



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I516460 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 01 月 11 日

(21)申請案號：099139600

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 11 月 17 日

(51)Int. Cl. : C03C19/00 (2006.01) C03B13/16 (2006.01)

(30)優先權：2009/11/19 法國 0905554

(71)申請人：法孚 斯坦因公司 (法國) FIVES STEIN (FR)
法國

(72)發明人：庫恩 沃夫 史堤法 KUHN, WOLF STEFAN (DE) ; 帕莫爾 弗科斯 PAHMER, FRANCOIS (FR)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

US 5987923

審查人員：鐘文宏

申請專利範圍項數：17 項 圖式數：33 共 90 頁

(54)名稱

在玻璃條上連續印製精密結構之方法及以此方式所取得之玻璃條

METHOD FOR CONTINUOUSLY PRINTING PRECISION STRUCTURES ON A GLASS STRIP, AND GLASS STRIP OBTAINED IN THIS WAY

(57)摘要

本發明揭示一種方法，該方法用於使用對欲蝕刻之表面施加一印製力之一蝕刻輥(27)來在以至少 1 m/min 之一速率連續前進之一玻璃條之表面上印製一精密結構，欲產生之該結構包含具有曲率半徑之凸出及凹入區，在該蝕刻輥上游執行一初步熱調節(26 及 32)；該熱調節經設計以確保印製厚度上之條(J)之一溫度且該蝕刻輥(27)下游之一冷卻(29)用以確保該結構之一受控固定；根據本發明之該方法使得可確定與取得一特定結構緊密聯繫之參數，尤其係印製溫度、印製力及冷卻速率，從而慮及模製半徑(R1)與蠕變後半徑(R2)之間的一蠕變程度。

A method for printing a precision structure on the surface of a glass strip advancing continuously at a rate of at least 1 m/min, using an etching roller (27) applying a printing force against the surface to be etched, the structure to be produced including protruding and recessed regions which have radii of curvature, a preliminary thermal conditioning (26 and 32) being performed upstream of the etching roller; the thermal conditioning is designed to ensure a temperature of the strip (J) over the print thickness and a cooling (29) downstream of the etching roller (27) to ensure a controlled fixing of the structure; the method according to the invention making it possible to determine the parameters that are intimately linked for obtaining a particular structure, notably the print temperature, the printing force and the cooling rate, taking into account a degree of creep between the molding radius (R1) and the post-creep radius (R2).

指定代表圖：

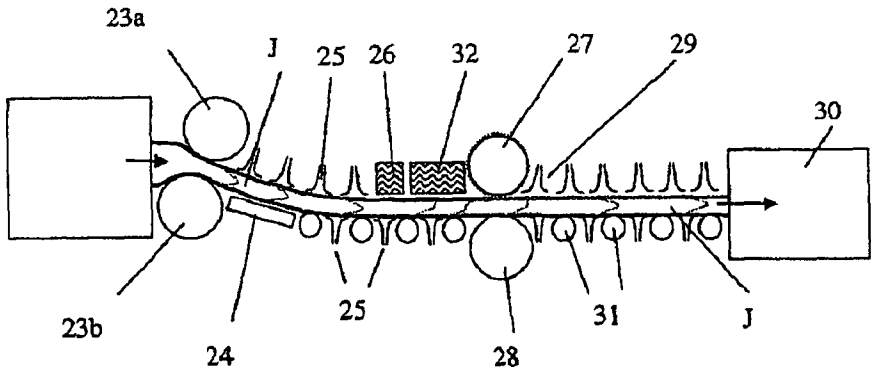


圖15

- 符號簡單說明：
- 23a . . . 輥
 - 23b . . . 輥
 - 24 . . . 懸浮台
 - 25 . . . 對流冷卻
 - 26 . . . 熱絕緣物
 - 27 . . . 蝕刻輥
 - 28 . . . 反壓力輥
 - 29 . . . 空氣噴射
 - 30 . . . 受控冷卻隧道
 - 31 . . . 輥
 - 32 . . . 加熱構件
 - J . . . 玻璃條

公告本**發明專利說明書**

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：99139600 C03C1P/00 (2006.01)
 ※申請日：99.11.17 ※IPC 分類：C03B 13/06 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

在玻璃條上連續印製精密結構之方法及以此方式所取得之玻璃條
 METHOD FOR CONTINUOUSLY PRINTING PRECISION
 STRUCTURES ON A GLASS STRIP, AND GLASS STRIP OBTAINED
 IN THIS WAY

二、中文發明摘要：

本發明揭示一種方法，該方法用於使用對欲蝕刻之表面施加一印製力之一蝕刻輥(27)來在以至少1 m/min之一速率連續前進之一玻璃條之表面上印製一精密結構，欲產生之該結構包含具有曲率半徑之凸出及凹入區，在該蝕刻輥上游執行一初步熱調節(26及32)；該熱調節經設計以確保印製厚度上之條(J)之一溫度且該蝕刻輥(27)下游之一冷卻(29)用以確保該結構之一受控固定；根據本發明之該方法使得可確定與取得一特定結構緊密聯繫之參數，尤其係印製溫度、印製力及冷卻速率，從而慮及模製半徑(R1)與蠕變後半徑(R2)之間的一蠕變程度。

三、英文發明摘要：

A method for printing a precision structure on the surface of a glass strip advancing continuously at a rate of at least 1 m/min, using an etching roller (27) applying a printing force against the surface to be etched, the structure to be produced including protruding and recessed regions which have radii of curvature, a preliminary thermal conditioning (26 and 32) being performed upstream of the etching roller; the thermal conditioning is designed to ensure a temperature of the strip (J) over the print thickness and a cooling (29) downstream of the etching roller (27) to ensure a controlled fixing of the structure; the method according to the invention making it possible to determine the parameters that are intimately linked for obtaining a particular structure, notably the print temperature, the printing force and the cooling rate, taking into account a degree of creep between the molding radius (R1) and the post-creep radius (R2).

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (15) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

23 a	輥
23 b	輥
24	懸浮台
25	對流冷卻
26	熱絕緣物
27	蝕刻輥
28	反壓力輥
29	空氣噴射
30	受控冷卻隧道
31	輥
32	加熱構件
J	玻璃條

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種用於使用意欲用於需要高精密度之應用之一蝕刻輥來在一玻璃條或玻璃片之表面上蝕刻或印製精密結構之方法。

該精密結構可產生於該條之一個面上或其兩個面上。

尤其，藉由滾動、拉製或浮選來執行該玻璃之初步成形。

對於約4 mm厚之玻璃而言，蝕刻係以滾動玻璃至少1 m/min且通常5 m/min且浮法玻璃15 m/min之條前進速率連續地完成。

下文給出根據本發明所取得之玻璃之應用領域之實例：

- 用於光伏打電池之光阱結構，諸如，三角凹槽及角錐體
- 用於光伏打電池及熱系統之輻射聚集器之結構，諸如，用於以發射或反射模式使光束、光學或菲涅耳(Fresnel)透鏡聚焦之凹槽或角錐體或拋物線腔等
- 用於平坦螢幕之結構(呈矩形通道之形式之微結構)
- 建築領域(用於裝飾、光學及電功能之結構)。

最特定而言，本發明適用於具有藉由填充一矩陣之負矩陣所取得之凸出部分之小尺寸結構，不管其尤其關於角錐體、圓錐體、圓柱體、平行六面體還是凹槽。本發明所指定之結構可具有其中最小曲率半徑可小於200 μm 之邊緣(更一般而言，凸出或凹入區)。

本發明所解決之技術問題

就習知蝕刻方法而言，在大於1 m/min之玻璃條之一前進速率之情況下，不可形成尤其諸如邊緣等凸出部分具有小於200 μm 之曲率半徑之整齊、高精密結構。

在約1至5 m/min之一速率之情況下，存在整齊結構蝕刻方法，但此等結構對於其等凸出部分而言具有大於200 μm 之大曲率半徑。

【先前技術】

專利EP0493202闡述具有角錐體凹陷之一玻璃及藉由一熱滾動方法之其產生。該專利規定輥之浮凸在其冷卻之後係不在玻璃之表面上之陰模中。根據此專利，在印製期間引入至玻璃塊體中之應力將具有欲藉由引起表面蠕變而鬆弛之一趨勢。類似地，玻璃之可觀熱慣性將防止表面不被同時固定。

專利FR2916901論述藉由針對具有具大約一毫米之一曲率半徑之凸出結構之光伏打應用熱滾動一具紋理之玻璃基板之產生。此專利規定玻璃不設法做到完全填充存在於輥上之圖案。

專利US6679085闡述一種用於藉助一經結構化輥來在玻璃片中製作精密結構之方法。藉由併入至輥中之加熱來提供用於將該玻璃加熱至一適當溫度以用於印製該等結構之能量。為增加該等片之前進速率及形成該等結構之速率，增加輥之溫度。此亦增加經過丟失其等穩定性之樣品之加熱且使得難以分離玻璃與輥。創造者為2 mm/s(0.12

m/min)之輥之速率指示一適當時間。此一速率不足以連續產生浮法或滾動玻璃。

專利US5987923闡述一種用於在移動玻璃片中形成精密結構之方法。為避免形成後之結構之流動問題，工具在平行於玻璃片之兩個輥之間運行。在此時間期間，工具在玻璃中保持於適當位置中直至固定。以此方式，避免蠕變，此乃因工具及玻璃之溫度在接觸時間期間降低。該方法亦以高生產率為目標。現在，所指示之前進速率係0.1至1 m/min。該方法係基於恰好在與玻璃接觸之前及與玻璃接觸期間加熱該工具。當玻璃在第一輥下方行進時之熱接觸持續時間及機械壓力太短而不允許足夠熱量傳遞以用於將產生增加至5或甚至15 m/min。一條形工具之捲動亦限制對欲印製之結構之幾何形狀挑選。

專利FR2934588闡述一種用於在一浮法玻璃條上連續形成一結構之方法，該浮法玻璃條之溫度不足以進行蝕刻。本發明涉及藉由規定加熱參數來恰好在蝕刻輥上游加熱玻璃之一有限厚度(大體上對應於蝕刻之厚度)。此專利不給出用於根據結構之性質界定印製參數之任何指示，尤其玻璃之溫度及欲由輥施加之力。其亦不揭示根據結構可允許之蠕變程度之一必需冷卻速率。

【發明內容】

本發明由用於蝕刻使得可產生具有具有小於200 μm 之一曲率半徑R之邊緣之結構之一玻璃條之一種方法及一種裝置組成。

本發明使得可在蝕刻輥上游、輥處及輥下游界定並聯繫最佳操作參數以便最佳化整個玻璃蝕刻方法。

在蝕刻輥上游，本發明使得可界定該條之熱調節，其使得可取得理想溫度分佈以正確地填充來自輥之印痕且允許蝕刻之後的一快速固定。

在條/蝕刻輥接觸之時間處，本發明使得可根據初步熱調節而界定印製溫度、欲由輥對玻璃施加之壓力及輥與玻璃之間的接觸之持續時間。

在蝕刻輥下游且端視由先前步驟所引起之熱狀態，本發明使得可界定必需冷卻速率以取得具有指定曲率半徑之邊緣。

根據本發明，該印製方法使得可使用一經結構化工具尤其係一蝕刻輥來在以至少 1 m/min之一速率連續前進之一平坦玻璃之面中之至少一者上取得包含凸出及凹入區之一精密結構，其中凸出區之最小曲率半徑(R2)可小於 200 μm 。其特徵在於：

- 在印製位置上游提供一熱調節以確保條在印製厚度上之一印製溫度 T_{imp} ，

- 藉由由該經結構化工具施加至該玻璃之一力 FL 完成該印製以便取得小於(R2)之一曲率半徑(R1)，以預見該曲率半徑自(R1)至(R2)之增加，該增加與移除該經結構化工具之後的蠕變相關聯，

- 以致使該半徑(R1)改變至小於或等於(R2)之一半徑之一冷卻速率 TR 完成一冷卻。

可藉由組合凸出及凹入區之填充之一圖式(C2)與印痕之固定之一圖式(C3)來確定印製溫度 T_{imp} 。

有利地，藉由用玻璃完全地填充印製工具之蝕刻來取得半徑(R1)。

較佳地，根據該方法：

-挑選小於或等於50%，有利地小於20%且較佳地小於或等於10%之一有限蠕變程度 $x\%=(R2-R1)/R2$ ；

-然後，挑選技術上易於產生之一印製力FL；

-藉助該填充圖式(C2)之一曲線(G_{imp})，表示使得可取得所期望最終曲率半徑R2之溫度/線性力成對，找出印製溫度 T_{imp} ；

-藉助該固定圖式(C3)之一曲線(G_{flux})，表示使得可取得欲針對印製溫度 T_{imp} 所產生之TR之冷卻速率/溫度限制成對。

有利地挑選蠕變速率 $x\%$ 之值以便可根據其加熱、印製力及冷卻速率能力在設備上產生 T_{imp} 、FL及TR之值。

可藉由以下公式估計對應於曲率半徑(R1)因蠕變而產生之增加之半徑R2：

$$R2 = R1 + C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{TR} \cdot \ln(2)$$

γ 係表面張力，

R1係印製之初始曲率半徑，

R2係增加之後的曲率半徑，

C_{tot} 係一特定結構之蠕變之一代表性係數

F_{vis} 係一常數

μ 表示黏度

TR表示冷卻速率，

$\ln(2)$ 係2之自然對數。

對於一恆定溫度且因此一恆定黏度，以蠕變公式之一經簡化形式給出半徑R2

$$R2 = R1 + C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu} \cdot \Delta t$$

以使得在一時間週期 Δt 期間以一習知比率 γ/μ 對一材料進行之蠕變量測使得可確定一特定結構之係數 C_{tot} 。

可藉由以下公式確定一特定結構之蠕變之代表性係數 C_{tot} ：

$$C_{tot} = F_{RL} \cdot \frac{C_{geo}}{R}$$

其中半徑R係表徵該結構之大小之一因數， C_{geo} 係形狀且 F_{RL} 係一特定邊緣之蠕變之限制條件。

對於正弦形式之一結構，可使係數 C_{tot} 等於0.4。

對於一給定結構，可依據印製溫度 T_{imp} 、藉由以下公式確定導致R1與R2之間的一指定蠕變程度 $x\% = (R2 - R1)/R2$ 之冷卻速率TR

$$TR = C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{R2 \cdot x\%} \cdot \ln(2)$$

γ 係表面張力，

R1係印製之初始曲率半徑，

R_2 係增加之後的曲率半徑，

C_{tot} 係一特定結構之蠕變之一代表性係數

F_{vis} 係一常數

μ 表示黏度，且 $\ln(2)$ 係2之自然對數。

可藉助在印製溫度下具有接近於玻璃之黏度之一黏度但在此印製溫度下具有低於玻璃之表面張力之一表面張力之一糊狀物，特定而言，一齒狀印痕糊狀物，來建立對應於使得可在玻璃蠕變之前取得所期望曲率半徑之若干對值(溫度/線性力)之限制曲線(G_{imp})。

有利地，確定初步熱調節以在該條中、在蝕刻輥之位準處確保欲蝕刻之較熱表面與此玻璃條之較不熱中間厚度之間的至少 10°C 之一溫度梯度。

根據該方法，為蝕刻一浮法玻璃條，該熱調節確保加熱欲蝕刻之面以將其帶至大於該條之核心之溫度之一印製溫度。

為蝕刻一滾動玻璃條，該熱調節確保該條在與不得不蝕刻之面相反之面上之一冷卻，以冷卻該條之核心。

在熱調節之後在玻璃之厚度中取得之溫度分佈通常自欲蝕刻之面至相反面降低。

作為一變型，在玻璃之厚度中取得之溫度分佈可在整個厚度上係均勻的。

本發明亦係關於一種浮法或滾動玻璃條或玻璃片，其特徵在於：其包含藉由如上文所界定之一方法所取得之一精密結構。

本發明亦係關於一種使得可實施如上文所界定之一方法來在以至少1 m/min之一速率連續前進之一平坦玻璃之面中之至少一者上取得包含凸出及凹入區之一精密結構之印製裝置，其中凸出區之最小曲率半徑(R2)可小於200 μm，該印製裝置特徵在於其包括：

- 一熱調節區域，
- 用於蝕刻該玻璃之一經結構化工具，
- 一表面冷卻裝置。

【實施方式】

除上文所陳述之措施之外，本發明由下文中相對於參考附圖所述之例示性實施例更明確地涉及但絕非限制性之某一數目之其他措施組成。

邊緣之品質係眾多結構之一必要元素。其因蠕變而難以在形成之後保持不變。

可認為一邊緣係具有一小曲率半徑之一彎曲表面。因此，曲率半徑係一結構之品質之一良好指示符。

初步熱調節步驟

本發明使得可界定欲蝕刻之面上必需之允許良好填充蝕刻輥之浮凸之溫度 T_{imp} 及支援印製之後的冷卻之玻璃之厚度中之溫度分佈。

$$T(0 < x \leq d_{imp}) \approx T_{imp}$$

在此公式中， d_{imp} 表示在蝕刻期間將變形之玻璃之深度。因此， $T(0 < x \leq d_{imp})$ 表達玻璃之此相同厚度中之溫度。

根據本發明之熱調節使得可取得蝕刻之瞬間處之在整個

印製厚度上之所期望溫度及(若需要)玻璃之厚度中之溫度梯度。

該條之初始狀態與其準備方法有緊密聯繫。

在滾動玻璃之情形下，該條在約850°C至950°C下在玻璃之厚度中具有一強溫度梯度之情況下因冷卻滾動輓而離開滾動輓。該條之核心處之溫度比表面處之溫度高得多。因此，自表面至該條之核心存在一正溫度梯度。

$$\text{grad}T > 0$$

在浮法玻璃之情形下，該條在約600°C下在玻璃之厚度中具有一適中正溫度梯度之情況下離開錫浴槽。

因此，根據本發明之初步熱調節適合準備該條之方式。因此，其將在於根據玻璃之初始狀態而對其進行冷卻或加熱。

根據本發明，該初步熱調節可使得可在玻璃之厚度中形成一溫度分佈，其顯著地有助於該條之剛性及蝕刻之後的玻璃之冷卻速率。

因此，熱調節之後在玻璃之厚度中取得之溫度分佈可在整個厚度上係均勻的或自欲蝕刻之面至相反面或多或少地降低。

$$\text{grad}T \leq 0$$

在藉由滾動所取得之一條之情形下，目標主要係避免存在於玻璃之厚度中之卡路里之一保留。

在藉由浮選所取得之一條之情形下，目標主要係僅提高欲印製之面之表面溫度，其具有形成支援印製之後的冷卻

之一溫度梯度之優點。此亦提供保存該條之剛性之優點，其促進輓上之輸送且限制藉由在印製期間所施加之力減小該條之厚度。

因此，自初步熱調節至印製後冷卻，藉由慮及所有精密結構蝕刻方法來取得在熱調節之最後之該條之熱狀態之最佳化。

在其中必須加熱欲印製之面以達到印製溫度之一浮法玻璃條之情形下，可如專利FR2934588所教示產生該加熱方法及裝置。

在滾動玻璃且需要在印製溫度下在厚度上均質化該條(尤其在欲印製之面下方)之情形下，該面在等效於針對3至4 mm之一厚度之約2 sec(長度=條速率/2 sec)之整個一長度上係熱絕緣。對於不同厚度，藉助適於兩個維度之佩克萊(Péclet)數計算均質化時間使得可確定均質化之長度(2D佩克萊數，cf. FR2934587)。

