



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

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



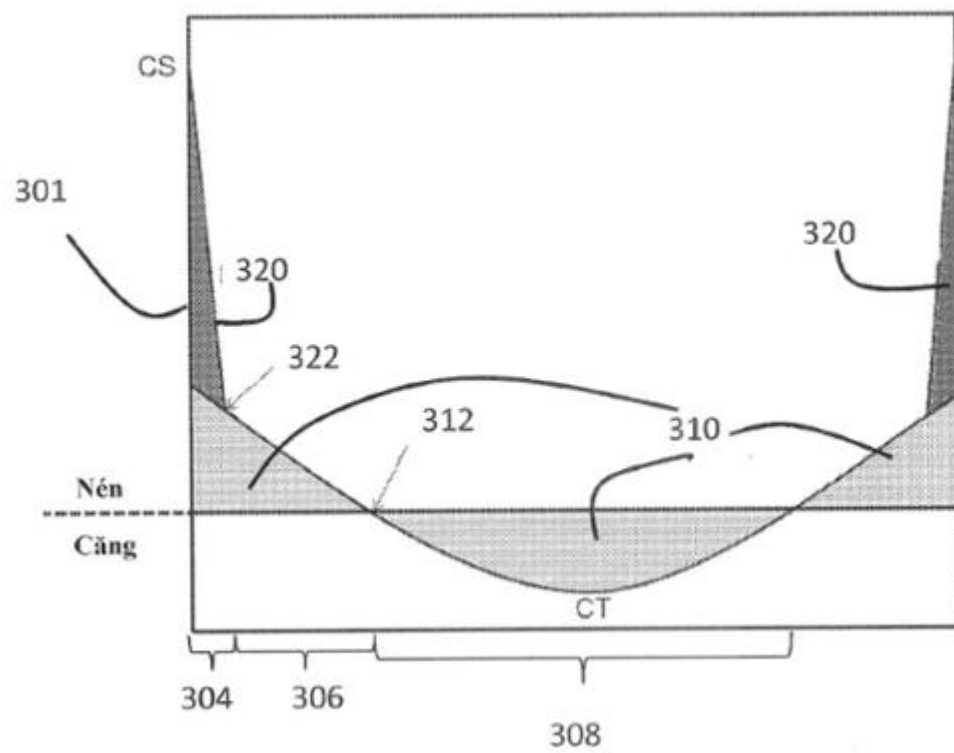
1-0034136

(51)⁸ C03C 21/00; C03C 3/097; C03C 3/091; (13) B
C03C 23/00; C03C 3/087

-
- (21) 1-2018-03397 (22) 11/01/2017
(86) PCT/US2017/012916 11/01/2017 (87) WO2017/123573 20/07/2017
(30) 62/277,579 12/01/2016 US; 62/288,827 29/01/2016 US; 62/303,608 04/03/2016 US
(45) 25/11/2022 416 (43) 26/11/2018 368A
(73) CORNING INCORPORATED (US)
1 Riverfront Plaza, Corning, New York 14831, United States of America
(72) FINKELDEY, John Philip (US); GASKILL, Linda (US); GROSS, Timothy Michael (US); LEZZI, Peter Joseph (US); MASCHMEYER, Richard Orr (US); SMITH, Charlene Marie (US); THOMAS, John Christopher (US); WASSON, Kevin Lee (US).
(74) Công ty Luật TNHH T&G (TGVN)
-

(54) VẬT PHẨM GỐC THỦY TINH VÀ SẢN PHẨM ĐIỆN TỬ TIÊU DÙNG

(57) Sáng chế đề cập tới các phương án thực hiện của vật phẩm gốc thủy tinh, sản phẩm điện tử tiêu dùng, tấm cán và phương tiện giao thông bao gồm vật phẩm gốc thủy tinh và phương pháp gia cường tấm thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh có thể chứa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t), vùng CS thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày, và vùng CS thứ hai về cơ bản là không có oxit kim loại của vùng CS thứ nhất, vùng CS thứ hai mở rộng từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu nén là khoảng $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, bề mặt thứ nhất là phẳng tới mức 100 μm độ lệch bộ chỉ thị tổng cộng (total indicator run-out - TIR) dọc theo 50 mm bất kỳ hoặc nhỏ hơn biên dạng của bề mặt thứ nhất. Sáng chế cũng đề cập tới các phương pháp gia cường tấm thủy tinh, cùng với sản phẩm điện tử tiêu dùng, tấm cán và phương tiện giao thông chứa chúng.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế này đề cập đến các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học mỏng và được cải thiện và các phương pháp được cải thiện để gia cường các đế thủy tinh, và đề cập cụ thể tới các vật phẩm thủy tinh mỏng đồng thời thể hiện độ sâu nén lớn và ứng suất nén bề mặt cao.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia cường bằng cách gia nhiệt đế thủy tinh tới nhiệt độ nâng cao, trên nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh của thủy tinh, và làm nguội các bề mặt của đế một cách nhanh chóng (“tôi”), trong khi các vùng bên trong của đế, được cách ly bởi độ dày và độ dẫn nhiệt tương đối thấp của thủy tinh, được làm nguội ở tốc độ thấp hơn. Việc làm nguội sai khác này tạo ra ứng suất nén (compressive stress - CS) còn dư trong các vùng bề mặt của vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt, được cân bằng bởi ứng suất căng còn dư trong vùng trung tâm của chúng.

Việc gia cường nhiệt khác với việc xử lý gia cường hóa học ở chỗ các ứng suất nén bề mặt được sinh ra bằng cách thay đổi thành phần hóa học của thủy tinh trong vùng gần với bề mặt, nhờ quy trình như phân tán ion. Theo một số quy trình dựa trên việc phân tán ion, các phần phía bên ngoài của vật phẩm thủy tinh tạo thành có thể được gia cường nhờ việc trao đổi các ion lớn hơn với các ion nhỏ hơn, gần bề mặt, để truyền CS (còn gọi là ứng suất căng âm) trên hoặc gần bề mặt.

Các quy trình gia cường nhiệt và gia cường hóa học khác biệt với các quy trình gia cường thủy tinh cơ học ở chỗ các phần bên ngoài của vật phẩm thủy tinh được gia cường hoặc được sắp xếp bằng cách kết hợp hai loại thủy tinh. Trong các quy trình này, các lớp của các thành phần thủy tinh có các hệ số giãn nở nhiệt khác nhau được kết hợp hoặc được cán cùng nhau trong khi còn nóng. Ví dụ, bằng cách kẹp thủy tinh nóng chảy với hệ số giãn nở nhiệt (coefficient of thermal expansion - CTE) cao hơn giữa các lớp của thủy tinh nóng chảy với CTE thấp hơn, lực căng dương trong thủy

tinh ở bên trong ép các lớp bên ngoài khi các thủy tinh nguội, một lần nữa tạo thành CS trên bề mặt để cân bằng với ứng suất căng dương.

Các vật phẩm thủy tinh được gia cường có các ưu điểm hơn so với các vật phẩm thủy tinh không được gia cường. Ứng suất nén bề mặt của các vật phẩm thủy tinh được gia cường tạo ra khả năng chống chịu lớn hơn với việc nứt vỡ khi so với thủy tinh không được gia cường. Việc tăng trong độ bền nói chung là tỉ lệ với lượng nén bề mặt. Nếu vật phẩm thủy tinh sở hữu mức gia cường đủ, so với độ dày của nó, thì khi và nếu nó bị vỡ, nó sẽ chia thành các mảnh nhỏ với các gờ cùn, hơn là chia thành các mảnh lớn hoặc kéo dài với các gờ sắc. Thủy tinh vỡ thành các mảnh đủ nhỏ, hoặc “các hạt xúc xắc,” như được định nghĩa bởi các tiêu chuẩn đã được thiết lập khác nhau, có thể được biết tới như là thủy tinh an toàn, và thường được đề cập tới như là thủy tinh “được ram hoàn toàn”, hoặc đôi khi đơn giản là thủy tinh “được ram”.

Vớt các vật phẩm thủy tinh ít nhất là được gia cường nhiệt, do mức độ gia cường phụ thuộc vào khác biệt nhiệt độ giữa bề mặt và trung tâm của tấm thủy tinh, nên các thủy tinh mỏng hơn yêu cầu các tốc độ làm nguội cao hơn để đạt được tới ứng suất đã cho. Cũng vậy, thủy tinh mỏng hơn yêu cầu trị số cuối cùng của CS bề mặt cao hơn và các ứng suất căng bề mặt hoặc ứng suất trung tâm (central tension - CT) cao hơn để đạt được việc tạo hạt xúc xắc thành các hạt nhỏ khi bị vỡ. Theo đó, việc đạt được hành vi tạo hạt xúc xắc mong muốn trong các vật phẩm thủy tinh mỏng (tức là, các vật phẩm với độ dày khoảng 3 mm hoặc nhỏ hơn) sử dụng các quy trình gia cường nhiệt đã biết, riêng rẽ hoặc kết hợp với quy trình gia cường khác trở nên cực kỳ thách thức, nếu không nói là bất khả thi. Ngoài ra, các vật phẩm thủy tinh mỏng này thường không thể hiện các ứng suất nén bề mặt cao, hạn chế tạo mầm và/hoặc phát triển khuyết tật hoặc nứt vỡ. Do đó, cần các vật phẩm thủy tinh mỏng thể hiện các độ sâu nén lớn trong khi vẫn thể hiện các ứng suất nén bề mặt cao.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Khía cạnh thứ nhất của sáng chế đề cập tới các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học. Trong phần bộc lộ này, các đế gốc thủy tinh thường không được gia cường và các vật phẩm gốc thủy tinh thường đề cập tới các đế

gốc thủy tinh đã được gia cường (bởi, ví dụ, gia cường nhiệt và/hoặc gia cường hóa học).

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, 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). Các bề mặt đối diện thứ nhất và thứ hai có thể chứa các bề mặt chính đối diện của vật phẩm. Theo một số phương án thực hiện, độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh t là nhỏ hơn khoảng 2 mm hoặc nhỏ hơn khoảng 1,2 mm. Theo một số ví dụ, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm tấm thủy tinh có chiều dài, được biểu diễn theo milimet, là l , và chiều rộng, được biểu diễn theo milimet, là w , trong đó, độ dày t là nhỏ hơn l và nhỏ hơn w , và l và w mỗi phần ít nhất là 10 mm. Trong một số ví dụ, một trong hai hoặc cả hai l và w ít nhất là 40 mm. Tỷ lệ l/t và tỷ lệ w/t mỗi phần là bằng với 10/1 hoặc lớn hơn, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa vùng CS thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày, và vùng CS thứ hai. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, oxit kim loại có nồng độ thay đổi trong vùng CS thứ nhất sinh ra ứng suất dọc theo khoảng độ dày cụ thể. Theo một số phương án thực hiện, oxit kim loại này có thể có đường kính ion lớn nhất trong tất cả các oxit kim loại tổng cộng trong vật phẩm gốc thủy tinh. Theo cách khác, oxit kim loại có nồng độ thay đổi có thể là oxit kim loại được trao đổi ion vào trong vật phẩm gốc thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vùng CS thứ hai có thể chứa vùng nồng độ oxit kim loại không đổi hoặc, theo nghĩa khác, về cơ bản là không có oxit kim loại là khác không và thay đổi trong vùng CS thứ nhất. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “về cơ bản là không có oxit kim loại là khác không và thay đổi dọc theo vùng CS thứ nhất” nghĩa là nhỏ hơn khoảng 0,1 %mol của oxit kim loại có mặt trong vùng CS thứ hai. Theo một số phương án thực hiện, thành phần của CS thứ hai về cơ bản là không đổi trong suốt độ dày của vùng CS thứ hai. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vùng CS thứ hai mở rộng từ vùng CS thứ nhất tới độ sâu nén (depth of compression - DOC), trong đó, DOC là khoảng $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong

khoảng giới hạn từ lớn hơn khoảng $0 \cdot t$ tới nhỏ hơn khoảng $0,17 \cdot t$ hoặc trong khoảng giới hạn từ lớn hơn khoảng $0,01 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa vùng gia cường nhiệt mở rộng từ bề mặt thứ nhất tới DOC và vùng gia cường hóa học mở rộng từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu của lớp (depth of layer - DOL). Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “vùng gia cường nhiệt” chứa vùng thể hiện ứng suất nén do việc xử lý gia cường nhiệt. Các vùng gia cường nhiệt này cũng thể hiện một số ứng suất do gia cường hóa học (ví dụ, việc xâm nhập của các ion kim loại vào các vùng sâu hơn của vật phẩm gốc thủy tinh có thể đóng góp một số ứng suất, nhưng ứng suất này không phải là đóng góp chính vào ứng suất nén tổng cộng trong vùng). Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “vùng gia cường hóa học” chứa vùng thể hiện ứng suất nén được sinh ra ít nhất một phần cho việc xử lý gia cường hóa học. Các vùng gia cường hóa học này cũng có thể thể hiện một số ứng suất do việc xử lý gia cường nhiệt. DOC của một số phương án thực hiện là lớn hơn DOL và DOC là lớn hơn hoặc bằng với khoảng $0,17 \cdot t$.

Như được sử dụng ở đây, DOC đề cập tới độ sâu mà tại đó ứng suất nằm trong vật phẩm gốc thủy tinh thay đổi từ ứng suất nén thành ứng suất kéo. DOL đề cập tới ứng suất sinh ra như là kết quả của việc gia cường hóa học. Tại DOC, ứng suất vượt từ ứng suất nén tới ứng suất kéo và do đó thể hiện trị số ứng suất bằng không.

Theo quy ước thường được sử dụng trong lĩnh vực này, việc nén được biểu thị bằng ứng suất âm (<0) và việc kéo được biểu thị bằng ứng suất dương; tuy nhiên, trong suốt phần mô tả này, CS được biểu diễn như là trị số dương hoặc tuyệt đối – tức là, như được trích dẫn ở đây, $CS = |CS|$, và CT cũng biểu diễn trị số tuyệt đối, tức là, như được trích dẫn ở đây, $CT = |CT|$.

Theo một số phương án thực hiện, CS bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh có thể là khoảng 400 MPa hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 600 MPa hoặc lớn hơn. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, CS bề mặt có thể là khoảng 1 GPa hoặc lớn hơn. Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện CT tối đa là khoảng 75 MPa hoặc lớn hơn, hoặc thậm chí là 80 MPa hoặc lớn hơn. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa năng lượng kéo dự trữ là khoảng 6 J/m^2 hoặc lớn hơn hoặc khoảng 10 J/m^2 hoặc lớn hơn.

Vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có thể thể hiện trị số CS tại độ sâu bằng với DOL là khoảng 150 MPa hoặc lớn hơn. Theo một hoặc phương án thực hiện cụ thể, DOL mà tại đó CS là khoảng 150 MPa hoặc lớn hơn, có thể là khoảng 10 micrômet hoặc lớn hơn (hoặc khoảng $0,01 \cdot t$ hoặc lớn hơn).

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa bề mặt thứ nhất là phẳng tới 100 μm độ lệch bộ chỉ thị tổng cộng (total indicator run-out - TIR) dọc theo 50 mm bất kỳ hoặc nhỏ hơn biên dạng của bề mặt thứ nhất. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, bề mặt thứ nhất có độ nhám trong khoảng giới hạn từ 0,2 tới 1,5 nm Ra qua diện tích là 10 x 10 μm .

Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thủy tinh có nhiệt độ làm mềm, được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$, của T_{soft} và nhiệt độ ủ, được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$, của T_{anneal} , và nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo trên bề mặt thứ nhất được thể hiện bởi T_{fs} , khi được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$ và thông số nhiệt độ hư cấu bề mặt không thứ nguyên θ_s được cho bởi $(T_{\text{fs}} - T_{\text{anneal}})/(T_{\text{soft}} - T_{\text{anneal}})$, trong đó, thông số θ_s là trong khoảng giới hạn từ 0,20 đến 0,9.

Theo một số phương án thực hiện, T_{fs} được đo trên bề mặt thứ nhất ít nhất là 50°C trên nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh của thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, T_{fs} được đo trên bề mặt thứ nhất ít nhất là 75°C trên nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh của thủy tinh.

Các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa thành phần chứa P_2O_5 , Li_2O , B_2O_3 hoặc các tổ hợp khác nhau của P_2O_5 , Li_2O và B_2O_3 .

Khía cạnh thứ hai của sáng chế này đề cập tới phương pháp gia cường tấm gốc thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, phương pháp chứa bước làm nguội tấm thủy tinh có nhiệt độ chuyển tiếp, từ nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ chuyển tiếp tới nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ chuyển tiếp bằng cách truyền năng lượng nhiệt từ tấm thủy tinh tới bộ phận tản nhiệt bằng cách dẫn qua khe không có vật chất rắn hoặc lỏng để gia cường nhiệt tấm thủy tinh, và sau đó gia cường hóa học tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, phương pháp bao gồm bước truyền năng lượng nhiệt từ tấm thủy tinh tới bộ phận tản nhiệt bằng cách dẫn nhiệt qua khe hở cho nhiều hơn 20%, nhiều hơn 30%, nhiều hơn 40% hoặc nhiều hơn

50% của năng lượng nhiệt rời khỏi tấm thủy tinh đi qua khe và được nhận bởi bộ phận tản nhiệt.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, phương pháp bao gồm bước đỡ ít nhất một phần của tấm gốc thủy tinh trên bề mặt thứ nhất của chúng, ít nhất một phần, bởi dòng chảy hoặc áp suất của khí được phân phối tới khe hở giữa bề mặt thứ nhất và bộ phận tản nhiệt thứ nhất, trong đó, tấm chứa thủy tinh có nhiệt độ chuyển tiếp và tấm là tại nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ chuyển tiếp của thủy tinh, làm nguội tấm gốc thủy tinh, nhờ việc truyền nhiệt nhiều hơn so với việc đối lưu, từ bề mặt thứ nhất của tấm qua khí tới bộ phận tản nhiệt để tạo ra tấm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt, và gia cường hóa học tấm gốc thủy tinh đã được gia cường nhiệt.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tấm gốc thủy tinh đã được gia cường nhiệt được gia cường hóa học mà không loại bỏ phần bất kỳ nào của tấm gốc thủy tinh đã được gia cường nhiệt. Theo một số trường hợp, tấm gốc thủy tinh đã được gia cường nhiệt được gia cường hóa học mà không loại bỏ 3% hoặc nhiều hơn của độ dày của tấm gốc thủy tinh đã được gia cường nhiệt. Bước làm nguội tấm gốc thủy tinh có thể chứa việc làm nguội tại tốc độ là khoảng $-270\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ hoặc lớn hơn.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, bước gia cường hóa học tấm gốc thủy tinh đã được gia cường nhiệt bao gồm việc sinh ra vùng gia cường hóa học mở rộng từ bề mặt thứ nhất của lớp gốc thủy tinh tới DOL là lớn hơn hoặc bằng với khoảng 10 micrômet (hoặc lớn hơn khoảng $0,01 \cdot t$). Theo một số phương án thực hiện, bước gia cường hóa học tấm gốc thủy tinh đã được gia cường nhiệt bao gồm việc nhúng tấm gốc thủy tinh đã được gia cường nhiệt trong bể muối nóng chảy bao gồm một hoặc nhiều thành phần bất kỳ trong số KNO_3 , NaNO_3 , và LiNO_3 . Theo một số phương án thực hiện, bể muối nóng chảy chứa tổ hợp của KNO_3 và NaNO_3 và có nhiệt độ trong khoảng giới hạn từ khoảng $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ tới khoảng $430\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Khía cạnh thứ ba của sáng chế đề cập tới sản phẩm điện tử tiêu dùng. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, sản phẩm điện tử tiêu dùng có thể chứa vỏ có bề mặt phía trước, bề mặt phía sau và các bề mặt bên, các thành phần điện tử được bố trí ít nhất một phần bên trong hoặc ở bên trong vỏ, và vật phẩm che phủ được tạo ra tại hoặc trên bề mặt phía trước của vỏ. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các

thành phần điện tử chứa ít nhất bộ phận điều khiển, bộ nhớ, và bộ phận hiển thị được bố trí tại hoặc liền kề với bề mặt phía trước của vỏ. Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm che phủ được bố trí trên bộ phận hiển thị và là vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học, như được mô tả ở đây. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, sản phẩm điện tử tiêu dùng là điện thoại di động, thiết bị chơi phương tiện di động, máy tính xách tay hoặc máy tính bảng.

Khía cạnh thứ tư của sáng chế đề cập tới tám cán bao gồm đế gốc thủy tinh thứ nhất, đế gốc thủy tinh thứ hai và lớp xen giữa được bố trí giữa đế gốc thủy tinh thứ nhất và đế gốc thủy tinh thứ hai. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, một trong hai hoặc cả hai đế gốc thủy tinh thứ nhất và đế gốc thủy tinh thứ hai là vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học như được mô tả ở đây.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của tám cán, một đế trong đế gốc thủy tinh thứ nhất và đế gốc thủy tinh thứ hai được tạo hình nguội.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của tám cán, đế gốc thủy tinh thứ nhất được tạo dạng cong phức tạp và có ít nhất một bề mặt cong lõm tạo ra bề mặt thứ nhất của tám cán và ít nhất một bề mặt cong lồi để tạo ra bề mặt thứ hai của tám cán đối diện bề mặt thứ nhất. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, đế gốc thủy tinh thứ hai của tám cán được tạo dạng cong phức tạp và có ít nhất một bề mặt cong lõm để tạo ra bề mặt thứ ba của tám cán và ít nhất một bề mặt cong lồi để tạo ra bề mặt thứ tư của tám cán đối diện bề mặt thứ ba, trong đó, các bề mặt thứ ba và thứ tư một cách tương ứng có các trị số CS sao cho bề mặt thứ tư có trị số CS là lớn hơn trị số CS của bề mặt thứ ba. Theo một số phương án thực hiện, bề mặt thứ tư của tám cán có CS cao hơn bề mặt thứ tư ở trong trạng thái phẳng và tám cán là không có các nhiễu loạn quang học khi được nhìn bằng mắt thường.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, một đế trong đế gốc thủy tinh thứ nhất hoặc đế gốc thủy tinh thứ hai của tám cán có độ dày trong khoảng giới hạn là khoảng 0,2 mm tới khoảng 0,7 mm.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của tám cán, phần ngoại vi của đế gốc thủy tinh thứ hai gây ra lực nén lên lớp xen giữa, và phần trung tâm của đế gốc thủy tinh thứ hai gây ra lực căng lên lớp xen giữa. Theo một hoặc nhiều phương án thực

hiện, đế gốc thủy tinh thứ hai phù hợp với đế gốc thủy tinh thứ nhất để tạo ra khoảng cách về cơ bản là đồng đều giữa bề mặt cong lõm của đế gốc thủy tinh thứ hai và bề mặt cong lõm của đế gốc thủy tinh thứ nhất, được điền đầy bởi lớp xen giữa xen vào.

Khía cạnh thứ năm của sáng chế đề cập tới phương tiện giao thông bao gồm phần mở; và tấm cán như được mô tả ở đây được bố trí trong phần mở.

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 dự định để cung cấp một cái nhìn tổng thể hoặc khung để hiểu bản chất và đặc điểm của các yêu cầu bảo hộ. Các hình vẽ kèm theo được đưa vào để giúp hiểu rõ hơn về sáng chế và được kết hợp vào và tạo thành một phần của bản mô tả này. Các hình vẽ này minh họa một hoặc nhiều phương án 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 đồ thị của công suất bộ phận thổi được yêu cầu cho các quy trình ram hoàn toàn đã biết, như là hàm của độ dày vật phẩm thủy tinh;

Fig.2 là đồ thị của công suất bộ phận thổi được yêu cầu cho “việc tôi hoàn toàn” như là hàm của độ dày vật phẩm thủy tinh cho quy trình cũ và đã biết hoặc máy O và quy trình mới và đã biết hoặc máy N;

Fig.3 là đồ thị của đường cong O và đường cong N của Fig.2 được định tỉ lệ để phù hợp và được xếp chồng trên đồ thị của Fig.1;

Fig.4 là hình cắt qua độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường hóa học đã biết;

Fig.5 là đồ thị minh họa biên dạng ứng suất như là hàm của độ dày vật phẩm gốc thủy tinh độ dày theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của phần bộc lộ này;

Fig.6 là hình phối cảnh của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học theo phương án thực hiện làm ví dụ;

Fig.7 là hình cắt một phần sơ lược của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học của Fig.6 theo phương án thực hiện làm ví dụ;

Fig.8 là biểu đồ của thông số nhiệt độ hư cấu bề mặt không thứ nguyên θ_s cho các nhiệt độ hư cấu thu được bởi một hoặc nhiều phương án thực hiện;

Fig.9 là đồ thị của các trị số CS bề mặt được tính toán bởi việc mô phỏng cho các thành phần thủy tinh khác biệt, được vẽ so với thông số khả năng tôi được Ψ được đề xuất cho các thành phần khác nhau được thể hiện;

Fig.10 là đồ thị của thông số P_1 như là hàm của hệ số truyền nhiệt h ;

Fig.11 là đồ thị của thông số P_2 như là hàm của hệ số truyền nhiệt h ;

Fig.12 là đồ thị của các trị số CS bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh như là hàm của độ dày t , theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của phần bộc lộ này;

Fig.13 là biểu đồ thể hiện CS như là hàm của độ dày được vẽ cho các phương án thực hiện làm ví dụ được chọn của vật phẩm gốc thủy tinh, sau khi gia cường nhiệt;

Fig.14A là hình phối cảnh của vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện làm ví dụ;

Fig.14B là minh họa mặt cắt của một số phương án thực hiện của phần bộc lộ này;

Fig.14C là hình phối cảnh các phương án thực hiện bổ sung của phần bộc lộ này;

Các hình vẽ Fig.14D và Fig.14E là các biên dạng ứng suất mặt cắt của vật phẩm gốc thủy tinh làm ví dụ theo một số phương án thực hiện của phần bộc lộ này;

Fig.15 là biểu đồ thể hiện DOC cho ví dụ 2, như là hàm của độ dày lớp;

Fig.16 là biểu đồ thể hiện hệ số khuếch tán trao đổi ion cho ví dụ 5, là hàm của nhiệt độ;

Fig.17 là biểu đồ thể hiện DOC của ví dụ 6, như là hàm của căn bậc hai của thời gian trao đổi ion và DOL;

Fig.18 là biểu đồ thể hiện nồng độ của Na_2O và K_2O theo %mol của ví dụ 7A-3, như là hàm của độ sâu;

Fig.19 là biểu đồ thể hiện nồng độ của Na_2O và K_2O theo %mol của ví dụ 7A-4 như là hàm của độ sâu;

Fig.20 là biểu đồ thể hiện nồng độ của Na_2O và K_2O theo %mol của ví dụ 7A-5, như là hàm của độ sâu;

Fig.21 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của ví dụ so sánh 7B-1 và các ví dụ 7B-5;

Fig.22 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của ví dụ so sánh 7B-2 và các ví dụ 7B-6;

Fig.23 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của ví dụ so sánh 7B-3 và các ví dụ 7B-7;

Fig.24 là biểu đồ thể hiện các biên dạng ứng suất của ví dụ so sánh 7B-4 và các ví dụ 7B-8;

Fig.25 là biểu đồ thể hiện các trị số CT như là hàm của thời gian gia cường hóa học của các ví dụ so sánh 8B-1 đến 7B-4, các ví dụ so sánh 7C-1 đến 7C-4 và các ví dụ 7B-5 đến 7B-8;

Fig.26 là biểu đồ vẽ sự thay đổi trong CT như là hàm của thời gian gia cường hóa học giữa ví dụ so sánh 7B-1 và ví dụ 7B-5, giữa ví dụ so sánh 7B-2 và ví dụ 7B-6, giữa ví dụ so sánh 7B-3 và ví dụ 7B-7, giữa ví dụ so sánh 7B-4 và ví dụ 7B-8;

Fig.27 là biểu đồ vẽ CS bề mặt và CS tại DOL, như là hàm của thời gian gia cường hóa học cho từng ví dụ trong các ví dụ 7B-5 đến 7B-8;

Fig.28 là biểu đồ thể hiện CS tại DOL, như là hàm của thời gian gia cường hóa học cho từng ví dụ trong các ví dụ 7B-5 đến 7B-8, cùng với thay đổi trong CT từ Fig.26;

Fig.29 là biểu đồ thể hiện thay đổi của DOL của từng ví dụ trong các ví dụ 7B-5 đến 7B-8;

Fig.30 là biểu đồ thể hiện CS bề mặt của các ví dụ so sánh 7C-2 đến 7C-7 và các ví dụ 7B-5 đến 7B-8, như là hàm của thời gian gia cường hóa học;

Fig.31 là biểu đồ vẽ DOL của các ví dụ so sánh 7C-2 đến 7C-7 và các ví dụ 7B-5 đến 7B-8, như là hàm của thời gian gia cường hóa học.

Fig.32 là biểu đồ vẽ CS tại độ sâu bằng với DOL (hoặc ứng suất điểm uốn) của các ví dụ so sánh 7C-2 đến 7C-7 và các ví dụ 7B-5 đến 7B-8, như là hàm của thời gian gia cường hóa học;

Fig.33 thể hiện các trị số CT được đo của các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, các ví dụ 8B-2 đến 8B-4 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4, được thể hiện như là hàm của nồng độ NaNO_3 trong bể muối nóng chảy, và các trị số CT khởi tạo của từng mẫu trong ba mẫu của các ví dụ so sánh 8A-1, 8B-1 và 8C-1;

Fig.34 là biểu đồ thể hiện sự thay đổi trong CT theo nghĩa tuyệt đối của các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, 8B-2 đến 8B-4 và 8C-2 đến 8C-4;

Fig.35 là biểu đồ thể hiện thay đổi trong CT như là phần trăm giữa ví dụ so sánh 8A-1 và các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, giữa ví dụ so sánh 8B-1 và các ví dụ 8B-2 đến 8B-4, và giữa ví dụ so sánh 8C-1 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4;

Fig.36 là biểu đồ thể hiện CS bề mặt và CS tại độ sâu bằng với DOL (hoặc CS điểm uốn) của các ví dụ 8A-2 đến 8A-3, các ví dụ 8B-2 đến 8B-3 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-3, như là hàm của nồng độ NaNO_3 ;

Fig.37 là biểu đồ thể hiện các trị số DOL được đo của các ví dụ 8A-2 đến 8A-3, các ví dụ 8B-2 đến 8B-3 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-3, được vẽ như là hàm của nồng độ NaNO_3 ;

Fig.38 là biểu đồ thanh thể hiện (từ trái sang phải) với CT được CT, CS bề mặt, DOL và CS at DOL (hoặc là điểm uốn) của các ví dụ 8B-2, 8B-5, 8C-2 và 8C-5;

Fig.39 là biểu đồ thể hiện DOL được đo DOL cho các ví dụ 8B-2, 8B-5, 8C-2 và 8C-5;

Fig.40 là biểu đồ thể hiện CT và CS bề mặt của các ví dụ từ 8B-5 đến 8B-8 và các ví dụ từ 8C-5 đến 8C-8, như là hàm của nồng độ NaNO_3 ;

Fig.41 là biểu đồ thể hiện CS bề mặt như là hàm của CT của các ví dụ 8B-5 đến 8B-8 và các ví dụ 8C-5 đến 8C-8;

Fig.42 là biểu đồ thể hiện ứng suất được đo như là hàm của độ sâu của các ví dụ 8C-7 và 8C-8 và biên dạng ứng suất của ví dụ so sánh 8D;

Fig.43 là biểu đồ thể hiện các kết quả thử nghiệm độ cao rơi cho các ví dụ so sánh 9A, 9B, và ví dụ 9C;

Fig.44 là biểu đồ thể hiện khả năng thất bại cho các ví dụ so sánh 9A, 9B, và ví dụ 9C khi đưa vào ứng suất uốn bốn điểm cho tới khi thất bại;

Fig.45 là biểu đồ thể hiện khả năng thất bại cho các ví dụ so sánh 9A, 9B, và ví dụ 9C khi đưa vào ứng suất vòng trên vòng cho tới khi thất bại;

Fig.46 là hình vẽ sơ lược của thiết lập thử nghiệm vòng trên vòng;

Fig.47 là biểu đồ thể hiện độ bền nứt vỡ vòng trên vòng cho các ví dụ so sánh 9A, 9B, và ví dụ 9C khi lần đầu được đưa vào mài mòn với các hạt SiC sử dụng các áp suất khác nhau;

Fig.48 là biểu đồ thể hiện các xét nghiệm thử nghiệm độ cao rơi cho các ví dụ so sánh 10A, 10B, và ví dụ 10C;

Fig.49 là biểu đồ thể hiện khả năng thất bại cho các ví dụ so sánh 10A, 10B, và ví dụ 10C khi đưa vào ứng suất uốn bốn điểm cho tới khi thất bại;

Fig.50 là biểu đồ thể hiện khả năng thất bại cho các ví dụ so sánh 10A, 10B, và ví dụ 10C khi đưa vào ứng suất vòng trên vòng cho tới khi thất bại;

Fig.51 là biểu đồ thể hiện độ bền nứt vỡ vòng trên vòng cho các ví dụ so sánh 10A, 10B, và ví dụ 10C khi lần đầu được đưa vào mài mòn với các hạt SiC sử dụng các áp suất khác nhau;

Fig.52 là đồ thị của CT so với các nhiệt độ ban đầu (T_0) khác nhau cho cùng một tốc độ truyền nhiệt (h);

Fig.53 là đồ thị của CS cho các thời gian và nhiệt độ trao đổi ion khác nhau với cùng một thành phần bề nóng chảy;

Fig.54 là đồ thị của DOL cho các thời gian và nhiệt độ trao đổi ion khác nhau với cùng một thành phần bể nóng chảy;

Fig.55A là hình chiếu bằng của thiết bị điện tử làm ví dụ tích hợp vật phẩm bất kỳ trong các vật phẩm được gia cường, được bộc lộ ở đây; và

Fig. 55B là hình phối cảnh của thiết bị điện tử làm ví dụ của Fig. 55A.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các phương pháp gia cường nhiệt truyền thống thường bị hạn chế cho các vật phẩm thủy tinh dày (thường là các tấm) do mức gia cường phụ thuộc vào khác biệt nhiệt độ được tạo ra giữa bề mặt và trung tâm của vật phẩm thủy tinh trong khi tôi. Do các hạn chế tốc độ dẫn nhiệt của các phương pháp gia cường truyền thống nên khó đạt được các khác biệt nhiệt độ đáng kể giữa bề mặt và trung tâm của vật phẩm thủy tinh mỏng, do sự đồng đều tương đối của việc làm nguội thường xuất hiện trong suốt vật phẩm thủy tinh mỏng. Ngoài ra, mặc dù các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt truyền thống thể hiện DOC hoặc vùng CS lớn nhưng các vật phẩm này không thể hiện các trị số CS bề mặt đủ cao, cần cho các ứng dụng cụ thể. Cụ thể là, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt truyền thống có thể đạt được các trị số DOC là khoảng 21% của độ dày của các vật phẩm này, nhưng thường thể hiện các trị số CS bề mặt nhỏ hơn khoảng 200 MPa.

Các quy trình công nghiệp truyền thống cho thủy tinh được gia cường nhiệt bao gồm việc gia nhiệt các đế thủy tinh (thường là các tấm) trong lò năng lượng bức xạ hoặc lò đối lưu (hoặc lò “chế độ kết hợp” sử dụng cả hai kỹ thuật này) tới nhiệt độ định trước, sau đó làm nguội bằng khí (“tôi”), thường thông qua việc đối lưu bởi các lượng lớn được thổi của khí môi trường lên hoặc dọc theo bề mặt thủy tinh. Quy trình làm nguội khí này phần lớn là đối lưu, trong đó việc truyền nhiệt là chuyển động khối (chuyển động chung) của chất lưu, thông qua việc phân tán và bình lưu, khi khí mang nhiệt ra khỏi đế thủy tinh nóng.

Trong các quy trình gia cường nhiệt thông thường, các thông số cụ thể có thể hạn chế mức độ gia nhiệt trong các đế thủy tinh, đặc biệt là trong các đế thủy tinh mỏng. Các hạn chế tồn tại, một phần là do lượng CS trên vật phẩm được gia cường là liên

quan trực tiếp tới độ lớn của khác biệt nhiệt độ giữa bề mặt và trung tâm của vật phẩm, thu được trong quá trình tôi; tuy nhiên, khác biệt nhiệt độ trong suốt quá trình tôi là quá lớn và thường làm cho thủy tinh bị vỡ trong quá trình tôi. Nứt vỡ có thể được làm giảm, cho tốc độ làm nguội đã cho, bằng cách bắt đầu tôi từ nhiệt độ thủy tinh ban đầu cao hơn. Ngoài ra, việc gia cường lớn hơn có thể được thu bởi việc tôi từ nhiệt độ cao hơn; tuy nhiên, việc tăng nhiệt độ của vật phẩm tại lúc bắt đầu tôi có thể dẫn tới biến dạng không mong muốn và quá mức của vật phẩm khi nó mềm hơn.

Trong các quy trình gia cường nhiệt thông thường, độ dày đế cũng tạo các hạn chế đáng kể trên khác biệt nhiệt độ có thể đạt được trong quá trình tôi. Đế càng mỏng thì khác biệt nhiệt độ giữa bề mặt và trung tâm cho tốc độ làm nguội đã cho trong quá trình tôi càng thấp. Đó là do có ít độ dày thủy tinh hơn để cách ly nhiệt trung tâm với bề mặt. Do đó, việc gia cường nhiệt của các đế thủy tinh mỏng thường yêu cầu các tốc độ làm nguội cao hơn (khi so sánh với việc gia cường nhiệt của các đế thủy tinh dày hơn) và, do đó, loại bỏ nhanh hơn nhiệt từ các bề mặt bên ngoài của các đế thủy tinh, thường yêu cầu việc tiêu thụ năng lượng đáng kể để sinh ra các mức gia cường của nhiệt độ khác biệt giữa các phần bên trong và bên ngoài của tấm thủy tinh.

Theo cách làm ví dụ, Fig.1 thể hiện công suất được yêu cầu bởi các bộ phận thổi khí (theo kilowatt trên mỗi mét vuông diện tích đế thủy tinh) được áp dụng để thổi đủ khí môi trường để “ram một cách đầy đủ” đế thủy tinh vôi natri cacbonat (“soda-lime glass - SLG”) ở dạng tấm, như là hàm của độ dày thủy tinh theo milimet, dựa trên các quy trình gia cường nhiệt tiêu chuẩn trong công nghiệp đã được phát triển trong 35 năm trước. Công suất cần thiết tăng theo số mũ khi thủy tinh được sử dụng mỏng hơn. Do đó, các đế thủy tinh có độ dày là khoảng 3 mm là thủy tinh thương mại được ram nhiệt hoàn toàn, mỏng nhất sẵn có trong nhiều năm.

Trong các quy trình gia cường nhiệt thủy tinh truyền thống, sử dụng khí đối lưu, các tốc độ làm nguội cao hơn đạt được bằng cách tăng tốc độ dòng khí, làm giảm khoảng cách các phần mở vòi phun khí tới bề mặt tấm thủy tinh, tăng nhiệt độ của thủy tinh (tại lúc bắt đầu của việc làm nguội), và tùy chọn là, làm giảm nhiệt độ của khí làm nguội.

Như là một ví dụ gần đây hơn, các đường cong hiệu quả hoạt động của Fig.2 (tình trạng kỹ thuật của sáng chế) được công bố sử dụng trạng thái của thiết bị gia cường nhiệt thủy tinh trong tình trạng kỹ thuật. Thiết bị được cải thiện này tiếp tục sử dụng các quy trình đổi lưu được thổi khí truyền thống để làm nguội thủy tinh, nhưng thay thế các con lăn được sử dụng để đỡ thủy tinh trong suốt quá trình gia nhiệt bằng hệ thống sử dụng không khí để đỡ thủy tinh trong suốt, ít nhất là các giai đoạn cuối cùng của việc gia nhiệt. Không có tiếp xúc con lăn, thủy tinh có thể được gia nhiệt tới các nhiệt độ cao hơn (và độ mềm cao hơn/độ nhớt thấp hơn) trước khi tôi, cho phép lặp lại việc sản xuất của thủy tinh được ram đầy đủ tại độ dày 2 mm. Như được thể hiện trên Fig.2, công suất bộ phận thổi được báo cáo được yêu cầu để gia cường tấm dày 2 mm được làm giảm từ 1200 kW/m^2 tới 400 kW/m^2 tại các nhiệt độ cao hơn được cho phép bằng cách sử dụng không khí để đỡ thủy tinh (đường cong N) như được so sánh với việc sử dụng các con lăn (đường còn O).

Mặc dù nó thể hiện tiến trình để có thể tạo ra thủy tinh dày 2 mm được ram đầy đủ, nhưng việc định cỡ các đường cong cũ và mới O và N của Fig.2 để phù hợp với tỉ lệ của Fig.1, như được thể hiện trên Fig.3 (Tình trạng kỹ thuật của sáng chế), thể hiện rằng cải thiện trong hiệu quả hoạt động thu được bởi quy trình ram đổi lưu theo tình trạng kỹ thuật của sáng chế (được thể hiện trên Fig.2) là tương đối nhỏ và làm đơn giản việc thay đổi tăng trong việc hiểu trước đây của năng lượng cần thiết trong việc gia cường đổi lưu của các tấm thủy tinh. Trên Fig.3 là các đường cong cũ và mới O và N của Fig. 2 được định cỡ để phù hợp với đồ thị của Fig.1, và nằm trên đó (với đường cong cũ O bị cắt tại đỉnh tại 240 kW/m^2 cho việc nhìn dễ hơn của đường cong mới N). Từ Fig.3, rõ ràng là công nghệ được thể hiện bởi đường cong N chỉ thay đổi một chút hiệu quả hoạt động của các quy trình tôi khí đổi lưu khi độ dày thủy tinh được giảm từ 3 mm đến 2 mm. Điểm vận hành cao (400 kW/m^2 của công suất bộ phận thổi cho thủy tinh có độ dày là 2 mm) thể hiện việc tăng cực đại trong công suất vẫn còn cần thiết trong việc xử lý thủy tinh mỏng hơn theo phương pháp này. Việc tăng đột ngột trong luồng khí và do đó là công suất cần thiết tạo ra khó khăn, như là vấn đề của các việc thực hiện về mặt kỹ thuật và tính kinh tế, với việc tạo ra thủy tinh được ram đầy đủ có độ dày nhỏ hơn khoảng 2 mm sử dụng các phương pháp gia cường khí đổi lưu truyền

thống. Ngoài ra, các luồng khí rất cao cũng có thể làm biến dạng hình dạng của các đế mỏng hơn.

Các phương pháp gia cường nhiệt khác với việc gia cường nhiệt đối lưu thương mại hiện tại đã được thử nghiệm, nhưng mỗi phương pháp trong số chúng đều có nhược điểm so với việc gia cường nhiệt đối lưu. Cụ thể, các phương pháp gia cường nhiệt thay thế thông thường đạt được các tốc độ làm nguội cao hơn nói chung yêu cầu ít nhất là một số tiếp xúc chất lỏng hoặc chất rắn với các bề mặt thủy tinh, hơn là chỉ dùng tiếp xúc khí. Tiếp xúc này với đế thủy tinh có thể gây tác dụng ngược lên chất lượng bề mặt thủy tinh, các độ phẳng thủy tinh, và/hoặc sự đồng đều của quy trình gia cường. Các khuyết tật này đôi khi có thể được nhận biết bởi mắt thường, đặc biệt là khi được nhìn dưới ánh sáng phản xạ. Như được mô tả chi tiết hơn ở dưới, ít nhất là theo một số phương án thực hiện, hệ thống gia cường nhiệt dẫn nhiệt của phần bọc lộ này làm giảm hoặc loại bỏ các khuyết tật liên quan tới tiếp xúc này.

Việc gia cường tiếp xúc chất lỏng, ở dạng của việc nhúng trong các bể chất lỏng hoặc các chất lỏng chảy, cũng như ở dạng phun, đã được sử dụng để thu được các tốc độ làm nguội cao hơn việc gia cường khí đối lưu, nhưng có nhược điểm là tạo ra các thay đổi nhiệt quá mức qua tấm trong suốt quá trình làm nguội. Việc nhúng hoặc phun giống như nhúng hoặc chảy của các chất lỏng, các thay đổi nhiệt lớn qua các vùng nhỏ có thể xuất hiện do các dòng đối lưu tăng một cách đồng thời nằm trong bể chất lỏng hoặc dòng chất lỏng. Trong việc phun mịn hơn, các giọt phun rời rạc và các hiệu ứng của các mẫu phun dùng vòi phun tạo ra các thay đổi nhiệt đáng kể. Các thay đổi nhiệt quá mức có xu hướng làm cho thủy tinh bị vỡ trong quá trình gia cường nhiệt bởi tiếp xúc chất lỏng, vốn có thể được làm giảm bằng cách hạn chế các tốc độ làm nguội, nhưng việc hạn chế các tốc độ làm nguội cũng làm giảm các độ bền kết quả, có thể thu được. Ngoài ra, việc xử lý cần thiết của tấm (tới vị trí hoặc giữ nó nằm trong bể chất lỏng hoặc luồng chất lỏng hoặc việc phun chất lỏng) cũng tạo ra ứng suất vật lý và các thay đổi nhiệt quá mức từ tiếp xúc vật lý với tấm, có xu hướng tạo ra nứt vỡ trong quá trình gia cường và hạn chế các tốc độ làm nguội và các độ bền tạo thành. Cuối cùng, một số phương pháp làm nguội chất lỏng, như việc tôi với tốc độ làm nguội cao bằng cách nhúng trong dầu và các kỹ thuật phun khác, có thể thay đổi bề mặt thủy tinh trong

quá trình làm nguội này, yêu cầu sau đó phải loại bỏ vật liệu thủy tinh khỏi bề mặt tấm và tạo ra thành phẩm hoàn thiện được thỏa mãn.

Việc gia cường nhiệt tiếp xúc chất rắn chứa việc tiếp xúc bề mặt của thủy tinh nóng với bề mặt chất rắn. Do việc gia cường tiếp xúc chất lỏng, các thay đổi nhiệt quá mức, giống như các thay đổi được thấy trong việc gia cường tiếp xúc chất lỏng, có thể tăng một cách dễ dàng trong quá trình tôi. Phần không hoàn hảo bất kỳ trong trong hoàn thiện bề mặt của đế thủy tinh, trong các bề mặt tôi, hoặc trong sự thống nhất của độ dày của đế, tạo thành tiếp xúc không hoàn hảo qua một số vùng của đế, và tiếp xúc không hoàn hảo này có thể tạo ra các thay đổi nhiệt lớn, có xu hướng làm vỡ thủy tinh trong quá trình xử lý và cũng có thể gây ra tính lưỡng chiết quang không mong muốn trong các tấm còn lại sau quá trình này. Ngoài ra, việc tiếp xúc tấm thủy tinh nóng với vật thể rắn có thể dẫn tới việc hình thành khuyết tật bề mặt, như các mảnh vụn, các khe nứt, các vết nứt, các vết xước, và dạng tương tự. Việc đạt được tiếp xúc vật lý tốt trên toàn bộ các bề mặt của đế thủy tinh cũng có thể gia tăng độ khó khi các kích cỡ của tấm tăng lên. Tiếp xúc vật lý của bề mặt rắn cũng có thể tạo ứng suất cơ học trong quá trình tôi, thêm vào với việc dễ vỡ của tấm trong quá trình xử lý. Ngoài ra, tốc độ đặc biệt cao của các thay đổi nhiệt tại lúc bắt đầu tiếp xúc có thể tạo ra nứt vỡ trong quá trình xử lý tấm và do đó việc làm nguội tiếp xúc của các đế thủy tinh mỏng là không thực tế theo nghĩa kinh tế.

Mặc dù việc gia cường hóa học không bị hạn chế bởi độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh theo cùng một cách như các quy trình gia cường nhiệt, nhưng các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường hóa học đã biết không thể hiện biên dạng ứng suất (tức là, ứng suất như là hàm của độ dày của độ sâu từ bề mặt chính) của các vật phẩm gốc thủy tinh được ram nhiệt. Ví dụ của biên dạng ứng suất được sinh ra bởi việc gia cường hóa học (ví dụ, bởi quá trình trao đổi ion), được thể hiện trên Fig.4. Trên Fig.4, vật phẩm gốc thủy tinh được 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 nói chung từ bề mặt thứ nhất 201 tới DOC 230, như được xác định ở đây, mà độ sâu đó ứng suất thay đổi từ ứng suất nén sang ứng suất kéo và sau đó đạt tới CT tối đa 220. Như được thể hiện trên Fig.4, các biên dạng này thể hiện vùng CT về cơ bản là phẳng hoặc vùng CT

với ứng suất căng không đổi hoặc gần như không đổi dọc ít nhất một phần của vùng CT. Các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường hóa học đã biết thể hiện trị số DOC thấp hơn đáng kể và có thể thường thể hiện trị số CT tối đa thấp hơn, khi so sánh với các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt đã biết. Các trị số DOC sâu hơn có thể thu được nhưng chỉ sau các quá trình trao đổi ion dài, cũng có thể gây ra việc thu giãn ứng suất và do đó làm giảm các trị số CS bề mặt.

Các phương án thực hiện của phần bộc lộ này bao gồm các vật phẩm gốc thủy tinh mỏng thể hiện DOC là có thể so sánh được hoặc thậm chí là lớn hơn các vật phẩm thủy tinh dày được gia cường nhiệt sử dụng các quy trình gia cường nhiệt thông thường, trong khi thể hiện CS bề mặt cao (ví dụ, lớn hơn khoảng 200 MPa, lớn hơn khoảng 300 MPa hoặc lớn hơn khoảng 400 MPa, như được mô tả ở đây). Tổ hợp này của các trị số CS bề mặt cao và DOC sâu không được thể hiện bởi các vật phẩm thủy tinh được gia cường sử dụng các quy trình gia cường nhiệt đã biết, riêng rẽ hoặc kết hợp với gia cường hóa học. Cụ thể hơn, quy trình gia cường nhiệt được mô tả ở đây sinh ra biên dạng ứng suất parabol ngăn cản việc xâm nhập của các khuyết tật và việc mài sâu (tức là, phá hủy được lặp lại) của vật phẩm gốc thủy tinh. Ngoài ra, quy trình gia cường hóa học sau đó sinh ra việc nén bề mặt lớn hoặc cao, là không thể đạt được bởi việc ram nhiệt. Trị số CS bề mặt cao ngăn cản việc hình thành và xâm nhập của các khuyết tật bề mặt, cào xước và có thể là ức chế nứt vỡ. Nếu được vận hành một cách chính xác, tổ hợp của việc xử lý gia cường nhiệt được mô tả ở đây và gia cường hóa học sẽ tạo ra độ nén bề mặt lớn tới độ sâu đủ để xử lý các khuyết tật gờ, trong khi quy trình gia cường nhiệt cho phép nén tới 20% hoặc lớn hơn độ dày vật phẩm gốc thủy tinh và tạo ra việc bảo vệ chống lại sự phát triển của khuyết tật như là kết quả của phá hủy lặp lại. Hơn nữa, các vật phẩm gốc thủy tinh này có thể được gia cường nhiệt sử dụng các quy trình và hệ thống được mô tả ở đây trong thời gian nhỏ hơn 1 phút hoặc thậm chí nhỏ hơn 30 giây, và được gia cường hóa học trong khoảng 3 giờ hoặc nhỏ hơn.

Phần bộc lộ này vượt trội các phương pháp xử lý truyền thống được mô tả ở trên cho các đế thủy tinh mỏng một cách hiệu quả, siêu suất, thậm chí là được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học các đế thủy tinh ở các quy mô thương mại mà không

sinh ra các khuyết tật chung trong các quy trình gia cường nhiệt truyền thống, ví dụ, không có sự phá hủy bề mặt của thủy tinh, không tạo ra lưỡng chiết quang, mà không có sự gia cường không đồng đều, và/hoặc không gây ra việc vỡ không chấp nhận được, v.v..

Các hệ thống và quy trình gia cường nhiệt được thảo luận ở đây sử dụng các tốc độ truyền nhiệt rất cao (h theo đơn vị là $\text{cal}/\text{cm}^2\text{-s-C}^\circ$) theo cách cụ thể, với việc điều khiển vật lý tốt và việc xử lý nhẹ nhàng của thủy tinh. Theo các phương án thực hiện cụ thể, các quy trình và hệ thống gia cường nhiệt được thảo luận ở đây sử dụng bộ phận mang khí, khe hở nhỏ- trong phần làm nguội/tôi cho phép xử lý các đế thủy tinh mỏng tại các nhiệt độ tương đối cao hơn tại lúc bắt đầu làm nguội làm nguội, tạo thành các mức gia cường nhiệt cao hơn. Như được mô tả ở dưới, phần làm nguội/tôi bộ phận mang khí, khe hở nhỏ đạt được các tốc độ truyền nhiệt rất cao thông qua việc truyền nhiệt dẫn nhiệt tới bộ phận (các bộ phận) tản nhiệt qua khe hở, hơn là sử dụng việc làm nguội đối lưu dựa trên luồng khí cao. Tốc độ cao này của việc truyền nhiệt theo cách dẫn nhiệt đạt được trong khi không tiếp xúc thủy tinh với vật liệu lỏng hoặc rắn, bằng cách đỡ đế thủy tinh trên các bộ phận mang khí nằm trong khe hở.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt được tạo thành thể hiện các mức ứng suất được tạo ra bởi nhiệt, vĩnh viễn cao hơn so với các phần đã biết. Không mong muốn bị ràng buộc bởi lý thuyết, có thể tin rằng các mức đạt được của ứng suất được tạo ra bởi nhiệt là có thể thu được vì tổ hợp của các lý do sau. Sự đồng nhất cao của việc truyền nhiệt trong các quá trình được thể hiện chi tiết ở đây làm giảm hoặc loại bỏ các ứng suất nhiệt vật lý và không mong muốn trong thủy tinh, cho phép các đế thủy tinh được ram tại các tốc độ truyền nhiệt cao hơn mà không bị vỡ. Ngoài ra, các phương pháp này có thể được thực hiện tại các độ nhót để thủy tinh thấp hơn (các nhiệt độ ban đầu cao hơn tại lúc bắt đầu tôi), trong khi vẫn bảo toàn độ phẳng và hình dạng của thủy tinh mong muốn, tạo ra thay đổi lớn hơn trong nhiệt độ trong quy trình làm nguội, nhờ đó tăng các mức gia cường nhiệt thu được.

Các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt sau đó sẽ được gia cường hóa học trong bể muối nóng chảy để sinh ra CS bề mặt cao. Không bị ràng buộc bởi lý

thuyết, quy trình gia cường hóa học có thể được tùy chỉnh để tạo ra “sự tăng vọt” hoặc tăng độ dốc của biên dạng ứng suất tại hoặc gần bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh tạo thành để tạo ra CS bề mặt cao, bù cho DOC sâu được sinh ra bởi quy trình gia cường nhiệt được mô tả ở đây.

Như được sử dụng ở đây, các phương án thực hiện của việc gia cường hóa học chứa quy trình trao đổi ion. Trong quy trình này, các ion tại hoặc gần bề mặt của đế gốc thủy tinh hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt được thay thế bởi – hoặc được trao đổi với – các ion lớn hơn có cùng hóa trị hoặc cùng trạng thái oxy hóa. Theo các phương án thực hiện này, trong đó đế gốc thủy tinh hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt bao gồm thủy tinh nhôm silicat kiềm, các ion trong lớp bề mặt của thủy tinh và các ion lớn hơn là các cation kim loại hóa trị một, như Li^+ (khi có mặt trong đế gốc thủy tinh hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt), 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 các ion tương tự.

Các quá trình trao đổi ion thường được thực hiện bằng cách nhúng ngập đế gốc thủy tinh hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt trong bể muối nóng chảy (hoặc hai hoặc hơn hai bể muối nóng chảy) chứa các ion lớn hơn cần được trao đổi với các ion nhỏ hơn trong đế gốc thủy tinh hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt. Cần lưu ý rằng, các bể muối chứa dung dịch nước cũng có thể được sử dụng. Trong một số trường hợp, việc xử lý phun có thể được sử dụng để áp dụng dung dịch muối lên đế gốc thủy tinh hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt, mà sau đó được gia nhiệt để thúc đẩy việc trao đổi ion. Thành phần của bể (các bể) và/hoặc các dung dịch có thể chứa nhiều hơn một loại của các ion lớn hơn (ví dụ, Na^+ và K^+) hoặc ion lớn hơn đơn. 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/dung dịch phun, thời gian nhúng, số lần nhúng của vật phẩm gốc thủy tinh trong bể muối (hoặc các bể), số các áp dụng của dung dịch muối, việc sử dụng của nhiều bể muối hoặc dung dịch, các bước bổ sung như ủ, rửa, và dạng tương tự, nói chung là được xác định bởi thành phần của đế và/hoặc vật phẩm gốc thủy tinh

(chứa cấu trúc của vật phẩm và pha tinh thể học bất kỳ nào có mặt) và DOL, DOC, CT và/hoặc CS bề mặt mong muốn của vật phẩm gốc thủy tinh tạo thành từ việc gia cường. Theo cách làm ví dụ, việc trao đổi ion của các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt có thể đạt được nhờ việc nhúng các đế gốc thủy tinh trong ít nhất một bể nóng chảy chứa muối như, nhưng không hạn chế ở, các nitrat, các sunphat, và các clorua của ion kim loại kiềm lớn hơn. Các nitrat thông thường chứa KNO_3 , NaNO_3 , và LiNO_3 , và các tổ hợp của chúng. Nhiệt độ của bể muối nóng chảy thường trong khoảng giới hạn từ khoảng 380°C lên tới khoảng 450°C , trong khi các thời gian nhúng trải từ khoảng 10 phút lên tới khoảng 5 giờ (ví dụ, từ khoảng 10 phút tới khoảng 1 giờ) phụ thuộc vào độ dày thủy tinh, nhiệt độ bể và độ 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, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt có thể được nhúng trong bể muối nóng chảy của 100% KNO_3 có nhiệt độ từ khoảng 370°C tới khoảng 480°C (ví dụ, 410°C). Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt có thể được nhúng trong bể muối nóng chảy của 100% NaNO_3 có nhiệt độ từ khoảng 370°C tới khoảng 480°C . Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt có thể được nhúng trong bể muối được 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 trường hợp, bể muối trộn lẫn nóng chảy có thể chứa từ khoảng 50% tới khoảng 100 % NaNO_3 , với phần còn lại (nếu có) chứa KNO_3 . Bể muối trộn lẫn có thể có nhiệt độ trong khoảng giới hạn từ khoảng 380°C tới khoảng 420°C . Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt có thể được nhúng trong bể muối trộn lẫn nóng chảy chứa Na_2SO_4 và NaNO_3 và có khoảng giới hạn nhiệt độ rộng hơn (ví dụ, lên tới 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, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt có thể được nhúng trong bể muối trộn lẫn, nóng chảy chứa NaNO_3 và

KNO_3 (ví dụ, 49% NaNO_3 /51% KNO_3 , 50% NaNO_3 /50% KNO_3 , 51% NaNO_3 /49% KNO_3 , 95% KNO_3 /5% NaNO_3 , 90% KNO_3 /10% NaNO_3 , hoặc 80% KNO_3 /20% NaNO_3) có nhiệt độ nhỏ hơn khoảng 420 °C (ví dụ, khoảng 400 °C hoặc khoảng 380 °C) trong thời gian nhỏ hơn khoảng 5 giờ, hoặc thậm chí khoảng 4 giờ hoặc nhỏ hơn.

