Phương pháp thứ hai đặc trưng ở chỗ có hai hoặc hơn hai việc khuếch tán trao đổi ion trong đó hai hoặc hơn hai ion được khuếch tán một cách đồng thời. Mỗi phương pháp đều có các ưu điểm cụ thể. Ví dụ, bước khuếch tán trao đổi ion đơn có thể đơn giản hơn và dễ áp dụng và/hoặc điều khiển hơn. Tuy nhiên, nhiều bước khuếch tán trao đổi ion có thể cho phép có độ tự do lớn hơn để tùy chỉnh biên dạng ứng suất. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khoảng thời gian của việc trao đổi ion là lớn hơn 1 giờ, lớn hơn 1,5 giờ, lớn hơn 2 giờ, lớn hơn 2,5 giờ, lớn hơn 3 giờ, lớn hơn 3,5 giờ, lớn hơn 4 giờ, lớn hơn 4,5 giờ, lớn hơn 5 giờ, lớn hơn 5,5 giờ, lớn hơn 6 giờ, lớn hơn 6,5 giờ, lớn hơn 7 giờ, lớn hơn 7,5 giờ và lớn hơn 8 giờ.

Có thể thấy rằng các biên dạng ứng suất được mô tả ở đây chứa hai vùng trong một bước mà các ion K lớn hơn sẽ khuếch tán chậm hơn. Trái lại, có thể thấy rằng các ion Na nhỏ hơn sẽ khuếch tán nhanh hơn và xâm nhập sâu hơn. Có thể thấy rằng các ion K lớn hơn tạo ứng suất cao hơn do thay đổi thể tích riêng lớn hơn, do đó đỉnh nhọn trong CS sẽ nông hơn.

Nói chung, các biên dạng ứng suất có DOC lớn và đỉnh nhọn CS cao giúp làm giảm thất bại từ việc tạo phá hủy từ phía trước trong khi vẫn giữ tỉ lệ lỗi ứng suất quá cao chấp nhận được. Các biên dạng này có thể đạt được các kết quả cải thiện trong các thủy tinh chứa Li, đề xuất khả năng để đạt được độ sâu nén lớn hơn một cách nhanh chóng thông qua việc phản khuếch tán trao đổi ion nhanh của các ion Na và Li. Tại cùng một thời điểm, chúng cũng có thể đạt được lớp bề mặt có độ nén cao (đỉnh nhọn) bằng cách khuếch tán kali (K) tới độ sâu nhỏ hơn ở mức 5-15 micron. Với việc trao đổi ion đơn, có sự tranh chấp giữa một mặt là ứng suất nén (compressive stress - CS) tại bề mặt cùng với việc làm giảm độ sâu lớp cao của đỉnh nhọn (DOL_{sp}), và ứng suất điểm uốn CS_k xuất hiện tại đáy của lớp bề mặt nén cao, là độ sâu mà tại đó độ nghiêng của ứng suất thay đổi một cách mạnh mẽ.

Thách thức với các thủy tinh chứa Li có các lượng cơ bản của cả Li và Na trong để không được gia cường là các biên dạng trao đổi ion đơn (single-ion-exchange - SIOX, tức là, việc trao đổi ion diễn ra trong một bể hoặc một bước, trái với "DIOX" đề cập tới việc trao đổi ion kép, tức là việc trao đổi ion được thực hiện trên cùng một đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh trong hai bể hoặc hai bước) có CS_k tương đối cao có xu hướng có độ sâu nén (depth of compression - DOC) bị hạn chế do đường cong dương cao của phần sâu của biên dạng tạo thành từ việc khuếch tán phi tuyến mạnh mẽ.

Sáng chế này đề xuất khả năng phá vỡ sự tranh chấp giữa CS và CS_k và đạt được các tổ hợp đề xuất CS cao và CS_k tương đối cao một cách đồng thời, trong khi vẫn đạt được DOL_{sp} tương đối cao. Ngoài ra, sáng chế cũng đề xuất việc tăng đáng kể trong DOC bằng cách cho phép giảm đáng kể độ cong dương của phần sâu trong biên dạng, và trong một số trường hợp thậm chí là tạo ra độ cong âm trong một phần của vùng nén.

Theo một số phương án thực hiện, quy trình hai bước của việc trao đổi ion được sử dụng, trong đó cả hai bước có hỗn hợp các muối chứa ion Na^+ và ion K^+ , như NaNO_3 và KNO_3 . Hỗn hợp muối bước thứ nhất có thể có thành phần Na cao hơn hỗn hợp muối bước thứ hai. Ví dụ, hỗn hợp bước thứ nhất có thể có 38-90 % NaNO_3 theo khối lượng khi hỗn hợp muối là $\text{NaNO}_3 + \text{KNO}_3$. Hỗn hợp muối bước thứ nhất có thể tạo ra đỉnh nhọn K_2O gần bề mặt với nồng độ bề mặt trung bình (ví dụ, <5 % mol), cho phép phát triển CS_k đáng kể mặc dù có sự hiện diện của đỉnh nhọn K. Bước thứ nhất cũng phát triển ứng suất trung tâm (center tension - CT) đáng kể, thường cao hơn 60 MPa.

Bước thứ hai có thể được thực hiện trong hỗn hợp muối trong đó muối chứa Na về cơ bản là ít hơn (ví dụ, 3-15 % khối lượng NaNO_3). Ngoài ra, bước thứ hai có thể về cơ bản là ngắn hơn bước thứ nhất (theo một số phương án thực hiện là ngắn hơn 3 hoặc hơn 3 lần), hoặc được thực hiện ở nhiệt độ về cơ bản là thấp hơn.

Quy trình có lợi thế của việc khuếch tán phi tuyến của K khi thủy tinh gốc có mức K_2O rất thấp, thấp hơn khoảng 8% của thành phần mol của tổng các oxit kali trong thủy tinh. Do đó đỉnh nhọn bước thứ hai đặc trưng ở chỗ có hệ số khuếch tán hiệu quả về cơ bản là cao hơn cho các ion K^+ khi so sánh với bước thứ nhất, cho phép DOL đầy đủ của đỉnh nhọn CS cao được duy trì với bước thứ hai ngắn, mà không phải hy sinh một cách đáng kể CS_K . Lượng nhỏ của Na trong hỗn hợp muối bước thứ hai có tác dụng nhằm ngăn cản Na khỏi việc khuếch tán ra trong suốt đỉnh nhọn, và do đó thu được quy trình tương đối ổn định trong đó CS_k không thay đổi quá nhiều với các biến đổi tương đối nhỏ của nhiệt độ hoặc thời gian trao đổi ion.

Biên dạng tạo thành có CS cao, tương tự với CS thu được bằng cách sử dụng riêng rẽ hỗn hợp thứ hai. Ngoài ra, nó có CS_k về cơ bản là cao hơn CS_k thông thường trong muối bước thứ hai riêng rẽ (bởi việc lớn hơn 10 MPa), nhưng về cơ bản cũng thấp hơn CS_K của bước thứ nhất (bởi việc lớn hơn 10 MPa). CT tương đối cao này được duy trì, hoặc đôi khi được tăng nhẹ sau bước thứ hai ngắn. CT này về cơ bản là cao hơn CT tối đa có thể thu được bằng cách sử dụng chỉ một thành phần muối của bước thứ hai. Cuối cùng, biên dạng ứng suất có thể có DOC thường là

trên mức $0,2 \cdot t$ (20% của độ dày đế), và là lớn hơn độ sâu tối đa khả thi trong hoặc là hỗn hợp muối thứ nhất hoặc là hỗn hợp muối thứ hai khi được sử dụng riêng rẽ.

Trong khi phục vụ, cùng một thành phần thủy tinh che phủ phải trải qua nhiều ứng suất phục vụ khác nhau (nghĩa là các tác động mài mòn và tước) trên phía trước (ngoài), phía sau (trong), và cạnh. Các lý do thông dụng nhất của việc thất bại (nứt vỡ) bao gồm các nứt vỡ từ việc tạo ra của khuyết tật sâu ($>10 \mu m$) mà độ sâu mũi của nó đôi khi có thể vượt quá độ sâu nén (depth of compression - DOC) sẵn có từ việc gia cường hóa học, và từ ứng suất quá mức (overstress - OS) của khuyết tật tương đối nông (1-10 μm) khi chịu ứng suất cục bộ cao cỡ hàng trăm MPa. Thông thường, nứt vỡ có thể bắt đầu khi khuyết tật sâu có độ sâu mũi ở mức độ nào đó nhỏ hơn DOC bị phơi ra trước ứng suất trung bình bởi việc uốn nhỏ của thành phần thủy tinh che phủ trong khi phục vụ. Do đó, DOC lớn và trị số của ứng suất nén tại các độ sâu tương đối cao bên trong lớp nén sâu là một thông số trong các thông số có lợi nhờ việc gia cường hóa học. Các khuyết tật sâu này có thể được tạo ra trong thủy tinh trong khi tiếp xúc với các bề mặt cứng hoặc các vật nhọn.

Quy trình hai bước có ưu điểm là, nếu được thực hiện theo cách thích hợp như theo sáng chế này thì phần sâu của biên dạng và đỉnh nhọn được phát triển về cơ bản là độc lập với nhau. Thay đổi của phần sâu của biên dạng trong suốt bước “đỉnh nhọn” ngắn và nhiệt độ tương đối thấp có thể gần như là bỏ qua được (thường nhỏ hơn 1% thay đổi ở DOL và ứng suất của phần sâu, và thay đổi nhỏ trong DOC).

Các thủy tinh chứa Li thường có một số thuộc tính hữu dụng để thu được các biên dạng đỉnh nhọn với DOC rất lớn, nhưng cũng đi kèm với một số thách thức đáng kể. Một ưu điểm là khả năng phát triển DOC rất lớn sử dụng việc trao đổi ion tương đối ngắn tại nhiệt độ thấp hơn nhiều so với điểm làm mềm của thủy tinh. DOC lớn là có thể đạt được một cách nhanh chóng do Na có thể được trao đổi với Li sâu vào trong thủy tinh, nhanh hơn nhiều so với K có thể được trao đổi với Na tới các độ sâu tương tự, do khả năng khuếch tán lớn của Na và Li nhỏ hơn, khi so sánh tương ứng với K và Na. Ưu điểm này đồng thời cũng tạo ra thách thức do việc tạo thành của đỉnh nhọn bề mặt của CS cao trong thủy tinh chứa Li thường yêu cầu việc khuếch tán trong của các ion K^+ tới độ sâu mong muốn cỡ 10 μm . Khả năng khuếch

tán tương đối nhỏ của K trong thủy tinh gốc Li, so với của Na, thường có nghĩa là việc áp dụng đỉnh nhọn nén bề mặt trong bể KNO_3 tinh khiết danh định sử dụng bước thứ hai tiếp theo bước thứ nhất là việc trao đổi ion NaNO_3 tinh khiết trong hỗn hợp $\text{NaNO}_3 - \text{LiNO}_3$, sẽ ảnh hưởng lớn tới mức nén tại các độ sâu vượt quá DOL_{sp} (ví dụ, từ độ sâu đỉnh nhọn, DOL_{sp} tới DOC), do gradient của các ion Na thu được sau bước trao đổi ion thứ nhất sẽ giảm một cách đáng kể trong suốt bước hình thành đỉnh nhọn (bước trao đổi ion thứ hai).

Ngoài ra, một số thủy tinh chứa Li được quan tâm trên thị trường chứa các lượng đáng kể và có thể so sánh được của cả Li_2O và Na_2O trong thủy tinh gốc. Theo ví dụ, thủy tinh sẵn có trên thị trường của Corning Incorporated (Corning, NY) chứa khoảng 6 % mol Li_2O và 11 % mol Na_2O . Một cách tương tự, thủy tinh khác sẵn có trên thị trường của Corning Incorporated (Corning, NY) chứa khoảng 6 % mol Li_2O và khoảng 9 % mol Na_2O . Khi thủy tinh với các thành phần này có các lượng đáng kể của cả Li_2O và Na_2O được trao đổi ion trong bể được thiết kế để về cơ bản là làm giàu với Na với sự tiêu tốn của Li, các biên dạng nồng độ Na tạo thành có xu hướng thể hiện độ cong dương đáng kể như là kết quả của việc khuếch tán về cơ bản là phi tuyến. Kết quả là, phần sâu của biên dạng ứng suất tại các độ sâu lớn hơn độ sâu đỉnh nhọn cũng có độ cong dương đáng kể khi ứng suất điểm uốn CS_k là đáng kể, như vượt quá 120 MPa. Ví dụ, xem các đường cong 2801 (ví dụ đối chứng 7B) và 2802 (ví dụ đối chứng 7C) trên Fig.28, sẽ được thảo luận chi tiết hơn bên dưới. Các biên dạng này có xu hướng tạo ra mức ứng suất nén đáng kể tại các độ sâu tương đối nhỏ và trung bình nhưng lại là ứng suất nén thấp hơn tương đối tại các độ sâu lớn tiến tới độ sâu nén. Xem Fig.28 trong đó, các đường cong 2801 và 2802 rơi xuống bên dưới đường cong 2804 (ví dụ 7A). Ngoài ra, chúng còn có xu hướng có độ sâu nén nhỏ hơn so với các đường cong có CS_k tương tự nhưng không có độ cong (hoặc với các phần có độ cong âm) của ứng suất nén trong vùng giữa độ sâu đỉnh nhọn DOL_{sp} và DOC. Cụ thể, trong các biên dạng với độ cong dương một cách đáng kể, hầu như ứng suất nén là đáng kể từ bề mặt tới khoảng 1/3 của DOC, nhưng không cao như vậy trong vùng từ 1/3 hoặc 1/2 của DOC tới DOC. Xem, ví dụ, Fig.28, trong đó, đường cong 2801 có CS gần giống như đường cong

2804 tại 50 micron (1/3 của DOC khoảng 150 micron), nhưng có CS rơi xuống bên dưới mức của đường cong 2804 bởi 100 micron (khoảng 2/3 của DOC). Một cách tương tự, một lần nữa trên Fig.28, đường cong 2802 có CS là ở sẵn bên dưới phần tương ứng của đường cong 2804 bởi một lượng 50 micron (khoảng 1/3 DOC) và vẫn giữ bên dưới phần tương ứng của đường cong 2802 ở mức 75 micron (khoảng 1/2 DOC) và 100 micron (khoảng 2/3 DOC). Ngoài ra, các biên dạng này (như các đường cong 2801 và 2802) có xu hướng có DOC nhỏ hơn ở mức độ nào đó so với các biên dạng với đỉnh nhọn tương tự và ứng suất điểm uốn tương tự có ít độ cong trong phần sâu của vùng nén hơn, ví dụ, các biên dạng có thể thu được trong thủy tinh có nhiều Li_2O nhưng có ít hoặc không có Na_2O trong hợp phần không được gia cường.

Trong các thủy tinh che phủ chứa Li được gia cường hóa học, sẽ đạt được một lợi ích của việc gia cường hóa học khi DOC là ở trong chế độ ổn định. DOC được ổn định ở mức độ 20% của độ dày (DOC là khoảng 0,2t), và các biên dạng với độ cong dương cao hơn thường có các trị số nhỏ hơn ở mức độ nào đó, trong đó các biên dạng với độ cong dương thấp hơn có xu hướng có các trị số DOC cao hơn ở mức độ nào đó. Trong chế độ DOC ổn định này, trong suốt quá trình hoạt động trong lĩnh vực, thủy tinh che phủ có thể lại chịu việc tạo thành các khuyết tật sâu do các vật sắc như các hạt cát hoặc các viên đá nhỏ. Các khuyết tật hạn chế độ bền thường nhất là các khuyết tật sâu nhất, và có nhiều ứng suất nén tại các độ sâu lớn như khoảng giới hạn $0,3\text{DOC}-\text{DOC}$, có thể có lợi cho việc làm giảm khả năng nứt vỡ như là kết quả của các sự kiện tiếp xúc sắc. Nó trở nên đặc biệt quan trọng cho các độ dày nhỏ hơn như bằng hoặc nhỏ hơn 1mm, ví dụ bằng hoặc nhỏ hơn 0,8mm, hoặc bằng hoặc nhỏ hơn 0,6mm, do DOC bị giảm theo tỉ lệ với độ dày và các mũi của các khuyết tật cần bị giữ bởi ứng suất nén đạt tới phần lớn hơn, gia tăng của DOC.

Sáng chế này bộc lộ quy trình trao đổi ion kép cụ thể cho phép đồng thời đạt được DOL đỉnh nhọn đáng kể, CS đỉnh nhọn đáng kể, DOC sâu, CS_k đáng kể, và ứng suất nén đáng kể tại các độ sâu lớn $0,3\text{DOC}-\text{DOC}$ (theo một số phương án thực

hiện là kết quả của độ cong dương được làm giảm của phần sâu của biên dạng ứng suất nén).

Một số phương án thực hiện có thể bao gồm việc cải thiện trong khả năng chống chịu cào xước, như là kết quả có lợi của việc đạt được đồng thời độ sâu tốt của CS đỉnh nhọn và cao trong khi vẫn đạt được mức mong muốn cho CS_k cho khả năng chịu nứt vỡ tốt.

Theo một số phương án thực hiện, các biên dạng ứng suất thu được bởi việc trao đổi ion hai bước (hoặc nhiều hơn) của thủy tinh chứa Lithi có các lợi ích đáng kể khi so sánh với các biên dạng có thể thu được trong cùng một thủy tinh nhờ hoặc là việc trao đổi ion bước đơn trong bể được trộn lẫn của Na và muối chứa K, hoặc trong các việc trao đổi ion hai bước trước đó.

Biên dạng ứng suất thu được sử dụng DIOX với bước tương đối dài trong 100% NaNO₃ tiếp theo bởi bước thứ hai ngắn hơn trong hỗn hợp của NaNO₃ và KNO₃ hầu như tạo ra sự tranh chấp giữa CS_k cao hơn và DOL_{sp} được làm giảm khi so sánh với quy trình SIOX sử dụng cùng một hỗn hợp muối như bước thứ hai của DIOX. Biên dạng DIOX tốt hơn có thể thu được khi cả bước thứ nhất và bước thứ hai của việc trao đổi ion được thực hiện trong các hỗn hợp của KNO₃ và NaNO₃, nhưng, không giống như DIOX (có bước 1 với 65%Na; bước 2 40%Na), bể bước hai có tỉ lệ mol của Na: K về cơ bản là nhỏ hơn (ví dụ, nhỏ hơn từ 3 đến 10 lần) tỉ lệ mol Na:K của bể bước thứ nhất.

Biên dạng ứng suất trong thủy tinh chứa Li, theo một số phương án thực hiện, thu được bởi việc trao đổi ion hai bước trong đó, cả hai bước trao đổi ion được hoàn thiện trong bể chứa cả muối chứa Na và muối chứa K, trong đó, tỉ lệ của các ion Na so với các ion K trong bể thứ nhất là cao hơn 2,5 lần hoặc lớn hơn so với tỉ lệ của các ion Na so với các ion K trong bể thứ hai, ví dụ 3 lần hoặc lớn hơn, hoặc 5 hoặc 8 lần hoặc lớn hơn, nhưng cao hơn 800 lần hoặc nhỏ hơn, ví dụ cao hơn 600, 500, hoặc 400 lần, hoặc nhỏ hơn, phụ thuộc vào tỉ lệ Na:Li trong thành phần thủy tinh. Hơn nữa, theo một số phương án thực hiện, muối thứ hai có tỉ lệ của Na so với K là 0,03 hoặc lớn hơn, ví dụ 0,04 hoặc lớn hơn, hoặc 0,047 hoặc lớn hơn, và trong một

số trường hợp 0,06 hoặc 0,07 hoặc lớn hơn, và là nhỏ hơn hoặc bằng 0,4, hoặc 0,35, hoặc 0,30, hoặc 0,21, 0,16, hoặc 0,13, phụ thuộc vào thành phần thủy tinh. Nói chung, các thành phần về cơ bản có nhiều Na trong thủy tinh hơn Li sẽ chịu các tỉ lệ Na:K cao hơn trong bể, ví dụ là 0,21 và 0,16 trong bể thứ hai.

Theo một số phương án thực hiện, thời gian khuếch tán hiệu quả của bước thứ hai là từ 1/20 đến 1/2 thời gian khuếch tán của bước thứ nhất, ví dụ từ 1/20 đến 1/3, hoặc từ 1/20 đến 1/4.

Một số đặc điểm của quy trình DIOX được mô tả ở đây là như sau.

Theo một số phương án thực hiện, CS bề mặt cao, rất tương tự với CS bề mặt cao vốn có thể thu được với thành phần Na thấp của bước thứ hai, và về cơ bản là cao hơn CS bề mặt thường được tạo ra với bể bước thứ nhất Na cao. Ví dụ, xem đường cong 2801 có CS bề mặt cao được tạo ra bởi bể 70Na/30K theo ví dụ đối chứng 7B, và so sánh với ví dụ 7A, đường cong 2804. CS bề mặt của biên dạng DIOX có thể là 600 MPa hoặc lớn hơn, ví dụ 650 MPa hoặc lớn hơn, 700 MPa hoặc lớn hơn, 750 MPa hoặc lớn hơn, 800 MPa hoặc lớn hơn, hoặc 850 MPa hoặc lớn hơn.

Theo một số phương án thực hiện, DOL_{sp} là có thể so sánh được với DOL_{sp} của bước thứ nhất, và lớn hơn một cách đáng kể so với DOL_{sp} vốn có thể thu được với riêng bước thứ hai (thường lớn gấp đôi, hoặc lớn hơn). Nó có nghĩa là DOL_{sp} là tương đối lớn, khi so sánh với DOL_{sp} vốn có thể thu được nếu chỉ có bước thứ hai có KNO_3 trong bể muối và các ion K được tạo ra cho việc hình thành đỉnh nhọn qua việc trao đổi ion. Theo một số phương án thực hiện, DOL_{sp} đạt được với quy trình DIOX được bộc lộ ở đây là: trong phạm vi từ 5 đến 16 micron, và thể hiện từ 0,5 đến 1,5% của độ dày khi độ dày là từ 1 đến 1,3mm; trong phạm vi từ 0,6 đến 2% độ dày khi độ dày là từ 0,8 đến 1mm; trong phạm vi từ 0,7 đến 2,5% khi độ dày là từ 0,65 đến 0,8mm; trong phạm vi từ 0,9 đến 3% khi độ dày là từ 0,5 đến 0,65mm; và trong phạm vi từ 1 đến 3% khi độ dày là từ 0,3 đến 0,5mm.

Theo một số phương án thực hiện, CS_k tương đối cao, về cơ bản là cao hơn CS_k vốn là thông thường cho thành phần của riêng bể bước thứ hai, và thấp hơn

$CS_{k,k}$ bước thứ nhất. Ví dụ, trong ví dụ 7A, CS_k bước thứ nhất là khoảng 160 MPa, DIOX CS_k là 125 MPa, trong đó bề có thành phần của bước thứ hai, 7% $NaNO_3$ + 93% KNO_3 theo khối lượng sẽ tạo thành CS_k dưới 75 MPa khi đạt được DOC ổn định.

Theo một số phương án thực hiện, đạt được DOC cao, cao hơn DOC vốn có thể thu được bởi việc trao đổi ion một bước trong muối bước thứ nhất. Ví dụ, với mẫu 0,8mm, DIOX DOC của ví dụ 7A là khoảng 160 μm , hoặc 20% của độ dày.

Theo một số phương án thực hiện, thu được việc tối thiểu hóa hoặc thậm chí là việc loại bỏ của độ cong dương trong biên dạng ứng suất nén trong khoảng giới hạn độ sâu từ khoảng 1,5 DOL_{sp} đến DOC. Cụ thể, độ cong mà trong đó khoảng giới hạn độ sâu tốt hơn hầu vượt quá độ cong của biên dạng parabol được cân bằng lúc được đặt tâm trong phần giữa của đế và có cùng một CS_k như biên dạng DIOX theo sáng chế. Chú ý rằng cho mục đích so sánh, quy ước dấu được giả sử trong đó ứng suất nén là dương và ứng suất kéo là âm. Cũng cần chú ý rằng trong khi mục đích giám sát chất lượng, có thể giả sử rằng biểu diễn được đơn giản hóa của biên dạng khi biên dạng luật lũy thừa được tạo đỉnh nhọn. Phần sâu của biên dạng parabol được tạo đỉnh nhọn được làm phù hợp với dạng parabol có hệ số mũ là 2. Theo một số phương án thực hiện, hệ số mũ có thể trải dài từ 1 đến 3, hoặc từ 1,7 đến 2,6 cho hình dạng của vùng sâu của biên dạng, hoặc vùng CT. Biên dạng DIOX theo sáng chế minh họa độ cong trong vùng giữa DOL_{sp} và DOC qua cùng một khoảng giới hạn độ sâu không vượt quá độ cong của biên dạng parabol có cùng một ứng suất tại độ sâu = DOL_{sp} .

Theo một số phương án thực hiện, có thể thu được việc nén tương đối cao trong khoảng giới hạn độ sâu từ $DOC/3$ đến DOC. Cụ thể, biên dạng DIOX có độ nén tương tự hoặc cao hơn biên dạng bước thứ nhất trong khoảng giới hạn độ sâu này. Ví dụ, so sánh đường cong 2804 trên Fig.28 với các đường cong 2802 và 2803 trong phạm vi là từ khoảng 50 đến 150 micron, thể hiện CS cao hơn trong khoảng giới hạn này. CS cao hơn này là kết quả của tác động kết hợp của cân bằng lực và việc giảm hoặc loại bỏ độ cong dương trong biên dạng trong khoảng giới hạn độ sâu giữa khoảng 1,5 DOL_{sp} và DOC.

Theo một số phương án thực hiện, có thể thu được CT tương đối cao, thường nằm trong ± 3 MPa của CT bước thứ nhất, và thường cao hơn 5-15 MPa so với CT vốn có thể thu được với chỉ thành phần muối bước 2 cho tổng thời gian trao đổi ion tương đương. Trong ví dụ 7, được thể hiện trên Fig.28, biên dạng DIOX (đường cong 2804) có CT khoảng 70 MPa, xấp xỉ giống như CT của bước 1, biên dạng đường cong 2801 (70%Na, 4 giờ, 380 C), trong khi trao đổi ion trong bể bước thứ hai (7%Na) trong thời gian có thể so sánh được như thời gian tổng cộng DIOX là 4 giờ + 40 phút tạo thành CT trong phạm vi 50-55 MPa. CT cao của biên dạng DIOX chỉ thị rằng việc kết hợp ứng suất-độ sâu cao trong vùng nén giúp tạo ra khả năng chịu đựng của vật phẩm thủy tinh với nứt vỡ được khởi tạo bởi khuyết tật được tạo ra trong vùng nén.

Theo một số phương án thực hiện, có khả năng chống chịu cào xước tốt hơn, có thể thu được khi so sánh với các biên dạng chịu nứt vỡ khác với phần sâu tương tự và Csk cao tương tự, nhưng CS bề mặt hoặc DOL_{sp} về cơ bản là thấp hơn. Ví dụ, so sánh biên dạng đường cong 2802 SIOX trên Fig.28 được tạo ra trong bể có 40%NaNO₃ và 60%KNO₃ có CS_k tương tự tại 125 MPa, DOC tương tự, và DOL_{sp} khi đường cong biên dạng 2804 DIOX mà CS bề mặt của đường cong 2802 là thấp hơn bởi một khoảng 250 MPa (550-570 MPa so với 800-820 MPa cho biên dạng đường cong 2804 DIOX).