在滾動玻璃之情形下，即使印製相對遠離滾動機器，該條之熱絕緣亦使得可在指定用於印製之恰當溫度下取得該條。其甚至有利於選擇距印製之一良好距離-舉例而言，在其中該條自然地冷卻至約700°C之一位置處。然後，將根據指定印製溫度適應絕緣區之長度。

在其中該方法需要一溫度差 ΔT 以限制壓碎或需要一梯度以增強冷卻之情形下，首先將滾動條之溫度降低至所需體積溫度(舉例而言，至650°C)，且僅再加熱欲蝕刻之表面。根據專利FR2934588中所揭示之規則策劃表面之加熱。

為設計有助於冷卻之一熱調節，將必需藉由玻璃之體積來量化冷卻。稍後將在冷卻速率章節中論述此問題。

印製步驟

在玻璃中取得一精密結構時之一重要步驟由蝕刻至工具(諸如，一鋼輥)之表面中之結構之填充組成。此等結構之形狀及尺寸可大不相同。舉例而言，所指定之結構具有幾百 μm 之特性尺寸，而其他結構具有小於 $10\ \mu\text{m}$ 之大小。所指定之產生條件亦可大不相同。舉例而言，欲結構化之片或條之速率可介於自 $1\ \text{m/min}$ 至 $20\ \text{m/min}$ 之範圍內。用於該等結構之一正確填充之適當條件可截然不同。通常，可想像，應慮及以下參數以用於一正確填充：

- 條之速率
- 蝕刻輥之大小，
- 欲位移之體積之數量及欲填充之結構之精細度，
- 玻璃之溫度
- 輥對條之壓力。

藉由流體流動機理來確定用玻璃填充蝕刻。藉由一守恆方程式-在此情形下係用於一不可壓縮牛頓(Newtonian)流體之納維-斯托克斯(Navier-Stokes)方程式-來指令此流動。除諸如兩個平行平面之間的流動等幾個簡單實例之外，解答此方程式亦涉及數值方法(CFD)。因此，可針對一給定結構考量產生填充模擬。因此，此等模擬必須測試該方法之可變參數，諸如，玻璃之溫度、輥之壓力、輥之大小等。現在，此方法不使得可整體上快速地判斷此等參

數對印製方法之設計之影響。

下文中將開發一新方法。

首先，將觀看填充欲以玻璃填充以形成凸出部分(尤其邊緣及尖頂)之一或多或少較窄結構之機理。此等結構比藉由壓印工具之凸出部分所形成之凹入結構更難在玻璃中形成。

主要地，兩種機理減慢對此等結構之填充：玻璃之變形及與壁之摩擦。

該填充需要玻璃之一體積變形以調適為新幾何形狀。此外，此玻璃之一部分係與壁接觸。端視可或多或少易滑落之接觸性質，建立對流動之一阻力。此等兩個機理阻撓對邊緣之填充。該填充期間的玻璃之速率確定取得指定填充所需之時間。此速率在時間及空間上不同。下文中，將藉由僅考量填充一結構時之一平均速率來簡化。此平均填充速率 $\bar{v}$ 相依於結構之黏度 μ 、壓力及幾何形狀以及對壁之摩擦。如稍後將看到，對於此類型之問題，可針對變形之速率公式化一簡單及一般化方程式：

$$\bar{v} = \frac{\Delta p}{\mu} \cdot CR_{geo} \cdot CR_{fro}$$

因數 CR_{geo} 係表達玻璃之體積變形能力之一形狀係數且因數 CR_{fro} 表達填充期間的玻璃對結構之壁之黏合或滑動之影響。藉由下伏於欲填充之結構之玻璃中之壓力差及在填充之前面之玻璃中之壓力來給出用於填充之壓力 Δp 。大壓力梯度由玻璃與形成填充必需之 Δp 之軋之間的接觸之開始所

引起。接近填充之結束，玻璃已填充該結構且壓力變得更均勻。

壓力 Δp 之一增加及黏度 μ 之一減小加快填充。某些結構在填充期間陷獲空氣。當估計填充所需之壓力時必須慮及此情形。若所誘獲空氣之壓力造成一問題，則矩陣之一額外封包或一滲透性使得可避免該問題。

工具之金屬表面上之一增滑劑(諸如， SO_2)促進填充。

藉由欲填充之結構之特性長度 S 及平均填充速率來給出填充時間 t_{filling} 。

$$t_{\text{filling}} = \frac{S}{v}$$

藉由條之表面與輥之蝕刻之交叉來大致給出蝕刻輥與玻璃之間的接觸時間。其係由以下方程式來表達：

$$t_{\text{contact}} = L_{\text{contact}} / v_{\text{strip}}$$

其中 t_{contact} 係蝕刻輥與玻璃之間的接觸時間、 L_{contact} 係輥與玻璃之間的接觸之長度且 v_{strip} 係條之前進速率。

圖31表示施加至一平坦玻璃之一蝕刻輥。在一蝕刻工藝期間，具有兩個步驟，第一步驟係模製結構且第二步驟係脫模。輥與玻璃之間的接觸之長度並非係由輥與玻璃的全部交叉來界定而是僅由對應於模製之部分來界定。

藉由以下公式來大致給出一平坦條與一經結構化輥之接觸之長度：

$$L_{\text{contact}} = 0.5 \cdot \sqrt{r_{\text{roller}}^2 - (r_{\text{roller}} - \text{depth}_{\text{etching}})^2}$$

其中 L_{contact} 係輥與玻璃之間的接觸之長度、 r_{roller} 係輥之半徑且 $\text{depth}_{\text{etching}}$ 係蝕刻之平均深度。

一結構之一良好填充需要：

$$t_{\text{filling}} < t_{\text{contact}}$$

顯然，輥之直徑之增大延長輥與玻璃之間的接觸之長度及時間。然而，輥之一過度增大造成如稍後將看到之方法中之另一問題。

若條之溫度准許，則可藉由蝕刻輥周圍之條之一曲率來延長接觸時間，如專利 FR 2934588 所揭示。為產生此一曲率，該條需要一定的變形能力。在不致使條斷裂之情況下可在前進期間產生之條之曲率半徑相依於黏度且因此溫度、其厚度及條之位移速率。依據對浮法玻璃或滾動玻璃生產線上所允許之條之溫度及曲率半徑之觀察，熟習此項技術者習知可加工性條件。

當形成結構時，黏性阻力減慢對該等結構之填充，如先前所論述。壓力有助於克服此等阻力。延長接觸時間亦將有助於填充該等結構但技術約束限制接觸時間。

現將觀看填充所需之壓力之形成。

輥與玻璃條之間的機械力在接觸界面處且在玻璃中形成一壓力場。

可計算由輥與玻璃之間的機械力所形成之平均填充壓力：

$$\bar{p} = \frac{\text{Force}}{\text{Surface area}}$$

此公式包含一接觸表面面積，其對應於所蝕刻條之寬度及接觸 L_{contact} 之長度。對於一週期性及規則結構，可根據上文給出之公式計算值 L_{contact} 。對於較複雜結構，此值可難以界定。為克服此困難，下文中將使用依據施加於由所蝕刻條之寬度分割之輓與玻璃之間的總力所界定之一線性力 FL 。一線性力亦提供對熟習此項技術者而言比一壓力更易理解之一數量之優點。

在由表面張力所產生之一反壓力之情況下出現一特定問題。稍後將看到此反壓力如何相依於玻璃之表面之曲率半徑且可如何計算此反壓力。此反壓力減小用於填充結構(特定而言，邊緣)之壓力差 Δp 之值。以下實例顯示其中此反壓力影響對一結構之填充之條件：

在一條與一輓之間挑選4000 N/ml之一線性力。在該實例中，接觸之長度係15 mm。因此，平均接觸表面面積壓力係267 kPa。

所指定之結構具有欲產生有10 μm 之一曲率半徑之一邊緣。在該曲率下計算玻璃中之反壓力給出30 kPa或約10%。因此，經挑選而用於印製該結構之力係先驗多於足以形成具有10 μm 之一曲率半徑之一邊緣。然而，曲率之反壓力具有減小用於填充之 Δp 之值之一壓力。為補償填充速率之一下降，因此使線性力增加10%。

邊緣之反壓力之影響針對小曲率半徑增加。反壓力之影響亦在玻璃之一低黏度之情況下完成印製時增加，此乃因需要一較低壓力。

一特定問題在於玻璃與輥之間的在接觸之前、接觸期間或接觸之後的熱交換。如稍後將看到，較佳係此交換保持受限制，此乃因印製之前的高溫需要與印製之後的冷卻需要係對立的。較佳地，將針對輥挑選一中間溫度以限制上游與下游之熱干擾。為評估輥與玻璃之接觸期間的熱交換風險，計算典型接觸時間係有用的。

舉例而言，在具有200 μm 之一深度及100 μm 之一中間接觸高度之一結構上，應用具有10 m/min之一平坦條之一前進速率之直徑300 mm之一輥。該模製之接觸之長度係5 mm且接觸時間係0.03 sec。此接觸時間對於標準結構之一顯著熱交換而言係太短。對於極小結構之填充，一局部化交換可影響進入至輥之蝕刻中之玻璃之溫度。在此情形下，輥之溫度必須接近於玻璃之溫度。

用於挑選輥表面溫度之另一準則源於玻璃與輥之間的黏著之問題。

對於相同玻璃及模製溫度而言，一最新研究(G. Rieser, G. Spiess, P. Manns, J of Non-crystalline solids 354 (2008) 1393-1397)已表明用於鈉鈣玻璃至不同金屬或陶瓷表面之初始黏著之溫度出現於560°C與600°C之間。在600°C與640°C之間，該黏著變為強烈。金屬表面之一鉻塗層將此強烈黏著溫度增加至約670°C。在此等此時下，施加2.5 MPa之一壓力達5 sec。此接觸時間遠遠大於以一浮法工藝在一蝕刻輥下方前進之一平坦條之接觸時間。此外，在不具有600°C之一輥溫度及約820°C之一玻璃溫度下之特定表

面處理之情況下，本身之測試已揭露玻璃至CrNi鋼之一黏著。用石墨粉塗佈輥使得可將玻璃黏著溫度推回至更高值。舉例而言，藉助自一部分燃燒或自SO₂所取得之碳顆粒來處理模製表面係熟習此項技術者所習知。

因此，對於使用所提議方法來印製結構而言，600°C之一輥表面溫度係可接受的。

實際上，根據該方法，蝕刻輥之表面溫度係小於玻璃印製溫度之約200°C。

對於某些結構，較佳係進一步增加此溫度以限制蝕刻之前及蝕刻期間的玻璃之一冷卻效應。

特定而言，根據玻璃之溫度、輥之表面、表面材料、輥與玻璃之間的接觸之持續時間及壓力，檢查玻璃至輥之黏著之風險之一個方法由複製如G. Rieser等人之出版物(先前所陳述)中所述之測試組成。對於一給定結構，此使得可確定玻璃及輥之出現一黏著風險之溫度。

現在必需確定一特定結構之一良好填充之條件，即，玻璃之黏度及由蝕刻輥所施加之力。

對於一精密結構，取得小曲率半徑較為重要。

此處規定蝕刻輥之結構應比欲在蝕刻步驟中在玻璃上所取得之結構精細。類似地，其可具有將不填充之額外體積。一良好填充使得可即使不完全地填充輥之結構亦取得小曲率半徑。

根據本發明之方法通常旨在取得等於或小於一規範之彼等曲率半徑之曲率半徑。而，對於某些應用，不期望所取

得之曲率半徑小於該規範。舉例而言，針對光學聚集器及透鏡之情形係如此。

有利地，以一等效方式，可確定用於取得一給定前進速率及一蝕刻輥直徑之一特定結構之突出部及凹入部之曲率半徑之條件。此確定對應於藉由一成對[玻璃溫度/由蝕刻輥所施加之線性力]所形成之一操作點。可用「玻璃黏度」替換「玻璃溫度」參數。

一第一方法由使用慮及玻璃之行為之一模擬程式碼來產生印痕之填充之一數位建模組成。

一實驗性方法可用以直接檢查藉助一結構之一良好填充之所期望曲率半徑之取得。

玻璃之特定特徵係其相對高表面張力。因此，存在不能夠區分印製期間的一不良填充或一精細結構在印製之後的一蠕變(誘發突出部或凹入部之一過度高曲率半徑)之困難。

根據本發明，一種用於解決此問題之方法係使用具有一流變且特定而言與玻璃之黏度相當之一黏度但具有一低得多的表面張力之另一材料。此避免結構在印製之後因蠕變而產生任何降級。

挑選具有一低表面張力(與玻璃相比)之一糊狀物使得可避免蠕變且因此使得可顯示良好填充。

有利地，用於獲得齒狀印痕之材料符合此要求。在藉由混合該等組分準備該材料之後，黏度隨時間緩慢增加。此等材料極詳細地記載於文獻中且具有習知黏度。

為實施實驗性研究，必需具有具有在與該程序相容之一時間間隔內在 10^5 與 10^4 Pa.sec 之間變化之一黏度之一材料。對於鈉鈣玻璃，此黏度帶對應於 800°C 與 900°C 之間的溫度。

特定而言，挑選 Jürgen Stelzig 在 Gießen University 之 2009 論文中所述之「融合低稠度 (Fusion light body)」，其中圖 16 中表示黏度趨勢。

因此，此材料之黏度大致係：

· $4 \cdot 10^4$ Pa.sec (在 120 sec 之後)，其對應於 850°C 之一溫度，

· $1 \cdot 10^4$ Pa.sec (在 20 sec 之後)，其對應於 900°C 之一溫度。

在圖 16 中，菱形表示對應於「融合低稠度」糊狀物之點；小正方形表示對應於「彈性時間正確流動」糊狀物之點；三角形表示對應於 900°C 下之鈉鈣玻璃之點且大正方形表示對應於 850°C 下之鈉鈣玻璃之點。

在混合「融合低稠度」組分之後，產生此材料之一片，其具有對應於欲產生之玻璃之厚度之一厚度 (舉例而言，3 mm)。該片之寬度及長度將相依於實驗性印製裝置 (舉例而言， 100×200 mm)。

可使用一平滑輥快速地完成片之成形，使該平滑輥在相隔 100 mm 且具有 3 mm 之一厚度之兩個導引件上滾動，有點像一食品加工者生產一油酥餡餅進行的操作。

然後，用具有所期望幾何形狀且具有 30 kg 之一重量之一經結構化測試輥 20 (圖 17) 替換該平滑輥，該經結構化測試輥之直徑係計劃用於設備之輥之直徑 (舉例而言，直徑

為 300 mm)。此輥將每線性公尺 3000 N 之一力(其表示一工業可生產壓力)施加於糊狀物片上。

對於同一蝕刻輥，舉例而言，可藉由將額外重量添加至輥軸來增加由輥施加於糊狀物上之壓力。

圖 17 圖式性地表示測試平台。

在自從準備對應於指定糊狀物黏度之糊狀物以來之一時間之後，以玻璃之生產速率將蝕刻輥 20 滾動出至糊狀物片 21 上、放置於一支撐件 22 上。

應注意避免使糊狀物黏著至蝕刻輥且確保糊狀物在輥之表面上滑落。為此，舉例而言，將一增滑劑用於糊狀物或輥之表面上。此增滑劑可係一薄層之肥皂水或油。

對其他糊狀物片複製此程序達不同次數，其表示不同黏度及(對於此等黏度中之每一者)由輥所施加之不同力。舉例而言，針對 3 個不同黏度及 3 個不同力實施此等測試。

在該等糊狀物片已完全變硬之後，分析所取得之印痕且使用光學或機械方法來檢查片之平均厚度。

此等分析可用以繪製表示臨界凸出區之難以依據針對所測試之不同條表面溫度且因此不同黏度施加於片上之線性力取得之曲率半徑之一圖式 C1(圖 18)。舉例而言，測試 3 個溫度位準，且該圖式具有 3 個曲線，每一曲線對應於一給定溫度 T_1 、 T_2 、 T_3 。圖 18 中表示一例示性圖式。

此圖式之 x 軸表示由輥所施加之每線性公尺之力 F_1 、 F_2 、 F_3 。

在 y 軸上，依據通常以一規範設定之所期望最終曲率半

徑 R_2 (在玻璃之蠕變及固定之後) 表達該結構之臨界凸出區之曲率半徑。y 軸係以 $(R_2 - x\% R_2)$ 標以刻度，端視情形， $x\%$ 能夠等於 10%、20% 等。實際上，蠕變之前的曲率半徑 R_1 必須小於所期望最終半徑 R_2 ，此乃因半徑 R_1 之一相對增加會因固定之前玻璃之蠕變而發生。