Theo một số phương án thực hiện, việc gia cường hóa học có thể được thực hiện bởi các quy trình cấy ion. Ví dụ, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt có thể được đặt trong buồng chân không và được đưa vào quy trình cấy ion mà nhờ đó ion gia cường hoặc ion có khả năng sinh ra ứng suất nén trong thủy tinh được cấy vào trong vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt. Độ sâu cấy sẽ tương quan với các trị số DOL được chỉ ra ở đây. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, ion gia cường có thể là ion bất kỳ tạo ra hiệu ứng dòn ép sinh ra ứng suất nén.

Biên dạng ứng suất tạo thành được sinh ra bởi xử lý gia cường nhiệt và sau đó là xử lý gia cường hóa học được mô tả ở đây được minh họa trên Fig.5. Vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện chứa vùng gia cường nhiệt 310 chứa ứng suất được tạo ra bởi việc gia cường nhiệt và vùng gia cường hóa học 320 chứa ứng suất được tạo ra bởi việc gia cường hóa học. CS bề mặt được sinh ra bởi tổ hợp của ứng suất được tạo ra bởi việc gia cường nhiệt và ứng suất được tạo ra bởi việc gia cường hóa học. Ứng suất được tạo ra bởi việc gia cường nhiệt (hoặc vùng gia cường nhiệt) mở rộng tới DOC được chỉ thị bởi 312. Ứng suất được tạo ra bởi gia cường hóa học (hoặc vùng gia cường hóa học) mở rộng tới DOL được chỉ thị bởi 322 (trong một số trường hợp, DOL này được đề cập tới như là “điểm uốn” của biên dạng ứng suất). CT cân bằng các phần CS của biên dạng ứng suất.

Theo một số phương án thực hiện, biên dạng ứng suất thể hiện hình dạng parabol. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, hình dạng parabol được thể hiện dọc theo vùng biên dạng ứng suất hoặc độ sâu của vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện ứng suất căng. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện cụ thể, biên dạng ứng suất là không có phần ứng suất phẳng (tức là, nén hoặc kéo) hoặc phần thể hiện ứng suất về cơ bản là không đổi (tức là, nén hoặc kéo). Theo một số phương án, vùng CT thể hiện biên dạng ứng suất mà hầu như không có ứng suất phẳng hoặc không có ứng suất hầu như không đổi. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tất cả các điểm của biên

dạng ứng suất 312 giữa toàn bộ độ dày hoặc dọc theo khoảng độ dày từ khoảng $0t$ lên tới khoảng $0,2 \bullet t$ và lớn hơn $0,8 \bullet t$ (hoặc từ khoảng $0 \bullet t$ tới khoảng $0,3 \bullet t$ và lớn hơn $0,7 \bullet t$) bao gồm tang là nhỏ hơn khoảng $-0,1$ MPa/micrômet hoặc lớn hơn khoảng $0,1$ MPa/micrômet. Theo một số phương án, tang này có thể nhỏ hơn khoảng $-0,2$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,2$ MPa/micromet. Theo một số phương án cụ thể hơn, tang này có thể nhỏ hơn khoảng $-0,3$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,3$ MPa/micromet. Theo các phương án cụ thể hơn nữa, tang này có thể nhỏ hơn khoảng $-0,5$ MPa/micromet hoặc lớn hơn khoảng $0,5$ MPa/micromet. Nói cách khác, biên dạng ứng suất của một hoặc nhiều phương án thực hiện dọc theo các khoảng giới hạn độ dày (tức là, toàn bộ độ dày, dọc theo khoảng giới hạn từ khoảng $0 \bullet t$ lên tới khoảng $0,2 \bullet t$ và lớn hơn $0,8 \bullet t$, hoặc dọc theo khoảng giới hạn từ khoảng $0t$ tới khoảng $0,3 \bullet t$ và $0,7 \bullet t$ hoặc lớn hơn) ngoại trừ các điểm có tang, như được mô tả ở đây. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, hàm sai số đã biết hoặc các biên dạng ứng suất giả tuyến tính có các điểm dọc theo các khoảng giới hạn độ dày này (tức là, từ khoảng $0 \bullet t$ lên tới khoảng $2 \bullet t$ và lớn hơn $0,8 \bullet t$, hoặc từ khoảng $0 \bullet t$ tới khoảng $0,3 \bullet t$ và $0,7 \bullet t$ hoặc lớn hơn) có tang là phẳng hoặc biên dạng ứng suất nghiêng là không dọc theo phần về cơ bản có các khoảng độ dày này, như được thể hiện trên Fig.4, 220). Các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện của phần mô tả này không thể hiện biên dạng ứng suất có biên dạng ứng suất phẳng hoặc nghiêng là không dọc theo các khoảng giới hạn độ dày, như được thể hiện trên Fig.5.

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

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa biên dạng ứng suất về cơ bản là không có các phần phẳng bất kỳ nào mở rộng theo hướng độ 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 về cơ bản là tăng hoặc giảm liên tục dọc theo độ dày t .

Theo một số phương án thực hiện, biên dạng ứng suất về cơ bản là không có các phần phẳng bất kỳ nào theo hướng chiều độ sâu có chiều dài là khoảng 10 micrômet hoặc nhiều hơn, khoảng 50 micrômet hoặc nhiều hơn, hoặc khoảng 100 micrômet hoặc nhiều hơn, hoặc khoảng 200 micrômet hoặc nhiều hơn. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ “phẳng” đề cập tới độ nghiêng có độ lớn nhỏ hơn khoảng 5 MPa/micrometer, hoặc nhỏ hơn khoảng 2 MPa/micrometer dọc theo phân đoạn thẳng. Theo một số phương án, 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 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 hầu như không chứa các đoạn phẳng.

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

Theo một số phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện các biên dạng ứng suất được mô tả ở đây, trong khi vẫn thể hiện DOC sâu và CS bề mặt cao.

Theo một số phương án thực hiện, vùng CS được tạo ra bởi hóa học đề cập tới như là vùng CS thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phân của độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vùng CS được tạo ra bởi nhiệt được đề cập tới như là vùng CS thứ hai. Đề cập tới Fig.5, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vùng CS thứ nhất 304 mở rộng từ bề mặt thứ nhất 301 tới vùng CS thứ hai 306. Vùng CS thứ hai 306 mở rộng từ

vùng CS thứ nhất 304 tới DOC 312. Trong một số trường hợp, vùng CS thứ hai 306 là giữa vùng CS thứ nhất 304 và vùng CT 308. Theo một số phương án thực hiện, toàn bộ vùng CS thứ hai chứa vùng nồng độ oxit kim loại không đổi. Theo một số phương án thực hiện, chỉ phần của vùng CS thứ hai chứa vùng oxit kim loại không đổi, trong khi phần còn lại chứa nồng độ oxit kim loại thay đổi. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, oxit kim loại có nồng độ thay đổi trong vùng CS thứ nhất và/hoặc vùng CS thứ hai sinh ra ứng suất dọc theo khoảng độ dày cụ thể hoặc vượt quá khoảng độ dày cụ thể mà nồng độ oxit kim loại thay đổi dọc theo nó. Nói cách khác, biên dạng ứng suất dọc theo vùng CS được tạo ra bởi hóa học có thể là được sinh ra do nồng độ khác không của oxit (các oxit) kim loại thay đổi dọc theo phần của độ dày. Theo một số phương án thực hiện, oxit kim loại này có thể có đường kính ion lớn nhất trong tất cả các oxit kim loại tổng cộng trong vật phẩm gốc thủy tinh. Theo cách khác, oxit kim loại có nồng độ thay đổi có thể là oxit kim loại được trao đổi ion vào trong vật phẩm gốc thủy tinh. 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.

Thay đổi trong nồng độ của oxit kim loại có thể là liên tục dọc theo các khoảng giới hạn độ dày nêu trên. Biến thiên trong nồng độ có thể chứa thay đổi trong oxit kim loại nồng độ khoảng 0,2 %mol hoặc lớn hơn dọc theo phân đoạn dày khoảng 100 micrômet. Thay đổi này có thể được đo bởi các phương pháp đã biết trong tình trạng kỹ thuật của sáng chế bao gồm vi đầu dò.

Thay đổi trong nồng độ của oxit kim loại có thể là liên tục dọc theo các khoảng giới hạn 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 điểm giữa bề mặt thứ nhất và 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, trong đó hai oxit kim loại được sử dụng và trong đó các đường kính tương ứng của các ion là khác nhau, nồng độ của các ion có đường kính lớn hơn là lớn hơn nồng độ của các ion có đường kính nhỏ hơn tại các độ sâu nông hơn, nồng độ của các ion có đường kính nhỏ hơn là lớn hơn

nồng độ của các ion có đường 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 dốc dốc hơn ở bề mặt hoặc gần bề mặt (tức là, sự tăng vọt biên dạng ứng suất ở bề mặt).

Gradient nồng độ hoặc biến thiên của một hoặc nhiều oxit kim loại được tạo ra bởi việc gia cường hóa học để gốc thủy tinh, như được mô tả ở trước, trong đó nhiều ion kim loại thứ nhất trong đế gốc thủy tinh được trao đổi với nhiều ion kim loại thứ hai (tức là, các ion kim loại thứ hai được trao đổi ion vào trong đế gốc thủy tinh trong suốt quá trình gia cường hóa học). 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 chất trong số natri, kali, rubidi, và xesi, với điều kiện là ion kim loại kiềm thứ hai có đường kính ion lớn hơn đường kính ion của ion kim loại kiềm thứ nhất. Ion kim loại thứ hai, là ion được trao đổi vào trong đế gốc thủy tinh sau khi gia cường hóa học, có mặt trong đế gốc thủy tinh như là oxit của chúng (ví dụ, Na_2O , K_2O , Rb_2O , Cs_2O hoặc tổ hợp của chúng). Ion kim loại thứ hai sinh ra ứng suất trong vật phẩm gốc thủy tinh.

Trong đó hai ion kim loại được trao đổi vào trong vật phẩm gốc thủy tinh (tức là, trong đó bể muối trộn lẫn hoặc nhiều hơn một bể muối được sử dụng trong quá trình xử lý gia cường hóa học), một ion kim loại có thể mở rộng dọc theo vùng CS thứ nhất, trong khi ion kim loại thứ hai có thể mở rộng dọc theo vùng CS thứ nhất và vùng CS thứ hai, sao cho vùng CS thứ hai về cơ bản là không có ion kim loại thứ nhất (hoặc gradient nồng độ của chúng). Trong vật phẩm gốc thủy tinh, việc phân tán sai khác này được phát hiện bởi nồng độ khác không và thay đổi của oxit của ion kim loại thứ nhất (tức là, oxit kim loại thứ nhất) dọc theo chỉ vùng CS thứ nhất và vùng CS thứ hai về cơ bản là không có oxit kim loại thứ nhất. Một cách để mô tả loại khác biệt thành phần này là để phân biệt các kích cỡ tương đối của ion kim loại thứ nhất và ion kim loại thứ

hai. Ví dụ, ion kim loại thứ nhất có thể có đường kính là lớn hơn ion kim loại thứ hai, và có thể có đường kính là lớn nhất trong số tất cả các ion kim loại trong vật phẩm gốc thủy tinh. Theo đó, vùng CS thứ hai có thể không có các ion kim loại có đường kính lớn nhất này. Theo một số phương án thực hiện, vùng CS thứ nhất có thể có thành phần khác biệt với vùng CS thứ hai do sự có mặt của cả ion kim loại thứ nhất (hoặc oxit của chúng) và ion kim loại thứ hai (hoặc oxit của chúng) trong vùng CS thứ nhất, trong khi vùng CS thứ hai chỉ chứa ion kim loại thứ hai (hoặc oxit của chúng). Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh chứa vùng ứng suất trung tâm cũng có thành phần khác với vùng CS thứ nhất. Theo một số phương án thực hiện, vùng ứng suất trung tâm và vùng CS thứ hai có cùng thành phần như nhau, khác với thành phần của vùng CS thứ nhất. Theo các phương án thực hiện này, oxit kim loại thứ nhất có thể chứa Na_2O , K_2O , Rb_2O hoặc Cs_2O , trong khi oxit kim loại thứ hai có thể chứa Li_2O , Na_2O , K_2O , hoặc Rb_2O miễn là ion kim loại thứ hai của oxit kim loại thứ hai có đường kính nhỏ hơn đường kính của ion kim loại thứ nhất của oxit kim loại thứ nhất.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, nồng độ của oxit kim loại thay đổi và gia cường là khoảng 0,5 %mol hoặc lớn hơn. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của oxit kim loại có thể là 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 và/hoặc bề mặt thứ hai và giảm về cơ bản là không đổi tới điểm giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai. 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.

Nồng độ của oxit kim loại có thể được xác định từ lượng cơ sở của oxit kim loại trong vật phẩm gốc thủy tinh trước khi được gia cường hóa học để chứa gradien nồng độ của oxit kim loại này.

Tổ hợp của DOC sâu và các trị số CS bề mặt cao không được thể hiện bởi các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học đã biết do các xử lý gia cường hóa học sau đó tạo ra thư giãn hoặc giải phóng ứng suất, gây ra việc giảm trong DOC. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, nhưng nhiệt độ hư cấu cao hơn trong vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt sẽ tạo ra nhiều thư giãn ứng suất nhanh và do đó, làm

giảm DOC sau việc gia cường hóa học sau đó. Ngạc nhiên là, việc xử lý gia cường nhiệt được mô tả ở đây sinh ra nhiệt độ hư cấu còn cao hơn trong vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt (do việc sử dụng của các tốc độ truyền nhiệt rất cao), cho phép duy trì DOC sau việc gia cường hóa học sau đó. Trong các quy trình gia cường nhiệt đã biết, mức DOC tạo thành được thể hiện giảm một cách đáng kể sau việc gia cường hóa học sau đó do thư giãn ứng suất do DOC đã đạt được qua việc gia cường nhiệt truyền thống là không lớn như đạt được bởi các phương pháp gia cường nhiệt được mô tả ở đây. Theo một số tình huống, các tính chất của vật phẩm gốc thủy tinh sau khi gia cường nhiệt như được mô tả ở đây cũng cho phép sinh ra DOC trong đế gốc thủy tinh quá các độ sâu của việc thâm nhập ion. Ví dụ, DOC là lớn hơn 20% hoặc lên tới và chứa khoảng 24% độ dày, trong đó việc xâm nhập ion từ việc gia cường hóa học là nhỏ hơn DOC. Theo một số trường hợp, một số ion xâm nhập tới DOC và có thể đóng góp một số ứng suất.

Quy trình gia cường nhiệt được mô tả ở đây tăng nhiệt độ hư cấu của vật phẩm thủy tinh tạo thành và tạo nhiều cầu trúc mở hơn (khi so sánh với đế thủy tinh trước khi gia cường nhiệt). Nó cho phép có tốc độ gia cường hóa học tăng (và cụ thể là việc trao đổi ion), dẫn tới DOL sâu hơn. Theo một số phương án thực hiện, DOL sâu hơn có thể tạo thành CS bề mặt thấp hơn được sinh ra bởi gia cường hóa học, nhưng CS bề mặt thấp hơn này được bù bởi CS ban đầu được sinh ra và có mặt từ quy trình gia cường nhiệt. Do hai cơ chế gia cường hoạt động trong các quy trình khác nhau cơ bản nên chúng không loại trừ lẫn nhau, và các hiệu ứng gia cường của thể được cộng với nhau. Trong các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học đã biết, các cơ chế gia cường ảnh hưởng tới nhau và quy trình gia cường hóa học sau đó làm giảm độ mạnh gây ra bởi quy trình gia cường nhiệt trước đó. Theo một số phương án thực hiện, CS bề mặt được thể hiện bởi các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể vượt qua CS bề mặt được sinh ra bởi các quy trình gia cường hóa học đã biết, một cách riêng rẽ.

Các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây cũng thể hiện khả năng chịu và chống chịu phá hủy cao hơn. Cụ thể, các vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện nhiệt độ hư cấu cao hơn và nhiều cầu trúc mở hơn sau khi được đưa vào quy trình gia cường nhiệt

được mô tả ở đây, trong đó mỗi hoặc cả hai đều làm tăng ngưỡng nứt vỡ ẩn của vật phẩm gốc thủy tinh. Theo một số phương án thực hiện, quy trình gia cường hóa học được thực hiện sao cho nhiệt độ hư cấu không thư giãn một cách đáng kể trong suốt xử lý này, và do đó, lợi ích của nhiệt độ hư cấu cao có thể được mang theo cho vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học thành phẩm.

Ngoài ra, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh có thể được gia cường tại giá thành thấp hơn đáng kể và nhanh chóng hơn các quy trình gia cường đã biết. Cụ thể, các quy trình gia cường nhiệt được mô tả ở đây thúc đẩy việc phân tán ion nhanh hơn trong suốt quá trình gia cường hóa học sau đó. Theo đó, các quy trình gia cường hóa học ngắn hơn nhiều có thể được sử dụng để thu được DOL mong muốn. Ngoài ra, các thủy tinh mà trong đó nó thường không được xem là lý tưởng cho các xử lý gia cường hóa học, như trong thủy tinh vôi natri cacbonat silicat hoặc một số thủy tinh nhôm silicat natri, có thể hiện được gia cường hóa học tới mức hiệu quả hoạt động mong muốn. Ví dụ, thủy tinh nhôm silicat natri đã biết có thành phần danh định là 69 %mol SiO_2 , 8.5 %mol Al_2O_3 , 14 %mol Na_2O , 1,2 %mol K_2O , 6,5 %mol MgO , 0,5 %mol CaO , và 0,2 %mol SnO_2 yêu cầu 5,5 giờ gia cường hóa học trong bể muối nóng chảy 420 °C cho việc gia cường đầy đủ (tức là, sao cho vật phẩm gốc thủy tinh tạo thành thể hiện CS bề mặt vượt 700 MPa và DOL trong khoảng giới hạn từ khoảng 42 micrômet tới khoảng 44 micrômet). Cùng một thủy tinh có cùng một độ dày có thể được gia cường nhiệt sử dụng quy trình được mô tả ở đây theo một hoặc nhiều phương án thực hiện trong khoảng 15 giây và sau đó được gia cường hóa học trong bể muối nóng chảy 410 °C, tạo thành vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện việc gia cường và hiệu quả hoạt động vượt trội so với vật phẩm gốc thủy tinh chịu chỉ riêng 5,5 giờ gia cường hóa học.

Đề cập tới các hình vẽ Fig.6 và Fig.7, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có CS bề mặt cao và DOC sâu được thể hiện theo phương án thực hiện làm ví dụ. Fig.6 thể hiện hình phối cảnh của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500, và Fig.7 là mặt cắt sơ lược của tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt 500 theo một hoặc nhiều phương án thực hiện.

Như được thể hiện trên Fig.6, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 (ví dụ, tấm, rằm, đĩa), chứa bề mặt thứ nhất 510, bề mặt thứ hai 520 (đường chấm chấm tới mặt sau của tấm 500, có thể là trong suốt như được bộc lộ ở đây), và thân 522 mở rộng ở giữa đó. Bề mặt thứ hai 520 là trên phía đối diện của thân 522 từ bề mặt thứ nhất 510 sao cho độ dày t của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường 500 được xác định làm khoảng cách giữa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai 510, 520, trong đó độ dày t cũng là số đo độ dày. Chiều rộng, w , của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường 500 được xác định như là kích thước thứ nhất của một bề mặt trong các bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai 510, 520 vuông góc với độ dày t . Chiều dài, l , của tấm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh được gia cường 500 được xác định như là kích thước thứ hai của một bề mặt trong các bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai 510, 520 vuông góc với cả độ dày t và chiều rộng w .

Theo các phương án thực hiện làm ví dụ, độ dày t của vật phẩm gốc thủy tinh 500 là nhỏ hơn chiều dài l của vật phẩm gốc thủy tinh 500. Theo các phương án thực hiện làm ví dụ khác, độ dày t của vật phẩm gốc thủy tinh 500 là nhỏ hơn chiều rộng w của vật phẩm gốc thủy tinh 500. Theo các phương án thực hiện làm ví dụ khác, độ dày t của vật phẩm gốc thủy tinh 500 là nhỏ hơn cả chiều dài l và chiều rộng w của tấm thủy tinh 500. Như được thể hiện trên Fig.7, vật phẩm gốc thủy tinh 500 còn có các vùng CS 530 và 540 được sinh ra bởi nhiệt, vĩnh viễn tại và/hoặc gần với bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai 510, 520 mở rộng tới DOC 560, các vùng CS 534 và 544 được sinh ra bởi hóa học tại và/hoặc gần với bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai 510, 520 mở rộng tới DOL 570 và được cân bằng bởi vùng ứng suất căng trung tâm được sinh ra bởi nhiệt, vĩnh viễn 550 (tức là, việc căng) trong phần trung tâm của tấm.

Theo các phương án thực hiện khác nhau, độ dày t của vật phẩm gốc thủy tinh 500 là từ 0,1 mm đến 5,7 hoặc 6,0 mm, chứa, bên cạnh các trị số điểm cuối, 0,2 mm, 0,28 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, 0,55 mm, 0,7 mm, 1 mm, 1,1 mm, 1,5 mm, 1,8 mm, 2 mm, và 3,2 mm. Các phương án thực hiện được dự tính chứa các tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt 500 có các độ dày t trong các khoảng giới hạn từ 0,1 đến 20 mm, từ 0,1 đến 16 mm, từ 0,1 đến 12 mm, từ 0,1 đến 8 mm, từ 0,1 đến 6 mm, từ 0,1 đến 4 mm, từ

0,1 đến 3 mm, từ 0,1 đến 2 mm, từ 0,1 đến nhỏ hơn 2 mm, từ 0,1 đến 1,5 mm, từ 0,1 đến 1 mm, từ 0,1 đến 0,7 mm, từ 0,1 đến 0,5 mm và từ 0,1 đến 0,3 mm.

Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh có độ dày 3 mm hoặc nhỏ hơn được sử dụng. Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh độ dày là khoảng (ví dụ, cộng hoặc trừ 1%) 8 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 6 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 3 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 2,5 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 2 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 1,8 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 1,6 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 1,4 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 1,2 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 1 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 0,8 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 0,7 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 0,6 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 0,5 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 0,4 mm hoặc nhỏ hơn, khoảng 0,3 mm hoặc nhỏ hơn, hoặc khoảng 0,28 mm hoặc nhỏ hơn.

Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có các tỉ lệ kích thước cao – tức là, các tỉ lệ chiều dài và chiều rộng so với độ dày là lớn. Do các quy trình gia cường nhiệt được thảo luận ở đây không dựa vào các áp suất cao hoặc các thể tích lớn của không khí nên độ nhám bề mặt và độ phẳng mong muốn có thể được duy trì sau khi ram mà không có tiếp xúc giữa một trong hai hoặc cả hai bề mặt chính của vật phẩm gốc thủy tinh và chất rắn hoặc chất lỏng (ví dụ, bằng cách chứa khe hở giữa một trong hai hoặc cả hai bề mặt chính của vật phẩm gốc thủy tinh và chất rắn hoặc chất lỏng, trong đó, khe hở là không có vật liệu rắn hoặc chứa khí), và bằng việc sử dụng của các hệ thống tốc độ truyền nhiệt cao được thảo luận ở đây. Một cách tương tự, các quy trình gia cường nhiệt và hóa học được thảo luận ở đây cho phép có các tấm thủy tinh có tỉ lệ kích thước cao (tức là, các tấm thủy tinh với tỉ lệ cao của chiều dài so với độ dày, hoặc chiều rộng so với độ dày cao, hoặc cả hai) được gia cường trong khi vẫn giữ hình dạng mong muốn hoặc cần thiết. Cụ thể, các vật phẩm gốc thủy tinh có thể chứa các tấm với các tỉ lệ chiều dài so với độ dày và/hoặc chiều rộng so với độ dày (“các tỉ lệ kích thước”) xấp xỉ ít nhất là 10:1, ít nhất là 20:1, và lên tới và quá 1000:1 có thể được gia cường. Theo các phương án thực hiện được dự tính, các tấm với các tỉ lệ ít nhất là 200:1, ít nhất là 500:1, ít nhất là 1000:1, ít nhất là 2000:1, ít nhất là 4000:1 có thể được gia cường.

Theo phương án thực hiện làm ví dụ, chiều dài l của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 là lớn hơn hoặc bằng với chiều rộng w , như lớn hơn hai lần chiều rộng w , lớn hơn năm lần chiều rộng w , và/hoặc không nhiều hơn năm mươi lần chiều rộng w . Theo một số phương án thực hiện này, chiều rộng w của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 là lớn hơn hoặc bằng với độ dày t , như lớn hơn hai lần độ dày t , lớn hơn năm lần độ dày t , và/hoặc không nhiều hơn năm mươi lần độ dày t .

Theo một số phương án thực hiện, chiều dài l của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 ít nhất là 1 cm, như ít nhất là 3 cm, ít nhất là 5 cm, ít nhất là 7,5 cm, ít nhất là 20 cm, ít nhất là 50 cm, và/hoặc không nhiều hơn 50 m, như không nhiều hơn 10 m, không nhiều hơn 7,5 m, không nhiều hơn 5 m. Theo một số phương án thực hiện này, chiều rộng w của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 ít nhất là 1 cm, như ít nhất là 3 cm, ít nhất là 5 cm, ít nhất là 7,5 cm, ít nhất là 20 cm, ít nhất là 50 cm, và/hoặc không nhiều hơn 50 m, như không nhiều hơn 10 m, không nhiều hơn 7,5 m, không nhiều hơn 5 m. Đề cập tới Fig.6, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học là trong dạng của tấm 500 có độ dày t là mỏng hơn 5 cm, như 2,5 cm hoặc nhỏ hơn, 1 cm hoặc nhỏ hơn, 5 mm hoặc nhỏ hơn, 2,5 mm hoặc nhỏ hơn, 2 mm hoặc nhỏ hơn, 1,7 mm hoặc nhỏ hơn, 1,5 mm hoặc nhỏ hơn, 1,2 mm hoặc nhỏ hơn, hoặc thậm chí là 1 mm hoặc nhỏ hơn theo các phương án thực hiện được dự tính, như 0,8 mm hoặc nhỏ hơn, như 0,7 mm hoặc nhỏ hơn, như 0,6 mm hoặc nhỏ hơn, như 0,5 mm hoặc nhỏ hơn, như 0,4 mm hoặc nhỏ hơn, như 0,3 mm hoặc nhỏ hơn, như 0,28 mm hoặc nhỏ hơn ; và/hoặc độ dày t ít nhất là 10 μm , như ít nhất là 50 μm , ít nhất là 100 μm , ít nhất là 300 μm .

Theo các phương án thực hiện được dự tính khác, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có thể được định cỡ khác với cỡ được bộc lộ ở đây. Theo các phương án thực hiện được dự tính, chiều dài l , chiều rộng w , và/hoặc độ dày t của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có thể thay đổi, như có dạng hình học phức tạp hơn, trong đó các kích cỡ được bộc lộ ở đây ít nhất là áp dụng cho các khía cạnh của thủy tinh tương ứng hoặc các vật

phẩm gốm thủy tinh tương ứng có các định nghĩa nêu trên về chiều dài l , chiều rộng w , và độ dày t so với nhau.

Theo một số phương án thực hiện, ít nhất một bề mặt trong các các bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai 510, 520 của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 có diện tích bề mặt tương đối lớn. Theo các phương án thực hiện khác nhau, bề mặt thứ nhất và/hoặc bề mặt thứ hai 510, 520 có diện tích là 100 mm^2 hoặc lớn hơn, như khoảng 900 mm^2 hoặc lớn hơn, khoảng 2500 mm^2 hoặc lớn hơn, 5000 mm^2 hoặc lớn hơn, khoảng 100 cm^2 hoặc lớn hơn, khoảng 500 cm^2 hoặc lớn hơn, khoảng 900 cm^2 hoặc lớn hơn, khoảng 2500 cm^2 hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 5000 cm^2 hoặc lớn hơn. Giới hạn trên của các bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai 510, 520 không bị hạn chế một cách cụ thể. Theo một số phương án thực hiện, các bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai 510, 520 có thể có diện tích bề mặt không nhiều hơn 2500 m^2 , không nhiều hơn 100 m^2 , không nhiều hơn 5000 cm^2 , không nhiều hơn 2500 cm^2 , không nhiều hơn 1000 cm^2 , không nhiều hơn 500 cm^2 , hoặc không nhiều hơn 100 cm^2 . Như vậy, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 có thể có diện tích bề mặt tương đối lớn; mà, ngoại trừ các phương pháp và hệ thống được bộc lộ ở đây, sẽ khó hoặc không thể gia cường nhiệt, đặc biệt là với các độ dày, chất lượng bề mặt, và/hoặc các tính đồng nhất biến dạng của các tấm thủy tinh được thảo luận ở đây. Hơn nữa, ngoại trừ các phương pháp và hệ thống được bộc lộ ở đây, khó hoặc không thể đạt được biên dạng ứng suất, đặc biệt là phản ứng suất căng âm của biên dạng ứng suất (xem Fig.5), mà không dựa vào việc trao đổi ion hoặc thay loại thủy tinh.

Như đề cập tới ở trên, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học được thảo luận ở đây có thể có các trị số CS bề mặt cao đáng ngạc nhiên, các ứng suất căn trung tâm cao đáng ngạc nhiên, các trị số DOC sâu đáng ngạc nhiên, và/hoặc các biên dạng ứng suất duy nhất (xem Fig.5). Điều này là đặc biệt đúng khi xem xét tới độ dày thấp và/hoặc các tính chất vật lý diu nhất khác (ví dụ, độ nhám rất thấp, mức độ phẳng cao, các tính chất quang học khác, các tính chất nhiệt độ hư cấu, v.v.) của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 như được thảo luận ở đây.

Các trị số CS của các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học được mô tả ở đây (ví dụ, trong các vùng 530, 540 như được thể hiện trên Fig. 5) có thể thay đổi như là hàm của độ dày t của các thủy tinh. Theo các phương án thực hiện khác nhau, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có thể có độ dày 3 mm hoặc nhỏ hơn (ví dụ, 2 mm hoặc nhỏ hơn, 1,2 mm hoặc nhỏ hơn, 1 mm hoặc nhỏ hơn, 0,9 mm hoặc nhỏ hơn, 0,8 mm hoặc nhỏ hơn, 0,7 mm hoặc nhỏ hơn, 0,6 mm hoặc nhỏ hơn, 0,5 mm hoặc nhỏ hơn, 0,4 mm hoặc nhỏ hơn, 0,3 mm hoặc nhỏ hơn, hoặc 0,28 mm hoặc nhỏ hơn) và CS bề mặt là khoảng 300 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 400 MPa hoặc lớn hơn, 500 MPa hoặc lớn hơn, 600 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 700 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 800 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 900 MPa hoặc lớn hơn, hoặc thậm chí khoảng 1 GPa hoặc lớn hơn. Giới hạn trên của CS bề mặt có thể là khoảng 2 GPa. Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học thể hiện trị số CS tại độ sâu bằng với DOL (hoặc “ứng suất điểm uốn” hoặc “CS điểm uốn”) là khoảng 150 MPa hoặc lớn hơn (ví dụ, khoảng 175 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 200 MPa hoặc lớn hơn hoặc khoảng 225 MPa hoặc lớn hơn). Theo các phương án thực hiện này, DOL mà tại đó ứng suất điểm uốn là 150 MPa hoặc lớn hơn có thể là khoảng 10 micrômet hoặc lớn hơn (ví dụ, 12 micrômet hoặc lớn hơn, 14 micrômet hoặc lớn hơn, 15 micrômet hoặc lớn hơn, hoặc 17 micrômet hoặc lớn hơn, hoặc 19 micrômet hoặc lớn hơn hoặc 21 micrômet hoặc lớn hơn, hoặc 24 micrômet hoặc lớn hơn). DOL mà tại đó ứng suất điểm uốn là 150 MPa hoặc lớn hơn có thể được biểu diễn như là hàm của độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh. Theo cách phương án thực hiện này, DOL mà tại đó ứng suất điểm uốn là 150 MPa hoặc lớn hơn có thể là khoảng $0,01 \cdot t$ hoặc lớn hơn. CS và DOL có thể được đo sử dụng kỹ thuật FSM như được mô tả ở đây.

Theo các phương án thực hiện khác, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có thể có CT là khoảng 30 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 40 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 50 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 60 MPa hoặc lớn hơn, khoảng 70 MPa hoặc lớn hơn hoặc khoảng 80 MPa hoặc lớn hơn. Các trị số CT này có thể có mặt trong khi vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học có độ dày là 3 mm hoặc nhỏ hơn (ví dụ, 2 mm hoặc nhỏ hơn, 1,2 mm hoặc nhỏ hơn, 1 mm hoặc nhỏ hơn, 0,9 mm hoặc nhỏ hơn, 0,8 mm hoặc nhỏ hơn, 0,7 mm hoặc nhỏ

hơn, 0,6 mm hoặc nhỏ hơn, 0,5 mm hoặc nhỏ hơn, 0,4 mm hoặc nhỏ hơn, 0,3 mm hoặc nhỏ hơn, hoặc 0,28 mm hoặc nhỏ hơn). Như được sử dụng ở đây, CT đề cập tới CT tuyệt đối tối đa trong vật phẩm gốc thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện cụ thể, trị số CT của vật phẩm gốc thủy tinh có thể lớn hơn khoảng 100 MPa. Theo các phương án thực hiện khác, CT của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có thể nhỏ hơn 400 MPa, hoặc nhỏ hơn 300 MPa. Theo một số phương án thực hiện, CT có thể từ khoảng 30 MPa tới khoảng 300 MPa, khoảng 60 MPa tới khoảng 200 MPa, khoảng 70 MPa tới khoảng 150 MPa, hoặc khoảng 80 MPa tới khoảng 140 MPa. Do các tốc độ truyền nhiệt rất cao có thể được áp dụng thông qua các hệ thống và phương pháp được thảo luận ở đây, nên các tác động nhiệt đáng kể, ví dụ các trị số CT ít nhất là 10 hoặc thậm chí ít nhất là 20 MPa, có thể được tạo ra trong các tấm SLG nhỏ hơn 0,3 mm độ dày. Cụ thể, các tấm rất mỏng, các tấm ít nhất là mỏng như 0,1 mm, có thể được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các trị số CT có thể được đo sử dụng phân cực kế ánh sáng tán xạ (scattered light polariscope - SCALP), sử dụng các kỹ thuật đã biết trong tình trạng kỹ thuật.

Được tin là duy nhất theo sáng chế này, các diện tích bề mặt tương đối lớn đã cho và/hoặc các độ dày mỏng của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 như được bộc lộ ở đây, ứng suất căng trong biên dạng ứng suất 560 chuyển tiếp một cách nhanh chóng giữa ứng suất căng duwong của phần bên trong 550 và ứng suất căng âm của các phần 530, 540 ở bên ngoài so với và liền kề với phần bên trong 550. Chuyển tiếp sắc nét này có thể được hiểu như là tốc độ thay đổi (tức là, độ nghiêng) của ứng suất căn có thể được biểu diễn như là độ lớn của ứng suất (ví dụ, 100 MPa, 200 MPa, 250 MPa, 300 MPa, 400 MPa, khác biệt trong các trị số đỉnh của các ứng suất căng dương và âm $+\sigma$, $-\sigma$) được chia bởi khoảng cách của độ dày mà thay đổi xuất hiện qua đó, như khoảng cách là 1 mm, như khoảng cách là 500 μm , 250 μm , 100 μm (là khoảng cách được sử dụng để định lượng tốc độ thay đổi, có thể là một phần của độ dày vật phẩm, và không nhất thiết phải là kích thước của dạng hình học của vật phẩm). Theo các phương án thực hiện được dự tính, khác biệt trong các trị số đỉnh của các ứng suất căng dương và âm ít nhất là 50 MPa, như ít nhất là 100 MPa, ít nhất là 150 MPa, ít nhất là 200 MPa, ít nhất là 250 MPa, ít nhất là 300 MPa, ít nhất là

400 MPa, ít nhất là 500 MPa, và/hoặc không nhiều hơn 5 GPa. Theo các phương án thực hiện được dự tính, vật phẩm gốc thủy tinh 500 có ứng suất căng âm, đỉnh ít nhất là 50 MPa trong độ lớn, như ít nhất là 100 MPa, ít nhất là 150 MPa, ít nhất là 200 MPa, ít nhất là 250 MPa, ít nhất là 300 MPa, ít nhất là 400 MPa, ít nhất là 500 MPa. Các chuyển tiếp đường cong căng dọc được sinh ra bởi hệ thống và phương pháp được thảo luận ở đây được tin là chỉ thị cho khả năng thu được các độ lớn cao hơn của ứng suất căng âm tại bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học cho độ dày đã cho và/hoặc để sản xuất các vật phẩm thủy tinh mỏng hơn tới mức độ ứng suất căng âm lớn hơn, như để đạt được khả năng phân mảnh cho việc vỡ vụn thành hạt như được bộc lộ ở đây. Các cách tiếp cận gia cường nhiệt truyền thống có thể không có khả năng đạt được các đường cong ứng suất căng dọc đứng như thế này.

Theo phương án thực hiện làm ví dụ, tốc độ cao của việc thay đổi ứng suất căng ít nhất là một trong số các độ lớn được mô tả ở trên hoặc lớn hơn, được duy trì liên tục qua việc trải ra theo độ dày của biên dạng ứng suất 560 ít nhất là 2% của độ dày, như ít nhất là 5% của độ dày, ít nhất là 10% của độ dày, ít nhất là 15% của độ dày, hoặc ít nhất là 25% của độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500. Theo các phương án thực hiện được dự tính, việc gia cường mở rộng sâu vào trong vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 sao cho việc trải ra theo độ dày với tốc độ cao của việc thay đổi của ứng suất căng được đặt trung tâm tại độ sâu giữa 20% và 80% vào trong độ dày từ bề mặt thứ nhất.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện DOC (hoặc độ sâu của vùng ứng suất được tạo ra bởi nhiệt) mở rộng từ bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh tới độ sâu là khoảng 0,1•t hoặc lớn hơn, 0,12•t hoặc lớn hơn, 0,14•t hoặc lớn hơn, 0,15•t hoặc lớn hơn, 0,16•t hoặc lớn hơn, 0,17•t hoặc lớn hơn, 0,18•t hoặc lớn hơn, 0,19•t hoặc lớn hơn, 0,20•t hoặc lớn hơn, 0,21•t hoặc lớn hơn, 0,22•t hoặc lớn hơn, hoặc 0,23•t hoặc lớn hơn. Giới hạn trên của DOC có thể là khoảng 0,3•t. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, DOC có thể được đo sử dụng phân cực kế ánh sáng tán xạ (scattered light polariscope - SCALP), sử dụng các kỹ thuật đã biết trong tình trạng kỹ thuật.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, DOL tạo thành từ việc gia cường hóa học có thể mở rộng từ bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh tới độ sâu khác không lên tới khoảng $0,1 \cdot t$. Theo một số phương án thực hiện, DOL có thể chứa độ sâu khác không lên tới khoảng $0,05 \cdot t$, $0,06 \cdot t$, $0,07 \cdot t$, $0,08 \cdot t$, $0,09 \cdot t$ hoặc $0,095 \cdot t$. Theo một số phương án thực hiện, DOL có thể trong khoảng giới hạn từ khoảng $0,001 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$, từ khoảng $0,001 \cdot t$ tới khoảng $0,9 \cdot t$, từ khoảng $0,001 \cdot t$ tới khoảng $0,8 \cdot t$, từ khoảng $0,001 \cdot t$ tới khoảng $0,7 \cdot t$, từ khoảng $0,001 \cdot t$ tới khoảng $0,6 \cdot t$, từ khoảng $0,001 \cdot t$ tới khoảng $0,5 \cdot t$, từ khoảng $0,001 \cdot t$ tới khoảng $0,4 \cdot t$, từ khoảng $0,01 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$, từ khoảng $0,015 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$, từ khoảng $0,02 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$, từ khoảng $0,03 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$, từ khoảng $0,04 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$, hoặc từ khoảng $0,05 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$.

DOL được xác định như là độ sâu mà oxit kim loại hoặc ion kim loại lớn nhất xâm nhập tới đó do gia cường hóa học, khi được đo bởi các phương pháp phân cực vi đầu dò như kỹ thuật FSM (được mô tả bên dưới), và dạng tương tự. Theo một số phương án thực hiện, khi việc gia cường hóa học chứa việc trao đổi các ion natri vào trong vật phẩm gốc thủy tinh, và do đó sự có mặt của Na_2O tại các độ sâu lên tới khoảng $0,5t$, độ sâu xâm nhập của natri không thể được đo dễ dàng bởi kỹ thuật FSM, nhưng có thể được đo bởi vi đầu dò, SCALP, hoặc việc đo trường gần khúc xạ (refracted near-field - RNF) (như được mô tả trong Bảng sáng chế Mỹ số U.S. No. 8,854,623, có tên là “Systems và methods for measuring a profile characteristic của glass sample”, được kết hợp ở đây để tham khảo bằng cách viện dẫn). Theo một số phương án thực hiện, khi việc gia cường hóa học chứa việc trao đổi của các ion kali vào trong vật phẩm gốc thủy tinh, và do đó sự có mặt của K_2O , độ sâu thâm nhập của kali có thể được đo bởi kỹ thuật FSM.

Ứng suất nén (bao gồm CS bề mặt) được đo bằng dụng cụ đo ứng suất bề mặt (surface stress meter - FSM) sử dụng các thiết bị sẵn có trên thị trường như FSM-6000 do Orihara Industrial Co., Ltd. (Japan) sản xuất. 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 đến lượt nó lại được đo theo thủ tục C (Procedure C) phương pháp đĩa thủy tinh (Glass Disc Method) được mô tả

trong tiêu chuẩn ASTM C770-16, có tên là “Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient,” nội dung của chúng được kết hợp ở đây để tham khảo. 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 để đo biên dạng ứng suất, trị số CT tối đa được tạo ra bởi SCALP được sử dụng trong phương pháp RNF. Cụ thể, biên dạng ứng suất đo được bằng RNF là lực được cân bằng và hiệu chỉnh đến trị số tối đa CT được cung cấp bởi phép đo SCALP. Phương pháp RNF được mô tả trong bằng Mỹ số 8,854,623, với tên sáng chế “Systems và methods for measuring a profile characteristic của glass sample”, được kết hợp toàn bộ ở đây bằng cách viện dẫn. Cụ thể, phương pháp RNF bao gồm bước đặt vật thể gốc 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 lượng công suất trong chùm ánh sáng chuyển trạng thái phân cực và tạo tín hiệu tham chiếu chuyển trạng thái phân cực, trong đó các lượng 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. Các trị số CT tối đa được đo sử dụng kỹ thuật nghiệm phân cực ánh sáng tán xạ (scattered light polariscope - SCALP) đã biết trong tình trạng kỹ thuật của sáng chế.

Theo ít nhất một số phương án thực hiện được dự tính, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học chứa thay đổi trong thành phần của chúng theo nghĩa của thành phần ion dọc theo ít nhất một phần của độ dày. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, thay đổi trong thành phần bao gồm thay đổi trong nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc ít nhất theo phần của độ dày, và cụ thể hơn là dọc theo ít nhất một phần của DOL hoặc toàn bộ DOL. Theo một

số phương án thực hiện, DOL là lớn hơn độ sâu mà nồng độ oxit kim loại thay đổi dọc theo nó. Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học chứa vùng CS thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày. Theo một số phương án thực hiện, nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất và/hoặc bề mặt thứ hai tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn khoảng $0 \cdot t$ tới nhỏ hơn khoảng $0,17 \cdot t$, hoặc trong khoảng giới hạn từ lớn hơn khoảng $0,01 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, thành phần của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 theo các phương án thực hiện này chứa các ion được trao đổi hoặc được cấy ảnh hưởng tới biên dạng ứng suất 560. Theo một số phương án thực hiện này, các ion được trao đổi hoặc được cấy không mở rộng đầy đủ tới các phần 530, 540 của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500 do các phần này là kết quả của việc gia cường nhiệt như sẽ được bộc lộ ở đây, thay cho gia cường hóa học. Theo một số phương án thực hiện, DOL mở rộng sâu hơn các ion được trao đổi hoặc được cấy. Theo một số phương án thực hiện, DOL mở rộng tới độ sâu bằng với độ sâu của các ion được trao đổi hoặc được cấy.

Các biên dạng ứng suất và các thuộc tính của các biên dạng ứng suất của các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được mô tả ở đây có thể có mặt hoặc được thể hiện tại gờ của các vật phẩm (tức là, dọc theo các bề mặt phụ thay cho các bề mặt chính). Đề cập tới Fig.6, các bề mặt chính 510, 520 có thể được tạo mặt nạ hoặc được duy trì không được phơi ra trước quy trình (các quy trình) gia cường nhiệt hoặc gia cường hóa học sao cho một hoặc nhiều bề mặt trong các bề mặt phụ được phơi ra trước quy trình (các quy trình) gia cường nhiệt và/hoặc gia cường hóa học. Biên dạng ứng suất trên các bề mặt phụ này có thể được điều chỉnh theo hiệu quả hoạt động mong muốn hoặc việc sử dụng cuối cùng.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, bề mặt thứ nhất 510 và bề mặt thứ hai 520 có thể có các biên dạng ứng suất khác nhau. Ví dụ một hoặc nhiều thành phần trong số CS bề mặt, CS tại DOL, DOL, hoặc DOC của bề mặt thứ nhất 510 có thể

khác với của của bề mặt thứ hai 520. Ví dụ, trong một số trường hợp, bề mặt thứ nhất 510 yêu cầu trị số CS bề mặt lớn hơn bề mặt thứ hai 520. Theo ví dụ khác, bề mặt thứ nhất 510 có trị số DOC lớn hơn trị số DOC của bề mặt thứ hai 520. Theo một số trường hợp, các khác biệt này trong một hoặc nhiều thành phần trong số của CS bề mặt, CS tại DOL, DOL, hoặc DOC giữa bề mặt thứ nhất 510 và bề mặt thứ hai 520 có thể được mô tả như là biên dạng ứng suất không đối xứng. Việc không đối xứng này có thể được gây ra bởi việc điều chỉnh việc gia cường nhiệt, gia cường hóa học hoặc cả hai quy trình gia cường nhiệt và hóa học được sử dụng để tạo thành các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây. Như sẽ được mô tả bên dưới, sự không đối xứng trong biên dạng ứng suất cũng có thể được sinh ra hoặc được tăng cường bởi việc tạo thành nguội các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây thành tấm hoặc vật phẩm được làm cong.

Các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được mô tả ở đây có thể thể hiện năng lượng kéo dự trữ trong khoảng giới hạn từ lớn hơn 0 J/m^2 tới khoảng 40 J/m^2 . Trong một số tình huống, năng lượng kéo dự trữ có thể nằm trong phạm vi từ khoảng 5 J/m^2 đến khoảng 40 J/m^2 , từ khoảng 10 J/m^2 đến khoảng 40 J/m^2 , từ khoảng 15 J/m^2 đến khoảng 40 J/m^2 , từ khoảng 20 J/m^2 đến khoảng 40 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 35 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 30 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 25 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 20 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 15 J/m^2 , từ khoảng 1 J/m^2 đến khoảng 10 J/m^2 , từ khoảng 10 J/m^2 đến khoảng 30 J/m^2 , từ khoảng 10 J/m^2 đến khoảng 25 J/m^2 , từ khoảng 15 J/m^2 đến khoảng 30 J/m^2 , từ khoảng 15 J/m^2 đến khoảng 25 J/m^2 , từ khoảng 18 J/m^2 đến khoảng 22 J/m^2 , từ khoảng 25 J/m^2 đến khoảng 40 J/m^2 , hoặc từ khoảng 25 J/m^2 đến khoảng 30 J/m^2 . Vật phẩm gốc thủy tinh gia cường nhiệt và hóa học theo một hoặc nhiều phương án có thể thể hiện năng lượng kéo dự trữ khoảng 6 J/m^2 hoặc lớn hơn, khoảng 10 J/m^2 hoặc lớn hơn, khoảng 15 J/m^2 hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 20 J/m^2 hoặc lớn hơn. Năng lượng kéo dự trữ có thể được tính toán sử dụng phương trình sau: năng lượng kéo dự trữ (J/m^2) = $[(1-\nu)/E][(\sigma^2) (dt)]$, trong đó ν là hệ số Poát-xông, E là suất Young (theo MPa), σ là ứng suất (theo MPa) và tích được tính toán qua độ dày (theo micron) chỉ của vùng căng.

Theo phương án thực hiện khác nhau, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học 500, có cả biên dạng ứng suất được mô tả ở đây và độ nhám bề mặt, như được tạo thành, là thấp. Các quy trình và các phương pháp được bộc lộ ở đây có thể gia cường nhiệt và gia cường hóa học các vật phẩm gốc thủy tinh (có thể ở dạng tấm) mà không làm tăng độ nhám bề mặt của các bề mặt như được tạo thành. Ví dụ, các bề mặt phía không khí của thủy tinh nổi đi tới và các bề mặt thủy tinh dung hợp đi tới được khác biệt bởi hiển vi lực nguyên tử (atomic force microscopy - AFM) trước và sau xử lý. Độ nhám bề mặt R_a nhỏ hơn 1 nm (0,6-0,7 nm) cho thủy tinh nổi vôi natri cacbonat 1,1 mm đi tới, và độ nhám bề mặt R_a không bị tăng bởi việc gia cường nhiệt theo các quy trình này. Một cách tương tự, độ nhám bề mặt R_a nhỏ hơn 0,3 nm (0,2 – 0,3) cho các tấm 1,1 mm của thủy tinh được tạo thành từ dung hợp được duy trì bởi việc gia cường nhiệt và/hoặc gia cường hóa học theo sáng chế này. Theo đó, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có độ nhám bề mặt trên ít nhất bề mặt thứ nhất trong khoảng giới hạn từ 0,2 đến 1,5 nm độ nhám R_a , 0,2 tới 0,7 nm, 0,2 tới 0,4 nm hoặc thậm chí như từ 0,2 đến 0,3 nm, qua ít nhất một vùng cỡ $10 \times 10 \mu\text{m}$. Độ nhám bề mặt có thể được đo qua diện tích là $10 \times 10 \mu\text{m}$ theo các phương án thực hiện làm ví dụ, hoặc theo một số phương án thực hiện, $15 \times 15 \mu\text{m}$.

Theo phương án thực hiện khác, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học được mô tả ở đây có độ phẳng cao. Theo các phương án thực hiện khác nhau, hệ thống gia cường được thảo luận ở đây sử dụng các bộ phận mang khí được điều khiển để đỡ đế gốc thủy tinh trong suốt quá trình vận chuyển và gia nhiệt, và theo một số phương án thực hiện, có thể được sử dụng để trợ giúp việc điều khiển và/hoặc cải thiện độ phẳng của vật phẩm gốc thủy tinh tạo thành, tạo thành mức độ phẳng cao hơn mức độ có thể đạt được trước đó, đặc biệt cho các vật phẩm gốc thủy tinh mỏng và/hoặc được gia cường cao. Ví dụ, các vật phẩm gốc thủy tinh ở dạng tấm có độ dày là khoảng 0,6 mm hoặc lớn hơn có thể được gia cường với độ phẳng gia cường sau, được cải thiện. Độ phẳng của các phương án thực hiện khác nhau của vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có thể bao gồm $100 \mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn là độ lệch bộ chỉ thị tổng cộng (total indicator run-out - TIR) dọc theo 50 mm bất kỳ của chiều dài dọc theo một bề mặt trong các bề mặt

thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai của chúng, 300 μm TIR hoặc nhỏ hơn nằm trong 50 mm chiều dài của một bề mặt trong các bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai, 200 μm TIR hoặc nhỏ hơn, 100 μm TIR hoặc nhỏ hơn, hoặc 70 μm TIR hoặc nhỏ hơn nằm trong 50 mm chiều dài trên một trong các bề mặt trong các bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai. Theo các phương án thực hiện làm ví dụ, độ phẳng được đo dọc theo 50 mm bất kỳ hoặc nhỏ hơn biên dạng của vật phẩm gốc thủy tinh. Theo các phương án thực hiện được dự tính, các vật phẩm gốc thủy tinh, có thể ở dạng tấm, với độ dày được bộc lộ ở đây có độ phẳng là 200 μm TIR hoặc nhỏ hơn nằm trong 20 mm chiều dài trên một bề mặt trong các bề mặt thứ nhất hoặc bề mặt thứ hai (ví dụ, độ phẳng là 100 μm TIR hoặc nhỏ hơn, độ phẳng là 70 μm TIR hoặc nhỏ hơn, hoặc độ phẳng là 50 μm TIR hoặc nhỏ hơn). Độ phẳng, như được sử dụng ở đây, được đo trên hệ thống Tropel® FlatMaster® có sẵn từ Corning Incorporated (Corning, NY).

Theo các phương án thực hiện được dự tính, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có mức độ thống nhất về kích thước cao sao cho độ dày t của chúng dọc theo 1 cm chiều dài dọc thân 522 (trên Fig.6) không thay đổi nhiều hơn 50 μm , như, không nhiều hơn 10 μm , không nhiều hơn 5 μm , không nhiều hơn 2 μm . Sự thống nhất về kích cỡ này có thể không thể đạt được cho các độ dày, diện tích, và/hoặc các độ lớn của các ứng suất căng âm đã cho, như sẽ được bộc lộ ở đây, bằng cách tôi rắn do các điều kiện thực tế, như việc sắp xếp đĩa làm nguội và/hoặc các bất thường bề mặt làm nhiễu loạn các kích cỡ này.

Theo các phương án thực hiện được dự tính, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có ít nhất một bề mặt (ví dụ, bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai 510, 520 trên Fig.6) là phẳng sao cho 1 cm biên dạng chiều dài, chạy dài sẽ nằm trong 50 μm của đường thẳng, như nằm trong 20 μm , 10 μm , 5 μm , 2 μm ; và/hoặc 1 cm biên dạng theo chiều rộng, chạy dài sẽ nằm trong 50 μm của đường thẳng, như nằm trong 20 μm , 10 μm , 5 μm , 2 μm . Độ phẳng cao này không thể đạt được cho các độ dày, các diện tích, và/hoặc các độ lớn của ứng suất căng âm, như được bộc lộ ở đây, bởi việc tôi lỏng do các điều kiện thực tế, như việc vênh hoặc uốn của thủy tinh được gia cường trong các quy trình này do các dòng đối lưu và các lực kết hợp của chất lỏng. Theo các phương án thực hiện khác

nhau, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có các nhiệt độ hư cấu cao. Cần hiểu rằng theo các phương án thực hiện khác nhau, các nhiệt độ hư cấu cao liên quan tới mức cao của việc gia cường nhiệt, các ứng suất căng trung tâm cao và/hoặc ứng suất bề mặt nén cao của vật phẩm gốc thủy tinh tạo thành 500. Các nhiệt độ hư cấu bề mặt có thể được xác định bởi phương pháp thích hợp bất kỳ, bao gồm việc đo nhiệt lượng quét vi phân, phổ kế Brillouin, hoặc phổ kế Raman.

Theo phương án thực hiện làm ví dụ, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có phần của chúng, như tại hoặc ở gần các bề mặt thứ nhất và/hoặc bề mặt thứ hai 510, 520, có nhiệt độ hư cấu cao đặc biệt, như ít nhất là 500°C , như ít nhất là 600°C , hoặc thậm chí ít nhất là 700°C theo một số phương án thực hiện. Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh thể hiện các nhiệt độ hư cấu này có thể chứa thủy tinh vôi natri cacbonat. Theo phương án thực hiện làm ví dụ, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có phần ở đó, như tại hoặc gần bề mặt thứ nhất và/hoặc bề mặt thứ hai 510, 520, có nhiệt độ hư cấu cao cụ thể so với thủy tinh được ủ có cùng thành phần hóa học. Ví dụ, theo một số phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học thể hiện nhiệt độ hư cấu ít nhất là 10°C lớn hơn, ít nhất là 30°C lớn hơn, ít nhất là 50°C lớn hơn, ít nhất là 70°C lớn hơn, hoặc thậm chí ít nhất là 100°C lớn hơn nhiệt độ hư cấu của thủy tinh được ủ có cùng thành phần hóa học (tức là, thủy tinh không được gia cường nhiệt theo quy trình được mô tả ở đây). Nhiệt độ hư cấu cao có thể được thu bởi việc chuyển tiếp nhanh từ các vùng nóng tới các vùng làm nguội trong hệ thống gia cường nhiệt. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, các vật phẩm gốc thủy tinh với nhiệt độ hư cấu cao thể hiện khả năng chống chịu phá hủy tăng.

Theo một số phương pháp xác định các nhiệt độ hư cấu bề mặt, có thể cần thiết để phá vật phẩm gốc thủy tinh để làm dịu “các ứng suất ram” được gây ra bởi quy trình gia cường nhiệt để đo nhiệt độ hư cấu với độ chính xác chấp nhận được. Đã biết rằng các băng cấu trúc đặc trưng được đo bởi dịch chuyển phổ Raman theo cách có điều khiển liên quan tới nhiệt độ hư cấu và liên quan tới ứng suất được áp dụng trong

các thủy tinh silicat. Dịch chuyển này có thể được sử dụng để đo không phá mẫu nhiệt độ hư cấu nếu ứng suất ram là đã biết.

Đề cập chung tới Fig.8, việc xác định của nhiệt độ hư cấu cho nhiều vật phẩm thủy tinh làm ví dụ được thể hiện. Các hiệu ứng ứng suất trên phổ Raman của thủy tinh silic được báo cáo trong D.R. Tallant, T.A. Michalske, và W.L. Smith, “The effects of tensile stress on Raman spectrum of silica glass,” *J. Non-Cryst. Solids*, **106** 380-383 (1988). Các thủy tinh thương mại có 65 % khối lượng silic hoặc nhiều hơn về cơ bản là có cùng một đáp ứng. Mặc dù đáp ứng ứng suất được báo cáo là cho ứng suất đẳng trục, nhưng trong trường hợp của trạng thái ứng suất đẳng lưỡng trục như trường hợp được quan sát trong thủy tinh được ram, $\sigma_{xx} = \sigma_{yy}$, đỉnh có thể được mong đợi là dịch chuyển gấp đôi so với ứng suất đẳng trục. Đỉnh gần 1090 cm^{-1} trong thủy tinh vôi natri cacbonat và trong thủy tinh 2 tương ứng với đỉnh 1050 cm^{-1} quan sát được trong thủy tinh silic. Các tác động của ứng suất trên đỉnh 1050 cm^{-1} trong silic, và trên đỉnh tương ứng trong SLG và các thủy tinh silic khác có thể được biểu diễn, như là hàm của ứng suất σ theo MPa, bởi phương trình a) $\omega(\text{cm}^{-1}) = 1054,93 - 0,00232 \cdot \sigma$.