Theo một số phương án thực hiện, biên dạng DIOX và phương pháp tạo việc gia cường vượt trội của vùng ngoại vi của vật phẩm thủy tinh, đặc biệt là khi độ dày của vật phẩm thủy tinh giảm đều đặn về phía cạnh (“thủy tinh che phủ 2,5D”). Với thủy tinh che phủ (“2D”) truyền thống, độ dày của vật phẩm thủy tinh là hằng số về cơ bản là cho mọi cạnh của tấm thủy tinh, hoặc để nằm trong khoảng nhỏ hơn $0,3t$ của mũi cạnh khi cạnh được vát, trong đó t là độ dày của tấm. Các biên dạng theo các phương án thực hiện được mô tả ở đây tạo việc gia cường vượt trội của loại cạnh này khi so sánh với các biên dạng trong tình trạng kỹ thuật của sáng chế, khi độ sâu nén được đo từ điểm bất kỳ quanh cạnh là tương tự như độ sâu nén lớn trong phần bên trong của tấm. Đáng kể hơn, với thủy tinh che phủ 2,5D, trong đó độ dày của tấm nghiêng một cách đều đặn về phía cạnh, bắt đầu nghiêng thường là 1-3mm

từ cạnh, hoặc từ khoảng cách lớn hơn hoặc bằng $0,3t$ từ cạnh, nhưng thông thường nhất là từ khoảng cách lớn hơn hoặc bằng $0,5t$, hoặc lớn hơn hoặc bằng $1,0t$, từ cạnh, có việc gia cường chính của cạnh theo nghĩa là khuyết tật được khởi tạo trong ngoại vi của vật phẩm thủy tinh (ví dụ, từ tiếp xúc cạnh) về cơ bản là thường xảy ra hơn, để được làm giảm hoặc chuyển hướng bởi phân bố ứng suất nén khi so sánh với các biên dạng trong tình trạng kỹ thuật của sáng chế. Hiệu ứng giam nứt vỡ này là ưu điểm chủ yếu do khi các thiết bị điện tử bất ngờ bị rơi, chúng thường chịu tiếp xúc trên cạnh, do đó việc gia cường cạnh sẽ là có lợi trong việc cải thiện một cách đáng kể khả năng chống lại nứt vỡ trong khi hoạt động thực tế.

Do đó, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 200 MPa/micromet tới khoảng 25 MPa/micromet. Khoảng giới hạn độ dày thứ nhất có thể trải dài từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới khoảng $0,020 \cdot t$, $0,025 \cdot t$, $0,0275 \cdot t$, $0,030 \cdot t$, hoặc $0,035 \cdot t$, và lớn hơn $0,98 \cdot t$, $0,975 \cdot t$, $0,9725 \cdot t$, $0,97 \cdot t$, hoặc $0,965 \cdot t$. Độ nghiêng có thể trải dài từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 200 MPa/micromet tới khoảng 25 MPa/micromet. Theo các phương án thực hiện khác, độ nghiêng có thể trải dài từ khoảng -200 , -190 , -180 , -170 , -160 , -150 hoặc -140 MPa/micromet tới khoảng -25 , -27 , -30 , -31 , -32 , -33 , -34 hoặc -35 MPa/micromet; hoặc khoảng 25 , 27 , 30 , 31 , 32 , 33 , 34 , hoặc 35 tới khoảng 140 , 150 , 160 , 170 , 180 , 190 hoặc 200 . Do đó, ví dụ, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet

tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet.

Các khoảng giới hạn độ nghiêng nêu trên có thể được kết hợp với khoảng giới hạn bất kỳ trong các khoảng giới hạn độ dày thứ nhất. Do đó, ví dụ, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,025 \cdot t$ và lớn hơn $0,975 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet. Theo các phương án thực hiện khác, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,025 \cdot t$ và lớn hơn $0,975 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet. Theo các phương án thực hiện khác, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,025 \cdot t$ và lớn hơn $0,975 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet.

Theo một số phương án thực hiện, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,035 \cdot t$ và lớn hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet. Theo các phương án thực hiện khác, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,035 \cdot t$ và lớn hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet. Theo các phương án thực hiện khác nữa, ít nhất một điểm trong số, và theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,035 \cdot t$ và lớn

hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng $-140 \text{ MPa/micromet}$ tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet . Theo một số phương án thực hiện, khi khoảng giới hạn độ dày thứ nhất trở nên ngắn hơn, các độ nghiêng của các tang tại các điểm trong độ dày thứ nhất có thể trở nên dốc hơn.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của khía cạnh này, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,035 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang có độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet . Nghĩa là, đi dọc theo khoảng $0,035 \cdot t$ và qua $0,965 \cdot t$, độ nghiêng bắt đầu âm, tiến tới không, và sau đó trở nên dương, xấp xỉ với hàm số theo luật mũ. Như được sử dụng ở đây, "hàm số theo luật mũ" đề cập tới đường cong mà trong đó ứng suất là tỉ lệ theo lũy thừa với độ sâu hoặc độ dày. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, số mũ lũy thừa trải dài từ khoảng 1,2 tới khoảng 3,2. Theo các phương án thực hiện khác, số mũ lũy thừa trải dài từ khoảng 1,2 tới khoảng 2,8. Theo một số phương án thực hiện, các độ nghiêng đã ghi cho khoảng giới hạn độ dày thứ hai có thể ở trong khoảng giới hạn từ khoảng $0,1 \cdot t$ đến $0,9 \cdot t$, hoặc từ $0,15 \cdot t$ đến $0,85 \cdot t$, hoặc từ $0,2 \cdot t$ đến $0,8 \cdot t$, hoặc từ $0,22 \cdot t$ đến $0,78 \cdot t$, hoặc từ $0,24 \cdot t$ đến $0,76 \cdot t$, hoặc từ $0,26 \cdot t$ đến $0,74 \cdot t$, hoặc từ $0,28 \cdot t$ đến $0,72 \cdot t$, hoặc từ $0,3 \cdot t$ đến $0,7 \cdot t$, hoặc từ $0,35 \cdot t$ đến $0,65 \cdot t$, hoặc từ $0,4 \cdot t$ đến $0,6 \cdot t$, hoặc từ $0,45 \cdot t$ đến $0,55 \cdot t$.

Các điểm trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai cũng có thể được mô tả như là bao gồm các tang với các độ nghiêng. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các độ nghiêng của các tang trải dài từ khoảng -15 , -10 , -5 , -4 , -3 , -2 hoặc -1 MPa/micromet tới khoảng 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 10 hoặc 15 MPa/micromet . Theo một số phương án thực hiện, các độ nghiêng đã ghi cho khoảng giới hạn độ dày thứ hai có thể ở trong khoảng giới hạn từ khoảng $0,1 \cdot t$ đến $0,9 \cdot t$, hoặc từ $0,15 \cdot t$ đến $0,85 \cdot t$, hoặc từ $0,2 \cdot t$ đến $0,8 \cdot t$, hoặc từ $0,22 \cdot t$ đến $0,78 \cdot t$, hoặc từ $0,24 \cdot t$ đến $0,76 \cdot t$, hoặc từ $0,26 \cdot t$ đến $0,74 \cdot t$, hoặc từ $0,28 \cdot t$ đến $0,72 \cdot t$, hoặc từ $0,3 \cdot t$ đến $0,7 \cdot t$, hoặc từ $0,35 \cdot t$ đến $0,65 \cdot t$, hoặc từ $0,4 \cdot t$ đến $0,6 \cdot t$, hoặc từ $0,45 \cdot t$ đến $0,55 \cdot t$.

Các khoảng giới hạn độ nghiêng nêu trên có thể được kết hợp với khoảng giới hạn bất kỳ trong các khoảng giới hạn độ dày thứ hai. Do đó, ví dụ, theo một hoặc

nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,035 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet. Theo một số phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,025 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,975 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet. Theo các phương án thực hiện khác, các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,025 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,975 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm có biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,02 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet, hoặc từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm CS bề mặt là từ khoảng 200 MPa tới khoảng 1100 MPa. Theo các phương án thực hiện khác, CS bề mặt là lớn hơn khoảng $300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 610, 620, 650, 700, 750$, và/hoặc nhỏ hơn khoảng $650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000$ hoặc 1100 .

Các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả trong các phương án thực hiện này hoặc các phương án thực hiện khác của khía cạnh này bao gồm biên dạng ứng suất bao gồm DOC trải từ khoảng $0,1 \cdot t$ đến $0,25 \cdot t$, hoặc $0,3 \cdot t$.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa giữa khoảng $0,5$ % mol P_2O_5 và 10 % mol P_2O_5 .

Các biên dạng ứng suất của các vật phẩm gốc thủy tinh theo khía cạnh này có thể thu được hoặc thông qua bước trao đổi ion đơn hoặc sử dụng hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, bước (các bước) trao đổi ion có thể chứa hoặc tích hợp đặc điểm bất kỳ trong số các đặc điểm đã được mô tả ở trên liên quan tới các khía cạnh nêu trên. Theo một hoặc nhiều phương án

thực hiện, khoảng giới hạn độ dày thứ nhất được thu bởi việc trao đổi ion trong muối chứa kali.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện liên quan tới quy trình trao đổi ion bước đơn trên thủy tinh chứa Li, có thể thấy rằng thông số điều khiển chính là tỉ lệ nồng độ bề giữa Na và K, dẫn tới độ lớn tương đối của CS đỉnh nhọn và ứng suất trong phần sâu của biên dạng. Các thông số thứ cấp với ảnh hưởng nhỏ hơn trên độ lớn tương đối là thời gian và nhiệt độ trao đổi, cả hai thông số này có thể bị ảnh hưởng bởi các nhu cầu về độ sâu và đỉnh nhọn của ứng suất tổng thể trong biên dạng. Do đó, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các phương pháp được tạo ra chứa bước trao đổi ion đơn gồm việc thay đổi tỉ lệ nồng độ giữa Na và K cho quãng thời gian để đạt được các biên dạng ứng suất được mô tả ở đây.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện liên quan tới việc gia cường hóa học có hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion, có thể còn tùy chỉnh hình dạng biên dạng bằng cách sử dụng các tỉ lệ Na/K khác nhau và các thời gian tương đối khác nhau của hai hoặc hơn hai bước. Theo một số phương án thực hiện, phạm vi của các hệ số số mũ có vùng đuôi của biên dạng có thể đạt được bằng cách tùy chỉnh tỉ lệ $\text{KNO}_3/\text{NaNO}_3$ và thời gian trao đổi ion. Các biên dạng thực nghiệm được tạo ra theo sáng chế này có thể có hệ số mũ nằm trong khoảng giới hạn từ từ 1 đến 3, hoặc từ 1,7 đến 2,6 cho hình dạng của vùng sâu của biên dạng. Có thể thấy rằng các biên dạng với các hệ số mũ nhỏ hơn có các độ nghiêng nhỏ hơn trong vùng sâu, thường là dưới 1 MPa/micromet. Do đó, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các phương pháp được tạo ra chứa hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion gồm việc thay đổi tỉ lệ nồng độ giữa Na và K cho quãng thời gian để đạt được các biên dạng ứng suất được mô tả ở đây.

Khía cạnh khác của sáng chế đề cập tới vật phẩm gốc thủy tinh chứa mặt phẳng trung tâm, trong đó, mặt phẳng trung tâm bao gồm từ khoảng 2 tới khoảng 20 % mol Li_2O ; bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t) trong khoảng giới hạn từ 0,1 mm và 2 mm; và biên dạng ứng suất kéo dài dọc theo độ dày (t), trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang

có độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet, trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm CS bề mặt là từ khoảng 200 MPa tới khoảng 1100 MPa, và trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm DOC trải từ khoảng $0,05 \cdot t$ tới $0,25 \cdot t$. Phương án thực hiện bất kỳ trong các phương án thực hiện được mô tả ở trên, đặc biệt liên quan tới khía cạnh trước đó cũng có thể được áp dụng cho khía cạnh này. Theo các phương án thực hiện khác, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khoảng giới hạn độ dày thứ nhất được thu bằng cách trao đổi ion trong muối chứa K.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, khoảng giới hạn độ dày thứ hai được thu bằng cách trao đổi ion trong muối chứa Na hoặc K.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất được thu sử dụng bước trao đổi ion đơn.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, biên dạng ứng suất được thu bằng cách sử dụng hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, CS bề mặt trải dài từ khoảng 690 MPa và 950 MPa.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ biên dạng luật lũy thừa có số mũ lũy thừa, trong đó, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,2 đến 3,4. Theo một số phương án thực hiện, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,3 và 2,8.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa từ khoảng 0,5 % mol P_2O_5 tới khoảng 10 % mol P_2O_5 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, mặt phẳng trung tâm còn bao gồm thành phần chứa từ khoảng 0,5 % mol tới khoảng 20 % mol Na_2O . Theo một số

phương án thực hiện, mặt phẳng trung tâm còn bao gồm thành phần chứa từ khoảng 2 % mol tới khoảng 10 % mol Li_2O . Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của Na_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là giữa khoảng 5 % mol và 16 % mol. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của Na_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là giữa khoảng 10 % mol và 15 % mol. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của Li_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là giữa khoảng 3 % mol và 10 % mol.

Các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế được mô tả ở đây tạo ra mức chống chịu cào xước được cải thiện mà không ảnh hưởng tới hiệu quả rơi, đặc biệt là với các vật phẩm gốc thủy tinh chứa gốc Li. Các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế được mô tả ở đây tạo ra hiệu quả rơi vượt trội, như được minh họa cả trong giấy ráp 30 grit và 180 grit. Các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế được mô tả ở đây tạo ra các công thức là không dễ vỡ và việc vỡ của thủy tinh là giả đồng đều trong các phần lớn. Các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế được mô tả ở đây tạo ra các mức nhiễu loạn hình dạng của thủy tinh chấp nhận được cho các nhiệt độ và thành phần được sử dụng trong quá trình trao đổi ion. Các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế được mô tả ở đây bao gồm các biên dạng ứng suất có thể được áp dụng mà không có độ phức tạp bổ sung trong quy trình sản xuất.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, có thể quan sát được rằng các biên dạng nồng độ trong các thủy tinh theo sáng chế này khác với các biên dạng dựa trên hàm lỗi bổ sung có thể được tính toán sử dụng xấp xỉ khuếch tán tuyến tính. Do đó, các thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện được mô tả ở đây không thể hiện các biên dạng dựa trên hàm lỗi bổ sung có thể được tính toán dựa trên xấp xỉ khuếch tán tuyến tính.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các khả năng khuếch tán tương hỗ có thể được sử dụng để mô tả việc phản khuếch tán Na/Li , $\text{K}/(\text{Na}+\text{Li})$ trong các thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện phụ thuộc vào nồng độ cục bộ

của Li, Na, và K. Các thủy tinh chứa Li được gia cường hóa học đã được mô tả trong các tài liệu đã có. Tuy nhiên, các thủy tinh được mô tả trong các tài liệu đã có bỏ qua các tác động của khả năng khuếch tán phụ thuộc vào nồng độ trên đường cong của biên dạng ứng suất, và các thủy tinh này thể hiện các biên dạng thống nhất với xấp xỉ khuếch tán tuyến tính (tức là, nhánh nông và sâu được tạo hình hàm sai số, phân biệt các thủy tinh của một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế này với các thủy tinh đã biết. Khác biệt khác giữa các thủy tinh được mô tả theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế này và với các thủy tinh đã biết là việc khuếch tán của các công thức ion gia cường (ví dụ, Na^+ hoặc K^+ hoặc tổ hợp của chúng) trong các bề mặt được gia cường đã biết không mở rộng tới các độ sâu sâu hơn của đế hoặc, theo một số trường hợp, là tới trung tâm (tức là, trong phạm vi từ khoảng 0,4t tới khoảng 0,6t) của đế. Ngoài ra, các tài liệu cũng không bộc lộ tổ hợp của khả năng khuếch tán của thủy tinh, độ dày đế, và các điều kiện trao đổi ion tạo thành trong các biên dạng ứng suất được mô tả ở đây. Cụ thể, các tài liệu mô tả các đế dày hơn (ví dụ, các đế có các độ dày vượt quá 2,5 mm). Các khác biệt này, trong các khác biệt khác, giữa các thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế này và các phương án đã được mô tả trong tài liệu cũng tạo thành khác biệt trong hình dạng tổng thể của biên dạng, cụ thể hơn là xấp xỉ luật số mũ theo một hoặc nhiều phương án thực hiện.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các phương án thực hiện khác nhau sẽ được làm rõ hơn nhờ các ví dụ sau. Trong các ví dụ, trước khi được gia cường, các ví dụ đề cập tới như là "các đế". Sau khi được đưa vào gia cường, các ví dụ sẽ được đề cập tới như là "các vật phẩm" hoặc "các vật phẩm gốc thủy tinh".

Ví dụ 1

Các ví dụ 1A-1G bao gồm đế thủy tinh có thành phần danh định khoảng 63,46% mol SiO_2 , 15,71% mol Al_2O_3 , 6,37% mol Li_2O , 10,69% mol Na_2O , 0,06% mol MgO , 1,15% mol ZnO , 2,45% mol P_2O_5 , và 0,04% mol SnO_2 . Các đế thủy tinh có độ dày 0,8 mm. Các đế thủy tinh theo các ví dụ 1A-1G được trao đổi ion trong

bể muối nóng chảy chứa 100% NaNO_3 và có nhiệt độ khoảng 390°C , theo các điều kiện được cung cấp trong bảng 2. Vật phẩm gốc thủy tinh thu được thể hiện các giá trị CT tối đa, các giá trị này được lập biểu đồ dưới dạng hàm số về thời gian trao đổi ion trong Fig.5.

Bảng 2: Điều kiện trao đổi ion của các ví dụ 1A-1G.

Ví dụ	Thời gian được nhúng trong bể (giờ)	CT cực đại
1A	0,5	30
1B	1	42
1C	1,5	52
1D	2	56
1E	3,75	67
1F	8	63
1G	16	55

Biên dạng ứng suất cho ví dụ 1E được đo bằng cách sử dụng việc đo trường gần được khúc xạ (refracted near-field - RNF), như được mô tả trong Bảng sáng chế Mỹ số No. 8,854,623, có tên là "Systems và methods for measuring a profile characteristic of a glass sample", được kết hợp toàn bộ ở đây bằng cách viện dẫn. Fig.6 thể hiện ứng suất đo được dưới dạng hàm số của độ sâu kéo dài từ bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh của ví dụ 1E vào trong vật phẩm gốc thủy tinh. Ứng suất tại các độ sâu cụ thể được thể hiện trên bảng 3, bao gồm tại cả điểm uốn. Trên Fig.6, các số dương được sử dụng cho ứng suất nén và các số âm chỉ thị ứng suất kéo. Quy ước tương tự này (ứng suất nén được chỉ dẫn là các giá trị dương trên trục y, và ứng suất kéo được chỉ dẫn bởi các giá trị âm trên trục y) cũng được sử dụng trong các hình vẽ Fig. 1 đến Fig.3, Fig.23, và Fig.27. Tuy nhiên, ở phần còn lại của các hình vẽ, ứng suất nén được chỉ dẫn là các giá trị âm trên trục y và ứng suất kéo được chỉ dẫn là các giá trị dương trên trục y.

Bảng 3: Ứng suất tại các độ sâu cụ thể của ví dụ 1E.

Độ sâu (micromet)	Ứng suất (MPa)
12 ("điểm uốn")	161
50	95
100	36
150	0

Ví dụ 2

Ví dụ 2A bao gồm đế thủy tinh có thành phần giống như ví dụ 1 và độ dày 0,8 mm. Đế thủy tinh được trao đổi ion trong một bể muối nóng chảy đơn chứa 51% KNO₃ và 49% NaNO₃, và có nhiệt độ khoảng 380°C, trong thời gian 3,75 giờ. Vật phẩm gốc thủy tinh thu được biểu thị biên dạng ứng suất như được mô tả trong bảng 4.

Bảng 4: Biên dạng ứng suất của ví dụ 2A.

Ứng suất nén bề mặt	500 MPa
Độ sâu của lớp cho Kali	12 micromet
Ứng suất tại DOL của Kali	161 MPa
CT cực đại	70 MPa
DOC	150 micromet

Các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A được cho tiến hành thử nghiệm AROR như mô tả ở đây. Một bộ các vật phẩm gốc thủy tinh được mài mòn sử dụng tải hoặc áp suất 5 psi, bộ các vật phẩm gốc thủy tinh thứ hai được mài mòn sử dụng tải hoặc áp suất 25 psi, và bộ vật phẩm gốc thủy tinh thứ ba được mài mòn sử dụng tải hoặc áp suất 45 psi. Dữ liệu AROR được thể hiện trên Fig.7. Như được thể hiện trên Fig.7, tất cả các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A biểu thị tải trung bình gây hư hỏng lớn hơn khoảng 20 kg lực.

Các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A được chỉnh lại trên các thiết bị điện thoại di động tương tự. Các thiết bị điện thoại này được thả rơi từ các độ cao gia tăng bắt đầu từ 20 cm lên giấy ráp 180 grit. Nếu vật phẩm gốc thủy tinh chịu được việc rơi từ một độ cao (ví dụ, 20 cm), thì điện thoại di động được thả rơi lại từ độ cao lớn hơn (ví dụ, 30 cm, 40 cm, 50 cm, v.v.) lên tới độ cao 225 cm. Các vật phẩm gốc thủy tinh còn bền nguyên sau đó sẽ được thả lên trên giấy ráp 30 grit (trong cùng các thiết bị điện thoại). Độ cao mà tại đó, vật phẩm gốc thủy tinh được thả rơi lên cả giấy ráp 180 grit và giấy ráp 30 grit được lập biểu đồ trên Fig.8. Như được thể hiện trên Fig.8, toàn bộ vật phẩm trừ hai vật phẩm gốc thủy tinh của ví dụ 2A vẫn bền nguyên sau khi được thả rơi lên giấy ráp 180 grit ở các độ cao tới khoảng 225 cm (đưa ra độ cao thả rơi bền nguyên trung bình là khoảng 216 cm). Độ cao thả rơi bền nguyên trung bình lên trên giấy ráp 30 grit là 66 cm, với một số vẫn bền nguyên trên các độ cao thả rơi 100 cm.

Các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A biểu thị hằng số điện môi từ khoảng 6,9 đến khoảng 7,05 trên dải tần nằm trong phạm vi từ khoảng 480 MHz đến khoảng 3000 MHz. Các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A biểu thị tang số tổn thất điện môi nằm trong phạm vi từ khoảng 0,012 đến khoảng 0,015 trên dải tần nằm trong phạm vi từ khoảng 480 MHz đến khoảng 3000 MHz.

Hệ số khúc xạ của các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A là trong khoảng giới hạn từ khoảng 1,158 tới khoảng 1,49 qua khoảng giới hạn từ khoảng 380 nm tới khoảng 1550 nm, và từ khoảng 1,518 tới khoảng 1,497 qua khoảng bước sóng từ khoảng 380 nm tới khoảng 800 nm.

Các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 2A được đưa vào các xử lý hóa học khác nhau như được thể hiện trong bảng 5. Độ bền hóa học của các vật phẩm gốc thủy tinh được so sánh với các ví dụ đối chứng 2E, 2F và 2G. Ví dụ đối chứng 2E là để thủy tinh có thành phần danh định là 64,3 % mol SiO₂, 7,02 % mol B₂O₃, 14 % mol Al₂O₃, 14 % mol Na₂O, 0,5 % mol K₂O, 0,03 % mol Fe₂O₃, và 0,1 % mol SnO₂. Ví dụ đối chứng 2F là để thủy tinh có thành phần danh định gồm 64,75% mol SiO₂, 5% mol B₂O₃, 14% mol Al₂O₃, 13,75% mol Na₂O, 2,4% mol MgO, và 0,08% mol SnO₂. Ví dụ đối chứng 2G chứa để thủy tinh có thành phần danh định là 57,5 % mol SiO₂, 16,5 % mol Al₂O₃, 16,71 % mol Na₂O, 2,8 % mol MgO và 0,05 % mol SnO₂.

Bảng 5: Độ bền hóa học của ví dụ 2A.

Xử lý hóa học	Sự tổn hao khối lượng (mg/cm ²)			
	Ví dụ đối chứng 2E	Ví dụ đối chứng 2F	Ví dụ đối chứng 2G	Ví dụ 2A
5% khối lượng/khối lượng HCl, 95°C, 24 giờ	29,3	6,7	50	5,77
5% khối lượng/khối lượng NaOH, 95°C, 6 giờ	2,8	2,4	5,8	2,68
10% HF, nhiệt độ trong phòng, 20 phút	20,8	18,1	37,4	24,03
10% amoni biflorua (ABF), nhiệt độ trong phòng, 20 phút	2	2,7	3,2	0,98

Ví dụ 3

Ví dụ 3A bao gồm các nền thủy tinh có thành phần giống như ví dụ 1 và độ dày 0,8mm. Ví dụ đối chứng 3B chứa các đế thủy tinh có cùng thành phần như ví dụ đối chứng 2G và độ dày là 0,8 mm. Các đế thủy tinh của ví dụ 3A được gia cường hóa học trong bước đơn sử dụng bể đơn, như được mô tả trong bảng 6. Các đế thủy tinh trong ví dụ đối chứng 3B được trao đổi ion trong một quy trình hai bước, như được mô tả trong bảng 6.

Bảng 6: Điều kiện trao đổi ion của ví dụ 3A và ví dụ đối chứng 3B.

		Ví dụ 3A	Ví dụ đối chứng 3B
Bước thứ nhất	Thành phần trong bể muối nóng chảy	49% NaNO_3 / 51% KNO_3	49% NaNO_3 / 51% KNO_3
	Nhiệt độ của bể	380 °C	460 °C
	Thời gian nhúng	3,75 giờ	14 giờ
Bước thứ hai	Thành phần trong bể muối nóng chảy	-	99,5% KNO_3 / 0,5% NaNO_3
	Nhiệt độ của bể	-	390 °C
	Thời gian nhúng	-	0,25 giờ
Các đặc tính của vật phẩm thủy tinh thu được	Ứng suất nén bề mặt	500 MPa	825 MPa
	DOL của Kali	12 micromet	10 micromet
	Ứng suất tại DOL của Kali	160 MPa	220 MPa
	DOC	150 micromet	100 micromet

Các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 3A và ví dụ đối chứng 3B được kiểm tra trên các thiết bị điện thoại di động tương tự. Các thiết bị điện thoại này được thả rơi từ các độ cao gia tăng bắt đầu từ 20 cm lên giấy ráp 30 grit. Độ cao mà tại đó, vật phẩm gốc thủy tinh được thả rơi lên giấy ráp 30 grit được vẽ biểu đồ trên Fig.9. Như được thể hiện trên Fig.9, các vật phẩm gốc thủy tinh của ví dụ 3A biểu thị độ cao thả rơi bền nguyên trung bình cao hơn hai lần (tức là, 91 cm) so với độ cao thả rơi bền nguyên trung bình của ví dụ đối chứng 3B (tức là, 38 cm).

Các vật phẩm gốc thủy tinh theo ví dụ 3A và ví dụ đối chứng 3B được cho tiến hành thử nghiệm AROR, như được mô tả ở đây, sử dụng tải hoặc áp suất 25 psi. Các đế gốc thủy tinh của ví dụ 3A biểu thị tải trung bình gây hư hỏng khoảng 30 kg lực, trong khi các đế gốc thủy tinh của ví dụ đối chứng 3B biểu thị tải trung bình gây hư hỏng khoảng 27 kg lực, như được thể hiện trên Fig.10. Khi tải hoặc áp suất mài mòn được gia tăng lên 45 psi, thì sự chênh lệch về tải trung bình gây hư hỏng

của ví dụ 3A và ví dụ đối chứng 3B tăng lên. Cụ thể, dưới tải hoặc áp suất 45 psi, ví dụ 3A biểu thị tải trung bình gây hư hỏng khoảng 25,9 kg lực, trong khi ví dụ đối chứng 3B biểu thị tải trung bình gây hư hỏng khoảng 19,6 kg lực, như được thể hiện trên Fig.11.

Ví dụ 4

Các đế thủy tinh có thành phần danh định gồm 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 tiến hành gia cường hóa học. Độ dày và điều kiện của việc gia cường hóa học được thể hiện trong bảng 7.

Bảng 7: Độ dày và điều kiện gia cường hóa học đối với các Ví dụ 4A-4D.

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

Hỗn hợp trong ví dụ 4A được nhúng trong bể muối nóng chảy, như được chỉ rõ trong bảng 7, trong thời gian 4 giờ, 8 giờ, 16 giờ, 32 giờ, 64 giờ và 128 giờ (Các ví dụ từ 4A-1 đến 4A-6). Hỗn hợp của ví dụ 4B được nhúng trong bể muối nóng chảy, như được chỉ rõ trong bảng 7, trong thời gian 4 giờ, 8 giờ, 16 giờ, 32 giờ, 64 giờ và 128 giờ (các ví dụ từ 4B-1 đến 4B-6). Hỗn hợp của ví dụ 4C được nhúng trong bể muối nóng chảy, như được chỉ rõ trong bảng 7, trong thời gian 1 giờ, 2 giờ, 4 giờ, 8 giờ, 16 giờ và 32 giờ (các ví dụ từ 4C-1 đến 4C-6). Hỗn hợp của ví dụ 4D được nhúng trong bể muối nóng chảy, như được chỉ rõ trong bảng 7, trong thời gian 4 giờ, 8 giờ, 16 giờ, 32 giờ, 64 giờ và 128 giờ (các ví dụ từ 4D-1 đến 4D-6). Các biên dạng ứng suất của các ví dụ 4A-1 đến 4A-6, 4B-1 đến 4B-6, 4C-1 đến 4C-6, và 4D-1 đến 4D-6 lần lượt được thể hiện trên các Fig.12, Fig.14, Fig.16 và Fig.18. Trên các Fig.12, Fig.14, Fig.16 và Fig.18, độ sâu hoặc độ dày của các vật phẩm thủy tinh được vẽ biểu đồ theo trục x và ứng suất được vẽ biểu đồ theo 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 về thời gian nhúng trong bể muối nóng chảy của các ví dụ 4A-1 đến 4A-6, các ví dụ 4B-1 đến 4B-6, các ví dụ 4C-1 đến 4C-6 và 4D-1 đến 4D-6, lần lượt được thể hiện trên các Fig.13, Fig.15, Fig.17, và Fig.19.