作為一變型，另一印痕品質準則可充當 y 軸，特定而言，印痕之填充位準，其將表達於 0 與 100% 之間，100% 對應於印痕之一完全填充。

依據圖式 C1 (圖 18) 之曲線，針對 $x\%$ 之不同值使用圖式 C1 之對應於等於 $(R_2 - x\% R_2)$ 之一曲率半徑值 R_1 之點來繪製一新圖式 C2 (圖 19)。

應注意，亦可用以下形式表達 R_1 與 R_2 之間的關係：

- $x\% = (R_2 - R_1) / R_2$
- $R_1 = R_2 (1 - x\%)$
- $R_2 = R_1 / (1 - x\%)$

此外，為簡明起見，在某些圖中，已將半徑 R_1 指定為「 $R_2 - x\%$ 」。

圖式 C2 係藉助 (在 x 軸上) 欲蝕刻之條之表面之溫度及 (在 y 軸上) 由輥所施加之 N/m 之線性力而建立。在圖 19 中，一實線限制曲線 G 對應於蠕變之前等於 $R_2 - 10\% R_2$ 之一曲率半徑 R_1 ；一較低虛線曲線對應於一曲率半徑 $R_1 = R_2$ ，換言之，無蠕變。且一較高虛線曲線對應於蠕變之前等於 $R_2 - 20\% R_2$ 之一曲率半徑 R_1 。

圖 19 之各個曲線對應於可用以取得一經確定曲率半徑值

104 年 2 月 17 日修正替換頁

R1 之操作點(線性力/溫度成對)。

若估計在印製之後且直至固定曲率半徑因蠕變而產生之增加作為半徑之一相對值係 10%，則限制曲線 G(R2-10% R2)之點表示使得可取得所期望最終曲率半徑 R2 之成對。

此圖式 C2 中所取得之曲線 G 定界兩個域。位於曲線 G 上面之第一域 A1 包括使得可在蠕變之前取得小於或等於 R2-10% R2 之印痕之一曲率半徑 R1 且使得可在蠕變之後取得等於或小於 R2 之一曲率半徑之成對(線性力/溫度)。位於曲線 G 下面之第二域 A2 包括不會使得可在蠕變之後取得等於或小於 R2 之一曲率半徑之成對(線性力/溫度)。

為避免在一過度力之情況下壓碎該片且減小其厚度，將接近於限制曲線 G 在右側域 A1 中挑選所保持之成對(線性力/溫度)。在某些情形下，將在限制曲線 G 上挑選成對(線性力/溫度)以確切地取得該規範之半徑 R2。

若在圖式 C1 中，觀察藉助糊狀物片所取得之 3 個曲線部分地限制為低於等於或太接近於所期望最終值 R2 之一曲率半徑，則此意指將不可正確地取得印痕之邊緣之曲率半徑。實際上，對曲線之限制指示輥所施加之壓力導致片之厚度之一減小。將對有關樣品檢查厚度之此減小。

為成功地取得所期望填充位準，必需維持位於欲在一較高黏度且因此一較低溫度下結構化之層下面之片之厚度，以便保持一充分剛性以限制壓碎。

可藉由以下公式來表達片在蝕刻期間的厚度變化：

104年2月17日修正替換頁

$$\Delta e = \frac{F_{\perp}}{L} \cdot \frac{1}{v_{it} \cdot \mu}$$

在此公式中， Δe 表示片之厚度之相對減小， $F_{\perp}$ 表示輥在寬度 L 上施加於片上之力， v_{it} 表示輥與片之間的相對位移速率且 μ 表示片之黏度。

此公式使得可確定能夠形成使得可將片之厚度之減小限制為一給定值之一較大阻力所必需之黏度或溫度位準。此額外阻力使得可取得對印痕之一較佳填充。

藉助其厚度限制為稍大於所指定結構之平均厚度之一糊狀物片來實施一新系列測試。

此新系列測試使得可繪製新圖式C1及C2且界定使得可因透過壓碎糊狀物之厚度不存在壓力損失而正確地取得結構之曲率半徑之成對(線性力/溫度)。

為實施一玻璃條上之壓碎之阻力之此增加，熱調節必須在欲印製之較熱層與條之較冷體積之間形成一熱梯度。

因此，與最大溫度或最小黏度相關聯，已在片之厚度之剩餘部分中確定用於欲結構化之層之成對(線性力/溫度)。

根據本發明之此程序係簡單的且可易於實施以找出適當參數。

依據此等曲線，確定使得可在不明顯減小厚度之情況下產生具有所指定曲率半徑品質之結構之一成對(線性力/溫度)。將結合下文所述之圖1之流程圖中所慮及之其他參數最佳化該成對。

固定步驟

平滑化一玻璃條上之一經蝕刻結構

一結構之表面能量大於一平坦表面之表面能量。表面張力形成往往縮短表面長度且因此平坦化表面之力。表面之此平滑化需要將「高度」之體積位移至凹入部以填充凹入部。圖21之圖式圖解說明針對由實線所表示之一凹槽型三角幾何形狀之此工藝。在此圖中，箭頭表示玻璃在平滑化期間的位移以返回至由一虛線所表示之平坦化表面。表面張力產生具有表面上之最大速率之一「流動」。至於體積中之玻璃，此保持或多或少不可移動。

可想像確定一結構之平滑化之諸多因素：

- 結構之形狀
- 結構之大小
- 玻璃之黏度(溫度)
- 表面張力
- 結構之「形成」之後的「黏彈性」應力

因此，可定性地理解此類型之問題。然而，難以確定影響平滑化之所有參數且難以量化此等參數之影響。

若此等參數在空間或時間上不同(特定而言，當結構係在冷卻期間固定時)，則進一步複雜化情形。

不同材料之表面結構之平滑化係少數科技出版物中已涵蓋但不與一種用於藉由連續印製蝕刻一玻璃條之方法聯繫之一論題。

對於一正弦表面之平滑化，存在1959年由Mullins公佈之一分析解決方案(W.W. Mullins, Journal of Applied Physics

30, p 77-83, 1959)。此解決方案針對一恆定表面張力及一恆定黏度係有效的。

該文獻中亦已涵蓋其他類型之表面：

- V形凹槽(Cassidy and Gjostein, Journal of the American Ceramic Society 53, p161-168, 1970)
- 呈1維及2維之子測微結構(Wang et al., Journal of Applied Physics 101, 023530 (2007))

此等解決方案針對正研究之結構、針對在體積上恆定且均勻之一溫度且因此一黏度係有效的。其等不可適用於估計任一幾何形狀之一結構之蠕變程度且在溫度變化時係不適用。

其來自確定用於平滑化玻璃之力之文獻：

- 作為起動力之表面張力
- 作為制動力之黏性流動

鈉鈣玻璃之表面能量或表面張力 γ 實質上獨立於溫度。然而，玻璃之黏度 μ 隨溫度而強烈地變化，其使得可藉由冷卻來停止平滑化。

根據本發明，已在結構之蠕變與用於連續地在一玻璃條上產生欲蝕刻之一結構之參數之間形成一定量聯繫。現將闡釋導致此聯繫之機理。

表面張力往往減小表面之範圍以最小化其能量。表面張力及表面能量係等效的。

將玻璃拉製為一細條需要某一能量以形成該條之兩個側之新表面。一旦形成此條，即需要維持一最小力以保持新

表面。在基於拉製或滾動之形成方法中，藉由機械輸送該條來提供此力。然後，冷卻增加玻璃之黏度。因此，該厚度之玻璃藉由該條之兩個表面之張力來阻撓收縮。

如圖22中所圖解說明，在一玻璃片中，由虛線箭頭所表示之該玻璃片之平面中之此表面張力誘發由一實線所表示之玻璃在厚度上之一壓縮。與存在於一玻璃片中之其他張力相比，此壓縮通常係較弱。

舉例而言，表面之一結構化由如圖23之圖式中所圖解說明之該表面之一突出組成。

一平坦玻璃片中之此一彎曲表面在突出部之位準處開發額外張力及壓縮，如由實線箭頭所表示。因此，該突出部下方之玻璃之體積曝露至三軸、各向異性及非均質之張力及壓縮之一場。

張力及壓縮之此場往往使突出部中之玻璃位移以最小化表面之能量。

對於仍處於一黏性狀態中之一玻璃，各向異性壓縮造成一變形。當各向異性壓縮係高時，該變形係極快。藉由流體力學之定律來闡述藉由黏性流動之一變形。在流體力學中，使用表達「壓力梯度」而非「各向異性應力」。若壓力梯度已在流動之後消失，則消除起動力且流動停止。

對於具有一表面張力之一流體，在不具有內部壓力梯度之情況下之理想形式係一球體(不具有外部力之情況下)。在一玻璃條之情形下，認為具有平坦表面之玻璃片係一「理想」情形，但在體積中仍存在一弱二軸壓縮。下文中

將假定具有平坦表面之此片中之壓力具有一壓力基準 $p_{\text{ref}}=0$ 。此表面之任一波動皆造成下伏於此彎曲表面之玻璃中之壓力之一增加。基準 $p_{\text{ref}}=0$ 與波動表面之間的壓力差形成壓力梯度，其產生玻璃之流動且因此平滑化。

為量化平滑化，因此必需量化一特定結構之壓力梯度。然後，知曉張力/壓力梯度之場使得可在整體上評估變形。然而，注意力集中於保存精密結構上。因此，期望「控制」邊緣及尖頂之變形，即，對其等曲率半徑之修改。

具有一表面張力之一彎曲表面端視曲率係正還是負而誘發下伏玻璃中之壓縮或張力，如圖23中所表示。

因此，玻璃內部之壓力 p 可大於或小於對應於一平坦表面之壓力基準。對於圖23之線性突出部，找出局部區具有一正或負壓力。

藉由楊-拉普拉斯(Young-Laplace)方程式給出具有一彎曲表面之一靜止流體中之壓力 p_c ，其中 H 係平均曲率且 γ 係表面張力：

$$p_c = \gamma \cdot 2 \cdot H$$

藉由以下關係式界定平均曲率 H ，其中 R_x 及 R_y 表示主要曲率半徑：

$$H = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y} \right)$$

對於具有一平均曲率 H 之一表面，不管其形狀如何，皆可公式化藉由以下關係式所界定之一半徑 R_{eff} ：

$$R_{\text{eff}} = \frac{1}{2H}$$

本文中，將認為一單個半徑 R 等於假定係無限之 R_x 、 R_y ，其對應於一直邊緣之情形。為處理除邊緣之外的形狀，慮及半徑 R_{eff} 係充分的。

在具有一曲率半徑 R 之一直邊緣之情形下，藉由以下關係式給出局部壓力 p ：

$$p_c = \gamma \cdot \left(\frac{1}{R} \right)$$

因此，在具有恆定曲率半徑之一直邊緣中出現之壓力與此半徑成反比。半徑越小，壓力越高。圖24之圖式顯示依據具有 0.3 N/m 之一典型表面張力之鈉鈣玻璃之一邊緣之曲率半徑的壓力趨勢。

對於 0.3 N/m 之此表面張力，半徑 $R=1$ mm 之一邊緣之局部壓力係約 300 Pa，半徑 $R=0.1$ mm 之一邊緣之局部壓力係約 3 kPa 且半徑 $R=10$ μm 之一邊緣之局部壓力係約 30 kPa。當接近於 nm(奈米)範圍時，壓力超過一個大氣壓。易於想像在此等壓力下仍係黏性之玻璃之一變形。

為量化結構化之後的玻璃之平滑化效應，研究由一給定結構中之局部壓力所產生之玻璃之流動。

在「標準」工業玻璃形成條件中，玻璃之作用就像具有僅係其組合物及溫度之一函數之一黏度之一牛頓流體一樣。通常，由以下關係式所表達之 VFT 定律闡述一給定玻璃在溫度 T 下之黏度 μ 之變化：

$$\mu(T) = 10^{-A + \frac{B}{T-T_0}}$$

參數 A、B 及 T_0 相依於玻璃之組合物及類型。其等係此項技術中所習知。

通常在塑化溫度(亦稱作利特爾頓(Littleton)溫度)與工作溫度之間完成玻璃之形成。對於鈉鈣玻璃，此等值對應於約 720°C 與 1000°C 之間的溫度。

藉由一守恆方程式-在此情形下係用於一不可壓縮牛頓流體之納維-斯托克斯方程式-來確定玻璃之流動。

在不具有體積力之情況下且在低速率下，可忽略對流項及體積力項。在其中可忽略過渡項之一靜止流動之情形下，取得以下關係式：

$$\nabla p = \mu \nabla^2 v$$

在此方程式中， ∇p 表示壓力梯度且 $\mu \nabla^2 v$ 表示黏性摩擦項，其中 v 係速率向量。

此微分方程式確定針對流體在三個維度中之每一位置且針對任意幾何形狀之流動。解答此方程式通常需要數值方法(CFD)。

在某些幾何形狀及情形下，存在此方程式之分析解決方案。舉例而言，針對一管中之一靜止流動或兩個片之間的一靜止流動。

在此等精密解決方案中，通常在流動速率、壓力差 Δp 與黏度 μ 之間找出以下比例性。

$$v \propto \frac{\Delta p}{\mu}$$

此比例性針對任一非可壓縮、分層、靜止及牛頓流動係有效的。

可根據給定流動問題用幾何因數一般化此比例性：

$$\bar{v} = \frac{\Delta p}{\mu} \cdot C_{geo}$$

在此公式中， C_{geo} 係表達其中在蠕變期間可使玻璃變形之設施之一形狀係數。此係數係曝露至蠕變之表面結構之一元素之特性。其具有一長度尺寸。

在此方程式中， $\bar{v}$ 表示玻璃之位移之平均速率且 Δp 表示在有關結構元素之限制條件下之壓力差。此簡化特別適於在具有一簡單幾何形狀之管道中具有落差損失之流動問題且針對其中幾何形狀及限制條件不係太複雜之流動保持有效。顯然，對於一非靜止問題，此解決方案係不再有效，此乃因將必需對納維-斯托克斯方程式之過渡項再求積分。然而，對於該幾何形狀之一「慢」過渡趨勢，可藉由以下關係式約計：

$$v(t) = \frac{\Delta p(t)}{\mu} \cdot C_{geo}(t)$$

尤其，在認為僅一經減小時間週期具有該等參數之一極有限變化之情形（其係其中目的係具有幾何形狀之一有限變化之一低蠕變之應用中之情形）下，此一解決方案保持有效。

局部壓力及流動組合

現可嘗試在對應於蠕變之玻璃之流動速率與由表面之一

曲率所產生之局部壓力之間建立一聯繫。

圖 25、26、27 圖解說明具有曲率半徑增加之一邊緣之局部變形機理。

首先按「步驟」考量用於使一邊緣之變形機理。首先，玻璃之表面之曲率直接在表面下方誘發一局部壓力。此壓力在玻璃內部傳播(強制性地，以避免無限梯度)，如圖 25 中之等壓線所表示。

然後，壓力梯度誘發玻璃自彎曲表面向內部之一流動，如圖 26 中之速率向量所表示。此流動使彎曲表面之位置位移。表面之此位移增大曲率半徑且減小局部壓力。運動減慢且速率場變為時間之一函數。

藉由界定，可使自一邊緣之表面至中心之一邊緣之位移速率 v_s 與先前方程式中之速率 v 相關聯。此外，使壓力 Δp 與 $p_c - p_{ref}$ 相關聯。關於曲率半徑，將在不具有朝向相鄰平面之過渡區之情況下慮及中心部分。

針對壓力 p_c 及黏性流動之關係式之組合給出以下方程式：

$$v_s(t) = \frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{C_{geo}(t)}{R(t)}$$

一邊緣之表面之流動或位移之速率指示其因蠕變而產生變形之程度。

在一時間週期 Δt 期間表面因一邊緣以一速率 $v_s(t)$ 縮回而產生之一變形導致該表面位移一長度 ΔL 。

$$\Delta L = \int_0^{\Delta t} v_s(t) dt$$

假定，與該邊緣之變形(其針對精密結構之變形之初始狀態係有效的)相比，形成該邊緣之平面之變形係可忽視的。

圖28表示依據在一長度 ΔL 上之表面之位移之曲率半徑之變化， $R1$ 係初始半徑且 $R2$ 係蠕變之後的半徑。在此特定情形下，毗鄰於邊緣之平面不改變位置。朝向邊緣下面之體積驅散藉由增大曲率半徑所產生之玻璃之多餘塊體。該結構之邊緣與剩餘部分之間的限制處之條件確定蠕變模式。對於圖28中所表示之特定情形，可在邊緣之表面之位移 ΔL 與曲率半徑之增大之間建立一簡單關係。蠕變之後的新半徑 $R2$ 變為：

$$R2 = R1 + \frac{\Delta L}{\sqrt{2} - 1}$$

通常，半徑之增大與表面之縮回之間的關係可公式化如下：

$$R2 = R1 + \Delta L \cdot F_{RL}$$

在此公式中，因數 F_{RL} 建立表面之位移與半徑之增大之間的關係。

如已看到，可依據蠕變之速率確定表面之位移，其使得可公式化：

$$R2 = R1 + F_{RL} \cdot \int_0^{\Delta t} v_s(t) dt$$

且其中：

$$v_s(t) = \frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{C_{geo}(t)}{R(t)}$$

取得以下公式：

$$R2 = R1 + F_{RL} \cdot \int_0^{\Delta t} \frac{\gamma}{\mu(t)} \cdot \frac{C_{geo}(t)}{R(t)} \cdot dt$$

在此公式中， Δt 指示不係先驗有限之蠕變之一時間週期。因此，該蠕變可繼續直至邊緣已經完全平坦化而具有一無限曲率半徑 $R(t)$ 。因此，必需藉由冷卻對蠕變強制實行一技術停止。此一冷卻應可觀地增加黏度，其變為時間 $\mu(t)$ 之一函數，如先前公式中所預見。然而，不會自動知曉預期使蠕變停止之冷卻之速率及最終黏度。