Đường cong hiệu chỉnh được tạo ra của các vị trí băng Raman như là hàm của nhiệt độ hư cấu cho SLG và thủy tinh khác, thủy tinh 2. Các mẫu thủy tinh được xử lý nhiệt cho các thời gian khác nhau, 2-3 lần lâu hơn các thời gian thư giãn cấu trúc được tính toán bởi $\tau = 10 \cdot \eta / G$, trong đó η là độ nhớt, và G môđun trượt. Sau xử lý nhiệt, các thủy tinh được tôi trong nước tới nhiệt độ hư cấu đóng băng tại nhiệt độ xử lý nhiệt. Các bề mặt thủy tinh sau đó được đo bởi vi Raman tại độ phóng đại 50x và kích cỡ điểm 1-2 μm sử dụng laze 442 nm, thời gian phơi 10-30 giây, và 100% công suất, qua khoảng giới hạn từ 200 đến 1800 cm^{-1} . Vị trí của đỉnh tại $1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ được làm khít sử dụng phần mềm máy tính, trong trường hợp này là Renishaw WiRE version 4.1. Phù hợp tốt của đỉnh 1090 cm^{-1} Raman được đo trong SLG trên phía không khí như là hàm của nhiệt độ hư cấu T_f (theo $^{\circ}\text{C}$) được cho bởi phương trình b) $\omega(\text{cm}^{-1}) = 1110,66 - 0,0282 \cdot T_f$. Với thủy tinh 2, phù hợp tốt là được cho bởi phương trình c) $\omega(\text{cm}^{-1}) = 1102,00 - 0,0231 \cdot T_f$.

Việc sử dụng các quan hệ được thiết lập trong các phương trình a), b), và c), có

thể biểu diễn nhiệt độ hư cấu của thủy tinh như là hàm của vị trí đỉnh Raman được đo với thông số hiệu chỉnh do CS bề mặt. CS 100 MPa, σ_c , dịch chuyển vị trí bằng Raman tương ứng với việc giảm xấp xỉ 15 tới 20 độ C trong nhiệt độ hư cấu. Phương trình sau là có thể áp dụng được cho SLG:

$$T_f(^{\circ}\text{C}) = \left[\frac{\omega(\text{cm}^{-1}) - 1110.66(\text{cm}^{-1})}{-0.0282(\frac{\text{cm}^{-1}}{^{\circ}\text{C}})} \right] + 2[0.082 * \sigma_c(\text{MPa})] \quad (1)$$

Phương trình có khả năng áp dụng cho thủy tinh 2 là:

$$T_f(^{\circ}\text{C}) = \left[\frac{\omega(\text{cm}^{-1}) - 1102(\text{cm}^{-1})}{-0.0231(\frac{\text{cm}^{-1}}{^{\circ}\text{C}})} \right] + 2[0.0996 * \sigma_c(\text{MPa})] \quad (2)$$

Trong các phương trình này, ω là số sóng đỉnh được đo cho đỉnh gần 1090 cm^{-1} , σ_c là CS bề mặt được đo bởi kỹ thuật thích hợp bất kỳ, số đo được hiệu chỉnh ứng suất đàn hồi của nhiệt độ hư cấu theo $^{\circ}\text{C}$. Như là sự thể hiện của việc chống lại phá hủy liên quan tới nhiệt độ hư cấu được xác định, bốn mẫu tấm thủy tinh được chuẩn bị, hai tấm thủy tinh vôi natri cacbonat (soda-lime glass - SLG) 6 mm bởi các phương pháp ram truyền thống tới xấp xỉ 70 và 110 MPa CS bề mặt (CS), và hai tấm SLG 1,1 mm bởi các phương pháp và các hệ thống được bộc lộ ở đây tới khoảng cùng các mức CS. Hai tấm bổ sung, một trong từng độ dày được sử dụng làm các đối chứng. Các bề mặt của từng tấm kiểm tra được đưa vào ấn lõm Vicker tiêu chuẩn. Các mức khác nhau của lực được áp dụng, trong 15 giây, và sau khi chờ 24 giờ, các vết ấn lõm sẽ được kiểm tra. Như được thể hiện trên bảng 1, ngưỡng nứt vỡ 50% (được xác định như là tải mà tại đó số trung bình của các nứt vỡ xuất hiện và hai trong bốn điểm của bộ phận ấn mà tại đó các nứt vỡ có xu hướng bắt đầu) được xác định cho từng mẫu.

Bảng 1 thể hiện rằng ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker cho SLG được xử lý bởi việc ram khí đôi lưu truyền thông (như được phản ánh trong tấm 6 mm) về cơ bản là giống như các tấm SLG được ủ hoặc như được phân phối, nâng lên từ giữa không tới một Newton (N) tới khoảng từ một tới nhỏ hơn hai Newton. Hiệu chỉnh này với việc tăng vừa tương đối vừa phải trong nhiệt độ hư cấu bề mặt (T_{fs} hoặc $T_{fsurface}$) từ ~ 25 đến 35°C so với nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh ($T_g = 550^{\circ}\text{C}$ cho SLG, được xác định như là $\eta = 10^{12-13.3}$ Poise) được tạo ra bởi việc ram truyền thông. Trái lại, bằng cách ram sử

dụng các phương pháp và hệ thống hiện tại, ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker được cải thiện tới lớn hơn 10 N, tăng gấp 10 so với khả năng chống chịu phá hoại Vicker gây ra bởi việc ram truyền thống. Trong các thủy tinh được áp dụng, T_{fs} trừ T_g ít nhất là 50°C, hoặc ít nhất là 75°C, hoặc ít nhất là 90°C, hoặc *trong khoảng giới hạn từ xấp xỉ 75°C tới 100°C*. Thậm chí trong phương án thực hiện bao gồm các mức thấp hơn của việc gia cường nhiệt, các thủy tinh được áp dụng vẫn tạo ra khả năng chống chịu tăng, tại các mức ví dụ như 5 N. Theo các phương án thực hiện được dự tính cụ thể, ngưỡng nứt vỡ 50% sau thử nghiệm khởi tạo nứt vỡ Vicker 15 giây có thể bằng với hoặc lớn hơn 5 N, 10 N, 20 N, hoặc 30 N.

Bảng 1				
Mẫu	Độ dày (mm)	CS (MPa)	T_f bề mặt (°C)	Ngưỡng nứt vỡ (N)
Đối chứng	1,1	Được ủ	$\sim T_g$ (550)	0 - 1
Đối chứng	6	Được ủ	$\sim T_g$ (550)	0 - 1
Độ bền thấp mỏng	1,1	-72	626	10 - 20
Độ bền thấp dày	6	-66	575	1 - 2
Độ bền trung bình mỏng	1,1	-106	642	10 - 20
Độ bền trung bình dày	6	-114	586	1 - 2

Thông số nhiệt độ hư cấu không thứ nguyên θ sau có thể được sử dụng để so sánh hiệu quả tương đối của việc xử lý gia cường nhiệt theo nghĩa của nhiệt độ hư cấu được tạo ra. Theo nghĩa của nhiệt độ hư cấu bề mặt θ_s trong trường hợp này:

$$\theta_s = (T_{fs} - T_{anneal}) / (T_{soft} - T_{anneal}) \quad (3)$$

trong đó T_{fs} là nhiệt độ hư cấu bề mặt, T_{anneal} (nhiệt độ của thủy tinh tại độ nhớt $\eta=10^{13,2}$ Poise) là điểm ủ và T_{soft} (nhiệt độ của thủy tinh tại độ nhớt $\eta=10^{7,6}$ Poise) là điểm làm mềm của thủy tinh của tấm. Fig.10 là đồ thị của θ_s cho các nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo như là hàm của tốc độ truyền nhiệt, h , được áp dụng trong suốt quá trình gia cường nhiệt cho hai thủy tinh khác nhau. Như được thể hiện trên Fig.10, các kết quả của hai thủy tinh khác nhau đặt trên nhau là tương đối gần. Nó có nghĩa là thông số θ tạo ra các phương tiện để so sánh các nhiệt độ hư cấu của các thủy tinh khác nhau một cách trực tiếp, liên quan tới tốc độ truyền nhiệt h được yêu cầu để tạo

ra chúng. Khoảng giới hạn thẳng đứng của các kết quả tại mỗi h tương ứng với thay đổi trong trị số của T_0 , nhiệt độ ban đầu tại lúc bắt đầu tôi. Theo các phương án thực hiện, thông số θ_s bao gồm từ khoảng (ví dụ, cộng hoặc trừ 10%) 0,2 tới khoảng 0,9, hoặc 0,21 tới 0,09, hoặc 0,22 tới 0,09, hoặc 0,23 tới 0,09, hoặc 0,24 tới 0,09, hoặc 0,25 tới 0,09, hoặc 0,30 tới 0,09, hoặc 0,40 tới 0,09, hoặc 0,5 tới 0,9, hoặc 0,51 tới 0,9, hoặc 0,52 tới 0,9, hoặc 0,53 tới 0,9, hoặc 0,54 tới 0,9, hoặc 0,54 tới 0,9, hoặc 0,55 tới 0,9, hoặc 0,6 tới 0,9, hoặc thậm chí 0,65 tới 0,9.

Tại các tốc độ truyền nhiệt cao hơn (như tại khoảng 800 W/m²K và cao hơn, ví dụ), tuy nhiên, nhiệt độ cao hoặc “đường pha lỏng” CTE của thủy tinh bắt đầu ảnh hưởng tới tính hiệu quả tôi. Do đó, dưới các điều kiện này, thông số thông số khả năng tôi được Ψ , dựa trên xấp xỉ của việc tích hợp qua các trị số CTE thay đổi qua đường cong độ nhớt, được tìm thấy là hữu dụng:

$$\Psi = E \cdot [T_{strain} \cdot \alpha_{CTE}^S + \alpha_{CTE}^L \cdot (T_{soft} - T_{strain})] \quad (5)$$

trong đó α_{CTE}^S là CTE tuyến tính nhiệt độ thấp (tương ứng với hệ số nở dài trung bình từ 0 đến 300°C cho thủy tinh), được biểu diễn theo 1/°C (°C⁻¹), α_{CTE}^L là CTE tuyến tính nhiệt độ cao (tương ứng với trị số ổn định nhiệt độ cao được quan sát để xuất hiện đầu đó giữa điểm chuyển tiếp thủy tinh và điểm làm mềm), được biểu diễn theo 1/°C (°C⁻¹), E là suất đàn hồi của thủy tinh, được biểu diễn theo GPa (không phải là MPa) (cho phép các trị số của thông số (không có thứ nguyên) Ψ thay đổi trong khoảng nói chung giữa 0 và 1), T_{strain} là nhiệt độ điểm biến dạng của thủy tinh, (nhiệt độ của thủy tinh tại độ nhớt $\eta=10^{14,7}$ Poise) được biểu diễn theo °C, và T_{soft} là điểm làm mềm của thủy tinh (nhiệt độ của thủy tinh tại độ nhớt là $\eta=10^{7,6}$ Poise), được biểu diễn theo °C.

Quá trình gia cường nhiệt và các trị số CS bề mặt tạo thành được mô hình hóa cho các thủy tinh có các tính chất thay đổi để xác định thông số tôi, Ψ . Các thủy tinh được mô hình hóa tại cùng một độ nhớt bắt đầu là 10^{8,2} Poise và tại các hệ số truyền nhiệt thay đổi. Các tính chất của các loại thủy tinh khác nhau được thể hiện trên bảng 2, cùng với nhiệt độ cho từng thủy tinh tại 10^{8,2} Poise và trị số tính toán của thông số khả năng tôi được Ψ cho từng loại.

Bảng 2

Thủy tinh	Modulus	CTE thấp	CTE cao	$10^{8,2}$ Poise °C	Điểm làm mềm °C	Điểm biến dạng °C	Ψ
SLG	72	8,8	27,61	705	728	507	0,76
2	73,3	8,53	20,49	813	837	553	0,77
3	65,5	8,26	26	821	862	549	0,83
4	65	8,69	20,2	864	912	608	0,74
5	63,9	10,61	22	849	884	557	0,84
6	58,26	3,5	20,2	842	876	557	0,49
7	73,6	3,6	13,3	929	963	708	0,44
8	81,1	3,86	12,13	968	995	749	0,48

Các kết quả trong bảng 2 thể hiện rằng Ψ là tỉ lệ với hiệu quả gia cường nhiệt của thủy tinh. Sự tương liên này còn được thể hiện trên Fig.9, tạo ra ví dụ được áp dụng cho tốc độ truyền nhiệt cao (hệ số truyền nhiệt $2093 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($0,05 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}^2\cdot^\circ\text{C}$)) và tấm thủy tinh độ dày chỉ 1 mm. Như có thể thấy trong hình vẽ, thay đổi trong CS tạo thành của các thủy tinh khác nhau tương quan tốt với thay đổi trong thông số khả năng tôi được Ψ được đề xuất.

Theo một khía cạnh khác, đã tìm thấy rằng với thủy tinh bất kỳ, tại trị số bất kỳ của hệ số truyền nhiệt, h (được biểu diễn theo $\text{cal/cm}^2\cdot\text{s}\cdot^\circ\text{C}$), các đường cong của CS bề mặt (σ_{CS} , theo MPa) so với độ dày (t , theo mm) có thể hợp với (qua khoảng giới hạn của t từ 0 đến 6 mm) bởi dạng hypecbon, trong đó P_1 và P_2 là các hàm của h sao cho:

$$\sigma_{CS}(Glass, h, t) = C(h, t) * \Psi(Glass) = \frac{P_1(h) * t}{(P_2(h) + t)} * \Psi(Glass) \quad (6)$$

Hoặc với biểu diễn cho Ψ được thay thế trong, đường cong của CS $\sigma_{CS}(Glass, h, t)$ là được cho bởi:

$$\frac{P_1(h) * t}{(P_2(h) + t)} \cdot E \cdot [T_{strain} \cdot \alpha_{CTE}^{\bar{L}} + \alpha_{CTE}^L \cdot (T_{soft} - T_{strain})] \quad (7)$$

trong đó, các hằng số P_1 , P_2 , trong hoặc là (6) hoặc (7) ở trên, là từng hàm liên tục của trị số truyền nhiệt, h , được cho bởi:

$$P_1 = 910.2 - 259.2 \cdot \exp\left(-\frac{h}{0.143}\right) \quad (8)$$

và

$$P_2 = 2.53 + \frac{23.65}{\left(1 + \left(\frac{h}{0.00738}\right)^{1.58}\right)} \quad (9)$$

Các hằng số P_1 , P_2 , được vẽ đồ thị như là các hàm của h trên các hình vẽ Fig.10 và Fig.11, một cách tương ứng. Một cách tương ứng, bằng cách sử dụng trị số của P_1 , với h đã cho và P_2 tương ứng, cho cùng một h trong biểu diễn (6) hoặc (7) nêu trên, đường cong được cụ thể hóa tương ứng với CS bề mặt (CS) thu được tại h đó, như là hàm của độ dày t .

Theo một số phương án thực hiện, biểu diễn tương tự có thể được sử dụng để dự đoán CT của tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt, cụ thể là độ dày 6 mm và nhỏ hơn, và hệ số truyền nhiệt, như 800 W/m²K và cao hơn, bằng cách đơn giản là chia CS được dự đoán dưới cùng các điều kiện bởi 2. Do đó, CT được mong đợi có thể được cho bởi

$$\frac{P_{1CT}(h_{CT}) \cdot t}{(P_{2CT}(h_{CT}) + t)} \cdot E \cdot [T_{strain} \cdot \alpha_{CTE}^s + \alpha_{CTE}^l \cdot (T_{soft} - T_{strain})] \quad (10)$$

Trong đó P_{1CT} và P_{2CT} được cho như sau:

$$P_{1CT} = 910.2 - 259.2 \cdot \exp\left(-\frac{h_{CT}}{0.143}\right) \quad (11)$$

và

$$P_{2CT} = 2.53 + \frac{23.65}{\left(1 + \left(\frac{h_{CT}}{0.00738}\right)^{1.58}\right)} \quad (12)$$

Theo một số phương án thực hiện, h và h_{CT} , có thể có cùng trị số cho trường hợp vật lý đã cho của việc gia cường nhiệt Tuy nhiên, theo một số phương án thực hiện, chúng có thể thay đổi, và tạo ra các biến tách biệt và cho phép thay đổi giữa chúng để

thu, nằm trong các đường cong hiệu quả hoạt động mô tả, các trường hợp mà trong đó tỉ lệ thông thường là 2:1 CS/CT không được giữ.

Một hoặc nhiều phương án thực hiện của các quy trình và hệ thống hiện được bộc lộ đã tạo ra các tấm SLG được gia cường nhiệt SLG tại tất cả các trị số của các trị số tốc độ truyền nhiệt (h và h_{CT}) được thể hiện trên bảng 3.

Bảng 3

Các trị số h và h_{CT} theo các phương án thực hiện làm ví dụ					
cal/s·cm ² ·°C	W/m ² K	cal/s·cm ² ·°C	W/m ² K	cal/s·cm ² ·°C	W/m ² K
0,010	418,68	0,042	1758,456	0,070	2930,76
0,013	544,284	0,045	1884,06	0,071	2972,628
0,018	753,624	0,047	1967,796	0,078	3265,704
0,019	795,492	0,048	2009,664	0,080	3349,44
0,020	837,36	0,049	2051,532	0,081	3391,308
0,021	879,228	0,050	2093,4	0,082	3433,176
0,022	921,096	0,051	2135,268	0,095	3977,46
0,023	962,964	0,052	2177,136	0,096	4019,328
0,027	1130,436	0,053	2219,004	0,102	4270,536
0,028	1172,304	0,054	2260,872	0,104	4354,272
0,029	1214,172	0,055	2302,74	0,105	4396,14
0,030	1256,04	0,060	2512,08	0,127	5317,236
0,031	1297,908	0,061	2553,948	0,144	6028,992
0,033	1381,644	0,062	2595,816	0,148	6196,464
0,034	1423,512	0,063	2637,684	0,149	6238,332
0,038	1590,984	0,065	2721,42	0,184	7703,712
0,040	1674,72	0,067	2805,156		
0,041	1716,588	0,069	2888,892		

Theo một số phương án thực hiện, các tốc độ trị số truyền nhiệt (h và h_{CT}) có thể là từ khoảng 0,024 tới khoảng 0,15, khoảng 0,026 tới khoảng 0,10, hoặc khoảng 0,026 tới khoảng 0,075 cal/s·cm²·°C.

Fig.12 thể hiện không gian hiệu quả mới được mở trong MPa của việc nén bề mặt của tấm thủy tinh như là hàm của độ dày t (theo mm), bởi đồ thị của $C(h,t) \cdot \Psi(SLG)$ cho các trị số được chọn của h theo các phương trình 6-9 nêu trên, với $\Psi(SLG)$ tương ứng với trị số của Ψ cho SLG trong bảng 2. Các đường được dán nhãn GC thể hiện khoảng giới hạn được ước lượng của các ứng suất tối đa so với độ mỏng của các tấm SLG có thể đạt được bởi việc ram đối lưu khí, từ 0,02 cal/s·cm²·°C (hoặc

840 W/m²K) tới 0,03 cal/s·cm²·°C hoặc 1250 W/m²K, giả sử rằng ác mức này của hệ số truyền nhiệt có thể được áp dụng trong việc xử lý tại độ nhớt thủy tinh được gia nhiệt là 10^{8.2} Poises hoặc khoảng 704°C, nhiệt độ bên trên khả năng của các quy trình khí đối lưu.

Các ví dụ của các trị số CS tấm được báo cáo cao nhất dựa trên các xử lý ram đối lưu khí được thể hiện bởi các dấu đánh dấu tam giác được gắn nhãn “khí” trong ghi chú. Trị số 601 thể hiện khả năng hiệu quả hoạt động của sản phẩm được quảng cáo của thiết bị thương mại, trong khi trị số 602 là dựa trên báo cáo miệng của hội nghị xử lý thủy tinh. Đường được dán nhãn LC thể hiện đường cong của các ứng suất tối đa so với độ mỏng của các tấm SLG được ước lượng để có thể đạt được bởi việc ram tiếp xúc chất lỏng, được cho bởi tốc độ truyền nhiệt h là 0,0625 cal/s·cm²·°C (hoặc khoảng 2600 W/m²K), cũng giả sử việc xử lý tại độ nhớt thủy tinh được gia nhiệt ban đầu là 10^{8.2} Poise hoặc khoảng 704°C. Các ví dụ của các trị số CS tấm được báo cáo cao nhất dựa trên các xử lý ram tiếp xúc chất lỏng được thể hiện bởi các dấu đánh dấu hình tròn được gắn nhãn “chất lỏng” trong ghi chú. Trị số cao hơn trong hai trị số tại độ dày 2 mm là dựa trên báo cáo của việc ram của tấm thủy tinh bo silicat, và ứng suất đạt được đã được điều chỉnh tỉ lệ cho hình vẽ bởi $(\Psi_{SLG})/(\Psi_{borosilicate})$ cho việc so sánh trực tiếp được điều chỉnh tỉ lệ.

Đường được dán nhãn 704 thể hiện các ứng suất có thể thu được bởi một hoặc nhiều phương án thực hiện của các phương pháp và hệ thống hiện được bộc lộ tại tốc độ truyền nhiệt 0,20 cal/s·cm²·°C (hoặc khoảng 8370 W/m²K) và nhiệt độ khởi tạo, ngay trước khi tôi, là 704 °C. Các mức ứng suất trên tấm thủy tinh do đó là có thể đạt được, thể hiện hầu hết cùng một phạm vi cải thiện hơn các mức độ bền ram chất lỏng do việc ram chất lỏng thể hiện hơn trạng thái của việc ram đối lưu khí trong tình trạng kỹ thuật. Nhưng đường được dán nhãn 704 không phải là giới hạn trên – các phương án thực hiện không được thể hiện là có thể làm được trên trị số này do việc điều khiển tốt của hình dáng và độ phẳng có thể đạt được trong việc gia cường nhiệt bộ mang khí, khe hở nhỏ tại các nhật độ thậm chí là cao hơn (tại các độ nhớt thấp hơn của thủy tinh). Đường được dán nhãn 730 thể hiện một số hiệu quả gia cường bổ sung đạt được bởi tốc độ truyền nhiệt là 0,20 cal/s·cm²·°C (hoặc khoảng 8370 W/m²K) tại nhiệt độ

bắt đầu cho tấm SLG 730°C, rất gần hoặc ở trên điểm làm mềm của thủy tinh. Các cải thiện đáng kể trong CS và do đó là trong độ bền của tấm thủy tinh do đó đạt được một cách cụ thể nhờ tổ hợp của tốc độ truyền nhiệt cao và việc sử dụng của các nhiệt độ khởi tạo cao được cho phép bởi việc thao tác tốt và điều khiển của độ phẳng của tấm và tạo thành phần mang kín khí - và các cải thiện là đặc biệt nổi bật tại độ dày 2 mm và thấp hơn.

Fig.13 thể hiện các đường của Fig.12 được giải thích ở trên, tại 2 mm và thấp hơn, nhưng với CS như là hàm của độ dày được vẽ cho các ví dụ được chọn của các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt bởi một hoặc nhiều phương án thực hiện của sáng chế này, thể hiện tổ hợp cực đoan của các mức gia cường nhiệt và các độ mỏng được cho phép bởi sáng chế này.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học chứa thủy tinh có hệ số nở nhiệt (coefficient of thermal expansion - CTE) thấp. Như được thảo luận ở trên (xem ví dụ, các phương trình 7 và 10), các hiệu ứng gia cường nhiệt là phụ thuộc đáng kể vào CTE của thủy tinh mà tấm thủy tinh được tạo thành. Tuy nhiên, việc gia cường nhiệt của các thủy tinh CTE thấp có thể tạo ra các thành phần thủy tinh được gia cường có các tính chất vượt trội, như khả năng chống chịu hóa học tăng cường, hoặc khả năng tương thích tốt hơn với các thiết bị điện tử do thành phần kiềm thấp. Thủy tinh có các CTE là 65, 60, 55, 50, 45, 40, và thậm chí $35 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ và thấp hơn là có khả năng có các mẫu vỡ giống như thủy tinh an toàn (“kẻ ô”) tại các độ dày nhỏ hơn 4 mm, nhỏ hơn 3,5 mm, nhỏ hơn 3 mm, và thậm chí tại 2 mm hoặc nhỏ hơn. Các thủy tinh có các trị số CTE là $40 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ và thấp hơn có thể được gia cường sử dụng các quy trình được mô tả ở đây.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học chứa thành phần thủy tinh có các trị số CTE từ trung bình tới cao. Các thủy tinh làm ví dụ bao gồm các thủy tinh nhôm silicat kiềm, bo silicat và vôi natri cacbonat. Theo một số phương án thực hiện, các thủy tinh có các CTE lớn hơn 40, lớn hơn 50, lớn hơn 60, lớn hơn 70, lớn hơn 80, hoặc lớn hơn $90 \times 10^{-7} / ^{\circ}\text{C}$ có thể được gia cường nhiệt và gia cường hóa học như được mô tả ở đây. Một số

CTE này có thể là đặc biệt thấp cho việc tôi nhiệt như được bộc lộ ở đây, trong đó mức độ ứng suất căn âm là không nhiều hơn 50 MPa và/hoặc ít hơn 10 MPa.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học thể hiện hiệu quả vượt trội khi được đo bởi thử nghiệm ngưỡng xước Knoop và/hoặc thử nghiệm ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker. Ví dụ, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học thể hiện ngưỡng xước Knoop (khi được đo bởi thử nghiệm ngưỡng xước Knoop) là khoảng 8 N hoặc lớn hơn (ví dụ, 9 N hoặc lớn hơn, 10 N hoặc lớn hơn, 11 N hoặc lớn hơn, 12 N hoặc lớn hơn, 13 N hoặc lớn hơn hoặc 14 N hoặc lớn hơn). Theo một số trường hợp, giới hạn trên của ngưỡng xước Knoop có thể là khoảng 20 N. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học thể hiện ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker (khi được đo bởi thử nghiệm ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker) là khoảng 120 N hoặc lớn hơn. Ví dụ, ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker có thể là khoảng 125 N hoặc lớn hơn, 130 N hoặc lớn hơn, 135 N hoặc lớn hơn, 140 N hoặc lớn hơn, 145 N hoặc lớn hơn, 150 N hoặc lớn hơn, 155 N hoặc lớn hơn hoặc khoảng 160 N hoặc lớn hơn. Giới hạn trên của ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker có thể là khoảng 180 N.

Theo một số ứng dụng và các phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học có thể có thành phần được định cấu hình để có độ bền hóa học. Theo một số phương án thực hiện này, thành phần bao gồm ít nhất 70% silicon đioxit theo khối lượng, và/hoặc ít nhất 10% kali oxit theo khối lượng, và/hoặc ít nhất 7% canxi oxit theo khối lượng. Các vật phẩm thông thường của các thành phần này có thể khó để tôi hóa học tới độ sâu, và/hoặc có thể khó, nếu không nói là không thể, để tôi nhiệt nhờ các phương pháp truyền thống tới độ lớn đủ của ứng suất căn bề mặt âm cho các độ dày mỏng, do việc dễ vỡ và do các lực theo các quy trình truyền thống.

Theo một số phương án thực hiện dự tính, các đế gốc thủy tinh được gia cường thông qua các quy trình và các hệ thống được thảo luận ở đây (như tấm thủy tinh 500) có thể chứa đế vô định hình, đế tinh thể hoặc tổ hợp của chúng, như đế thủy tinh-gốm.

Các đế gốc thủy tinh được gia cường thông qua các quy trình và hệ thống được thảo luận ở đây có thể chứa thủy tinh nhôm silicat kiềm, thủy tinh bo silicat chứa kiềm, thủy tinh nhôm photpho silicat kiềm hoặc thủy tinh nhôm bo silicat kiềm. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các đế gốc thủy tinh có thể chứa thủy tinh có thành phần, theo phần trăm mol (%mol), chứa: SiO_2 trong khoảng giới hạn từ khoảng (ví dụ, cộng hoặc trừ 1%) 40 tới khoảng 80 %mol, Al_2O_3 trong khoảng giới hạn từ khoảng 10 tới khoảng 30 %mol, B_2O_3 trong khoảng giới hạn từ khoảng 0 tới khoảng 10 %mol, R_2O trong khoảng giới hạn từ khoảng 0 tới khoảng 20 %mol, và/hoặc RO trong khoảng giới hạn từ khoảng 0 tới khoảng 15 %mol. Theo một số phương án thực hiện dự tính, thành phần có thể chứa một trong hai hoặc cả hai thành phần ZrO_2 trong khoảng giới hạn từ khoảng 0 tới khoảng 5 %mol và P_2O_5 trong khoảng giới hạn từ khoảng 0 tới khoảng 15 %mol. Theo một số phương án thực hiện dự tính, TiO_2 có thể có mặt từ khoảng 0 tới khoảng 2 %mol.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm gốc thủy tinh hoặc đế (trước khi được gia cường hóa học như được mô tả ở đây) có thể bao gồm thành phần thủy tinh, theo phần trăm mol (%mol), chứa:

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. Như được sử dụng ở đây, R_2O đề cập tới các oxit kim loại kiềm như Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , và Cs_2O . Như được sử dụng ở đây RO đề cập tới MgO , CaO , SrO , BaO , ZnO và dạng tương tự. 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, chế phẩm thủy tinh có thể bao gồm SiO_2 với lượng, tính theo %mol, nằm trong phạm vi 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, từ khoảng 50 đến khoảng 65, hoặc từ khoảng 60 đến khoảng 65.

Theo một số phương án thực hiện, chế phẩm thủy tinh có thể bao gồm Al_2O_3 với lượng, tính theo %mol, nằm trong phạm vi 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, 15 đến khoảng 30, hoặc từ khoảng 12 đến khoảng 18.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, chế phẩm 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, chế phẩm thủy tinh hầu như là không chứa B_2O_3 . Như được sử dụng ở đây, cụm từ "hầu như là không chứa" liên quan đến các thành phần của chế phẩm thủy tinh có nghĩa là thành phần này không được bổ sung một cách chủ động hoặc được dự tính trước vào chế phẩm thủy tinh trong quá trình phối liệu ban đầu hoặc quá trình trao đổi ion sau đó, nhưng có thể có mặt dưới dạng tạp chất. Ví dụ, thủy tinh có thể được mô tả là hầu như không chứa một thành phần khi thành phần đó có mặt với lượng nhỏ hơn khoảng 0,1001 %mol. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, việc thêm vào của bo làm tăng hệ số nhiệt độ cao của việc nở nhiệt của thành phần thủy tinh, mà có thể tạo thành vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học thể hiện trị số CT cao hơn, sau khi gia cường nhiệt. Theo một số phương án thực hiện, trị số CT cao hơn này về cơ bản được duy trì hoặc thậm chí được tăng sau khi gia cường hóa học.

Theo một số phương án thực hiện, chế phẩm thủy tinh có thể chứa một hoặc nhiều oxit kim loại kiềm thổ, như MgO , CaO và ZnO . Theo một số phương án 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 phạm vi từ khoảng 0,01 đến 10, từ khoảng 0,01 đến 8, từ khoảng 0,01 đến 6, từ khoảng 0,01 đến 5, từ khoảng 0,05 đến 10, từ khoảng 0,05 đến 2, hoặc từ khoảng 0,05 đến 1. Lượng của MgO có thể nằm trong phạm vi từ khoảng 0 %mol đến khoảng 5 %mol (ví dụ, từ khoảng 0,001 đến khoảng 1, từ khoảng 0,01 đến khoảng 2, hoặc từ khoảng 2 %mol đến khoảng 4 %mol). Lượng của ZnO có thể nằm trong phạm vi từ khoảng 0 đến khoảng 2 %mol (ví dụ, từ khoảng 1 %mol đến khoảng 2 %mol). Lượng CaO có thể nằm trong phạm vi từ khoảng 0 %mol đến khoảng 2 %mol. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, chế phẩm thủy tinh có thể chứa MgO và có thể hầu như không chứa CaO và ZnO. Theo một biến thể, chế phẩm thủy tinh có thể chứa oxit bất kỳ trong số CaO hoặc ZnO và có thể hầu như không chứa các oxit khác còn lại trong số MgO, CaO và ZnO. Theo một hoặc nhiều phương án cụ thể, chế phẩm thủy tinh có thể chứa chỉ hai trong số các oxit kim loại kiềm thổ trong số MgO, CaO và ZnO và có thể là hầu như không chứa oxit thứ ba trong số các oxit kim loại kiềm thổ này.

Tổng lượng, tính theo %mol, của các oxit kim loại kiềm R_2O trong chế phẩm thủy tinh có thể nằm trong 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, chế phẩm thủy tinh bao gồm Na_2O với lượng nằm trong phạm vi từ khoảng 0 %mol đến khoảng 18 %mol, từ khoảng 0 %mol đến khoảng 16 %mol hoặc từ khoảng 0 %mol đến khoảng 14 %mol, từ khoảng 0 %mol đến khoảng 12 %mol, từ khoảng 2 %mol đến khoảng 18 %mol, từ khoảng 4 %mol đến khoảng 18 %mol, từ khoảng 6 %mol đến khoảng 18 %mol, từ khoảng 8

%mol đến khoảng 18 %mol, từ khoảng 8 %mol đến khoảng 14 %mol, từ khoảng 8 %mol đến khoảng 12 %mol, hoặc từ khoảng 10 %mol đến khoảng 12 %mol. Theo một số phương án thực hiện, thành phần có thể chứa ít nhất khoảng 4 %mol Na_2O . Theo một số phương án thực hiện, thành phần có thể chứa nhỏ hơn khoảng 4 %mol Na_2O .

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 chế phẩm thủy tinh này lại được trao đổi ion đến mức DOC sâu hơn, như được mô tả ở đây. Lượng Na_2O có thể biến đổi độ nhớt đường lỏng nhưng cũng có thể ức chế sự trao đổi ion đến các mức DOC sâu hơn.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, chế phẩm thủy tinh có thể chứa K_2O với lượng nhỏ hơn khoảng 5 %mol, nhỏ hơn khoảng 4 %mol, nhỏ hơn khoảng 3 %mol, nhỏ hơn khoảng 2 %mol, hoặc nhỏ hơn khoảng 1 %mol. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện khác, chế phẩm thủy tinh có thể hầu như không chứa, như được định nghĩa ở đây, K_2O .

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

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

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

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, chế phẩm 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, chế phẩm thủy tinh hầu như là không chứa P_2O_5 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, chế phẩm 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, chế phẩm 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 phạm vi 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, chế phẩm thủy tinh có thể là hầu như không chứa chất tạo mầm. Ví dụ về chất tạo mầm điển hình là TiO_2 , ZrO_2 và các chất tương tự. Các chất tạo mầm có thể được mô tả về mặt chức năng trong đó các chất tạo mầm

là các thành phần cấu tạo trong thủy tinh mà có thể khởi xướng sự tạo thành các mầm tinh thể trong thủy tinh.

Theo một số phương án thực hiện dự tính, các thành phần được sử dụng cho các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây có thể được tạo mẻ với 0 đến 2 %mol của ít nhất một tác nhân làm trong được chọn từ một hoặc nhiều thành phần bất kỳ trong số Na_2SO_4 , NaCl , NaF , NaBr , K_2SO_4 , KCl , KF , KBr , As_2O_3 , Sb_2O_3 , và SnO_2 . Thành phần thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện còn có thể chứa SnO_2 trong khoảng giới hạn từ khoảng 0 tới khoảng 2 %mol, từ khoảng 0 tới khoảng 1 %mol, từ khoảng 0,1 tới khoảng 2 %mol, từ khoảng 0,1 tới khoảng 1 %mol, hoặc từ khoảng 1 tới khoảng 2 %mol. Các thành phần thủy tinh được bộc lộ ở đây cho các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh có thể về cơ bản là không có As_2O_3 và/hoặc Sb_2O_3 , theo một số phương án thực hiện.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, thành phần của các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể cụ thể là chứa từ khoảng 62 %mol đến 75 %mol SiO_2 ; từ khoảng 10.5 %mol tới khoảng 17 %mol Al_2O_3 ; từ khoảng 5 %mol tới khoảng 13 %mol Li_2O ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 4 %mol ZnO ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 8 %mol MgO ; từ khoảng 2 %mol tới khoảng 5 %mol TiO_2 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 4 %mol B_2O_3 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 5 %mol Na_2O ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 4 %mol K_2O ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 2 %mol ZrO_2 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 7 %mol P_2O_5 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 0,3 %mol Fe_2O_3 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 2 %mol MnOx ; và từ khoảng 0,05 %mol tới khoảng 0,2 %mol SnO_2 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, thành phần của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa từ khoảng 67 %mol tới khoảng 74 %mol SiO_2 ; từ khoảng 11 %mol tới khoảng 15 %mol Al_2O_3 ; từ khoảng 5,5 %mol tới khoảng 9 %mol Li_2O ; từ khoảng 0.5 %mol tới khoảng 2 %mol ZnO ; từ khoảng 2 %mol tới khoảng 4,5 %mol MgO ; từ khoảng 3 %mol tới khoảng 4,5 %mol TiO_2 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 2,2 %mol B_2O_3 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 1 %mol Na_2O ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 1 %mol K_2O ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 1 %mol ZrO_2 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 4 %mol P_2O_5 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 0,1

%mol Fe_2O_3 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 1,5 %mol MnO_x ; và từ khoảng 0,08 %mol tới khoảng 0,16 %mol SnO_2 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, thành phần của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa từ khoảng 70 %mol tới 75 %mol SiO_2 ; từ khoảng 10 %mol tới khoảng 15 %mol Al_2O_3 ; từ khoảng 5 %mol tới khoảng 13 %mol Li_2O ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 4 %mol ZnO ; từ khoảng 0,1 %mol tới khoảng 8 %mol MgO ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 5 %mol TiO_2 ; từ khoảng 0,1 %mol tới khoảng 4 %mol B_2O_3 ; từ khoảng 0,1 %mol tới khoảng 5 %mol Na_2O ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 4 %mol K_2O ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 2 %mol ZrO_2 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 7 %mol P_2O_5 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 0,3 %mol Fe_2O_3 ; từ khoảng 0 %mol tới khoảng 2 %mol MnO_x ; và từ khoảng 0,05 %mol tới khoảng 0,2 %mol SnO_2 .

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, thành phần của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa từ khoảng 52 %mol tới khoảng 65 %mol SiO_2 ; từ khoảng 14 %mol tới khoảng 18 %mol Al_2O_3 ; từ khoảng 5,5 %mol tới khoảng 7 %mol Li_2O ; từ khoảng 1 %mol tới khoảng 2 %mol ZnO ; từ khoảng 0,01 %mol tới khoảng 2 %mol MgO ; từ khoảng 4 %mol tới khoảng 12 %mol Na_2O ; từ khoảng 0,1 %mol tới khoảng 4 %mol P_2O_5 ; và từ khoảng 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, thành phần của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa ít nhất 0,5 %mol P_2O_5 , Na_2O và, tùy chọn là, Li_2O , trong đó $\text{Li}_2\text{O}(\text{\%mol})/\text{Na}_2\text{O}(\text{\%mol}) < 1$. Ngoài ra, các thành phần này có thể hầu như không chứa B_2O_3 và K_2O . Theo một số phương án thực hiện, thành phần này có thể bao gồm ZnO , MgO , và SnO_2 .

Theo một số phương án thực hiện, thành phần của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể bao gồm: từ khoảng 58 %mol tới khoảng 65 %mol SiO_2 ; từ khoảng 11 %mol tới khoảng 19 %mol Al_2O_3 ; từ khoảng 0,5 %mol tới khoảng 3 %mol P_2O_5 ; từ khoảng 6 %mol tới khoảng 18 %mol Na_2O ; từ 0 %mol tới khoảng 6 %mol MgO ; và từ 0 %mol tới khoảng 6 %mol ZnO . Theo một số phương án thực

hiện, thành phần có thể bao gồm 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, thành phần của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể chứa các quan hệ 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.

Theo các phương án thực hiện được dự tính, các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh có thể chứa các thành phần thủy tinh nhôm silicat kiềm hoặc các thành phần thủy tinh nhôm bo silicat kiềm. Một thành phần thủy tinh làm ví dụ bao gồm SiO_2 , B_2O_3 và Na_2O , trong đó $(\text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3) \geq 66 \% \text{mol}$, và/hoặc $\text{Na}_2\text{O} \geq 9 \% \text{mol}$. Theo một phương án thực hiện, hỗn hợp thủy tinh bao gồm ít nhất 6% khối lượng nhôm oxit. Theo phương án thực hiện khác, các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây có thể chứa thành phần thủy tinh với một hoặc nhiều oxit kiềm thổ, sao cho thành phần của các oxit kiềm thổ ít nhất là 5 % khối lượng. Các thành phần thủy tinh thích hợp, theo một số phương án thực hiện, còn bao gồm ít nhất một thành phần trong số K_2O , MgO và CaO . Theo phương án thực hiện cụ thể, các thành phần thủy tinh được sử dụng trong tấm hoặc vật phẩm thủy tinh hoặc thủy tinh-gốm được thảo luận ở đây có thể bao gồm 61-75 %mol SiO_2 ; 7-15 %mol Al_2O_3 ; 0-12 %mol B_2O_3 ; 9-21 %mol Na_2O ; 0-4 %mol K_2O ; 0-7 %mol MgO ; và/hoặc 0-3 %mol CaO .

Thành phần làm ví dụ khác thích hợp cho các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây bao gồm: 60-70 %mol SiO_2 ; 6-14 %mol Al_2O_3 ; 0-15 %mol B_2O_3 ; 0-15 %mol Li_2O ; 0-20 %mol Na_2O ; 0-10 %mol K_2O ; 0-8 %mol MgO ; 0-10 %mol CaO ; 0-5 %mol ZrO_2 ; 0-1 %mol SnO_2 ; 0-1 %mol CeO_2 ; nhỏ hơn 50 ppm As_2O_3 ; và nhỏ hơn 50 ppm Sb_2O_3 ; trong đó $12 \% \text{mol} \leq (\text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \leq 20 \% \text{mol}$ và/hoặc $0 \% \text{mol} \leq (\text{MgO} + \text{CaO}) \leq 10 \% \text{mol}$. Thành phần thủy tinh làm ví dụ

khác nữa thích hợp cho các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây bao gồm: 63,5-66,5 %mol SiO₂; 8-12 %mol Al₂O₃; 0-3 %mol B₂O₃; 0-5 %mol Li₂O; 8-18 %mol Na₂O; 0-5 %mol K₂O; 1-7 %mol MgO; 0-2,5 %mol CaO; 0-3 %mol ZrO₂; 0,05-0,25 %mol SnO₂; 0,05-0,5 %mol CeO₂; nhỏ hơn 50 ppm As₂O₃; và nhỏ hơn 50 ppm Sb₂O₃; trong đó $14\% \text{mol} \leq (\text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \leq 18\% \text{mol}$ và/hoặc $2\% \text{mol} \leq (\text{MgO} + \text{CaO}) \leq 7\% \text{mol}$.

Theo cách phương án thực hiện được dự tính cụ thể, thành phần thủy tinh nhôm silicat kiềm thích hợp cho các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây bao gồm nhôm, ít nhất một kim loại kiềm và, theo một số phương án thực hiện, lớn hơn 50 %mol SiO₂, theo các phương án thực hiện khác ít nhất 58 %mol SiO₂, và theo phương án thực hiện khác nữa, ít nhất 60 %mol SiO₂, trong đó tỷ lệ (Al₂O₃ + B₂O₃)/Σ các chất điều chỉnh (tức là, tổng các chất điều chỉnh) là lớn hơn 1, trong đó trong tỷ lệ, các thành phần được biểu thị bằng %mol và các chất điều chỉnh là các oxit kim loại kiềm. Hỗn hợp thủy tinh này, theo các phương án thực hiện cụ thể, bao gồm: 58-72 %mol SiO₂; 9-17 %mol Al₂O₃; 2-12 %mol B₂O₃; 8-16 %mol Na₂O; và/hoặc 0-4 %mol K₂O, trong đó tỷ lệ (Al₂O₃ + B₂O₃)/Σ các chất điều chỉnh (tức là, tổng các chất điều chỉnh) là lớn hơn 1. Theo phương án thực hiện khác nữa, các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh có thể bao gồm thành phần thủy tinh nhôm silicat kiềm bao gồm: 64-68 %mol SiO₂; 12-16 %mol Na₂O; 8-12 %mol Al₂O₃; 0-3 %mol B₂O₃; 2-5 %mol K₂O; 4-6 %mol MgO; và 0-5 %mol CaO, trong đó: $66\% \text{mol} \leq \text{SiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{CaO} \leq 69\% \text{mol}$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} > 10\% \text{mol}$; $5\% \text{mol} \leq \text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} \leq 8\% \text{mol}$; $(\text{Na}_2\text{O} + \text{B}_2\text{O}_3) - \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2\% \text{mol}$; $2\% \text{mol} \leq \text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 6\% \text{mol}$; và $4\% \text{mol} \leq (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 10\% \text{mol}$. Theo phương án thực hiện thay thế, các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây có thể bao gồm thành phần thủy tinh nhôm silicat kiềm bao gồm: 2 %mol hoặc nhiều hơn là Al₂O₃ và/hoặc ZrO₂, hoặc 4 %mol hoặc nhiều hơn là Al₂O₃ và/hoặc ZrO₂.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các đế thủy tinh có thể thể hiện điểm biến dạng là khoảng 500 °C hoặc lớn hơn. Ví dụ, điểm biến dạng có thể là khoảng 550 °C hoặc lớn hơn, khoảng 600 °C hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 650 °C hoặc lớn hơn.

Theo các phương án thực hiện được dự tính, các ví dụ của các gốm thủy tinh thích hợp cho các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây có thể chứa các gốm thủy tinh hệ $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (tức là hệ LAS), các gốm thủy tinh hệ $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (tức là MAS-System), và/hoặc các gốm thủy tinh chứa pha tinh thể chiếm ưu thế chứa dung dịch rắn tinh thể β , β -spodumen ss, cocđierit, và liti đisilicat. Các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây có thể khác biệt ở cách mà chúng được tạo thành. Ví dụ, các tấm hoặc vật phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh được gia cường được thảo luận ở đây có thể khác biệt ở chỗ nó có thể được tạo hình nổi (tức là, được tạo hình bởi quy trình nổi), rút xuống được, và cụ thể là có thể tạo hình dung hợp được hoặc rút được qua khe (tức là, được tạo hình bởi quy trình rút xuống như quy trình rút dung hợp hoặc quy trình rút qua khe).

Các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh có thể được tạo hình nổi có thể đặc trưng bởi các bề mặt trơn và độ dày thống nhất, và được tạo ra bởi thủy tinh nóng chảy nổi trên bề 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 gốm thủy tinh hoặc 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 phần gốc thủy tinh rắn có thể được nhấc ra khỏi thiếc vào các con lăn. Khi ra khỏi bề thiếc, đế 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 xuống tạo ra các đế gốc thủy tinh có độ dày thống nhất mà có các bề mặt tương đối ban sơ. Vì độ bền uốn trung bình của các đế gốc thủy tinh được kiểm soát bằng số lượng và kích cỡ của các khuyết tật bề mặt, nên bề mặt ban sơ có sự tiếp xúc tối thiểu sẽ có độ bền ban đầu cao hơn. Nếu sau đó các đế gốc thủy tinh có độ bền cao này được gia cường thêm như được mô tả ở đây, thì độ bền thu được có thể cao hơn độ bền của đế gốc thủy tinh với bề mặt mà đã được mài và đánh bóng. Các đế gốc thủy tinh được rút xuống có thể được rút tới độ dày nhỏ hơn khoảng 2 mm (ví dụ 1,5 mm, 1 mm, 0,75 mm, 0,6 mm, 0,5 mm, 0,4 mm, 0,3 mm, 0,2 mm, 0,1 mm, 0,075 mm, 0,050 mm). Ngoài ra, các đế gốc thủy tinh được rút xuống có bề mặt rất phẳng và

mịn có thể được sử dụng trong ứng dụng cuối cùng của nó mà không cần thêm việc mài và đánh bóng tốn kém. Trong khi các đế gốc thủy tinh là gốm thủy tinh thì các đế gốc thủy tinh được tạo thành từ quy trình rút xuống 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 mép này để dung hợp và tạo ra vật phẩm thủy tinh chảy duy nhất. Phương pháp rút 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 thủy tinh thu được sẽ tiếp xúc với phần bất kỳ của thiết bị. Do đó, các tính chất bề mặt của vật đế gốc thủy tinh được kéo dung hợp sẽ không bị ảnh hưởng bởi sự tiếp xúc này. Nếu các đế gốc thủy tinh là gốm thủy tinh, thì các đế gốc thủy tinh được 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 xuống dưới dạng đế gốc thủy tinh liên tục và vào trong vùng ủ. Trong khi đế gốc thủy tinh là gốm thủy tinh thì đế gốc thủy tinh được tạo thành từ quy trình rút xuống có thể được đưa vào quy trình gốm hóa mà nhờ đó một hoặc nhiều pha tinh thể sẽ được tạo ra.

Theo một số phương án thực hiện, đế gốc thủy tinh có thể được tạo thành sử dụng quy trình cán mỏng, như được mô tả trong bằng sáng chế Mỹ số U.S. 8,713,972, U.S. 9,003,835, công bố bằng sáng chế Mỹ số U.S. No. 2015/0027169, và công bố bằng sáng chế Mỹ số U.S. No. 20050099618, các nội dung của chúng được kết hợp ở đây để tham khảo. Cụ thể hơn là, vật phẩm thủy tinh hoặc gốm thủy tinh có thể được

tạo ra bằng cách cung cấp dòng thủy tinh nóng chảy thẳng đứng, tạo hình dòng thủy tinh hoặc gồm thủy tinh nóng chảy đã cấp bằng cấp con lăn tạo hình được duy trì ở nhiệt độ bề mặt khoảng 500°C hoặc cao hơn hoặc khoảng 600°C hoặc cao hơn để tạo ra dải thủy tinh được tạo hình có độ dày được tạo hình, định cỡ dải thủy tinh được tạo hình này bằng cấp con lăn định cỡ được duy trì ở nhiệt độ bề mặt khoảng 400°C hoặc thấp hơn để tạo ra dải thủy tinh được định cỡ có độ dày mong muốn nhỏ hơn độ dày được tạo hình và có tính đồng đều về độ dày mong muốn. Thiết bị được sử dụng để tạo ra dải thủy tinh có thể gồm thiết bị cấp thủy tinh để cung cấp dòng cấp thủy tinh nóng chảy; cấp con lăn tạo hình được duy trì ở nhiệt độ bề mặt khoảng 500°C hoặc cao hơn, các con lăn tạo hình được đặt cách biệt, gần kề với nhau xác định ra khe tạo hình thủy tinh giữa các con lăn tạo hình với khe tạo hình thủy tinh được bố trí thẳng đứng phía dưới thiết bị cấp thủy tinh để nhận dòng cấp thủy tinh nóng chảy và làm mỏng dòng cấp thủy tinh nóng chảy giữa các con lăn tạo hình để tạo ra dải thủy tinh được tạo hình có độ dày được tạo hình; và cấp con lăn định cỡ được duy trì ở nhiệt độ bề mặt khoảng 400°C hoặc thấp hơn, các con lăn định cỡ này được đặt cách biệt, gần kề với nhau, xác định ra khe định cỡ thủy tinh giữa các trục định cỡ với khe định cỡ thủy tinh được bố trí thẳng đứng phía dưới các con lăn tạo hình để nhận dải thủy tinh được tạo hình và làm mỏng dải thủy tinh được tạo hình này để tạo ra dải thủy tinh được định cỡ có độ dày mong muốn và tính đồng đều về độ dày mong muốn.

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

Theo các phương án thực hiện được dự tính, các đế hoặc các vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây có thành phần khác nhau theo bề mặt bên. Trên một phía của tấm thủy tinh hoặc gồm thủy tinh 500, thành phần làm ví dụ là: 69-75 % khối lượng SiO_2 , 0-1,5 % khối lượng Al_2O_3 , 8-12 % khối lượng CaO , 0-0,1 % khối lượng Cl , 0-500 ppm Fe , 0-500 ppm K , 0,0-4,5 % khối lượng MgO , 12-15 % khối lượng Na_2O , 0-

0,5 % khối lượng SO_3 , 0-0,5 % khối lượng SnO_2 , 0-0,1 % khối lượng SrO , 0-0,1 % khối lượng TiO_2 , 0-0,1 % khối lượng ZnO , và/hoặc 0-0,1 % khối lượng ZrO_2 . Trên mặt khác của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây, thành phần làm ví dụ là: 73,16 % khối lượng SiO_2 , 0,076 % khối lượng Al_2O_3 , 9,91 % khối lượng CaO , 0,014 % khối lượng Cl , 0,1 % khối lượng Fe_2O_3 , 0,029 % khối lượng K_2O , 2,792 % khối lượng MgO , 13,054 % khối lượng Na_2O , 0,174 % khối lượng SO_3 , 0,001 SnO_2 , 0,01 % khối lượng SrO , 0,01 % khối lượng TiO_2 , 0,002 % khối lượng ZnO , và/hoặc 0,005 % khối lượng ZrO_2 .

Theo các phương án thực hiện được dự tính khác, thành phần của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây chứa SiO_2 55-85 % khối lượng, Al_2O_3 0-30 % khối lượng, B_2O_3 0-20 % khối lượng, Na_2O 0-25 % khối lượng, CaO 0-20 % khối lượng, K_2O 0-20 % khối lượng, MgO 0-15 % khối lượng, BaO 5-20 % khối lượng, Fe_2O_3 0,002-0,06 % khối lượng, và/hoặc Cr_2O_3 0,0001-0,06 % khối lượng. Theo các phương án thực hiện được dự tính khác, thành phần của các đế hoặc vật phẩm gốc thủy tinh được thảo luận ở đây chứa SiO_2 60-72 %mol, Al_2O_3 3,4-8 %mol, Na_2O 13-16 %mol, K_2O 0-1 %mol, MgO 3,3-6 %mol, TiO_2 0-0,2 %mol, Fe_2O_3 0,01-0,15 %mol, CaO 6,5-9 %mol, và/hoặc SO_3 0,02-0,4 %mol.

Một khía cạnh khác của phần bộc lộ này đề cập tới phương pháp gia cường đế thủy tinh. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, phương pháp bao gồm bước làm nguội đế thủy tinh (có thể ở dạng tấm) có nhiệt độ chuyển tiếp từ nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ chuyển tiếp tới nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ chuyển tiếp bằng cách truyền năng lượng nhiệt từ tấm thủy tinh tới bộ phận tản nhiệt bằng cách dẫn qua khe không có vật chất rắn hoặc lỏng để tạo ra vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt, và sau đó gia cường hóa học vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, phương pháp bao gồm bước truyền năng lượng nhiệt từ tấm thủy tinh tới bộ phận tản nhiệt nhờ việc dẫn nhiệt sao cho nhiều hơn 20% của năng lượng nhiệt rời khỏi tấm thủy tinh đi qua khe và được nhận bởi bộ phận tản nhiệt để gia cường nhiệt cho tấm thủy tinh. Theo một số ví dụ, khoảng 25% hoặc nhiều hơn, khoảng 30% hoặc nhiều hơn, khoảng 35% hoặc nhiều hơn, khoảng 40% hoặc nhiều hơn, khoảng 45% hoặc nhiều hơn, khoảng 50% hoặc nhiều hơn, hoặc khoảng 60% hoặc nhiều hơn của

phần năng lượng nhiệt được truyền bằng cách dẫn nhiệt từ tấm thủy tinh tới bộ phận tản nhiệt qua khe. Theo một số phương án thực hiện, tốc độ làm nguội có thể là khoảng $-270\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ hoặc lớn hơn (ví dụ, $-280\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ hoặc lớn hơn, $-290\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ hoặc lớn hơn, $-300\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ hoặc lớn hơn, $-310\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ hoặc lớn hơn, hoặc $-320\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ hoặc lớn hơn).

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia cường hóa học mà không loại bỏ phần bất kỳ nào của tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt. Ví dụ, vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia cường hóa học mà không loại bỏ 3% hoặc nhiều hơn (hoặc 2% hoặc nhiều hơn, hoặc 1 % hoặc nhiều hơn) độ dày của vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt.

Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt có độ dày và DOC lớn hơn hoặc bằng với 0,17 lần độ dày của vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt. Theo một số ví dụ, vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học thể hiện độ dày và DOC lớn hơn hoặc bằng với 0,17 lần độ dày. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, việc gia cường hóa học các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt bao gồm việc tạo ra CS bề mặt khoảng 700 MPa hoặc lớn hơn, trong khi vẫn duy trì DOC.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, việc gia cường hóa học tấm vật phẩm được gia cường nhiệt bao gồm việc sinh ra vùng gia cường hóa học mở rộng từ bề mặt thứ nhất của lớp gốc thủy tinh tới DOL là lớn hơn hoặc bằng với khoảng 10 micrômet.

Phương pháp theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, việc gia cường hóa học vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt bao gồm việc nhúng tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt vào trong bể muối nóng chảy bao gồm một hoặc nhiều thành phần bất kỳ trong số KNO_3 , NaNO_3 , và LiNO_3 . Theo một số phương án thực hiện, bể muối nóng chảy bao gồm KNO_3 và NaNO_3 và có nhiệt độ trong khoảng giới hạn từ khoảng $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ tới khoảng $430\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Một khía cạnh khác của sáng chế này đề cập tới sản phẩm điện tử tiêu dùng chứa vỏ có bề mặt phía trước, bề mặt phía sau và các bề mặt bên, các thành phần điện tử chứa ít nhất bộ phận điều khiển, bộ nhớ, bộ phận hiển thị và vật phẩm che phủ. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các thành phần điện tử có thể được chứa trong

hoặc được tạo ra ít nhất một phần là ở bên trong vỏ. Bộ phận hiển thị của một hoặc nhiều phương án thực hiện có thể được tạo ra tại hoặc liền kề với bề mặt phía trước của vỏ. Theo một số phương án thực hiện, vật phẩm che phủ được tạo ra tại hoặc trên bề mặt phía trước của vỏ qua bộ phận hiển thị. Vật phẩm gốc thủy tinh che phủ có thể chứa một hoặc nhiều phương án thực hiện của các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được mô tả ở đây. Thiết bị điện tử tiêu dùng theo một hoặc nhiều phương án thực hiện có thể là điện thoại di động, thiết bị chơi phương tiện di động, thiết bị điện tử đeo được (ví dụ đồng hồ, bộ giám sát tập luyện) máy tính xách tay hoặc máy tính bảng.

Đề cập tới Fig.14A, vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện 1310 có thể có độ cong và/hoặc kích thước mặt cắt thay đổi D. Các vật phẩm này có thể có các độ dày được bộc lộ ở đây có số trung bình của kích cỡ D hoặc là trị số tối đa của kích cỡ D. Mặc dù vật phẩm gốc thủy tinh 1310 được thể hiện là tấm được làm cong, nhưng các hình dạng khác, như các hình phức tạp hơn, có thể được gia cường bởi các quy trình được bộc lộ ở đây. Theo các phương án thực hiện được dự tính, vật phẩm gốc thủy tinh 1310 có thể được sử dụng như là cửa sổ cho xe (ví dụ, cửa sổ trời), làm thấu kính, làm bộ phận chứa, hoặc cho các ứng dụng khác.

Theo một số phương án thực hiện, các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có một hoặc nhiều lớp phủ được đặt trên thủy tinh trước khi gia cường nhiệt tấm thủy tinh. Các quy trình được thảo luận ở đây có thể được sử dụng để tạo ra các tấm thủy tinh được gia cường có một hoặc nhiều lớp phủ, và, theo một số phương án thực hiện này, lớp phủ được đặt trên thủy tinh trước khi gia cường nhiệt và không bị ảnh hưởng bởi quy trình gia cường nhiệt. Các lớp phủ cụ thể có ưu điểm được bảo quản theo cách có lợi trên các tấm thủy tinh theo sáng chế này bao gồm các lớp phủ E thấp, các lớp phủ phản xạ, các lớp phủ chống phản xạ, các lớp phủ chống dấu vân tay, các bọc lọc cắt, các lớp phủ nhiệt phân, v.v..