Ví dụ 5

Các đế thủy tinh có thành phần danh định như được thể hiện trong bảng 8 và mỗi đế có độ dày khoảng 0,8 mm, được tiến hành 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 đối chứng 5A) và trong 16 giờ (Ví dụ 5B).

Bảng 8: Thành phần của đế thủy tinh của ví dụ 5, trước khi gia cường hóa học.

Ví dụ $\Rightarrow$	5
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
ZnO	1,7
TiO_2	3,5
SnO_2	0,1
$\frac{[\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{MgO}+\text{ZnO}+\text{K}_2\text{O}]}{[\text{Al}_2\text{O}_3+\text{B}_2\text{O}_3]}$	$\frac{12,7}{14,4} = 0,88$
$\frac{[\text{TiO}_2+\text{SnO}_2]}{[\text{SiO}_2+\text{B}_2\text{O}_3]}$	$\frac{3,6}{71} = 0,051$

Biên dạng ứng suất của các vật phẩm gốc thủy tinh của các ví dụ 5A và 5B được thể hiện trên Fig.20. Như được thể hiện trên Fig.20, ví dụ đối chứng 5A biểu thị biên dạng ứng suất đã biết, trong khi đó, ví dụ 5B thể hiện biên dạng ứng suất theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế này. Năng lượng kéo dự trữ của vật phẩm gốc thủy tinh của các ví dụ 5A và 5B được tính toán từ dữ liệu biên dạng ứng suất SCALP đo được và sử dụng phương trình (3) nêu trên. Năng lượng kéo dự trữ tính toán được vẽ biểu đồ dưới dạng hàm số của CT đo được (MPa), như được thể hiện trên Fig.21.

Như được thể hiện trên Fig.21, ví dụ đối chứng 5A biểu thị các trị số năng lượng kéo dự trữ đối với trị số CT đã cho lớn hơn nhiều so với ví dụ 5B (đối với cùng trị số CT). Trong hình vẽ này, CT là CT tối đa trong mẫu. Cụ thể, ở mức CT bằng khoảng 55 MPa, ví dụ đối chứng 5A thể hiện năng lượng kéo dự trữ khoảng 12 J/m^2 , trong khi đó ví dụ 5B thể hiện năng lượng kéo dự trữ khoảng 9 J/m^2 . Sản phẩm trong ví dụ đối chứng 5A và ví dụ 5B bị nứt vỡ và ví dụ 5B nứt vỡ thành ít mảnh hơn so với ví dụ đối chứng 5A, ví dụ 5A này nứt vỡ thành số lượng mảnh lớn hơn đáng kể. Do đó, không bị ràng buộc bởi lý thuyết, 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. Trong các ví dụ này, CT được thay đổi bằng cách giữ mẫu trong bể trao đổi ion trong thời gian lâu hơn trong khi sử dụng cùng nhiệt độ và thành phần trong bể. Trên Fig.21, điểm 0,0 không phải là điểm thực nghiệm, nhưng một người có kỹ năng trong lĩnh vực sẽ kỳ vọng, tức là, khi tồn tại 0 CT, thì sẽ có năng lượng kéo dự trữ bằng 0.

Các đế thủy tinh có thành phần danh định như được thể hiện trong bảng 8 và mỗi đế có độ dày khoảng 1 mm, được cho tiến hành gia cường hóa học trong bể muối nóng chảy chứa NaNO_3 và nhiệt độ 430°C trong 4 giờ (ví dụ đối chứng 5C) và trong 61,5 giờ (ví dụ 5D). Ví dụ đối chứng 5C thể hiện biên dạng ứng suất đã biết, trong khi đó ví dụ 5D thể hiện biên dạng ứng suất theo một hoặc nhiều phương án của sáng chế. Năng lượng kéo dự trữ của các ví dụ 5C và 5D được tính toán sử dụng cùng phương pháp được sử dụng trong các ví dụ 5A-5B và được vẽ biểu đồ dưới dạng hàm số của CT đo được (MPa), như được thể hiện trên Fig.22.

Như được thể hiện trên Fig.22, ví dụ so sánh 5C biểu thị các trị số năng lượng kéo dự trữ đối với trị số CT đã cho (cũng như trong Fig.21, đây là các trị số CT tối đa, và các trị số được thay đổi bằng cách sử dụng cùng nhiệt độ trao đổi ion và thành phần trong bể, nhưng với các giai đoạn thời gian kéo dài hơn) lớn hơn nhiều so với ví dụ 5D (đối với cùng trị số CT). Ví dụ đối chứng 5C và ví dụ 5D bị nứt vỡ và ví dụ 5D nứt vỡ thành ít mảnh hơn so với ví dụ đối chứng 5C, ví dụ 5C này nứt vỡ thành số lượng mảnh lớn hơn đáng kể.

Ví dụ 6

Các ví dụ từ 6A đến 6D chứa các đế thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của phần mô tả này và có khoảng 10 % mol Na_2O và 6 % mol Li_2O trong thủy tinh đế. Ví dụ, thành phần danh định chứa khoảng 63,46 % mol SiO_2 , 15,71 % mol Al_2O_3 , 6,37 % mol Li_2O , 10,69 % mol Na_2O , 0,06 % mol MgO , 1,15 % mol ZnO , 2,45 % mol P_2O_5 , và 0,04 % mol SnO_2 . Các đế thủy tinh có độ dày là 0,8 mm. Các đế thủy tinh của các ví dụ từ 6A đến 6D được trao đổi ion trong bể muối nóng chảy chứa các điều kiện được cung cấp trong bảng 9, trong đó "SIOX" đề cập tới việc trao đổi ion đơn, và "DIOX" đề cập tới việc trao đổi ion kép.

Các thử nghiệm khác nhau cho các biên dạng ứng suất được áp dụng trong các đế thủy tinh. Đế thủy tinh có thành phần chứa Na và Li trong thủy tinh đế. Có thể trao đổi lớn hơn một ion, như đồng thời Na và K sơ cấp với Li. Thông thường, trong các thủy tinh chỉ có một ion tự do như Na trong hợp phần của nó nên cần phải có quy trình IOX hai bước với các hỗn hợp $\text{KNO}_3/\text{NaNO}_3$ khác nhau để thu được biên dạng có đuôi dài, hướng về phía trung tâm của thủy tinh và đỉnh nhọn trong bề mặt của nó.

Bảng 9: Các điều kiện IOX và các tính chất tạo thành cho ví dụ 6

Thông số	6A. SIOX 3,75 h/380 C 51%K/49% Na	6B. SIOX 3,00 h/390 C 80%K/20% Na	6C. SIOX 7,50 h/390 C 80%K/20% Na	6D. Bước 1 DIOX 3,60h/380 C 15%K/85% Na	6D. Bước 2 DIOX 0,50h/390 C 95%K/5% Na
Hệ số mũ	2,6	2,0	1,7	-	~2,2
Khoảng giới hạn CS	>465	600-750	570-720	320-400 FSM truyền thống	780-950
Khoảng ứng suất điểm	127-160	80-110	60-90	-	115-150

uốn					
Khoảng đỉnh DOL	11-12,4	12-15	20-24	9,5-11,2 FSM truyền thống	7,3-8,7

Bảng 9 cũng thể hiện các thông số và các trị số được đo thông qua phương pháp theo từng điểm cộng với việc đo bộ ghép nối lăng kính (thiết bị FSM) cho ứng suất tại bề mặt bên ngoài trung gian cho các công thức trao đổi ion khác nhau. Các thông số được thể hiện trên bảng 9 chứa hệ số mũ của vùng sâu của biên dạng, ứng suất nén bề mặt (CS), ứng suất tại điểm uốn mà tại đó đỉnh nhọn kết nối với đuôi dài, và độ sâu của lớp của đỉnh nhọn mà tại đó điểm uốn xuất hiện. Như có thể thấy trên các ví dụ 6A đến 6D, DOL của đỉnh nhọn có thể từ khoảng $0,01 \cdot t$ tới khoảng $0,035 \cdot t$ (ví dụ khoảng $0,015 \cdot t$, $0,02 \cdot t$, $0,025 \cdot t$, $0,30 \cdot t$, hoặc $0,35 \cdot t$, và số bất kỳ và tất cả các khoảng giới hạn con nằm giữa đó), tức là, từ khoảng 7,3 micron tới khoảng 24 micron của mẫu dày 800 micron. DOL đỉnh nhọn thường tương ứng với DOL kali. Trong thủy tinh chứa Li, thậm chí việc phân tán IOX đơn cũng tạo ra đỉnh nhọn và đuôi trong biên dạng ứng suất. Điều này có thể là do thực tế là thủy tinh chứa các lượng khác nhau của Li, Na và K được trao đổi đồng thời tại các tốc độ phân tán khác nhau. Do các độ lệch cục bộ nhỏ giữa biên dạng ứng suất sâu thực tế và việc xấp xỉ theo luật mũ, cũng như các hạn chế độ chính xác trong các việc đo biên dạng ứng suất từ điểm tới điểm, lên tới khác biệt 10-15 MPa giữa ứng suất thực tế tại đáy của đỉnh nhọn và ứng suất điểm uốn của biên dạng số mũ được tạo mô hình đỉnh nhọn là khả thi.

Fig.23 thể hiện biên dạng ứng suất đo được thông qua việc đo lường hệ số khúc xạ theo điểm tại TE và các việc phân cực hóa TM. Cần chú ý rằng ứng suất tại bề mặt được miêu tả không đúng trong 5 micron trên đỉnh do hạn chế độ phân giải của kỹ thuật đo. Các trị số ứng suất bề mặt trong thực tế cao hơn được thể hiện ở đây, và được đo một cách tách biệt bởi các kỹ thuật phối ghép lăng kính. Phạm vi hoàn chỉnh hơn của các thông số này được thể hiện trên bảng 9. Cần chú ý rằng thậm chí việc phân tán trao đổi ion (SIOX) đơn tạo ra đỉnh nhọn và đuôi trong biên

dạng ứng suất khi thủy tinh chứa Li được nhúng trong bể có cả K và Na. Trong khi không muốn bị ràng buộc vào lý thuyết cụ thể này, có thể thấy rằng đỉnh nhọn và đuôi này là do thực tế là thủy tinh chứa các lượng khác nhau của Li, Na và K được trao đổi đồng thời tại các tốc độ phân tán khác nhau.

Các ví dụ của các biên dạng ứng suất có thể được quan sát trên Fig.23. Như có thể được thấy từ hình vẽ, ví dụ Fig.6A, vùng đỉnh nhọn được thu bởi việc khuếch tán phi tuyến của kali, trong khi đuôi của biên dạng được thu bởi việc khuếch tán phi tuyến của Na và Li. Thậm chí với các thời gian khuếch tán ngắn mà theo đó Na từ bể trao đổi ion không đạt tới tâm của độ dày, thì đuôi của biên dạng trong trường hợp này sẽ không được mô tả bởi hàm lỗi bổ sung là chỉ có thể áp dụng được cho việc khuếch tán về cơ bản là tuyến tính.

Một lần nữa, trên Fig.23 có thể quan sát được biên dạng ứng suất được đo cho nhiều biên dạng ứng suất được thử nghiệm thông qua việc đo đặc hệ số khúc xạ theo điểm tại TE và các việc phân cực hóa TM. Ở đây, ứng suất tại bề mặt được mô tả không đúng do độ phân giải bị hạn chế của phép đo được kết hợp với độ nghiêng của biên dạng đỉnh nhọn. Các trị số ứng suất bề mặt trong thực tế có thể cao hơn được thể hiện trên hình vẽ này, và được đo một cách tách biệt sử dụng phân tích của phổ chế độ thu được bằng cách sử dụng việc ghép nối lăng kính (FSM-6000). Cần chú ý rằng việc khuếch tán trao đổi ion đơn tạo đỉnh nhọn và đuôi trong biên dạng ứng suất do việc khuếch tán của hơn một ion một cách đồng thời.

Fig.24 thể hiện dữ liệu vi đầu dò được chuẩn hóa, đo được cho K, Na và Li được khuếch tán sử dụng công thức 51 % khối lượng K/ 49% khối lượng Na tại 380 °C trong 3,75h (6A) trong thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế và có khoảng 10 % mol Na_2O và 6 % mol Li_2O trong thủy tinh gốc. Như có thể thấy được trên hình vẽ, việc khuếch tán kali bị hạn chế gần bề mặt thủy tinh, tạo ra đỉnh bề mặt trong biên dạng ứng suất. Tuy nhiên, biên dạng Na xâm nhập rất sâu, vào tất cả quãng đường tới tâm của thủy tinh. Khi nồng độ Na trong trung tâm bắt đầu tăng theo cách về cơ bản như là kết quả của hai biên dạng của Na được khuếch tán vào trong, gặp nhau ở tâm thì hình dạng của biên dạng Na trở nên khả thi để xấp xỉ theo cách chấp nhận được với luật mũ, và về cơ bản là khác với hình

dạng trước khi điều kiện này được đáp ứng. Ngoài ra, độ sâu của việc nén trở nên ổn định, thay đổi rất nhỏ với thời gian khuếch tán bổ sung.

Trên Fig.24, sau khi việc khuếch tán trao đổi ion sử dụng công thức 51 % khối lượng K/ 49% khối lượng Na tại 380 °C trong 3,75h (ví dụ 6A) trong thủy tinh ban đầu chỉ chứa Na và Li được thực hiện. Có thể thấy rằng kali khuếch tán chỉ trong vùng gần bề mặt sinh ra đỉnh bề mặt (đỉnh nhọn) trong biên dạng ứng suất. Tuy nhiên, Na và Li trao đổi tương đối sâu vào trung tâm của thủy tinh, sinh ra biên dạng ứng suất về cơ bản là cong trong suốt độ dày. Các tác giả sáng chế đã thu được cơ chế trao đổi ion khi các biên dạng của đường cong mong muốn có thể được thu, và được định tính sử dụng mô hình luật số mũ.

Fig.25 thể hiện một ví dụ của các thử nghiệm cào xước tăng cho 6A-6D với mũi kim cương với bán kính 30 micron tại góc 76,5 độ trong góc nón trong chế độ tăng từ 0 N tới 4 N tăng tuyến tính từ đỉnh tới đáy của hình vẽ.

Bảng 10 dưới đây thể hiện phần trăm của việc cào xước với nứt vỡ khi được đánh giá bởi kính hiển vi quang học cho thử nghiệm cào xước tăng được làm ví dụ trên Fig.25.

Bảng 10:

Ví dụ	Cào xước nón cầu 30µm (Tăng 0-4N) # vết xước thể hiện nứt vỡ/tổng số # các vết xước; (% các vết xước thể hiện nứt vỡ)
6A	3/3 (100%)
6B	1/3 (33%)
6C	2/4 (50%)
6D	1/3 (33%)

Các bảng 11-18 thể hiện thứ bậc của nhiều vết xước trong nhiều thử nghiệm thông qua đánh giá kính hiển vi.

Bảng 11:

Độ rộng (micron) = chữ đặc trưng cho vết xước
0-5=A
6-10=B
11-20=C

21-40=D
41-60=E
61-80=F

Bảng 12:

Vết xước được tăng, mũi 20micron, 76 độ			Điểm	Điểm
	6A	Thủy tinh đối chứng	6A	Thủy tinh đối chứng
Bắt đầu	5	3	A	A
2N	10	9	B	B
4N	17	27	C	D
bề rộng tối đa ở mọi nơi	28	28	D	D

Bảng 13:

Vết xước được tăng, mũi 30 micron, 76 độ với NO ETC										
	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng
Bắt đầu	1	1	1	1	1	A	A	A	A	A
2N	5	5	5	5	5	A	A	A	A	A
4N	12	6	6	9	15	C	B	B	B	C
bề rộng tối đa ở mọi nơi	12	8	8	9	17	C	B	B	B	C

Bảng 14:

Vết xước được tăng, mũi 30 micron, 76 độ với ETC										
	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng
Bắt đầu	1	1	1	1	1	A	A	A	A	A
2N	4	4	4	4	5	A	A	A	A	A
4N	10	13	8	7	11	B	C	B	B	C
bề rộng tối đa ở mọi nơi	12	13	11	9	12	C	C	C	B	C

Bảng 15:

Vết xước được tăng, mũi 50micron, 76 độ với ETC			Điểm	Điểm
	6A	Thủy tinh đối chứng	6A	Thủy tinh đối chứng

Bắt đầu	6	6	A	A
2N	6	6	A	A
4N	6	6	A	A
bề rộng tối đa ở mọi nơi	6	6	A	A

Bảng 16:

Vết xước được tăng 110 độ 0-2N với ETC										
	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng
Bắt đầu	15	16	14	12	16	C	C	C	C	C
1N	30	38	26	42	26	D	D	D	E	D
2N	53	100	83	36	55	E	F	F	D	E
bề rộng tối đa ở mọi nơi	193	193	83	166	55	F	F	F	F	E

Bảng 17:

Vết xước được tăng 136 độ 0-2N với ETC										
	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng
Bắt đầu	10	26	25	3	10	B	D	D	A	B
1N	80	103	86	86	116	F	F	F	F	F
2N	93	74	56	226	133	F	F	E	F	F
bề rộng tối đa ở mọi nơi	198	123	132	226	200	F	F	F	F	F

Bảng 18:

Vết xước được tăng 150 độ 0-2N với ETC										
	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng	6A	6B	6C	6D	Thủy tinh đối chứng
Bắt đầu	12	12	12	11	11	C	C	C	C	C
1N	27	18	23	28	31	D	C	D	D	D
2N	27	28	23	30	31	D	D	D	D	D
bề rộng tối đa ở mọi nơi	27	28	24	30	31	D	D	D	D	D

Các biên dạng ứng suất khác nhau thể hiện các mức dễ bị cào xước khác nhau dưới các điều kiện cụ thể. Trên Fig.25, một ví dụ được cho trong thử nghiệm cào xước tăng dần với mũi kim cương có bán kính 30 micron góc côn đỡ là 76,5 độ.

Lực cào xước được áp dụng được tăng tuyến tính qua khoảng giới hạn từ 0 N tới 4 N. Ở đây, có thể quan sát được rằng khi so sánh với công thức ví dụ 6A của bảng 9, các công thức ví dụ 6B-6D được biến đổi để tăng CS đỉnh nhọn, tạo ra cải thiện trong hiệu quả cào xước có thể quan sát được như là các lỗi cào xước hẹp hơn và ít nhìn thấy hơn. Các hình ảnh được hiển thị cho mỗi công thức là của 5 thử nghiệm khắt khe được thực hiện cho công thức này. Việc quan sát của hiệu quả cào xước với kính hiển vi quang học, bộc lộ một số xu hướng tiềm tàng nếu phân cấp độ khắc nghiệt theo bề rộng được phát triển trong quá trình cào xước. Ngoài ra, phần trăm của các vết cào xước thể hiện việc nứt vỡ thể hiện một số khác biệt, như được chỉ thị trong các bảng từ bảng 11 đến 18. Cần chú ý rằng ứng suất điểm uốn được thay đổi cùng với CS bề mặt trong các công thức được biến đổi. Mặc dù không muốn bị bó buộc vào lý thuyết cụ thể bất kỳ nào, nhưng thử nghiệm cào xước là ví dụ này chỉ ra rằng kết hợp của ứng suất tại bề mặt, vị trí của điểm uốn, và ứng suất tại điểm uốn, và có thể, thậm chí là số mũ của biên dạng có thể đóng vai trò trong các loại sự kiện cào xước cụ thể, và khả năng nhìn thấy được các vết cào xước. Nhiều thử nghiệm cào xước được thử trên các biên dạng được thể hiện trên Fig.23, và các ví dụ 6B đến 6D được biến đổi cho CS cao hơn được thể hiện trên hiệu quả hoạt động trung bình tốt hơn chống lại việc cào xước khi được so sánh với ví dụ 6A.

Fig.26 thể hiện hiệu quả hoạt động của các mẫu trong giấy ráp 30 grit từ các điều kiện khác nhau trong các ví dụ 6A đến 6D khi được so sánh với thủy tinh tham chiếu có trị số danh định là 57,5 % mol SiO₂, 16,5 % mol Al₂O₃, 16,5 % mol Na₂O, 2,8 % mol MgO, 6,5 % mol P₂O₅, và 0,05 % mol SnO₂. Có thể để ý rằng các ví dụ 6A đến 6D có hiệu quả tương đương và có cải thiện trong hiệu quả rơi khi so sánh với thủy tinh tham chiếu. Theo một số phương án thực hiện, các biên dạng ứng suất được mong muốn là chống lại được nứt vỡ khi rơi mặt trên bề mặt cứng. Fig.26 thể hiện các thử nghiệm rơi được giám sát của các mẫu trên giấy ráp 30 grit từ các điều kiện khác nhau trong thủy tinh theo sáng chế khi so sánh với thủy tinh tham chiếu có biên dạng chống nứt vỡ tốt nhất cho thử nghiệm này trong các thủy tinh che phủ trên các sản phẩm hiện có thể mua được trên thị trường. Có thể thấy rằng tất cả các biên dạng được thử nghiệm với độ sâu nén (depth of compression -

DOC) lớn >130 μm có hiệu quả tương tự trong thử nghiệm này, và có cải thiện cơ bản trong hiệu quả rơi khi so sánh với thủy tinh tham chiếu. Điều này làm cho ta tin rằng các biên dạng được làm cong, phân tán phi tuyến tính này với đỉnh nhọn và DOC lớn có thể tạo ra cải thiện đáng kể trong hiệu quả rơi, và trong một số trường hợp là khả năng chống chịu cào xước được cải thiện.

Ví dụ 7

Các ví dụ 7A, và các ví dụ đối chứng 7B đến 7D chứa các đế thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế, có độ dày là 0,8 mm và có thành phần danh định là 64 % mol SiO_2 , 15 % mol Al_2O_3 , 2,4 % mol B_2O_3 , 9,2 % mol Na_2O , 5,9 % mol Li_2O , 1,2 % mol ZnO , 2,5 % mol P_2O_5 , 0,05 % mol SnO_2 , sử dụng ba hỗn hợp khác nhau của NaNO_3 và KNO_3 . Các đế thủy tinh theo các ví dụ 7A đến 7D được trao đổi ion với bể (các bể) muối nóng chảy bao gồm các điều kiện được cung cấp trong bảng 19, với các tính chất tạo thành cũng được liệt kê trong bảng này.

Bảng 19: Các điều kiện IOX và các tính chất tạo thành cho ví dụ 7

Thông số	7A. Bước 1 DIOX 4,0h, 380C 70%Na/ 30%K	7A Bước 2 DIOX 40 min, 380C 7%Na/ 93%K	7B. SIOX 4,0 h, 380C 70%Na/ 30%K	7C SIOX 3,5 h, 390C 40%Na/ 60%K	7D SIOX 3,6 h, 390C 28%Na/ 72%K
Na:K mol tỉ lệ	2,28	0,09	2,78	0,79	0,46
Ứng suất nén bề mặt	400 MPa	800 MPa	400 MPa	550-570 MPa	-
CS_k	160 MPa	125 MPa	160 MPa	125 MPa	Thấp hơn các phần khác
DOL_{sp}	9,4 micron	8,7 micron	9,4 micron	8,7 micron	Lớn hơn các phần khác

DOC	-	160 micron	160 micron	160 micron	Gần giống các phần khác
CT	70 MPa	50-55 MPa	70 MPa	-	-
Đường cong trên Fig.28	-	2804	2801	2802	2803

Fig.2

36 thể hiện 3 biên dạng ứng suất, là các đường cong 2801, 2802, và 2803 tương ứng với các ví dụ đối chứng 7B-D, và được đo bởi việc quét trường gần phản xạ (RNF - refracted near-field scan). Do độ phân giải bị hạn chế của RNF, nên CS bề mặt của đỉnh nhọn không được biểu diễn đầy đủ (đỉnh nhọn được làm tròn trong biên dạng RNF có ứng suất tối đa tối đa thấp hơn CS thực tế). Các hỗn hợp muối có 70, 40, và 28 % NaNO_3 theo khối lượng, phần còn lại của khối lượng là KNO_3 , và lên tới 0,5 % khối lượng là axit silicic để loại bỏ các tác dụng của các tạp chất muối. Nó tương ứng với tỉ lệ mol Na:K trong muối một cách tương ứng là 2,78, 0,79, và 0,46. Cả ba biên dạng thu được này sử dụng các điều kiện trao đổi ion này dẫn tới chế độ DOC ổn định, và CT cao, thu được bởi việc trao đổi ion 3,5 giờ tại 390 C (đường cong 2802), hoặc khoảng 4 giờ tại 380 C (đường cong 2801 và 2803). Như có thể thấy trên hình vẽ, việc giảm tỷ lệ mol Na:K dẫn tới việc giảm về cơ bản là trong CS bề mặt của đỉnh nhọn, nhưng điều này đạt được tại việc hy sinh tổn thất đáng kể của CS_k ứng suất tại đáy của đỉnh nhọn, và do đó là tổn thất một cách đáng kể của diện tích ứng suất nén trên đỉnh nhọn (số nguyên độ sâu của ứng suất nén từ bề mặt tới DOC, nhưng đặc biệt là từ đáy của đỉnh nhọn tới DOC). Điện thoại có thủy tinh che phủ với biên dạng ứng suất giống như biên dạng SIOX thứ nhất (70% NaNO_3 , đường cong 2801) trên Fig.28 sẽ có khả năng chống chịu tốt với nứt vỡ từ việc tạo phá hủy sâu khi được rơi trên bề mặt thô, nhưng có thể có xu hướng thất bại với ứng suất quá lớn của các khuyết tật nông quanh cạnh hoặc trên phía đằng sau (ví dụ, khi rơi trên cạnh của nó hoặc khi va chạm vào vật cùn) do CS bề

mặt tương đối thấp. Điện thoại có thủy tinh che phủ với biên dạng ứng suất có biên dạng ứng suất thứ ba ($28\% \text{NaNO}_3$, đường cong 2803) sẽ có khả năng chống chịu tốt hơn với nứt vỡ khỏi ứng suất quá lớn đáng kể của các khuyết tật nông, nhưng chống chịu thấp hơn với việc tạo phá hủy sâu từ tiếp xúc sắc. Biên dạng trung gian ($40\% \text{NaNO}_3$ theo khối lượng, đường cong 2802) sẽ thể hiện sự dung hòa giữa hai chế độ nứt vỡ chính này. Tuy nhiên, sẽ có lợi nếu có đỉnh nhọn với CS cao hơn biên dạng thứ ba ($28\% \text{NaNO}_3$, đường cong 2803), nhưng đồng thời có độ nén tương tự đồng nhất qua toàn bộ vùng nén (ví dụ, tương tự như với biên dạng thứ nhất, đường cong 2801, $70\% \text{NaNO}_3$). Sẽ còn có lợi nếu tăng ứng suất nén tại các độ sâu $> 0,3 \text{ DOC}$, và còn tiếp tục tăng DOC. Đường cong 2804, được tạo ra theo một số phương án thực hiện được bộc lộ ở đây, đạt được các mục tiêu này.