然而，舉例而言，力爭限制至20%之半徑 $R(t)$ 之一增加及且因此限制蠕變。因此，在蠕變期間的玻璃之流動之幾何因數之變化將保持低。用以固定結構之黏度之必需增加相對於 $R(t)$ 及 $C_{geo}(t)$ 之變化係佔優勢的。已知此條件，則可忽略 R 及 C_{geo} 之變化，其意指其等可自積分中去除：

方程式(1)：

$$R2 = R1 + F_{RL} \cdot \frac{C_{geo}}{R} \cdot \gamma \cdot \int_0^{\Delta t} \frac{1}{\mu(t)} \cdot dt$$

因此，積分中剩餘之僅可變量係黏度。下文中將稱此積分為「固定積分」。

因此，藉由一特定邊緣之蠕變之大小(R)、形狀(C_{geo})及

限制條件(F_{RL})所確定之三個因數給出半徑之增大與蠕變之間的聯繫。下文中其適於將此等三個因數一起聚集成一特定結構之蠕變之一單個代表性係數(C_{tot})：

$$C_{tot} = F_{RL} \cdot \frac{C_{geo}}{R}$$

為能夠依據各種參數確定蠕變之程度，必需量化係數 C_{tot} 及固定積分。

如稍後將看到，固定積分大體上確定結構之蠕變程度。然而，必需研究係數 C_{tot} 之影響且找出用於針對一特定結構確定其值之方法。

用於確定 C_{tot} 之方法

首先，藉助稍後將在此文件中進行闡述之固定積分之符號解決方案來論述 C_{tot} 之確定。

圖2之曲線顯示針對在 850°C 之一初始溫度下之鈉鈣玻璃及正弦凹槽形結構之依據冷卻速率之三個初始曲率半徑之增大之實例。在此圖式中，依據x軸上之冷卻速率繪製y軸上之曲率半徑之增加。針對低曲率半徑觀察蠕變之急劇增加-其需要極高冷卻速率以保持此等結構。該等曲線亦顯示針對此等正弦凹槽之數值及符號模擬之一比較。觀察數值結果與符號結果之間的一良好一致。

依據對正弦凹槽之數值計算及符號計算之比較性測試，記錄曲率半徑與幾何因數 C_{geo} 之間的一比例性。在正弦曲線之尖頂及凹入部之曲率半徑之數個量值級上觀察此比例性。此使得可確定一總係數 C_{tot} 之一單個恆定值。符號計

算中所用之係數 C_{tot} 之值係 0.4。此值使得可藉助符號解決方案在該結構之尺寸之數個量值級上計算蠕變，只要蠕變保持低於 50% 即可。

可依據一特定結構之蠕變之數值模擬取得係數 C_{tot} 。可藉由一簡單實驗性方法確定此係數。

在印製溫度下及在冷卻期間直接觀察一經結構化玻璃之蠕變因高溫及強烈紅外輻射而極難以進行。

一個解決方案在於在低溫下使用具有一相當蠕變行為之一材料；對該蠕變之一觀察及量測將係易於進行。

現在，除汞之外，沒有流體具有與玻璃一樣高之一表面張力。在此點處，應理解，若具有一低得多表面張力之一材料係具有習知且適合於允許一可觀察蠕變之一黏度之一牛頓流體，則可用該材料取得一完全等效蠕變。對於一恆定溫度且因此一恆定黏度及一有限蠕變，藉由蠕變公式之一經簡化形式給出半徑 $R2$

$$R2 = R1 + C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu} \cdot \Delta t$$

因此，在一時間週期 Δt 期間對具有一習知比率 γ/μ 之一材料進行之蠕變量測將使得可確定一特定結構之係數 C_{tot} 。

阿薩巴斯卡 (Athabasca) 瀝青係具有一適當表面張力/黏度成對之一詳細記載之材料。舉例而言，其黏度在 9°C 下 3000 Pa.s 與 60°C 下 3 Pa.s 之間變化 (<http://www.heavyoilinfo.com/blog-posts/bitumen-viscosity-vs-temperature>)。其表面張力稍微相依於溫度且在 25°C 下係 35 mN/m (Mehrotra et al. The

Canadian Journal of Chemical Engineering 63, April 1985, p 340-343)。

舉例而言，藉由一顯微鏡式視訊相機以掠過該結構之表面之一角度觀察一邊緣之曲率半徑之增大使得可針對一時間週期 t 量測 $R1$ 與 $R2$ 之間的一差。對於 γ/μ 之值，然後針對特定結構確定 C_{tot} 之值。

圖 32 係低溫下之一蠕變量測之一示意性表示。該裝置包括其上蝕刻指定結構之一模具 32S、阿薩巴斯卡瀝青之樣品 32A、用於量測樣品之溫度之一裝置 32M、用於加熱及冷卻樣品之一裝置 32H 及一顯微鏡式相機 32C。第一步驟由以下步驟組成：確保具有樣品之模具印痕之一良好填充以使得在印製之後所取得之曲率半徑 $R1$ 稍微小於指定曲率半徑 $R2$ 以確保接近於玻璃之結構之蠕變之情形之一幾何形狀。為此，在稍微低於欲量測蠕變之溫度之一溫度下印製該樣品。此第一步驟使得能夠取得蠕變之前的半徑 $R1$ 。然後，樣品之溫度稍微增加且保持恆定達使得可容易地觀察蠕變之一時間週期（舉例而言，10 sec）。然後，樣品之溫度快速降低以在蠕變之最後固定表面之狀態。結構之固定在此實驗中並非係強制性的但使得可檢查蠕變之原位觀察。

舉例而言，對具有 0.5 之一係數 C_{tot} 之蠕變之一初步估計使得可針對 $R1$ 與 $R2$ 之間的蠕變程度及指定時間週期確定上游一適當黏度/溫度。

在觀察測試結果之後，計算此結構之值 C_{tot} 。若針對此第一測試所挑選之參數不使得可觀察所期望蠕變，則在適

應溫度及/或蠕變時間之情況下實施一第二測試。

固定積分之符號解決方案

在固定積分中，黏度在冷卻期間變為時間之一函數。藉助 VFT 方程式之習用界定，因此可公式化：

$$\mu(t) = 10^{-A + \frac{B}{T(t) - T_0}}$$

$T(t)$ 給出冷卻期間的玻璃之溫度。

因此，固定積分變為：

$$\int_0^{\Delta t} \frac{1}{\mu(t)} dt \Rightarrow \int_0^{\Delta t} \frac{1}{10^{-A + \frac{B}{T(t) - T_0}}} dt$$

端視所實施之冷卻方法，玻璃之表面之冷卻分佈可遵循大量變型。為使得可達到積分之解決方案，以具有一平均冷卻速率之一線性趨勢接近冷卻之初始階段。

$$T(t) = T_{imp} + TR \cdot t$$

在此方程式中， T_{imp} 表示等效於冷卻開始溫度之印製溫度， TR 表示冷卻速率且 t 表示時間。

在進行某些簡化之後，取得以下固定積分：

$$\int_0^{\Delta t} \frac{1}{\mu(t)} dt \Rightarrow 10^A \cdot \int_0^{\Delta t} 10^{\frac{-B}{T_{imp} + t \cdot TR - T_0}} dt$$

固定積分之解決方案構成用以判斷一邊緣之變形程度、確定固定時間及溫度且量化印製溫度及冷卻速率之影響之關鍵元素。

現在，對於此類型之積分，不存在確切解決方案。

積分之「數值」計算顯然保持不變，其包含兩個主要缺

尋使得可使近似函數之曲線與此實際曲線匹配之因數來簡單地確定此因數之新值。

此函數具有針對在 $t=0$ 與 Δt 之間的一經確定積分之一確切解決方案。稍後將闡述此確切解決方案。對於其中充分地降低溫度且停止任一蠕變現象之情形，可忽略該確切解決方案中之某些項。基於此等新元素，已找出針對 $R1$ 與 $R2$ 之間的半徑之增加之符號計算之一極簡單解決方案。

方程式(2)

$$R2 = R1 + C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{TR} \cdot \ln(2)$$

因此，使用印製溫度下之黏度 $\mu(T_{imp})$ 、先前所確定之結構之冷卻速率 $TR(K/s)$ 及係數 C_{tot} 足以計算新半徑 $R2$ 。用開爾文單位找出黏度近似函數之因數 F_{vis} 。

此公式聯繫邊緣之初始半徑、如規範所需之最終半徑、印製溫度及冷卻速率。

因此，對於具有相當黏度斜率之不同類型之玻璃，其使得可依據邊緣之初始半徑、最終半徑及印製溫度而界定欲施加之冷卻速率。

其亦使得可依據用以觀察指定最終半徑之冷卻速率而界定印製溫度。顯然將根據結構形成準則(尤其欲施加之力)挑選此溫度。

然而，此極簡單公式仍不使得可分別確定時間及溫度以預期結構之固定。為確定此等值，必需保持方程式(1)之解決方案之所有項，特別係其中時間 t 作為一變量之彼等

104年2月17日修正替換頁

點：

- 其不使得可一次確定準確參數，其意指必須執行一系列最佳化計算
- 其不係直接屬於熟習此項技術者之範疇。

因此，尋求「可操縱」之此積分之一解決方案。一「習用」方法係用一級數展開替換欲求積分之函數。現在，為準確地表示一寬廣範圍之參數(T_{imp} 、 TR)，必需展開大量(多於6)項。此使得該解決方案極其不適於操縱。

藉由用具有相當表觀但易於求積分之一函數替換指數項來找出問題之一解決方案。

$$10^{\frac{-B}{T_{imp}+t \cdot TR - T_0}} \Rightarrow 10^{\frac{-B}{T_{imp} - T_0}} \cdot \left(1 - \tanh\left(\frac{-t \cdot TR}{F_{vis}}\right) \right)$$

在此公式中，因數 F_{vis} 係適於一給定玻璃之一代表性黏度之一常數。對於鈉鈣玻璃，因數 F_{vis} 等於46開爾文(kelvin)。對於依據溫度而具有黏度之另一變化之一玻璃，此因數之值將係不同。此新函數在技術上所關注範圍之值上接近指數函數，即，針對鈉鈣玻璃在750與950°C之間，且針對10至300°C/s之冷卻速率。

46 K之值針對依據溫度具有一相當趨勢之黏度之所有類型之玻璃皆係有效的，其係關於由浮法或滾動方法所產生之大多數鈉鈣及硼矽酸鹽玻璃之情形。對於具有一截然不同黏度斜率(諸如，石英)之玻璃，對因數 F_{vis} 之一調整可係必需。可藉由繪製有關玻璃之實際黏度變化曲線且藉由搜

104年2月7日修正替換頁

項。

$$R(t) = R1 + C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{TR} \cdot \left[\ln \left(e^{\frac{t \cdot TR \cdot 2}{F_{vis}}} + 1 \right) - \ln(2) \right]$$

此方程式使得可依據針對一給定冷卻速率及印製溫度之時間計算半徑 R。R 之值在初始階段迅速增加以藉助冷卻在對應於值 R2 之一恆定值上穩定。至穩定化之此過渡依據 TR 及 T_{imp} 指示用於結構之固定之時間及溫度。此使得可確定緊在印製之後的冷卻之時間。一旦結構固定，冷卻即可以一適中速率繼續。

特定而言，此等資料使得可界定恰好位於蝕刻輥下游之經增強冷卻區段之長度。

圖 2 之曲線顯示針對在 850°C 之一初始溫度下之鈉鈣玻璃之依據冷卻速率之初始曲率半徑之一例示性增大。

可在此等曲線上看到，保存小結構必需一高冷卻速率。亦應注意，保存具有大於 200 μm 之一曲率半徑之一結構僅需要約 10 K/sec (其對應於在輸出鑄造單元時通常在條上所取得之值) 之一冷卻速率。

亦藉助方程式 (2) 觀察數值結果與符號計算之間的一良好一致。應恢復，在符號計算中使用針對係數 C_{tot} 之 0.4 之一單個恆定值。因此，極簡單符號解決方案使得可正確地計算在一值 R1 與最終曲率 R2 之間的曲率半徑增加程度。

固定參數及與印製步驟之聯繫

一結構之平滑化之速率與其大小及其形態直接聯繫。由

104年2月17日修正替換頁

結構之曲率半徑(特定而言，結構之最薄部分)所引起之局部壓力產生平滑化。其對一體積變形之阻力減慢平滑化。

具有一給定精細度之一結構之平滑化潛力與兩個主要因素聯繫：玻璃之表面張力 γ 及黏度 μ ，考慮到後者強烈地相依於溫度。

除對影響如開始所闡釋之一結構之平滑化之參數之一直觀理解之外，已能夠識別確定蠕變之參數。另外，已開發一簡單符號公式以聯繫此等參數且量化蠕變之程度。

因此，欲慮及之參數係：

- 玻璃之表面張力，
- 玻璃之黏度及其隨溫度之趨勢，
- 完成蝕刻之溫度，
- 玻璃之冷卻速率，
- 最受約束結構曲率半徑。

依據方程式(2)，現可確定用以達成指定值 R_2 所需之半徑 R_1 。亦可確定導致 R_1 與 R_2 之間的一指定蠕變程度 $x\%$ 之冷卻速率 TR 。作為一提示，蠕變程度界定如下， $x\% = (R_2 - R_1)/R_2$ 。

以下公式(其係方程式(2)之一再公式化)使得可依據針對 R_1 與 R_2 之間的一蠕變程度 $x\%$ 之印製溫度而針對一給定結構計算此冷卻速率 TR 。

$$TR = C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{R_2 \cdot x\%} \cdot \ln(2)$$

圖 20 係一稱作 C3 之一圖式，其係由依據 x 軸上之溫度給出 y 軸上之冷卻速率之一系列曲線形成。此圖式對應於係本發明之標的物之方法之固定步驟。所表示之 3 個曲線圖解說明因直至導致一個且相同半徑 R2 之一固定之蠕變而產生之曲率半徑增加之 3 個程度。

若(舉例而言)估計因印製之後且直至固定之蠕變而產生之曲率半徑 R1 之增加作為半徑 R2 之一相對值係 10%，則限制曲線之點 G_{flux} 顯示使得可達成指定值 R2 之冷卻速率 TR 與印製溫度 T_{imp} 值之成對 TR/ T_{imp} 。

此圖式 C3 所取得之曲線 G_{flux} 定界兩個域。位於曲線 G_{flux} 上面之第一域 B1 包括使得可取得一低蠕變及小於規範中之最大曲率半徑 R2 之一曲率半徑之成對 (TR/ T_{imp})。

位於曲線 G_{flux} 下面之第二域 B2 包括導致大於指定值之一蠕變程度且因此具有大於該規範之最大半徑 R2 之一曲率半徑之成對 (TR/ T_{imp})。在某些情形下，將在限制曲線 G_{flux} 上挑選成對以確切地取得該規範之半徑 R2 (TR/ T_{imp})。

依據此等曲線，確定使得可產生具有指定曲率半徑品質之結構之一成對 (TR/ T_{imp})。將結合下文所述之圖 1 之流程圖中所慮及之其他參數最佳化該成對。

特定而言，將藉由組合填充圖式 C2 與固定圖式 C3 來確定印製溫度。首先挑選一有限蠕變程度，舉例而言，10%。然後，挑選技術上易於生產之一印製力 FL。使用圖式 C2 之曲線 G_{imp} ，找出對應印製溫度。針對此相同印製溫度，藉助圖式 C3 中之曲線 G_{flux} 確定欲產生之冷卻速率

TR。若此冷卻速率難以產生，則挑選一較低印製溫度且因此一較低TR值。然後，圖式C2使得可針對新印製溫度確定將係較高之一新印製力FL。若可在技術上產生此印製力，則已找出使得可取得指定曲率半徑R2之一組FL、TR及T_{imp}。

冷卻速率

關鍵性固定參數中之一者係冷卻速率，尤其依據印製溫度之結構之玻璃之重量之關鍵性固定參數。藉由自此玻璃塊體消散之熱通量確定冷卻速率。藉由以下公式給出欲消散達一所需TR值之熱量：

$$q_{tot} = \frac{mass}{surface\ area} \cdot cp \cdot TR$$

在此公式中，cp表示玻璃之具體熱量，且q_{tot}表示玻璃條之表面面積之一每單位熱通量。

因此，欲消散之熱量在結構、cp值及所需冷卻速率上轉變之印製層中與玻璃之重量成比例。顯然，此方法包含忽略cp隨溫度變化、冷卻期間在結構內存在熱梯度等之一簡化。然而，與用以保存各種曲率半徑(參見圖2)之冷卻速率之變化相比，此等變化係可忽視的。

熱通量q_{tot}由藉由表面冷卻所消散之通量及藉由玻璃之體積依據其溫度擴散之通量組成。

$$q_{tot} = q_{surface} \Big|_{x=0} + q_{volume} \Big|_{x=\dim p}$$

在此公式中，q_{surface}表示由經印製面所消散之熱通量之

密度、 q_{volume} 粗略地表示深度位置 d_{imp} 處且朝向條之內部消散之熱通量之密度。

因此，通常經蝕刻層之冷卻速率係此等兩個通量之集合之一函數。

可以不同方式確定經實施以取得必需冷卻速率之方法：

- 玻璃中之熱量擴散及經結構化玻璃之表面上之對流冷卻之數值模擬，
- 在適中溫度下之一經結構化玻璃樣品上之一對流冷卻交換係數及外推高溫之實驗性確定 此方法使得可依據對流強度(舉例而言，藉助空氣吹嘴)估計 q_{surface} 值。

此等2個方法亦使得可慮及印製輥之幾何形狀。實際上，對於一大直徑輥，緊在印製點之後的冷卻變得困難。一較小輥直徑改良該情形但縮短接觸時間且因此可用於用玻璃填充輥之蝕刻之時間。相對於玻璃之溫度降低其溫度之輥之一冷卻亦有助於用於固定之玻璃之冷卻，但其冒著在填充蝕刻之前及填充蝕刻期間降低玻璃之溫度之風險。