Một khía cạnh khác của sáng chế này đề cập tới các tấm cán chứa các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây. Ví dụ, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tấm cán có thể chứa tấm gốc thủy tinh thứ nhất 16, tấm gốc thủy tinh thứ hai 12 và lớp xen giữa 14 được bố trí giữa tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai, trong

đó một trong hai hoặc cả hai tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học như được mô tả ở đây, như được thể hiện trên Fig.14B.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, một tấm trong số tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai có thể được tạo hình nguội. Theo các phương pháp tạo hình nguội làm ví dụ được thể hiện trên Fig.14C, tấm thủy tinh 16 có thể được cán thành tấm thủy tinh dày hơn và được làm cong 12. Kết quả của việc cán tạo hình nguội này là bề mặt của tấm thủy tinh mỏng 17 liền kề với lớp xen giữa 14 sẽ có mức nén được giảm so với bề mặt đối diện 19 của tấm thủy tinh mỏng. Hơn nữa, quy trình cán tạo hình nguội này có thể tạo thành mức ứng suất nén cao trên bề mặt 19 tạo ra bề mặt chống chịu tốt hơn với nứt vỡ từ việc mài mòn và có thể còn thêm ứng suất nén trên bề mặt 13 của tấm thủy tinh dày hơn 12 cũng làm cho bề mặt này chống chịu tốt hơn với nứt vỡ từ việc mài mòn. Theo một số phương án thực hiện không hạn chế, quy trình tạo hình nguội làm ví dụ có thể xuất hiện tại hoặc ngay trên nhiệt độ làm mềm của vật liệu lớp xen giữa (ví dụ, khoảng 100 °C tới khoảng 120 °C), nghĩa là, tại nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ làm mềm của các tấm thủy tinh tương ứng. Quy trình này có thể xuất hiện sử dụng túi chân không hoặc vòng nôi hấp hoặc thiết bị thích hợp khác. Các hình vẽ Fig.14D và Fig.14E là các biên dạng ứng suất mặt cắt của lớp thủy tinh bên trong làm ví dụ theo một số phương án thực hiện của sáng chế này. Có thể quan sát được trên Fig.14D rằng biên dạng ứng suất cho tấm thủy tinh mỏng 16 thể hiện các ứng suất nén về cơ bản là đối xứng trên các bề mặt 17, 19 của chúng với vùng ứng suất trung tâm. Với tham khảo tới Fig.14E, có thể thấy rằng biên dạng ứng suất cho tấm thủy tinh mỏng 16, theo phương án thực hiện được tạo hình nguội làm ví dụ, tạo ra dịch chuyển trong ứng suất nén, nghĩa là bề mặt 17 liền kề lớp xen giữa 14 có ứng suất nén được làm giảm so với bề mặt đối diện 19. Khác biệt này trong ứng suất có thể được giải thích sử dụng quan hệ sau:

$$\sigma = E y / \rho$$

Trong đó E thể hiện suất đàn hồi của vật liệu rầm, y thể hiện khoảng cách vuông góc từ trục trọng tâm tới điểm quan tâm (bề mặt của thủy tinh), và ρ thể hiện bán kính cong tới trọng tâm của tấm thủy tinh. Nó tiếp theo việc uốn của tấm thủy tinh 16 thông

qua việc tạo hình nguội có thể tạo ra ứng suất căng cơ học hoặc ứng suất nén bị giảm trên bề mặt 17 liên kết với lớp xen giữa 14 trong so sánh với bề mặt đối diện 19 của tấm thủy tinh 16.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các tấm cán có thể chứa lớp xen giữa chứa vật liệu polyme như, nhưng không hạn chế ở, poly vinyl butyral (PVB), polycarbonat, PVB âm học, etylen vinyl acetat (EVA), polyuretan dẻo nhiệt (thermoplastic polyurethane - TPU), ionome, vật liệu dẻo nhiệt, và các tổ hợp của chúng.

Theo một số phương án thực hiện, tấm gốc thủy tinh thứ nhất được tạo dạng cong phức tạp và có ít nhất một bề mặt cong lõm tạo ra bề mặt thứ nhất của tấm cán và ít nhất một bề mặt cong lồi để tạo ra bề mặt thứ hai của tấm cán đối diện bề mặt thứ nhất với độ dày ở giữa đó, và tấm gốc thủy tinh thứ hai được tạo dạng cong phức tạp và có ít nhất một bề mặt cong lõm để tạo ra bề mặt thứ ba của tấm cán và ít nhất một bề mặt cong lồi để tạo ra bề mặt thứ tư của tấm cán đối diện bề mặt thứ ba với độ dày ở giữa đó. Theo các phương án thực hiện này, các bề mặt thứ ba và thứ tư một cách tương ứng có các trị số CS sao cho bề mặt thứ tư có trị số CS là lớn hơn trị số CS của bề mặt thứ ba.

Như được sử dụng ở đây "cong phức tạp", "được làm cong theo cách phức tạp", "để được làm cong phức tạp" và "để được làm cong theo cách phức tạp" nghĩa là hình dạng không phẳng có các đường cong đơn hoặc phức, còn được đề cập tới như là các hình không có khả năng phát triển được, chứa, nhưng không chỉ giới hạn ở bề mặt cầu, bề mặt không cầu, bề mặt hình xuyên, trong đó độ cong của hai trục vuông góc (nằm ngang và thẳng đứng) là khác nhau, có thể, ví dụ là hình xuyên, cầu và elip. Các tấm cán được tạo dạng cong phức theo các phương án thực hiện cũng có thể chứa các phân đoạn hoặc các phần của các bề mặt này, hoặc được tạo thành từ tổ hợp của các đường cong và bề mặt này. Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, tấm cán có thể có dạng đường cong phức chứa bán kính chính và độ cong mặt cắt. Tấm cán được tạo dạng cong phức theo các phương án thực hiện có thể có bán kính cong phân biệt trong hai hướng độc lập. Do đó, theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, các tấm cán được tạo dạng cong phức có thể đặc trưng ở chỗ có "độ cong theo mặt cắt," trong đó tấm cán

được làm cong dọc theo trục song song với hướng đã cho và cũng được làm cong dọc theo trục vuông góc với cùng một hướng đó. Độ cong của tấm cán thậm chí có thể phức tạp hơn khi bán kính tối thiểu đáng kể được kết hợp với độ cong mặt cắt đáng kể và/hoặc độ sâu uốn. Một số tấm cán cũng có thể chứa việc uốn dọc theo cách trục uốn không vuông góc với trục dài của đế thủy tinh phẳng. Như là ví dụ không giới hạn, cửa sổ trời của xe thường có các số đo là khoảng 0,5 m x 1,0 m và có bán kính cong là 2 đến 2,5 m dọc theo trục phụ, và bán kính cong từ 4 đến 5 m dọc theo trục chính.

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, lớp xen giữa có thể chứa nhựa polyvinyl butyral (PVB), copolyme etylenvinylacetat hoặc chất dẻo nhiệt polyuretan (TPU).

Theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, một đế trong số đế gốc thủy tinh thứ nhất hoặc đế gốc thủy tinh thứ hai có độ dày trong khoảng giới hạn là khoảng 0,2 mm tới khoảng 0,7 mm. Theo một số phương án thực hiện, bề mặt thứ tư của tấm cán có CS cao hơn bề mặt thứ tư ở trong trạng thái phẳng và tấm cán là không có các nhiễu loạn quang học. Theo một hoặc nhiều biến thể, phần ngoại vi của đế gốc thủy tinh thứ hai gây ra lực nén lên lớp xen giữa, và phần trung tâm của đế gốc thủy tinh thứ hai gây ra lực căng lên lớp xen giữa. Trong một số trường hợp, đế gốc thủy tinh thứ hai phù hợp với đế gốc thủy tinh thứ nhất để tạo ra khoảng cách về cơ bản là đồng đều giữa bề mặt cong lõm của đế gốc thủy tinh thứ hai và bề mặt cong lồi của đế gốc thủy tinh thứ nhất, được điền đầy bởi lớp xen giữa xen vào.

Một khía cạnh khác của phần bộc lộ này liên quan tới phương tiện giao thông bao gồm phần mở; và tấm cán như được mô tả ở đây được bố trí trong phần mở. Độ dày của tấm cán có thể thay đổi theo phương tiện giao thông. Ví dụ, phương tiện giao thông có thể bao gồm xe tải hạng nặng và tấm cán có thể có độ dày lớn hơn khoảng 3 mm. Theo một số phương án thực hiện, phương tiện giao thông có thể chứa xe hành khách hoặc xe tải và có thể có độ dày là khoảng 2,6 mm hoặc nhỏ hơn.

Các ví dụ

Các phương án thực hiện khác nhau sẽ được làm rõ hơn nhờ các ví dụ sau. Trong các ví dụ sau, đế gốc thủy tinh tại độ dày cụ thể, t , được gia cường nhiệt từ nhiệt độ ban đầu mong muốn, T_0 , hệ số truyền nhiệt mong muốn, h .

Thiết bị gia cường nhiệt được chứa trong ba vùng – vùng nóng, vùng chuyển tiếp và vùng nguội hoặc tôi. Thiết bị chứa các phần mang nhiệt đỉnh và đáy (hoặc các bộ phận tản nhiệt) và các khe hở giữa các phần mang nhiệt đỉnh và đáy trong vùng nóng và vùng tôi được đặt tới khoảng cách mong muốn. Các tốc độ dòng khí trong vùng nóng, vùng chuyển tiếp, và vùng tôi được đặt để đảm bảo việc định tâm của đế gốc thủy tinh trên bộ mang không khí. Vùng nóng được gia nhiệt từ trước tới T_0 , là nhiệt độ mong muốn mà từ đó đế gốc thủy tinh sau đó được tôi tại các tốc độ truyền nhiệt cao (h , theo đơn vị là $\text{cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$). Để đảm bảo việc gia nhiệt đồng đều, các đế gốc thủy tinh được gia nhiệt từ trước trong thiết bị gia nhiệt từ trước tách biệt như lò theo mẻ hoặc lò liên tục. Nói chung, các đế gốc thủy tinh được gia nhiệt từ trước trong thời gian lớn hơn 5 phút trước khi tải vào trong vùng nóng. Với các đế gốc thủy tinh với natri cacbonat, việc gia nhiệt từ trước được thực hiện quanh 450°C . Sau pha gia nhiệt từ trước, đế gốc thủy tinh được tải vào trong vùng nóng và được cho phép cân bằng, trong đó sự cân bằng là trạng thái mà thủy tinh là đồng đều T_0 . T_0 có thể được xác định bởi mức gia cường nhiệt mong muốn, nhưng thường được giữ trong khoảng giới hạn giữa nhiệt độ điểm làm mềm và nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh. Thời gian để cân bằng là phụ thuộc ít nhất vào độ dày của đế gốc thủy tinh. Ví dụ, với các đế gốc thủy tinh ở dạng tấm có độ dày xấp xỉ 1,1 mm hoặc nhỏ hơn, cân bằng xuất hiện trong xấp xỉ 10 giây. Với các đế gốc thủy tinh dày 3mm ở dạng tấm, cân bằng xuất hiện trong xấp xỉ từ 10 giây tới 30 giây. Với các tấm dày hơn, lên tới xấp xỉ 6 mm, thời gian cân bằng có thể ở trên mức 60 giây. Khi đế gốc thủy tinh đã được cân bằng tới T_0 , nó nhanh chóng được chuyển tới vùng chuyển tiếp trên các phần mang không khí và vào trong vùng nguội hoặc vùng tôi. Đế gốc thủy tinh được tôi nhanh chóng trong vùng tôi tới nhiệt độ bên dưới nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh, T_g . Đế gốc thủy tinh có thể được duy trì trong vùng tôi trong thời gian bất kỳ từ 1 giây, 10 giây hoặc vài phút hoặc nhiều hơn, phụ thuộc vào mức độ tôi mong muốn và/hoặc nhiệt độ mong muốn của vật phẩm gốc thủy tinh tạo thành tại lúc loại bỏ. Khi loại bỏ, vật phẩm gốc thủy tinh tùy chọn được cho phép làm nguội trước khi xử lý.

Như được minh họa bởi các ví dụ, không có hạn chế trên độ dày trừ các giới hạn được quy định bởi việc xử lý gia cường nhiệt (tức là, hệ số truyền nhiệt được chọn, h). Nghĩa là, trong quy trình gia cường nhiệt truyền thống, độ dày bị hạn chế tới lớn hơn

khoảng 1,5 mm, trong đó các ví dụ tiếp theo minh họa rằng các phương án thực hiện của sáng chế này là thể mỏng hơn một cách đáng kể. Trong các ví dụ sau, nhiệt độ ban đầu T_0 thường được chọn để ở đâu đó giữa điểm làm mềm của đế gốc thủy tinh và khoảng 100°C thấp hơn điểm làm mềm đó.

Sau khi được gia cường nhiệt, các vật phẩm gốc thủy tinh sau đó sẽ được đưa vào xử lý gia cường hóa học bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy. Thành phần bể nóng chảy và thời gian nhúng được mô tả ở dưới. Như được minh họa ở đây, theo một số phương án thực hiện, nhiệt độ mà tại đó quy trình gia cường hóa học được thực hiện là đủ thấp để không ủ hoặc làm giảm CS được sinh ra bởi quy trình gia cường nhiệt, nhưng đủ cao để thu được DOL mong muốn và DOL mong muốn trong một thời gian ngắn. Do vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt có nhiệt độ hư cấu rất cao, nên độ nhót của vật phẩm gốc thủy tinh là không cân bằng và thư giãn ứng suất tại các nhiệt độ tăng sẽ xuất hiện nhanh hơn với phần được dự đoán từ đường cong độ nhót cân bằng.

Vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học được tạo thành có thể đặc trưng bởi hai kỹ thuật đơn giản sau: 1) CS bề mặt, CS, và DOL có thể được đo sử dụng kỹ thuật FSM; và 2) CT và DOC được đo sử dụng SCALP.

Theo một số phương án thực hiện, tác dụng của các quy trình gia cường nhiệt và gia cường hóa học trên tính năng cơ học của các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể được đánh giá theo nhiều cách bao gồm nhưng không hạn chế ở: thử nghiệm rơi, thử nghiệm cào xước, thử nghiệm ấn lõm, và uốn 4 điểm. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, hiệu quả hoạt động của các vật phẩm gốc thủy tinh được mô tả ở đây có thể được dự đoán bởi các trị số CS, CT, DOC, và/hoặc DOL được thể hiện. Ví dụ, CS bề mặt cao hơn tạo ra cải thiện đáng kể trong thử nghiệm uốn, cào xước, và thử nghiệm ấn lõm. Nhiệt độ hư cấu cao tạo ra lực chống chịu phá hủy được cải thiện trong thử nghiệm ấn lõm và cào xước. Thử nghiệm rơi là thử nghiệm việc chịu pháp hủy và tác động mạnh mẽ hơn tới DOC, và có thể, thậm chí là nhiệt độ hư cấu. Do đó, các vật phẩm gốc thủy tinh theo một hoặc nhiều phương án thực hiện, được đưa vào gia cường nhiệt và gia cường hóa học được mô tả ở đây, thể hiện tốt hơn các vật phẩm gốc thủy tinh chỉ được gia cường bởi nhiệt hoặc gia cường hóa học một cách

riêng rẽ hoặc sử dụng tổ hợp các quy trình gia cường nhiệt và gia cường hóa học đã biết. Hiệu quả được cải thiện này được thể hiện bởi nhiều thành phần gốc thủy tinh khác nhau.

Ví dụ 1

Các đế gốc thủy tinh có thành phần danh định là 69 %mol SiO₂, 8,5 %mol Al₂O₃, 14 %mol Na₂O, 1,2 %mol K₂O, 6,5 %mol MgO, 0,5 %mol CaO, và 0,2 %mol SnO₂ và có các độ dày giống nhau được hư cấu tại các nhiệt độ khác nhau trong khoảng giới hạn từ khoảng 575°C tới khoảng 725°C để mô tả việc gia cường hóa học được cải thiện, có thể đạt được sau khi các đế gốc thủy tinh được gia cường nhiệt (hoặc được gia cường để tăng nhiệt độ hư cấu của các đế này). Theo nghĩa khác, các đế gốc thủy tinh được gia nhiệt tới T₀ trong khoảng giới hạn từ khoảng 575 °C tới khoảng 725 °C để xấp xỉ ba lần thời gian thư giãn cấu trúc và sau đó được tôi tới nhiệt độ phòng để làm lạnh trong trạng thái nhiệt độ cao.

Các đế gốc thủy tinh có cùng thành phần danh định và độ dày cũng được gia cường nhiệt bằng cách gia nhiệt tới T₀ 800°C và sau đó tôi tại các tốc độ truyền nhiệt (h) là 0,069 cal/cm²-s-°C, 0,028 cal/cm²-s-°C, và 0,013 cal/cm²-s-°C, như được thể hiện trên bảng 4.

Các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt tạo thành sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100% KNO₃ có nhiệt độ là khoảng 410°C cho nhiều thời gian khác nhau lên tới khoảng 8 giờ. DOL của từng vật phẩm trong các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học được đánh giá bởi kỹ thuật FSM, và các hệ số khuếch tán trao đổi ion được ước lượng sử dụng phương trình: $DOL = 2*1,4*SQRT(D*t)$ hoặc $2*1,4*\sqrt{(D*t)}$, trong đó D là hệ số khuếch tán, như được thể hiện trên bảng 4.

Như được mô tả trên bảng 4, hệ số khuếch tán trao đổi ion của các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học được quan sát để tương ứng với trạng thái nhiệt độ hư cấu. Cụ thể là, các vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt mạnh mẽ hơn hoặc cao hơn thể hiện nhiệt độ hư cấu cao và hệ số khuếch tán cao. Vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt tạo thành thể hiện DOC sâu và do đó

việc gia cường hóa học sau đó không gây ra việc giảm đáng kể trong DOC (được sinh ra từ đầu từ quy trình gia cường nhiệt).

Bảng 4: Các tác động nhiệt độ hư cấu và việc ram nhiệt trên hệ số khuếch tán trao đổi ion của các vật phẩm gốc thủy tinh của ví dụ 1.

Nhiệt độ hư cấu (°C)	Hệ số khuếch tán tại 410°C (cm ² /giây)
575	$7,30 \times 10^{-11}$
600	$7,60 \times 10^{-11}$
625	$9,30 \times 10^{-11}$
650	$1,03 \times 10^{-10}$
675	$1,05 \times 10^{-10}$
685	$1,06 \times 10^{-10}$
700	$1,09 \times 10^{-10}$
725	$1,18 \times 10^{-10}$
Được ram (h = 0,013 cal/cm ² -s-°C)	$8,39 \times 10^{-11}$
Được ram (h = 0,028 cal/cm ² -s-°C)	$8,76 \times 10^{-11}$
Được ram (h = 0,069 cal/cm ² -s-°C)	$1,21 \times 10^{-10}$

Ví dụ 2

Các đế thủy tinh có cùng thành phần như các đế thủy tinh của ví dụ 1 và có độ dày là khoảng 1,1 mm được gia cường nhiệt tại các tốc độ truyền nhiệt khác nhau và sau đó được gia cường hóa học, như được thể hiện trên bảng 5.

Cụ thể, ví dụ 2A-1 chứa vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng 800 °C và sau đó được tôi tại $h=0,069$ cal/cm²-s-°C, ví dụ 2B-1 chứa vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng 800 °C và sau đó được tôi tại $h=0,028$ cal/cm²-s-°C, và ví dụ 2C-1 chứa vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng 800 °C và sau đó được tôi tại $h=0,013$ cal/cm²-s-°C. các ví dụ 2A-2 đến 2A-5, 2B-2 đến 2B-5, và 2C-2 đến 2C-5 chứa các vật phẩm thủy tinh chứa cùng một đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như các ví dụ 2A-1, 2B-1 và 2C-1, một cách tương ứng, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100% KNO₃ có nhiệt độ là 410°C cho các thời gian khác nhau giữa 10 phút và 1 giờ, theo bảng 5.

Bảng 5: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho các ví dụ 2A-1 đến 2A-5, 2B-1 đến 2B-5, và 2C-1 đến 2C-5.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T_0 , h)	Thời gian gia cường hóa học
Ví dụ 2A-1	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,069\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không
Ví dụ 2A-2	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,069\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	10 phút
Ví dụ 2A-3	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,069\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	15 phút
Ví dụ 2A-4	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,069\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	30 phút
Ví dụ 2A-5	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,069\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	60 phút
Ví dụ 2B-1	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,028\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không
Ví dụ 2B-2	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,028\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	10 phút
Ví dụ 2B-3	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,028\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	15 phút
Ví dụ 2B-4	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,028\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	30 phút
Ví dụ 2B-5	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,028\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	60 phút
Ví dụ 2C-1	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,013\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không
Ví dụ 2C-2	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,013\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	10 phút
Ví dụ 2C-3	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,013\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	15 phút
Ví dụ 2C-4	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,013\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	30 phút
Ví dụ 2C-5	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,013\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	60 phút

Ví dụ so sánh 2D chứa cùng một đế thủy tinh như các ví dụ 2A-1 đến 2A-5, 2B-1 đến 2B-5, và 2C-1 đến 2C-5, nhưng chỉ được đưa vào xử lý gia cường hóa học đã biết (và không được gia cường nhiệt) chứa việc nhúng vào trong bể muối nóng chảy 100% KNO_3 có nhiệt độ là $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 5,5 giờ. Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 6-8. Như được thể hiện trên bảng 6-

8, ví dụ so sánh 2D thể hiện DOL là khoảng 44 micrômet và CS bề mặt là khoảng 750 MPa. Bằng cách chọn các điều kiện gia cường hóa học tức thời, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học của các ví dụ 2A đến 2C thể hiện các trị số CS bề mặt có thể so sánh được như ví dụ so sánh 2D, nhưng từ việc nhúng ngập (hoặc thời gian gia cường hóa học) ngắn hơn đáng kể, trong khi cũng thể hiện DOC tổng lớn hơn nhiều lần so với trị số có thể đạt được bởi riêng quy trình gia cường hóa học.

Bảng 6: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của ví dụ 2A-1 đến 2A-5, và ví dụ so sánh 2D.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ 2A-1	165	71	0	250	22,9
Ví dụ 2A-2	766	57	9,0	240	22,0
Ví dụ 2A-3	753	57	11,3	236	21,6
Ví dụ 2A-4	760	58	14,1	236	21,6
Ví dụ 2A-5	746	62	20,2	215	19,7
Ví dụ so sánh 2D	752	31	44,3	44	4,1

Bảng 7: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của ví dụ 2B-1 đến 2B-5, và ví dụ so sánh 2D.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ 2B-1	73	48	0	210	19,3
Ví dụ 2B-2	846	32	8,6	205	18,8
Ví dụ 2B-3	837	33	10,0	194	17,8
Ví dụ 2B-4	826	34	13,6	182	16,7
Ví dụ 2B-5	817	36	17,9	167	15,3
Ví dụ so sánh 2D	752	31	44,3	44	4,1

Bảng 8: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của ví dụ 2C-1 đến 2C-5, và ví dụ so sánh 2D.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
-------	-------------	-------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------------

Ví dụ 2C-1	47	33	0	200	18,3
Ví dụ 2C-2	833	35	8,0	181	16,6
Ví dụ 2C-3	837	37	9,5	173	15,9
Ví dụ 2C-4	831	38	13,0	162	14,8
Ví dụ 2C-5	813	40	17,1	142	13,0
Ví dụ so sánh 2D	752	31	44,3	44	4,1

Bằng cách gia cường nhiệt tại các tốc độ truyền nhiệt cao hơn (hoặc sinh ra vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt mạnh mẽ hơn), các trị số CS bề mặt cao có thể được sinh ra bởi việc gia cường hóa học sau đó mà không làm giảm một cách đáng kể DOC được sinh ra bởi quy trình gia cường nhiệt. Như được thể hiện trên bảng 6 đến 8, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt tại các tốc độ truyền nhiệt cao hơn (tức là, $h=0,069 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$) duy trì các trị số DOC sau khi được gia cường hóa học. Việc duy trì các trị số DOC cũng được thể hiện trên Fig.15, thể hiện các vật phẩm thủy tinh của ví dụ 2A, được gia cường nhiệt tại tốc độ truyền nhiệt cao thể hiện đường dốc nông hơn một cách đáng kể hoặc việc giảm trong DOC, với việc tăng DOL.

Các đế thủy tinh (trước khi được gia cường nhiệt và/hoặc được gia cường hóa học) của ví dụ 2, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt của các ví dụ 2A-1, 2B-1 và 2C-1, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học của các ví dụ 2A-2, 2B-2 và 2C-2, và vật phẩm thủy tinh được gia cường hóa học của ví dụ so sánh 2D được so sánh theo nghĩa của tính năng cơ học. Cụ thể, các mẫu của các đế hoặc các vật phẩm thủy tinh này được đưa vào thử nghiệm rơi tăng dần (sử dụng hai loại khác nhau của các bề mặt rơi giấy ráp) thử nghiệm uốn bốn điểm, thử nghiệm ngưỡng ấn lõm Vicker và thử nghiệm ngưỡng xước Knoop. Các kết quả của mỗi thử nghiệm được thể hiện trên bảng 9.

Trong thử nghiệm rơi tăng dần, các đế thủy tinh hoặc các vật phẩm được định cỡ để có các kích thước xấp xỉ 50 mm x 110 mm và sau đó được đánh vào các vỏ điện thoại di động vỏ giống nhau. Các cụm sau đó được rơi từng cụm lên trên giấy ráp 180 grit ở các khoảng cách độ cao 20 cm bắt đầu từ 20 cm lên tới 220 cm. Các cụm được rơi sao cho các đế thủy tinh hoặc các vật phẩm tác động vào giấy ráp. Thủy tinh còn tồn tại được qua tất cả các lần rơi tới độ cao rơi 220 cm sau đó sẽ được cho rơi lên giấy

ráp 30 grit từ cùng các khoảng gián đoạn độ cao, cho tới khi lỗi xuất hiện. Độ cao rơi trung bình được thể hiện trên bảng 9. Thử nghiệm rơi tăng dần cung cấp đánh giá thô về hiệu quả của thủy tinh khi bị phá hủy lặp lại.

Trong việc uốn bốn điểm, các mẫu của từng thành phần trong của các đế hoặc vật phẩm thủy tinh được đưa vào tải uốn là 5mm/phút, sử dụng khoảng tải 18mm và khoảng đỡ 36 mm, với băng trên phía nén và bề mặt Teflon tiếp xúc với phía của mẫu bị căng, và các mẫu được kiểm tra cho tới khi xuất hiện lỗi. Các mẫu bị thất bại dưới dao tải sẽ không được xem xét.

Trong thử nghiệm ngưỡng ấn lõm Vicker, các mẫu của đế thủy tinh và các vật phẩm được ấn lõm lặp đi lặp lại bằng mũi kim cương (theo góc 136°) với tải gia tăng. Mỗi một lần ấn lõm có tiềm năng tạo ra 4 vết nứt tỏa tròn, mỗi vết từ một góc ấn lõm. Bằng cách đếm số lượng vết nứt theo hướng kính trung bình tại mỗi tải ấn lõm, có thể xác định được ngưỡng nứt vỡ là tải mà tại đó, có trung bình 2 vết nứt trên mỗi điểm ấn lõm (hoặc ngưỡng nứt 50%).

Trong thử nghiệm ngưỡng cào xước Knoop, các mẫu đế thủy tinh và các vật phẩm trước tiên được làm xước bằng dụng cụ ấn lõm Knoop trong điều kiện tải động và dốc để nhận dạng khoảng tải bắt đầu nứt mặt bên đối với nhóm mẫu. Khi khoảng tải có thể áp dụng được nhận dạng, một loạt vết xước tải không đổi gia tăng (tối thiểu 3 hoặc nhiều hơn trên mỗi tải) được thực hiện để nhận dạng ngưỡng xước Knoop. Khoảng 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.

Bảng 9: Tính năng cơ học của đế thủy tinh không được gia cường của ví dụ 2, và các vật phẩm thủy tinh của các ví dụ 2A-1, 2A-2, 2B-1, 2B-2, 2C-1 và 2C-2 và ví dụ so sánh 2D.

	Rơi 180 grit (cm)	Rơi 30 grit (cm)	4-PB (MPa)	Vicker (N)	Knoop (N)
--	----------------------	---------------------	---------------	---------------	--------------

Đế thủy tinh không được gia cường của ví dụ 2	--	--	173	< 2	6 - 8
Ví dụ so sánh 2D (chỉ được gia cường hóa học, tại 420°C trong 5,5 giờ)	86	24	683	40 - 50	4 - 6
Ví dụ 2A-1 (chỉ được gia cường nhiệt, tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,058$)	196	117	296	20 - 30	4 - 6
Ví dụ 2A-2 (được gia cường nhiệt tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,058$, và được gia cường hóa học tại 410°C trong 10 phút)	204	176	717	150 - 200	12 - 14
Ví dụ 2B-1 (chỉ được gia cường nhiệt, tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,028$)	182	120	290	4 - 6	4 - 6
Ví dụ 2B-2 (được gia cường nhiệt tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,028$, và được gia cường hóa học tại 410°C trong 10 phút)	220	152	661	150 - 200	10 - 12
Ví dụ 2C-1 (chỉ được gia cường nhiệt, tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,013$)				< 2	4 - 6
Ví dụ 2C-2 (được gia cường nhiệt tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,013$, và được gia cường hóa học tại 410°C trong 10 phút)				100-150	8 - 10

Ví dụ 3

Các đế thủy tinh có cùng thành phần như các đế thủy tinh của ví dụ 1 và có độ dày là khoảng 0,7 mm được gia cường nhiệt tại các tốc độ truyền nhiệt khác nhau và sau đó được gia cường hóa học, như được thể hiện trên bảng 10.

Cụ thể là, ví dụ 3A-1 chứa vật phẩm thủy tinh nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng 800 °C và sau đó được tôi tại $h=0,073 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$. các ví dụ 3A-2 đến 3A-4 chứa các vật phẩm thủy tinh chứa cùng một đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như ví dụ 3A-1, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100% KNO_3 có nhiệt độ là 410°C cho các thời gian khác nhau giữa 10 phút và 1 giờ, theo bảng 10.

Bảng 10: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho các ví dụ 3A-1 đến 3A-4.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T_0 , h)	Thời gian gia cường hóa học
Ví dụ 3A-1	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,073\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không
Ví dụ 3A-2	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,073\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	10 phút
Ví dụ 3A-3	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,073\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	15 phút
Ví dụ 3A-4	$T_0 = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,073\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	30 phút

Ví dụ so sánh 3B chứa cùng một đế thủy tinh nhưng chỉ được đưa vào xử lý gia cường hóa học đã biết (và không được gia cường nhiệt) chứa việc nhúng trong bể muối nóng chảy 100% KNO_3 có nhiệt độ là $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 5,5 giờ. Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 11. Như được thể hiện trên bảng 11, ví dụ so sánh 3B thể hiện DOL là khoảng 45 micrômet và CS bề mặt là khoảng 710 MPa. Bằng cách chọn các điều kiện gia cường hóa học tức thời, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học của các ví dụ 3A-1 đến 3A-4 thể hiện các trị số CS bề mặt có thể so sánh được như ví dụ so sánh 3B, nhưng từ việc nhúng ngập (hoặc thời gian gia cường hóa học) ngắn hơn đáng kể, trong khi cũng thể hiện DOC tổng lớn hơn nhiều lần so với trị số có thể đạt được bởi riêng quy trình gia cường hóa học.

Bảng 11: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của ví dụ 3A-1 đến 3A-4, và ví dụ so sánh 3B.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ 3A-1	122	63	0	172	24,9
Ví dụ 3A-2	737	49	7,6	155	22,4
Ví dụ 3A-3	742	48	10,5	135	19,5
Ví dụ 3A-4	728	52	14,1	142	20,5
Ví dụ so sánh 3B	710	43	44,8	44,8	6,5

Các đế thủy tinh (trước khi được gia cường nhiệt và/hoặc được gia cường hóa học) của ví dụ 3, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt của các ví dụ 3A-1 và 3A-2, và vật phẩm thủy tinh được gia cường hóa học của ví dụ so sánh 3B được so sánh theo nghĩa của tính năng cơ học. Cụ thể, các mẫu của các đế hoặc các vật phẩm thủy tinh này được đưa vào thử nghiệm rơi tăng dần (sử dụng hai loại khác nhau của các bề mặt rơi giấy ráp) thử nghiệm uốn bốn điểm, thử nghiệm ngưỡng ấn lõm Vicker và thử nghiệm ngưỡng xước Knoop, như được mô tả ở trên, trong ví dụ 2. Các kết quả của mỗi thử nghiệm được thể hiện trên bảng 12.

Bảng 12: Tính năng cơ học của đế thủy tinh không được gia cường của ví dụ 3, và vật phẩm thủy tinh của các ví dụ 3A-1 và 3A-2, và ví dụ so sánh 3B.

	Rơi 180 grit (cm)	4-PB (MPa)	Vicker (N)	Knoop (N)
Đế thủy tinh không được gia cường của ví dụ 3	--	121	4 - 6	2 - 4
Ví dụ so sánh 3B (chỉ được gia cường hóa học, tại 420°C trong 5,5 giờ)	62	578	70 - 80	4 - 6
Ví dụ 3A-1 (chỉ được gia cường nhiệt, tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,073$)	116	267	20 - 30	4 - 6
Ví dụ 3A-2 (được gia cường nhiệt tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,058$, và được gia cường hóa học tại 410°C trong 10 phút)	104	628	150 - 200	10 - 12

Ví dụ 4

Các đế thủy tinh có cùng thành phần như các đế thủy tinh của ví dụ 1 và có độ dày là khoảng 0,55 mm được gia cường nhiệt tại các tốc độ truyền nhiệt khác nhau và sau đó được gia cường hóa học, như được thể hiện trên bảng 13.

Cụ thể là, ví dụ 4A-1 chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng 800 °C và sau đó được tôi tại $h=0,084 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$. Các ví dụ 4A-2 đến 4A-5 chứa các vật phẩm thủy tinh chứa cùng một đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như ví dụ 4A-1, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100%

KNO_3 có nhiệt độ là 410°C cho các thời gian khác nhau giữa 10 phút và 1 giờ, theo bảng 13.

Bảng 13: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho các ví dụ 4A-1 đến 4A-5.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T_0 , h)	Thời gian gia cường hóa học
Ví dụ 4A-1	$T_0 = 800^\circ\text{C}$ $h=0,084 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	Không
Ví dụ 4A-2	$T_0 = 800^\circ\text{C}$ $h=0,084 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	10 phút
Ví dụ 4A-3	$T_0 = 800^\circ\text{C}$ $h=0,084 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	15 phút
Ví dụ 4A-4	$T_0 = 800^\circ\text{C}$ $h=0,084 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	30 phút
Ví dụ 4A-5	$T_0 = 800^\circ\text{C}$ $h=0,084 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	60 phút

Ví dụ so sánh 4B chứa cùng một đế thủy tinh nhưng chỉ được đưa vào xử lý gia cường hóa học đã biết (và không được gia cường nhiệt) chứa việc nhúng trong bể muối nóng chảy 100% KNO_3 có nhiệt độ là 420°C trong 5,5 giờ. Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 14. Như được thể hiện trên bảng 14, ví dụ so sánh 4B thể hiện DOL là khoảng 44 micrômet và CS bề mặt là khoảng 750 MPa. Bằng cách chọn các điều kiện gia cường hóa học tức thời, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học của các ví dụ 4A-1 đến 4A-5 thể hiện các trị số CS bề mặt có thể so sánh được như ví dụ so sánh 4B, nhưng từ việc nhúng ngập (hoặc thời gian gia cường hóa học) ngắn hơn đáng kể, trong khi cũng thể hiện DOC tổng lớn hơn nhiều lần so với trị số có thể đạt được bởi riêng quy trình gia cường hóa học.

Bảng 14: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của ví dụ 4A-1 đến 4A-5, và ví dụ so sánh 4B.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ 4A-1	116	53	0	131	23,7
Ví dụ 4A-2	832	41	8,9	126	22,8
Ví dụ 4A-3	803	39	9,7	119	21,5

Ví dụ 4A-4	784	38	13,3	112	20,3
Ví dụ 4A-5	770	38	19,3	106	19,2
Ví dụ so sánh 4B	754	60	43,6	43,6	7,9

Các đế thủy tinh (trước khi được gia cường nhiệt và/hoặc được gia cường hóa học) của ví dụ 4, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt của các ví dụ 4A-1 và 4A-2, và vật phẩm thủy tinh được gia cường hóa học của ví dụ so sánh 4B được so sánh theo nghĩa của tính năng cơ học. Cụ thể, các mẫu của các đế thủy tinh hoặc các vật phẩm này được đưa vào thử nghiệm ngưỡng ấn lõm Vicker và thử nghiệm ngưỡng xước Knoop, như được mô tả ở trên trong ví dụ 2. Các kết quả của mỗi thử nghiệm được thể hiện trên bảng 15.

Bảng 15: Tính năng cơ học của đế thủy tinh không được gia cường của ví dụ 4, và vật phẩm thủy tinh của các ví dụ 4A-1 và 4A-2, và ví dụ so sánh 4B.

	Vicker (N)	Knoop (N)
Đế thủy tinh không được gia cường của ví dụ 4	< 2	8 – 10
Ví dụ so sánh 4B (chỉ được gia cường hóa học, tại 420°C trong 5,5 giờ)	60 - 70	4 – 6
Ví dụ 4A-1 (chỉ được gia cường nhiệt, tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,073$)	4 - 6	2 – 4
Ví dụ 4A-2 (được gia cường nhiệt tại $T_0 = 800^\circ\text{C}$, $h = 0,058$, và được gia cường hóa học tại 410°C trong 10 phút)	100 - 150	4 - 6

Ví dụ 5

Các đế thủy tinh có thành phần silicat vôi natri cacbonat và có độ dày là khoảng 1,1 mm được gia cường nhiệt tại các tốc độ truyền nhiệt khác nhau và sau đó được gia cường hóa học, như được thể hiện trên bảng 16.

Cụ thể, ví dụ 5A-1 chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng 710 °C và sau đó được tôi tại $h=0,086 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$. Các ví dụ 5A-2 đến 5A-9 là các vật phẩm thủy tinh chứa cùng một đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như ví dụ 5A-1, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100% KNO_3 có

hiệt độ trong khoảng giới hạn từ khoảng 380 °C tới khoảng 420°C cho các thời gian khác nhau giữa 30 phút và 4 giờ, theo bảng 16.

Bảng 16: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho các ví dụ 5A-1 đến 5A-9.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T_0 , h)	Thời gian và nhiệt độ gia cường hóa học
Ví dụ 5A-1	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	Không
Ví dụ 5A-2	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	4 giờ 380 °C
Ví dụ 5A-3	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	4 giờ 390 °C
Ví dụ 5A-4	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	2 giờ 400 °C
Ví dụ 5A-5	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	4 giờ 400 °C
Ví dụ 5A-6	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	2 giờ 410 °C
Ví dụ 5A-7	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	4 giờ 410 °C
Ví dụ 5A-8	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	2 giờ 420 °C
Ví dụ 5A-9	$T_0 = 710\text{ °C}$ $h=0,086\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	4 giờ 420 °C

Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 17. Như được thể hiện trên bảng 17, bằng cách chọn các điều kiện gia cường hóa học tức thời, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học của các ví dụ 5A-2 đến 5A-9 thể hiện các trị số CS bề mặt cao từ việc nhúng (hoặc thời gian gia cường hóa học) tương đối ngắn, trong khi cũng thể hiện DOC tổng là lớn hơn 19% và thậm chí lớn hơn 21% của độ dày (tức là, lớn hơn 0,19•t hoặc lớn hơn khoảng 0,21•t) của vật phẩm thủy tinh.

Bảng 17: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của ví dụ 5A-1 đến 5A-9.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ 5A-1	188	89	0	234	21,7
Ví dụ 5A-2	700	48	5,5	227	21,0
Ví dụ 5A-3	643	39	6,1	217	20,1
Ví dụ 5A-4	665	36	5,7	224	20,7
Ví dụ 5A-5	574	33	7,3	216	20,0
Ví dụ 5A-6	623	32	6,0	226	20,9
Ví dụ 5A-7	556	28	8,5	212	19,6
Ví dụ 5A-8	603	25	6,4	217	20,1
Ví dụ 5A-9	538	24	9,2	213	19,7

Các hệ số khuếch tán trao đổi ion (theo các đơn vị là $\text{cm}^2/\text{giây}$) được ước lượng từ phương trình $\text{DOL} = 2 \cdot 1.4 \cdot \text{SQRT}(D \cdot t)$ hoặc $2 \cdot 1.4 \cdot \sqrt{(D \cdot t)}$, trong đó D là hệ số khuếch tán, sử dụng dữ liệu ứng suất thu được từ FSM (và thông tin DOL từ bảng 17). Hệ số khuếch tán trao đổi ion của cùng một đế thủy tinh trước khi gia cường nhiệt và trong các điều kiện nôi (T_f xấp xỉ 550°C) cũng được ước lượng bởi cùng một phương pháp và phương trình. Các kết quả so sánh được thể hiện trên bảng 18 và trên Fig.16. Như được thể hiện trên bảng 18 và Fig.16, tại nhiệt độ đã cho bất kỳ, hệ số khuếch tán trao đổi ion của đế thủy tinh vôi natri cacbonat đã được tăng bởi thông số 2 sau khi đế thủy tinh đã được gia cường nhiệt, như được mô tả ở đây.

Bảng 18: Hệ số khuếch tán trao đổi ion của các đế thủy tinh và các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt của ví dụ 5.

Nhiệt độ trao đổi ion ($^\circ\text{C}$)	Khi được nôi ($T_f \approx 550^\circ\text{C}$)	Sau khi gia cường nhiệt ($h = 0,086$ và $T_f \approx 660^\circ\text{C}$)
380	$1,38 \times 10^{-12}$	$2,65 \times 10^{-12}$
390	$1,87 \times 10^{-12}$	$3,33 \times 10^{-12}$
400	$2,48 \times 10^{-12}$	$4,72 \times 10^{-12}$
410	$3,24 \times 10^{-12}$	$6,38 \times 10^{-12}$
420	$4,46 \times 10^{-12}$	$7,55 \times 10^{-12}$

Ví dụ 6

Các đế thủy tinh có thành phần danh định là 57,5 %mol SiO_2 , 16,5 %mol Al_2O_3 , 16 %mol Na_2O , 2,8 %mol MgO và 6,5 %mol P_2O_5 , và có độ dày là khoảng 0,8 mm được gia cường nhiệt tại các tốc độ truyền nhiệt khác nhau và sau đó được gia cường hóa học, như được thể hiện trên bảng 19.

Cụ thể là, ví dụ 6A-1 chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng $830\text{ }^{\circ}\text{C}$ và sau đó được tôi tại $h=0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$, ví dụ 6B-1 chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng $830\text{ }^{\circ}\text{C}$ và sau đó được tôi tại $h=0,045\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$, và ví dụ 6C-1 chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng $830\text{ }^{\circ}\text{C}$ và sau đó được tôi tại $h=0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$. Các ví dụ 6A-2 đến 6A-4, 6B-2 đến 6B-4, và 6C-2 đến 6C-4 chứa các vật phẩm thủy tinh chứa cùng một đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như các ví dụ 6A-1, 6B-1 và 6C-1, một cách tương ứng, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100% KNO_3 có nhiệt độ là khoảng $390\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 15 phút, 30 phút và 60 phút, theo bảng 19.

Bảng 19: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho ví dụ 6.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T_0 , h)	Thời gian và nhiệt độ gia cường hóa học
Ví dụ 6A-1	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không
Ví dụ 6A-2	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	15 phút $390\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ví dụ 6A-3	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	30 phút $390\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ví dụ 6A-4	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	60 phút $390\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ví dụ 6B-1	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,045\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không
Ví dụ 6B-2	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,045\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	15 phút $390\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ví dụ 6B-3	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,045\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	30 phút $390\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ví dụ 6B-4	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	60 phút $390\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ví dụ 6C-1	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không
Ví dụ 6C-2	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	15 phút $390\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ví dụ 6C-3	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	30 phút 390 °C
Ví dụ 6C-4	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	60 phút 390 °C

Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 20. Như được minh họa trong bảng 20 và Fig.17, mức độ gia cường nhiệt lớn hơn tạo thành DOC sâu hơn, đến lượt nó được duy trì về cơ bản là đồng đều sau việc gia cường hóa học sau đó. Một cách tương ứng, bằng cách gia cường nhiệt tới mức độ lớn hơn, có thể thu được các trị số DOL sâu hơn và CS bề mặt cao hơn mà không phải hy sinh DOC.

Bảng 20: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của ví dụ 6A-1 đến 6A-4, 6B-1 đến 6B-4 và 6C-1 đến 6C-4.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ 6A-1	72	36	--	172	21,5
Ví dụ 6A-2	910	46	15,1	140	17,5
Ví dụ 6A-3	880	49	20,5	122	15,3
Ví dụ 6A-4	872	52	26,9	113	14,1
Ví dụ 6B-1	100	49	--	185	23,1
Ví dụ 6B -2	929	55	15,1	148	18,5
Ví dụ 6B-3	887	57	20,7	137	17,1
Ví dụ 6B-4	871	61	26,9	123	15,4
Ví dụ 6C-1	115	59	--	196	24,5
Ví dụ 6C-2	891	65	15,2	170	21,3
Ví dụ 6C-3	878	67	20,6	159	19,9
Ví dụ 6C-4	857	67	27,2	144	18,0

Các hệ số khuếch tán trao đổi ion (theo các đơn vị là $\text{cm}^2/\text{giây}$) được ước lượng từ phương trình $\text{DOL} = 2*1,4*\text{SQRT}(D*t)$ hoặc $2*1,4*\sqrt{(D*t)}$, trong đó D là hệ số khuếch tán, sử dụng dữ liệu ứng suất thu được từ FSM (và thông tin DOL từ bảng 19). Hệ số khuếch tán trao đổi ion của cùng một đế gốc thủy tinh cũng được đo sau khi đế thủy tinh đã được ủ tại nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh 1 giờ (nhưng không được gia

cường nhiệt hoặc được gia cường hóa học). Các kết quả so sánh được thể hiện trên bảng 21 và trên Fig.17. Như được thể hiện trên bảng 21 và Fig.17, tại nhiệt độ đã cho bất kỳ, hệ số khuếch tán trao đổi ion của đế thủy tinh đã được tăng xấp xỉ bởi thông số 2 sau khi thủy tinh trải qua việc gia cường nhiệt như đã được mô tả ở đây.

Bảng 21: Hệ số khuếch tán trao đổi ion của các đế thủy tinh và các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt của ví dụ 6.

Điều kiện	Hệ số khuếch tán IOX tại 390°C (cm ² /giây)
Được ủ	$1,48 \times 10^{-10}$
Sau khi gia cường nhiệt $h = 0,025$	$2,77 \times 10^{-10}$
Sau khi gia cường nhiệt $h = 0,050$	$2,9 \times 10^{-10}$
Sau khi gia cường nhiệt $h = 0,080$	$2,82 \times 10^{-10}$

Ví dụ 7

Các đế thủy tinh có thành phần danh định là 64 %mol SiO₂, 15,7 %mol Al₂O₃, 11 %mol Na₂O, 6,25 %mol Li₂O, 1,2 %mol ZnO, và 2,5 %mol P₂O₅, và có độ dày là khoảng 0,8 mm được gia cường nhiệt tại các tốc độ vận chuyển nhiệt khác nhau và sau đó được gia cường hóa học, như được thể hiện trên bảng 22.

Cụ thể là, ví dụ 7A-1 chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T₀ là khoảng 810 °C và sau đó được tôi tại $h=0,078 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$. Các ví dụ 7A-2 đến 7A-5 là các vật phẩm thủy tinh chứa cùng một đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như ví dụ 7A-1 nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100% KNO₃ có nhiệt độ là khoảng 380 °C và 390 °C trong 15 phút và 30 phút, theo bảng 22.

Bảng 22: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho ví dụ 7.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T ₀ , h)	Thời gian và nhiệt độ gia cường hóa học
Ví dụ 7A-1	T ₀ = 810 °C $h=0,078 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	Không
Ví dụ 7A-2	T ₀ = 810 °C $h=0,078 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	15 phút 380 °C
Ví dụ 7A-3	T ₀ = 810 °C $h=0,078 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	30 phút 380 °C
Ví dụ 7A-4	T ₀ = 810 °C $h=0,078 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	15 phút 390 °C

Ví dụ 7A-5	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,078\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	30 phút 390 °C
------------	--	-------------------

Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 23. Như được minh họa trên bảng 23, bằng cách chọn các điều kiện gia cường hóa học thích hợp, có thể thu được CS bề mặt vượt quá 1 GPa và DOC nhiều hơn 20% của độ dày. Ngoài ra, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành không dễ bị gãy vỡ khi bị vỡ.

Bảng 23: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của ví dụ 7A-1 đến 7A-5.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ 7A-1	128	64	0	198	24,4
Ví dụ 7A-2	1009	72	6,0	167	20,6
Ví dụ 7A-3	1018	70	7,3	163	20,1
Ví dụ 7A-4	1043	63	6,3	161	19,9
Ví dụ 7A-5	1055	77	7,9	150	18,6

Nồng độ K_2O , Na_2O và Li_2O như là hàm của độ sâu của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học của ví dụ 7A-3, 7A-4 và 7A-5 được phân tích bởi vi đầu dò. Các kết quả được thể hiện trên các hình vẽ Fig.18, Fig.19, và Fig.20, một cách tương ứng, thể hiện nồng độ cao của K_2O tại bề mặt và giảm tới khoảng độ sâu là 6 micrômet (Fig.18), 5,5 micrômet (Fig.19) và 7,5 micrômet (Fig.20). Nồng độ của Na_2O tăng tương ứng với việc giảm của K_2O .

Các đế thủy tinh có thành phần danh định là 64 %mol SiO_2 , 15,7 %mol Al_2O_3 , 11 %mol Na_2O , 6,25 %mol Li_2O , 1,2 %mol ZnO , và 2,5 %mol P_2O_5 , và có độ dày là khoảng 0,8 mm được gia cường nhiệt theo cùng các điều kiện như ví dụ 7A-1 để tạo ra các ví dụ so sánh 7B-1 đến 7B-4. Các ví dụ 7A-5 đến 7A-8 là các vật phẩm thủy tinh chứa cùng các đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như các ví dụ so sánh 7B-1 đến 7B-4, nhưng sau đó được gia cường hóa học trong bể muối nóng chảy được trộn lẫn chứa 80% KNO_3 và 20% NaNO_3 và có nhiệt độ là 390 °C trong 0,35 giờ (để tạo Ví dụ 7B-5), 1 giờ (để tạo Ví dụ 7B-6), 1,5 giờ (để tạo Ví dụ 7B-7); và

2 giờ (để tạo Ví dụ 7B-8). Các biên dạng ứng suất của các ví dụ so sánh 7B-1 đến 7B-4 và các ví dụ 7B-5 đến 7B-8 được phân tích bởi SCALP và được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.21 đến Fig.24. Như được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.21 đến Fig.24, trị số CS bề mặt có thể được tăng nhiều hơn 100 MPa trong khi vẫn duy trì DOC sâu (hoặc tối thiểu hóa việc giảm trong DOC), nhờ gia cường hóa học các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, các tính chất duy nhất của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt cho phép gia cường hóa học theo cách này và các tính chất tạo thành theo nghĩa của các biên dạng ứng suất (CS, CT, DOL và DOC).

Các đế thủy tinh có cùng thành phần và độ dày như các ví dụ 7B-1 đến 7B-8 không được gia cường nhiệt nhưng chỉ được gia cường hóa học bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 80% KNO₃ và 20% NaNO₃ và có nhiệt độ là 390 °C trong 0,35 giờ (ví dụ so sánh 7C-1), 1 giờ (ví dụ so sánh 7C-2), 1,5 giờ (ví dụ so sánh 7C-3) và 2 giờ (ví dụ so sánh 7C-4). CT tạo thành được vẽ trên Fig.25, cùng với CT của từng mẫu trong các mẫu được gia cường nhiệt của các ví dụ so sánh 7B-1 đến 7B-4, và mỗi ví dụ trong các ví dụ được gia cường nhiệt và được gia cường hóa học từ 7B-5 đến 7B-8. Fig.26 thể hiện thay đổi trong CT (hoặc delta CT) giữa ví dụ so sánh 7B-1 và ví dụ 7B-5, giữa ví dụ so sánh 7B-2 và ví dụ 7B-6, giữa ví dụ so sánh 7B-3 và ví dụ 7B-7, giữa ví dụ so sánh 7B-4 và ví dụ 7B-8. Fig.26 thể hiện thay đổi trong CT trước và sau khi gia cường hóa học, như là hàm của thời gian gia cường hóa học (hoặc thời gian trao đổi ion).

Fig.27 vẽ CS bề mặt và CS tại DOL, như là hàm của thời gian gia cường hóa học (hoặc thời gian trao đổi ion) của từng ví dụ trong các ví dụ từ 7B-5 đến 7B-8. Fig.28 thể hiện CS tại DOL, như là hàm của thời gian gia cường hóa học (hoặc thời gian trao đổi ion) của từng ví dụ trong các ví dụ 7B-5 đến 7B-8, cùng với thay đổi trong CT từ Fig.26. Fig.29 thể hiện thay đổi trong DOL của từng ví dụ trong các ví dụ 7B-5 đến 7B-8.

Các ví dụ 7B-5 đến 7B-8 sau đó được làm vỡ bằng cách tác động chúng với mũi nhọn vonfram cacbit bằng cách dùng tay. Các ví dụ 7B-6 đến 7B-8 bị làm vỡ thành

nhieu mảnh nhỏ hơn có các tỉ lệ kích cỡ nhỏ hơn ví dụ 7B-5, có CT nhỏ hơn đáng kể so với các ví dụ 7B-6 đến 7B-8.

Các đế thủy tinh có cùng thành phần và độ dày như các ví dụ 7B-1 đến 7B-8 không được gia cường nhiệt nhưng chỉ được gia cường hóa học bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 80% KNO₃ và 20% NaNO₃ và có nhiệt độ là 390 °C trong 4 giờ (ví dụ so sánh 7C-5), 8 giờ (ví dụ so sánh 7C-6), và 16 giờ (ví dụ so sánh 7C-7). CS bề mặt của các ví dụ so sánh 7C-2 đến 7C-7 và các ví dụ 7B-5 đến 7B-8 được vẽ trên Fig.30, như là hàm của thời gian gia cường hóa học. DOL của các ví dụ so sánh 7C-2 đến 7C-7 và các ví dụ 7B-5 đến 7B-8 được vẽ trên Fig.31, như là hàm của thời gian gia cường hóa học. CS tại DOL (hoặc ứng suất điểm uốn) của các ví dụ so sánh 7C-2 đến 7C-7 và các ví dụ 7B-5 đến 7B-8 được vẽ trên Fig.32, như là hàm của thời gian gia cường hóa học.

Ví dụ 8

Các đế thủy tinh có cùng thành phần và độ dày như các đế được sử dụng trong ví dụ 7 được gia cường nhiệt bằng cách gia nhiệt tới cùng trị số T₀ (tức là, 810 °C) và sau đó tôi tại các trị số h khác nhau (tức là, h=0,025 cal/cm²-s-°C, h=0,050 cal/cm²-s-°C và h= 0,080 cal/cm²-s-°C), tạo ra vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt mức cao (ví dụ so sánh 8A-1), vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt mức trung bình (ví dụ so sánh 8B-1) và vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt mức thấp (ví dụ so sánh 8C-1). CS bề mặt, CS điểm uốn, CT và DOC của ba mẫu của từng ví dụ trong của các ví dụ so sánh 8A-1, 8B-1 và 8C-1 sẽ được đánh giá. Các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, các ví dụ 8B-2 đến 8B-4 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4 chứa cùng một đế thủy tinh như ví dụ 7 và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như các ví dụ so sánh 8A-1, 8B-1 và 8C-1, một cách tương ứng, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy trộn lẫn (chứa NaNO₃ và KNO₃ có các nồng độ thay đổi) có nhiệt độ là 390 °C trong 2 giờ, như được thể hiện trên bảng 24.

Bảng 24: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho ví dụ 8.

		Các điều kiện gia cường nhiệt (T ₀ , h)	Thành phần trong bể muối nóng chảy
Mức cao, được gia cường	Ví dụ so sánh 8A-1	T ₀ = 810 °C h= 0,080 cal/cm ² -s-°C	Không được gia cường hóa học

nhiệt	Ví dụ 8A-2	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	80% KNO ₃ 20% NaNO ₃
	Ví dụ 8A-3	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	50% KNO ₃ 50% NaNO ₃
	Ví dụ 8A-4	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,080\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	0% KNO ₃ 100% NaNO ₃
Mức trung bình, được gia cường nhiệt	Ví dụ so sánh 8B-1	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,050\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không được gia cường hóa học
	Ví dụ 8B-2	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,050\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	80% KNO ₃ 20% NaNO ₃
	Ví dụ 8B-3	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,050\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	50% KNO ₃ 50% NaNO ₃
	Ví dụ 8B-4	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,050\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	0% KNO ₃ 100% NaNO ₃
Mức thấp, được gia cường nhiệt	Ví dụ so sánh 8C-1	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	Không được gia cường hóa học
	Ví dụ 8C-2	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	80% KNO ₃ 20% NaNO ₃
	Ví dụ 8C-3	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	50% KNO ₃ 50% NaNO ₃
	Ví dụ 8C-4	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	0% KNO ₃ 100% NaNO ₃

Fig.33 thể hiện các trị số CT được đo (được đo bởi SCALP) của các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, các ví dụ 8B-2 đến 8B-4 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4, được thể hiện như là hàm của nồng độ NaNO₃ trong bể muối nóng chảy. Fig.33 cũng chứa các trị số CT ban đầu (được đo bởi SCALP) của từng mẫu trong ba mẫu của các ví dụ so sánh 8A-1, 8B-1 và 8C-1, mà sau đó sẽ được gia cường hóa học để tạo ra các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, các ví dụ 8B-2 đến 8B-4 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4, thậm chí các ví dụ so sánh 8A-1, 8B-1 và 8C-1 không được gia cường hóa học để thể hiện các trị số và các điều kiện “điều khiển”.

Fig.34 thể hiện thay đổi trong CT hoặc delta CT theo nghĩa tuyệt đối và Fig.35 thể hiện thay đổi trong CT theo phần trăm, giữa ví dụ so sánh 8A-1 và các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, giữa ví dụ so sánh 8B-1 và các ví dụ 8B-2 đến 8B-4, và giữa ví dụ so sánh 8C-1 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4. Như được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.34 và 35, các ví dụ 8C-2 đến 8C-4 thể hiện thay đổi phần trăm lớn nhất trong CT sau khi được gia cường hóa học. Các vật phẩm này được tạo thành vật phẩm thủy tinh được gia

cường nhiệt mức thấp (ví dụ so sánh 8C-1). Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, các vật phẩm thủy tinh nhiệt thể hiện nhiệt độ hư cấu thấp nhất có thể tạo lượng ứng suất nén bề mặt lớn nhất khi được gia cường hóa học sau đó.