Fig.36 thể hiện biên dạng ứng suất DIOX theo một số phương án thực hiện của sáng chế, đường cong 2804 (ví dụ 7A), cùng với ba biên dạng SIOX (các đường cong 2801-2803 của các ví dụ đối chứng 7B-7D) cho cùng một thủy tinh Corning Incorporated độ dày 0,8 mm có thành phần danh định là 64 % mol SiO_2 , 15 % mol Al_2O_3 , 2,4 % mol B_2O_3 , 9,2 % mol Na_2O , 5,9 % mol Li_2O , 1,2 % mol ZnO , 2,5 % mol P_2O_5 , 0,05 % mol SnO_2 . Biên dạng DIOX thu được nhờ bước trao đổi ion thứ nhất trong 4 giờ tại 380 C trong muối có 70% NaNO_3 và 30% KNO_3 theo khối lượng (tỉ lệ Na:K là 2,78), và bước trao đổi ion thứ hai trong 40 phút tại 380 C trong muối có 7% NaNO_3 và 93% KNO_3 theo khối lượng (tỉ lệ Na:K là khoảng 0,09). Như có thể thấy, tỉ lệ Na:K trong bể thứ hai là khoảng 31 lần thấp hơn tỉ lệ trong bể thứ nhất, và thời gian trao đổi ion hiệu quả trong bể thứ hai là khoảng 6 lần ngắn hơn thời gian trao đổi ion trong bước thứ nhất. Bước thứ nhất phát triển đỉnh nhọn bề mặt do việc làm giàu K, có CS bề mặt khoảng 400 MPa và DOL_{sp} khoảng $9,4 \mu\text{m}$. Bước thứ hai tăng CS của đỉnh nhọn tới khoảng 800 MPa, và cũng tạo thành DOL_{sp} hiệu quả là khoảng $8,7 \mu\text{m}$. Chú ý rằng việc giảm rõ ràng trong DOL_{sp} trong ví dụ cụ thể này là thành phần tạo tác tạo thành từ thay đổi trong hình dạng của đỉnh nhọn, từ hình gần như là tuyến tính sau bước 1 tới hình cong ở mức độ nào đó với độ cong dương sau bước 2. Do DOL_{sp} trong cả hai trường hợp này đều được tính toán với giả sử rằng đỉnh nhọn tuyến tính, DOL_{sp} xuất hiện ở mức độ nào đó nhỏ hơn sau

bước 2. Nó gần như nghĩa là phần nén cao của đỉnh nhọn được phát triển trong suốt bước 2 ở mức độ nào đó là nông hơn độ sâu gốc của đỉnh nhọn sau bước 1. Theo các ví dụ khác, cụ thể là với thủy tinh mỏng hơn (ví dụ, 0,5mm) trong đó thời gian khuếch tán hiệu quả của bước thứ hai chỉ là 3-5 lần ngắn hơn thời gian của bước thứ nhất, và trong đó CS thay đổi từ bước 1 tới bước 2 là ít rõ rệt hơn, DOL_{sp} hiệu quả sau bước 2 là tương tự và thường là lớn hơn ở mức độ nào đó so với phần tương ứng của của DOL_{sp} bước thứ nhất.

Các mẫu được chuẩn bị theo ví dụ 7A, và ngưỡng cào xước Knoop (Knoop Scratch Threshold - KST) được đo như được mô tả ở trên. KST lớn hơn 10 và nhỏ hơn 16.

Ngoài ra, thử nghiệm IBoS được thực hiện trên các mẫu, với bi thép không gỉ có khối lượng 4,2g và đường kính là 10 mm, và giấy ráp không cán 30 grit. Các kết quả của thử nghiệm IBoS được thể hiện trên Fig.37. Cụ thể, chiều cao thả rơi trung bình còn vẹn nguyên là 76 cm. Sáu mươi phần trăm (3 trong số 5) mẫu sống sót được ở chiều cao thả rơi trên 80 cm. Cụ thể hơn, các vật phẩm thủy tinh được gia cường có ít nhất là tỉ lệ sống sót 60% khi chịu thử nghiệm IBoS với bi thép không gỉ 4,2g có đường kính là 10 mm từ độ cao khoảng 80 cm lên trên giấy ráp 30 grit được định vị trên bề mặt của thủy tinh để có khe hở không khí 100 μ m giữa giấy ráp và bề mặt của thủy tinh, trong đó, tỉ lệ sống sót là dựa trên việc thử nghiệm ít nhất 5 mẫu.

Thử nghiệm trị số ngưỡng tác động sau đó dẫn ra rằng thiết bị được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.29 đến Fig.35, tức là, trên cả bề mặt chính của các mẫu cũng như trên các cạnh của nó. Các kết quả được thể hiện trên các Fig.38 cho tác động mặt và trên Fig.39 cho tác động cạnh.

Cụ thể hơn, với thử nghiệm tác động mặt, giấy ráp 180 grit được sử dụng, và đế 110mm x 56 mm x 0,8 mm có cạnh được hoàn thiện dạng tròn được đặt vào trong việc uốn có bán kính 0,4m theo Fig.34. Như có thể thấy từ Fig.38, các mẫu theo ví dụ 7 có khả năng tồn tại với lực tác dụng quá 200N, ví dụ 250N hoặc lớn hơn, 300N hoặc lớn hơn, 350N hoặc lớn hơn, 400N hoặc lớn hơn, 450N hoặc lớn hơn,

hơn, 500N hoặc lớn hơn, 550N hoặc lớn hơn, 600N hoặc lớn hơn, 650N hoặc lớn hơn, 700N hoặc lớn hơn, 750N hoặc lớn hơn, 800N hoặc lớn hơn, và thậm chí là 850N hoặc lớn hơn. Thực tế là, các mẫu của ví dụ 7A đạt được tải tác động cao nhất là 851 N và không bị vỡ.

Kết quả của các mẫu theo ví dụ 7A được so sánh với thủy tinh khác được gắn nhãn “đối chứng” trên Fig.38, nhưng không nhất thiết phải là các ví dụ đối chứng 7B đến 7D. Cụ thể, bộ ví dụ đối chứng gồm các thủy tinh nhôm silicat kiềm sẵn có trên thị trường (thủy tinh Dragontrail®, được sản xuất bởi Asahi Glass Company) có thành phần đặc trưng (thành phần danh định khoảng 65 % mol SiO₂, khoảng 8 % mol Al₂O₃, khoảng 12 % mol Na₂O, khoảng 4 % mol K₂O, khoảng 0,3 % mol CaO, khoảng 10 % mol MgO, và khoảng 0,5 % mol ZrO₂) và độ dày (0,8 mm). Các thủy tinh của bộ mẫu đối chứng được trao đổi ion để có cùng một độ sâu nén của lớp (depth of layer - DOL) là 24 μ m và ứng suất nén bề mặt CS là 804 MPa. Trái lại, các mẫu trong bộ đối chứng đạt tới lực tác động trung bình chỉ khoảng 152N, với chỉ ba trong số 10 (hoặc 30%) của các mẫu sống sót với lực tác động quá 200N. Theo đó, thủy tinh được gia cường theo phân bố cục bộ này và theo ví dụ 7 cụ thể là phù hợp tốt với việc sử dụng trong thiết bị di động, trong đó, việc rơi là thường xảy ra.

Tiếp theo, các mẫu theo ví dụ 7A được thử nghiệm với cấu hình của Fig.35 để đánh giá khả năng sống sót khi cạnh thủy tinh bị tác động bởi tiếp xúc sắc. Kết quả được thể hiện trên Fig.39. Mũi tên được gắn nhãn cho thủy tinh theo ví dụ 7A làm nổi bật lực tác động (N) hoặc năng lượng tác động (J) trong đó sự bắt đầu mạnh mẽ của nứt vỡ của thủy tinh sẽ được quan sát, sao cho các trị số cao hơn nghĩa là hiệu quả hoạt động được cải thiện. Trong trường hợp của các mẫu theo ví dụ 7A, tất cả các mẫu được thử nghiệm đều sống sót với điều kiện 1,28J như đều bị nứt vỡ tại 1,58J. Tất cả các mẫu được sử dụng để sinh ra đồ thị này được trao đổi ion, có dạng hình học 2,5D: Có độ dày trong trung tâm ~0,8mm và độ dày tại cạnh ~0,3 mm. Theo đó, theo một số phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh được tạo ra theo ví dụ 7A có thể chịu lực tác động cạnh là 400N hoặc lớn hơn (ví dụ là 450N), hoặc năng lượng tác động là 1,28 J hoặc lớn hơn.

Người có trình độ trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật sẽ hiểu rõ rằng, các biến đổi, thay đổi khác nhau có thể được đưa ra mà không nằm ngoài tinh thần hoặc phạm vi bảo hộ của sáng chế.

Ví dụ, các vật phẩm gốc thủy tinh được bộc lộ ở đây có thể được tích hợp vào trong vật phẩm khác như vật phẩm với bộ phận hiển thị (hoặc các vật phẩm hiển thị) (ví dụ, các thiết bị điện tử tiêu dùng, gồm các điện thoại di động, các máy tính bảng, các máy tính, các hệ thống định vị, các thiết bị đeo được (ví dụ, các đồng hồ), và dạng tương tự), các vật phẩm kiến trúc, các vật phẩm giao thông (ví dụ, xe, tàu hỏa, máy bay, tàu biển, v.v.), các vật phẩm ứng dụng, hoặc vật phẩm bất kỳ có lợi từ đặc tính trong suốt, chịu cào xước, chịu ăn mòn nào đó hoặc tổ hợp của chúng. Vật phẩm làm ví dụ tích hợp vật phẩm bất kỳ trong số các vật phẩm gốc thủy tinh được bộc lộ ở đây được thể hiện trên các hình vẽ Fig.40A và Fig.40B. Cụ thể là, các hình vẽ Fig.40A và Fig.40B thể hiện thiết bị điện tử tiêu dùng 4100 chứa vỏ 4102 có mặt trước 4104, mặt sau 4106, và các bề mặt bên 4108; các thành phần điện tử (không được thể hiện) ít nhất một phần ở bên trong hoặc toàn phần nằm trong vỏ và chứa ít nhất là bộ phận điều khiển, bộ nhớ, và bộ phận hiển thị 4110 tại hoặc liền kề với bề mặt phía trước của vỏ; và đế che phủ 4112 tại hoặc trên bề mặt phía trước của vỏ sao cho nó ở trên bộ phận hiển thị. Theo một số phương án thực hiện, đế che phủ 4112 có thể chứa vật phẩm bất kỳ trong các vật phẩm gốc thủy tinh được bộc lộ ở đây. Theo một số phương án thực hiện, ít nhất một phần trong phần của vỏ hoặc thủy tinh che phủ chứa các vật phẩm gốc thủy tinh được bộc lộ ở đây.

Ngoài ra, ví dụ, các đặc điểm khác nhau có thể được kết hợp theo các phương án thực hiện làm ví dụ sai.

Phương án thực hiện 1. Vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm:

bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t) trong khoảng giới hạn từ 0,1 mm và 2 mm; và

biên dạng ứng suất kéo dài dọc theo độ dày (t),

trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang với độ

nghiêng từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet,

trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ khoảng $0,035 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,965 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet,

trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm CS bề mặt là từ khoảng 200 MPa tới khoảng 1100 MPa, và

trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm DOC trải từ khoảng $0,1 \cdot t$ đến $0,25 \cdot t$.

Phương án thực hiện 2. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 1, trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 3. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 1, trong đó, khoảng giới hạn độ dày thứ hai mở rộng từ $0,025 \cdot t$ đến $0,035 \cdot t$, và từ $0,965 \cdot t$ đến $0,975 \cdot t$, và tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong phần mở rộng của khoảng giới hạn độ dày thứ hai chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 4. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 3, trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 5. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 1 hoặc phương án thực hiện 3, trong đó, khoảng giới hạn độ dày thứ hai còn mở rộng từ $0,02 \cdot t$ đến $0,025 \cdot t$, và từ $0,975 \cdot t$ đến $0,98 \cdot t$, và tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong phần mở rộng tiếp theo của độ dày thứ hai chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -15 MPa/micromet tới khoảng 15 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 6. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 5, trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất trong phần mở rộng tiếp theo của

khoảng giới hạn độ dày thứ hai chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -2 MPa/micromet tới khoảng 2 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 7. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 6, trong đó, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai tạo thành biên dạng luật lũy thừa có số mũ lũy thừa, trong đó, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,2 đến 3,2.

Phương án thực hiện 8. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 7, trong đó, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,3 và 2,8.

Phương án thực hiện 9. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 8, trong đó, CS bề mặt là từ khoảng 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 610, 620 MPa tới khoảng 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000 hoặc 1100 MPa.

Phương án thực hiện 10. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 9, trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 11. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 10, trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 12. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 1, trong đó, khoảng giới hạn độ dày thứ nhất mở rộng từ khoảng $0,02 \cdot t$ lên tới $0,025 \cdot t$ và lớn hơn $0,975 \cdot t$ đến $0,98 \cdot t$, và ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất được mở rộng chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 13. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 12, trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ

nhất được mở rộng chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 14. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 13, trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất được mở rộng chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 15. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 1 hoặc phương án thực hiện từ 12 đến 14, trong đó, khoảng giới hạn độ dày thứ nhất còn mở rộng từ khoảng $0,025 \cdot t$ lên tới $0,035 \cdot t$ và lớn hơn $0,965 \cdot t$ lên tới khoảng $0,975 \cdot t$, và ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong phần mở rộng tiếp theo của khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 16. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 15, trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong phần mở rộng tiếp theo của khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -170 MPa/micromet tới khoảng -30 MPa/micromet hoặc khoảng 30 MPa/micromet tới khoảng 170 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 17. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 16, trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong phần mở rộng tiếp theo của khoảng giới hạn độ dày thứ nhất chứa tang với độ nghiêng là từ khoảng -140 MPa/micromet tới khoảng -35 MPa/micromet hoặc khoảng 35 MPa/micromet tới khoảng 140 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 18. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 17, trong đó, khoảng giới hạn độ dày thứ nhất được thu bởi việc trao đổi ion trong muối chứa kali.

Phương án thực hiện 19. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 18, trong đó, khoảng giới hạn độ dày thứ hai được thu bởi việc trao đổi ion trong muối chứa Na.

Phương án thực hiện 20. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 19, trong đó, biên dạng ứng suất được thu sử dụng bước trao đổi ion đơn.

Phương án thực hiện 21. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 19, trong đó, biên dạng ứng suất được thu sử dụng hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion.

Phương án thực hiện 22. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 21, trong đó, CS bề mặt là giữa khoảng 690 MPa và 950 MPa.

Phương án thực hiện 23. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 22, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa từ khoảng 0,5 % mol tới khoảng 10 % mol P₂O₅.

Phương án thực hiện 24. Vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm:

mặt phẳng trung tâm, trong đó, mặt phẳng trung tâm bao gồm từ khoảng 2 tới khoảng 20 % mol Li₂O; và

biên dạng ứng suất kéo dài dọc theo độ dày (t),

trong đó, ít nhất một điểm của biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ khoảng $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ chứa tang với độ nghiêng từ khoảng -200 MPa/micromet tới khoảng -25 MPa/micromet hoặc khoảng 25 MPa/micromet tới khoảng 200 MPa/micromet,

trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm CS bề mặt là từ khoảng 200 MPa tới khoảng 1100 MPa, và

trong đó, biên dạng ứng suất bao gồm DOC trải từ khoảng $0,05 \cdot t$ đến $0,25 \cdot t$.

Phương án thực hiện 25. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 24, trong đó, khoảng giới hạn độ dày thứ nhất được thu bằng cách trao đổi ion trong muối chứa kali.

Phương án thực hiện 26. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 24, trong đó, khoảng giới hạn độ dày thứ hai được thu bằng cách trao đổi ion trong muối chứa Na hoặc muối chứa K.

Phương án thực hiện 27. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 24 đến 26, trong đó, biên dạng ứng suất được thu sử dụng bước trao đổi ion đơn.

Phương án thực hiện 28. Vật phẩm gốc thủy tinh theo một trong các phương án thực hiện từ 24 đến 26, trong đó, biên dạng ứng suất được thu sử dụng hai hoặc hơn hai bước trao đổi ion.

Phương án thực hiện 29. Vật phẩm gốc thủy tinh theo một trong các phương án thực hiện từ 24 đến 28, trong đó, CS bề mặt trải dài từ khoảng 690 MPa và 950 MPa.

Phương án thực hiện 30. Vật phẩm gốc thủy tinh theo một trong các phương án thực hiện từ 24 đến 29, trong đó, biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai tạo thành biên dạng luật lũy thừa có số mũ lũy thừa, trong đó, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,2 đến 3,4.

Phương án thực hiện 31. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 30, trong đó, số mũ lũy thừa là giữa khoảng 1,3 và 2,8.

Phương án thực hiện 32. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 24 đến 31, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa từ khoảng 0,5 % mol tới khoảng 10 % mol P_2O_5 .

Phương án thực hiện 33. Vật phẩm gốc thủy tinh theo một trong các phương án thực hiện từ 24 đến 32, trong đó, mặt phẳng trung tâm còn bao gồm thành phần chứa từ khoảng 0,5 % mol tới khoảng 20 % mol Na_2O .

Phương án thực hiện 34. Vật phẩm gốc thủy tinh theo một trong các phương án thực hiện từ 24 đến 33, trong đó, mặt phẳng trung tâm còn bao gồm thành phần chứa từ khoảng 2 % mol tới khoảng 10 % mol Li_2O .

Phương án thực hiện 35. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 33 hoặc phương án thực hiện 34, trong đó, nồng độ của Na_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là từ khoảng 5 % mol tới khoảng 16 % mol.

Phương án thực hiện 36. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 33 hoặc phương án thực hiện 34, trong đó, nồng độ của Na_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là giữa khoảng 10 % mol và 15 % mol.

Phương án thực hiện 37. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 36, trong đó, nồng độ của Li_2O trong mặt phẳng trung tâm của vật phẩm thủy tinh là giữa khoảng 3 % mol và 10 % mol.

Phương án thực hiện 38. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 24 đến 37, trong đó, qua độ dày từ $0 \cdot t$ lên tới $0,3 \cdot t$, biên dạng ứng suất còn chứa tang chứa độ nghiêng tối thiểu và tang chứa độ nghiêng tối đa, trong đó, khác biệt giữa độ nghiêng tối đa và độ nghiêng tối thiểu là 3,5 MPa cho mỗi micromet hoặc nhỏ hơn.

Phương án thực hiện 39. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 24 đến 38, trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất giữa độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,3 \cdot t$ và từ lớn hơn $0,7 \cdot t$, chứa tang mà nhỏ hơn khoảng -0,1 MPa/micromet, hoặc là lớn hơn khoảng 0,1 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 40. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 24 đến 39, còn bao gồm DOL kali mở rộng qua khoảng giới hạn độ dày thứ nhất.

Phương án thực hiện 41. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 24 đến 40, còn bao gồm bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t) trong khoảng giới hạn từ 0,1 mm và 2 mm.

Phương án thực hiện 42. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 23, trong đó, qua độ dày từ $0 \cdot t$ lên tới $0,3 \cdot t$, biên dạng ứng suất còn chứa tang chứa độ nghiêng tối thiểu và tang chứa độ nghiêng tối đa, trong đó, khác biệt giữa độ nghiêng tối đa và độ nghiêng tối thiểu là 3,5 MPa cho mỗi micromet hoặc nhỏ hơn.

Phương án thực hiện 43. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 23 hoặc 42, trong đó, tất cả các điểm của biên dạng ứng suất giữa độ dày từ khoảng $0 \cdot t$ tới khoảng $0,3 \cdot t$ và từ lớn hơn $0,7 \cdot t$, chứa tang mà nhỏ hơn khoảng -0,1 MPa/micromet, hoặc là lớn hơn khoảng 0,1 MPa/micromet.

Phương án thực hiện 44. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 23, hoặc 42-43, còn bao gồm DOL kali mở rộng qua khoảng giới hạn độ dày thứ nhất.

Phương án thực hiện 45. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 23, hoặc từ 41 đến 44, còn bao gồm nồng độ oxit kim loại giảm từ bề mặt thứ nhất tới trị số tại điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai và tăng từ trị số tới bề mặt thứ hai.

Phương án thực hiện 46. Phương pháp gia cường hóa học để gốc thủy tinh chứa bề mặt chính thứ nhất, bề mặt chính thứ hai, độ dày trung bình t kéo dài theo cách vuông góc giữa các bề mặt chính thứ nhất và bề mặt chính thứ hai, và gờ kéo dài giữa các bề mặt chính thứ nhất và bề mặt chính thứ hai, phương pháp bao gồm các bước:

thực hiện bước IOX thứ nhất bằng cách giữ để gốc thủy tinh trong chu kỳ thời gian thứ nhất trong bể thứ nhất chứa hỗn hợp của các ion natri và kali;

thực hiện bước IOX thứ hai, sau bước IOX thứ nhất, bằng cách giữ để gốc thủy tinh trong chu kỳ thời gian thứ hai trong bể thứ hai chứa hỗn hợp của các ion natri và kali để tạo thành biên dạng ứng suất trong đế gốc thủy tinh, biên dạng ứng suất có vùng CS và vùng CT;

bể thứ hai có tỉ lệ mol của Na: K là 3 đến 10 lần nhỏ hơn tỉ lệ mol Na:K của bể thứ nhất.

Phương án thực hiện 47. Phương pháp theo phương án thực hiện 46, trong đó, cả hai bước trao đổi ion được hoàn thành trong bể chứa cả muối chứa Na và muối chứa K, trong đó, tỉ lệ của các ion Na so với các ion K trong bể thứ nhất là một trong số: (i) cao hơn 2,5 lần hoặc lớn hơn tỉ lệ của các ion Na so với các ion K trong bể thứ hai; (ii) cao hơn 3 lần hoặc lớn hơn; (iii) cao hơn 5 lần hoặc lớn hơn; hoặc (iv) cao hơn 8 lần hoặc lớn hơn; và một trong số: (i) lớn hơn 800 lần hoặc nhỏ hơn; (ii) lớn hơn 600 lần hoặc nhỏ hơn; (iii) lớn hơn 500 lần hoặc nhỏ hơn; và (iv) lớn hơn 400 lần, hoặc nhỏ hơn.

Phương án thực hiện 48. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện 46 và 47, trong đó, bể thứ hai có tỉ lệ mol của Na so với K là một trong số: (i) 0,03 hoặc lớn hơn; (ii) 0,04 hoặc lớn hơn; (iii) 0,047 hoặc lớn hơn; (iv) 0,06 hoặc lớn hơn; và (v) 0,07 hoặc lớn hơn, và là một phần trong số nhỏ hơn hoặc bằng: (i) 0,4; (ii) 0,35; (ii) 0,30; (iii) 0,21; (iv) 0,16; hoặc (v) 0,13.

Phương án thực hiện 49. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 46 đến 48, trong đó, thời gian khuếch tán hiệu quả của bước IOX thứ hai là một trong số: (i) từ 1/20 tới 1/2 thời gian của bước thứ nhất; (ii) từ 1/20 đến 1/3 thời gian của bước thứ nhất; và (iii) từ 1/20 đến 1/4 thời gian của bước thứ nhất.

Phương án thực hiện 50. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 46 đến 49, trong đó, CS bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh sau bước IOX thứ hai là một trong số: (i) 600 MPa hoặc lớn hơn; (ii) 650 MPa hoặc lớn hơn; (iii) 700 MPa hoặc lớn hơn; (iv) 750 MPa hoặc lớn hơn; (v) 800 MPa hoặc lớn hơn; (vi) 850 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 51. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 46 đến 50, trong đó, DOL_{sp} là: (i) từ 0,5 đến 1,5% của độ dày khi độ dày là từ 1 đến 1,3mm; (ii) trong khoảng giới hạn từ 0,6 đến 2% độ dày khi độ dày là từ 0,8 đến 1mm; (iii) trong khoảng giới hạn từ 0,7 đến 2,5% của độ

dày khi độ dày là từ 0,65 đến 0,8mm; (iv) trong khoảng giới hạn từ 0,9 đến 3% của độ dày khi độ dày là từ 0,5 đến 0,65mm; và (v) trong khoảng giới hạn từ 1 đến 3% khi độ dày là từ 0,3 đến 0,5mm.

Phương án thực hiện 52. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 46 đến 51, trong đó DOC là một trong số: (i) 0,1t hoặc lớn hơn; (ii) 0,15t hoặc lớn hơn; (iii) 0,2t hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 53. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 46 đến 52, trong đó biên dạng ứng suất trong vùng CT bao gồm biên dạng luật lũy thừa có số mũ lũy thừa, trong đó, số mũ lũy thừa là một trong số: (i) từ 1 đến 3,4; (ii) từ 1,2 đến 3,0; và (iii) từ 1,7 đến 2,6.

Phương án thực hiện 54. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 46 đến 53, trong đó, ngưỡng cào xước Knoop của đế gốc thủy tinh được gia cường là lớn hơn 10N.

Phương án thực hiện 55. Phương pháp theo phương án thực hiện 54, trong đó, ngưỡng cào xước Knoop của đế gốc thủy tinh được gia cường là nhỏ hơn 16N.

Phương án thực hiện 56. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 46 đến 55, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có ít nhất 60% tỉ lệ sống sót khi được đưa vào thử nghiệm rơi bi ngược với bi thép không rỉ 4,2g có đường kính là 10 mm từ độ cao khoảng 80 cm lên trên giấy ráp 30 được định vị trên bề mặt của thủy tinh sao cho có khe hở không khí 100 μ m giữa giấy ráp và bề mặt của thủy tinh, trong đó, tỉ lệ sống sót là dựa trên việc thử nghiệm ít nhất 5 mẫu.

Phương án thực hiện 57. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 46 đến 56, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có tỉ lệ sống sót là một trong số: (i) 60% hoặc lớn hơn; (ii) 70% hoặc lớn hơn; (iii) 80% hoặc lớn hơn; (iv) 90% hoặc lớn hơn; (v) 100% hoặc nhỏ hơn, khi bị tác động trên một bề mặt trong các bề mặt chính thứ nhất và thứ hai với lực là một trong số: (i) 200N hoặc lớn hơn; (ii) 250N hoặc lớn hơn; (iii) 300N hoặc lớn hơn; (iv) 350N hoặc lớn hơn; (v) 400N hoặc lớn hơn; (vi) 450N hoặc lớn hơn; (vii) 500N hoặc lớn

hơn; (viii) 550N hoặc lớn hơn; (ix) 600N hoặc lớn hơn; (x) 650N hoặc lớn hơn; (xi) 700N hoặc lớn hơn; (xii) 750N hoặc lớn hơn; (xiii) 800N hoặc lớn hơn; (xiv) 850N hoặc lớn hơn theo thử nghiệm ngưỡng tác động bề mặt với giấy ráp 180 grit.

Phương án thực hiện 58. Phương pháp theo phương án thực hiện 57, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có tỉ lệ sống sót là 100% hoặc nhỏ hơn khi bị tác động trên một bề mặt trong các bề mặt chính thứ nhất và thứ hai với lực 900N hoặc nhỏ hơn theo thử nghiệm ngưỡng tác động bề mặt với giấy ráp 180 grit.

Phương án thực hiện 59. Phương pháp theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện 46-46, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có thể chịu tác động cạnh: (i) lớn hơn 300N; (ii) 400N hoặc lớn hơn; (iii) 450N hoặc lớn hơn, hoặc tác động cạnh là (i) lớn hơn 0,68J; (ii) 0,97J hoặc lớn hơn; (iii) 1,28J hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 60. Phương pháp theo phương án thực hiện 59, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có thể chịu tác động cạnh nhỏ hơn 500N, hoặc tác động cạnh nhỏ hơn 1,58J.

Phương án thực hiện 61. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 45, trong đó, ngưỡng cào xước Knoop của đế gốc thủy tinh được gia cường là lớn hơn 10N.

Phương án thực hiện 62. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 61, trong đó, ngưỡng cào xước Knoop của đế gốc thủy tinh được gia cường là nhỏ hơn 16N.

Phương án thực hiện 63. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 45, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có ít nhất 60% tỉ lệ sống sót khi được đưa vào thử nghiệm rơi bi ngược với bi thép không rỉ 4,2g có đường kính là 10 mm từ độ cao khoảng 80 cm lên trên giấy ráp 30 được định vị trên bề mặt của thủy tinh sao cho có khe hở không khí 100 μ m giữa giấy ráp và bề mặt của thủy tinh, trong đó, tỉ lệ sống sót là dựa trên việc thử nghiệm ít nhất 5 mẫu.