若難以僅經由表面取得玻璃之一顯著冷卻，則可高度有利於藉由朝向玻璃之體積之一梯度取得一額外冷卻。可在條之熱調節期間取得此一梯度。稍後將呈現幾個實例。

因此，透過印製深度處之平面朝向體積消散之熱通量 $q_{\text{volume}}|_{x=\text{dim } p}$ 相依於緊鄰印製之後的熱梯度。此梯度相依於在印製期間的厚度上之溫度分佈，其係由印製之前的熱調節確定。為根據所需冷卻速率正確地設計及策劃熱調節，因

此尋求一種用於依據該熱調節確定熱梯度及通量 q_{volume} 之方法。

顯然，可使用或反覆試驗條之熱傳之一數值模擬，但此等方法在一設計工藝上係相當不適當。

因此，有必要找到用於緊鄰印製之後量化 q_{volume} 之一快速方法。

冷卻之此一強制在印製時需要印製深度處之一負梯度。此梯度係藉由在熱調節時加熱表面所形成。專利 FR2934588 教示依據條之初始溫度 T_1 及所指定印製溫度策劃此一加熱。所提議之方法使得可確定加熱長度且因此時間 t_{ch} 且計算欲注入至玻璃中之熱通量。其亦使得可確定在加熱最後所達到之最大溫度 T_{max} 且規定加熱與印製點之間的距離且因此延遲 t_{dist} 。然而，專利 FR2934588 不教示如何確定厚度上之溫度分佈或藉由表面加熱所產生之體積上之熱通量。「加熱」限制處之一條件與在加熱與印製點之間的「絕熱」限制處之一條件之組合不允許用以依據時間計算溫度分佈且自其推斷緊鄰印製之後的值 q_{volume} 之一簡單符號解決方案。另一方面，不同情形之一系列數值模擬已使得能夠確定用於估計 q_{volume} 之一簡單方程式：

$$q_{\text{volume}}|_{x=d_{\text{imp}}} = \lambda \cdot \frac{0.0718 \cdot d_{\text{imp}} \cdot (T_{\text{max}} - T_1) \cdot \sqrt{t_{\text{ch}}}}{t_{\text{dist}} \cdot \alpha \cdot \sqrt{t_{\text{dist}}}} \cdot \exp\left(-\frac{0.147 \cdot d_{\text{imp}}^2}{t_{\text{dist}} \cdot \alpha}\right)$$

在此方程式中， λ 表示熱傳導率且 α 表示玻璃之熱擴散率。 $\lambda = 1.5 \text{ W/mK}$ 且 $\alpha = 4.4 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ 之值表示清潔鈉鈣玻璃及印製期間的溫度。上文中已呈現其他參數。

104 年 2 月 17 日修正替換頁

關於此方程式，可藉助先前藉由 FR2934588 中給出之方程式所確定之表面加熱參數來估計印製位置處之體積熱通量密度。

關於針對 q_{volume} 之此方程式，亦可藉由緊鄰印製之後的熱分佈之同等化來估計通量之減少。為此，在 t_{dist} 之後添加一額外延遲，舉例而言，0.5 sec。若干個熱調節情形之模擬已表明通量 q_{volume} 在印製之後快速下降。然而，根據先前所呈現之公式計算依據時間 $R(t)$ 之半徑 R 之增大之蠕變亦顯示固定之臨界階段對應於緊鄰印製及脫模之後的週期。此刻，因輓而極難以經由表面冷卻經印製結構。因此，體積冷卻係用於固定精密結構之一關鍵性元素。

最終，藉助通量 q_{volume} 及 q_{surface} 之此確定，確定冷卻速率 TR 且實施一檢查以查看是否取得指定值。若需要，則將可依據時間亦確定通量 q_{volume} 及 q_{surface} 且因此依據時間繪製 TR 。此使得可檢查 TR 值緊鄰印製之後是否係特別充分高。

若緊鄰印製之後觀察冷卻之一缺乏，則可藉由降低條之初始溫度及增強加熱來降低印製溫度或增強熱梯度。縮短加熱之長度及加熱-印製點距離亦使得可增加緊鄰印製之後的 q_{volume} 。

最佳化蝕刻方法

先前已看到精密結構之形成需要調整以下三個步驟之參數：

1. 熱調節

2. 結構之印製

3. 結構之固定

此等步驟中之每一者在其要確定適當參數時皆具有一定複雜性。此外，使三個步驟之參數互連。識別允許該方法正確地操作之一組此等參數同時觀察所指定結構精密度，需要一適當確定方法。

圖 1 之流程圖用以圖表性地表示該工藝之各種步驟之間的聯繫。其闡述一種可用以界定根據一給定規範生產一精密結構所需之所有參數之系統化方法。其亦使得可檢查是否可根據使得可用之技術裝置產生所需結構。

本發明使得可規定用於藉由一反覆工藝形成該結構之不同步驟之參數。

左側行含有該方法外部或內部之各種需要。中間行含有呈其等進行之次序之方法之各種步驟，後者對應於玻璃之進展。右側行含有歸因於可用於實施該方法之技術之約束及該方法之參數之限制值。

現將以一實例性路線逐步完成此最佳化流程圖。

0. 規範：該規範規定所期望結構之形狀、大小及品質，特定而言，所接受之曲率半徑 $R2$ 。此規範亦規定欲觀察之產生參數，諸如，條之速率及厚度、印製工藝上游之玻璃之溫度及玻璃之類型。
1. 根據技術約束(諸如，影響轉向之條之寬度、輥之材料及設計等)挑選輥直徑且計算玻璃與蝕刻輥之間的模製之半個段之長度。

2. 藉助一模型輓對指定結構進行冷填充測試。使用此等測試來確定印製圖式C1及C2。
3. 進行冷蠕變測試以確定係數 C_{tot} ，然後計算圖式C3之一組曲線。
4. 自可用於圖式C2及C3中之曲線挑選針對蠕變程度之值 $x\%$ (自其導出值 $R1$)以預見蠕變，且挑選印製溫度之初始值。
5. 結構印製：確定圖式C2中之印製力 FL 以達成所指定蠕變程度之值 $x\%$ 且因此半徑 $R1$ 。
6. 計算與曲率半徑 $R1$ 聯繫之反壓力。
7. 力限制檢查：所保持之力將小於或等於技術上可藉由所實施之技術產生之力。
8. 壓碎檢查：若在確定圖式C1時觀察到存在壓碎玻璃之厚度之一風險，則用玻璃之體積與欲印製層之間的一充分 ΔT 來補充對熱調節之需要。
9. 結構固定：在圖式C3中，根據步驟5中所保持之蠕變程度 $x\%$ 用溫度 T_{imp} 確定取得曲率半徑 $R2$ 所需之冷卻速率。

藉由使用先前所看到之公式 $R=f(t)$ 計算針對不同蠕變時間之指定半徑之趨勢來取得其上必需維持此冷卻速率之距離以便識別該值之最高限度。自該最高限度開始時間，結構不再降級，且因此不再必需維持此冷卻速率。自此時間且慮及玻璃之速率，自其推斷必需冷卻長度。

10. 冷卻速率限制檢查：實施一檢查以查看是否可藉助可用冷卻方法取得必需表面熱通量。若存在一問題，則存在用於降低冷卻要求之各種解決方案：
 - a. 降低印製溫度，其降低針對冷卻之需要，且重複步驟5至9。
 - b. 稍微增加蠕變程度 $x\%$ ，其減小必需曲率半徑 $R1$ ，且重複步驟5至9。
11. 體積冷卻需要：若先前反覆不使得可取得一組可行參數，則添加體積冷卻需要。此由藉由玻璃條之一在前熱調節取得之一熱梯度所引起。
12. 依據印製溫度及結構冷卻要求挑選輥表面溫度。若需要，則藉由恰好在與玻璃接觸之前提供對輥之表面之一加熱且恰好在蝕刻之後提供對輥之表面之一冷卻來執行輥之一熱調節。
13. 依據玻璃及輥之表面之溫度、表面材料、接觸時間及壓力檢查玻璃至輥之黏著風險。已經闡述可用以限制黏著風險之方法。若存在一黏著風險，則降低溫度 T_{imp} 且該方法返回至步驟6。另一解決方案由降低輥表面溫度組成。此可需要藉由自條之加熱稍微增加熱通量以維持 T_{imp} 來補償輥對玻璃之冷卻效應。
14. 條之熱調節：設計且策劃使得可藉由使溫度均勻或加熱欲印製之表面在一充分厚度上取得印製溫度 T_{imp} 之熱調節。將根據生產類型(浮法或滾動)基於玻

定而言，可針對玻璃之初步熱調節、印製及固定策劃蝕刻系統。

在其中不可藉助最初所提供之裝置取得操作參數之情形下，必須改變系統之確定參數中之一者，舉例而言，輥與玻璃之間的接觸時間。存在用於增加條與輥之間的接觸時間之兩個可能性：

- a. 增大輥之直徑、仔細注意輥上游之熱調節與下游之冷卻之相互作用。
- b. 在輥周圍誘發該條之一局部曲率。

在此等兩個情形下，必需確定一新圖式 C1 及 C2 且然後自步驟 1 重複該反覆工藝。

作為一替代方案，舉例而言，可藉由使用一更有力表面冷卻方法，舉例而言，藉助先前冷卻為低於周圍溫度之空氣、一水霧或諸如氫氣之另一氣體來修改設備。然而，此等技術可觀地增加複雜性及冷卻中所涉及之技術難度。

在不可能取得指定結構的可在設備上產生之操作參數之情形下，將尋求最佳地解決所需功能且可在該設備上產生之另一結構。

用於取得精密結構之最佳化原理

圖 1 之流程圖式明確定此精密結構印製方法之諸多參數之相互作用。最佳化之難度相依於結構之形狀、大小及所需之精密度。具有不同曲率半徑之正弦結構之蠕變圖式 (圖 2) 清晰地揭露形成具有大半徑之結構之簡單性及取得小曲率半徑之難度。

具有 $220\ \mu\text{m}$ 曲率半徑之結構展示甚至在一低冷卻速率下之極弱平滑化。具有 $2.2\ \mu\text{m}$ 曲率半徑之結構在一低冷卻速率下幾乎不出現。因此，其保存需要一極高冷卻速率。

對於開發具有大半徑之結構，操作參數窗係極大的。可相當容易地找出一組可行參數。

對於開發具有小曲率半徑之小大小之一結構，針對一組可行參數之窗可係極小或不存在的。該流程圖中所提議之系統化方法使得可找出此操作參數窗且亦使得可做出關於欲實施以達成所需參數值(諸如，印製力 FL 或冷卻速率 TR)之技術之正確挑選。

本發明之例示性應用

最佳化程序：

0. 規範：生產：用於覆蓋光伏打面板之具有 $3.2\ \text{mm}$ 之一厚度、 $2.5\ \text{m}$ 之原始條寬度、 $5.1\ \text{m/min}$ 之速率之鈉鈣玻璃之 $145\ \text{t/j}$ 之經滾動玻璃線。在鑄造單元之輸出處之玻璃之溫度約 900°C 。該結構欲生產於該條之頂部面上。欲形成之結構：由一連串具有 60° 之一頂角、 $H=0.866\ \text{mm}$ 之高度、 $1\ \text{mm}$ 之基底處之寬度之三角形邊緣形成之圖 29 所圖解說明之一鋸齒狀結構。對於 $3.2\ \text{mm}$ 之一條厚度，該結構之穀之底部處之玻璃之厚度等於 $2.77\ \text{mm}$ 。對於此結構，印製中所涉及之玻璃之初始平均高度對應於該結構之高度之一半或 $0.43\ \text{mm}$ 。此暗示欲將 $d_{\text{imp}}=0.43\ \text{mm}$ 之一最小深度加熱至印製溫度 T_{imp} 。關於結構之幾何形狀

所需之精密度：凹部中之負曲率半徑與尖頂中之正曲率半徑之平均值不應超過 $25\text{ }\mu\text{m}$ 。對於此光伏打面板應用，使用所指定結構化來減少光因一「光誘獲」效應之反射。為保證所取得結構之一良好有效性，不遵循所期望傾斜平面之表面必須係極有限的。關於玻璃片之平面中之一突出，非一致性表面不應超過約10%。因此，頂部及凹部之平均曲率半徑應小於約 $25\text{ }\mu\text{m}$ 。此外，曲率半徑應保持大於 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以避免該等片中之機械穩定性問題且允許將其等回火。

1. 輥之界定：所保持之蝕刻輥由鋼製成且其表面經鍍鉻以避免玻璃之黏合。其經製造而具有曲率半徑係 $10\text{ }\mu\text{m}$ 之一矩陣以使得結構之最小曲率半徑不可小於 $10\text{ }\mu\text{m}$ 。對於 2.5 m 之一印製寬度，挑選 150 mm 之一輥直徑。結合厚壁，此直徑確保防禦轉向之一良好剛性。舉例而言，可藉由雙軸承來進一步減少轉向。此有限直徑亦使得可將自加熱至印製點之距離減小至約 50 mm 。亦可使表面冷卻噴嘴較接近於印製點。對於此輥，玻璃與蝕刻輥之間的模製之半個段之長度給出 9 mm 。
2. 冷填充測試：繪製用於藉助糊狀物取得曲率半徑之一第一圖式C1顯示限制印痕之曲率半徑之一高值且顯著地減小糊狀物片之厚度。在一經減小糊狀物厚度(約 0.5 mm)之情況下之一第二系列測試使得可繪

製不由壓碎干擾之一新圖式C1及(然後)圖式C2(圖30)。

3. 冷蠕變測試：針對所指定幾何形狀，根據先前所述之方法實施之測試使得可確定 C_{tot} 之值為0.6。關於引入至以下公式中之此值，藉由依據針對不同蠕變程度之溫度計算必需冷卻速率來確定圖式C3(圖33)。

$$TR = C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{R2 \cdot x\%} \cdot \ln(2)$$

4. 挑選蠕變值X%及印製溫度：根據圖式C2及C3，挑選10%之蠕變值之一程度及870°C之一印製溫度作為初始資料。此10%值導致22.5 μm之一曲率半徑R1， $R1=R2 \times (1-10\%)$ 。
5. 驗證曲率半徑對反壓力之影響：計算在具有22.5 μm之邊緣下之局部壓力給出13 kPa之一值。
6. 確定印製力FL：自該圖式，針對870°C之一溫度及10%之一蠕變程度，取得2570 N/ml之一印製力。對於9 mm之模製段之長度，取得276 kPa之一平均壓力。使力稍微增加5%使得可預見13 kPa之反壓力。經校正力升高至2700 N/ml。
7. 驗證實施印製力之技術可行性：舉例而言，可藉由噴射該條之與蝕刻相對之面上之空氣軸承來容易地達成此印製力值。
8. confirm壓碎檢查：藉由通過根據以下公式計算壓碎

所取得之結果來確認片之厚度之減小：

$$\Delta e = FL \cdot \frac{1}{v \cdot t \cdot \mu}$$

針對對應於 42 800 Pa.s 之一黏度之 870°C 之一溫度及 10% 之一 X% 值，2700 N/ml 之一力給出 131% 之一結果，其指示此等條件係不可達成的。此之結果係必須降低體積之溫度以便限制壓碎。為限制結構化期間之玻璃之厚度之減小且使用輥所施加之力來結構化而非壓碎該條，尋求導致限制為 4% 之該條之厚度之一減小之參數。仍使用此公式，搜尋使得可限制 4% 片厚度減少之一黏度給出 765°C 之體積中之一等效溫度。

9. 結構之固定及冷卻速率之界定：自圖式 C3，針對 870°C 之一印製溫度及 10% 之一蠕變速率，取得 101 K/sec 之一冷卻速率。自下文之公式，計算依據時間之曲率半徑之趨勢。所取得之曲線顯示大部分蠕變發生在印製之後的 0.4 sec 期間。因此，針對 5 m/min 之一條速率，其上必需維持約 100 K/sec 之一冷卻速率之長度係 4 cm。

$$R(t) = R1 + C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{TR} \cdot \left[\ln \left(e^{\frac{t \cdot TR \cdot 2}{F_{vis}}} + 1 \right) - \ln(2) \right]$$

10. 驗證冷卻速率：自下文之公式，計算欲消散之熱通量密度：

$$q_{tot} = \frac{mass}{surface\ area} \cdot cp \cdot TR$$

針對 100 K/sec 之一冷卻速率，取得 120 kW/m² 之一通量，因蝕刻輥之存在而難以藉由緊鄰印製之後的表面冷卻取得該通量。因此，必需提供一體積冷卻。

11. 體積冷卻：用以界定體積冷卻速率，假定恰好在印製之後將藉由表面冷卻消散之通量限制為約 20 kW/m²。因此，藉由體積冷卻消散之通量係 100 kW/m²。
12. 挑選輥溫度：所保持之輥溫度係 600°C。此亦有助於藉由接觸及輻射之條之冷卻。在印製之前，必須藉由加熱之設計，舉例而言，藉由用位於條與輥之間的空間中之廢氣進行清掃來補償此冷卻效應。
13. 檢查黏著之風險：由於輥係鍍鉻，因此限制為 600°C 之其溫度使得可避免玻璃在 870°C 下之任何黏著風險。
14. 條之熱調節：意欲進行此調節以確保：
 - 870°C 之一印製溫度，
 - 藉助一體積溫度梯度之 100 kW/m² 之一體積冷卻速率，
 - 欲印製之層與玻璃之體積之間的一溫度差以避免其壓碎。

針對 900°C 之一初始溫度下之一條，知曉必需將其冷卻至 765°C 之一最大溫度以限制其在印製期間的壓

碎。因此，根據本發明之熱調節將包括全部該條之一冷卻及欲蝕刻之面之一表面加熱。

如專利FR2934588中所述執行加熱之策劃。使用以下輸入資料：

- 0.3 mm^{-1} 之一印製數量，
- 加熱之最後與印製點之間的 50 mm 之一距離，
- 欲加熱之 0.43 mm 之一深度，
- 765°C 之一溫度。