CS bề mặt và CS tại DOL (hoặc CS điểm uốn) của các ví dụ 8A-2 đến 8A-3, các ví dụ 8B-2 đến 8B-3 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-3 được đo và được vẽ trên Fig.36, như là hàm của nồng độ NaNO_3 . Như được thể hiện trên Fig.36, CS bề mặt giảm với các nồng độ NaNO_3 cao hơn trong bể muối nóng chảy được sử dụng trong suốt quá trình gia cường hóa học. Fig.36 cũng thể hiện điều tương tự trong các trị số CS bề mặt giữa các ví dụ 8A-2, 8B-2 và 8C-2, và giữa các ví dụ 8A-3, 8B-3 và 8C-3.

Fig.37 thể hiện các trị số DOL được đo của các ví dụ 8A-2 đến 8A-3, các ví dụ 8B-2 đến 8B-3 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-3, được vẽ như là hàm của nồng độ NaNO_3 .

Các trị số CT và năng lượng kéo dãn thử của các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, các ví dụ 8B-2 đến 8B-4 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4 được thể hiện trên bảng 25.

Bảng 25: Các trị số CT và năng lượng kéo dãn thử của các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, các ví dụ 8B-2 đến 8B-4 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4.

Ví dụ	CT (MPa)	Năng lượng kéo dãn thử (J/m^2)
Ví dụ 8A-2	97,75	13,46
Ví dụ 8A-3	105,88	17,15
Ví dụ 8A-4	107,26	16,60
Ví dụ 8B-2	89,73	12,79
Ví dụ 8B-3	98,73	13,32
Ví dụ 8B-4	97,97	13,47
Ví dụ 8C-2	73,63	8,84
Ví dụ 8C-3	87,12	9,21
Ví dụ 8C-4	87,24	10,68

Các ví dụ 8A-2 đến 8A-4, các ví dụ 8B-2 đến 8B-4 và các ví dụ 8C-2 đến 8C-4 được làm vỡ theo cùng một cách như được mô tả trong ví dụ 7. Các ví dụ với các trị số năng lượng kéo dãn thử thấp hơn thể hiện việc nứt vỡ với các tỉ lệ kích thước cao hơn và/hoặc ít mảnh hơn. Không bị ràng buộc bởi lý thuyết, các ví dụ này có thể được mô tả như thể hiện ít việc kẻ ô hơn khi bị nứt vỡ.

Các ví dụ 8B-5 và 8C-5 chứa cùng các đế thủy tinh được gia cường nhiệt theo cùng một cách như các ví dụ so sánh 8B-1 và 8C-1, nhưng sau đó sẽ được gia cường hóa học bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy trộn lẫn chứa 20% NaNO_3 và 80% KNO_3 và có nhiệt độ là 430 °C trong 1 giờ. Fig.38 là đồ thị cột thể hiện (từ trái sang phải) CT, CS bề mặt, DOL và CS tại DOL (hoặc ứng suất điểm uốn) được đo của các ví dụ 8B-2 (được gia cường hóa học tại 390 °C trong 2 giờ), 8B-5, 8C-2 (được gia cường hóa học tại 390 °C trong 2 giờ) và 8C-5. Các trị số này, cùng với năng lượng kéo dãn, được thể hiện trên bảng 26.

Bảng 26: Các số đo các tính chất liên quan tới ứng suất của các ví dụ 8B-2, 8B-5, 8C-2 và 8C-5.

	Ví dụ	CT (MPa)	Năng lượng kéo dãn (J/m ²)	CS bề mặt (MPa)	DOL (micrômet)	CS tại DOL (MPa)
Mức trung bình, được gia cường nhiệt	Ví dụ 8B-2	89,73	12,79	690,41	13,22	184,63
	Ví dụ 8B-5	84,95	8,58	666,92	15,49	188,64
Mức thấp, được gia cường nhiệt	Ví dụ 8C-2	73,63		677,44	12,75	188,1
	Ví dụ 8C-5	75,60	7,36	664,42	15,12	173,14

Như được thể hiện trên bảng 26, các trị số DOL cho các ví dụ 8B-5 và 8C-5 là lớn hơn các ví dụ 8B-2 và 8C-2, vốn được gia cường hóa học sử dụng bể nhiệt độ thấp hơn (tức là, 390 °C).

Fig.39 thể hiện DOL được đo một mình cho các ví dụ 8B-2 (được gia cường hóa học tại 390 °C trong 2 giờ), 8B-5, 8C-2 (được gia cường hóa học tại 390 °C trong 2 giờ) và 8C-5.

Các ví dụ 8B-6 đến 8B-8 và 8C-6 đến 8C-8 chứa cùng một đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như các ví dụ so sánh 8B-1 và 8C-1, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy được trộn lẫn chứa NaNO_3 và KNO_3 tại các nồng độ khác nhau và có nhiệt độ là 430 °C trong 1 giờ (để tạo các ví dụ 8B-6 đến 8B-8 và 8C-6 đến 8C-8), như được thể hiện trên bảng 27.

Bảng 27: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho ví dụ 8.

		Các điều kiện gia cường nhiệt (T_0 , h)	Thành phần trong bể muối nóng chảy
Mức trung bình, được gia cường nhiệt	Ví dụ 8B-6	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,050\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	100% KNO_3 0% NaNO_3
	Ví dụ 8B-7	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,050\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	95% KNO_3 5% NaNO_3
	Ví dụ 8B-8	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,050\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	90% KNO_3 10% NaNO_3
Mức thấp, được gia cường nhiệt	Ví dụ 8C-6	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	100% KNO_3 0% NaNO_3
	Ví dụ 8C-7	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	95% KNO_3 5% NaNO_3
	Ví dụ 8C-8	$T_0 = 810\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h = 0,025\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	90% KNO_3 10% NaNO_3

CT, năng lượng kéo dãn, CS bề mặt, DOL và CS tại DOL của các ví dụ 8B-6 đến 8B-8 và các ví dụ 8C-6 đến 8C-8 được đo và được thể hiện trên bảng 28. Bảng 28 cũng chứa các trị số được đo cho ví dụ 8B-5 và 8C-5, vốn được gia cường hóa học trong bể 80% KNO_3 và 20% NaNO_3 có nhiệt độ là $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong 1 giờ để so sánh.

Bảng 28: Các số đo các tính chất liên quan tới ứng suất của các ví dụ 8B-5 đến 8B-9 và các ví dụ 8C-5 đến 8C-9.

	Ví dụ	CT (MPa)	Năng lượng kéo dãn (J/m ²)	CS bề mặt (MPa)	DOL (micrômet)	CS tại DOL (MPa)
Mức trung bình, được gia cường nhiệt	Ví dụ 8B-5	84,95	8,48	667	15,5	189
	Ví dụ 8B-6	59,70	5,87	948	19,5	106
	Ví dụ 8B-7	68,06	7,48	829	16	130
	Ví dụ 8B-8	76,12	8,51	762	16	50
Mức thấp, được gia cường nhiệt	Ví dụ 8C-5	75,6	7,35	664	15	173
	Ví dụ 8C-6	55,53	4,21	945	19,5	108
	Ví dụ 8C-7	62,62	6,63	831	15	94
	Ví dụ 8C-8	69,87	6,98	751	16	100

Fig.40 vẽ CT và CS bề mặt của các ví dụ 8B-5 đến 8B-8 và các ví dụ 8C-5 đến 8C-8, như là hàm của nồng độ NaNO_3 . Fig.41 vẽ CS bề mặt như là hàm của CT. Như được thể hiện trên các hình Fig.40 và Fig.41, CS bề mặt được làm giảm khi bể muối nóng chảy với nồng độ NaNO_3 cao hơn được sử dụng, trong khi CT tăng.

Các biên dạng ứng suất cho các ví dụ 8C-7 và 8C-9 được đo sử dụng RNF. Fig.42 thể hiện ứng suất được đo như là hàm của độ sâu mở rộng từ bề mặt của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học của các ví dụ 8C-7 và 8C-8 vào trong vật phẩm thủy tinh. Biên dạng ứng suất của vật phẩm thủy tinh đã biết chỉ được gia cường hóa học bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy được trộn lẫn của 51% KNO_3 và 49% NaNO_3 , có nhiệt độ là 380°C trong 3 giờ và 45 phút (ví dụ so sánh 8D) cũng được thể hiện trên Fig.42.

Ví dụ 9

Các đế được tạo thành từ Glaverbel SLG, có thành phần danh định là 70,9 %mol SiO_2 , 0,8 %mol Al_2O_3 , 13,2 %mol Na_2O , 0,11 %mol K_2O , 6,6 %mol MgO , 8,2 %mol CaO , 0,03 Fe_2O_3 và 0,22 %mol SO_3 , và có độ dày là khoảng 0,73 mm, được gia cường nhiệt, được gia cường hóa học mà không có việc gia cường nhiệt trước đó, hoặc nhiệt và sau đó được gia cường hóa học.

Cụ thể là, ví dụ so sánh 9A chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng 690°C và sau đó được tôi tại $h=0,051 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$, không có gia cường hóa học nào được thực hiện. Ví dụ so sánh 9B là đế thủy tinh không được gia cường nhiệt, nhưng được gia cường hóa học bằng cách nhúng trong bể muối nóng chảy của 100% KNO_3 có nhiệt độ là 420°C trong 5,5 giờ. Ví dụ 9C là đế thủy tinh được gia cường nhiệt theo cùng một cách như ví dụ 9A, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng trong bể muối nóng chảy của 100% KNO_3 có nhiệt độ là 420°C trong 5,5 giờ, tức là, cùng các điều kiện như trong ví dụ so sánh 9B. Xem bảng 29.

Bảng 29: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho các ví dụ so sánh 9A và 9B, và ví dụ 9C.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T_0 , h)	Gia cường hóa học
Ví dụ so sánh 9A	$T_0 = 690^\circ\text{C}$ $h=0,051 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$	Không
Ví dụ so sánh 9B	Không	100% KNO_3 , 420°C , 5,5 giờ

Ví dụ 9C	$T_0 = 690\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,051\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	100% KNO ₃ , 420°C, 5,5 giờ
----------	--	--

Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 30. Như được thể hiện trên bảng 30, ví dụ 9C thể hiện DOL là khoảng 10 micrômet và CS bề mặt là khoảng 600 MPa. Bằng cách chọn các điều kiện gia cường nhiệt và hóa học thích hợp, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học của ví dụ 9C thể hiện các trị số CS bề mặt thấp hơn một chút như ví dụ 9B (536 MPa so với 604 MPa), các trị số DOL tốt hơn một chút (11,7 micron so với 10 micron), nhưng DOC tổng cộng là cao hơn nhiều lần so với trị số có thể đạt được bằng quy trình gia cường hóa học riêng rẽ (144 micron so với 10 micron). Nghĩa là, các mẫu được điều chỉnh nhiệt sau đó được trải qua cùng các điều kiện IOX như các mẫu không được xử lý nhiệt trước đó, có DOL được tăng. Ngoài ra, bằng cách chọn các điều kiện gia cường nhiệt và hóa học thích hợp, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học của ví dụ 9C thể hiện DOC tương tự như các vật phẩm chỉ được gia cường nhiệt của ví dụ so sánh 9A (144 micron so với 154 micron), nhưng CS bề mặt cao hơn nhiều so với trị số của ví dụ so sánh 9A (tức là, 536 MPa so với 100 MPa).

Bảng 30: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của các ví dụ so sánh 9A và 9B, và ví dụ 9C.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ so sánh 9A	100	49	0	154	21,1
Ví dụ so sánh 9B	604	9	10	10	1,4
Ví dụ 9C	536	21	11,7	144	19,7

Các đế thủy tinh của các ví dụ so sánh 9A, 9B, và của ví dụ 9C được so sánh theo nghĩa của tính năng cơ học. Cụ thể, các mẫu của các đế thủy tinh hoặc các vật phẩm này được đưa vào thử nghiệm ngưỡng ấn lõm Vicker và thử nghiệm ngưỡng xước Knoop, như được mô tả ở trên trong ví dụ 2. Các kết quả của mỗi thử nghiệm được thể hiện trên bảng 31. Như có thể thấy được từ bảng 31, việc sử dụng của việc gia cường nhiệt và hóa học dẫn tới cải thiện trong ngưỡng ấn lõm Vickers hơn so với các đế chỉ

được gia cường hóa học. Như còn được thấy từ bảng 31, việc sử dụng của việc gia cường nhiệt và hóa học cũng dẫn tới cải thiện trong ngưỡng xước Knoop hơn so với các đế chỉ được gia cường nhiệt; các trị số Knoop cho ví dụ 9C là thấp hơn so với ví dụ so sánh 9A, và là tương tự với kết quả đạt được trong ví dụ so sánh 9B. Cũng vậy, có thể thấy rằng các ví dụ so sánh 9A có việc nứt vỡ bề mặt được duy trì liên tục (tức là, kiểu hư hỏng 1), trong đó ví dụ so sánh 9B và các ví dụ 9C có các nứt vỡ bề mặt và/hoặc các nứt vỡ ở giữa (kiểu 3). Do đó, tổ hợp của việc gia cường nhiệt và gia cường hóa học dẫn tới các đế thủy tinh có các tính chất vượt trội hơn so với các đế chỉ được gia cường nhiệt hoặc chỉ được gia cường hóa học.

Bảng 31: Tính năng cơ học của các đế trong các ví dụ so sánh 9A và 9B, và trong ví dụ 9C.

	Vicker (N)	Knoop (N)	Kiểu hư hỏng
Ví dụ so sánh 9A (chỉ được gia cường nhiệt, tại $T_0 = 690^\circ\text{C}$, $h = 0,051$)	4 - 6	6 - 8	1
Ví dụ so sánh 9B (chỉ được gia cường hóa học, tại 420°C trong 5,5 giờ)	0 - 2	2 - 4	3
Ví dụ 9C (được gia cường nhiệt tại $T_0 = 690^\circ\text{C}$, $h = 0,051$, và được gia cường hóa học tại 420°C trong 5,5 giờ)	2 - 4	2 - 4	3

Các đế thủy tinh được tạo ra như trong các ví dụ so sánh 9A và 9B, và ví dụ 9C, được đưa vào thử nghiệm rơi tăng dần như đặt ra trong ví dụ 2, ở trên, trừ việc chỉ bề mặt rơi giấy ráp 180 grit được sử dụng, và cũng được đưa vào thử nghiệm uốn 4 điểm (để kiểm tra độ bền cạnh), một lần nữa như được chỉ ra trong ví dụ 2. Các kết quả của việc thử nghiệm rơi được thể hiện trên Fig.43, trong đó các kết quả của thử nghiệm uốn bốn điểm được thể hiện trên Fig.44. Từ Fig.43, có thể thấy rằng các vật phẩm của ví dụ 9C (giữ lại nhiều DOC như ví dụ so sánh 9A) thể hiện hiệu quả rơi là tốt hơn so với hiệu quả của các ví dụ so sánh 9B, mặc dù không cao như các trị số cao nhất từ các ví dụ so sánh 9A. Từ Fig.44, có thể thấy rằng các vật phẩm của ví dụ 9C có độ bền

cạnh tốt hơn mặc dù có CS bề mặt thấp hơn các giá trị của ví dụ so sánh 9B; chúng cũng có độ bền cạnh tốt hơn các mẫu của ví dụ so sánh 9A.

Hơn nữa, các đế thủy tinh được tạo ra như trong các ví dụ so sánh 9A và 9B, và ví dụ 9C, cũng được đưa vào thử nghiệm vòng trên vòng để kiểm tra độ bền bề mặt. Thử nghiệm vòng trên vòng được thực hiện như được giải thích bên dưới cho thử nghiệm vòng trên vòng mài mòn (abraded ring-on-ring - AROR), trừ việc các mẫu không được mài mòn trước khi kiểm tra. Các kết quả của thử nghiệm vòng trên vòng được thể hiện trên Fig.45. Như có thể được thấy từ Fig.45, như được mong đợi, các mẫu của ví dụ so sánh 9B (có CS bề mặt cao nhất) đã thể hiện tốt nhất. Tuy nhiên, các mẫu của ví dụ 9C, có CS bề mặt thấp hơn một chút so với các trị số của ví dụ 9B, có độ bền bề mặt tốt hơn các trị số của ví dụ so sánh 9A, và độ bền bề mặt thấp hơn một chút so với trị số của các mẫu của ví dụ so sánh 9B.

Để kiểm tra độ bền bề mặt của các mẫu thủy tinh vừa bị phá hủy (như bằng cách cào xước), tức là, độ bền còn lại sau khi phá hủy, thử nghiệm vòng trên vòng mài mòn (abraded ring-on-ring test - AROR) được sử dụng; thử nghiệm này có thể phản ánh rõ hơn cách mà các mẫu thủy tinh sẽ thể hiện trong các điều kiện sử dụng trong thực tế. Độ bền của vật liệu là ứng suất mà tại đó, xuất hiện nứt rạn xuất hiện, và thử nghiệm AROR là phép đo độ bền bề mặt để kiểm tra các mẫu thủy tinh phẳng, và ASTM C1499-09(2013), có tên là "Standard Test Method for Monotonic Equibiaxial Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature," có tác dụng làm cơ sở cho phương pháp 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. Mẫu thử nghiệm thủy tinh được mài mòn trước thử nghiệm vòng trên vòng với các hạt silic cacbit (SiC) 90 grit được phân phối tới mẫu thủy tinh sử dụng phương pháp và thiết bị được mô tả trong Phụ lục A2, có tên là "abrasion Procedures," của ASTM C158-02(2012), có tên 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, điểm trên bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh được mài mòn như được mô tả trong ASTM C158-02, Phụ lục 2, để bình thường hóa

và/hoặc kiểm soát điều kiện lỗi bề mặt của mẫu sử dụng thiết bị được thể hiện trên Fig.A2.1 của ASTM C158-02. Để tạo thành điểm mài mòn, vật liệu mài mòn được phun cát lên trên bề mặt 410a của vật phẩm gốc thủy tinh tại tải xác định (ở đây các tải khác nhau được sử dụng như được thể hiện trên Fig.47, ví dụ, 5, 15, 30, và 45, psi) sử dụng áp suất không khí là 304 kPa (44 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. Điểm mài mòn có đường kính khoảng 1 cm và nằm trong tâm của mẫu. Trong suốt thử nghiệm, điểm mài mòn được định vị đồng tâm với các vòng.

Với thử nghiệm AROR, vật phẩm gốc thủy tinh có điểm mài mòn trên bề mặt 410a như được thể hiện trên Fig.10 được đặt giữa hai vòng đồng tâm có các kích cỡ khác nhau để xác định độ bền uốn đẳng lưỡng trục (tức là, ứng suất tối đa mà vật liệu có khả năng trụ vững khi đưa vào uốn giữa hai vòng đồng tâm). 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.

Tỉ lệ của các đường kính của vòng tải và vòng đỡ D1/D2 có thể ở trong khoảng giới hạn từ 0,2 đến 0,5. Theo một số phương án thực hiện, D1/D2 là 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. 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 ở trong khoảng giới hạn từ $h/2 \leq r \leq 3h/2$, trong đó h là độ dày của vật phẩm gốc thủy tinh 410. Các vòng tải và đỡ 430, 420 được tạo thành từ thép được làm cứng với độ cứng $\text{HRC} > 40$. 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 xuất phát từ bề mặt 430a trong vòng tải 430. Các hư hỏng diễn ra ngoài vùng này – tức là, giữa vòng tải 430 và 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 biên 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 được sử dụng để biểu diễn về mặt thống kê dữ liệu thu được.

Các kết quả của thử nghiệm vòng trên vòng ăn mòn được thể hiện trên Fig.47. Như có thể được thấy từ Fig.47, các đế của ví dụ 9C có độ bền còn lại tốt hơn các mẫu của ví dụ so sánh 9B, có thể là do DOC sâu hơn của chúng, dù vậy nó không cao như độ bền còn lại của các mẫu của ví dụ so sánh 9A. Và điều này là đúng qua khoảng các kích cỡ khuyết tật được chứng minh bởi áp suất khác nhau được sử dụng cho các hạt ăn mòn.

Tổng kết cho ví dụ 9, có thể sử dụng việc gia cường nhiệt và hóa học cùng nhau, trong thủy tinh vôi natri cacbonat để tạo ra biên dạng tổng hợp có DOL và DOC cao hơn nhưng CS thấp hơn một chút. Biên dạng tổng hợp được thể hiện, khi so sánh với biên dạng thu được bằng cách chỉ gia cường hóa học: DOL và DOC sâu hơn; CS bề mặt thấp hơn, nhưng điều này không phải lúc nào cũng vậy, phụ thuộc vào mức ram và các điều kiện IOX cho thủy tinh được ram; hiệu quả rơi tốt hơn (trên bề mặt rơi giấy ráp 180 grit); độ bền cạnh được cải thiện (như bởi việc gấp bốn điểm); việc làm cong có thể so sánh được (như bởi Flatmaster); độ bền bề mặt thấp hơn (như bởi vòng trên vòng), nhưng trái lại nó luôn đúng phụ thuộc vào mức CS bề mặt có thể thu được trong biên dạng tổng hợp; độ bền giữ lại tốt hơn (như bởi thử nghiệm vòng trên vòng ăn mòn); ngưỡng ấn lõm Vickers được cải thiện; và hiệu quả cào xước Knoop có thể so sánh được.

Ví dụ 10

Các đế được tạo thành từ Glaverbel SLG, có thành phần danh định là 70,9 %mol SiO₂, 0,8 %mol Al₂O₃, 13,2 %mol Na₂O, 0,11 %mol K₂O, 6,6 %mol MgO, 8,2 %mol CaO, 0,03 Fe₂O₃ và 0,22 %mol SO₃, và có độ dày là khoảng 1,08 mm, được gia cường nhiệt, được gia cường hóa học mà không có việc gia cường nhiệt trước đó, hoặc nhiệt và sau đó được gia cường hóa học.

Cụ thể là, ví dụ so sánh 10A chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T₀ là khoảng 690 °C và sau đó được tôi tại h=0,035 cal/cm²-s-°C, không có gia cường hóa học nào được thực hiện. Ví dụ so sánh 10B là đế thủy tinh không được gia cường nhiệt, nhưng được gia cường hóa học bằng cách nhúng trong bể muối nóng chảy của 100% KNO₃ có nhiệt độ là 420°C trong 5,5 giờ. Ví dụ 10C là đế thủy tinh được gia cường nhiệt theo cùng một cách như ví dụ 10A, nhưng sau đó được gia cường hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng trong bể muối nóng chảy của 100% KNO₃ có nhiệt độ là 420°C trong 5,5 giờ, tức là, cùng các điều kiện như trong ví dụ so sánh 10B. Xem bảng 32.

Bảng 32: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho các ví dụ so sánh 10A và 10B, và ví dụ 10C.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T ₀ , h)	Gia cường hóa học
Ví dụ so sánh 9A	T ₀ = 690 °C h=0,035 cal/cm ² -s-°C	Không
Ví dụ so sánh 9B	Không	100% KNO ₃ , 420°C, 5,5 giờ
Ví dụ -9C	T ₀ = 690 °C h=0,035 cal/cm ² -s-°C	100% KNO ₃ , 420°C, 5,5 giờ

Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 33. Như được thể hiện trên bảng 33, ví dụ 10C thể hiện DOL là khoảng 11 micrômet và CS bề mặt là khoảng 525 MPa. Bằng cách chọn các điều kiện gia cường nhiệt và hóa học thích hợp, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học của ví dụ 10C thể hiện các trị số CS bề mặt thấp hơn một chút như ví dụ 10B (525 MPa so với 550 MPa), cùng khoảng các trị số DOL (10,9 micron so với 10,6 micron),

nhưng DOC tổng cộng là cao hơn nhiều lần so với trị số có thể đạt được bằng quy trình gia cường hóa học riêng rẽ (217 micron so với 11 micron). Ngoài ra, bằng cách chọn các điều kiện gia cường nhiệt và hóa học thích hợp, các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học của ví dụ 10C thể hiện DOC tương tự như các vật phẩm chỉ được gia cường nhiệt của ví dụ so sánh 10A (217 micron so với 230 micron), nhưng CS bề mặt cao hơn nhiều so với trị số của ví dụ so sánh 10A (tức là, 525 MPa so với 118 MPa).

Bảng 33: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học được tạo thành của các ví dụ so sánh 10A và 10B, và ví dụ 10C.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
Ví dụ so sánh 10A	118	62	0	230	21,3
Ví dụ so sánh 10B	550	5,5	10,6	10,6	1
Ví dụ 10C	525	22,4	10,9	217	20,1

Các đế thủy tinh của các ví dụ so sánh 10A, 10B, và của ví dụ 10C được so sánh theo nghĩa của tính năng cơ học. Cụ thể, các mẫu của các đế thủy tinh hoặc các vật phẩm này được đưa vào thử nghiệm ngưỡng ấn lõm Vicker và thử nghiệm ngưỡng xước Knoop, như được mô tả ở trên trong ví dụ 2. Các kết quả của mỗi thử nghiệm được thể hiện trên bảng 34. Như có thể thấy được từ bảng 34, việc sử dụng của việc gia cường nhiệt và hóa học dẫn tới cải thiện trong ngưỡng ấn lõm Vickers hơn so với các đế chỉ được gia cường hóa học. Như còn được thấy từ bảng 34, việc sử dụng của việc gia cường nhiệt và hóa học cũng dẫn tới cải thiện trong ngưỡng xước Knoop hơn so với các đế chỉ được gia cường nhiệt; các trị số Knoop cho ví dụ 10C là thấp hơn so với ví dụ so sánh 10A, và là tương tự với kết quả đạt được trong ví dụ so sánh 10B. Cũng vậy, có thể thấy rằng các ví dụ so sánh 10A có việc nứt vỡ bề mặt được duy trì liên tục (tức là, kiểu hư hỏng 1), trong đó ví dụ so sánh 10B và các ví dụ 10C một cách tương tự có các nứt vỡ bề mặt và/hoặc các nứt vỡ ở giữa (kiểu 3). Do đó, tổ hợp của việc gia cường nhiệt và gia cường hóa học dẫn tới các đế thủy tinh có các tính chất vượt trội hơn so với các đế chỉ được gia cường nhiệt hoặc chỉ được gia cường hóa học. Một điều khác có thể thấy được từ bảng 34 là các trị số cho các thử nghiệm Vicker và

Knoop là rất tương tự khi được thực hiện trên phía thiếc của đế và trên phía không khí của đế (phía thiếc là phía tiếp xúc với bề thiếc trong khi tạo thành đế thủy tinh như trong quy trình “nồi”, phía không khí là phía không có thiếc).

Bảng 34: Tính năng cơ học của các đế trong các ví dụ so sánh 10A và 10B, và trong ví dụ 10C.

	Vicker's (kg)	Knoop (N)	Kiểu hư hỏng
Ví dụ so sánh 10A (chỉ được gia cường nhiệt, tại $T_0 = 690^\circ\text{C}$, $h = 0,035$)	0,6 – 0,8 (không khí) 0,6 – 0,8 (thiếc)	4 – 6 (không khí) 4 – 6 (thiếc)	1
Ví dụ so sánh 10B (chỉ được gia cường hóa học, tại 420°C trong 5,5 giờ)	0 – 0,2 (không khí) 0 – 0,2 (thiếc)	2 – 4 (không khí) 2 – 4 (thiếc)	3
Ví dụ 10C (được gia cường nhiệt tại $T_0 = 690^\circ\text{C}$, $h = 0,035$, và được gia cường hóa học tại 420°C trong 5,5 giờ)	0,2 – 0,4 (không khí) 0 đến 0,2 (thiếc)	2 – 4 (không khí) 2 – 4 (thiếc)	3

Các đế thủy tinh được tạo ra như trong các ví dụ so sánh 10A và 10B, và ví dụ 10C, được đưa vào thử nghiệm rơi tăng dần như đặt ra trong ví dụ 2, ở trên, trừ việc chỉ bề mặt rơi giấy ráp 180 grit được sử dụng, và cũng được đưa vào thử nghiệm uốn 4 điểm (để kiểm tra độ bền cạnh), một lần nữa như được chỉ ra trong ví dụ 2. Các kết quả của việc thử nghiệm rơi được thể hiện trên Fig.48, trong đó các kết quả của thử nghiệm uốn bốn điểm được thể hiện trên Fig.49. Từ Fig.48, có thể thấy rằng các vật phẩm của ví dụ 10C (giữ lại nhiều DOC như ví dụ so sánh 10A) thể hiện hiệu quả rơi là tương tự với, nhưng tốt hơn một chút so với hiệu quả của các ví dụ so sánh 10B, mặc dù không cao như các trị số từ các ví dụ so sánh 10A. Từ Fig.49, có thể thấy rằng các vật phẩm của ví dụ 10C có độ bền cạnh tương tự mặc dù có CS bề mặt thấp hơn các trị số của ví dụ so sánh 10B.

Hơn nữa, các đế thủy tinh được tạo ra như trong các ví dụ so sánh 10A và 10B, và ví dụ 10C, cũng được đưa vào thử nghiệm vòng trên vòng để kiểm tra độ bền bề mặt. Thử nghiệm vòng trên vòng được thực hiện như được giải thích ở trên cùng với ví dụ 9. Các kết quả của thử nghiệm vòng trên vòng được thể hiện trên Fig.50. Như có

thể được thấy từ Fig.50, như được mong đợi, các mẫu của ví dụ so sánh 10B (có CS bề mặt cao nhất) đã thể hiện tốt nhất. Tuy nhiên, các mẫu của ví dụ 10C, có CS bề mặt thấp hơn một chút so với các trị số của ví dụ 9B, nhưng cao hơn so với các trị số của ví dụ so sánh 10A, có độ bền bề mặt thấp hơn, theo cách không được mong đợi, so với các trị số của ví dụ so sánh 9A. Có thể tin rằng các phần của ví dụ 10C bị cào xước trong khi thao tác đã ảnh hưởng tới hiệu quả thể hiện của chúng trong thử nghiệm này.

Để kiểm tra độ bền bề mặt của các mẫu thủy tinh vừa bị phá hủy (như bằng cách cào xước), tức là, độ bền còn lại sau khi phá hủy, thử nghiệm vòng trên vòng mài mòn (abraded ring-on-ring test - AROR) được sử dụng; thử nghiệm này có thể phản ánh rõ hơn cách mà các mẫu thủy tinh sẽ thể hiện trong các điều kiện sử dụng trong thực tế. Các kết quả của thử nghiệm vòng trên vòng ăn mòn được thể hiện trên Fig.50. Như có thể được thấy từ Fig.50, các đế của ví dụ 10C có độ bền còn lại tốt hơn các mẫu của ví dụ so sánh 10B, có thể là do DOC sâu hơn của chúng, dù vậy nó không cao như độ bền còn lại của các mẫu của ví dụ so sánh 10A. Và điều này là đúng qua khoảng các kích cỡ khuyết tật được chứng minh bởi áp suất khác nhau được sử dụng cho các hạt ăn mòn.

Tổng kết cho ví dụ 10, có thể sử dụng việc gia cường nhiệt và hóa học cùng nhau, trong thủy tinh vôi natri cacbonat để tạo ra biên dạng tổng hợp có DOL và DOC cao hơn nhưng CS thấp hơn một chút. Biên dạng tổng hợp được thể hiện, khi so sánh với biên dạng thu được bằng cách chỉ gia cường hóa học: DOL và DOC sâu hơn; CS bề mặt thấp hơn, nhưng điều này không phải lúc nào cũng vậy, phụ thuộc vào mức ram và các điều kiện IOX cho thủy tinh được ram; hiệu quả rơi tốt hơn một chút (trên bề mặt rơi giấy ráp 180 grit); độ bền cạnh tương tự (như bởi việc gập bốn điểm); việc làm cong có thể so sánh được; độ bền bề mặt thấp hơn (như bởi vòng trên vòng), nhưng trái lại nó luôn đúng phụ thuộc vào mức CS bề mặt có thể thu được trong biên dạng tổng hợp; ngưỡng ấn lõm Vickers có thể so sánh được và hiệu quả cào xước Knoop có thể so sánh được.

Ví dụ 11

Mục đích của ví dụ 11 này là để xem liệu việc ram nhiệt và hóa học có thể được sử dụng để tạo CS bề mặt thu được theo cách dùng nhiệt, định trước (từ khoảng 70 tới

khoảng 100 MPa), CT đạt được theo cách nhiệt (từ khoảng 35 tới khoảng 50 MPa), CS bề mặt đạt được bởi hóa học là khoảng 800 MPa hoặc cao hơn, và DOL (khoảng 12 micron hoặc nhiều hơn) trong thành phần thủy tinh cụ thể hay không. Thành phần thủy tinh có mã Corning 2320 (sẵn có từ Corning Incorporated, Corning, NY), có thành phần danh định là 61,9 % khối lượng SiO_2 , 3,9 % khối lượng B_2O_3 , 19,7 % khối lượng Al_2O_3 , 12,9 % khối lượng Na_2O , 1,4 % khối lượng MgO , và 0,22 % khối lượng SO_3 , và có độ dày là khoảng ,7 mm. Hơn nữa, các mẫu thủy tinh có suất Young là 70 GPa, CTE nhiệt độ thấp là khoảng $75,8 \times 10^{-7}$ (trong đó, CTS nhiệt độ thấp là ở trên khoảng giới hạn là từ khoảng 20 đến khoảng 300°C), điểm làm mềm là 900°C , và điểm biến dạng là khoảng 580°C . Các mẫu của thủy tinh được gia cường nhiệt, và sau đó được gia cường hóa học sử dụng các điều kiện gia cường hóa học khác nhau.

Đầu tiên, các mẫu của thủy tinh được xử lý nhiệt từ T_0 là 800°C , 810°C , 820°C , 830°C , và 840°C , với $h=0,05 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$. Các mẫu này được đo với SCALP để thu CT và DOC. Các trị số CT được thể hiện như là hàm của nhiệt độ trên Fig.52. Từ Fig.52 có thể thấy rằng với h được chọn, T_0 bất kỳ là 810°C hoặc nhiều hơn sẽ thu được CT là khoảng 35 MPa hoặc lớn hơn. DOC được tìm thấy là tương đối không đổi và có giá trị trung bình là 152 micron.

Từ thí nghiệm ban đầu nêu trên, T_0 là 830°C và $h=0,05 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$ được chọn để khảo sát tiếp. Do đó, việc sử dụng T_0 là 830°C và $h=0,05 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$, các mẫu được gia cường nhiệt, và sau đó còn chịu gia cường hóa học (bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100% KNO_3) tại các nhiệt độ giữa 390°C và 430°C cho các khoảng thời gian trải từ 15 phút tới 1 giờ. FSM được sử dụng để phân biệt CS và DOL. Các mẫu cũng được đo bởi SCALP để thu được CT và DOC sau khi gia cường hóa học. Các điều kiện gia cường hóa học, CS, CT, DOL, DOC, và DOC như là phần trăm của độ dày được thể hiện trên bảng 35.

Cụ thể, ví dụ so sánh 11A chứa vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia nhiệt tới T_0 là khoảng 830°C và sau đó được tôi tại $h=0,05 \text{ cal/cm}^2\text{-s-}^\circ\text{C}$. các ví dụ 11B-1 đến 11B-3, 11C-1 đến 11C-3, 11D-1 đến 11D-3, 11E-1 đến 11E-3, 11F-1 đến 11F-3, chứa các vật phẩm thủy tinh chứa cùng một đế thủy tinh và được gia cường nhiệt theo cùng một cách như các ví dụ so sánh 11A, nhưng sau đó được gia cường

hóa học bằng cách trao đổi ion bằng cách nhúng ngập trong bể muối nóng chảy của 100% KNO_3 có nhiệt độ là khoảng 390 °C, là khoảng 400°C, là khoảng 410°C, là khoảng 420 °C, và khoảng 430°C, trong 15 phút, 30 phút, và 60 phút, theo bảng 35.

Bảng 35: Các điều kiện gia cường nhiệt và gia cường hóa học cho ví dụ 11.

	Các điều kiện gia cường nhiệt (T_0 , h)	Thời gian và nhiệt độ gia cường hóa học
So sánh Ví dụ 11A	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	Không
Ví dụ 11B-1	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	15 phút 390 °C
Ví dụ 11B-2	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	30 phút 390 °C
Ví dụ 11B-3	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	60 phút 390 °C
Ví dụ 11C-1	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	15 phút 400 °C
Ví dụ 11C-2	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	30 phút 400 °C
Ví dụ 11C-3	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	60 phút 400 °C
Ví dụ 11D-1	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	15 phút 410 °C
Ví dụ 11D-2	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	30 phút 410 °C
Ví dụ 11D-3	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	60 phút 410 °C
Ví dụ 11E-1	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	15 phút 420 °C
Ví dụ 11E-2	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	30 phút 420 °C
Ví dụ 11E-3	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	60 phút 420 °C
Ví dụ 11F-1	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	15 phút 430 °C
Ví dụ 11F-2	$T_0 = 830\text{ °C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-°C}$	30 phút 430 °C

Ví dụ 11F-3	$T_0 = 830\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h=0,05\text{ cal/cm}^2\text{-s-}^{\circ}\text{C}$	60 phút 430 °C
-------------	---	-------------------

Các trị số CS, CT, DOL và DOC (như là số đo tuyệt đối và DOC như là phần trăm của độ dày vật phẩm thủy tinh) của tất cả các vật phẩm thủy tinh tạo thành được đo và được thể hiện trên bảng 36. Như được thể hiện trên Fig.53, thể hiện CS trung bình như là hàm của thời gian IOX, có thể thấy rằng tại các nhiệt độ bể trao đổi ion nhỏ hơn khoảng 420°C, CS là tương đối không đổi tại khoảng 870 MPa theo khoảng thời gian từ khoảng 15 phút đến khoảng 60 phút. Như được thể hiện trên Fig.54, thể hiện DOL như là hàm của thời gian IOX, tại các thời gian 15 phút và lâu hơn, DOL là 12 micron hoặc lớn hơn có thể được thu với các nhiệt độ bể trong khoảng từ khoảng 410°C tới khoảng 430°C, và tại các thời gian là khoảng 30 phút và lâu hơn, DOL là 12 micron hoặc lớn hơn có thể được thu với các nhiệt độ bể trong khoảng từ khoảng 390°C và lớn hơn, cho ví dụ từ khoảng 390°C đến khoảng 430°C. Trong tất cả các trường hợp được thể hiện trên Fig.54, CS là lớn hơn 800 MPa.

Bảng 36: Các tính chất được đo của các vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt và hóa học tạo thành của ví dụ so sánh 11A, các ví dụ 11B-1 đến 11B-3, các ví dụ 11C-1 đến 11C-3, các ví dụ 11D-1 đến 11D-3, các ví dụ 11E-1 đến 11E-3, các ví dụ 11F-1 đến 11F-3.

Ví dụ	CS (MPa)	CT (MPa)	DOL (theo μm)	DOC (theo μm)	DOC như là % của độ dày vật phẩm
So sánh Ví dụ 11A	90	44	--	152	21,7
Ví dụ 11B-1	874	51	8,9	137	19,6
Ví dụ 11B-2	874	54	11,7	122	17,4
Ví dụ 11B-3	869	56	16,7	120	17,1
Ví dụ 11C-1	874	52	9,2	130	18,6
Ví dụ 11C-2	881	54	12,7	119	17,0
Ví dụ 11C-3	876	56	17,1	110	15,7
Ví dụ 11D-1	878	50	11,9	137	19,6
Ví dụ 11D-2	869	53	15,2	124	17,7
Ví dụ 11D-3	855	58	20,2	111	15,9
Ví dụ 11E-1	875	50	12,0	129	18,4
Ví dụ 11E-2	855	53	16,3	121	17,3
Ví dụ 11E-3	829	60	21,6	106	15,1
Ví dụ 11F-1	860	48	12,9	130	18,6

Ví dụ 11F-2	833	52	17,5	122	17,4
Ví dụ 11F-3	822	58	24,2	110	15,7

Theo đó, với thủy tinh mã Corning 2320, biên dạng đích (CS bề mặt thu được bởi nhiệt là từ khoảng 70 tới khoảng 100 MPa, CT thu được bởi nhiệt là từ khoảng 35 tới khoảng 50 MPa, CS bề mặt thu được bởi hóa học là khoảng 800 MPa hoặc cao hơn, và DOL là khoảng 12 micron hoặc lớn hơn) có thể thu được sử dụng các điều kiện gia cường nhiệt của T_0 lớn hơn hoặc bằng với 830 °C, và h là khoảng 0,05 cal/cm²-s-°C. Các điều kiện gia cường nhiệt sẽ không thay đổi một cách đáng kể hành vi gia cường hóa học do nhiệt độ hư cấu là tương đối không đổi cho tất cả các điều kiện. Các điều kiện gia cường hóa học sau đó (trong bể muối nóng chảy của 100% KNO₃) có thể là nhiệt độ 390°C trong thời gian lớn hơn 30 phút, nhiệt độ là 400°C cho thời gian lớn hơn hoặc bằng với 30 phút, nhiệt độ là 410°C cho thời gian lớn hơn hoặc bằng với 30 phút, nhiệt độ là 420°C cho thời gian lớn hơn hoặc bằng với 15 phút, hoặc nhiệt độ là 430°C cho thời gian lớn hơn hoặc bằng với 15 phút. Nhiệt độ hư cấu của thủy tinh được tạo thành sẽ là tương đối cao, ví dụ khoảng 775°C, hoặc khoảng 150°C trên nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh. Việc sử dụng của việc gia cường nhiệt trước gia cường hóa học (như được ví dụ bởi các điều kiện được ghi chú ở trên cho ví dụ 11 này) được mong đợi để chuyển thành hiệu quả cao xước được cắt hiết khi so sánh với việc chỉ gia cường hóa học.

Các vật phẩm được gia cường 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 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 yêu cầu mức độ 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 được gia cường được bộc lộ ở đây được thể hiện trên các hình vẽ Fig.55A và Fig.55B. Cụ thể là, các hình vẽ Fig. 55A và Fig.55B thể hiện thiết bị điện tử tiêu dùng 5100 chứa vỏ 5102 có mặt trước 5104, mặt sau 5106, và các bề mặt bên 5108; 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 5110 tại hoặc liền kề với bề mặt phía trước của vỏ; và để che phủ 5112 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, để che phủ 5112 có thể chứa vật phẩm bất kỳ trong các vật phẩm được gia cường được bộc lộ ở đây.

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. Cũng vậy, các đặc điểm và đặc tính của phần bộc lộ này có thể được kết hợp trong tổ hợp bất kỳ và tất cả các tổ hợp như được làm ví dụ bởi các phương án thực hiện sau đây.

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);

vùng ứng suất nén (compressive stress - CS) thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày; và

vùng CS thứ hai về cơ bản là không có oxit kim loại của vùng CS thứ nhất, vùng CS thứ hai mở rộng từ vùng CS thứ nhất tới độ sâu nén (depth of compression - DOC) là khoảng $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khi được đo từ bề mặt thứ nhất.

Phương án thực hiện 2. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 1, trong đó, oxit kim loại bao gồm thành phần bất kỳ trong số Na_2O , K_2O , Rb_2O và Cs_2O .

Phương án thực hiện 3. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 2, trong đó, oxit kim loại bao gồm K_2O .

Phương án thực hiện 4. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 2, trong đó, oxit kim loại bao gồm Na_2O .

Phương án thực hiện 5. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 4, còn bao gồm vùng ứng suất trung tâm (central tension - CT), trong đó, vùng CS thứ hai và ít nhất một phần của vùng CT bao gồm cùng một thành phần thủy tinh.

Phương án thực hiện 6. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 5, trong đó, nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn khoảng $0,17 \cdot t$ tới nhỏ hơn khoảng $0,17 \cdot t$.

Phương án thực hiện 7. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 6, trong đó, nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn khoảng $0,01 \cdot t$ tới nhỏ hơn khoảng $0,1 \cdot t$.

Phương án thực hiện 8. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 7, trong đó, độ dày t là nhỏ hơn khoảng 2 mm.

Phương án thực hiện 9. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 8, trong đó, độ dày t là nhỏ hơn khoảng 1,2 mm.

Phương án thực hiện 10. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 9, còn bao gồm CS bề mặt là khoảng 400 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 11. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 10, còn bao gồm CS bề mặt là khoảng 600 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 12. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện nêu trên, còn thể hiện ngưỡng xước Knoop là khoảng 8 N hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 13. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện nêu trên, còn thể hiện ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker là khoảng 120 N hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 14. 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);

vùng gia cường nhiệt mở rộng từ bề mặt thứ nhất tới DOC, vùng gia cường nhiệt bao gồm vùng gia cường hóa học mở rộng từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu của lớp (depth of layer - DOL);

trong đó, DOC là lớn hơn DOL và DOC là lớn hơn hoặc bằng với khoảng 0,17t.

Phương án thực hiện 15. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 14, trong đó, độ dày t là nhỏ hơn khoảng 2 mm.

Phương án thực hiện 16. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 15, trong đó, độ dày t là nhỏ hơn khoảng 1,2 mm.

Phương án thực hiện 17. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 14 đến 16, còn bao gồm CS bề mặt là khoảng 400 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 18. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 17, còn bao gồm CT tối đa là khoảng 25 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 19. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 18, còn bao gồm CS bề mặt là khoảng 1 GPa hoặc lớn hơn và ứng suất trung tâm (central tension - CT) tối đa là khoảng 75 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 20. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 19, trong đó, CT tối đa là khoảng 80 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 21. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 14 đến 20, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa một hoặc nhiều thành phần bất kỳ trong số P_2O_5 , Li_2O , và B_2O_3 .

Phương án thực hiện 22. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 14 đến 21, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa hai hoặc hơn hai thành phần bất kỳ trong số P_2O_5 , Li_2O , và B_2O_3 .

Phương án thực hiện 23. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 14 đến 22, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh có năng lượng kéo dự trữ là khoảng 6 J/m² hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 24. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 23, trong đó, năng lượng kéo đứt là khoảng 10 J/m^2 hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 25. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 14 đến 24, còn bao gồm trị số CS tại DOL là khoảng 150 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 26. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 14 đến 25, trong đó, DOL là khoảng 10 micrômet hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 27. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 14 đến 26, còn thể hiện ngưỡng xước Knoop là khoảng 8 N hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 28. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 14 đến 27, còn thể hiện ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker là khoảng 120 N hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 29. 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);

vùng ứng suất nén (compressive stress - CS) thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại thứ nhất là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày và oxit kim loại thứ hai; và

vùng CS thứ hai bao gồm oxit kim loại thứ hai và về cơ bản là không có oxit kim loại thứ nhất của vùng CS thứ nhất, vùng CS thứ hai mở rộng từ vùng CS thứ nhất tới độ sâu nén (depth of compression - DOC) là khoảng $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khi được đo từ bề mặt thứ nhất.

Phương án thực hiện 30. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 29, trong đó, oxit kim loại thứ nhất bao gồm ion kim loại thứ nhất có đường kính thứ nhất, và oxit kim loại thứ hai bao gồm ion kim loại thứ hai có đường kính thứ hai, trong đó, đường kính thứ hai là nhỏ hơn đường kính thứ nhất.

Phương án thực hiện 31. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 30, trong đó, oxit kim loại thứ nhất bao gồm K_2O và oxit kim loại thứ hai bao gồm Na_2O .

Phương án thực hiện 32. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 29 đến 31, còn bao gồm vùng ứng suất trung tâm (central tension - CT), trong đó, vùng CS thứ hai và ít nhất một phần của vùng CT chứa cùng một thành phần thủy tinh.

Phương án thực hiện 33. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 29 đến 32, trong đó, nồng độ của oxit kim loại thứ nhất là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn khoảng $0 \cdot t$ tới nhỏ hơn khoảng $0,17 \cdot t$.

Phương án thực hiện 34. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 29 đến 33, trong đó, nồng độ của oxit kim loại thứ nhất là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn khoảng $0,01 \cdot t$ tới khoảng $0,1 \cdot t$.

Phương án thực hiện 35. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 29 đến 34, trong đó, độ dày t là nhỏ hơn khoảng 2 mm.

Phương án thực hiện 36. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 35, trong đó, độ dày t là nhỏ hơn khoảng 1,2 mm.

Phương án thực hiện 37. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 29 đến 36, còn bao gồm CS bề mặt là khoảng 400 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 38. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 37, còn bao gồm CS bề mặt là khoảng 600 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 39. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 29 đến 38, còn thể hiện ngưỡng xước Knoop là khoảng 8 N hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 40. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 29 đến 39, còn thể hiện ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker là khoảng 120 N hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 41. Vật phẩm gốc thủy tinh được gia cường hóa học bao gồm:

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

vùng gia cường nhiệt,

trong đó, bề mặt thứ nhất là phẳng tới mức 100 μm độ lệch bộ chỉ thị tổng cộng (total indicator run-out - TIR) dọc theo 50 mm bất kỳ hoặc nhỏ hơn biên dạng của bề mặt thứ nhất,

trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thủy tinh có nhiệt độ làm mềm, được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$, of T_{soft} và nhiệt độ ủ, được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$, of T_{anneal} , và nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo trên bề mặt thứ nhất của tấm thủy tinh được thể hiện bởi T_{fs} , khi được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$ và thông số nhiệt độ hư cấu bề mặt không thứ nguyên θ_s được cho bởi $(T_{\text{fs}} - T_{\text{anneal}})/(T_{\text{soft}} - T_{\text{anneal}})$, trong đó, thông số θ_s là trong khoảng giới hạn từ 0,20 đến 0,9.

Phương án thực hiện 42. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 41, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm tấm thủy tinh có chiều dài, được biểu diễn theo milimet, là l , và chiều rộng, được biểu diễn theo milimet, là w , trong đó, t là nhỏ hơn l và nhỏ hơn w , và l và w mỗi phần ít nhất là 10 mm.

Phương án thực hiện 43. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 42, trong đó, một trong hai hoặc cả hai l và w ít nhất là 40 mm.

Phương án thực hiện 44. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 41 hoặc 42, trong đó, tỉ lệ l/t và tỉ lệ w/t mỗi phần là bằng với 10/1 hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 45. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 44, trong đó, bề mặt thứ nhất có độ nhám trong khoảng giới hạn từ 0,2 đến 1,5 nm Ra qua diện tích là 10 x 10 μm .

Phương án thực hiện 46. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 45, trong đó, t là nhỏ hơn 2 mm.

Phương án thực hiện 47. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 46, trong đó, t là khoảng 1,2 mm hoặc nhỏ hơn.

Phương án thực hiện 48. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 47, trong đó, nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo trên bề mặt thứ nhất ít nhất là 50°C trên nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh của thủy tinh.

Phương án thực hiện 49. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 48, trong đó, nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo trên bề mặt thứ nhất ít nhất là 75°C trên nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh của thủy tinh.

Phương án thực hiện 50. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 49, còn bao gồm vùng gia cường hóa học mở rộng từ bề mặt thứ nhất tới DOL, trong đó, vùng gia cường nhiệt mở rộng từ bề mặt thứ nhất tới DOC, trong đó, DOC là lớn hơn DOL và DOC là lớn hơn hoặc bằng với khoảng 0,17t.

Phương án thực hiện 51. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 50, còn bao gồm CS bề mặt là khoảng 1 GPa hoặc lớn hơn và CT tối đa là khoảng 75 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 52. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 51, trong đó, CT tối đa là khoảng 80 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 53. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 52, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa P_2O_5 .

Phương án thực hiện 54. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 53, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thành phần chứa Li_2O .

Phương án thực hiện 55. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 54, trong đó, vật phẩm gốc thủy tinh có năng lượng kéo đứt là khoảng 6 J/m^2 hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 56. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện 55, trong đó, năng lượng kéo đứt là khoảng 10 J/m^2 hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 57. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 56, còn bao gồm trị số CS tại DOL là khoảng 150 MPa hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 58. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 57, trong đó, DOL là khoảng 10 micrômet hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 59. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 58, còn thể hiện ngưỡng xước Knoop là khoảng 8 N hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 60. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 41 đến 59, còn thể hiện ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker là khoảng 120 N hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 61. Phương pháp gia cường tấm thủy tinh bao gồm các bước:

làm nguội tấm thủy tinh có nhiệt độ chuyển tiếp, từ nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ chuyển tiếp tới nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ chuyển tiếp bằng cách truyền năng lượng nhiệt từ tấm thủy tinh tới bộ phận tản nhiệt bằng cách dẫn qua khe không có vật chất rắn hoặc lỏng sao cho nhiều hơn 20% của năng lượng nhiệt rời khỏi tấm thủy tinh đi qua khe và được nhận bởi bộ phận tản nhiệt để tạo ra vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt; và

gia cường hóa học vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt.

Phương án thực hiện 62. Phương pháp theo phương án thực hiện 61, trong đó, vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia cường hóa học mà không loại bỏ phần bất kỳ nào của tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt.

Phương án thực hiện 63. Phương pháp theo phương án thực hiện 62, trong đó, vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt được gia cường hóa học mà không loại bỏ 3% hoặc nhiều hơn của độ dày của tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt.

Phương án thực hiện 64. Phương pháp theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 61 đến 63, trong đó, bước làm nguội tấm thủy tinh bao gồm việc làm nguội tại tốc độ là khoảng $-270\text{ }^{\circ}\text{C/giây}$ hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 65. Phương pháp theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 61 đến 64, trong đó, vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt bao gồm độ dày và DOC lớn hơn hoặc bằng với 0,17 lần độ dày của vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt.

Phương án thực hiện 66. Phương pháp theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 61 đến 65, trong đó, bước gia cường hóa học tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt bao gồm việc sinh ra CS bề mặt là khoảng 700 MPa hoặc lớn hơn, trong khi vẫn duy trì DOC.

Phương án thực hiện 67. Phương pháp theo phương án thực hiện 66, trong đó, bước gia cường hóa học vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt bao gồm việc sinh ra vùng gia cường hóa học mở rộng từ bề mặt thứ nhất của lớp gốc thủy tinh tới DOL là lớn hơn hoặc bằng với khoảng 10 micrômet.

Phương án thực hiện 68. Phương pháp theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 61 đến 66, trong đó, bước gia cường hóa học vật phẩm thủy tinh được gia cường nhiệt bao gồm việc nhúng tấm thủy tinh đã được gia cường nhiệt trong bể muối nóng chảy bao gồm một hoặc nhiều thành phần bất kỳ trong số KNO_3 , NaNO_3 , và LiNO_3 .

Phương án thực hiện 69. Phương pháp theo phương án thực hiện 68, trong đó, bể muối nóng chảy bao gồm KNO_3 và NaNO_3 và có nhiệt độ trong khoảng giới hạn từ khoảng $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến khoảng $430\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Phương án thực hiện 70. 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 ở bên 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

vật phẩm che phủ được tạo ra tại hoặc trên bề mặt phía trước của vỏ sao cho nó được tạo ra trên bộ phận hiển thị, vật phẩm gốc thủy tinh che phủ được gia cường nhiệt và hóa học và chứa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t), vùng CS thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày, và vùng CS thứ hai về cơ bản là không có oxit kim loại của vùng CS thứ nhất, vùng CS thứ hai mở rộng từ vùng CS thứ nhất tới DOC là khoảng $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn, và

trong đó, sản phẩm điện tử tiêu dùng là điện thoại di động, thiết bị chơi phương tiện di động, máy tính xách tay hoặc máy tính bảng.

Phương án thực hiện 71. 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 ở bên 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

vật phẩm che phủ được tạo ra tại hoặc trên bề mặt phía trước của vỏ sao cho nó được tạo ra trên bộ phận hiển thị, vật phẩm gốc thủy tinh che phủ bao gồm vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 60.

Phương án thực hiện 72. Tấm cán bao gồm tấm gốc thủy tinh thứ nhất, tấm gốc thủy tinh thứ hai và lớp xen giữa được bố trí giữa tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai,

trong đó, một trong hai hoặc cả hai tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai bao gồm bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t), vùng CS thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày, và vùng CS thứ hai về cơ bản là không có oxit kim

loại của vùng CS thứ nhất, vùng CS thứ hai mở rộng từ vùng CS thứ nhất tới DOC là khoảng 0,17•t hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 73. Tấm cán theo phương án thực hiện 71, trong đó, một tấm trong tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai được tạo hình nguội.

Phương án thực hiện 74. Tấm cán bao gồm tấm gốc thủy tinh thứ nhất, tấm gốc thủy tinh thứ hai và lớp xen giữa được bố trí giữa tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai,

trong đó, một trong hai hoặc cả hai tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai bao gồm vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 60.

Phương án thực hiện 75. Tấm cán theo phương án thực hiện 74, trong đó, một tấm trong tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai được tạo hình nguội.

Phương án thực hiện 76. Phương tiện giao thông bao gồm phần mở; và tấm cán được bố trí trong phần mở,

trong đó, tấm cán bao gồm tấm gốc thủy tinh thứ nhất, tấm gốc thủy tinh thứ hai và lớp xen giữa được bố trí giữa tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai, và

trong đó, một trong hai hoặc cả hai tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai bao gồm bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày (t), vùng CS thứ nhất chứa nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày, và vùng CS thứ hai về cơ bản là không có oxit kim loại của vùng CS thứ nhất, vùng CS thứ hai mở rộng từ vùng CS thứ nhất tới DOC là khoảng 0,17•t hoặc lớn hơn.

Phương án thực hiện 77. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 65, trong đó, một trong số tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai được tạo hình nguội.

Phương án thực hiện 78. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 65 hoặc phương án thực hiện 66, trong đó, tấm gốc thủy tinh thứ nhất được tạo dạng cong phức tạp và có ít nhất một bề mặt cong lõm tạo ra bề mặt thứ nhất của tấm cán và ít

nhất một bề mặt cong lõm để tạo ra bề mặt thứ hai của tấm cán đối diện bề mặt thứ nhất với độ dày ở giữa đó,

trong đó, và tấm gốc thủy tinh thứ hai được tạo dạng cong phức tạp và có ít nhất một bề mặt cong lõm để tạo ra bề mặt thứ ba của tấm cán và ít nhất một bề mặt cong lõm để tạo ra bề mặt thứ tư của tấm cán đối diện bề mặt thứ ba với độ dày ở giữa đó; và

trong đó, các bề mặt thứ ba và thứ tư một cách tương ứng có các trị số CS sao cho bề mặt thứ tư có trị số CS là lớn hơn trị số CS của bề mặt thứ ba.

Phương án thực hiện 79. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 67, trong đó, một đế trong đế gốc thủy tinh thứ nhất hoặc đế gốc thủy tinh thứ hai có độ dày trong khoảng giới hạn là khoảng 0,2 mm tới khoảng 0,7 mm.

Phương án thực hiện 80. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 67 đến 68, trong đó, bề mặt thứ tư của tấm cán có CS cao hơn bề mặt thứ tư có trong trạng thái phẳng và tấm cán là không có các nhiễu loạn quang học.

Phương án thực hiện 81. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 69, trong đó, phần ngoại vi của đế gốc thủy tinh thứ hai gây ra lực nén lên lớp xen giữa, và phần trung tâm của đế gốc thủy tinh thứ hai gây ra lực căng lên lớp xen giữa.

Phương án thực hiện 82. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 70, trong đó, đế gốc thủy tinh thứ hai phù hợp với đế gốc thủy tinh thứ nhất để tạo ra khoảng cách về cơ bản là đồng đều giữa bề mặt cong lõm của đế gốc thủy tinh thứ hai và bề mặt cong lõm của đế gốc thủy tinh thứ nhất, được điền đầy bởi lớp xen giữa xen vào.