Phương án thực hiện 64. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 45, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có tỉ lệ sống sót là một trong số: (i) 60% hoặc lớn hơn; (ii) 70% hoặc lớn hơn; (iii) 80% hoặc lớn hơn; (iv) 90% hoặc lớn hơn; (v) 100% hoặc nhỏ hơn, khi bị tác động trên một bề mặt trong các bề mặt chính thứ nhất và thứ hai với lực là một trong số: (i) 200N hoặc lớn hơn; (ii) 250N hoặc lớn hơn; (iii) 300N hoặc lớn hơn; (iv) 350N hoặc lớn hơn; (v) 400N hoặc lớn hơn; (vi) 450N hoặc lớn hơn; (vii) 500N hoặc lớn hơn; (viii) 550N hoặc lớn hơn; (ix) 600N hoặc lớn hơn; (x) 650N hoặc lớn hơn; (xi) 700N hoặc lớn hơn; (xii) 750N hoặc lớn hơn; (xiii) 800N hoặc lớn hơn; (xiv) 850N hoặc lớn hơn, theo thử nghiệm ngưỡng tác động bề mặt với giấy ráp 180 grit.

Phương án thực hiện 65. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 64, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có tỉ lệ sống sót là 100% hoặc nhỏ hơn khi bị tác động trên một bề mặt trong các bề mặt chính thứ nhất và thứ hai với lực 900N hoặc nhỏ hơn theo thử nghiệm ngưỡng tác động bề mặt với giấy ráp 180 grit.

Phương án thực hiện 66. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 45, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có thể chịu tác động cạnh: (i) lớn hơn 300N; (ii) 400N hoặc lớn hơn; (iii) 450N hoặc lớn hơn, hoặc tác động cạnh (i) lớn hơn 0,68J; (ii) 0,97J hoặc lớn hơn; (iii) 1,28J hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 67. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 66, trong đó, đế gốc thủy tinh được gia cường có thể chịu tác động cạnh nhỏ hơn 500N, hoặc tác động cạnh nhỏ hơn 1,58J.

Phương án thực hiện 68. Sản phẩm điện tử tiêu dùng, bao gồm:

vỏ có bề mặt phía trước, bề mặt phía sau và các bề mặt bên;

các thành phần điện tử được tạo ra ít nhất một phần nằm trong vỏ, các thành phần điện tử chứa ít nhất là bộ phận điều khiển, bộ nhớ, và bộ phận hiển thị, bộ phận hiển thị được tạo ra tại hoặc liền kề với bề mặt phía trước của vỏ; và

để che phủ được bố trí trên bộ phận hiển thị,

trong đó, ít nhất một phần trong phần của vỏ hoặc đế che phủ bao gồm vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 45, hoặc từ 61 đến 67.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp gia cường hóa học để gốc thủy tinh bao gồm bề mặt chính thứ nhất, bề mặt chính thứ hai, độ dày trung bình t đang kéo dài vuông góc giữa các bề mặt chính thứ nhất và thứ hai, và gờ kéo dài giữa các bề mặt chính thứ nhất và thứ hai, phương pháp bao gồm các bước:

thực hiện bước IOX thứ nhất bằng cách giữ để gốc thủy tinh cho chu kỳ thời gian thứ nhất trong bể thứ nhất bao gồm hỗn hợp các ion natri và kali;

thực hiện bước IOX thứ hai, sau bước IOX thứ nhất, bằng cách giữ để gốc thủy tinh cho chu kỳ thời gian thứ hai trong bể thứ hai bao gồm hỗn hợp các ion natri và kali để tạo thành biên dạng ứng suất trong để gốc thủy tinh, biên dạng ứng suất đang có vùng ứng suất nén CS và vùng ứng suất trung tâm CT, trong đó biên dạng ứng suất mở rộng dọc theo độ dày (t) theo công thức toán học là hàm số của độ dày;

trong đó tại ít nhất một điểm của công thức toán học cho biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ nhất từ $0 \cdot t$ lên tới $0,020 \cdot t$ và lớn hơn $0,98 \cdot t$ bao gồm tang với độ nghiêng từ -200 MPa/micromet tới -25 MPa/micromet hoặc 25 MPa/micromet tới 200 MPa/micromet,

trong đó tất cả các điểm của công thức toán học cho biên dạng ứng suất trong khoảng giới hạn độ dày thứ hai từ $0,035 \cdot t$ và nhỏ hơn $0,965 \cdot t$ bao gồm tang với độ nghiêng từ -15 MPa/micromet tới 15 MPa/micromet, trong đó công thức toán học cho biên dạng ứng suất dọc theo phạm vi của khoảng giới hạn độ dày thứ hai tạo thành hàm số mũ có số mũ lũy thừa, trong đó số mũ lũy thừa là từ 1,2 tới 3,4,

trong đó ứng suất nén tối đa là từ 200 MPa tới 1100 MPa, và

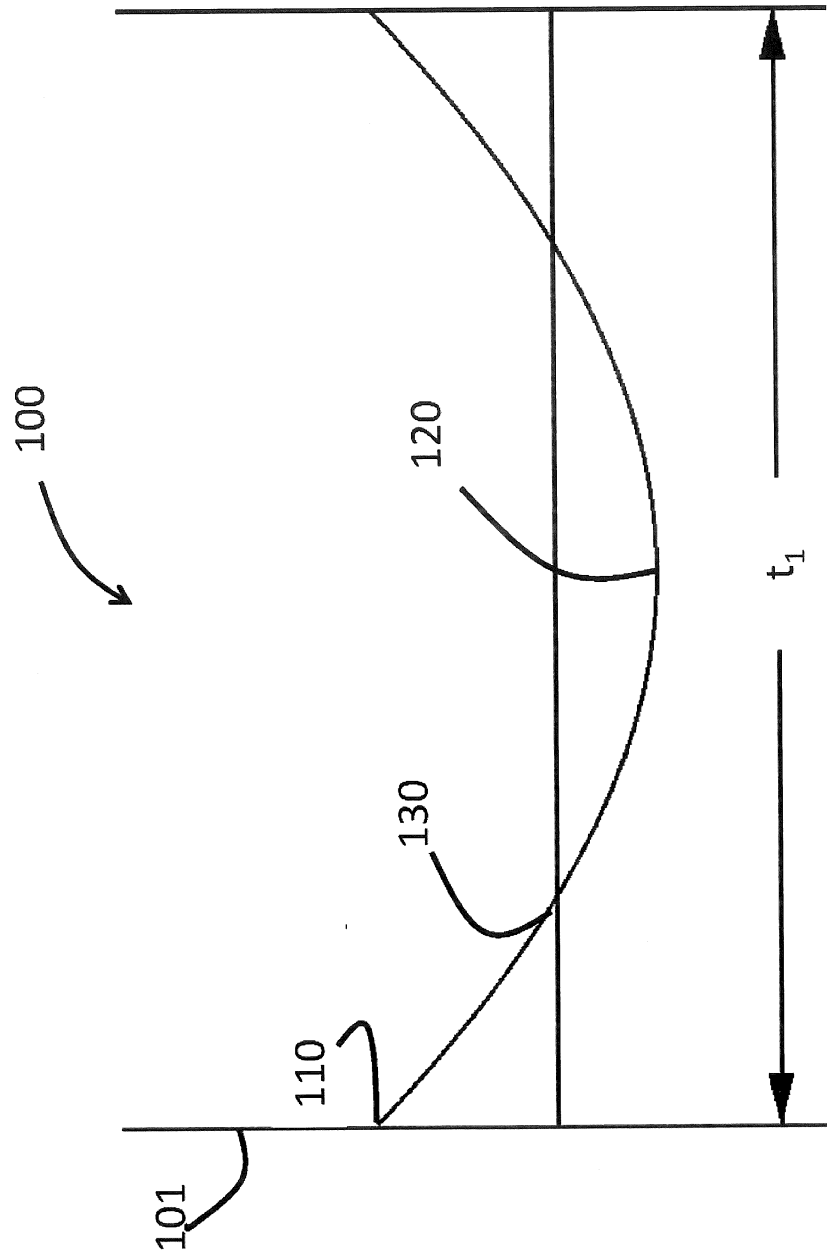
trong đó biên dạng ứng suất bao gồm độ sâu nén trái dài từ $0,05 \cdot t$ tới $0,25 \cdot t$,

bể thứ hai có tỉ lệ mol của các ion Na so với các ion K là từ 3 đến 10 lần nhỏ hơn tỉ lệ mol của các ion Na so với các ion K của bể thứ nhất.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó ứng suất nén tối đa của đế gốc thủy tinh sau bước IOX thứ hai là 600 MPa hoặc lớn hơn, độ sâu nén là lớn hơn hoặc bằng với $0,14 \cdot t$, và còn bao gồm ứng suất trung tâm tối đa là nhỏ hơn hoặc bằng 80 MPa.
3. Phương pháp theo điểm 2, trong đó cả hai bước trao đổi ion đều được hoàn thành trong bể bao gồm cả muối chứa Na và muối chứa K, trong đó tỉ lệ của các ion Na so với các ion K trong bể thứ nhất cao hơn ít nhất là 3 lần tỉ lệ của các ion Na so với các ion K trong bể thứ hai.
4. Phương pháp theo điểm 2, bể thứ hai có tỉ lệ mol Na so với K là từ 0,03 tới 0,4.
5. Phương pháp theo điểm 2, thời gian khuếch tán hiệu quả của bước IOX thứ hai là từ $1/20$ tới $1/2$ thời gian của bước IOX thứ nhất.
6. Phương pháp theo điểm 2, độ sâu của lớp (DOL_{sp} - depth-of-layer_{sp}) là: (i) từ 0,5 tới 1,5% của độ dày khi độ dày là từ 1 tới 1,3 mm; (ii) từ 0,6 tới 2% của độ dày khi độ dày là từ 0,8 tới 1 mm; (iii) từ 0,7 tới 2,5% của độ dày khi độ dày là từ 0,65 tới 0,8 mm; (iv) từ 0,9 tới 3% của độ dày khi độ dày là từ 0,5 tới 0,65 mm; và (v) từ 1 tới 3% khi độ dày là từ 0,3 tới 0,5 mm.
7. Phương pháp theo điểm 2, trong đó công thức toán học trong vùng ứng suất trung tâm CT bao gồm hàm số mũ có số mũ lũy thừa, trong đó số mũ lũy thừa từ 1 tới 3,4.
8. Phương pháp theo điểm 2, trong đó ít nhất một thành phần trong số:
 - (i) ngưỡng cào xước nứt vỡ ngang Knoop của đế gốc thủy tinh được gia cường là lớn hơn 10N và là nhỏ hơn 16N;
 - (ii) đế gốc thủy tinh được gia cường có tỉ lệ sống sót là từ 40% tới 100%, khi bị tác động trên một bề mặt trong số bề mặt chính thứ nhất và thứ hai với lực là 400N hoặc hơn theo thử nghiệm ngưỡng tác động bề mặt với giấy ráp 180 grit; và
 - (iii) đế gốc thủy tinh được gia cường có thể sống sót với tác động từ cạnh từ lớn hơn 300N tới nhỏ hơn 500N, hoặc tác động từ cạnh từ lớn hơn 0,68J tới nhỏ hơn 1,58J theo thử nghiệm ngưỡng tác động cạnh với giấy ráp 30 grit.
9. Phương pháp theo điểm 2, trong đó độ dày t là nhỏ hơn hoặc bằng 1 mm.

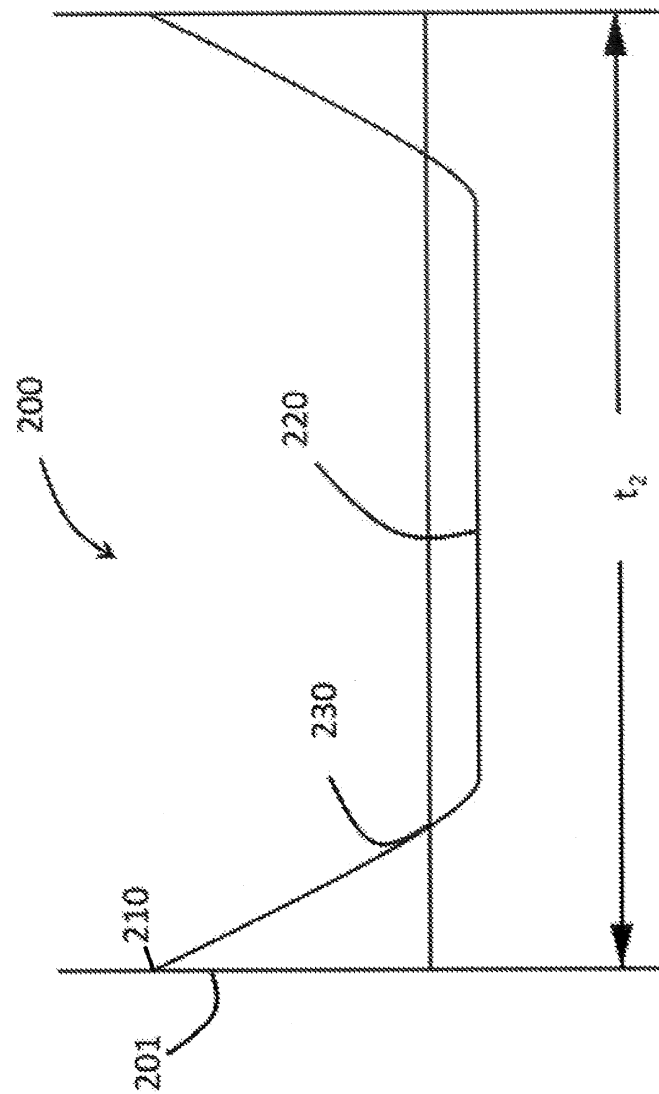
1/40

FIG. 1 (TÌNH TRẠNG KỸ THUẬT)



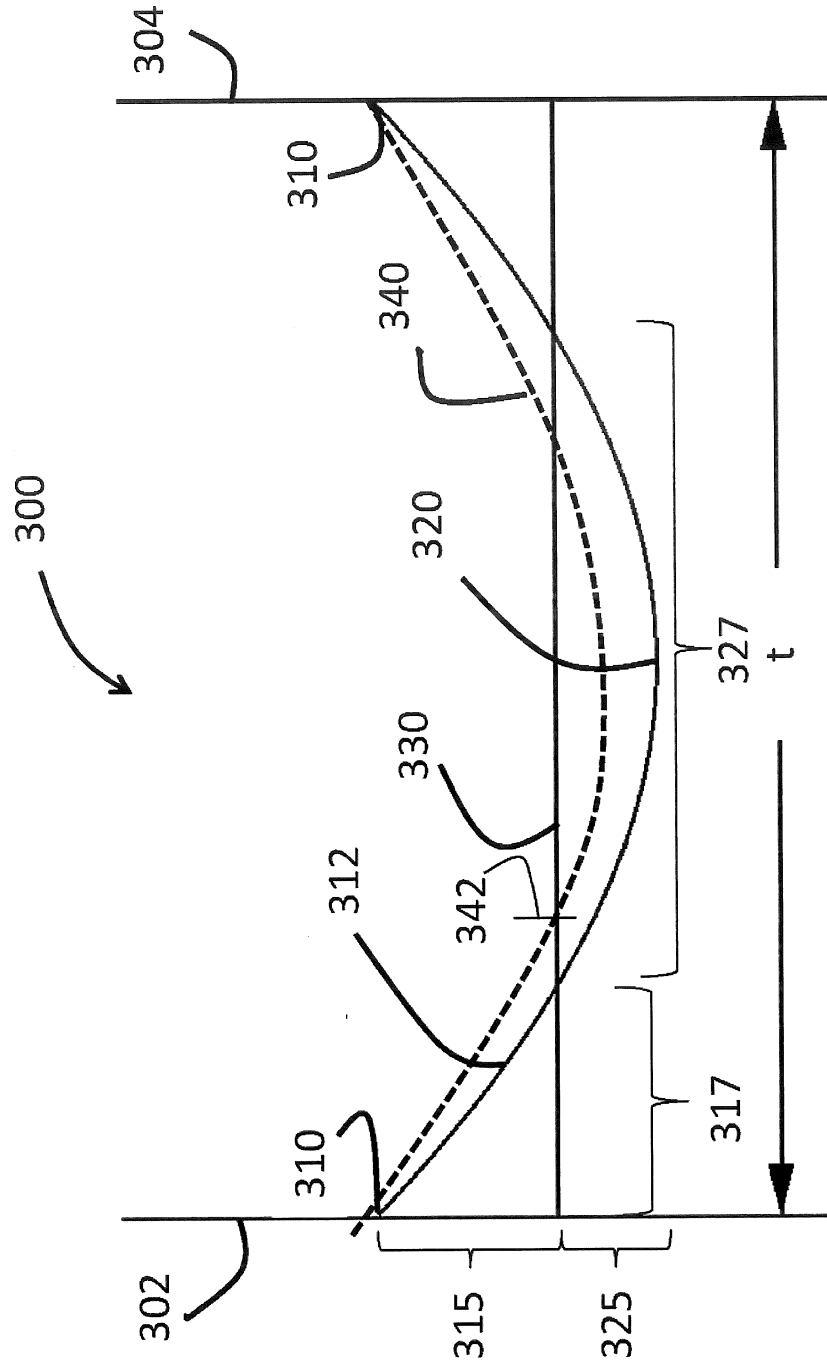
2/40

FIG. 2 (TÌNH TRẠNG KỸ THUẬT)