取得以下結果：

- 280 mm 之一加熱長度，
- 938°C 之一最大表面溫度，
- 玻璃中之 200 kW/m^2 之一淨熱通量密度。

15. 驗證加熱參數：先前步驟中所取得之值係合理且可達成的。

16. 體積冷卻檢查：自當策劃加熱時所取得之值，使用先前所引入之公式計算緊鄰印製之後的體積通量。取得 67 kW/m^2 之一值，其小於確保需要用於結構之固定之冷卻速率所需之 100 kW/m^2 。

17. 環回：藉由降低步驟13中之條之溫度以便取得 100 kW/m^2 之一冷卻速率必需一環回。取得 700°C 之一條溫度。藉由然後在此條溫度下重複步驟13，取得以下輸出資料：

- 280 mm 之一加熱長度，
- 981°C 之一最大表面溫度，

- 玻璃中之 320 kW/m^2 之一淨熱通量密度。

18. 驗證加熱參數：先前步驟中所取得之值係合理且可達成的。

19. 概述所保持之參數：根據本發明之最佳化工藝已使得可界定用於產生所指定結構之適當參數，特定而言，具有介於 10 與 $25 \text{ }\mu\text{m}$ 之間的一曲率半徑 $R2$ 。此等參數係：

- 印製溫度： 870°C
- 核心溫度： 700°C
- 經施加以用於蝕刻之線性力： 2700 N/ml
- 半徑 $R1$ ： $22.5 \text{ }\mu\text{m}$
- 緊鄰印製之後的冷卻速率： 100 kW/m^2
- 印製之前的表面加熱：
 - 欲加熱之長度： 280 mm
 - 淨通量： 320 kW/m^2

根據本發明之例示性裝置

圖 15 之圖式顯示一經滾動玻璃線上之根據本發明之一例示性裝置。

玻璃條 J 在調節通道之輸出處形成於兩個輥 $23a$ 、 $23b$ 之間。用水冷卻此等輥，其立即誘發在中心處具有一熱量保留之條中之一熱分佈。

根據此實例，然後將所形成之條輸送至一懸浮台 24 且然後至輥 31 。根據本發明之條之熱調節以使得可在欲蝕刻之面之表面加熱之前取得條之平均溫度之一對流冷卻 25 開

始。對於另一例示性應用，一輻射冷卻可係充分的。

欲蝕刻之面之一熱絕緣物26使得可使溫度分佈在一充分厚度上均勻。使用一加熱構件32來加熱欲蝕刻之面。加熱構件之實例闡述於專利FR2934588中。相反面上之冷卻25維持條之體積中之熱梯度。

蝕刻輥27藉由放置於相反面上之一反壓力輥28來向經平衡之條施加一壓力。根據本發明之另一例示性實施例，藉由噴射空氣來替換該反壓力輥。有利地，蝕刻輥27接近於印製溫度以確保填充其印痕。緊鄰印製之後，藉由空氣噴射29來進行對流冷卻。

特定而言，可在第一吹嘴中提供(舉例而言)藉由添加一水霧之冷卻之一增強。

然後，具有其精密結構之條行進至一受控冷卻隧道30中以其已行進至低於其轉變溫度處之後限制玻璃之應力。

本發明使得可藉助以下方式來以大於1 m/min之一速率在一條上連續印製一精密結構：

- 用於達成此目的之適當熱機械處理方法之設計，
- 使得可最佳化用以解決一精密結構之具體需要之方法之所有參數之一程序。

該方法之熱實施方案之實例

現將論述由根據本發明之方法之實施方案所引起之熱調節及冷卻之各種實例。

具有用以在印製時取得溫度均勻之一條之在前熱調節之例示性應用：

一平滑格外清潔玻璃條以 5.1 m/min 離開具有 3.2 mm 之一厚度之一鑄造單元。以對應於 6 sec 或 51 cm 之一延遲之一距離放置一蝕刻輥。針對 10 m/min 之一速率，該鑄造單元與該蝕刻輥之間的長度將係 100 cm。

鑄造單元之輸出處之玻璃之初始平均溫度係約 900°C。在計算中不慮及鑄造單元之輸出處之條中之初始熱梯度，考慮到任一可能梯度皆在約 1 sec 之一延遲內逐漸消失。

圖 3 顯示由所保持之通量引起之條之溫度之趨勢。圖 4 顯示條之兩個面上之保持用於計算之通量密度之趨勢。圖 5 之圖式顯示自印製時間(對應於 6 sec)至 6.4 sec 瞬間之針對方法之不同步驟之條之厚度中之溫度分佈。

在圖 3 之圖表中，「深度 d_{imp} 處之溫度」虛線曲線表示在該實例中對應於印製深度之 0.4 mm 之一深度處之溫度趨勢。

在此實例中且在以下實例中，認為 850°C 之印製層上溫度係用於印製該結構之適當溫度。

在此實例中，該調節由使蝕刻輥上游之條之兩個面熱絕緣組成。

可自圖 3 之圖式看到，條之厚度中之溫度在 6 sec 之前變為恆定且均勻。

將蝕刻輥維持在稍微低於條之溫度之一溫度下，其限制自條之接近輥之表面之熱量損失。

針對蝕刻之後的約 0.2 sec(對應於 2 cm 之一距離)，輥仍隱藏條之表面，其大大限制表面冷卻。因此，所保持之冷

卻速率在 6.2 sec 期間係 35 K/sec。

然後，一對流冷卻以 200 kW/m^2 之一最大通量降低經蝕刻表面之溫度。關於此印製後冷卻通量，取得條之面之一快速溫度下降。

圖 5 之圖表顯示該冷卻程度比在一鑄造單元之輸出處所取得之冷卻程度強烈，其可係由條之中心處不存在熱量保留達成。

具有使得在印製時取得一溫度梯度之在前熱調節之例示性應用：

在此實例中，該調節由使欲蝕刻之面熱絕緣及強烈地冷卻蝕刻輓上游之條之相反面組成。

可在圖 6 中看到，在印製時(在 6 sec 期間)，在條之兩個面之間取得約 150°C 之一溫度差，且取得在欲蝕刻之面之側上大致均勻之一溫度。

關於與先前實例相同之印製後冷卻通量，在蝕刻之後取得一溫度下降，其稍微大於在條之經蝕刻面上之先前實例。印製之後所取得之冷卻速率在 6.2 sec 期間係約 50 K/sec。

如圖 8 顯示，藉由印製厚度 (0.4 mm) 上之一相同溫度分闡釋與在先前實例下所取得之結果相比之節省。

此例示性應用可在其中存在限制在蝕刻期間壓碎條之厚度之一期望之情形下係受關注。

具有包含一加添加熱之在前熱調節之例示性應用：

在此實例中，該調節由首先強烈地冷卻條之兩個面及然

後稍微再加熱蝕刻輓上游之欲蝕刻面組成。

可在圖9中看到，在印製時在條之兩個面之間取得大於 150°C 之一溫度差，但最重要的係，亦取得自欲蝕刻之表面朝向內部之一連續熱梯度。

因此，關於此熱調節，所取得之冷卻速率在6.2 sec期間係約60 K/sec。

如圖11顯示，在印製時，在印製厚度上及在體積中存在一顯著溫度梯度。此闡釋緊鄰印製之後在0.2 sec期間在冷卻速率上所取得之增加。

為進一步增加冷卻速率，舉例而言，必需將加熱上游之條更強烈地冷卻至 700°C ，如該例示性應用中所述。

在以下實例中，該條甚至係更冷，其導致極高冷卻速率。

具有包括欲蝕刻面之一強烈加熱之在前熱調節之針對 600°C 下之一浮法玻璃條之例示性應用：

在此實例中，關於以16 m/min(針對浮法玻璃之一典型速率)前進之一條，該調節由強烈地再加熱蝕刻輓上游之欲蝕刻面以便在印製時(在5.5 sec期間)使印製厚度之溫度提高至約 850°C 組成。

因此，關於此熱調節，所取得之冷卻速率在5.7 sec期間係約250 K/sec(圖12)。

如圖14顯示，在印製時，在印製厚度上及在體積中存在一極顯著溫度梯度。可看到，印製之後的0.4 sec，在時間5.9 sec處，熱量仍經由表面消散且至印製厚度中之條之體

積。

如 13 顯示，在印製之後由表面所消散之熱通量係約 200 kW/m²，類似於先前情形之一值。

250 K/sec之一冷卻速率使得可保存一極薄結構，針對玻璃之前進之一極高速率具有小於約 10 μm之曲率半徑。

對經實施以取得所指定結構之方法之挑選相依於根據先前所述之流程圖執行之在前分析。

【圖式簡單說明】

圖 1 係圖表性地表示本發明之方法之各種步驟之間的聯繫之一流程圖。

圖 2 係顯示針對 850°C 之一初始印製溫度之隨冷卻速率 (在 x 軸上) 及曲率半徑之百分比增加 (在 y 軸上) 之一結構之降級之一圖式。

圖 3、4 及 5 係關於通過藉由位於 6 秒處之印製點 (隨後係一強制冷卻) 上游所產生之一絕緣物使溫度在條之厚度中均勻之一熱調節之情形。

圖 3 表示一玻璃條之在其面上 (實線曲線及交叉點)、在中心處 (頂部虛線曲線) 及在印製深度處 (中間虛線曲線) 之溫度之趨勢。

圖 4 圖解說明依據 x 軸上之時間之 y 軸上之熱通量密度之趨勢。

圖 5 係不同瞬間處之條之厚度中之溫度之一圖表，該溫度係在 y 軸上給出且 x 軸上自一面之厚度對應於 x 軸的 0。

圖 6、7 及 8 係類似於圖 3、4 及 5 之彼等曲線之曲線。此等

如係關於導致產生於位於6秒處之印製點(隨後係一強制冷卻)上游之藉由組合欲蝕刻之面之一絕緣與相反面上之一冷卻來在條之厚度中形成一熱梯度之一熱調節之情形。

圖9、10及11係類似於圖6、7及8之彼等曲線之曲線。此等圖係關於導致產生於位於6秒處之印製點(隨後係一強制冷卻)上游之藉由組合欲蝕刻之面之一加添加熱與相反面上之一冷卻來在條之厚度中形成一熱梯度之一熱調節之情形。

圖12、13及14係類似於圖6、7及8之彼等曲線之曲線，但此時間係關於一浮法玻璃之情形。一熱調節導致產生於位於6秒處之印製點(隨後係一強制冷卻)上游之藉由組合欲蝕刻之面之一強烈加熱與相反面上之一冷卻來在條之厚度中形成一熱梯度。

圖15係根據本發明之一設備之垂直橫截面之一圖式。

圖16係表示針對兩個不同溫度下之兩個類型之糊狀物及鈉鈣玻璃之依據x軸上之時間之y軸上之黏度之變化之一圖式。

圖17係用於測試一糊狀物片上之蝕刻之一平台之一圖式。

圖18係一給定結構之印製品質之一圖式(稱作C1)，其由針對不同恆定黏度所取得之表示依據由一蝕刻輥所施加之線性印製力之一印痕之曲率半徑之變化之一系列曲線形成。

圖19係表示針對蠕變之前的曲率半徑 R_1 之不同值之依據

x軸上之玻璃之印製溫度之由一蝕刻輥所施加之y軸上之線性印製力之變化之一圖式(稱作C2)。

圖20係由針對因蠕變(直至導致一相同半徑 R_2 之一固定)而產生之曲率半徑之不同增加之依據x軸上之印製溫度給出y軸上之冷卻速率之一系列曲線形成之一圖式(稱作C3)。

圖21係圖解說明因經蝕刻而具有三角形凹槽之一玻璃條中之表面張力之玻璃之位移之一圖式。

圖22係未結構化之情況下之玻璃條之一區段之一透視圖式，其中係由表面張力所誘發之所表示體積壓縮張力，該表示係部分且合乎透視法的。

圖23係類似於圖22之圖式之具有由誘發額外張力及壓縮之一橫向波動所形成之一突出部之一圖式。

圖24係顯示依據曲率半徑之壓力之趨勢之一圖式。

圖25係具有曲率半徑之一結構之邊緣之一圖式，其顯示玻璃中之等壓線。

圖26以類似於圖25之一方式顯示具有經歷一變形之曲率半徑之區中之一速率場。

圖27圖解說明具有蠕變之後的曲率半徑之區之變形。

圖28係因隨曲率半徑之變化蠕變而產生之結構之變形之一幾何圖解。

圖29係呈三角形凹槽之一結構之一部分示意性圖解。

圖30包括本發明之例示性應用之圖式C1及C2。

圖31係一蝕刻輥與一玻璃片之一接觸之一示意性圖解。

圖 32 係一冷蠕變測試之一示意性表示。

圖 33 表示例示性應用之圖式 C3。

【主要元件符號說明】

20	蝕刻輥/經結構化測試輥
21	糊狀物片
22	支撐件
23a	輥
23b	輥
24	懸浮台
25	對流冷卻
26	熱絕緣物
27	蝕刻輥
28	反壓力輥
29	空氣噴射
30	受控冷卻隧道
31	輥
32	加熱構件
32A	樣品
32C	顯微鏡式相機
32H	裝置
32M	裝置
32S	模具
J	玻璃條

七、申請專利範圍：

1. 一種印製方法，使用具有表面印痕之一經結構化工具來在以至少 1 m/min 之一速率連續前進之一平坦玻璃之面中之至少一者上用於取得包含凸出區及凹入區之一精密結構，其中該等凸出區之一最小曲率半徑 ($R2$) 小於 $200\text{ }\mu\text{m}$ ，其中：

在一印製位置上游提供一熱調節以確保條在一印製厚度上之一印製溫度 T_{imp} ，

藉由由該經結構化工具施加至該玻璃之一力 FL 執行該印製以便取得小於 ($R2$) 之一曲率半徑 ($R1$)，以預見該曲率半徑自 ($R1$) 至 ($R2$) 之增加，該增加與移除該經結構化工具之後的蠕變相關聯，

以致使該半徑 ($R1$) 改變至小於或等於 ($R2$) 之一半徑之一冷卻速率 TR 執行冷卻。

2. 如請求項 1 之方法，其中：藉由用該玻璃產生該等凸出及凹入區之該表面印痕之一填充之一第一圖式 ($C2$) 與在該條中該表面印痕之一固定之一固定圖式 ($C3$) 之一組合，來確定該印製溫度 T_{imp} 。
3. 如請求項 1 之方法，其中：藉由用玻璃完全地填充該表面印痕來取得該半徑 ($R1$)。
4. 如請求項 2 之方法，其中：

挑選小於或等於 50% 之一有限蠕變程度 $x\% = (R2 - R1)/R2$ ；

然後，挑選一印製力 FL ；

藉助該填充圖式(C2)之一曲線(G_{imp})，表示用於取得所期望最終曲率半徑R2之溫度/線性力成對，找出印製溫度 T_{imp} ；

藉助該固定圖式(C3)之一曲線(G_{flux})，表示用於取得欲針對該印製溫度 T_{imp} 所產生之該TR之冷卻速率/溫度限制成對。

5. 如請求項4之方法，其中：挑選蠕變程度，x%，以便於用於壓印玻璃之一設備之加熱、印製力及冷卻速率能力內產生 T_{imp} 、FL及TR之值。
6. 如請求項1之方法，其中：可藉由以下公式估計對應於該曲率半徑(R1)因蠕變而產生之該增加之該半徑R2：

$$R2 = R1 + C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{TR} \cdot \ln(2)$$

其中：

γ 係表面張力，

R1係印製之初始曲率半徑，

R2係增加之後的曲率半徑，

C_{tot} 係一特定結構之蠕變之一代表性係數

F_{vis} 係一常數

μ 表示黏度

TR表示冷卻速率，並且

$\ln(2)$ 係2之自然對數。

7. 如請求項1之方法，其中：對於一恆定溫度且因此一恆定黏度，藉由該蠕變公式之一經簡化形式給出該半徑R2

$$R2 = R1 + C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu} \cdot \Delta t$$

以使得在一時間週期 Δt 期間以一習知比率 γ/μ 對一材料進行之一蠕變量測使得可確定一特定結構之該係數 C_{tot} 。

8. 如請求項6之方法，其中：藉由以下公式確定一特定結構之該蠕變之該代表性係數 C_{tot} ：

$$C_{tot} = F_{RL} \cdot \frac{C_{geo}}{R}$$

其中半徑 R 係表徵該結構之大小之一因數， C_{geo} 係形狀且 F_{RL} 係一特定邊緣之蠕變之限制條件。

9. 如請求項6之方法，其中：對於正弦形式之一結構，使該係數 C_{tot} 等於0.4。
10. 如請求項1之方法，其中：對於一給定結構，可依據該印製溫度 T_{imp} 藉由以下公式確定導致 $R1$ 與 $R2$ 之間的一指定蠕變程度 $x\% = (R2 - R1)/R2$ 之該冷卻速率 TR

$$TR = C_{tot} \cdot \frac{\gamma}{\mu(T_{imp})} \cdot \frac{F_{vis}}{R2 \cdot x\%} \cdot \ln(2)$$