Phương án thực hiện 83. Phương tiện giao thông bao gồm phần mở; và tấm cán được bố trí trong phần mở,

trong đó, tấm cán bao gồm tấm gốc thủy tinh thứ nhất, tấm gốc thủy tinh thứ hai và lớp xen giữa được bố trí giữa tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai, và

trong đó, một trong hai hoặc cả hai tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai bao gồm vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 1 đến 60.

Phương án thực hiện 84. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 83, trong đó, một trong số tấm gốc thủy tinh thứ nhất và tấm gốc thủy tinh thứ hai được tạo hình nguội.

Phương án thực hiện 85. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 83 hoặc phương án thực hiện 84, trong đó, tấm gốc thủy tinh thứ nhất được tạo dạng cong phức tạp và có ít nhất một bề mặt cong lõm tạo ra bề mặt thứ nhất của tấm cán và ít nhất một bề mặt cong lồi để tạo ra bề mặt thứ hai của tấm cán đối diện bề mặt thứ nhất với độ dày ở giữa đó,

trong đó, và tấm gốc thủy tinh thứ hai được tạo dạng cong phức tạp và có ít nhất một bề mặt cong lõm để tạo ra bề mặt thứ ba của tấm cán và ít nhất một bề mặt cong lồi để tạo ra bề mặt thứ tư của tấm cán đối diện bề mặt thứ ba với độ dày ở giữa đó; và

trong đó, các bề mặt thứ ba và thứ tư một cách tương ứng có các trị số CS sao cho bề mặt thứ tư có trị số CS là lớn hơn trị số CS của bề mặt thứ ba.

Phương án thực hiện 86. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 85, trong đó, một đế trong đế gốc thủy tinh thứ nhất hoặc đế gốc thủy tinh thứ hai có độ dày trong khoảng giới hạn là khoảng 0,2 mm tới khoảng 0,7 mm.

Phương án thực hiện 87. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 83 đến 86, trong đó, bề mặt thứ tư của tấm cán có CS cao hơn bề mặt thứ tư ở trong trạng thái phẳng và tấm cán là không có các nhiễu loạn quang học.

Phương án thực hiện 88. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 87, trong đó, phần ngoại vi của đế gốc thủy tinh thứ hai gây ra lực nén lên lớp xen giữa, và phần trung tâm của đế gốc thủy tinh thứ hai gây ra lực căng lên lớp xen giữa.

Phương án thực hiện 89. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện 88, trong đó, đế gốc thủy tinh thứ hai phù hợp với đế gốc thủy tinh thứ nhất để tạo ra khoảng cách về cơ bản là đồng đều giữa bề mặt cong lồi của đế gốc thủy tinh thứ hai

và bề mặt cong lõm của đế gốc thủy tinh thứ nhất, được điền đầy bởi lớp xen giữa xen vào.

Phương án thực hiện 90. Phương tiện giao thông theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 83 đến 89, còn thể hiện ngưỡng xước Knoop là khoảng 8 N hoặc lớn hơn, khi được đo trên bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh.

Phương án thực hiện 91. Vật phẩm gốc thủy tinh theo phương án thực hiện bất kỳ trong số các phương án thực hiện từ 83 đến 90, còn thể hiện ngưỡng bắt đầu nứt vỡ của Vicker là khoảng 120 N hoặc lớn hơn, khi được đo trên bề mặt của vật phẩm gốc thủy tinh.

YÊU CẦU BẢO HỘ

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 ;

vùng ứng suất nén (compressive stress - CS) thứ nhất có nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày; và

vùng CS thứ hai về cơ bản là không có oxit kim loại của vùng ứng suất nén (compressive stress - CS) thứ nhất, vùng CS thứ hai đang mở rộng từ vùng ứng suất nén (compressive stress - CS) thứ nhất tới độ sâu DOC nén là $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khi được đo từ bề mặt thứ nhất,

trong đó độ phẳng của bề mặt thứ nhất là $100 \mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn độ lệch bộ chỉ thị tổng cộng (total indicator run-out - TIR), dọc theo 50 mm biên dạng bất kỳ của bề mặt thứ nhất,

trong đó vật phẩm gốc thủy tinh có ứng suất nén bề mặt là 400 MPa hoặc lớn hơn, và

trong đó độ dày t là nhỏ hơn $1,2 \text{ mm}$.

2. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, trong đó oxit kim loại bao gồm một thành phần bất kỳ trong số Na_2O , K_2O , Rb_2O và Cs_2O .

3. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 2, trong đó oxit kim loại bao gồm K_2O .

4. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 2, trong đó oxit kim loại bao gồm Na_2O .

5. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, còn bao gồm vùng ứng suất trung tâm (central tension CT), trong đó vùng CS thứ hai và ít nhất là phần của vùng ứng suất trung tâm (central tension CT) gồm cùng một thành phần thủy tinh.

6. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, trong đó nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi, dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn $0 \cdot t$ tới nhỏ hơn $0,17 \cdot t$.

7. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, trong đó nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn $0,01 \cdot t$ tới $0,1 \cdot t$.
8. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, còn thể hiện ngưỡng cào xước Knoop là 8 N hoặc lớn hơn.
9. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, còn thể hiện ngưỡng ấn lõm Vicker là 120 N hoặc lớn hơn.
10. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, trong đó vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thủy tinh đang có nhiệt độ làm mềm, được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$, là T_{soft} ; và nhiệt độ ủ, được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$, là T_{anneal} , và nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo trên bề mặt thứ nhất của tấm thủy tinh được biểu diễn bởi T_{fs} , khi được biểu diễn ở dạng các đơn vị của $^{\circ}\text{C}$; và thông số nhiệt độ hư cấu bề mặt không thứ nguyên θ_s được cho bởi $(T_{\text{fs}} - T_{\text{anneal}}) / (T_{\text{soft}} - T_{\text{anneal}})$, trong đó thông số θ_s là trong khoảng giới hạn là từ 0,20 tới 0,9.
11. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 10, trong đó nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo trên bề mặt thứ nhất ít nhất là 50°C bên trên nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh của thủy tinh.
12. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, trong đó bề mặt thứ nhất có độ nhám trong khoảng giới hạn là từ 0,2 đến 1,5 nm Ra qua diện tích là $10 \times 10 \mu\text{m}$.
13. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 1, còn bao gồm trị số CS tại DOL là 150 MPa hoặc lớn hơn.
14. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 13, trong đó vật phẩm gốc thủy tinh có biên dạng ứng suất, và trong đó biên dạng ứng suất thể hiện hình dạng parabol dọc theo vùng đang thể hiện ứng suất căng.
15. 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 ;

vùng ứng suất nén (compressive stress - CS) thứ nhất có nồng độ của oxit kim loại thứ nhất là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày và oxit kim loại thứ hai; và

vùng CS thứ hai bao gồm oxit kim loại thứ hai và về cơ bản là không có của oxit kim loại thứ nhất của vùng ứng suất nén (compressive stress - CS) thứ nhất, vùng CS thứ hai đang mở rộng từ vùng ứng suất nén (compressive stress - CS) thứ nhất tới độ sâu của DOC nén là $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn, khi được đo từ bề mặt thứ nhất,

trong đó độ phẳng của bề mặt thứ nhất là $100 \mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn độ lệch bộ chỉ thị tổng cộng (total indicator run-out - TIR) dọc theo 50 mm biên dạng bất kỳ của bề mặt thứ nhất,

trong đó vật phẩm gốc thủy tinh có ứng suất nén bề mặt là 400 MPa hoặc lớn hơn, và

trong đó độ dày t là nhỏ hơn 1,2 mm.

16. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, trong đó oxit kim loại thứ nhất bao gồm ion kim loại thứ nhất bao gồm đường kính thứ nhất, và oxit kim loại thứ hai bao gồm ion kim loại thứ hai bao gồm đường kính thứ hai, trong đó đường kính thứ hai là nhỏ hơn đường kính thứ nhất.

17. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 16, trong đó oxit kim loại thứ nhất bao gồm K_2O và oxit kim loại thứ hai bao gồm Na_2O .

18. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, còn bao gồm vùng ứng suất trung tâm (central tension CT), trong đó vùng CS thứ hai và ít nhất phần của vùng ứng suất trung tâm (central tension CT) gồm cùng một thành phần thủy tinh.

19. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, trong đó nồng độ của oxit kim loại thứ nhất là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn $0 \cdot t$ tới nhỏ hơn $0,17 \cdot t$.

20. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, trong đó nồng độ của oxit kim loại thứ nhất là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày từ bề mặt thứ nhất tới độ sâu trong khoảng giới hạn từ lớn hơn $0,01 \cdot t$ tới $0,1 \cdot t$.

21. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, còn bao gồm CS bề mặt là 600 MPa hoặc lớn hơn.
22. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, còn thể hiện ngưỡng cào xước Knoop là 8 N hoặc lớn hơn.
23. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, còn thể hiện ngưỡng ấn lõm Vicker là 120 N hoặc lớn hơn.
24. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, trong đó vật phẩm gốc thủy tinh bao gồm thủy tinh đang có nhiệt độ làm mềm, được biểu diễn ở dạng các đơn vị của °C, là T_{soft} ; và nhiệt độ ủ, được biểu diễn ở dạng các đơn vị của °C, là T_{anneal} ; và nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo trên bề mặt thứ nhất của tấm thủy tinh được biểu diễn bởi T_{fs} , khi được biểu diễn ở dạng các đơn vị của °C; và thông số nhiệt độ hư cấu bề mặt không thứ nguyên θ_s được cho bởi $(T_{fs} - T_{anneal}) / (T_{soft} - T_{anneal})$, trong đó thông số θ_s là trong khoảng giới hạn là từ 0,20 tới 0,9.
25. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 24, trong đó nhiệt độ hư cấu bề mặt được đo trên bề mặt thứ nhất ít nhất là 50°C bên trên nhiệt độ chuyển tiếp thủy tinh của thủy tinh.
26. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, trong đó bề mặt thứ nhất có độ nhám trong khoảng giới hạn là từ 0,2 đến 1,5 nm Ra qua diện tích là $10 \times 10 \mu\text{m}$.
27. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm 15, còn bao gồm trị số CS tại DOL là 150 MPa hoặc lớn hơn.
28. Vật phẩm gốc thủy tinh theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 15 đến 27, trong đó vật phẩm gốc thủy tinh có biên dạng ứng suất, và trong đó biên dạng ứng suất thể hiện hình dạng parabol dọc theo vùng đang thể hiện ứng suất căng.
29. 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 ở bên 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

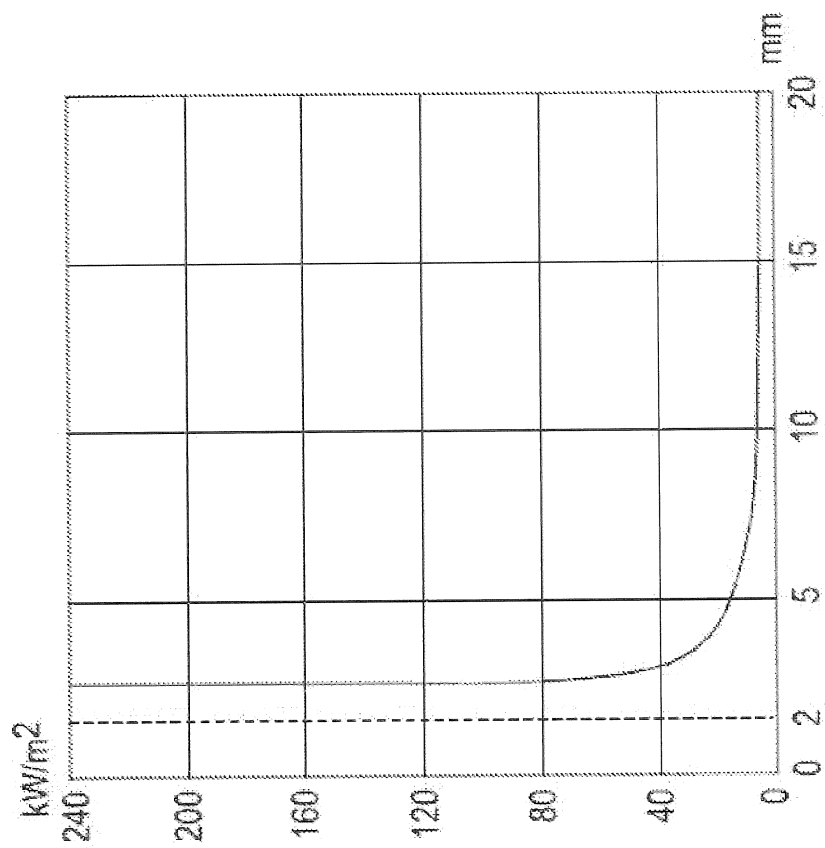
vật phẩm che phủ được tạo ra tại hoặc trên bề mặt phía trước của vỏ sao cho nó được tạo ra trên bộ phận hiển thị, vật phẩm gốc thủy tinh che phủ được gia cường nhiệt và hóa học và chứa bề mặt thứ nhất và bề mặt thứ hai đối diện bề mặt thứ nhất xác định độ dày t , vùng CS thứ nhất có nồng độ của oxit kim loại là cả khác không và thay đổi dọc theo phần của độ dày, và vùng CS thứ hai về cơ bản là không có của oxit kim loại của vùng CS thứ nhất, vùng CS thứ hai đang mở rộng từ vùng CS thứ nhất tới DOC là $0,17 \cdot t$ hoặc lớn hơn, trong đó độ phẳng của bề mặt thứ nhất là $100 \mu\text{m}$ hoặc nhỏ hơn độ lệch bộ chỉ thị tổng cộng (total indicator run-out - TIR) dọc theo 50 mm biên dạng bất kỳ của bề mặt thứ nhất,

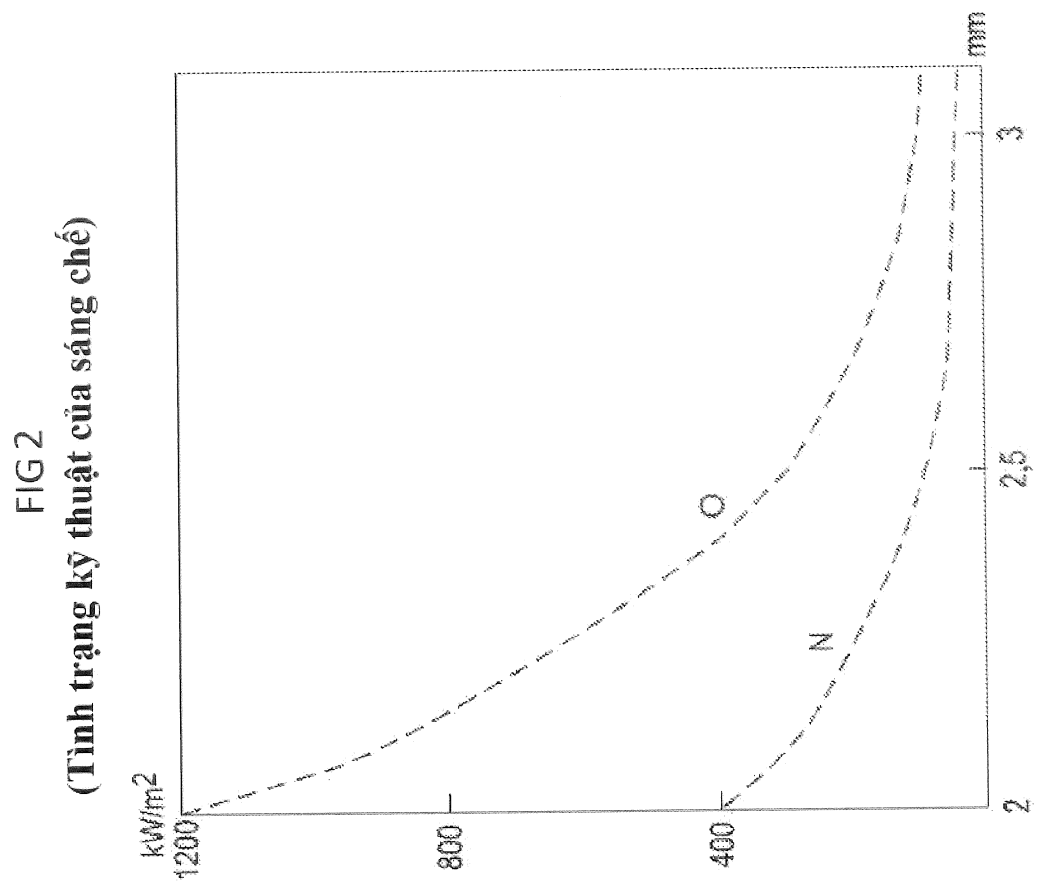
trong đó vật phẩm gốc thủy tinh có ứng suất nén bề mặt là 400 MPa hoặc lớn hơn, trong đó độ dày t là nhỏ hơn $1,2 \text{ mm}$, và

trong đó sản phẩm điện tử tiêu dùng là điện thoại di động, thiết bị chơi phương tiện di động, máy tính xách tay hoặc máy tính bảng.

30. Sản phẩm điện tử tiêu dùng theo điểm 29, trong đó vật phẩm gốc thủy tinh có biên dạng ứng suất, và trong đó biên dạng ứng suất thể hiện hình dạng parabol dọc theo vùng đang thể hiện ứng suất căng.

FIG 1
(Tình trạng kỹ thuật của sáng chế)





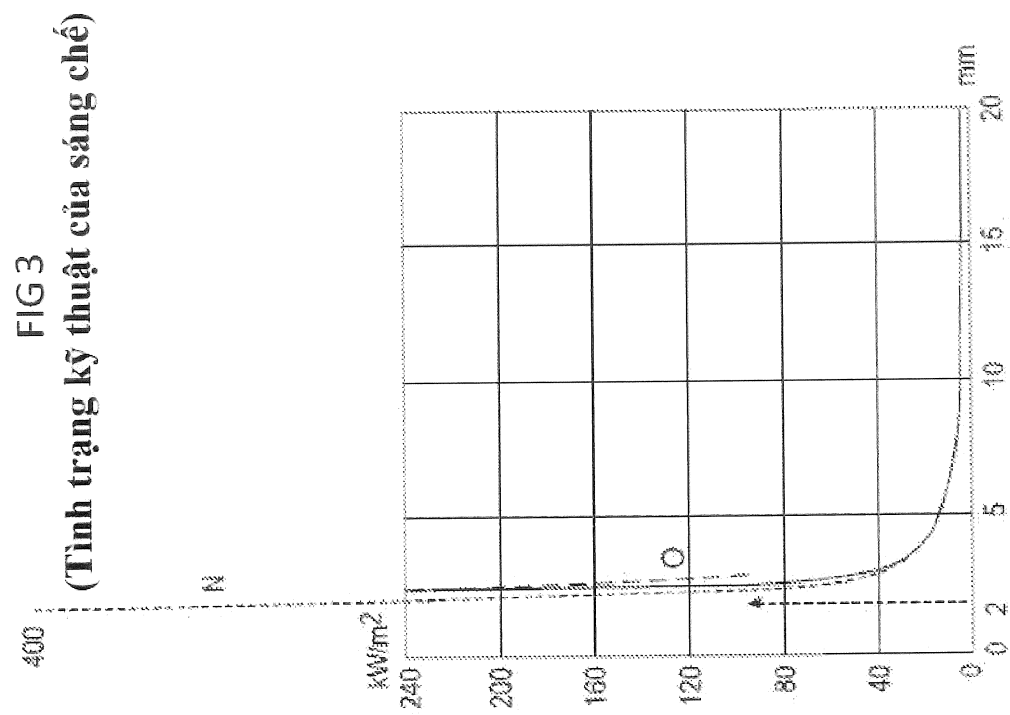


FIG 4
(Tình trạng kỹ thuật của sáng chế)

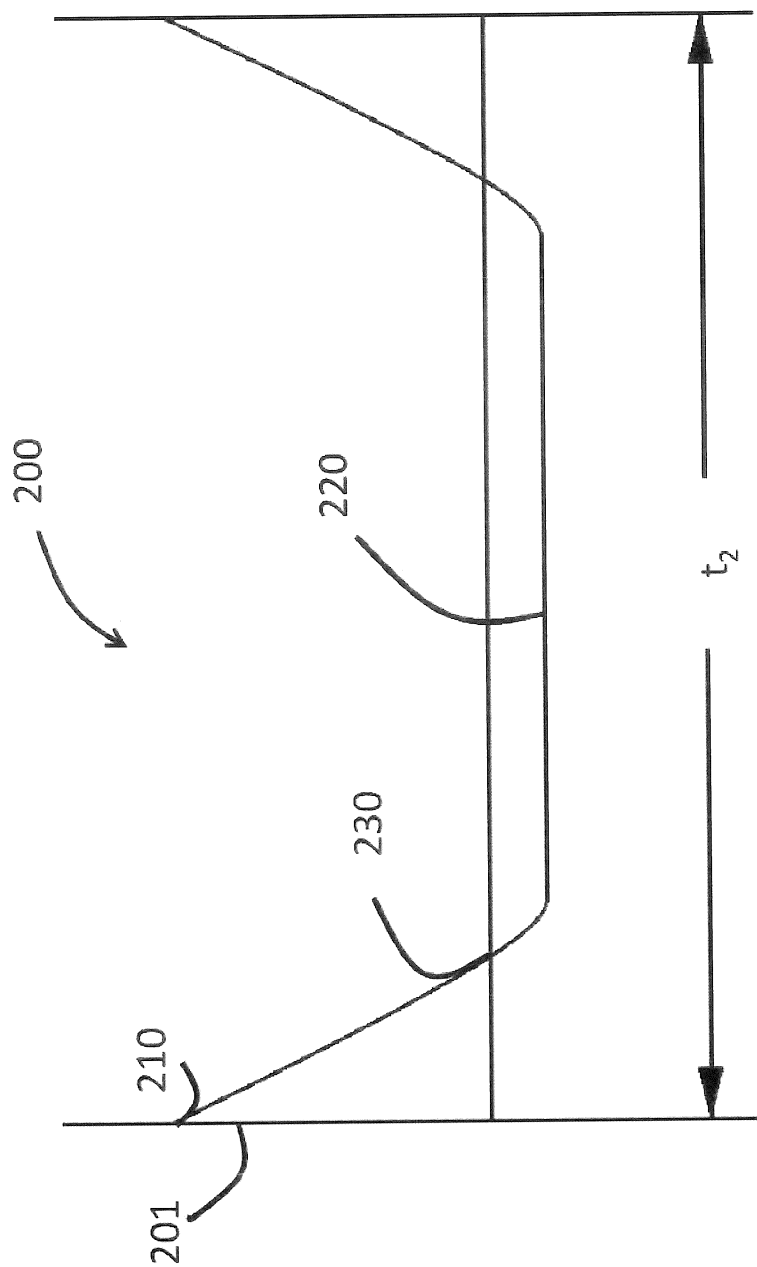
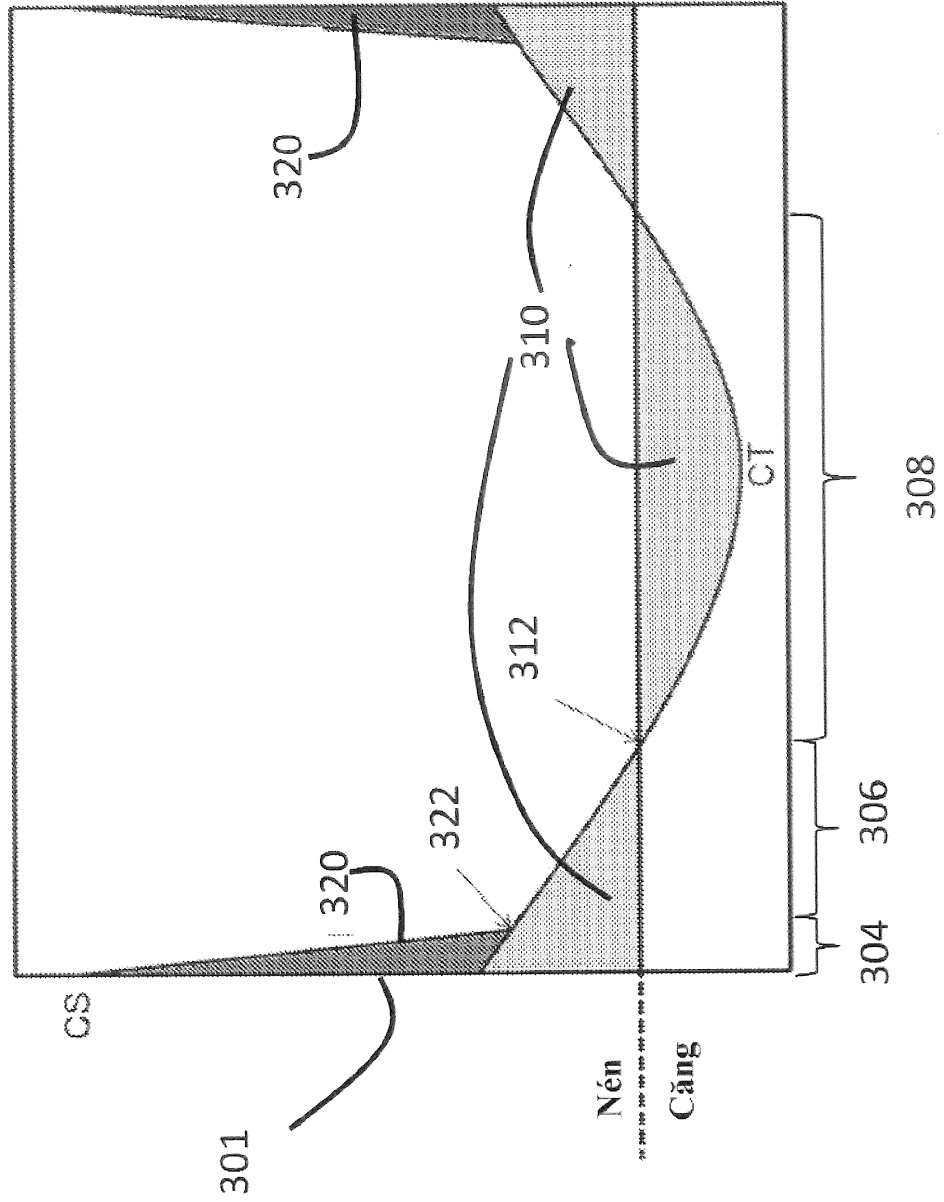


FIG 5



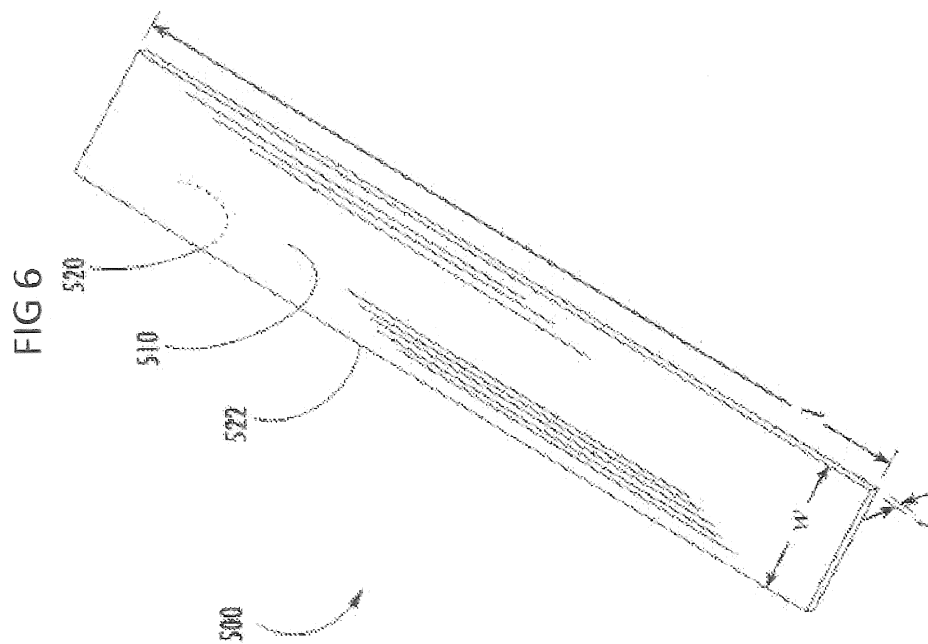


FIG 7

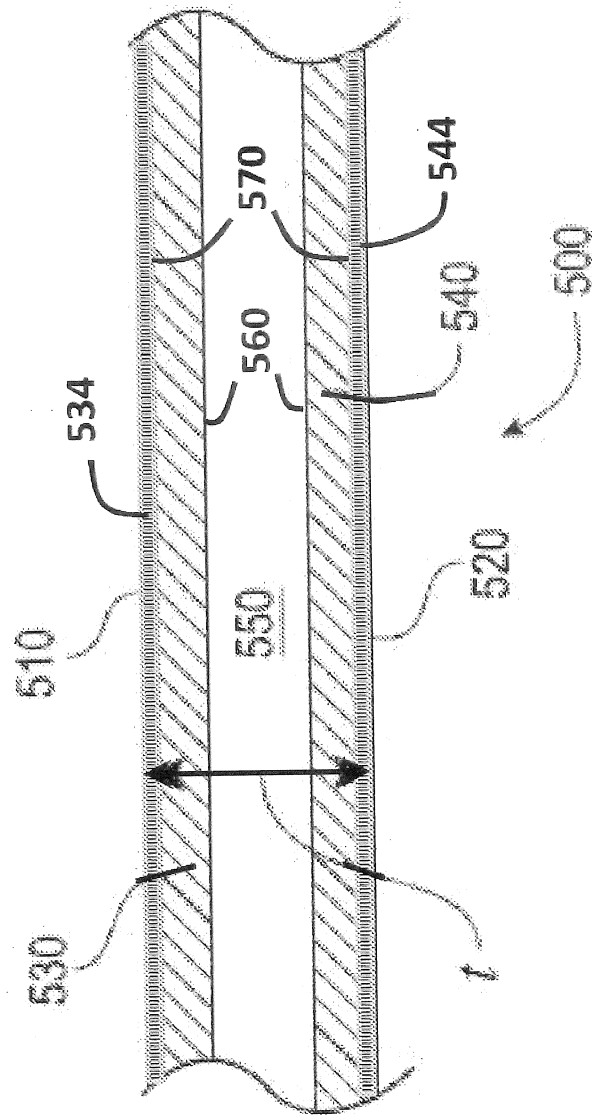


FIG. 8

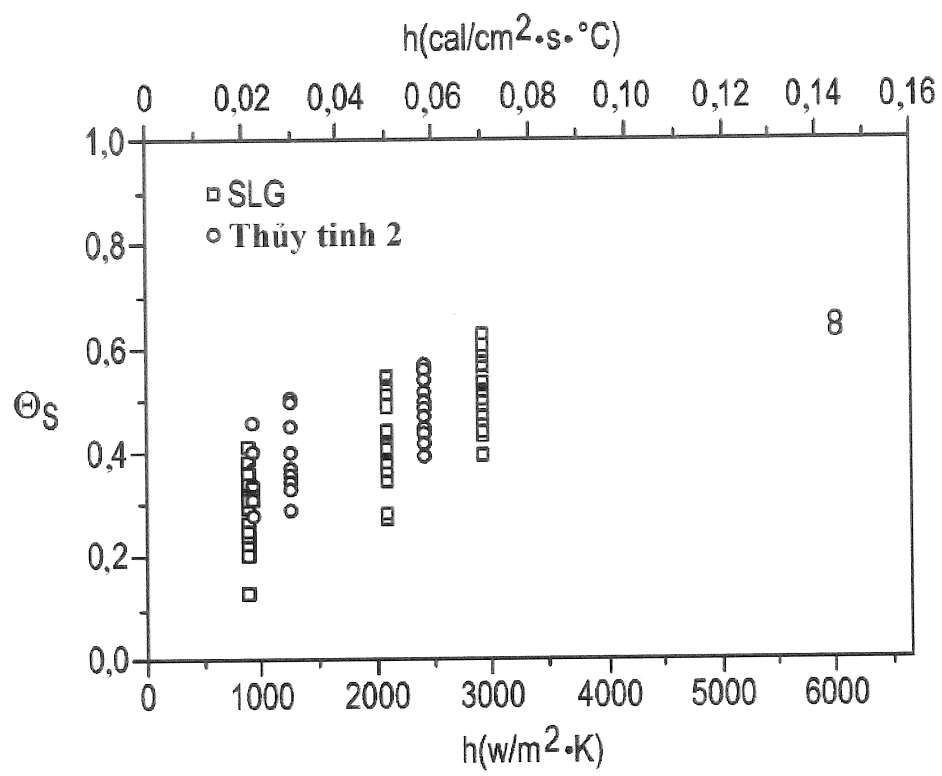


FIG. 9

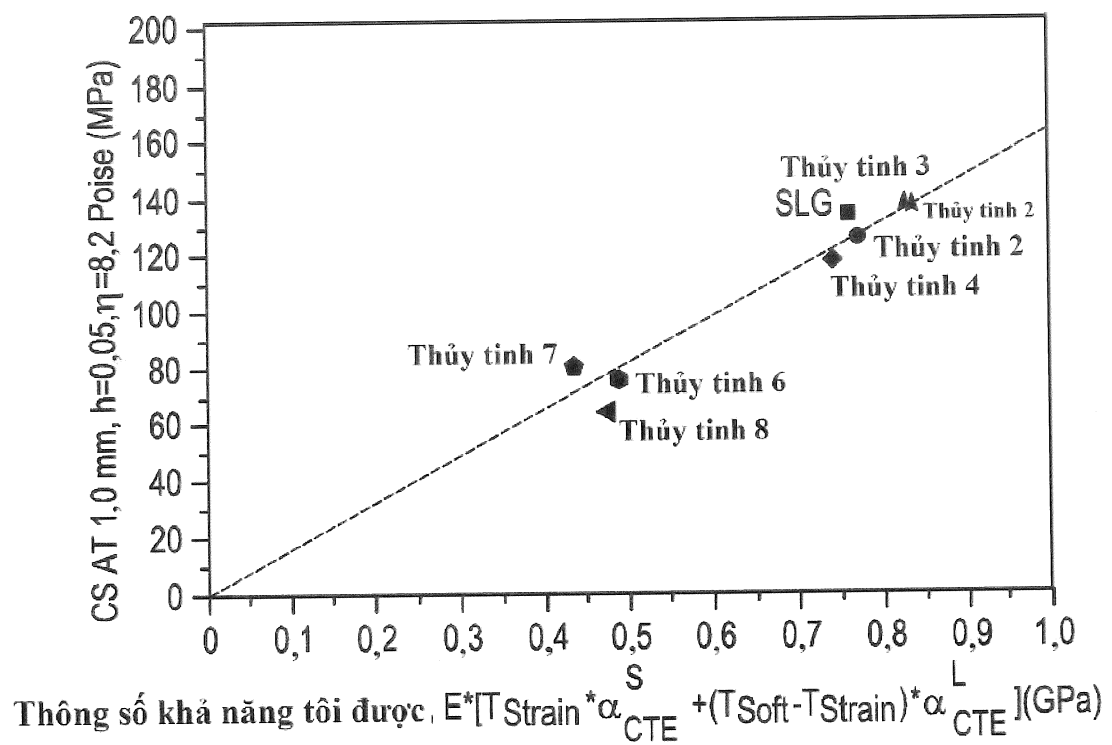


FIG. 10

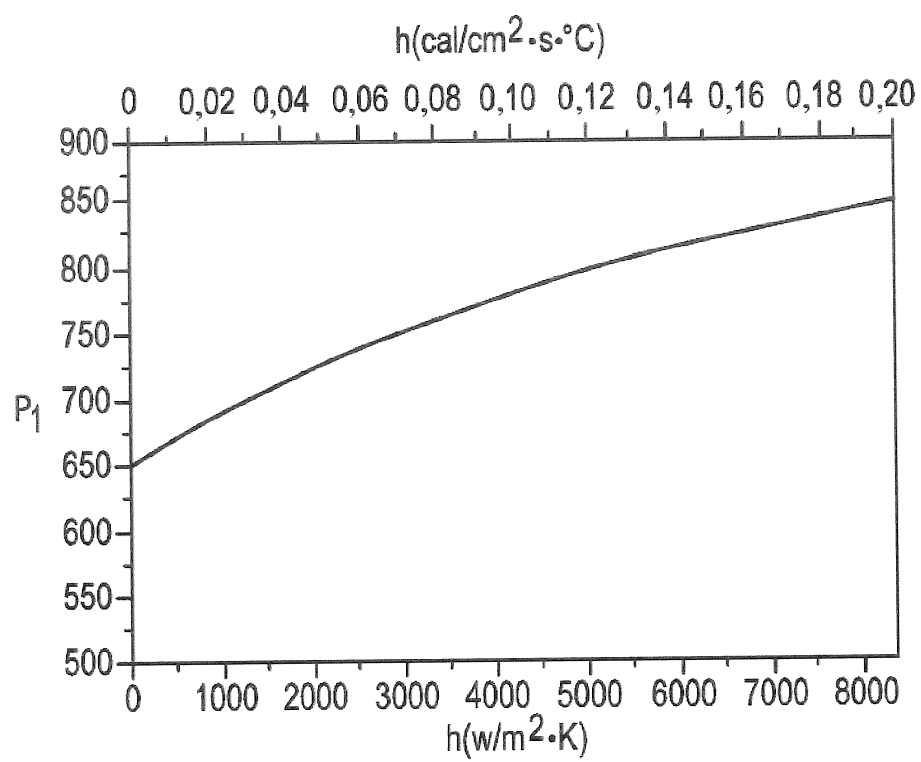


FIG. 11

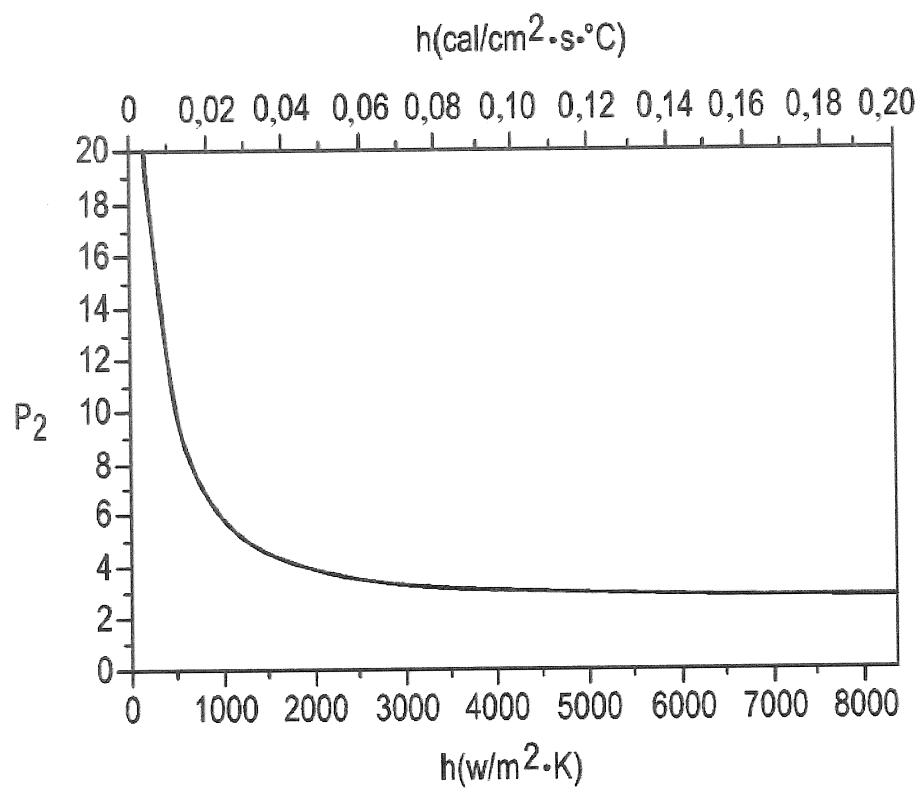
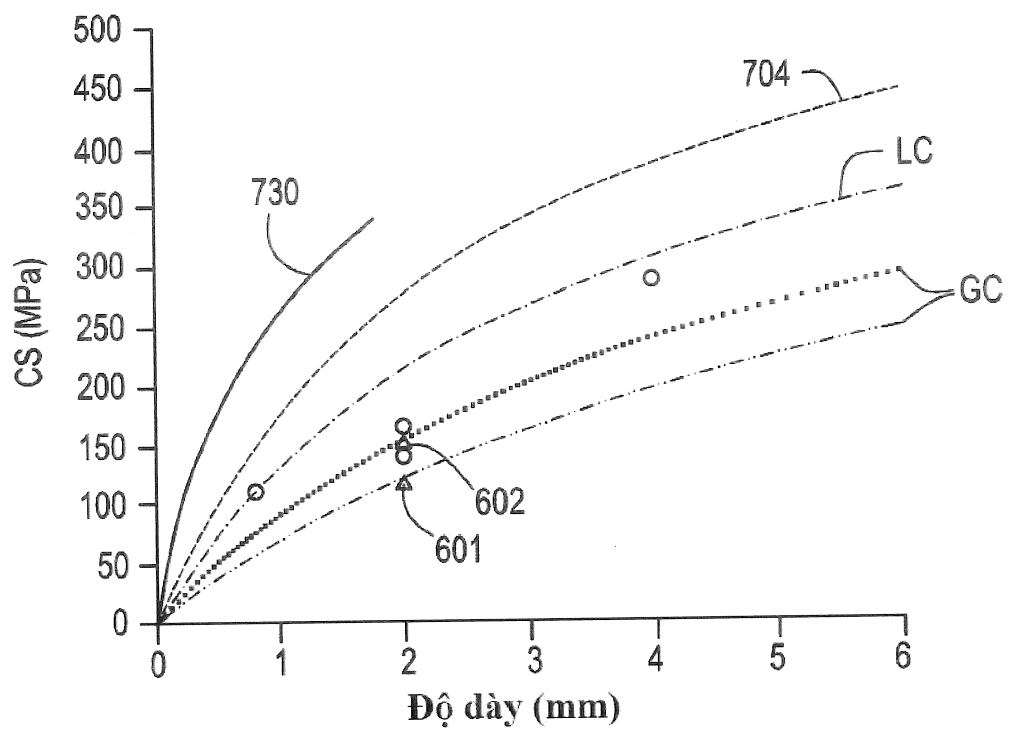
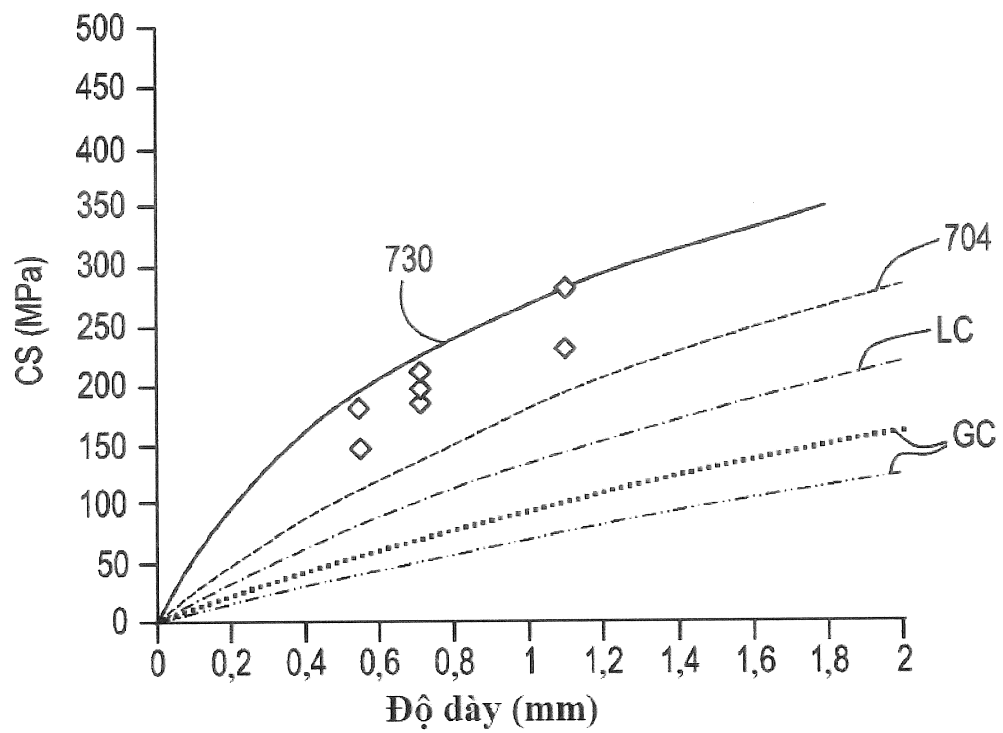


FIG. 12



- 8370 W/m² K@730°C
- - - 8370 W/m² K@704°C
- 2600 W/m² K@704°C
- 1250 W/m² K@704°C
- - - 840 W/m² K@704°C
- Tiếp xúc chất lỏng
- △ Đôi lưu khí

FIG. 13



- 8370 W/m² K@730°C
- - - 8370 W/m² K@704°C
- · - 2600 W/m² K@704°C
- 1250 W/m² K@704°C
- - - - 840 W/m² K@704°C
- ◇ Các kết quả hiện tại

FIG. 14A

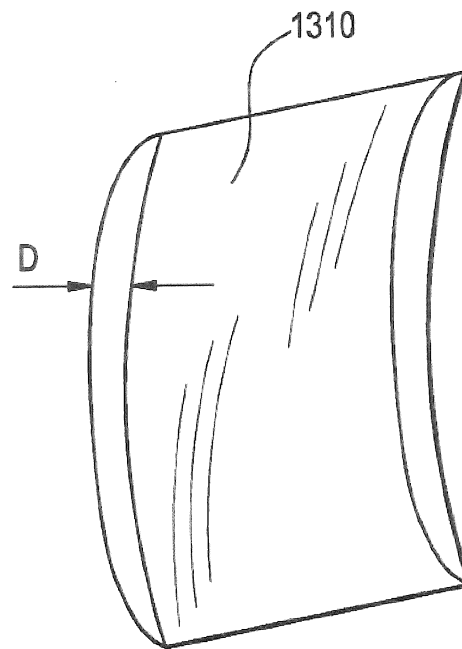


FIG 14B

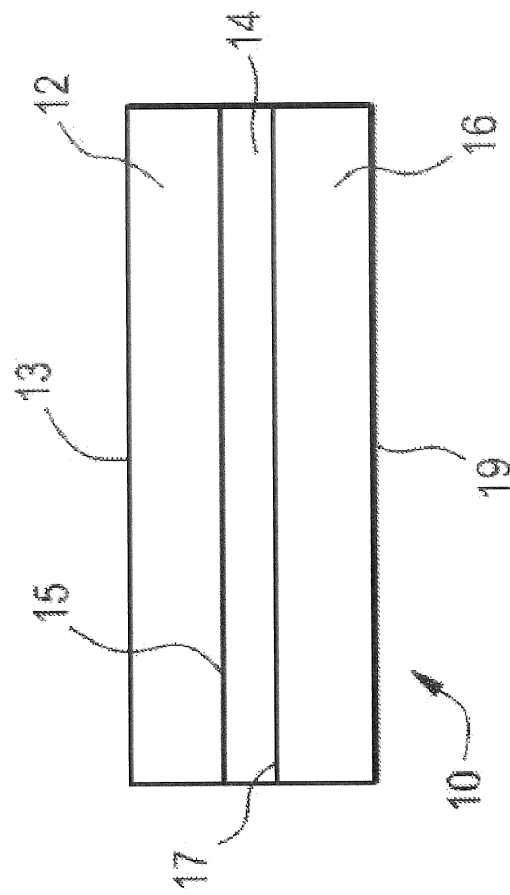
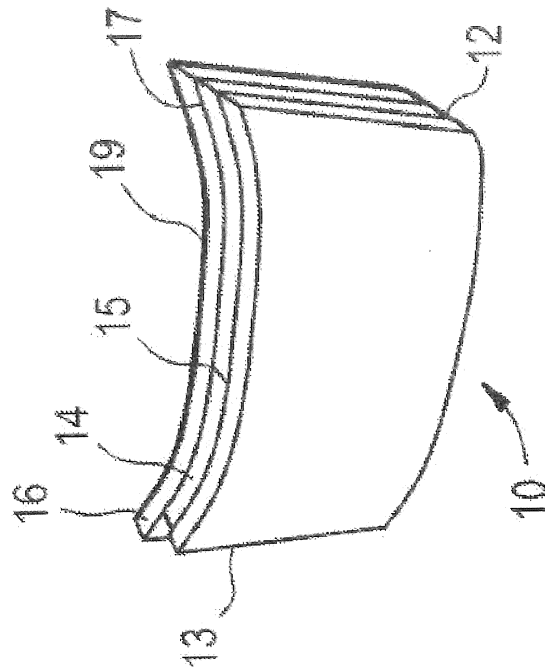


FIG 14C



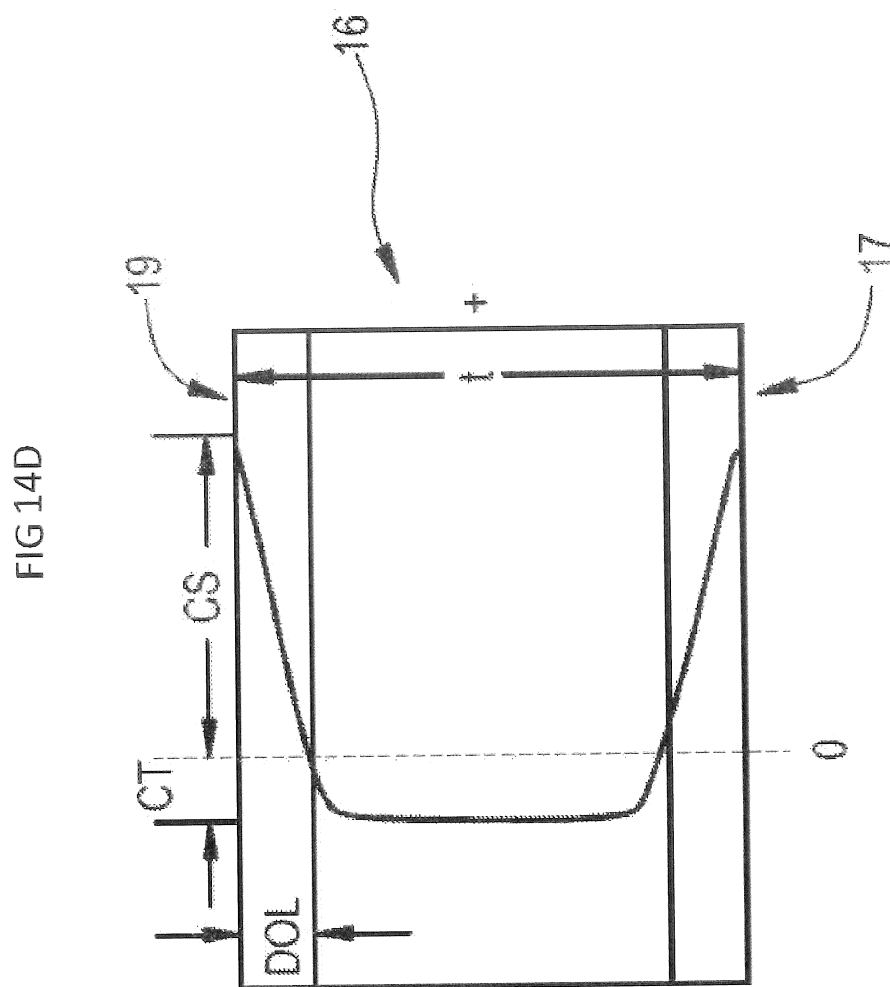
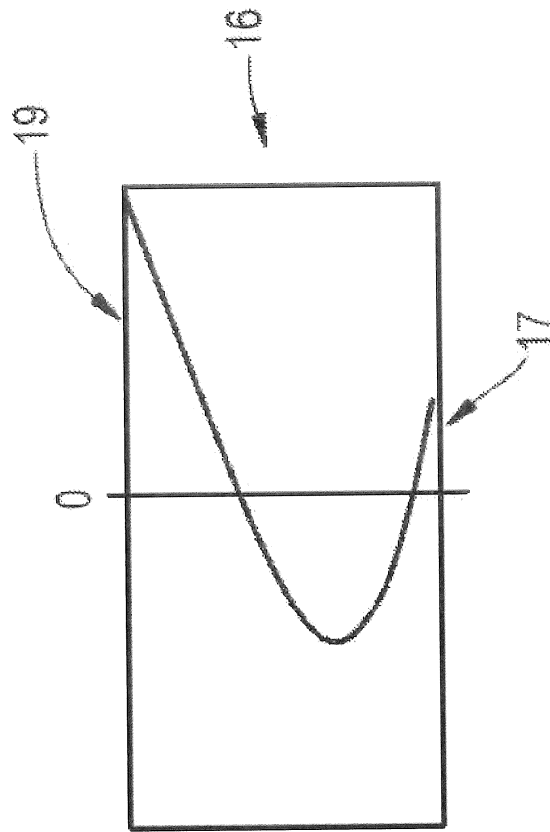