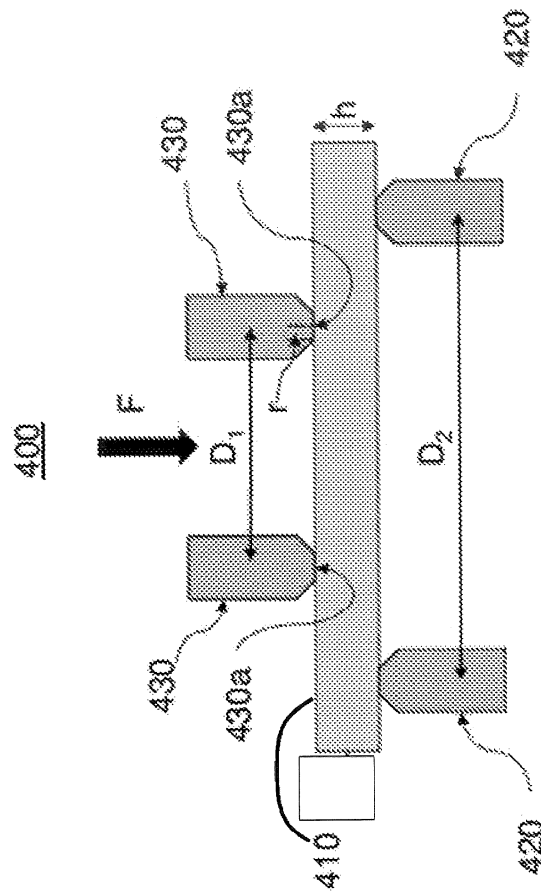
3/40

FIG. 3



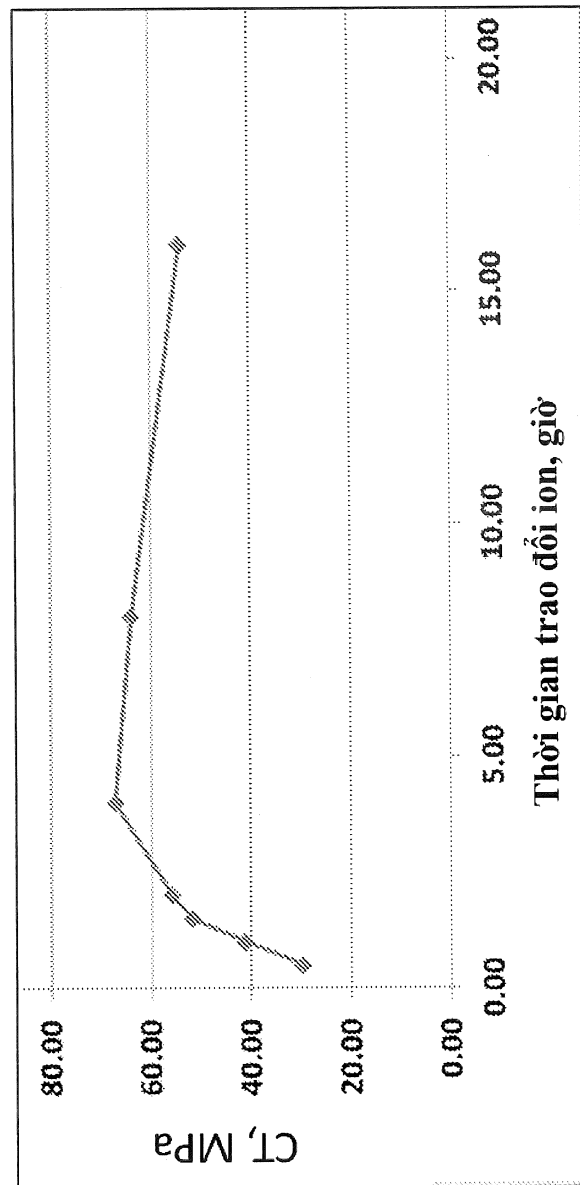
4/40

FIG. 4



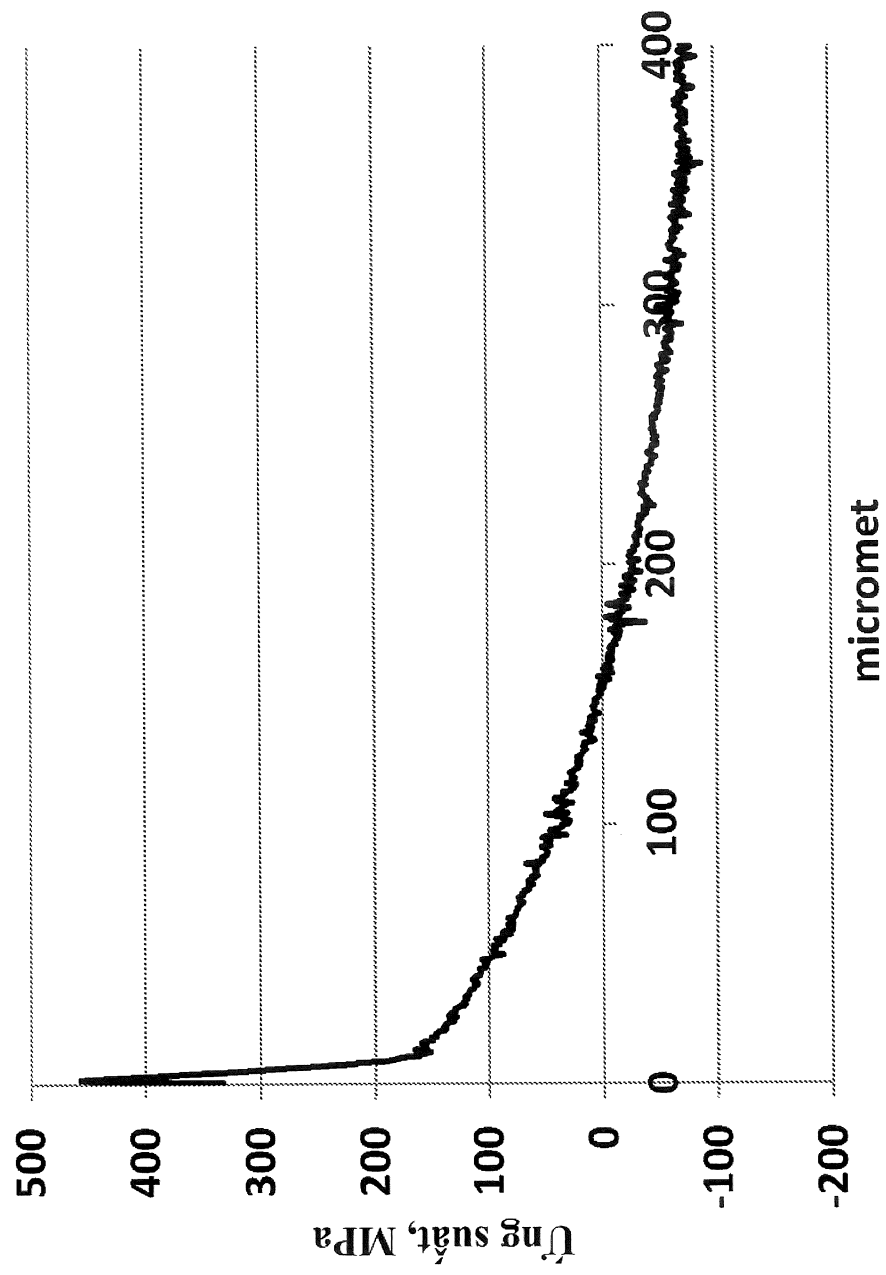
5/40

FIG.5



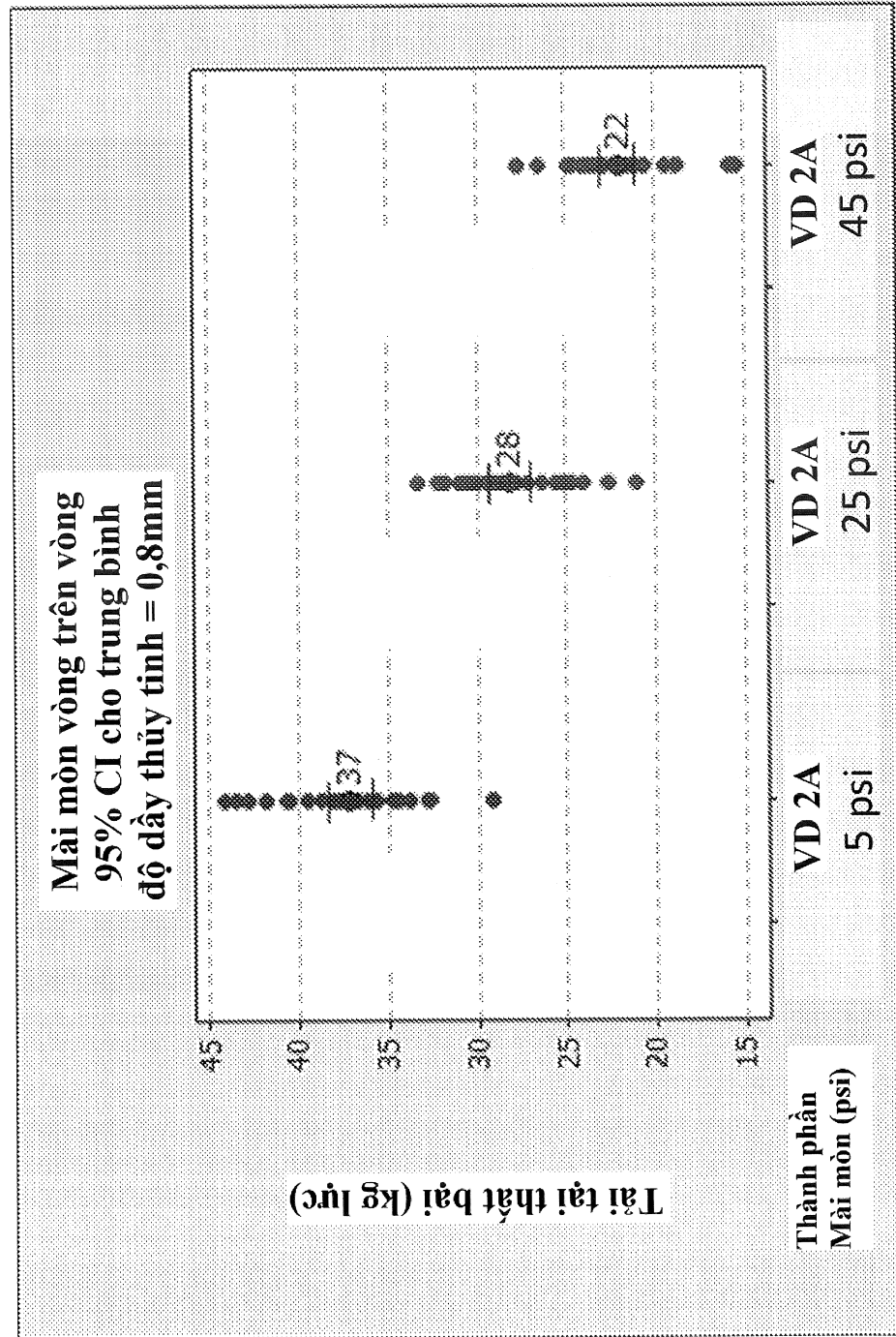
6/40

FIG.6



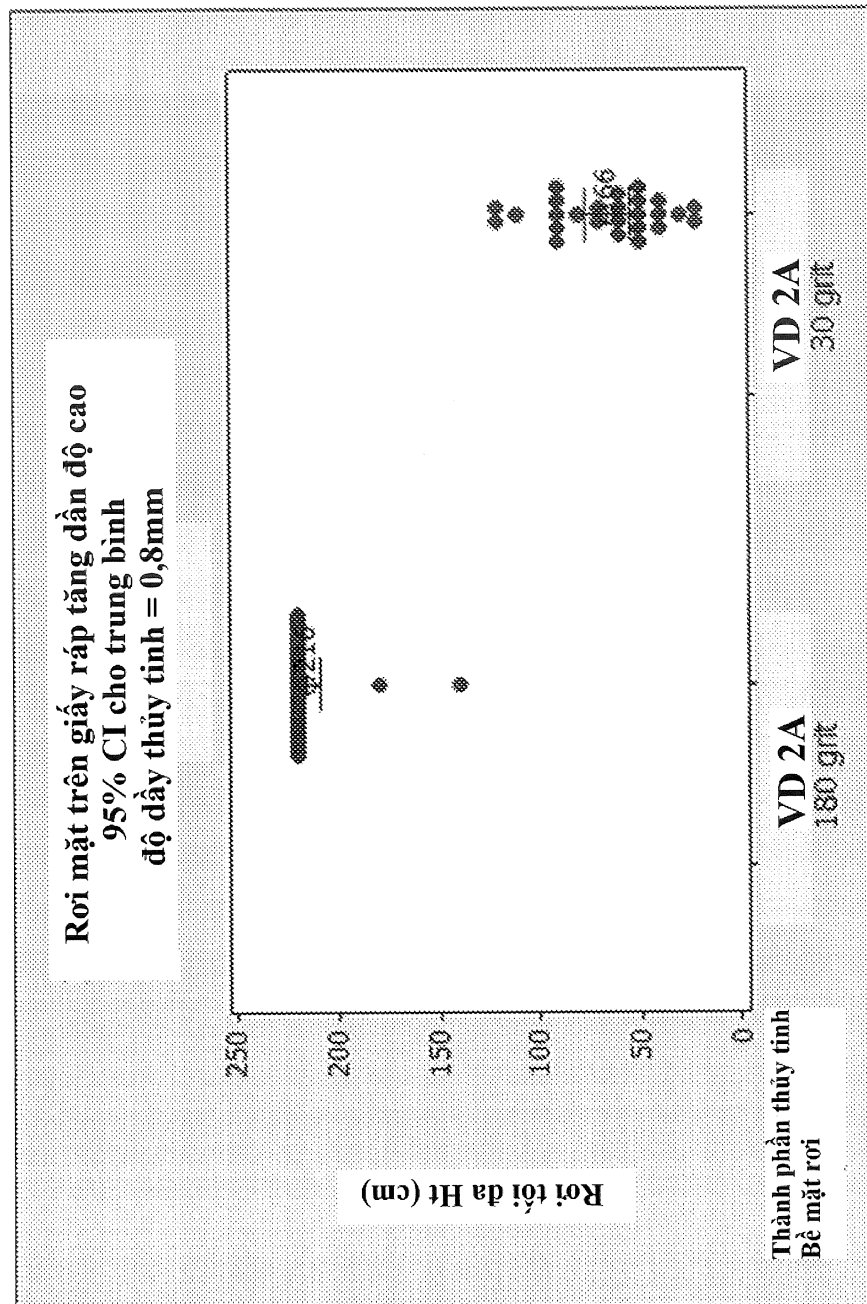
7/40

FIG.7



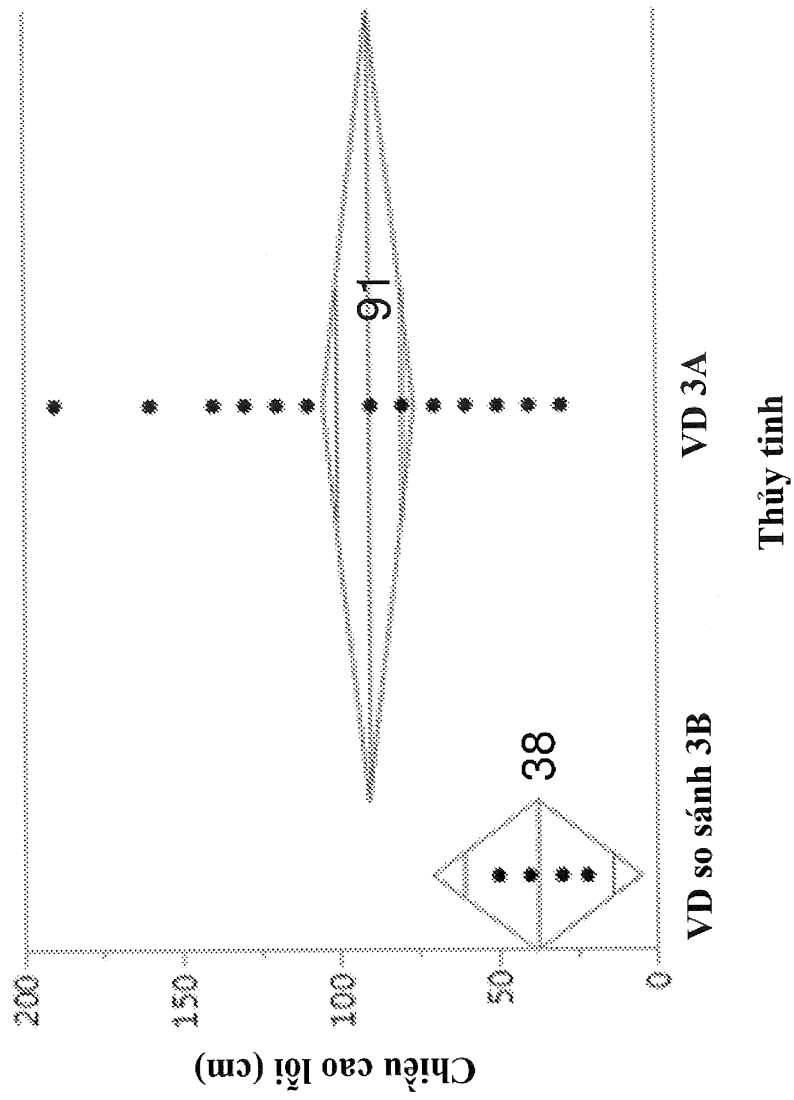
8/40

FIG.8



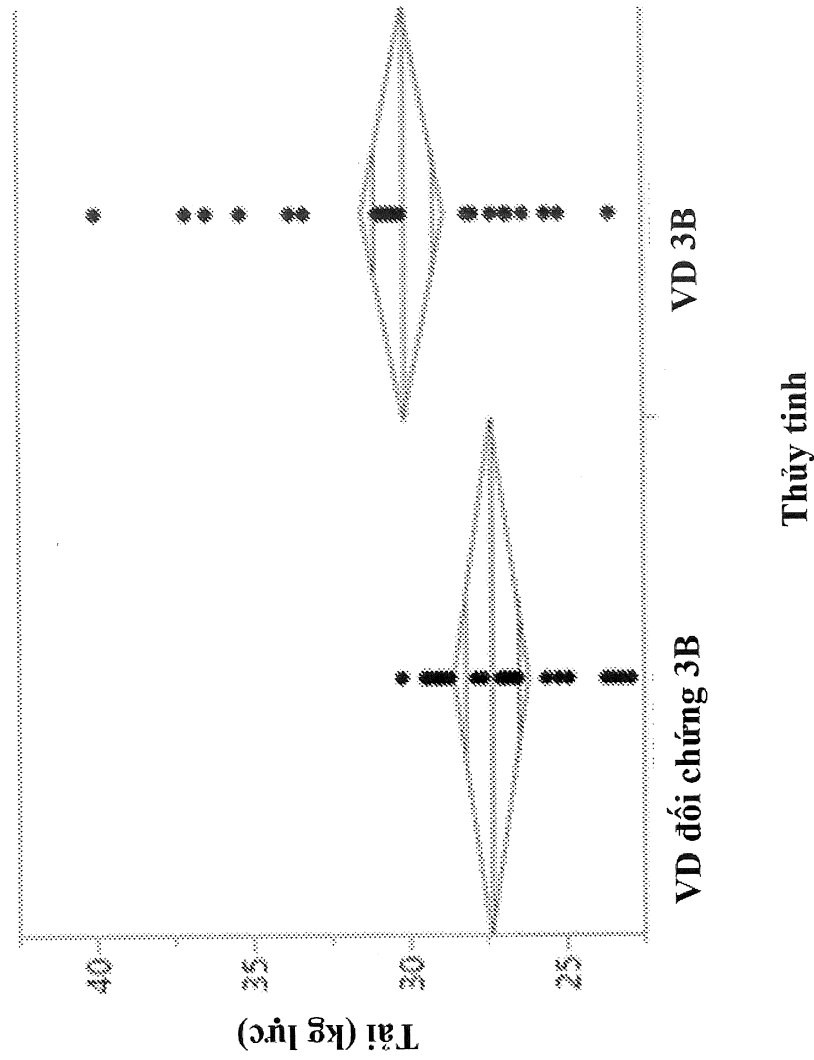
9/40

FIG.9



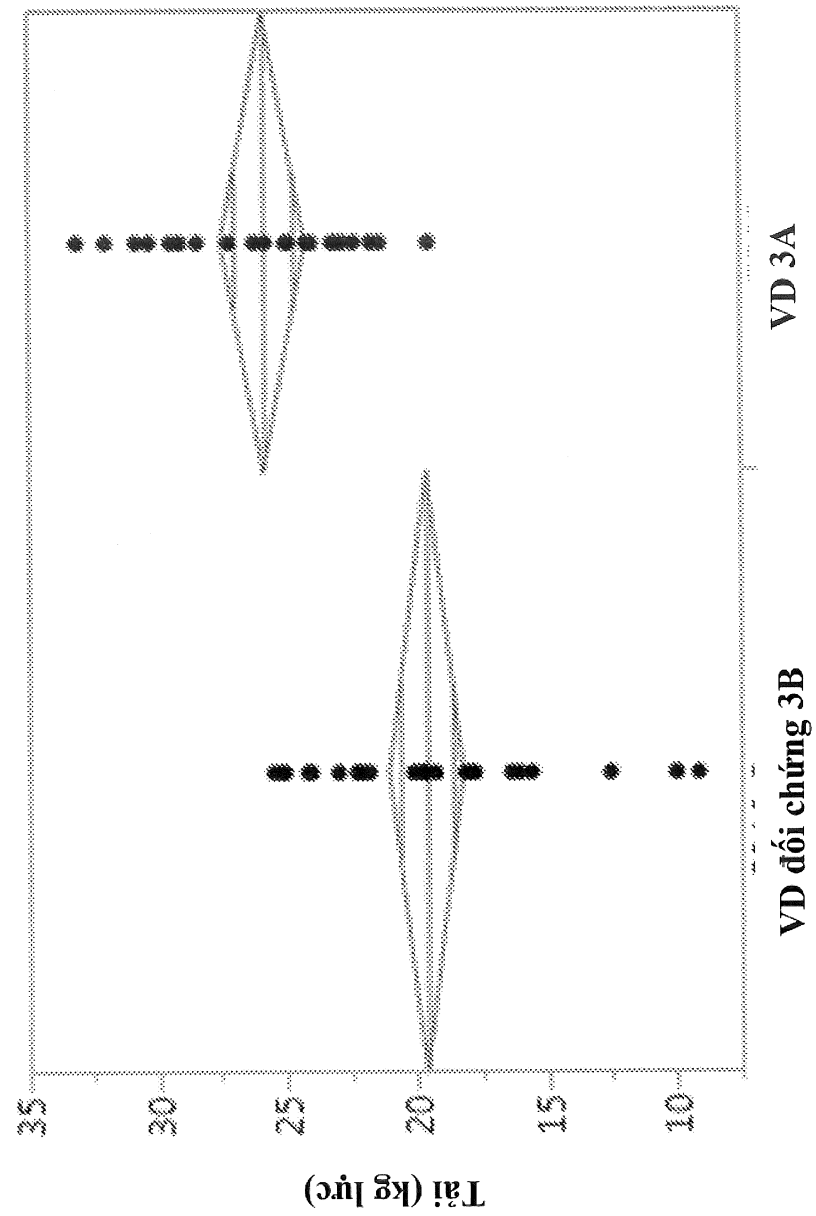
10/40

FIG.10



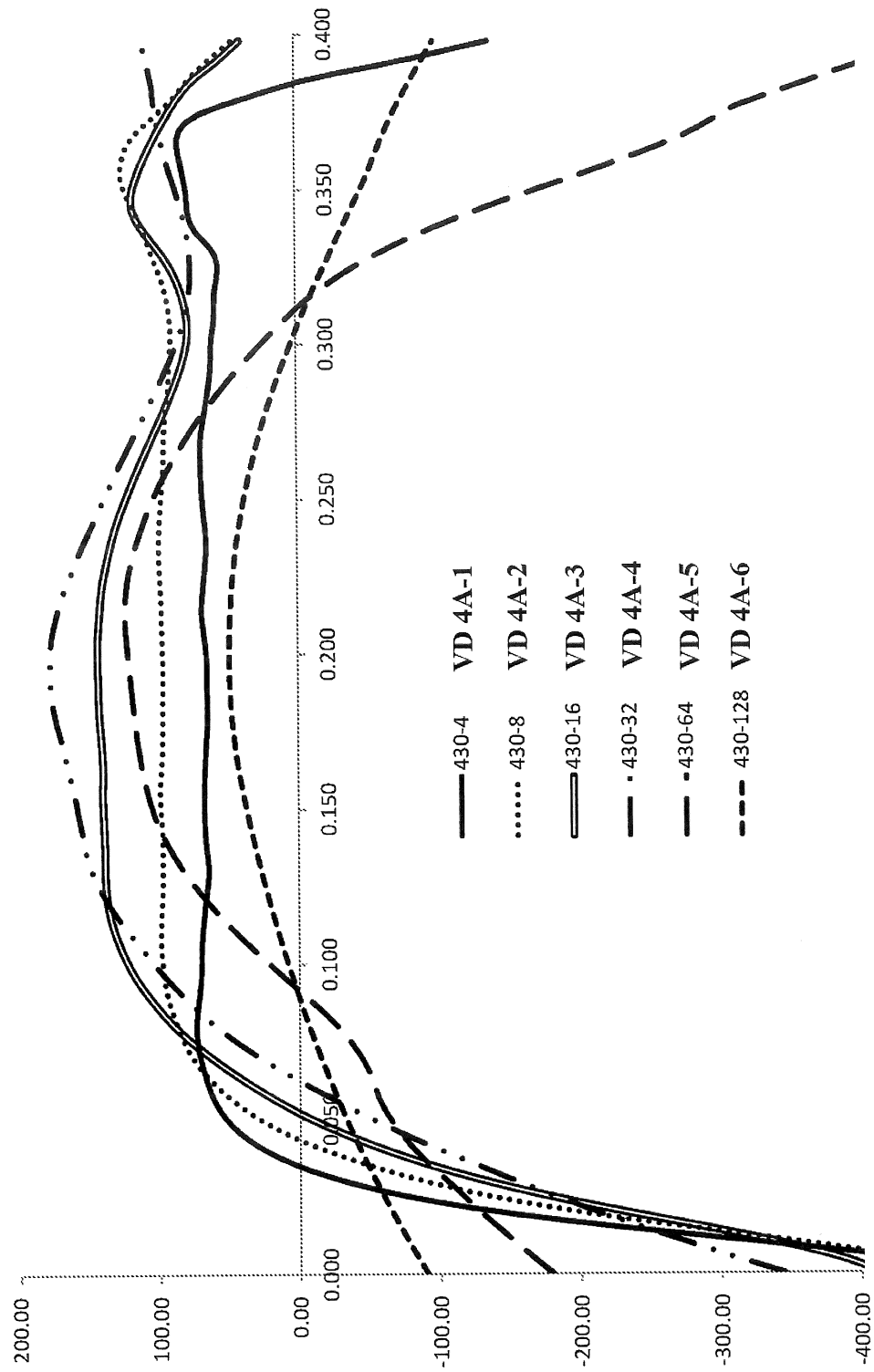
11/40

FIG.11



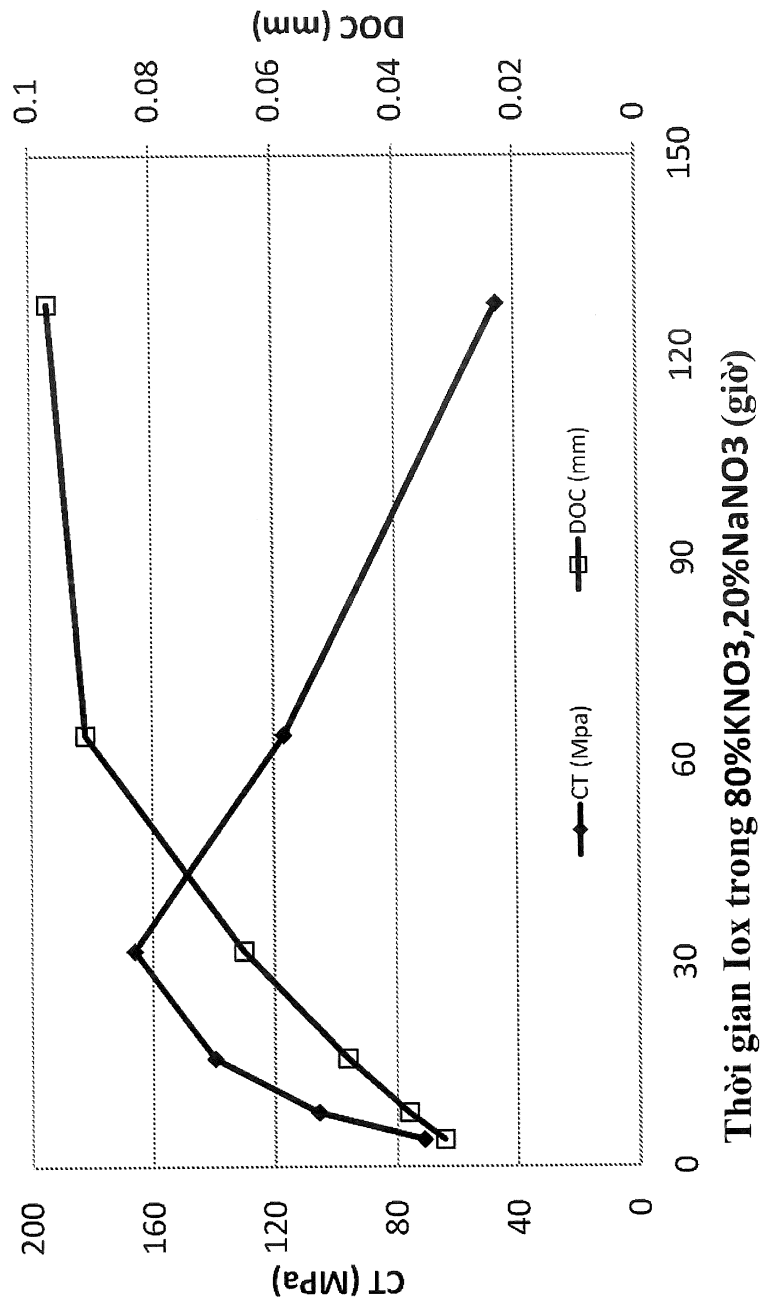
12/40

FIG. 12



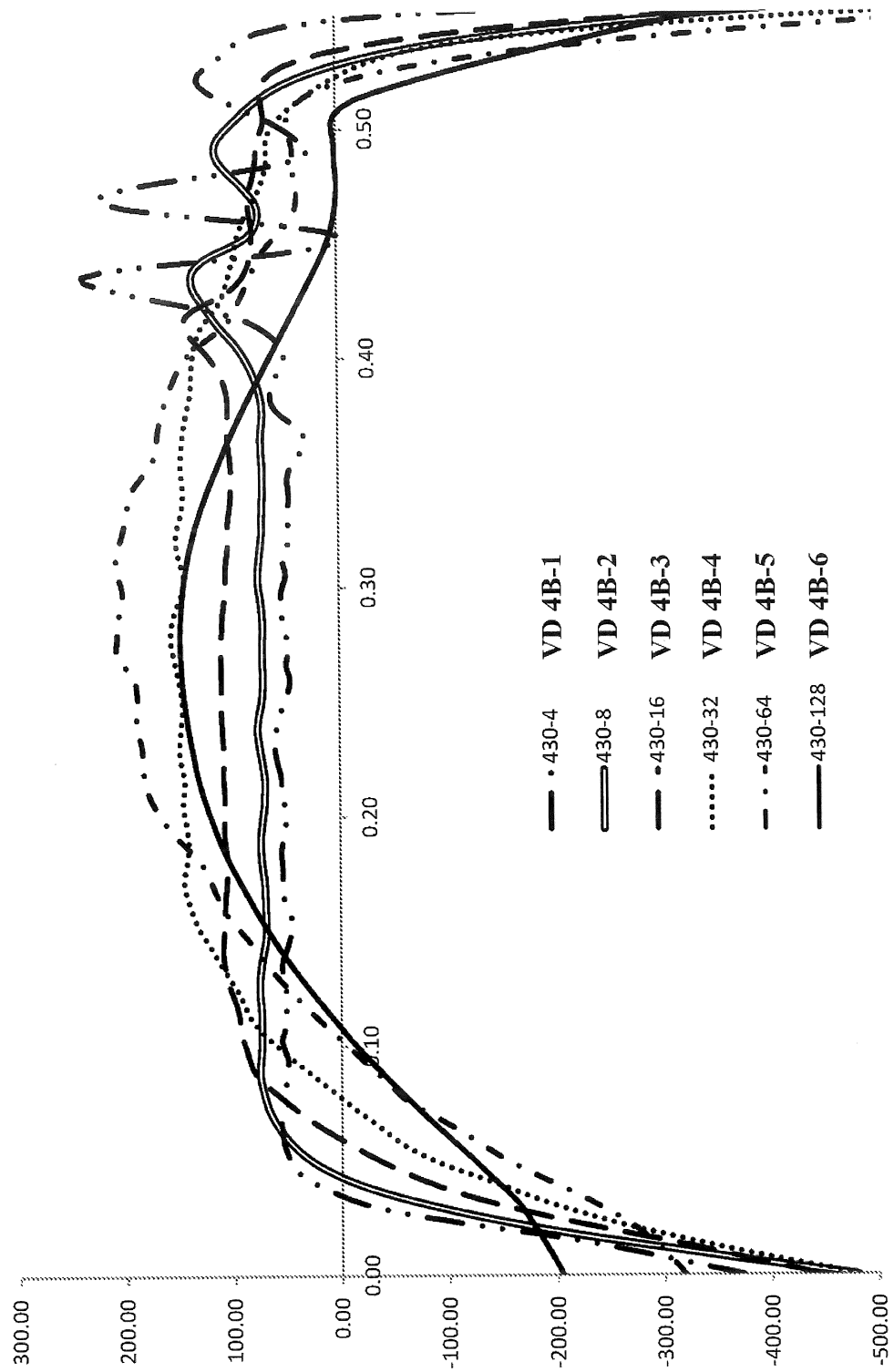