其中：

γ 係表面張力，

$R1$ 係印製之初始曲率半徑，

$R2$ 係增加之後的曲率半徑，

C_{tot} 係一特定結構之蠕變之一代表性係數，

F_{vis} 係一常數，並且

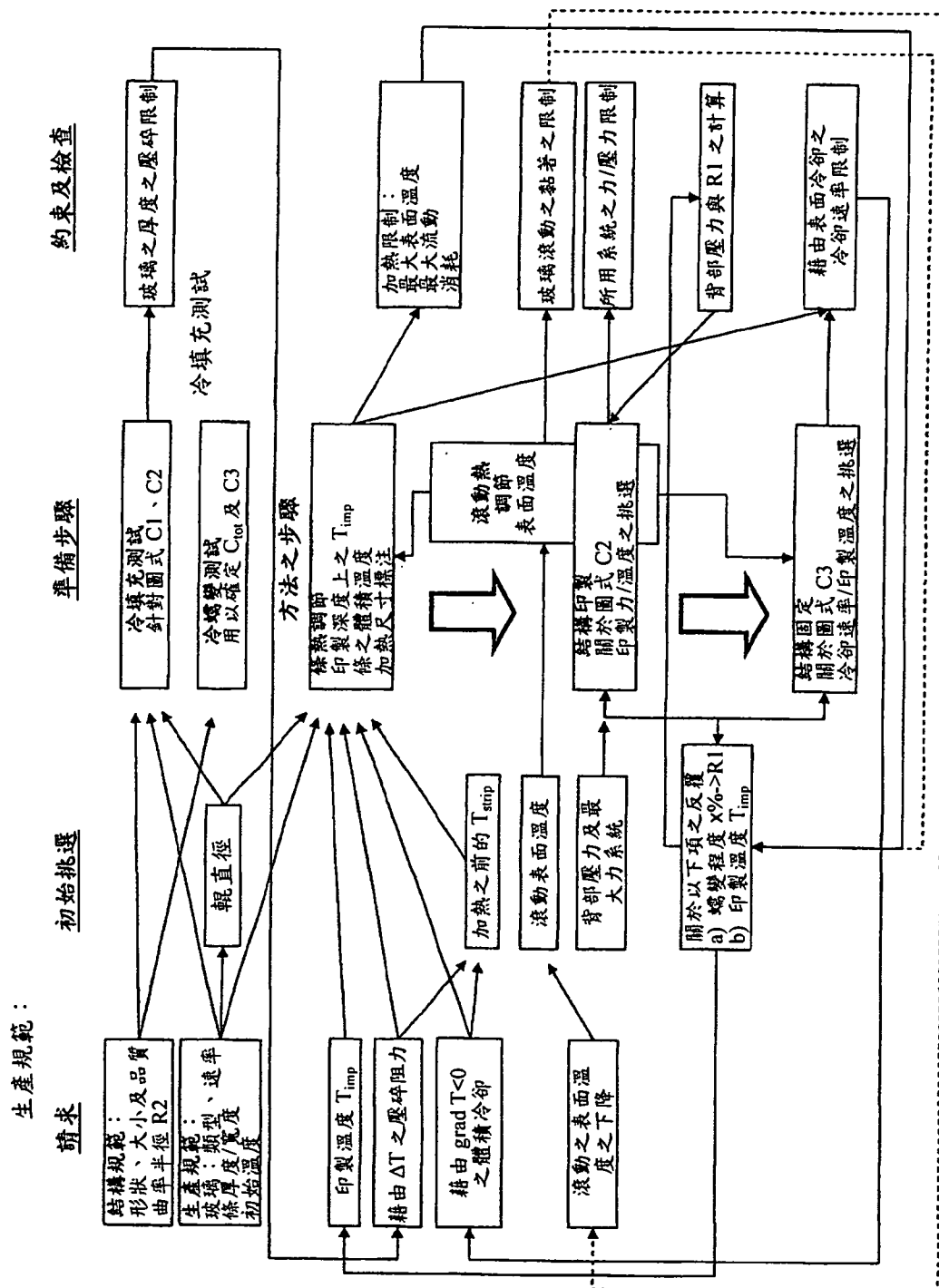
μ 表示黏度。

11. 如請求項1之方法，其中：可藉助在該印製溫度下具有接近於該玻璃之黏度之一黏度但在此印製溫度下具有低於該玻璃之表面張力之一表面張力之一糊狀物，來建立對應於使得可在玻璃蠕變之前取得所期望曲率半徑之若干對值(溫度/線性力)之限制曲線(G_{imp})。
12. 如請求項1之方法，其中：初步確定該熱調節以在該條中於該蝕刻輥之位準處確保欲蝕刻之較熱表面與此玻璃條之較不熱中間厚度之間的至少 10°C 之一溫度梯度。
13. 如請求項12之方法，其中為蝕刻一浮法玻璃條，該熱調節包含加熱欲蝕刻之該面以將其帶至大於該條之核心之溫度之一印製溫度。
14. 如請求項12之方法，其中為蝕刻一滾動玻璃條，該熱調節包含該條在與不得不蝕刻之面相反之面上之一冷卻，以冷卻該條之該核心。
15. 如請求項13之方法，其中為蝕刻一玻璃條，在該熱調節之後於該玻璃之厚度中所取得之溫度分佈自欲蝕刻之該面至該相反面降低。
16. 一種浮法或滾動玻璃條或玻璃片，其特徵在於：其包含藉由如請求項中1至15中任一項之一方法所取得之一精密結構。
17. 一種印製裝置，在以至少 1 m/min 之一速率連續前進之一平坦玻璃之面中之至少一者上可取得包含凸出區及凹入

區之一精密結構，其中該等凸出區之一最小曲率半徑(R2)小於200 μm ，該裝置包括：

一熱調節區域，經配置以在一印製位置上提供一熱調節以確保條在一印製厚度上之一印製溫度 T_{imp} ；

用於蝕刻該玻璃之一經結構化工具，經配置以使用由該經結構化工具施加至該玻璃之一力FL壓印該玻璃，以便取得小於(R2)之一曲率半徑(R1)，以預見該曲率半徑自(R1)至(R2)之增加，該增加與移除該經結構化工具之後的蠕變相關聯，一表面冷卻裝置，經配置以致使該半徑(R1)改變至小於或等於(R2)之一半徑之一冷卻速率TR冷卻該玻璃。