FIG 14E



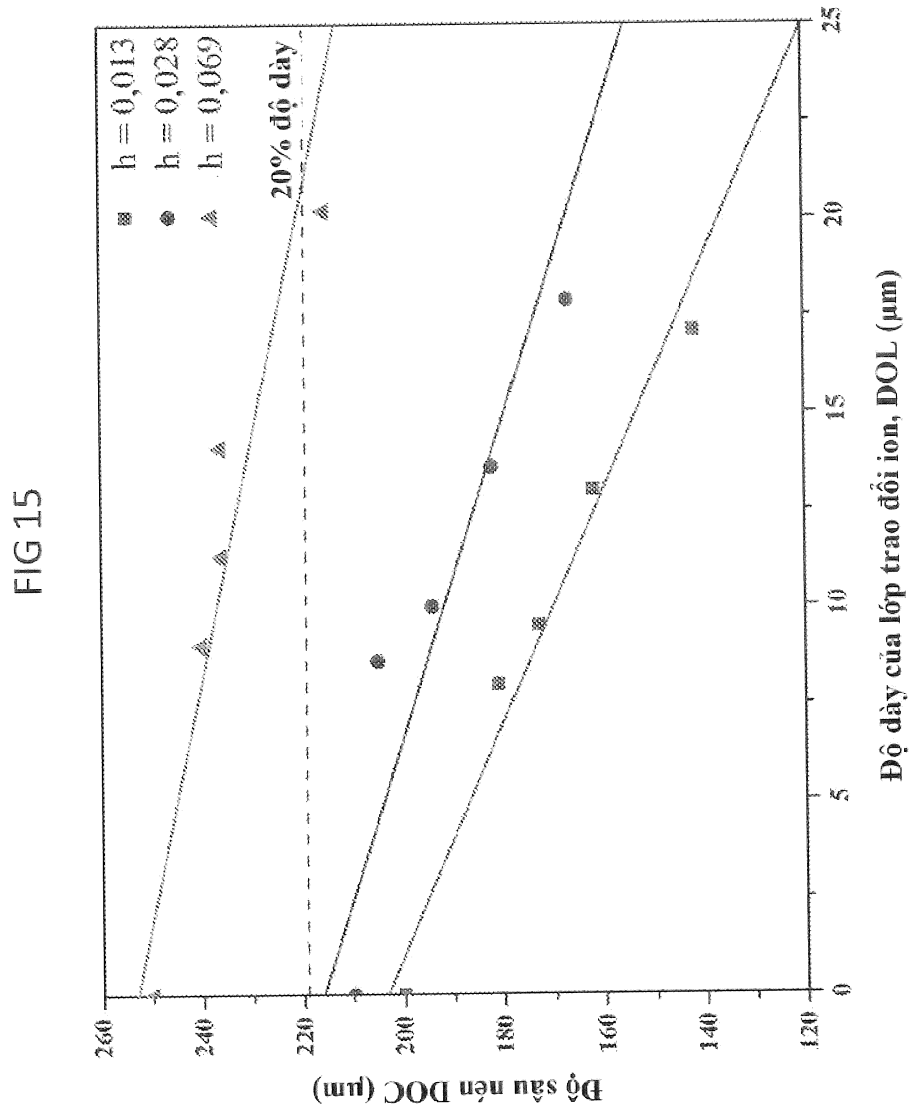


FIG 16

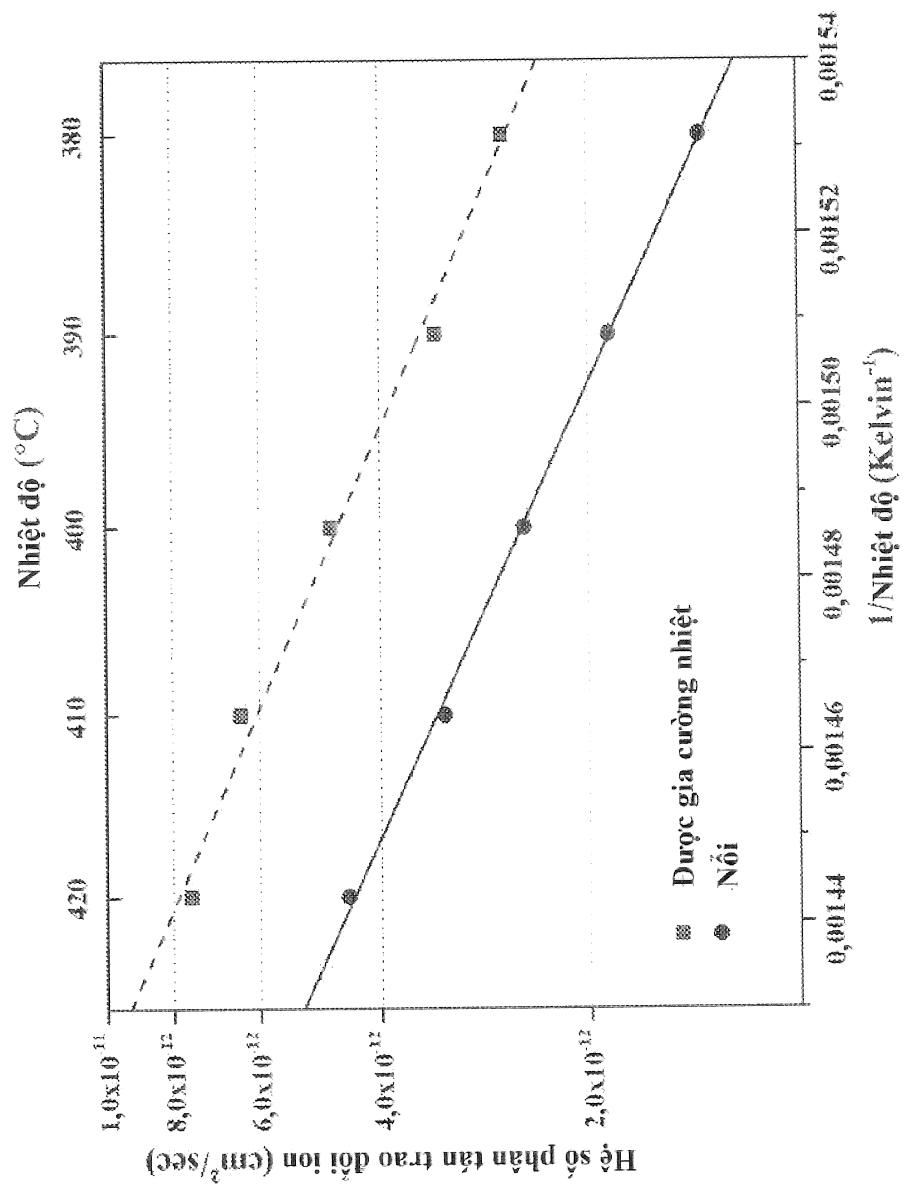


FIG 17

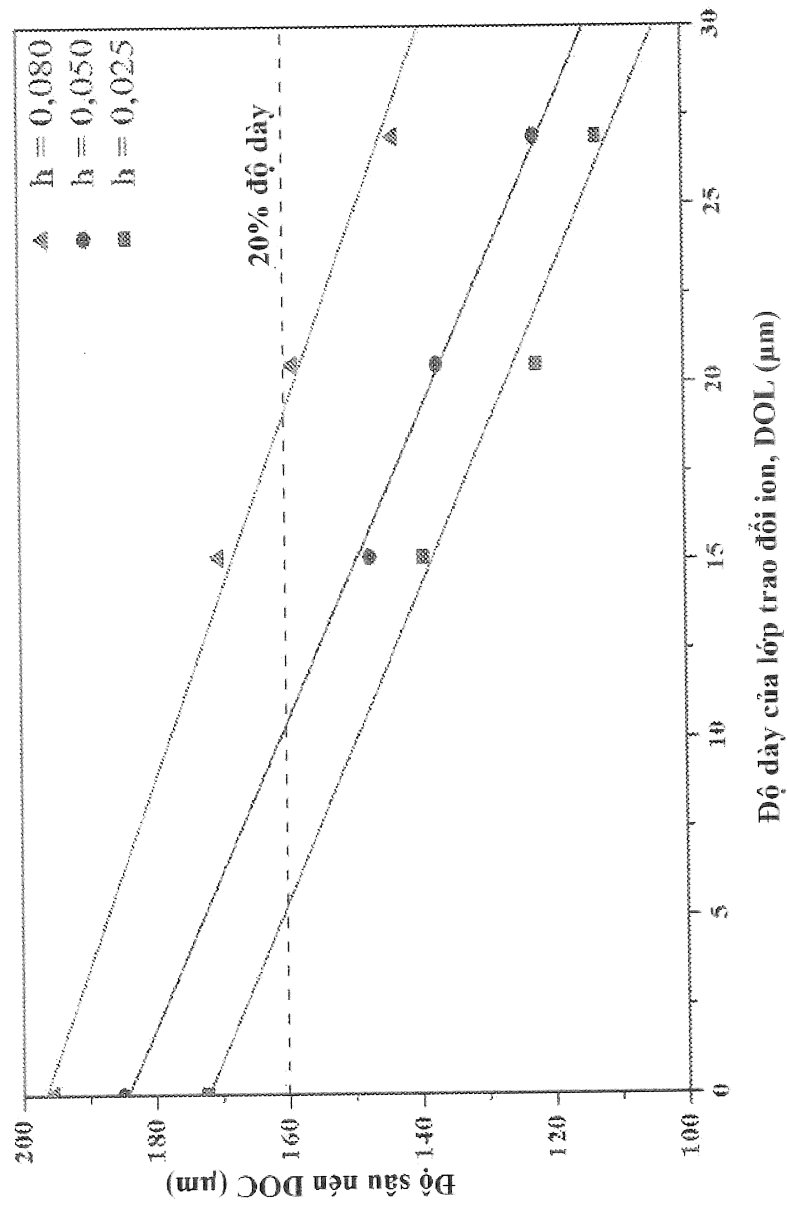


FIG 18

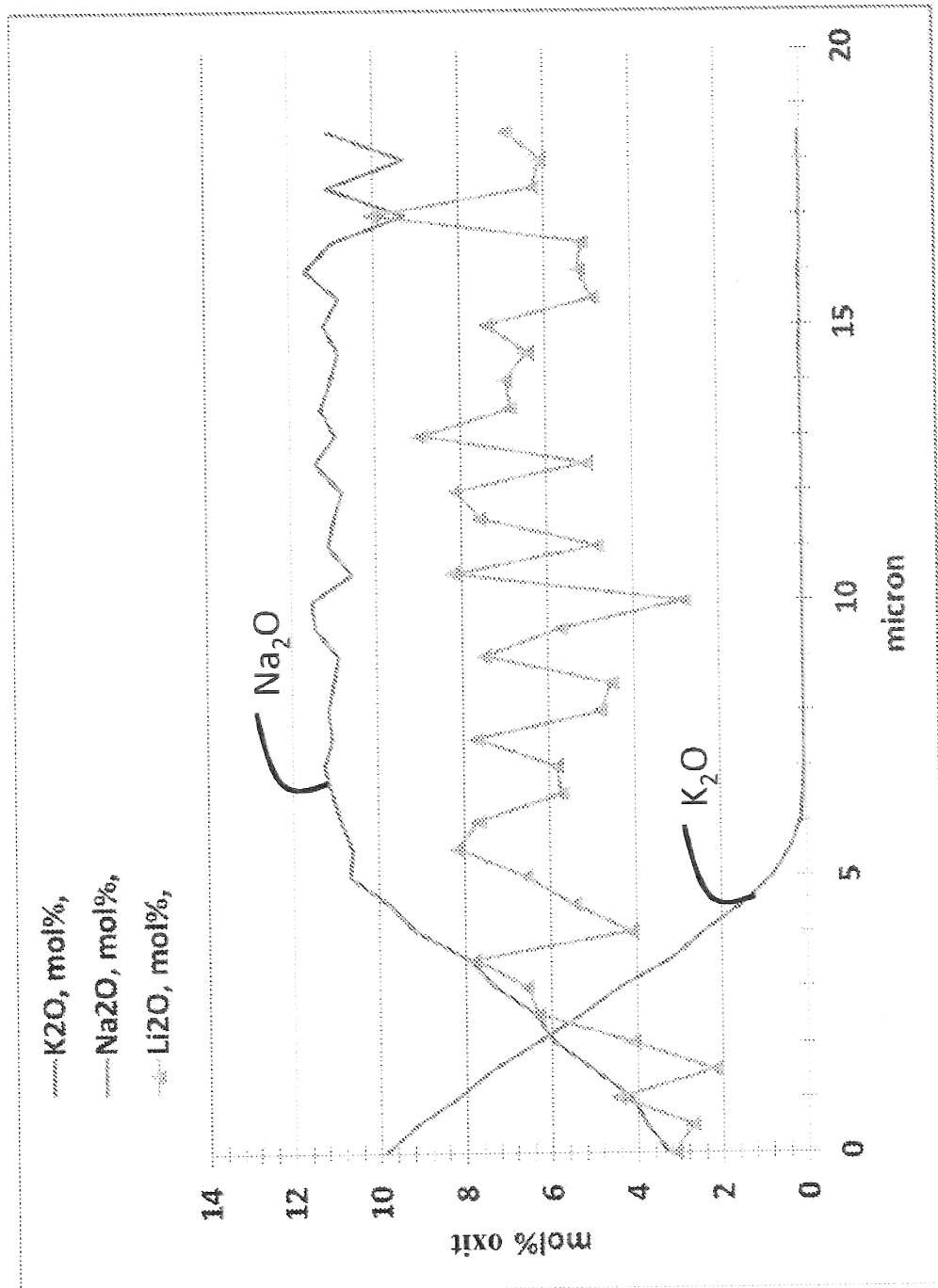


FIG 19

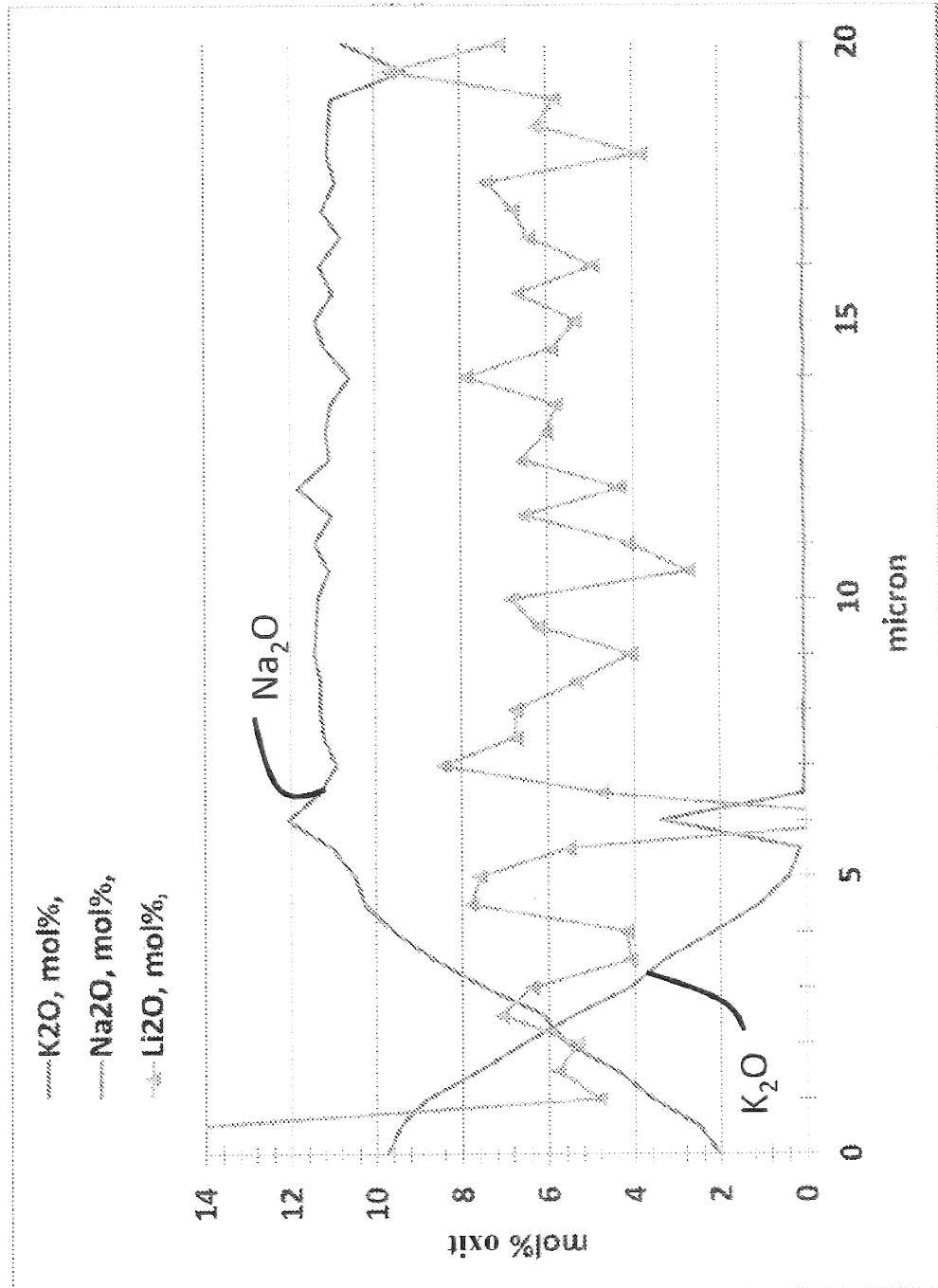


FIG 20

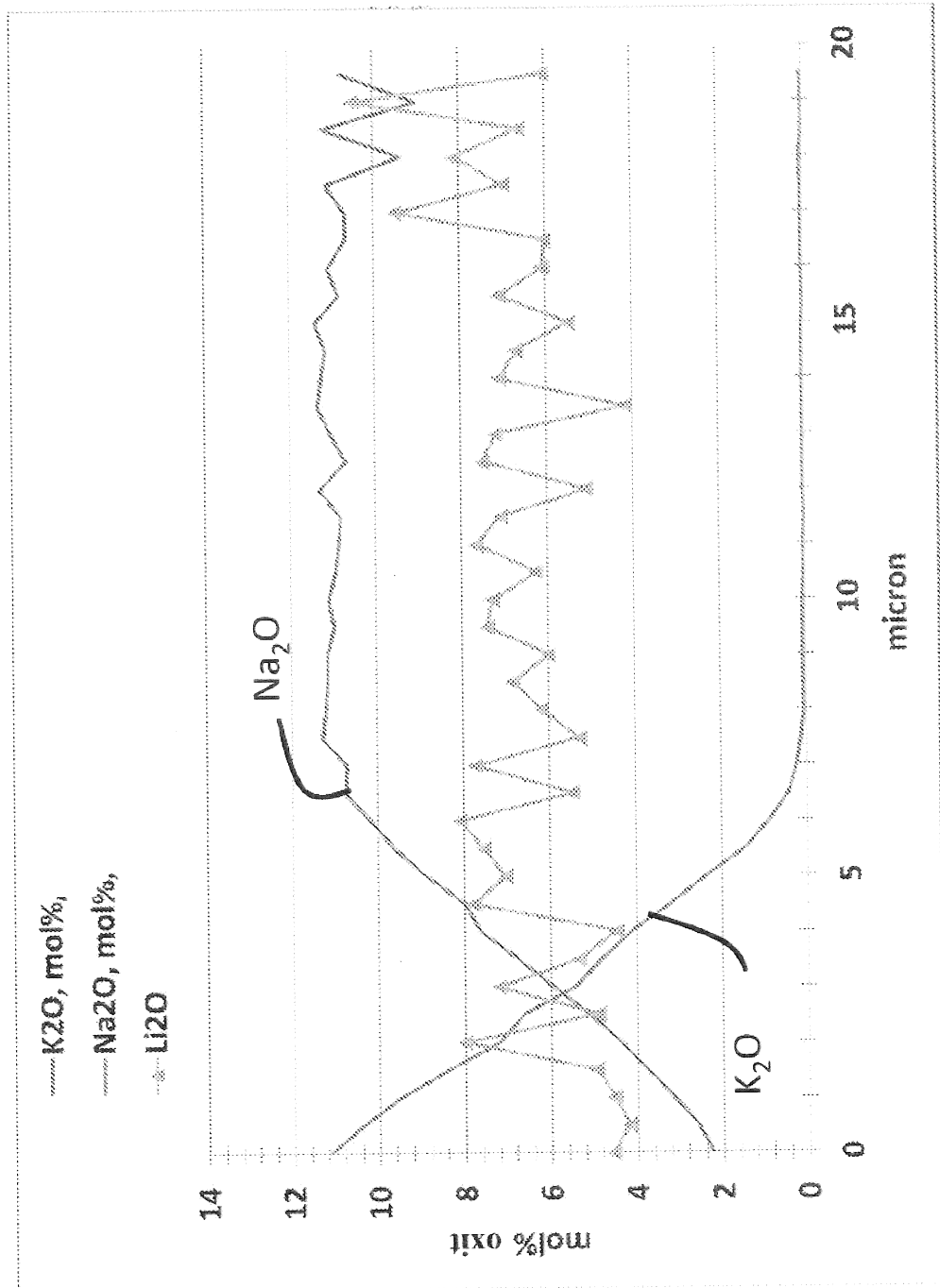


FIG 21

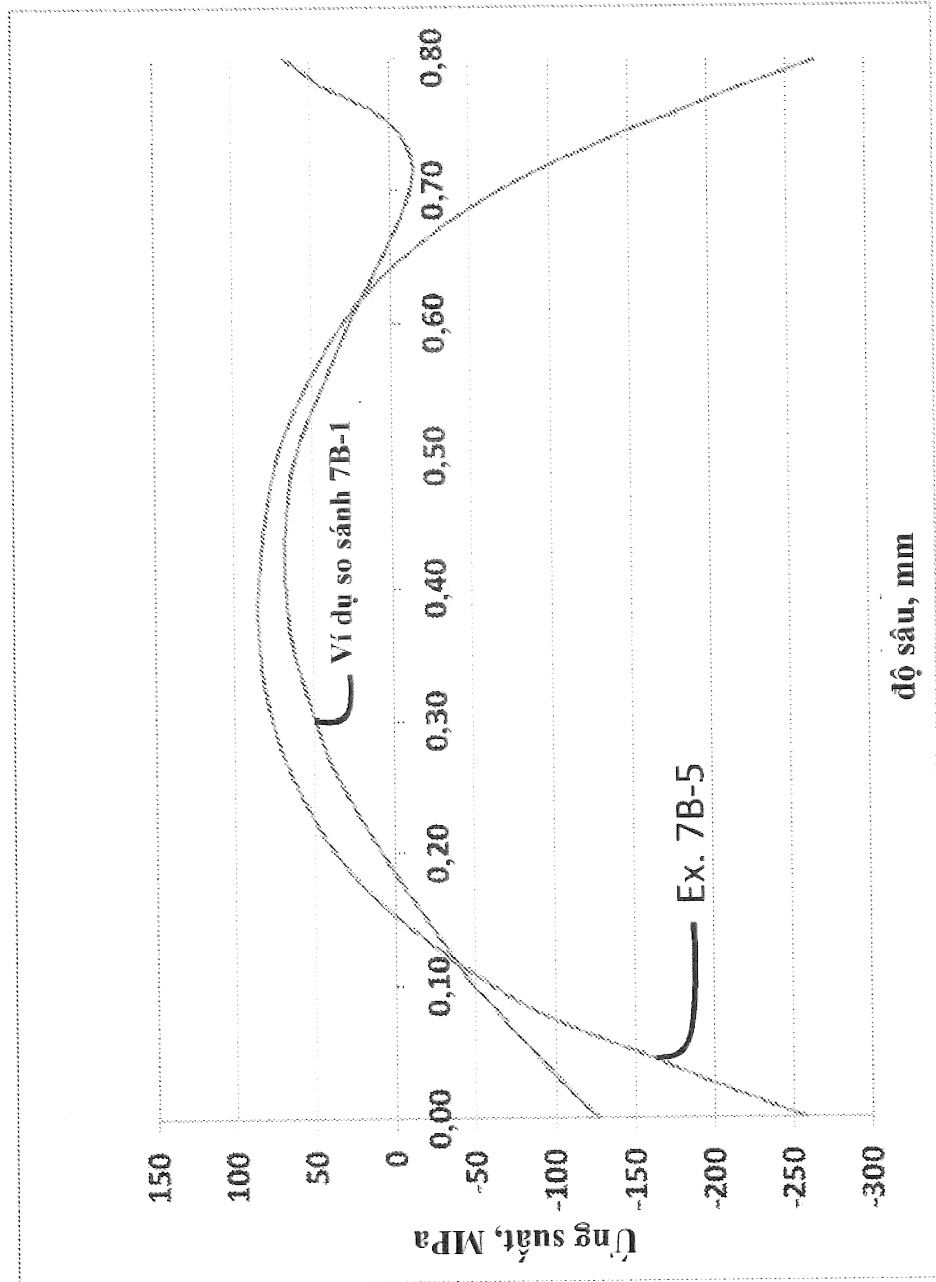


FIG. 22

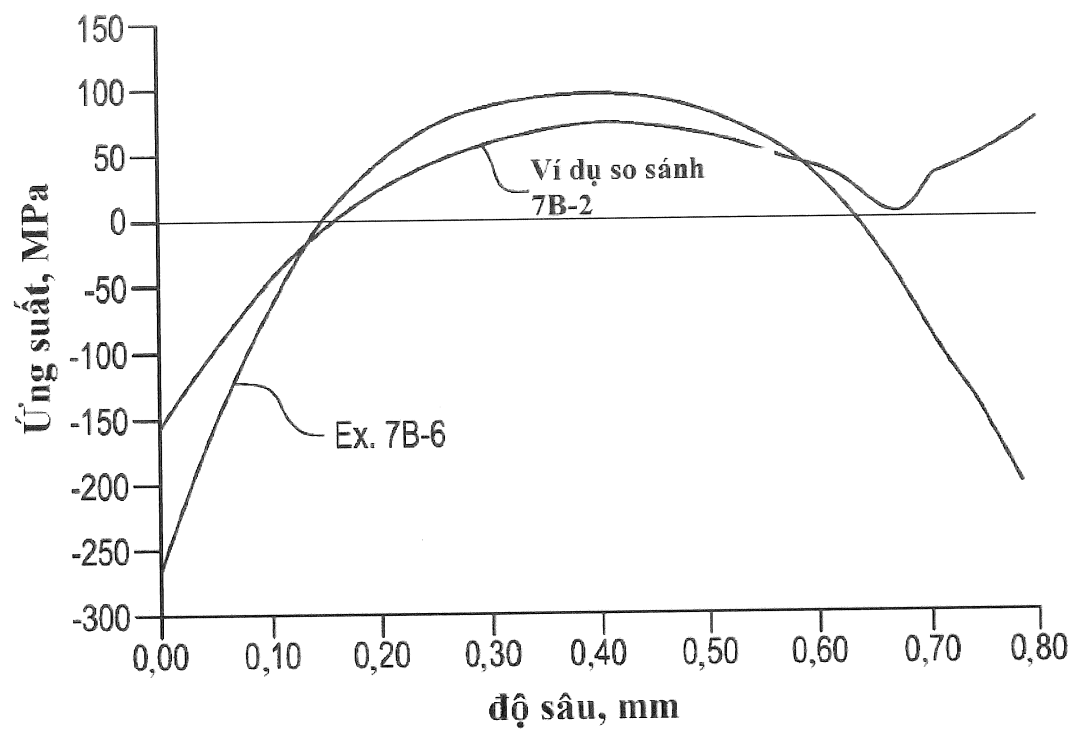


FIG. 23

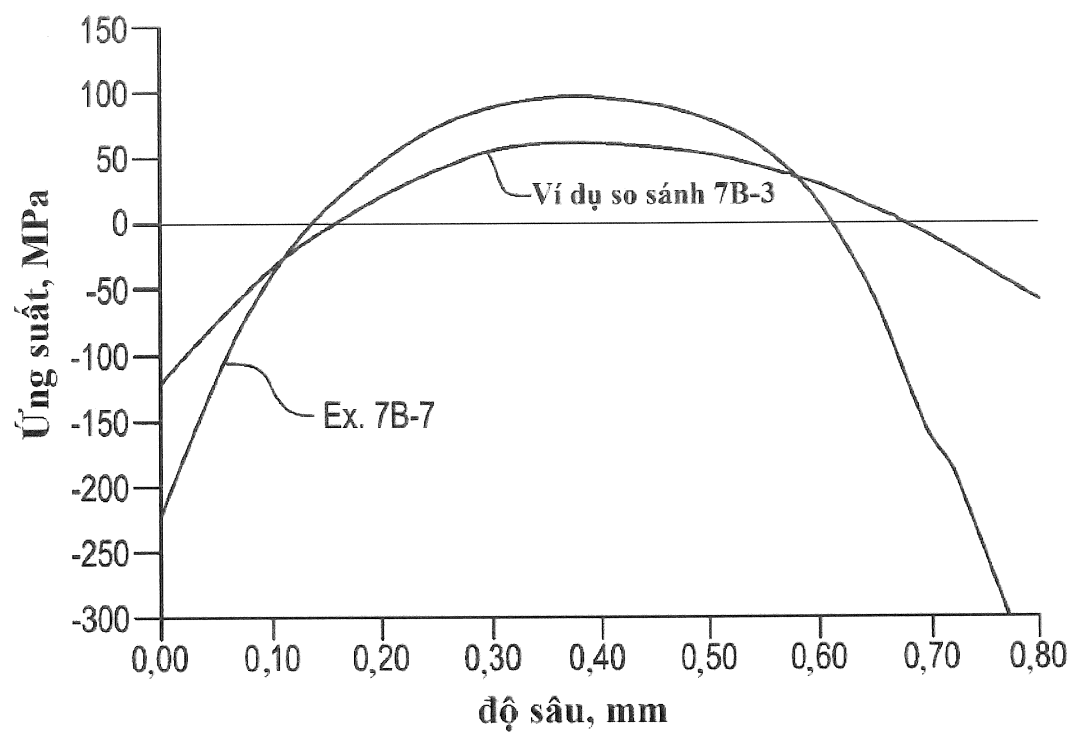


FIG 24

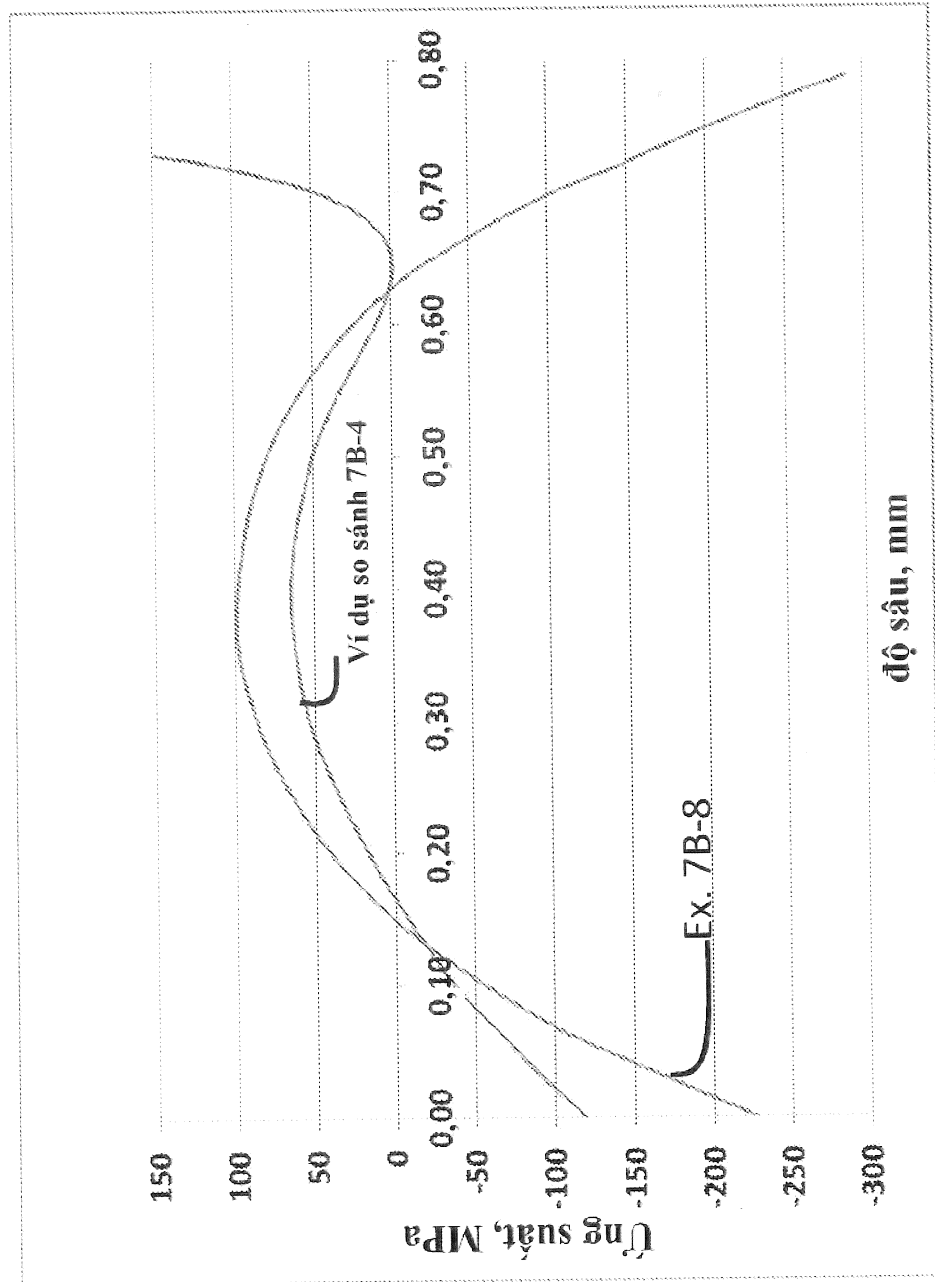


FIG 25

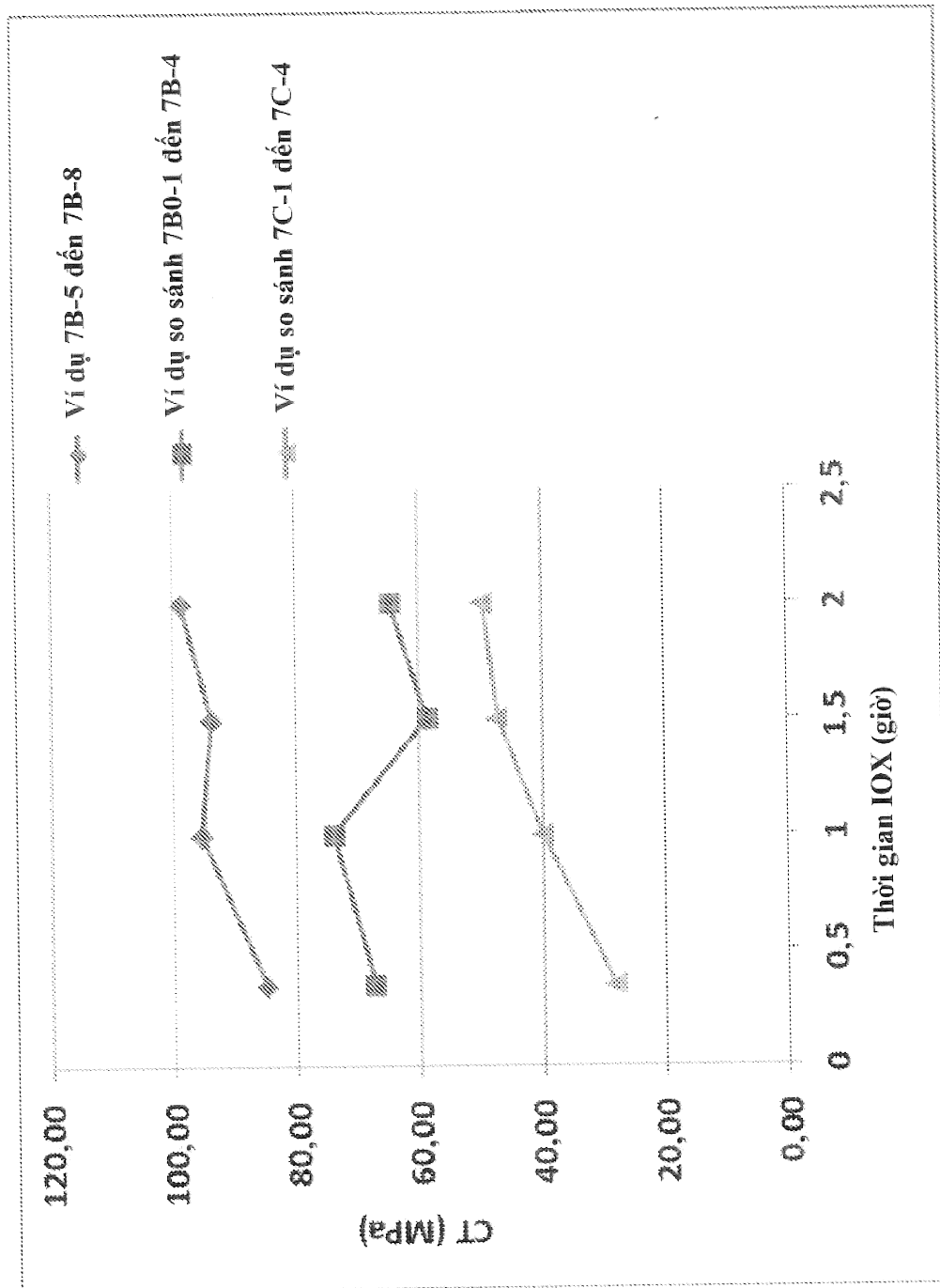


FIGURE 26

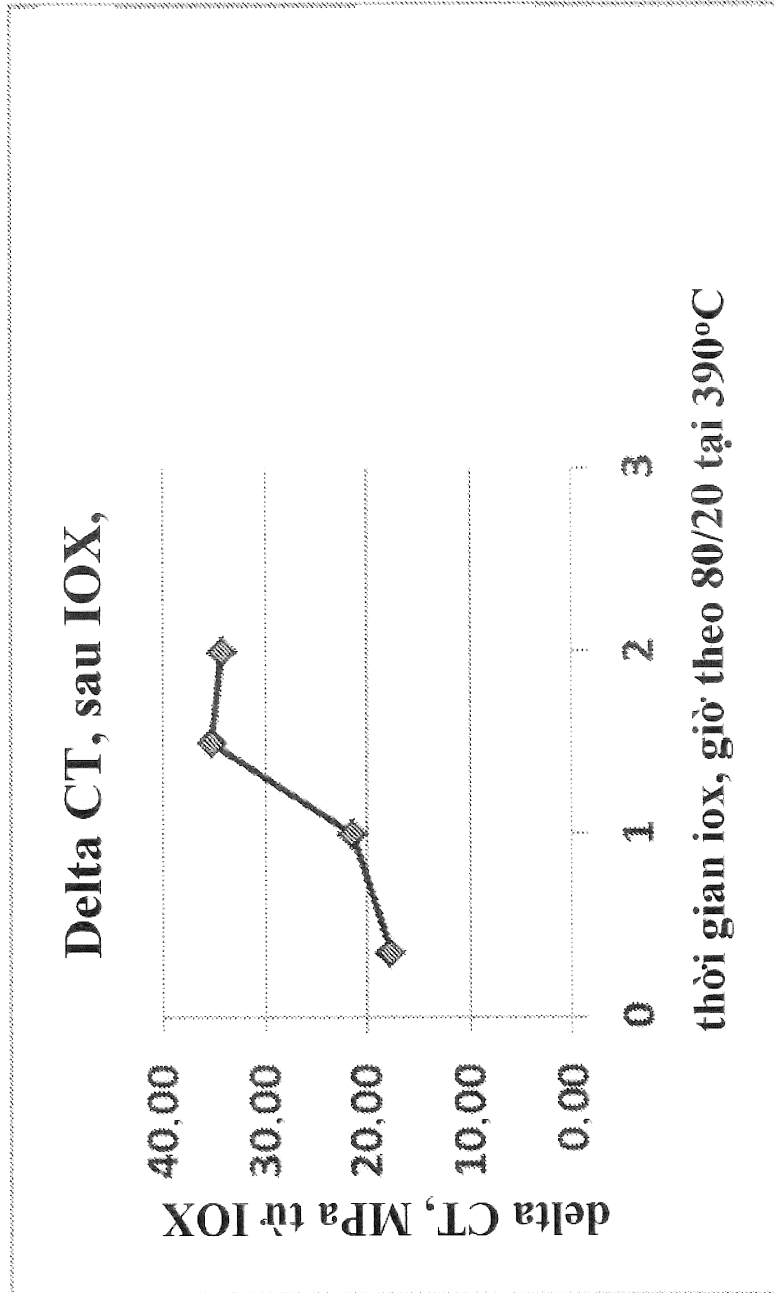


FIG 27

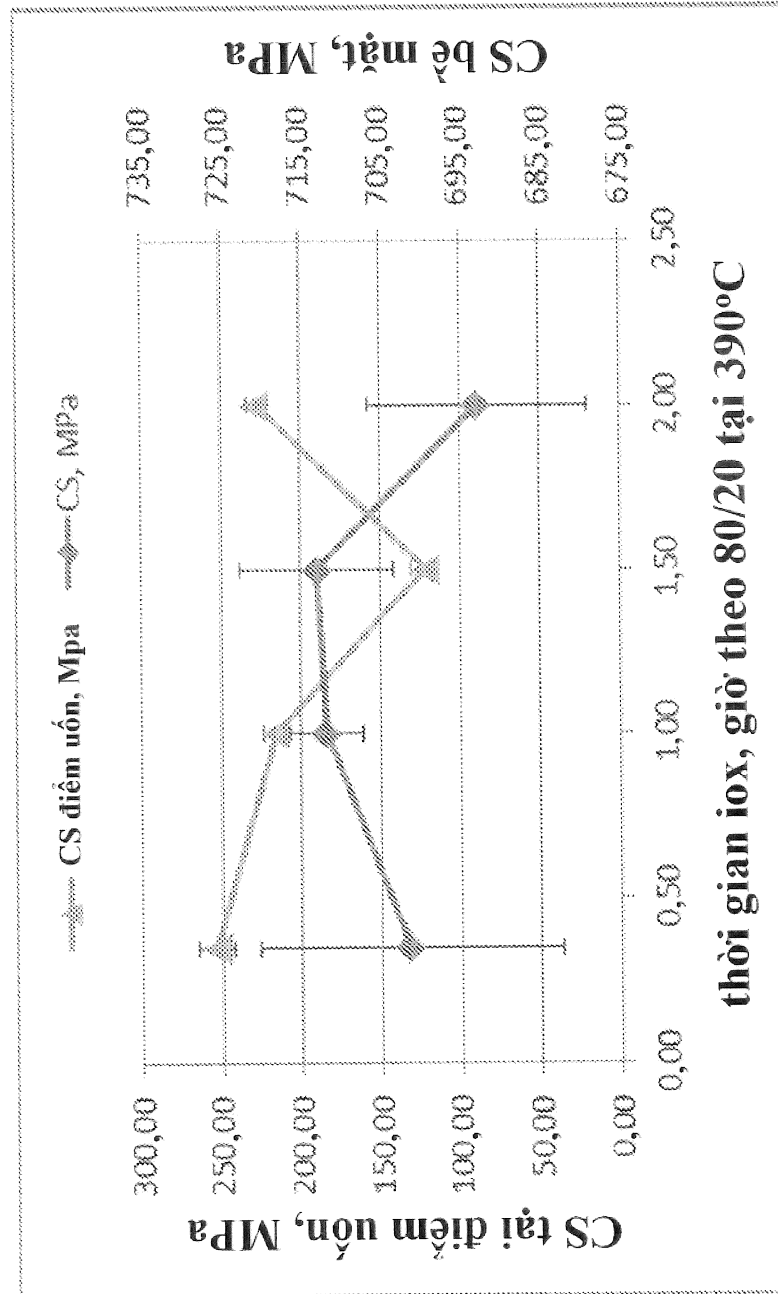


FIG 28

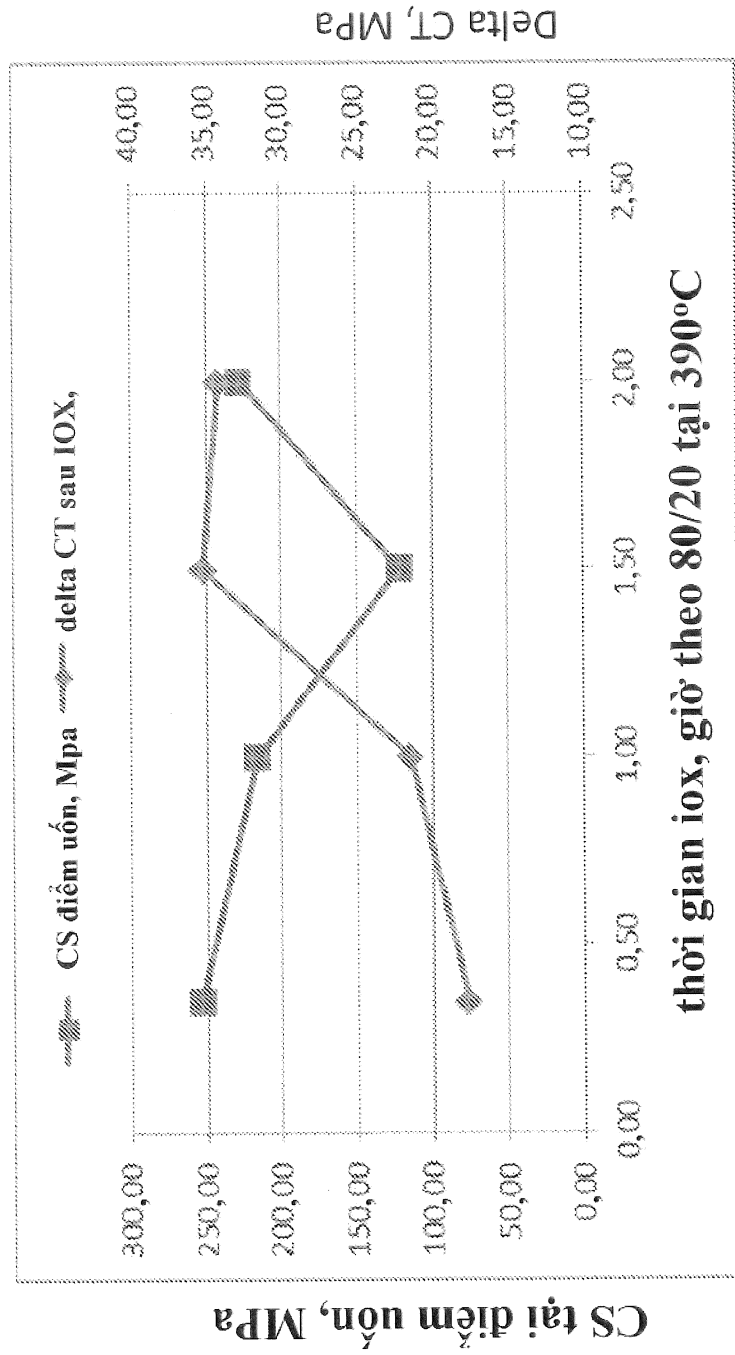


FIG 29

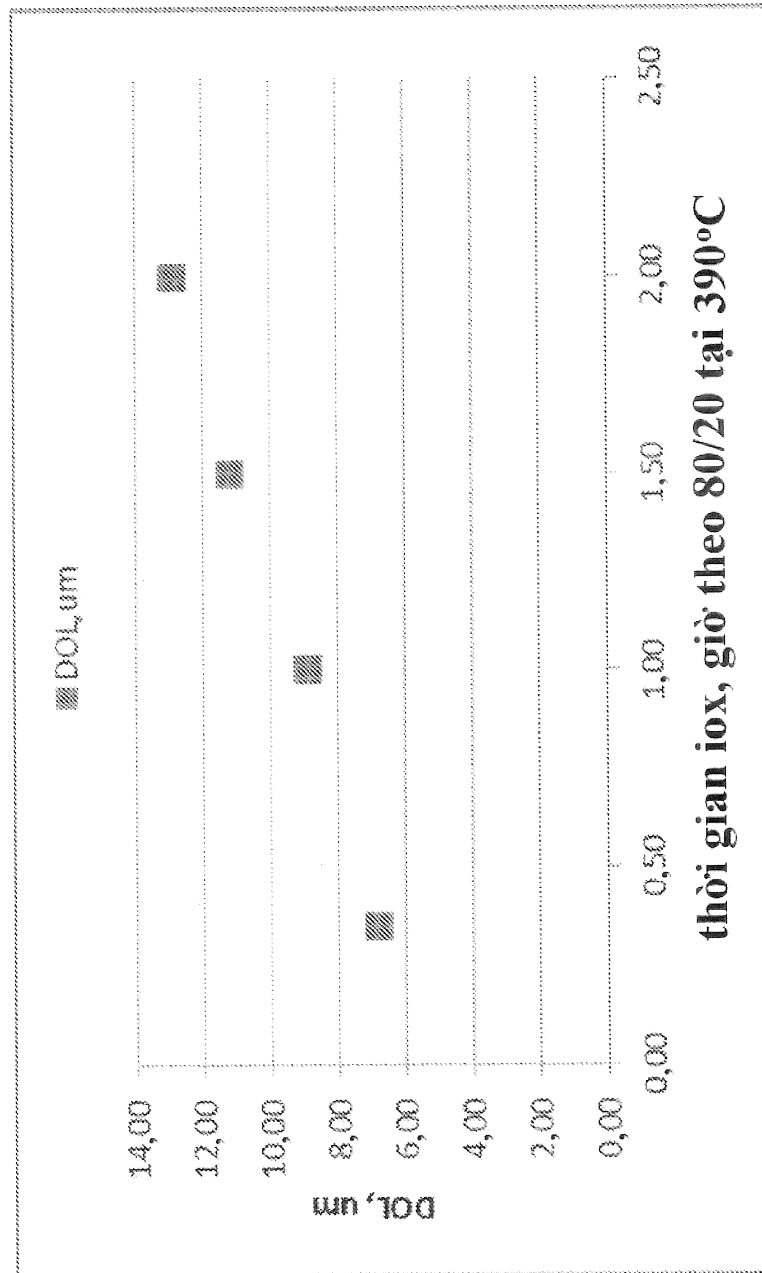


FIG 30

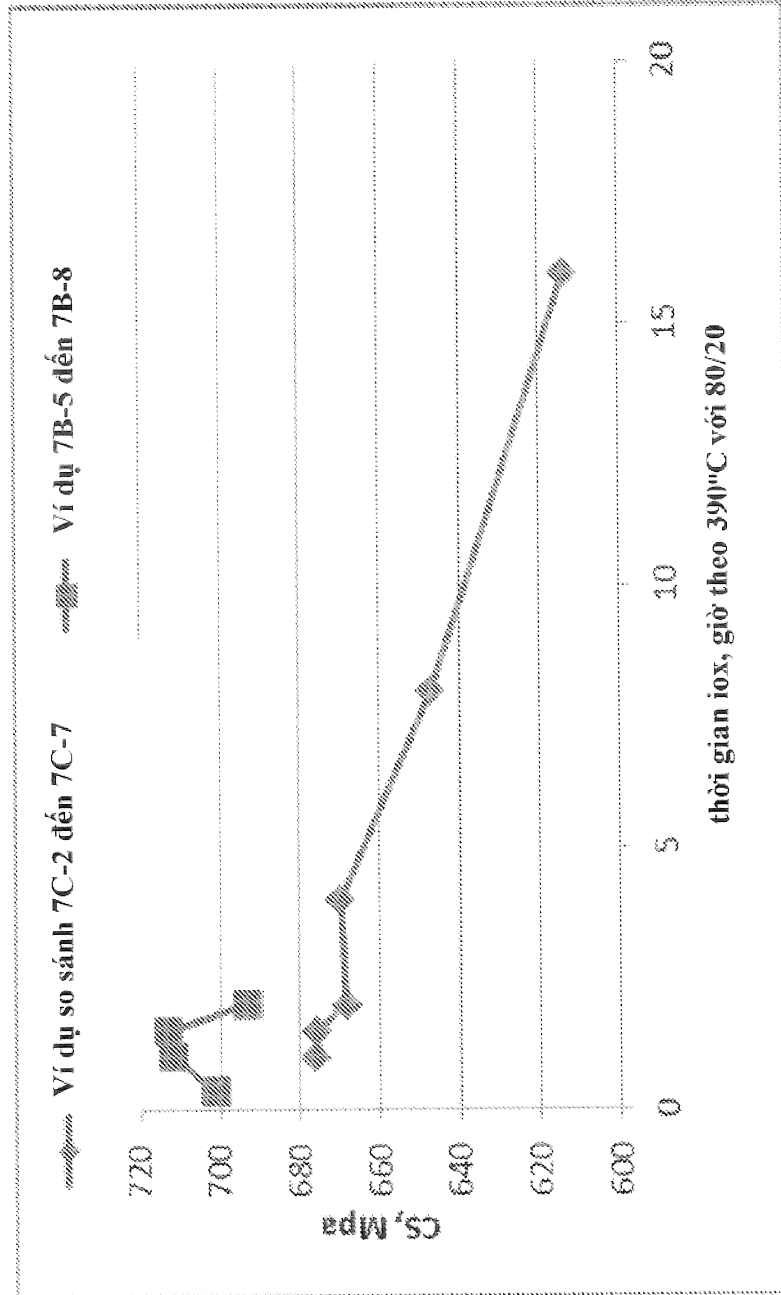


FIG 31

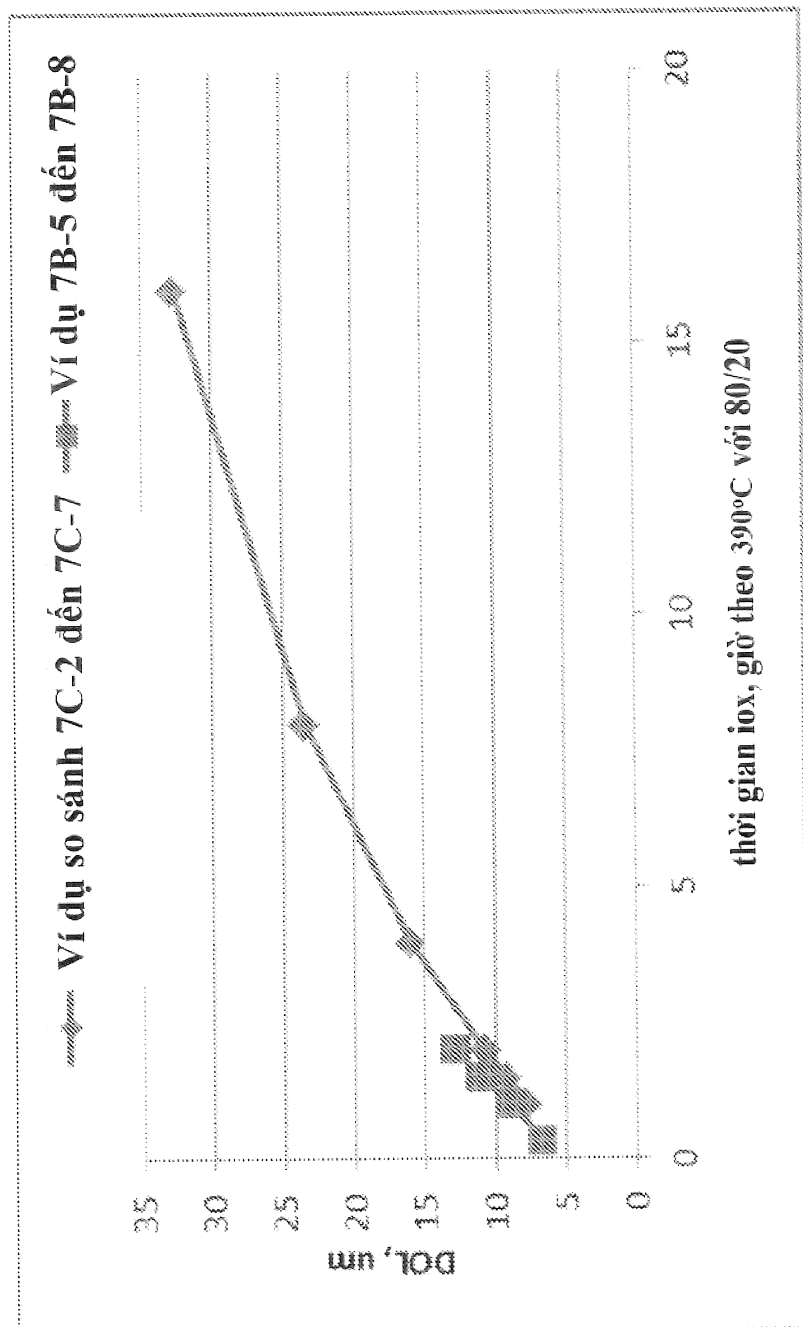


FIG 32

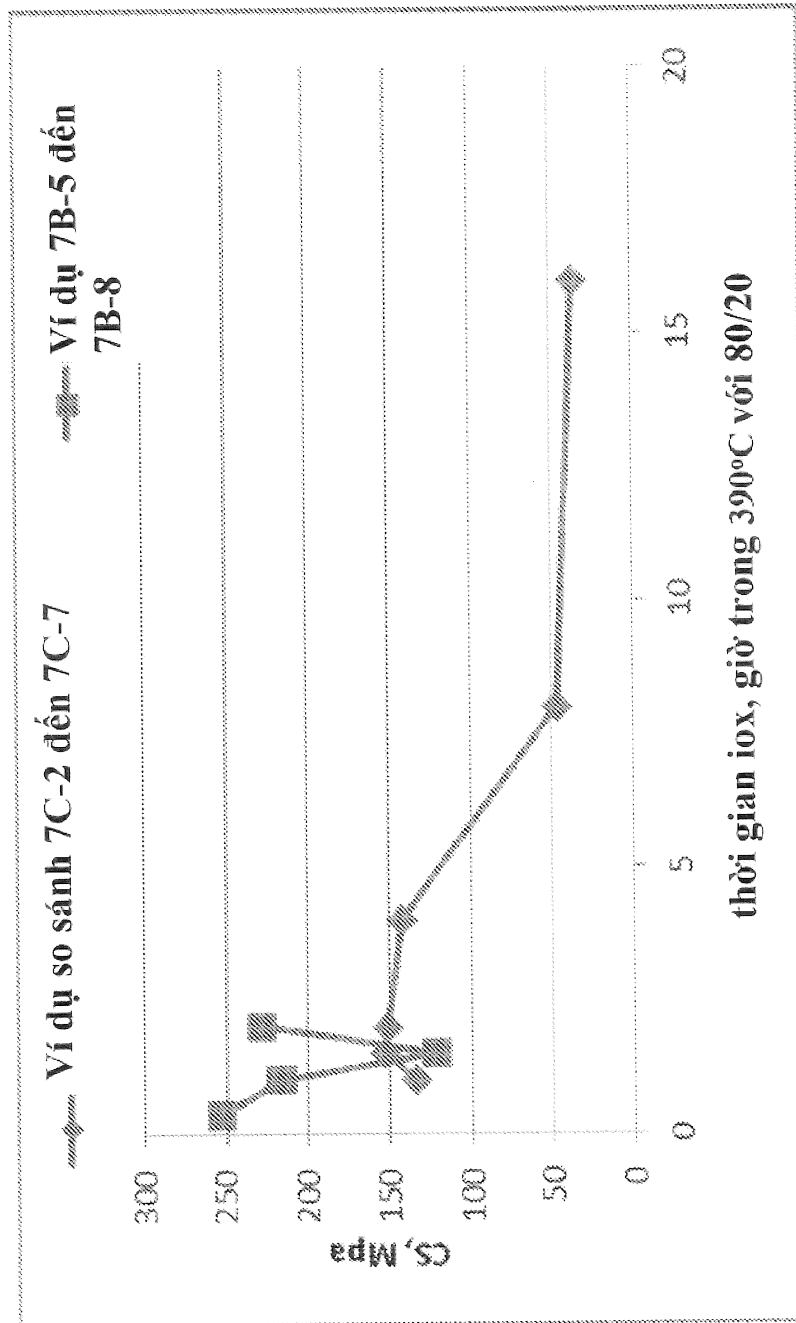
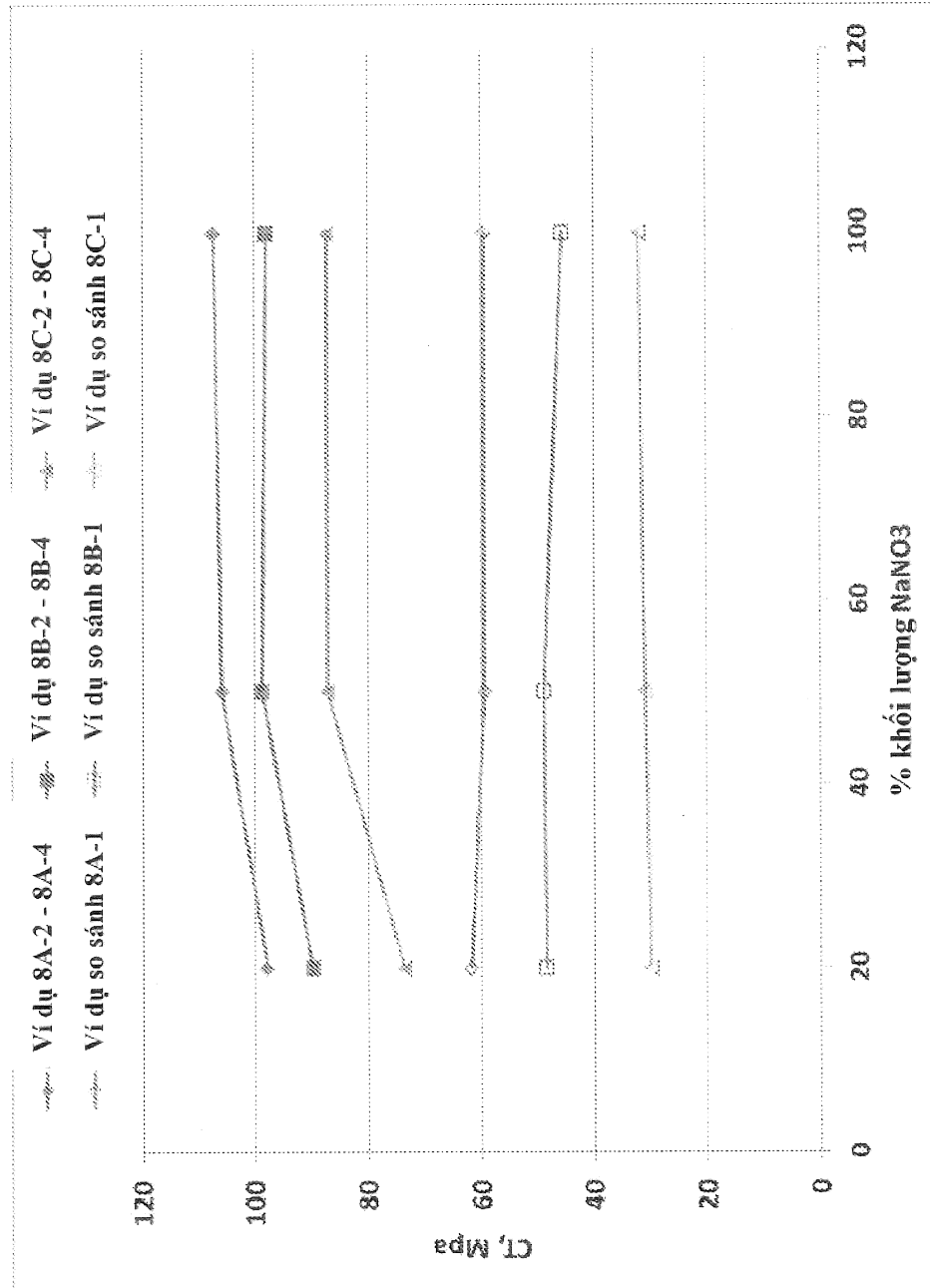
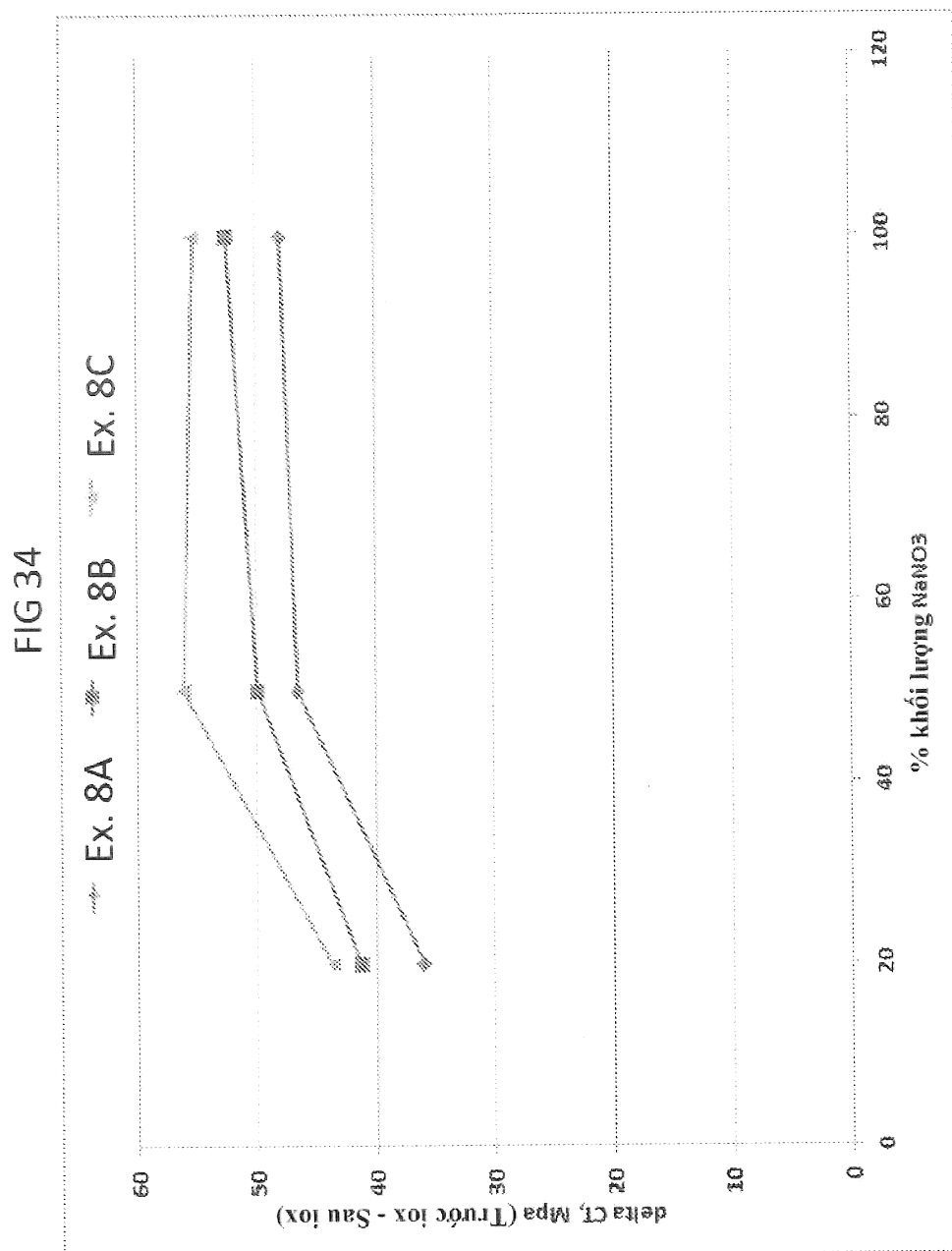