13/40

FIG. 13



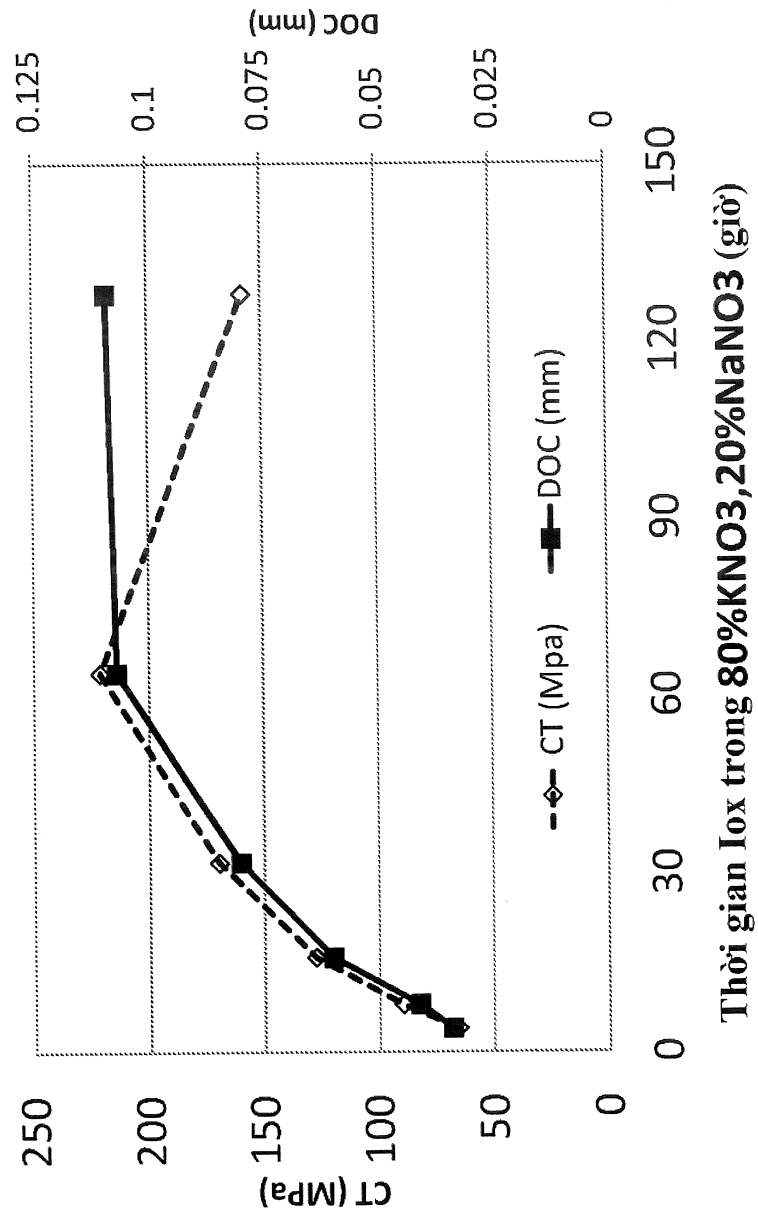
14/40

FIG. 14



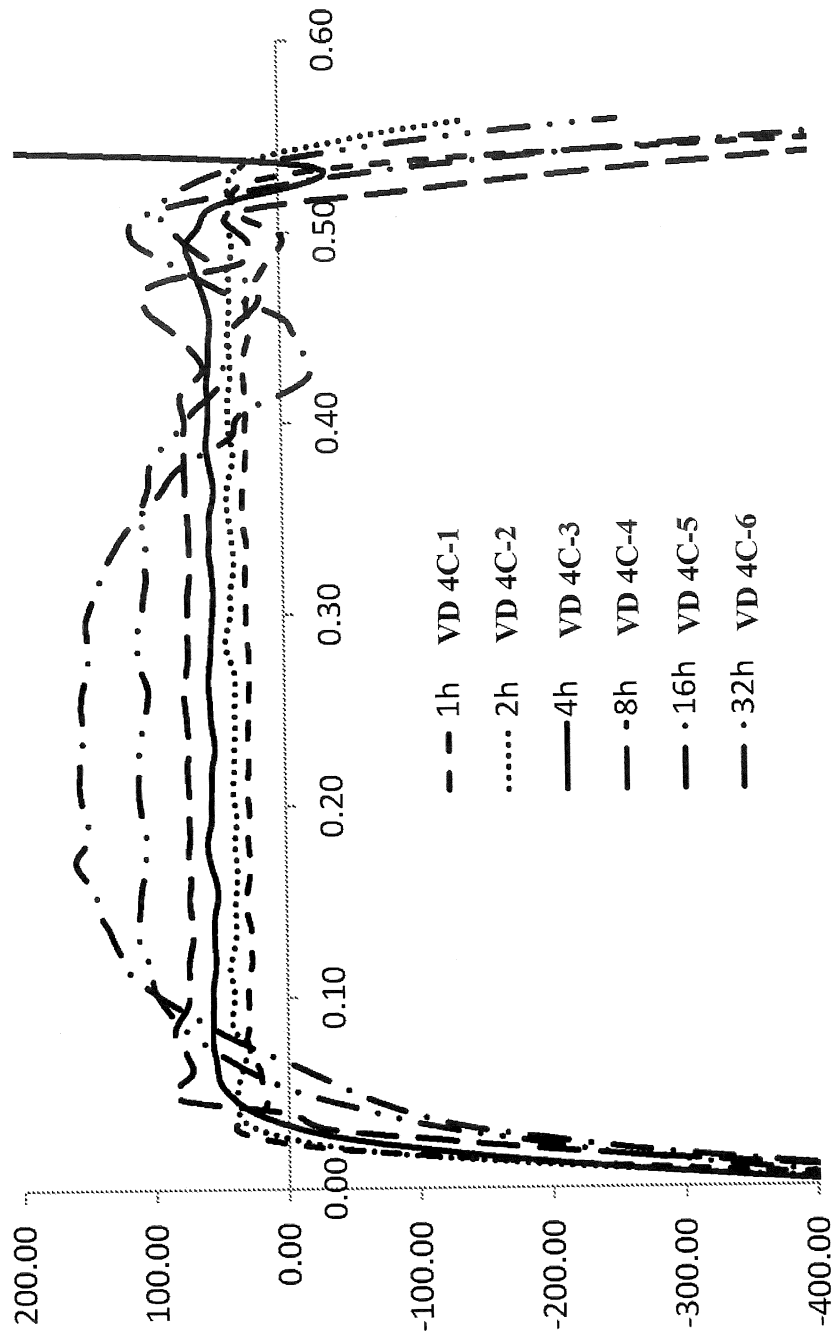
15/40

FIG. 15



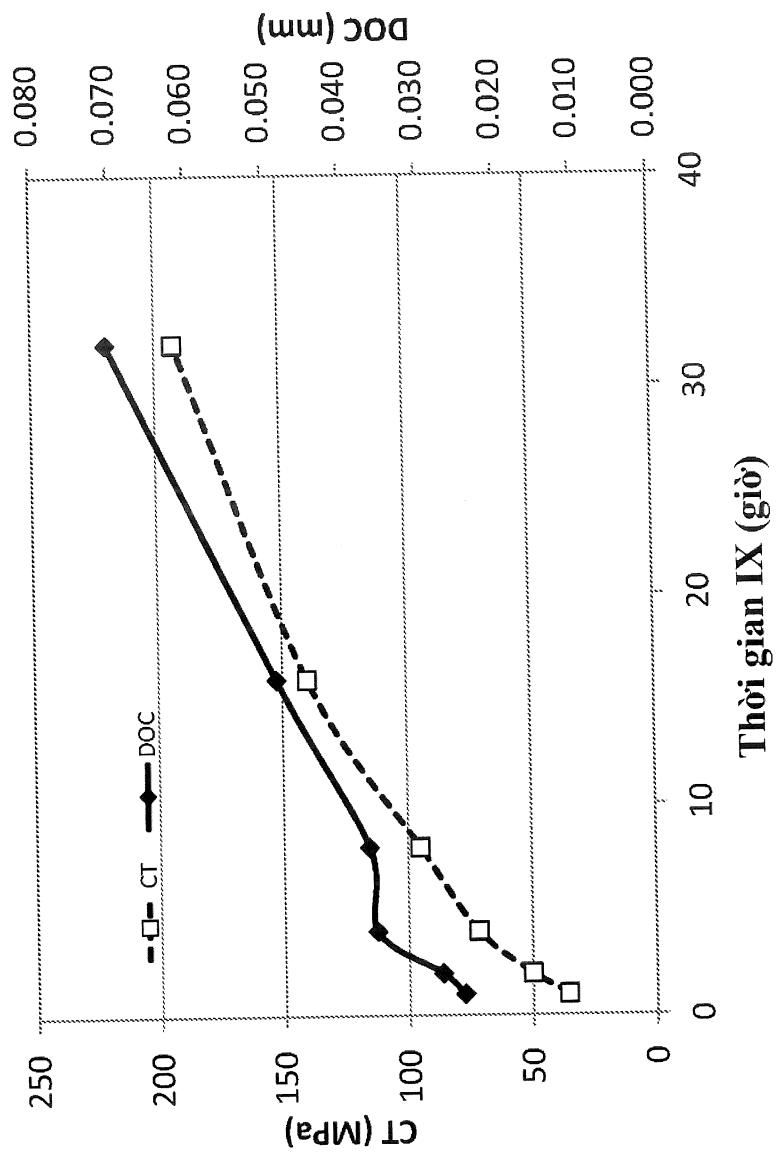
16/40

FIG. 16



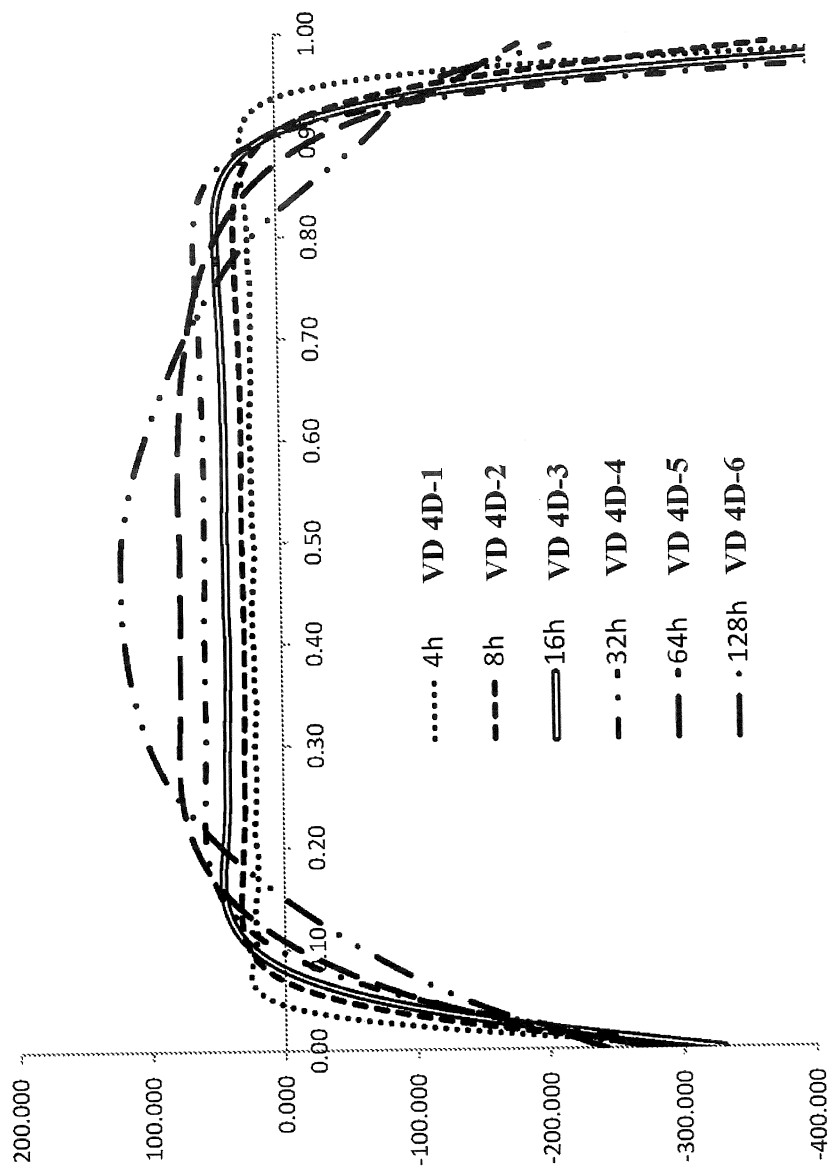
17/40

FIG. 17



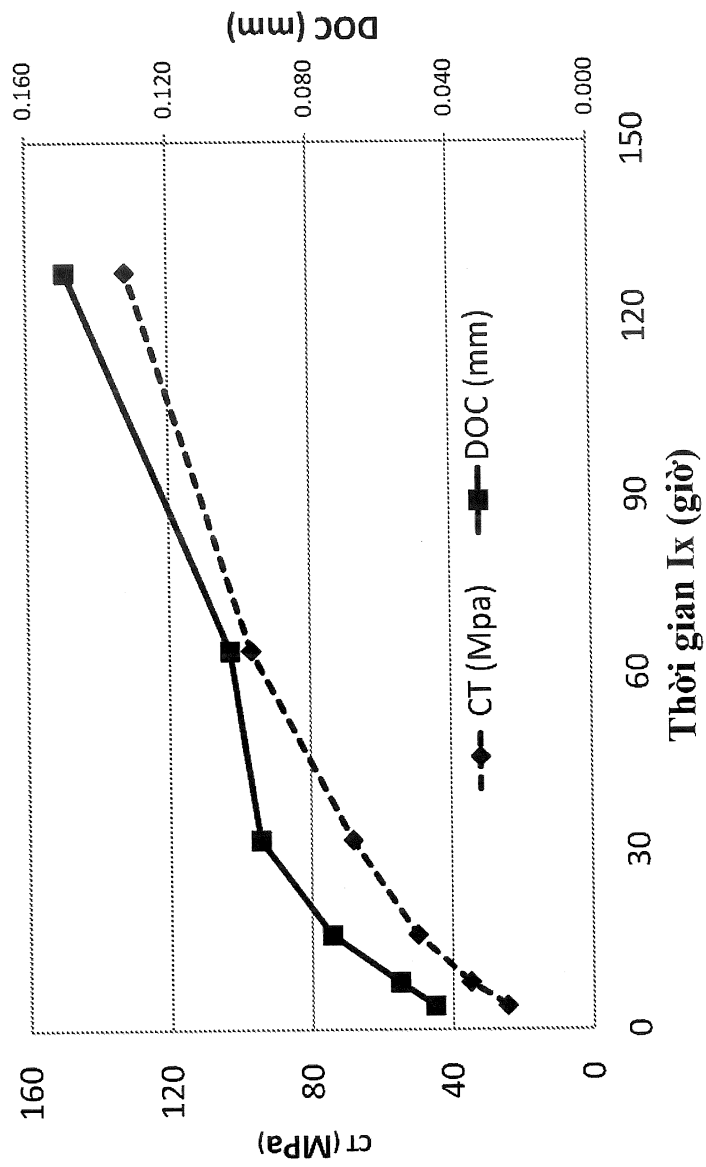
18/40

FIG. 18



19/40

FIG. 19



20/40

FIG. 20

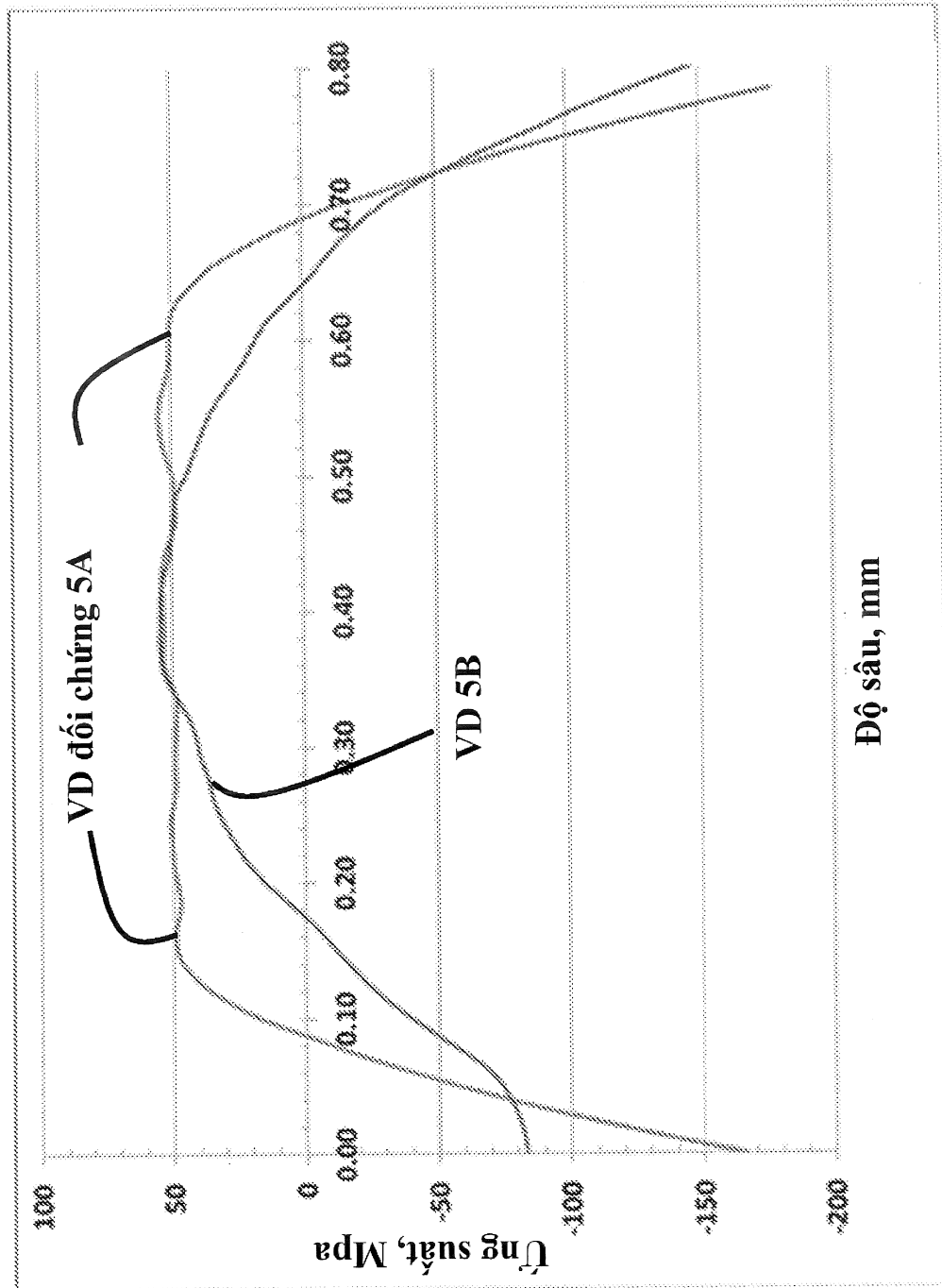
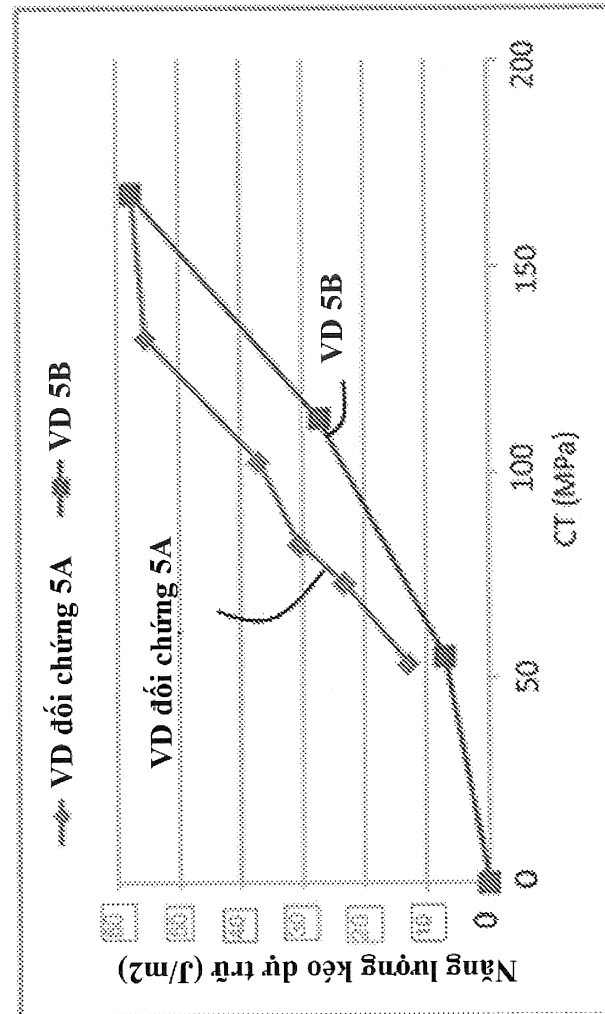


FIG.21



22/40

FIG. 22

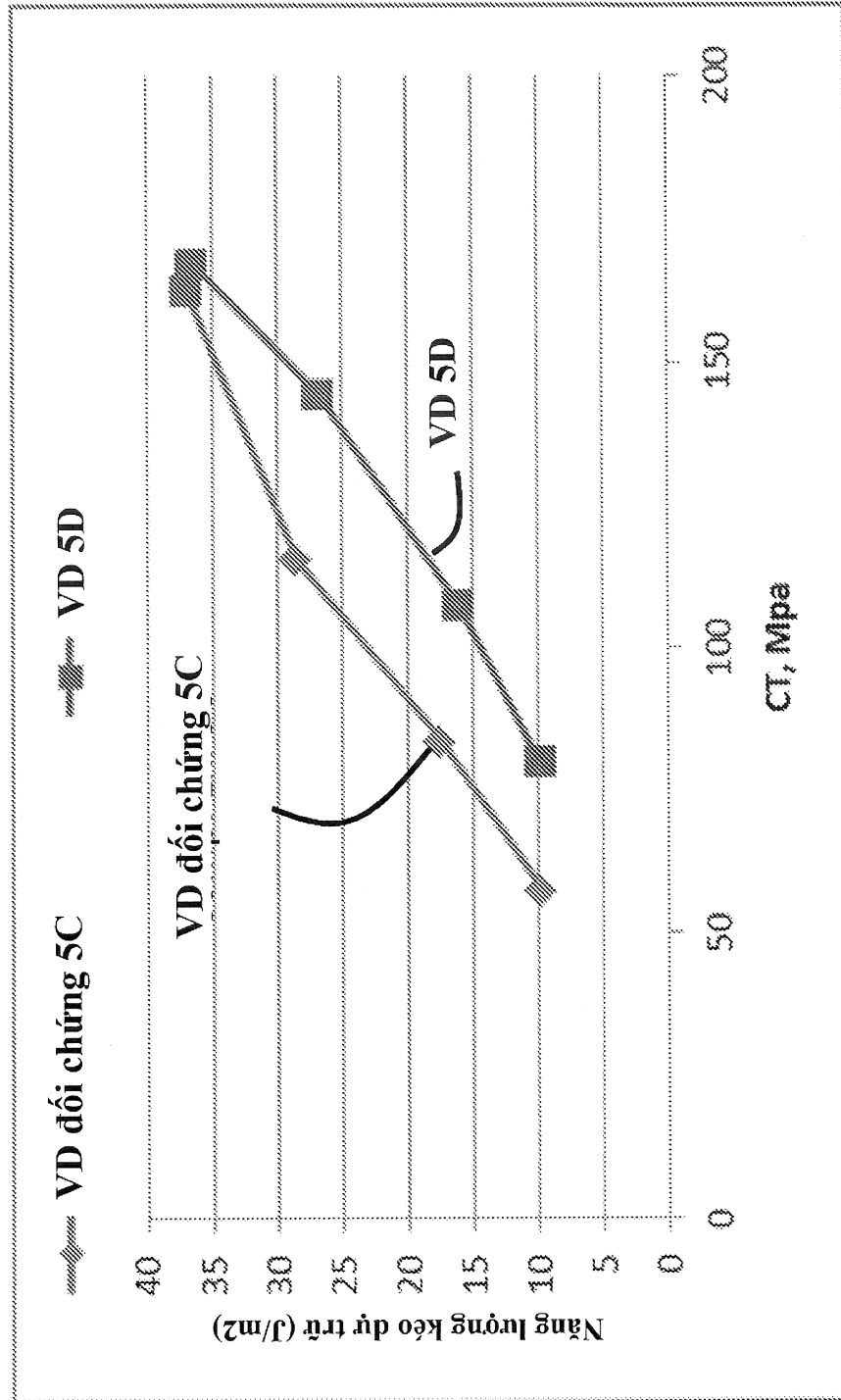
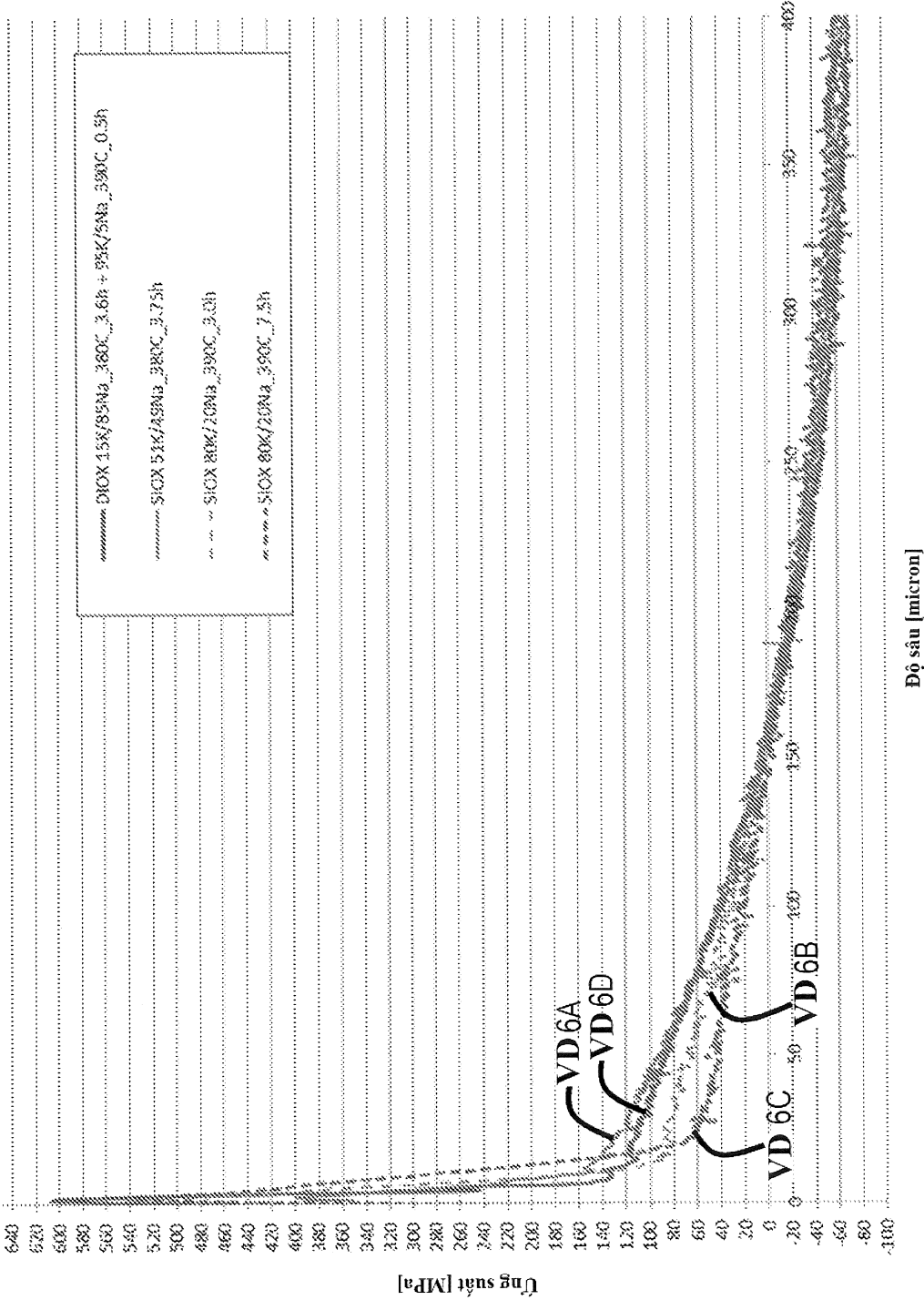
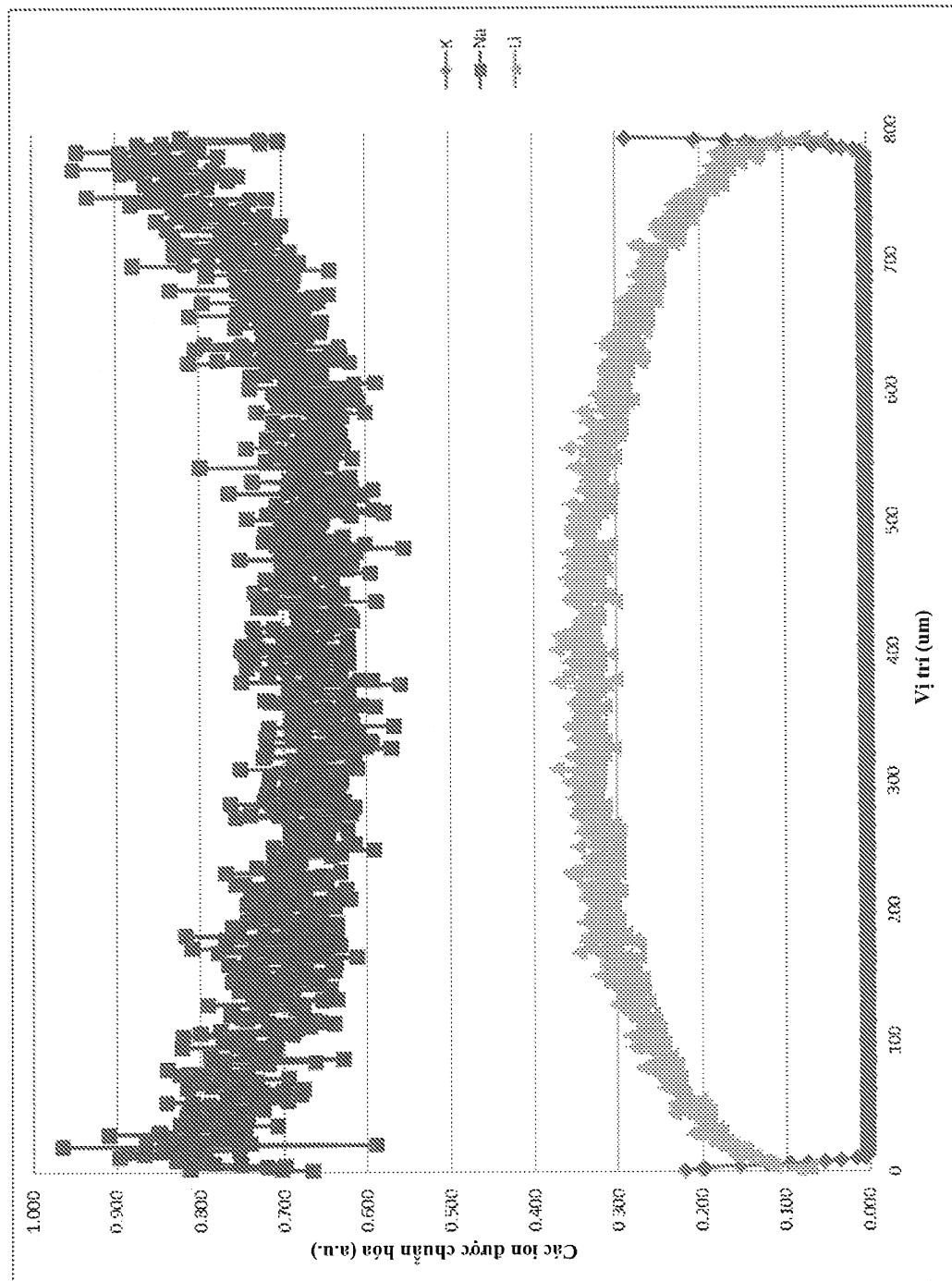


FIG. 23



24/40

FIG. 24



25/40

FIG. 25

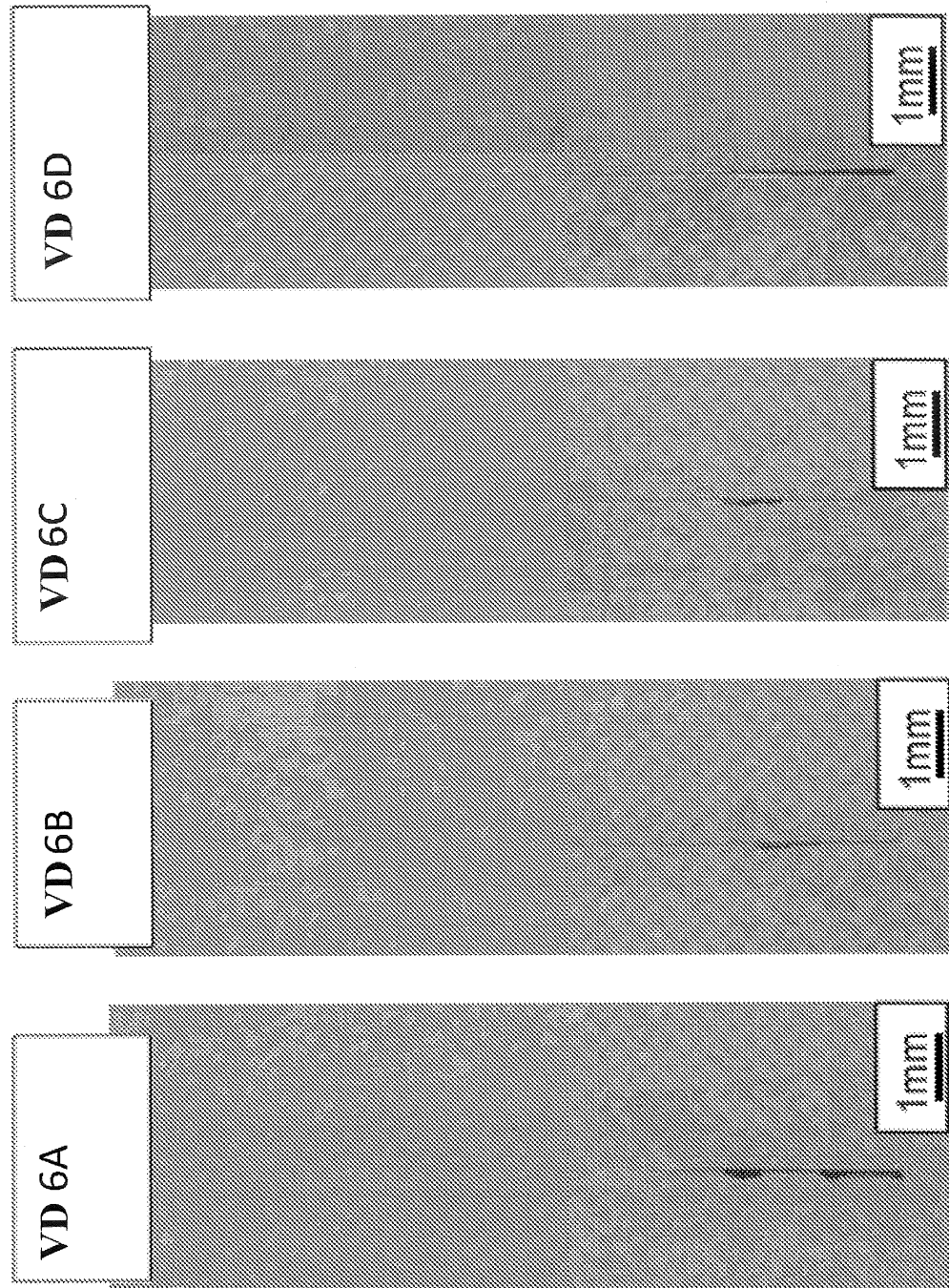
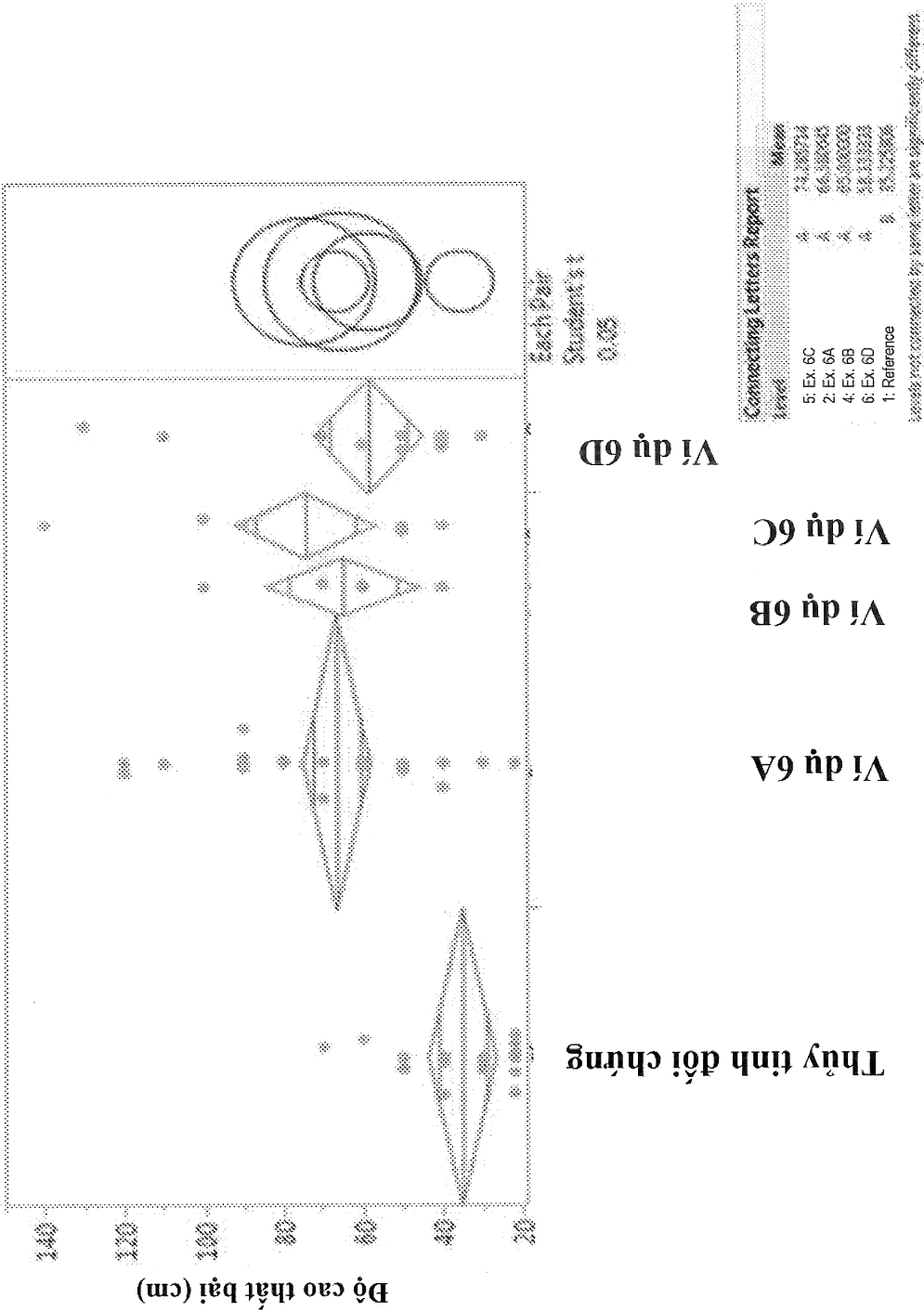


FIG. 26

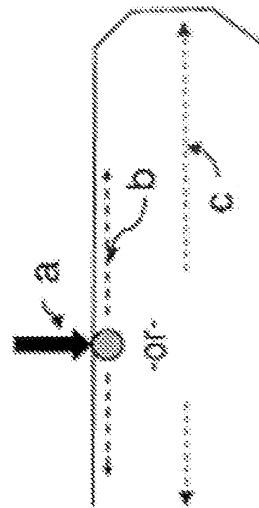


27/40

FIG.27A

Tạo phá hủy trên bề mặt trên

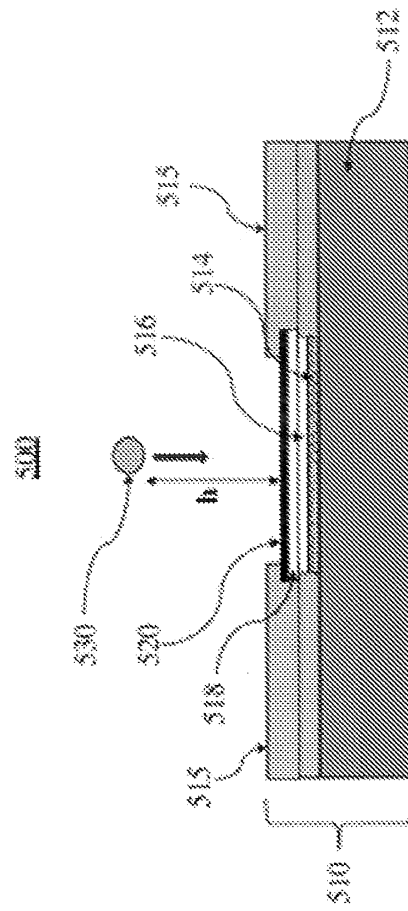
Nút vỡ bắt đầu trên bề mặt trên:
phá hủy xâm nhập vào DOL



nút vỡ lan truyền từ việc uốn ở trên
(hoặc từ ứng suất trung tâm)

28/40

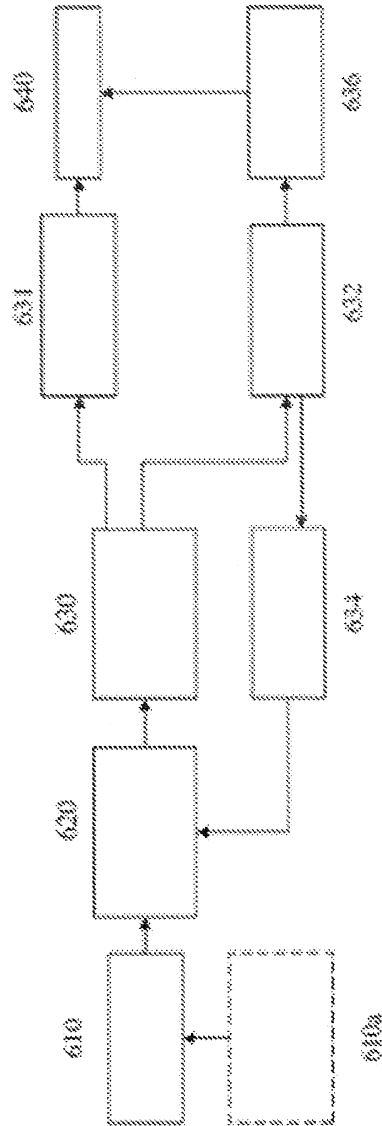
FIG.27B



29/40

FIG.28

600



31/40

FIG. 31

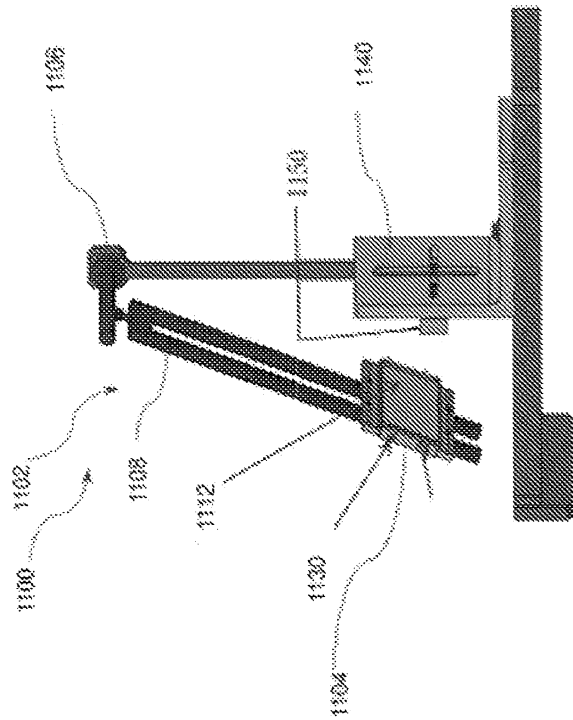
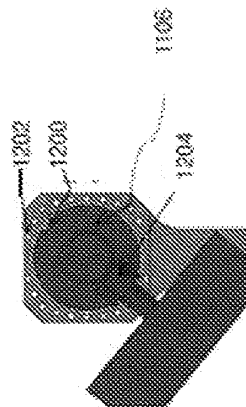
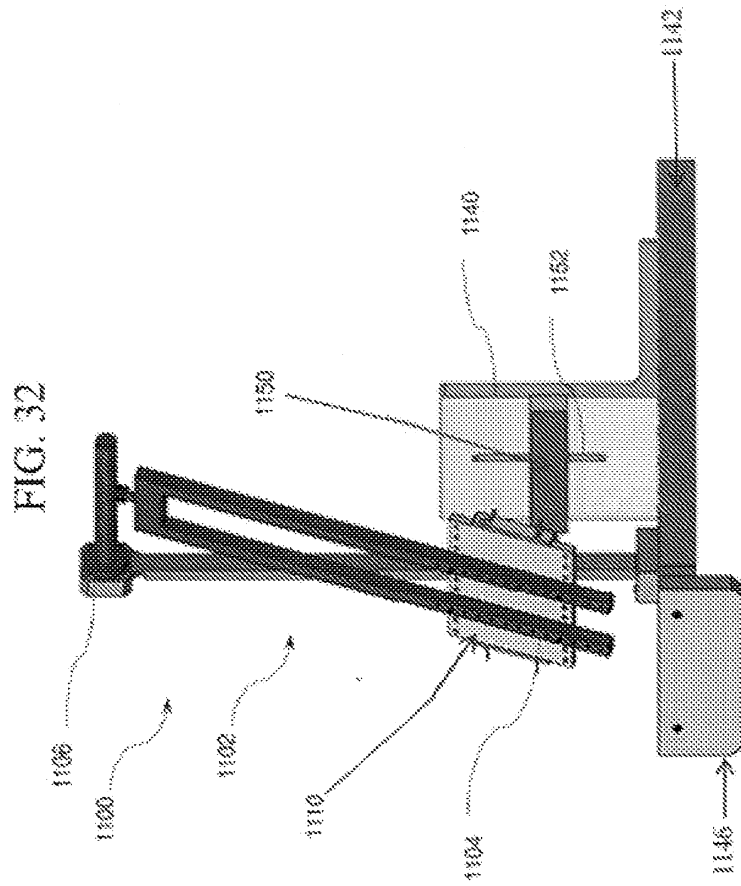


FIG. 30

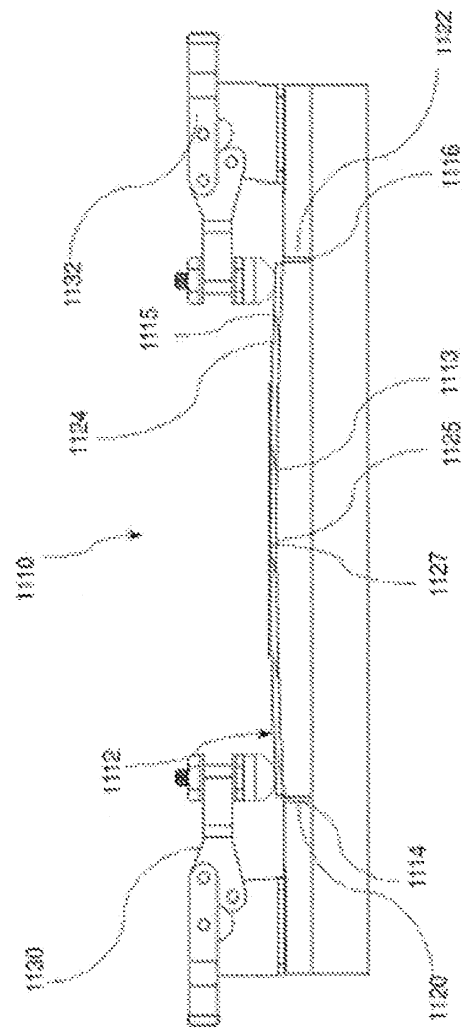


32/40



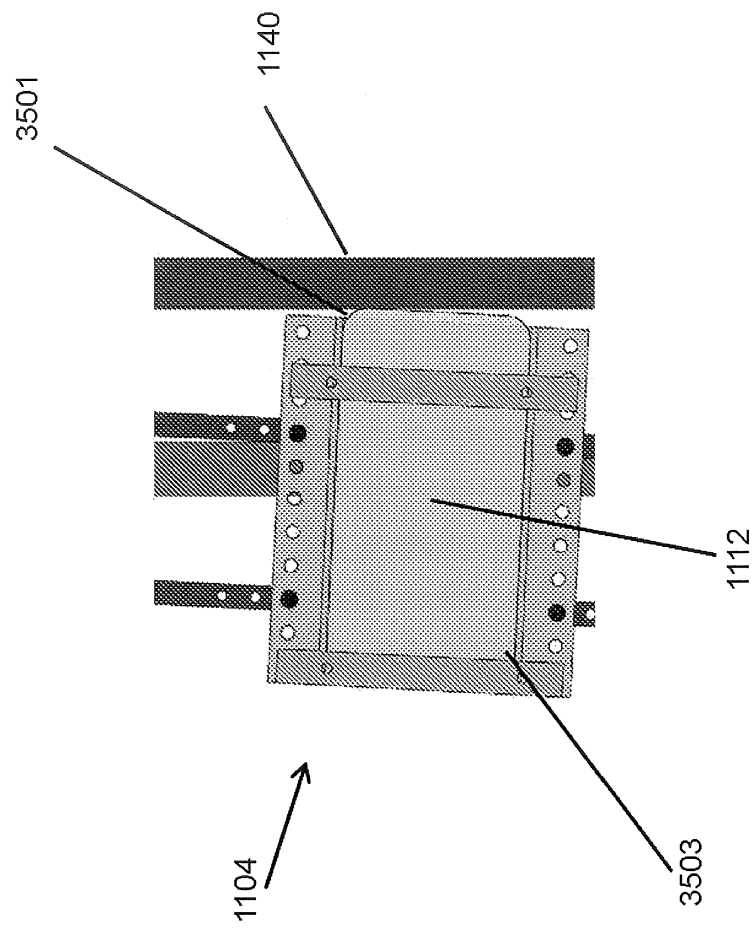
34/40

FIG. 34



35/40

FIG.35



36/40

FIG.36

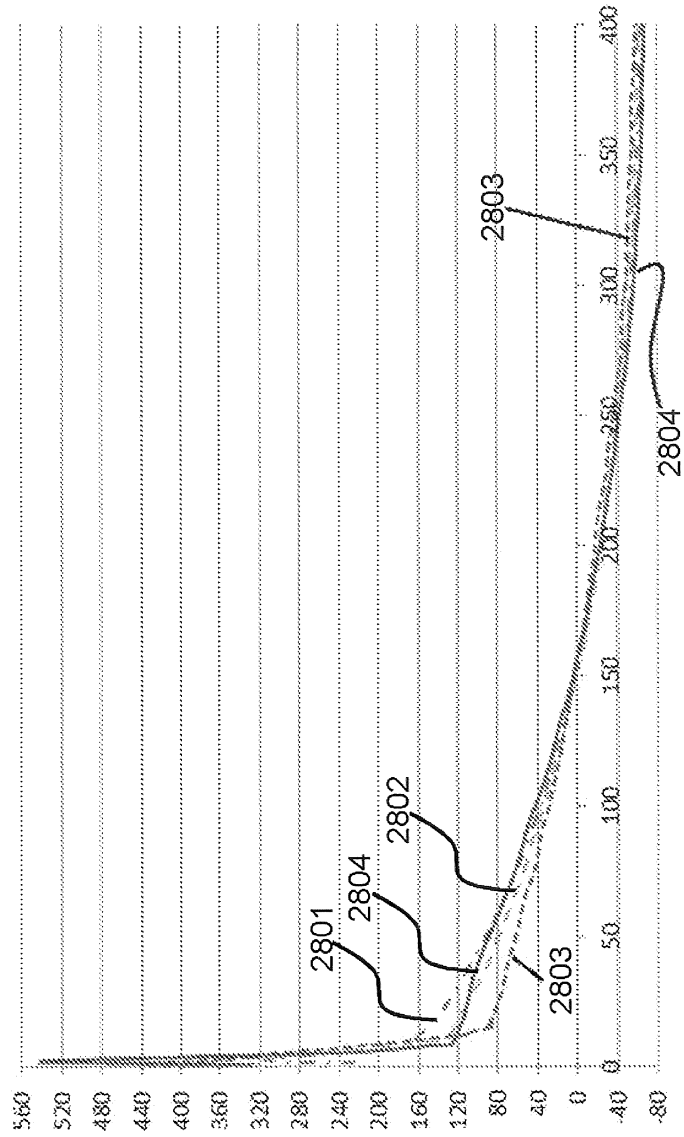


FIG.37

IBoS - 30 grit (không cân)
95% CI cho trung bình

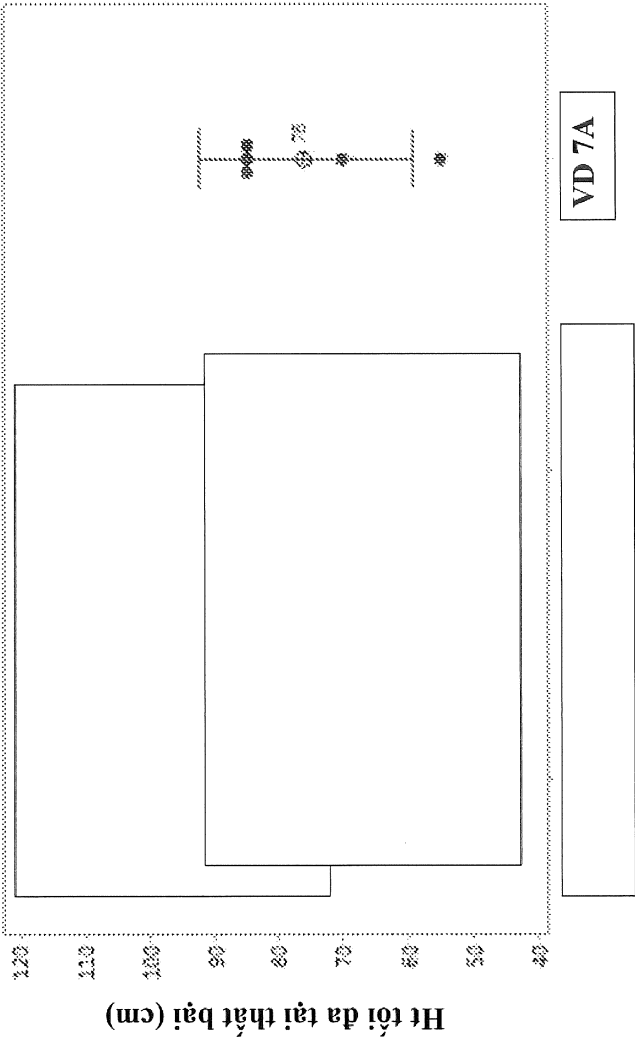
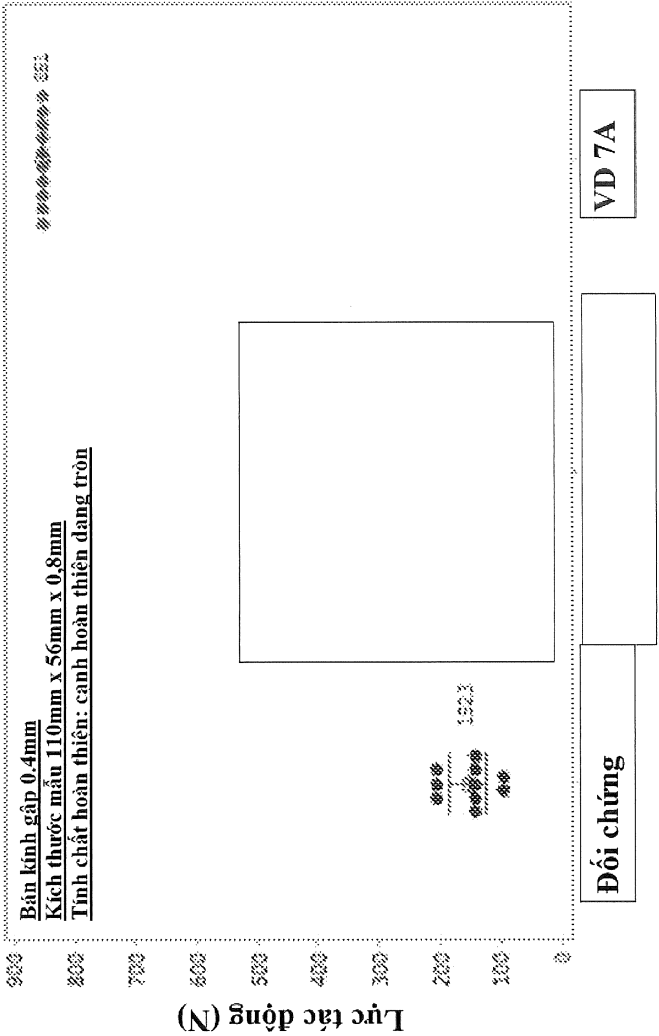
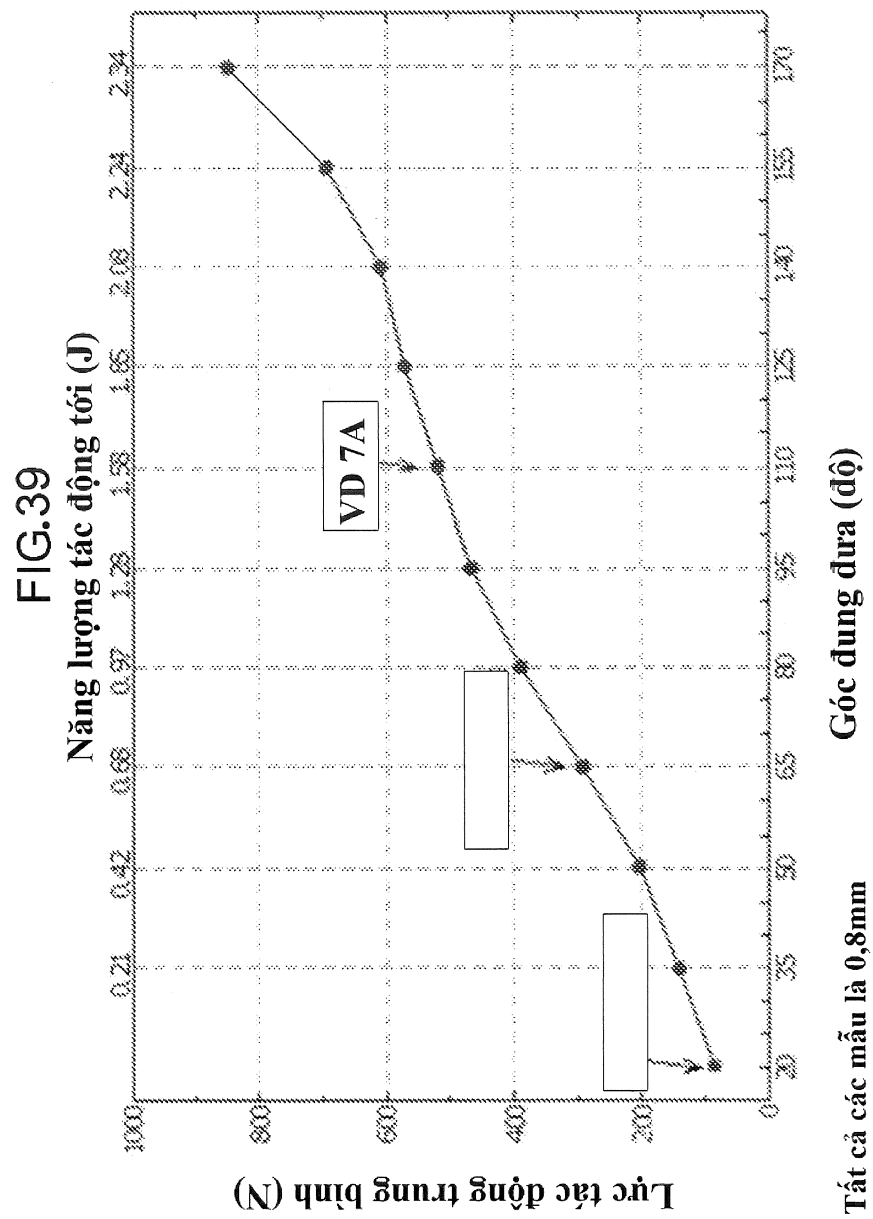


FIG. 38

Thử nghiệm tác động bề mặt -180 grit
95% CI cho trung bình



39/40



40/40

FIG.40A

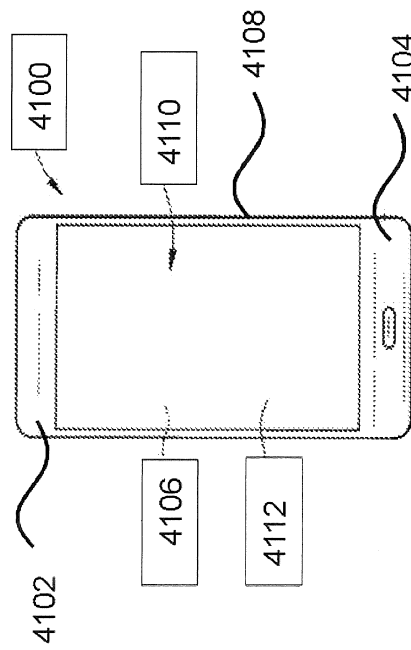


FIG.40B