FIG 33





39/59

FIG 35

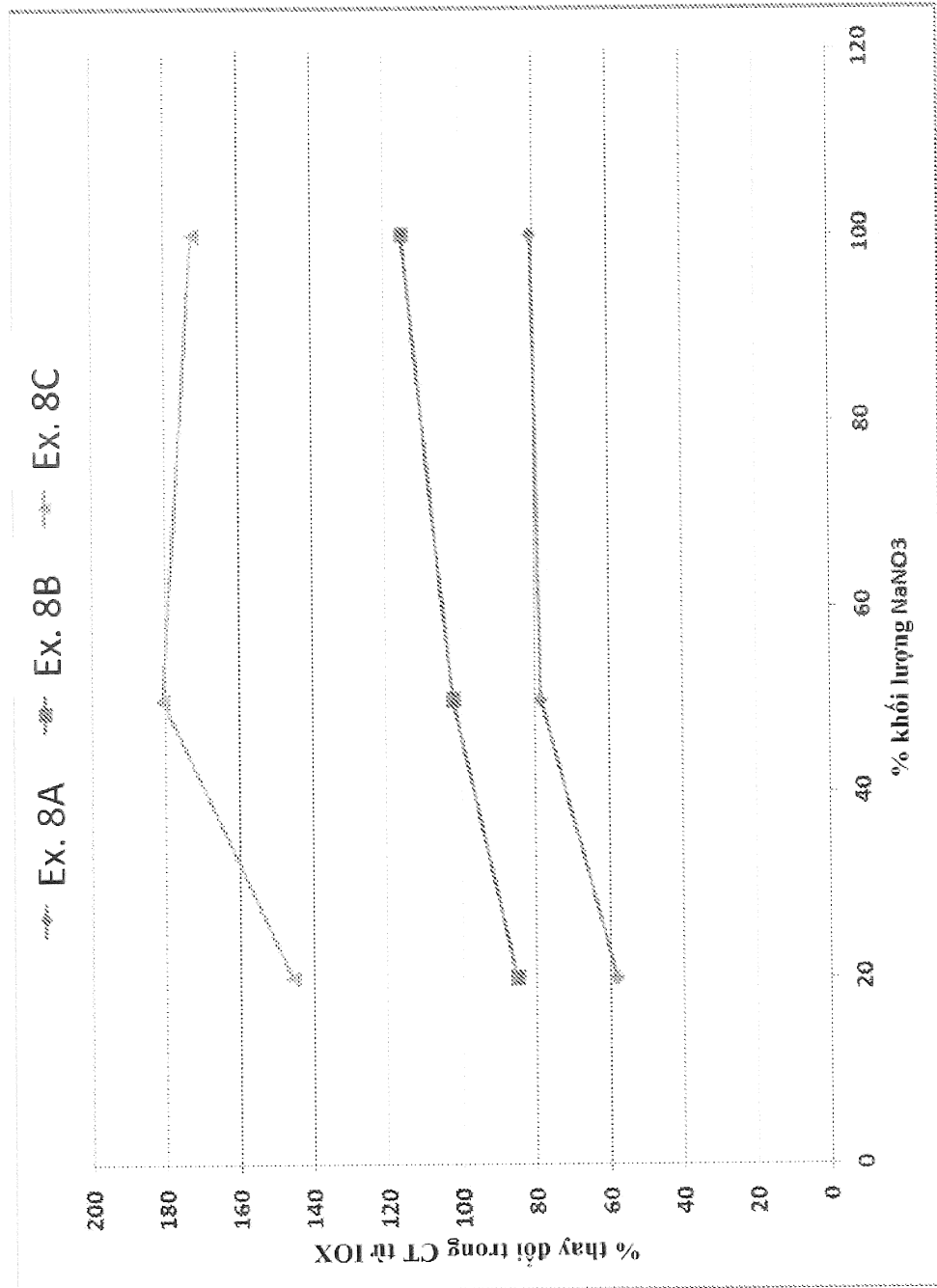


FIG 36

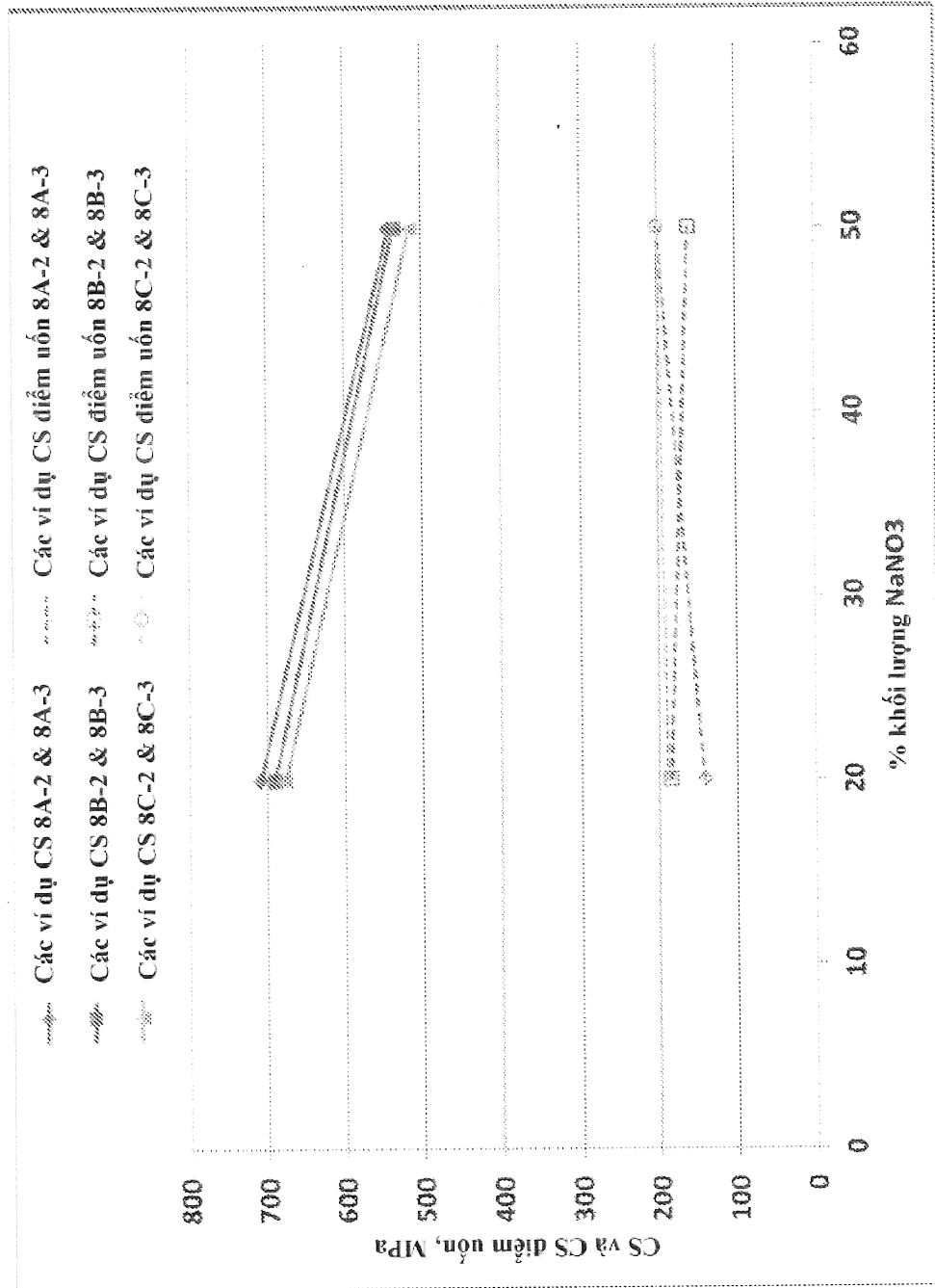


FIG 37



FIG 38

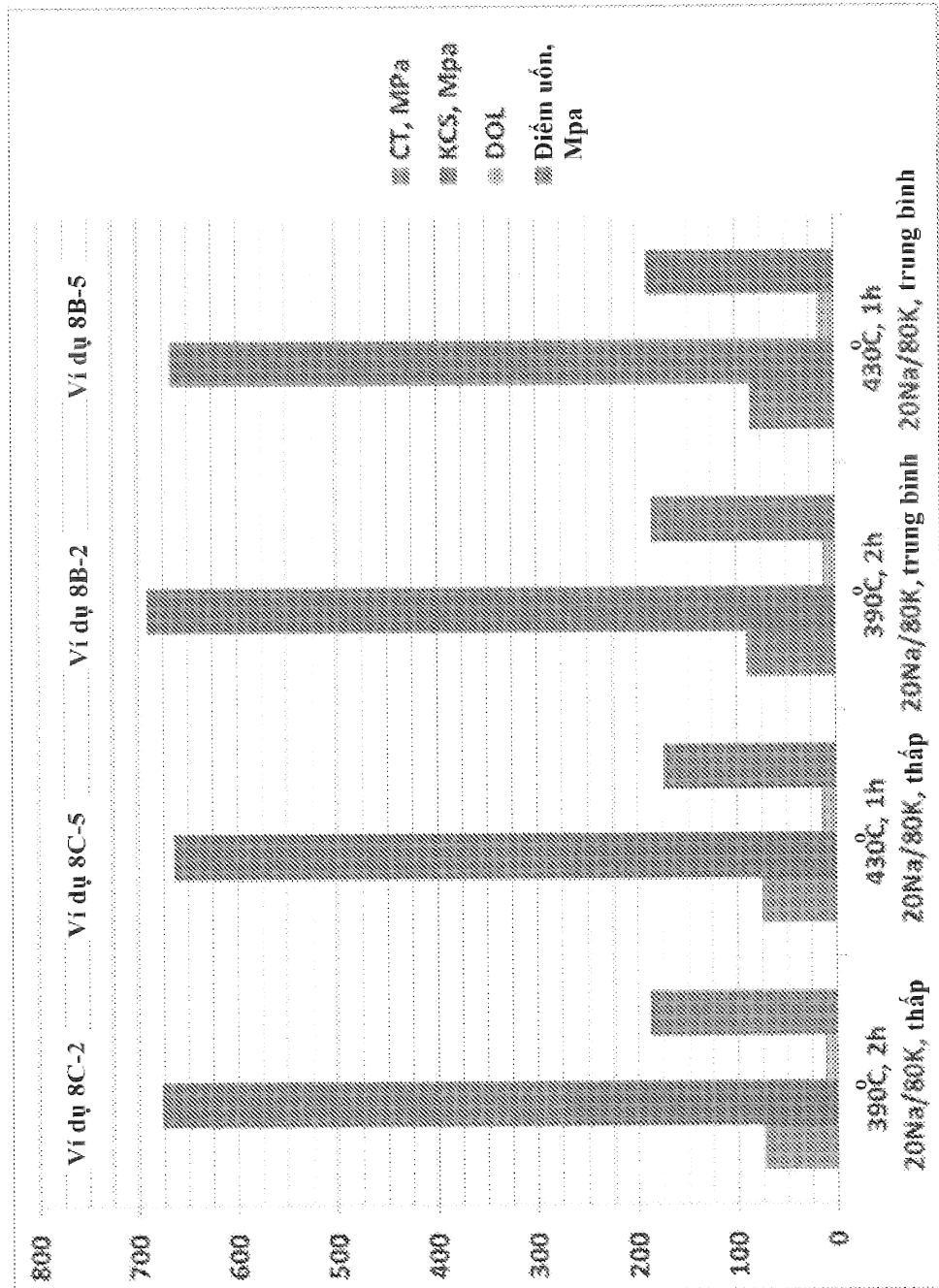


FIG 39

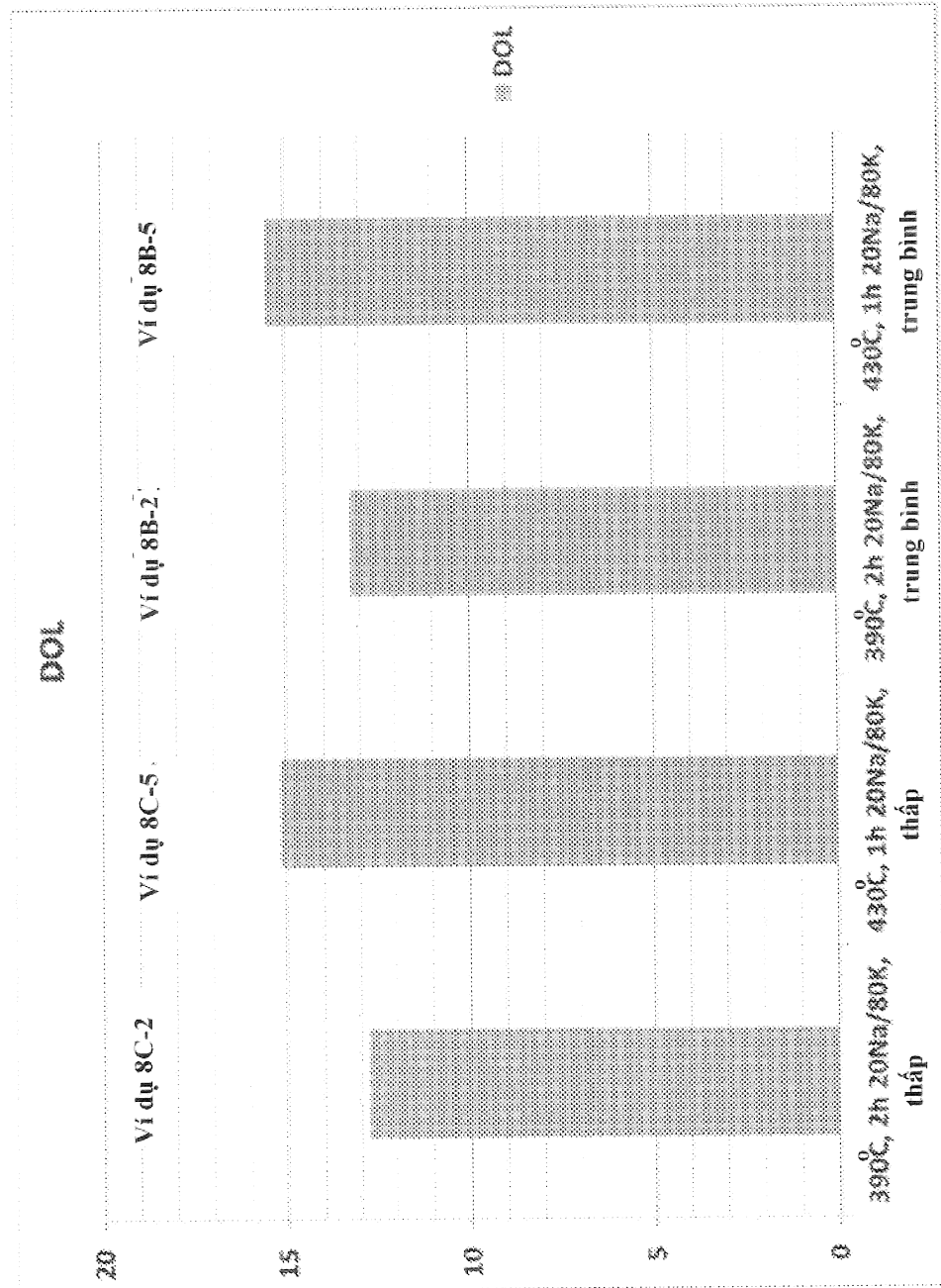


FIG 40

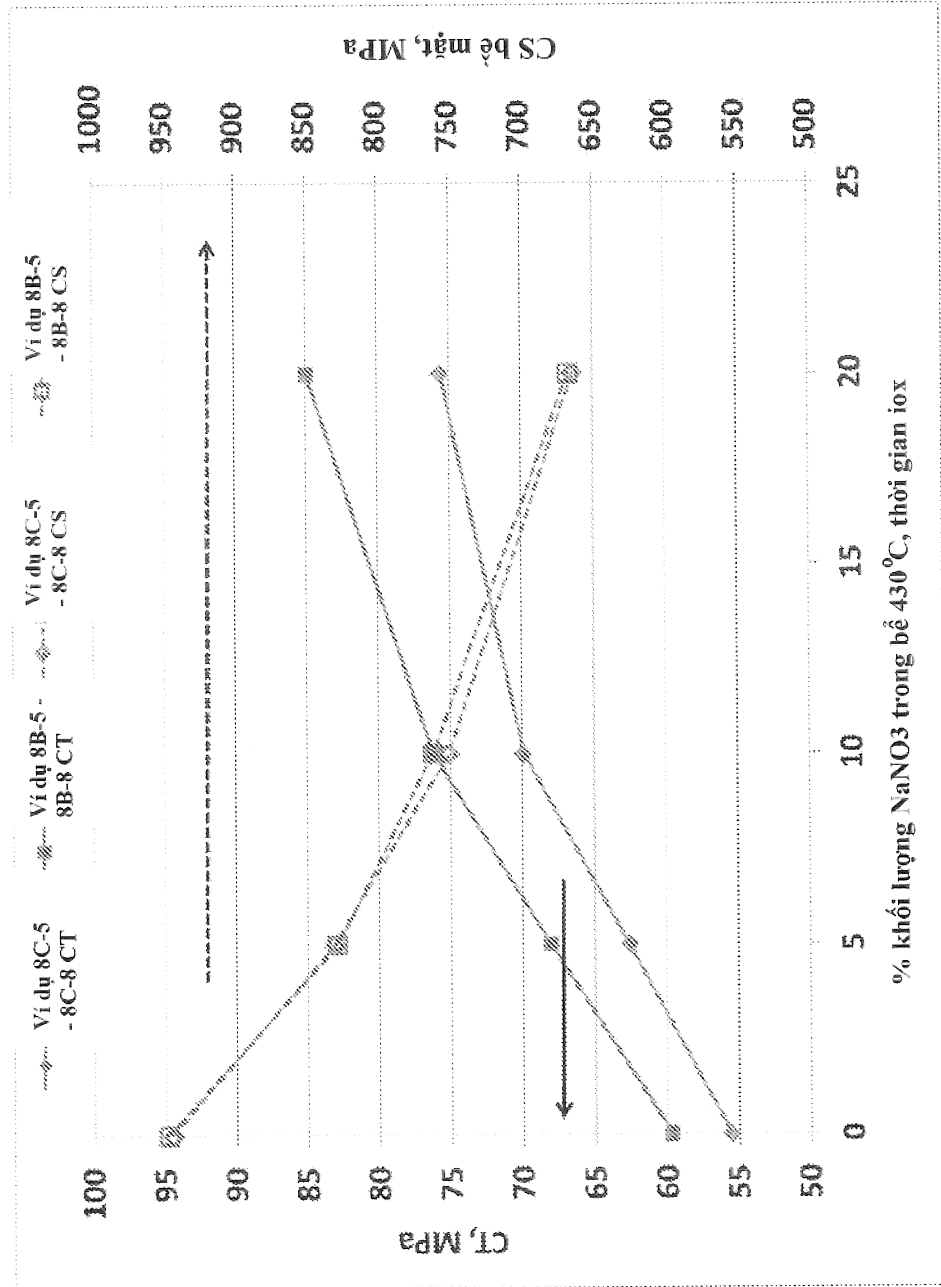


FIG 41

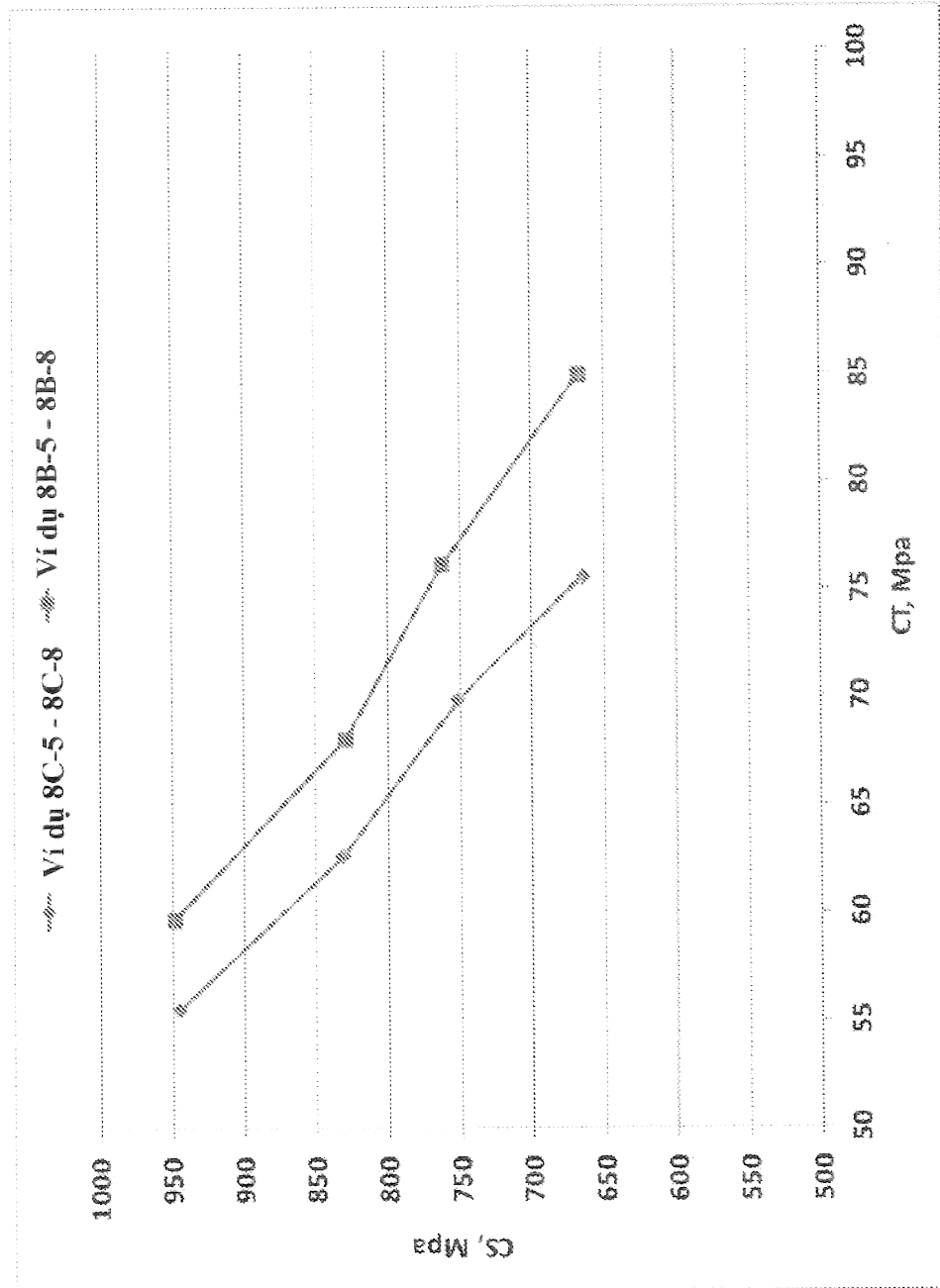
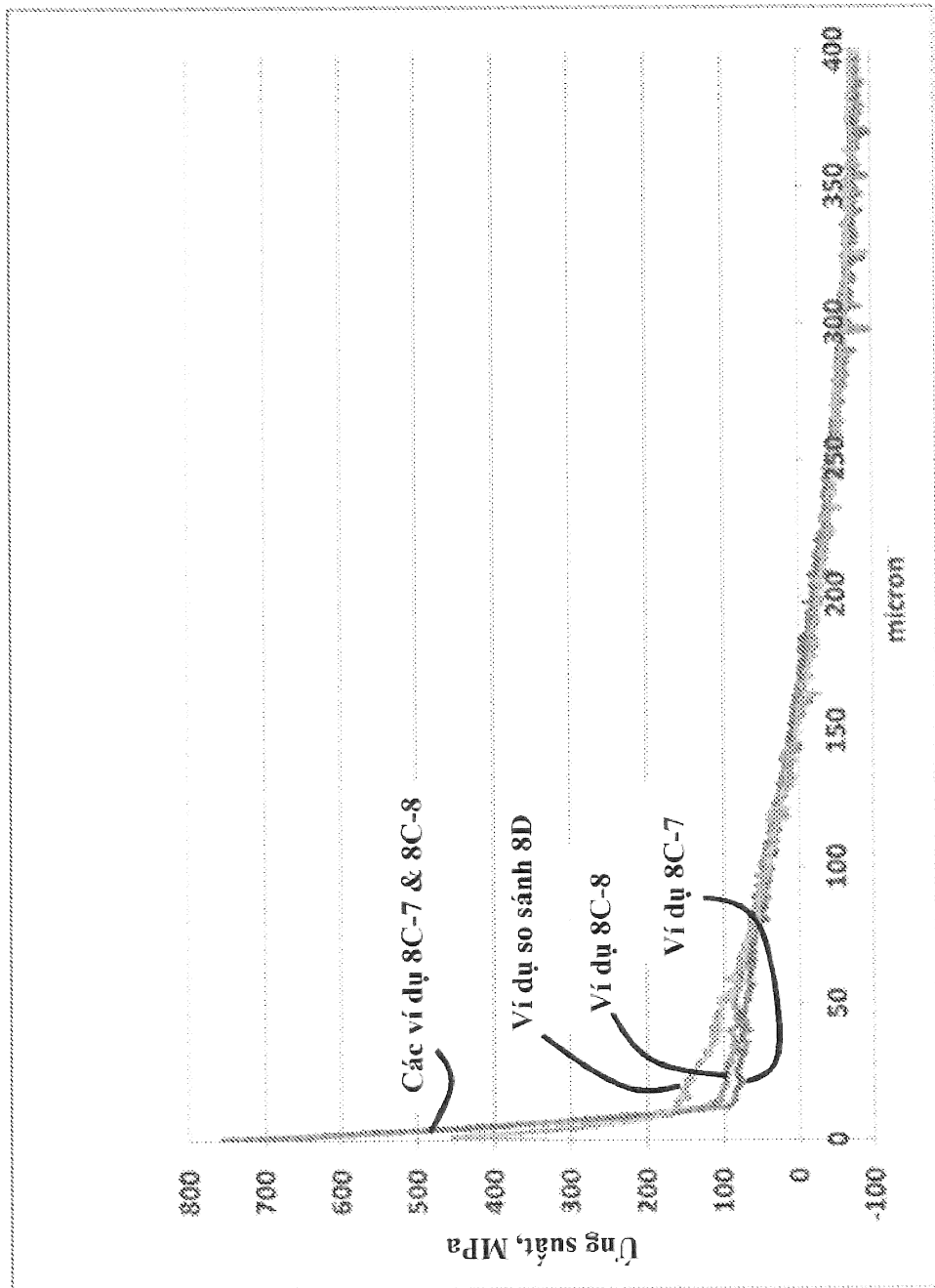
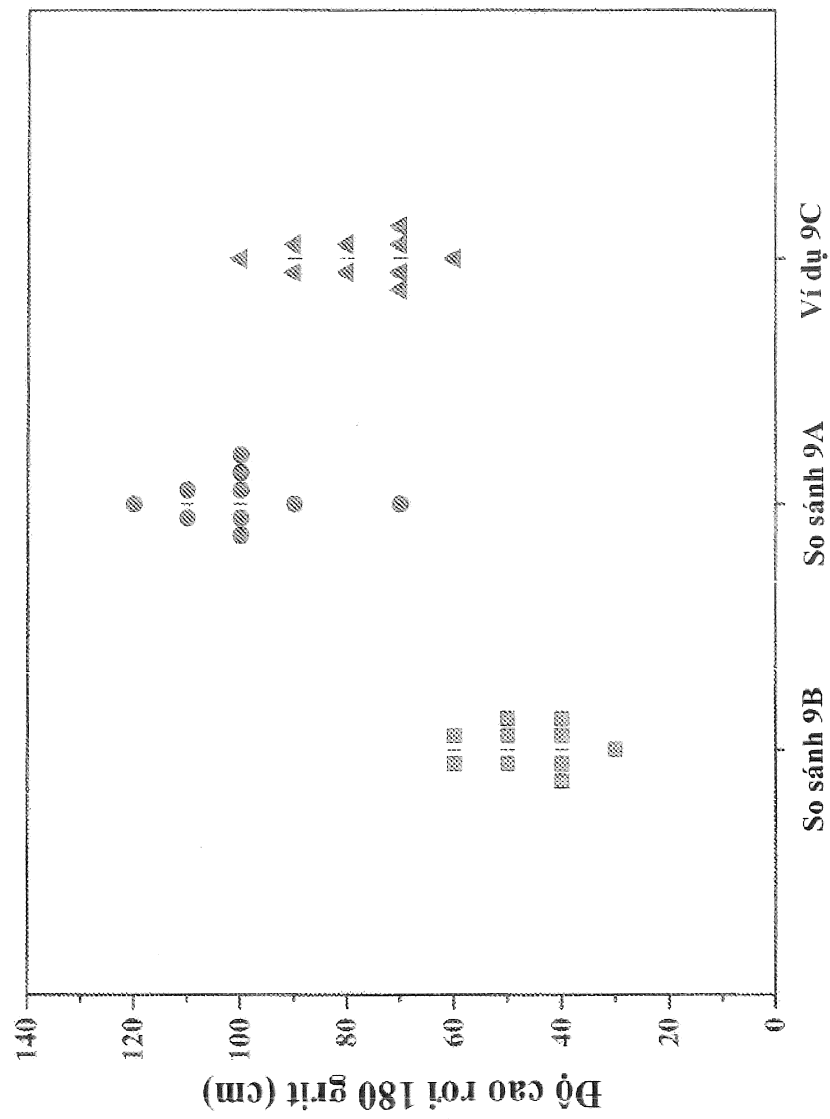


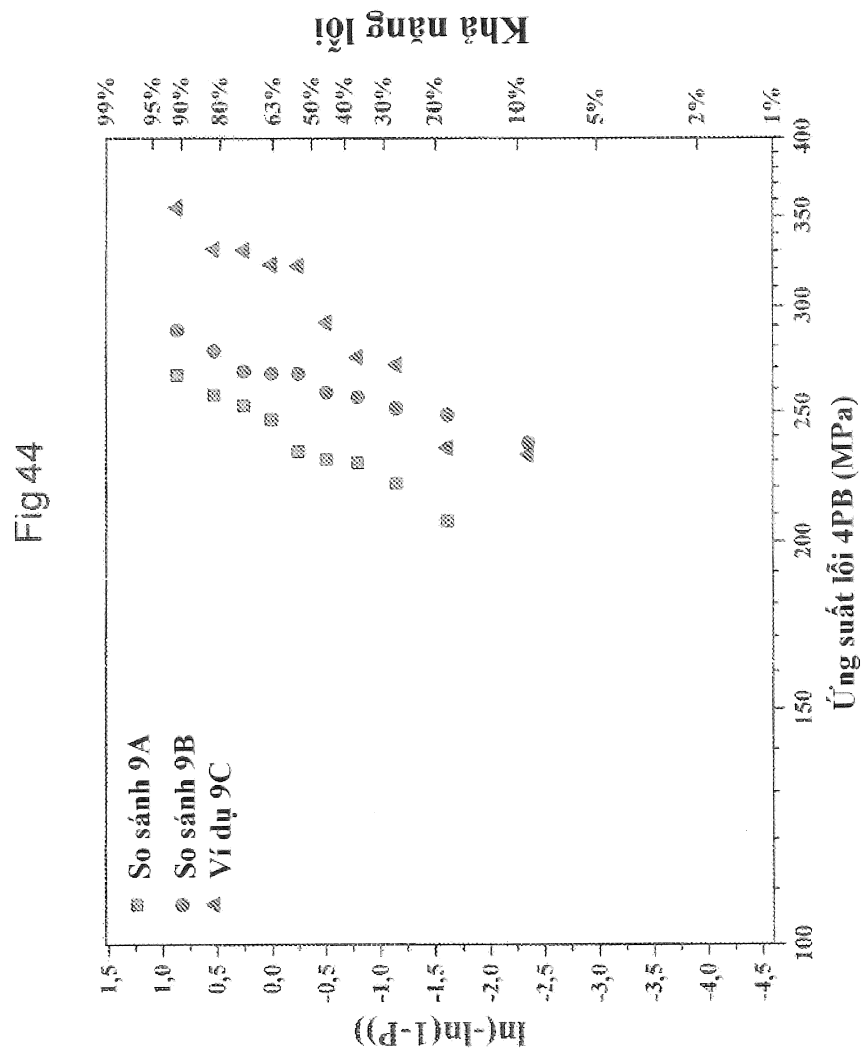
FIG 42

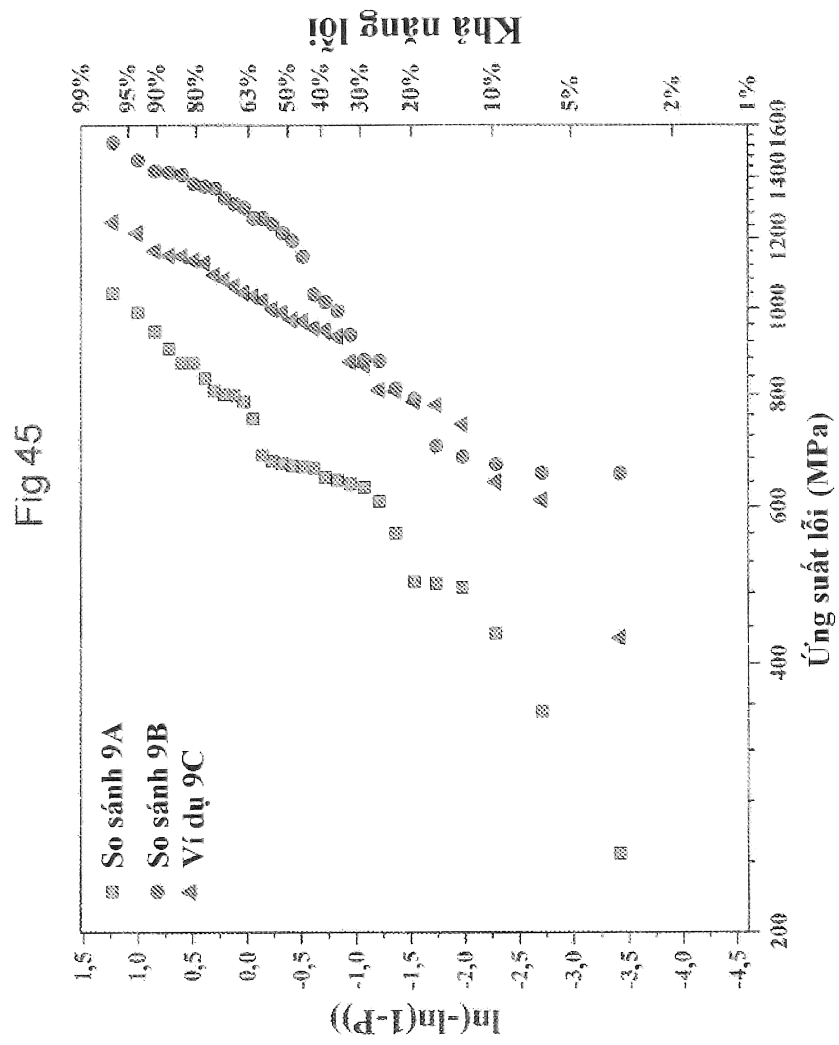


47/59

Fig 43







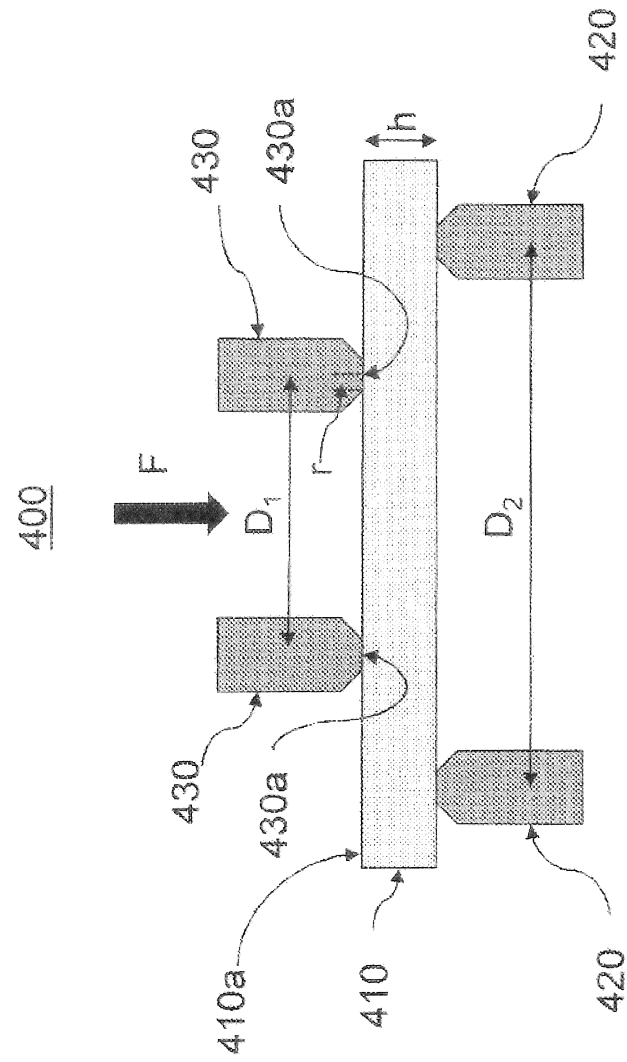
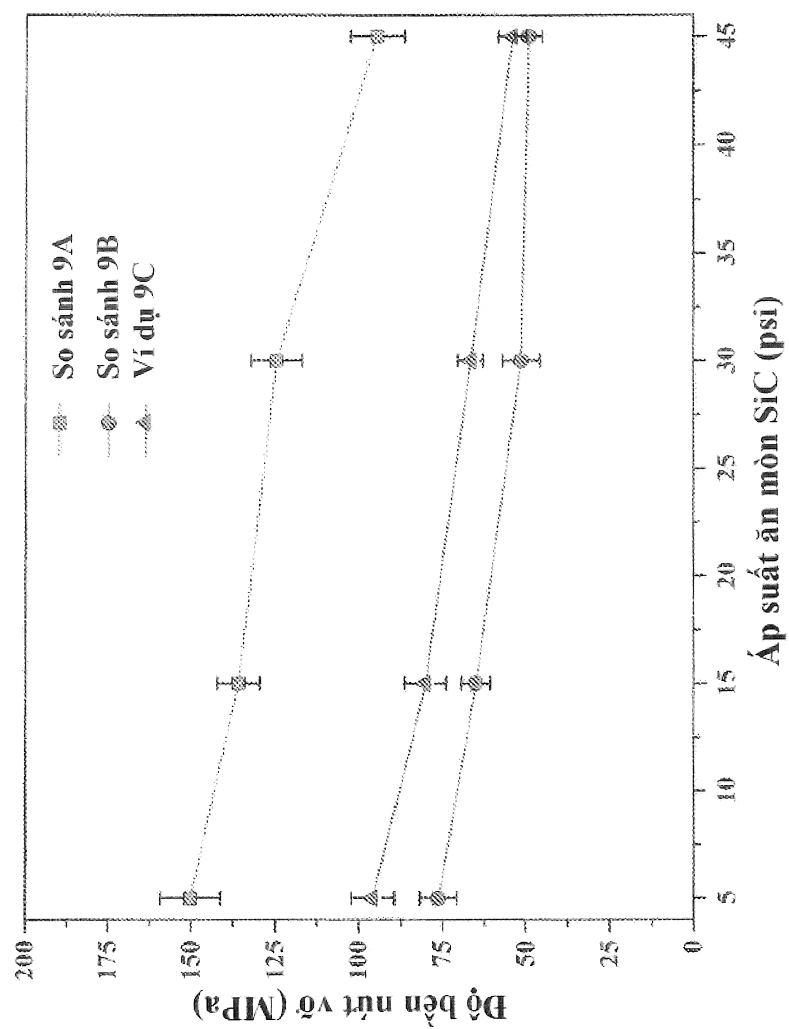
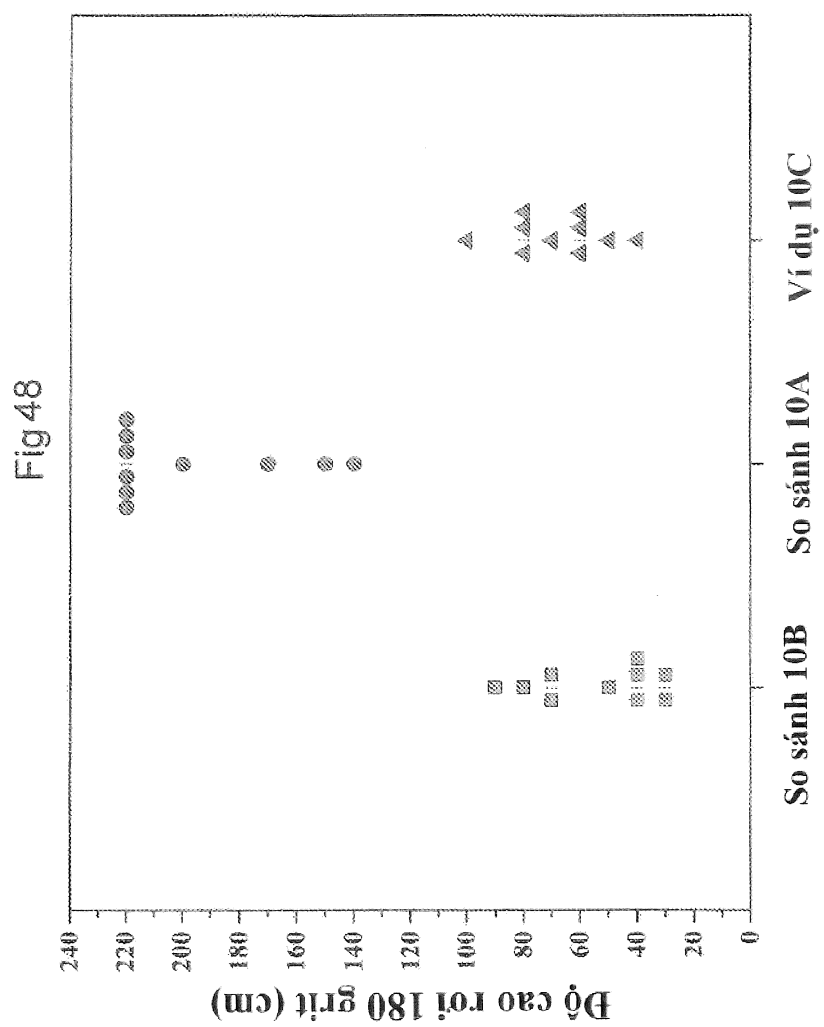
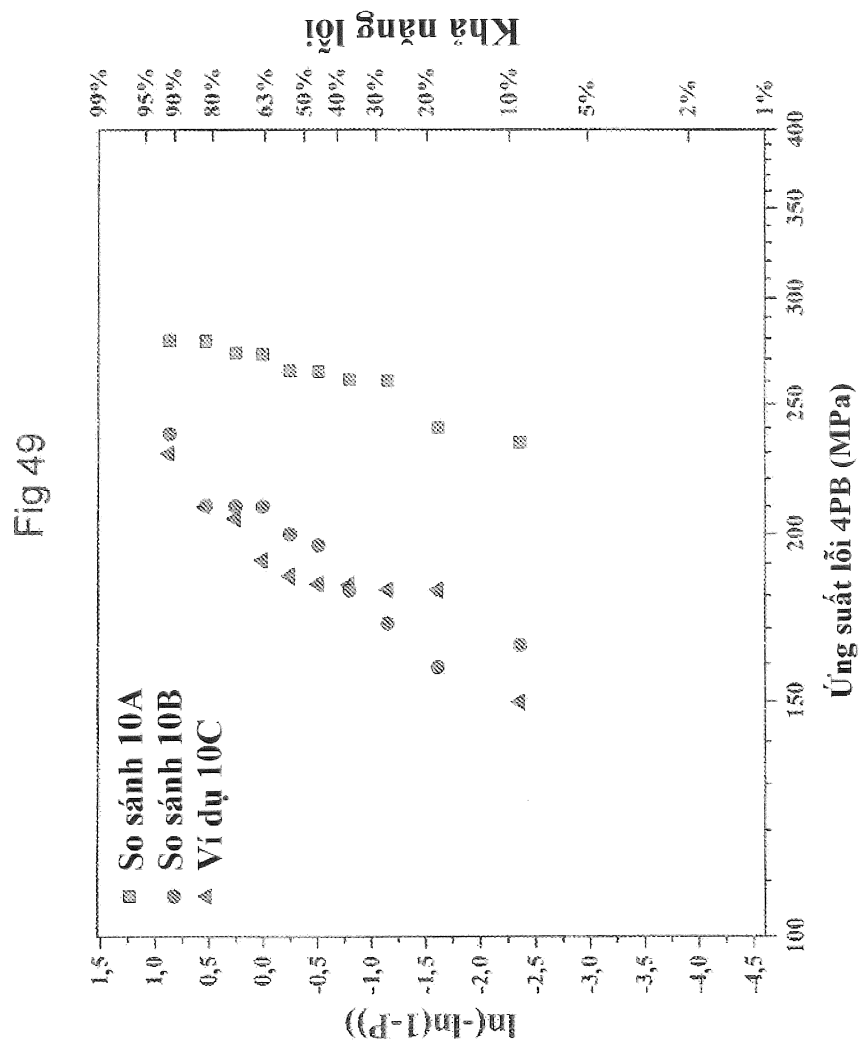


Fig 46

Fig 47







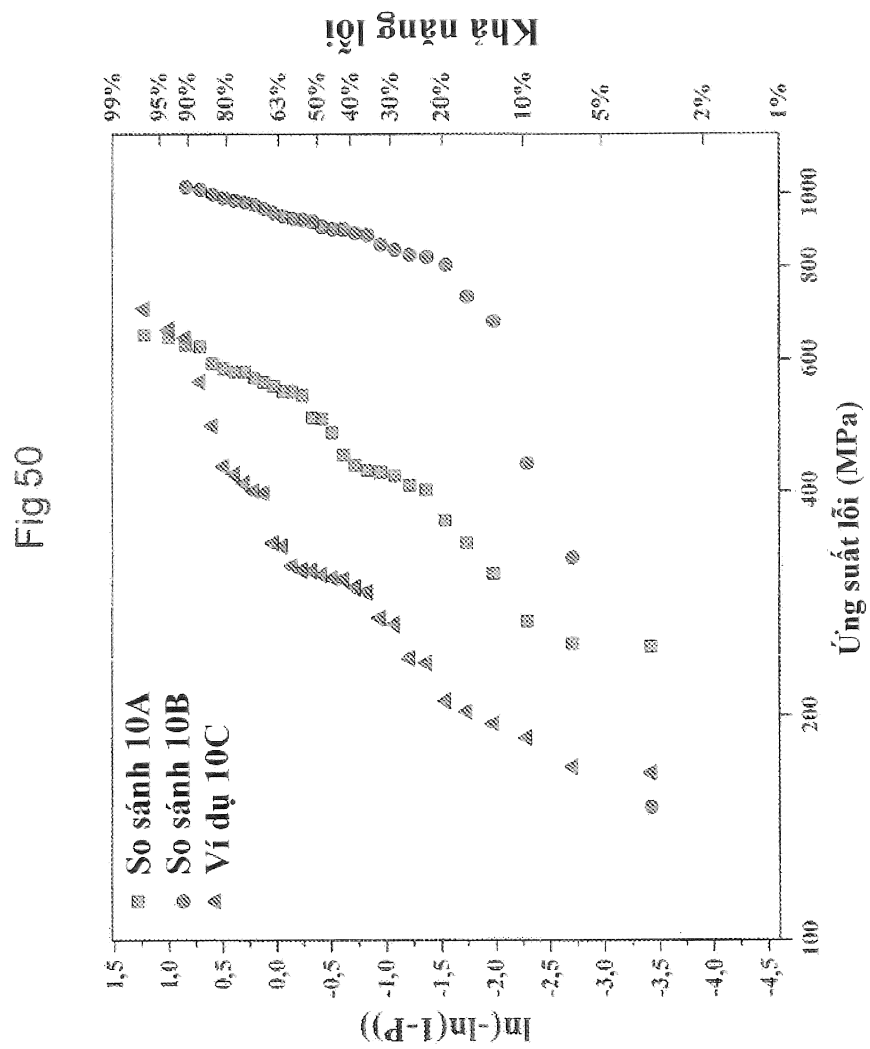
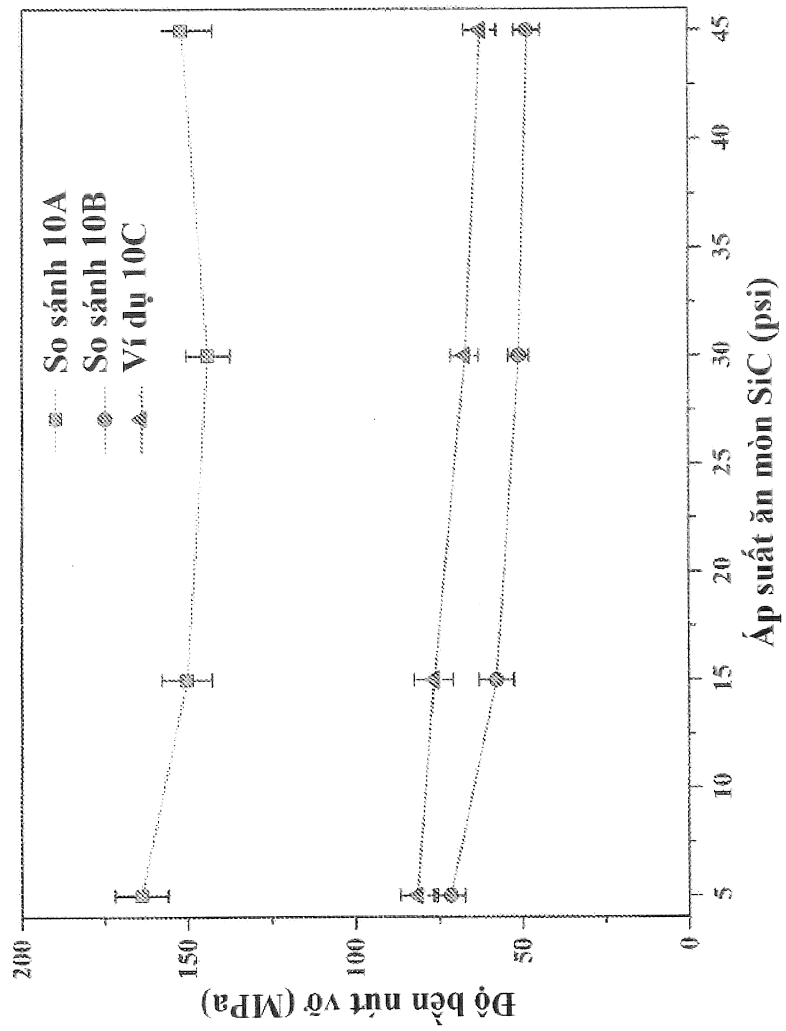


Fig 51



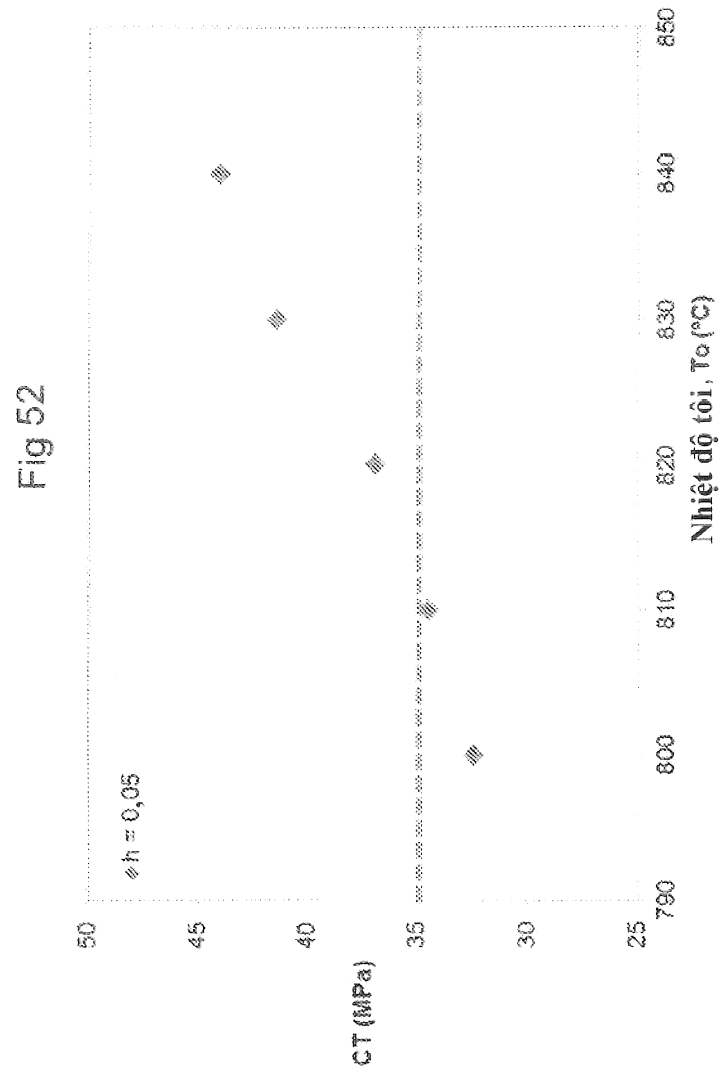
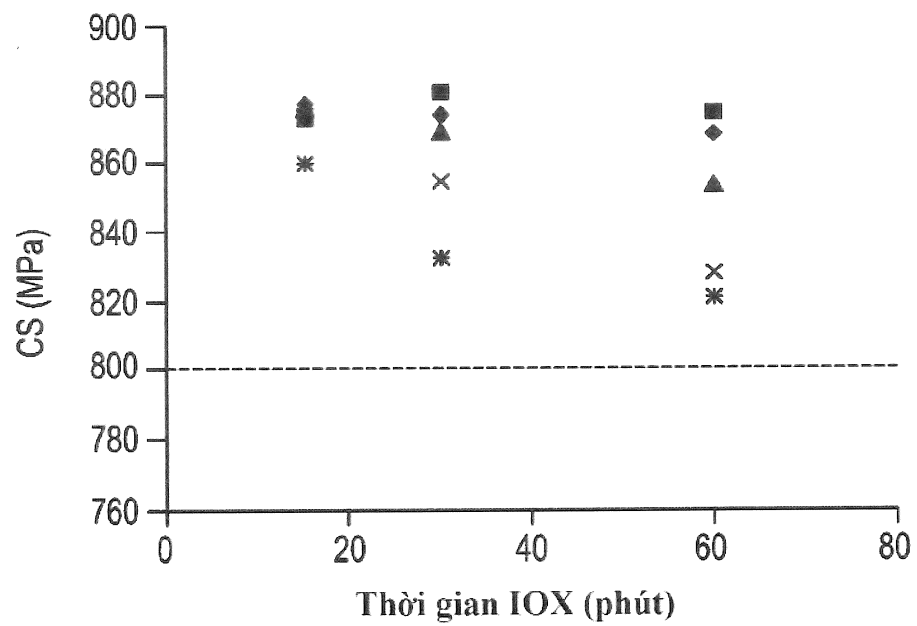


FIG. 53

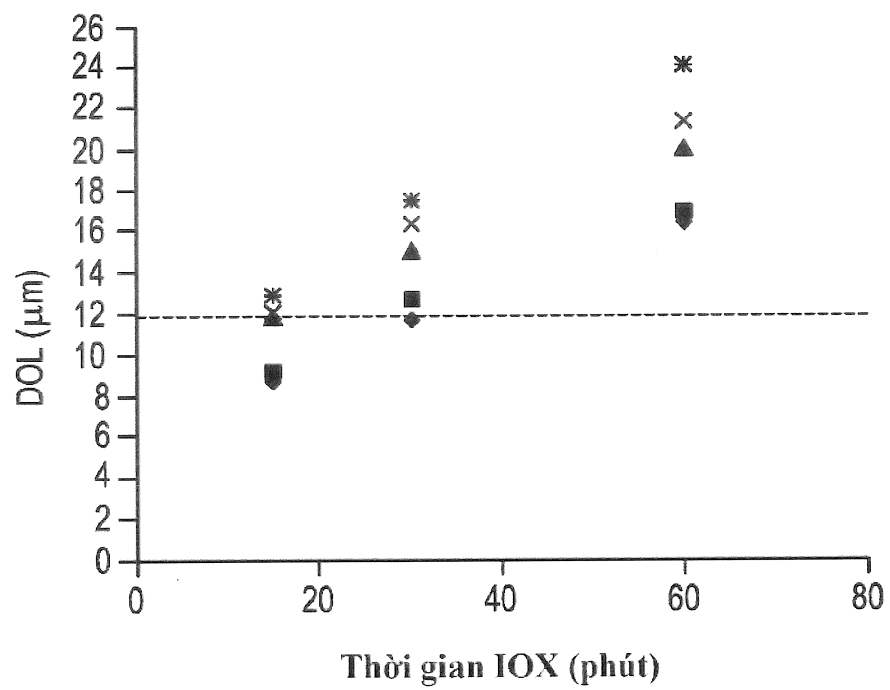


Nhiệt độ
IOX °C

- ♦ 390
- 400
- ▲ 410
- × 420
- * 430

58/59

FIG. 54



Nhiệt độ
IOX °C

- ◆ 390
- 400
- ▲ 410
- × 420
- * 430