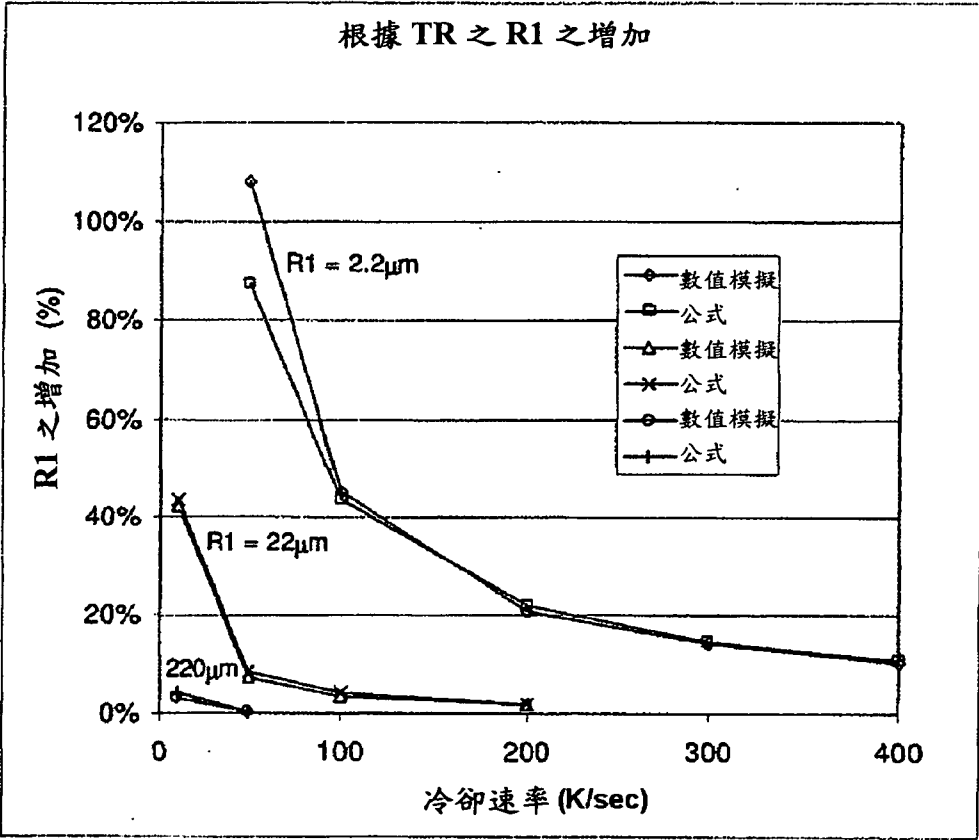


圖2

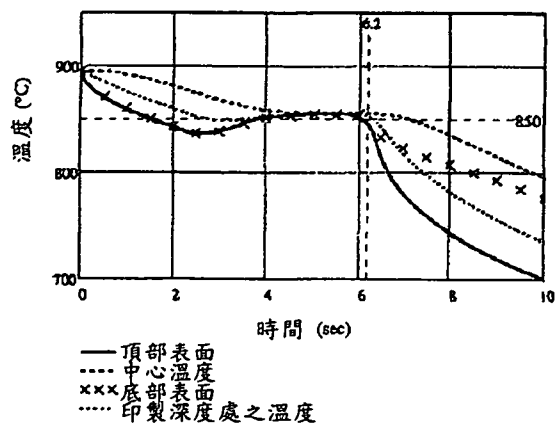


圖3

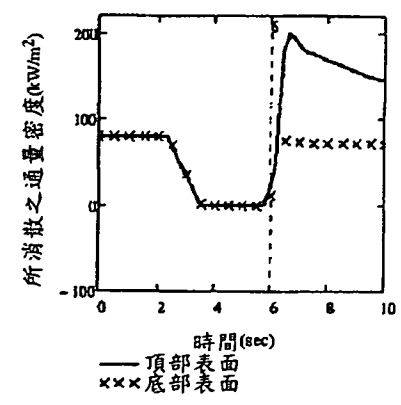


圖4

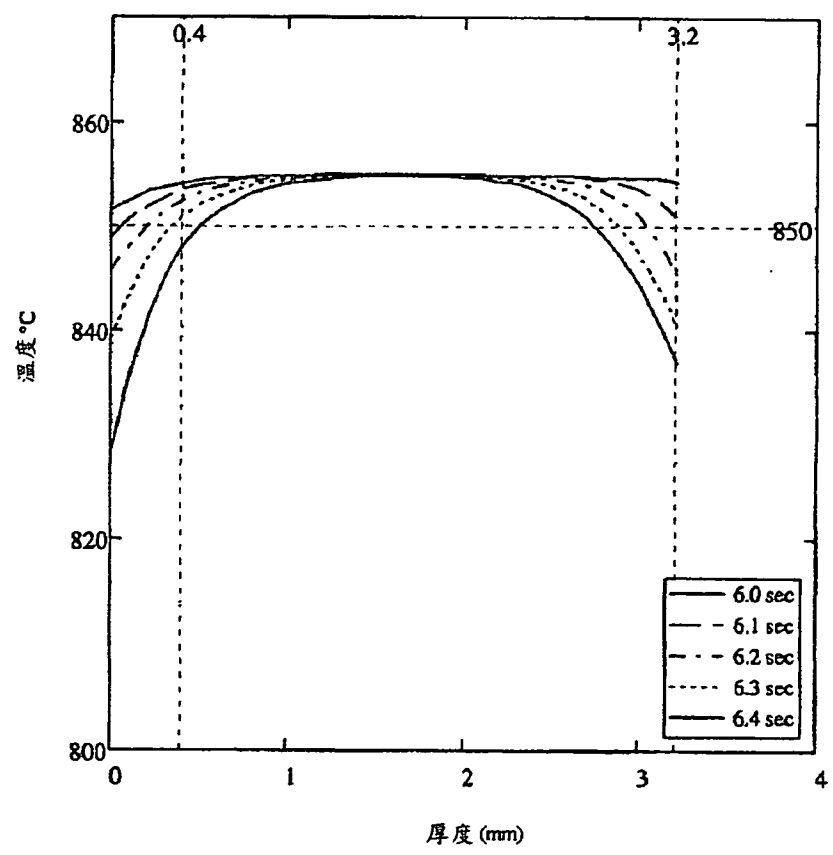


圖5

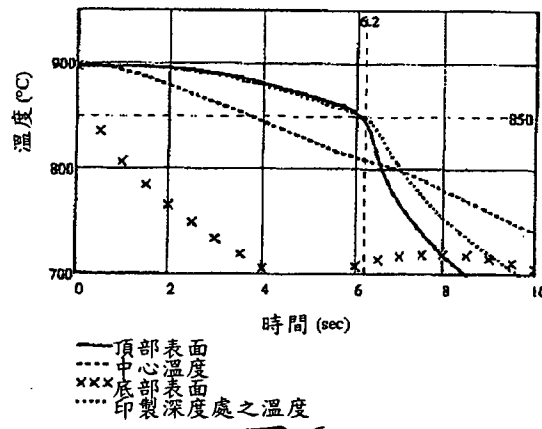


圖 6

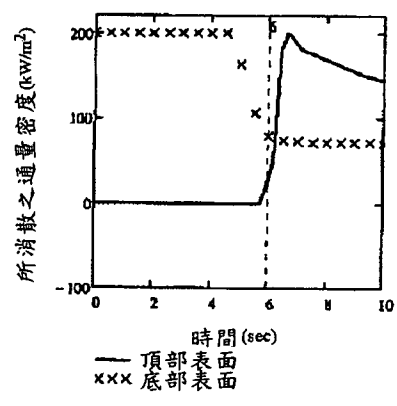


圖 7

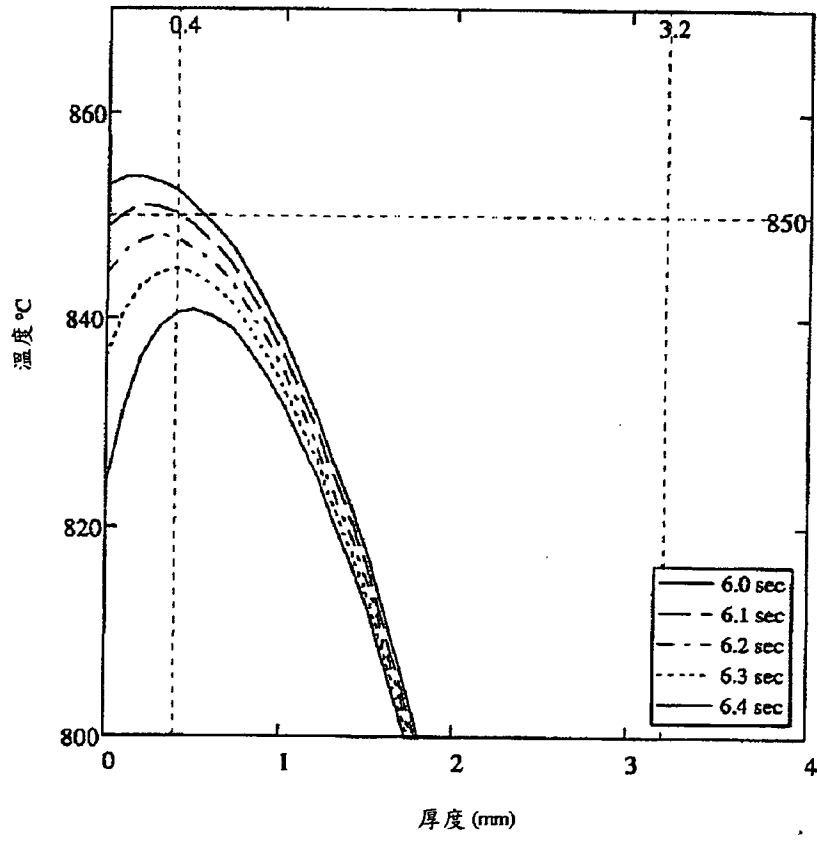


圖 8

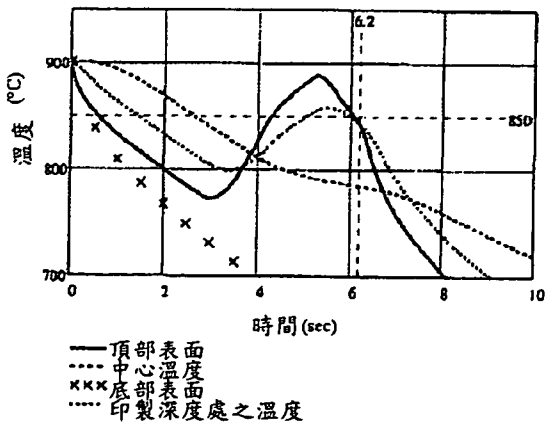


圖 9

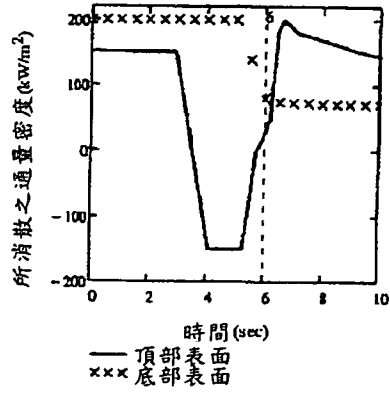


圖 10

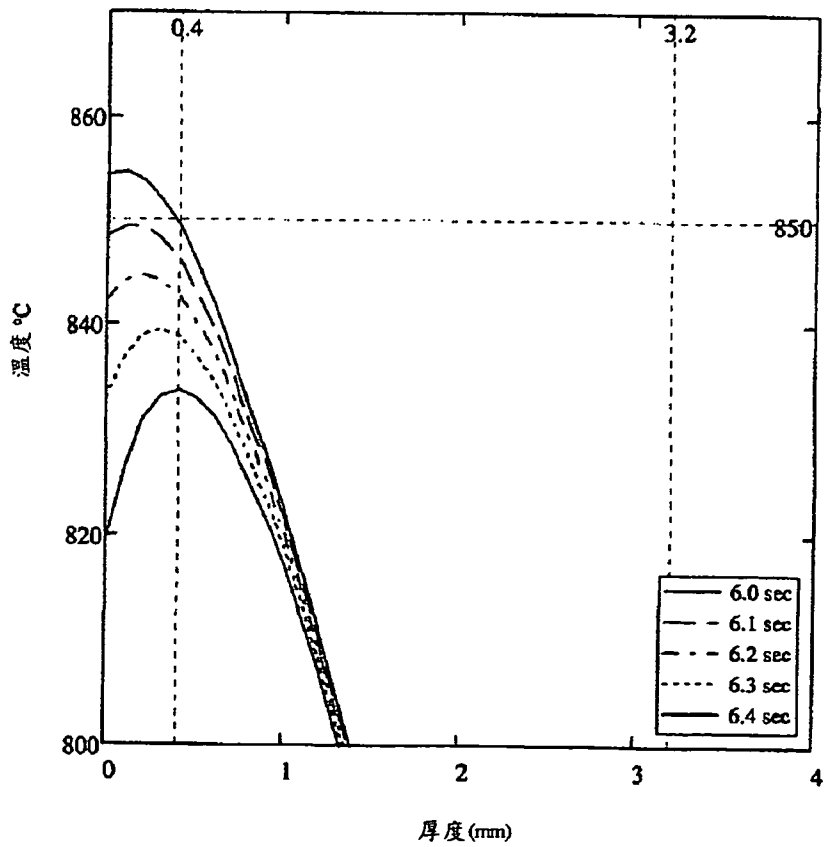


圖 11

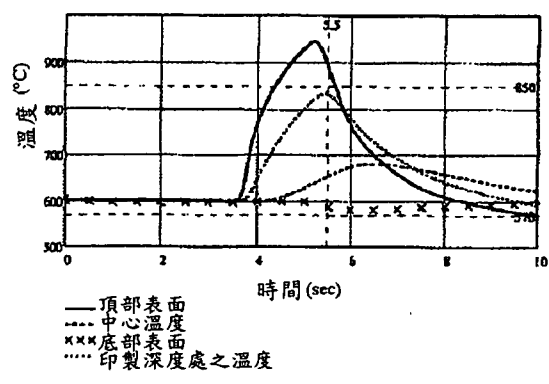


圖 12

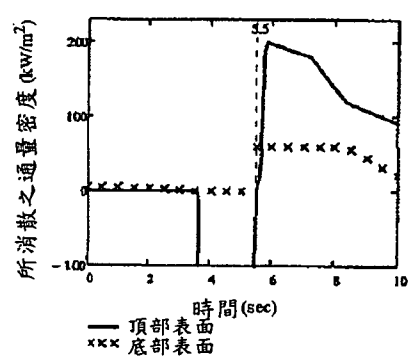


圖 13

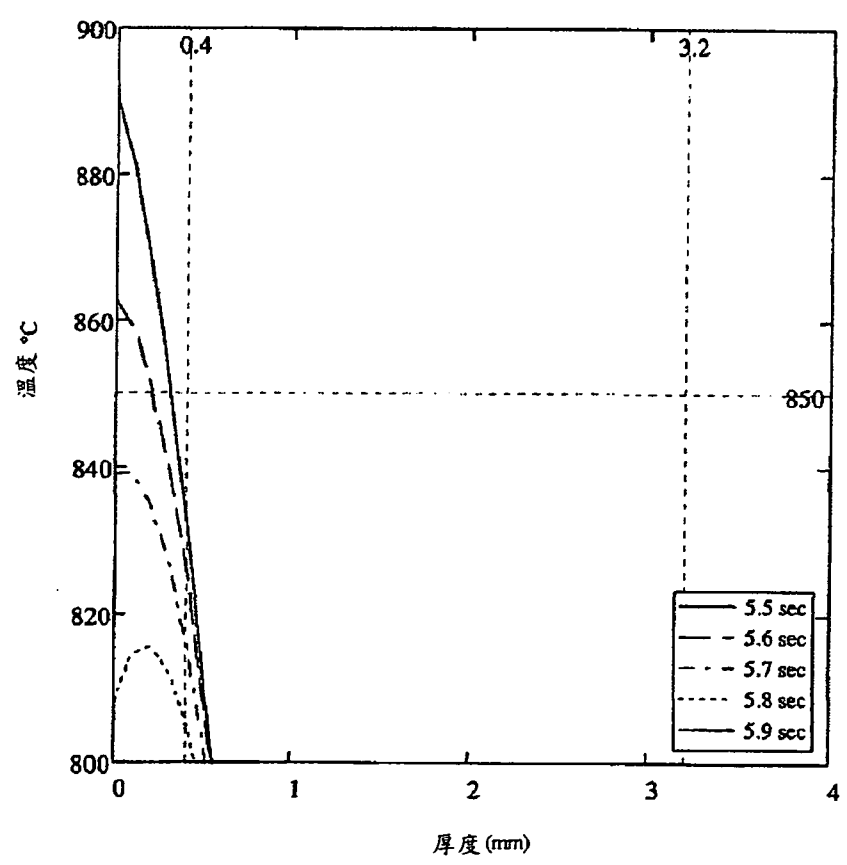


圖 14

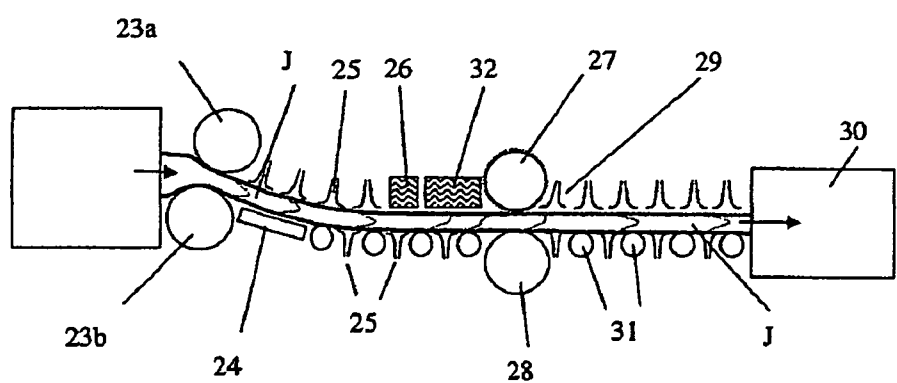


圖 15

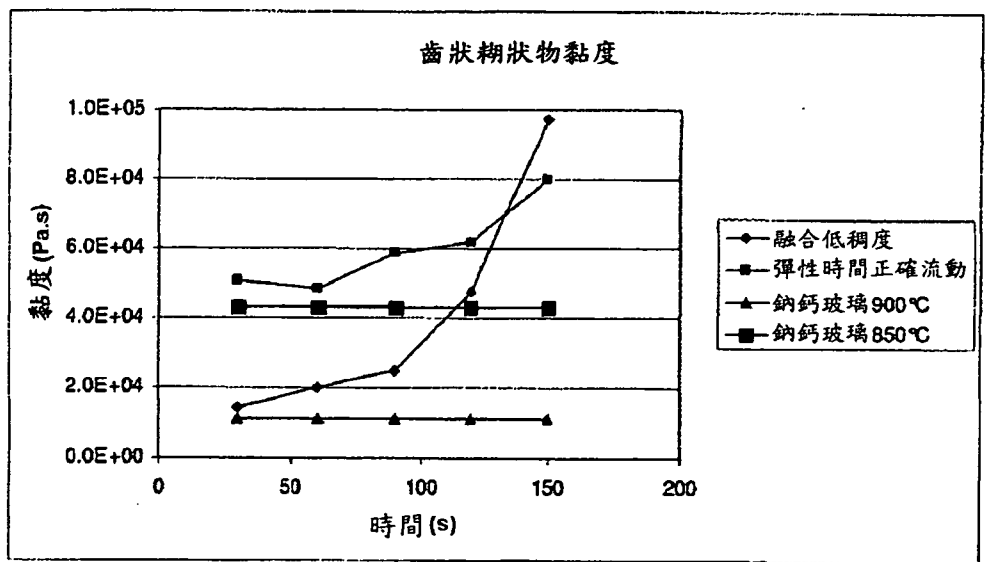


圖 16

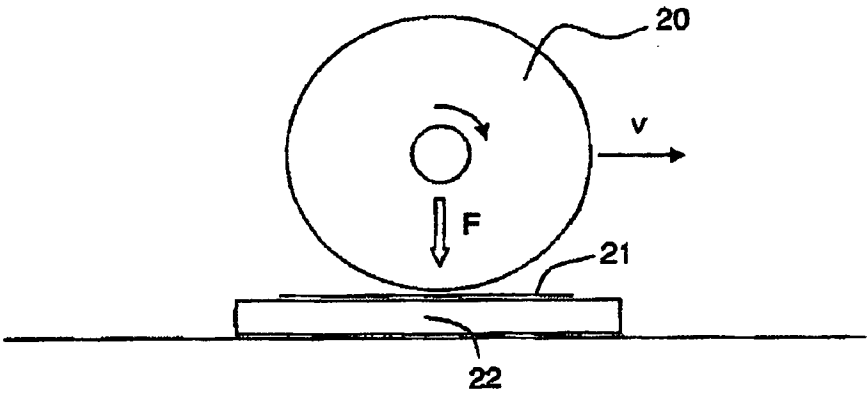


圖 17

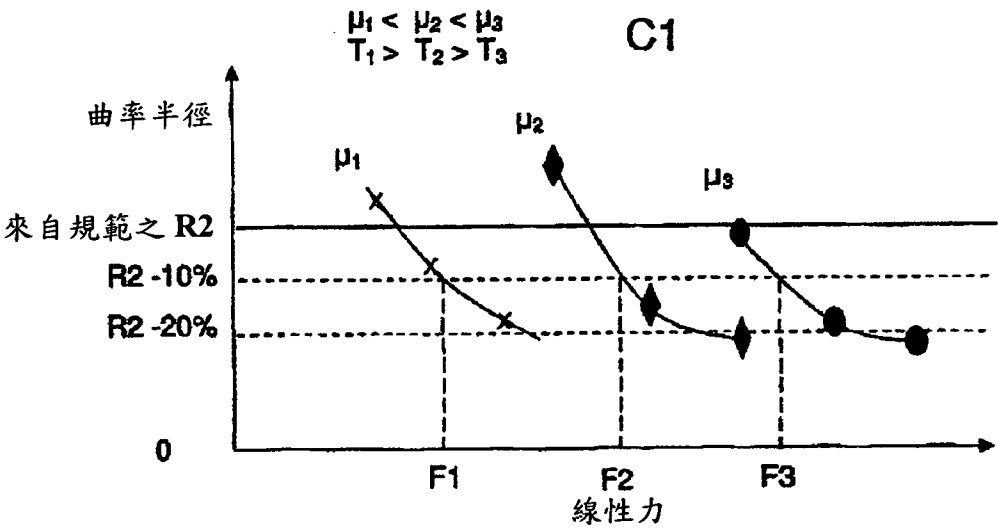


圖 18

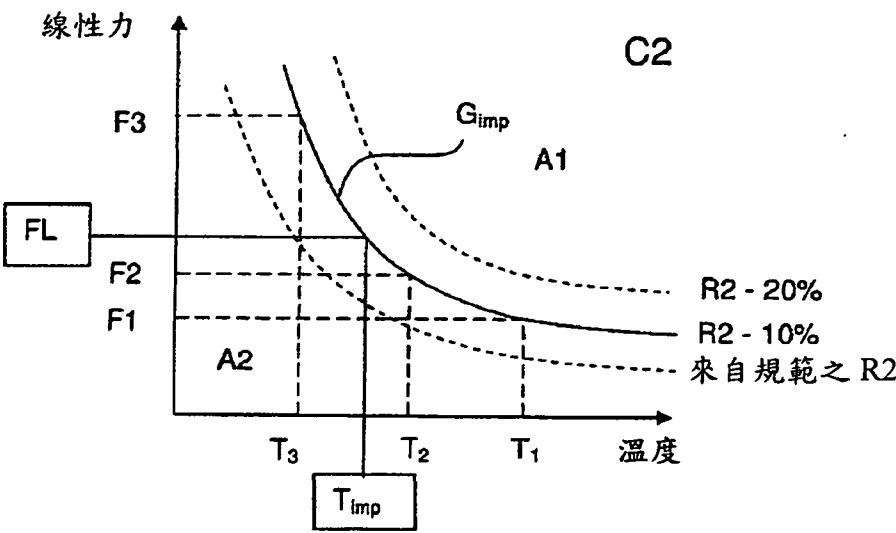


圖 19

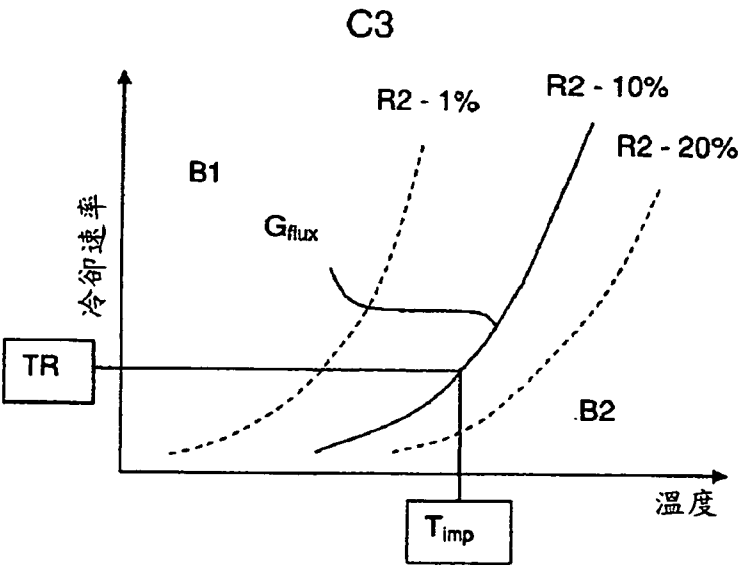


圖 20

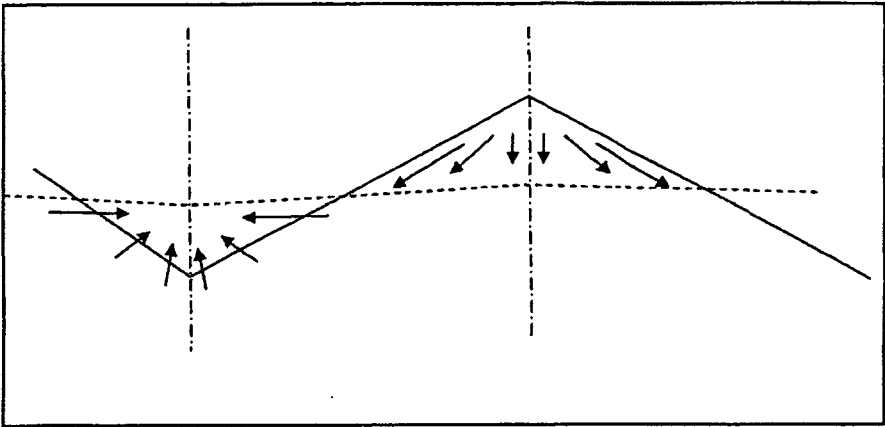


圖 21

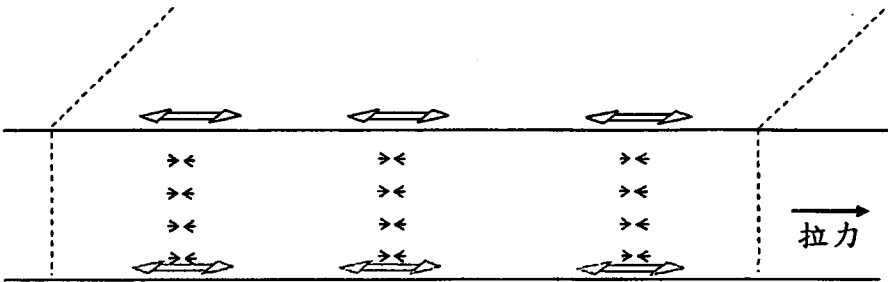


圖 22

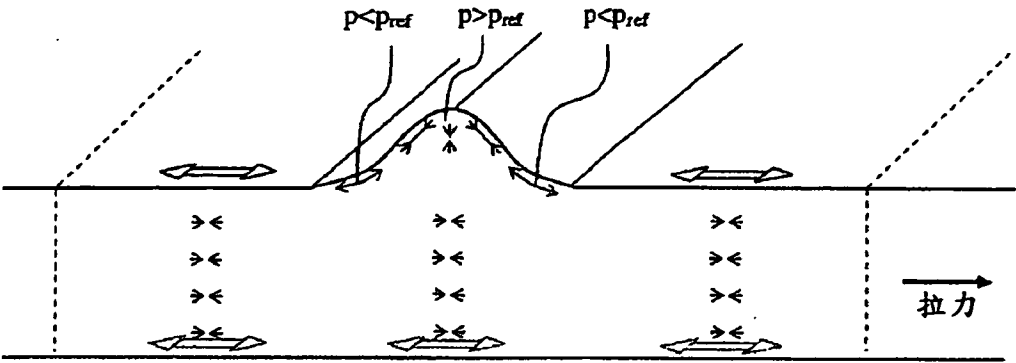


圖 23

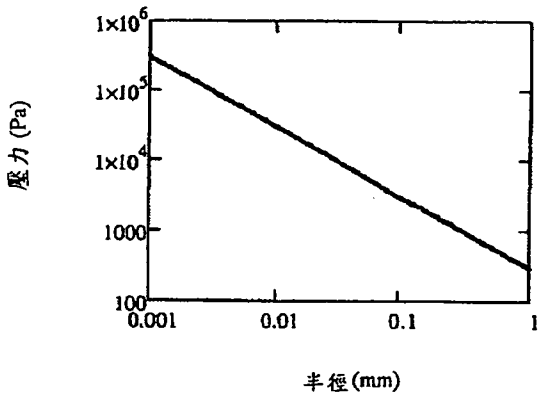


圖 24

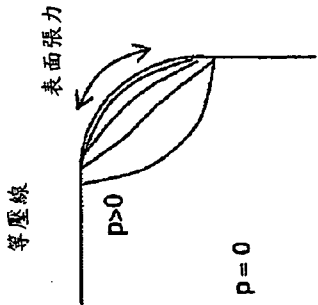


圖25

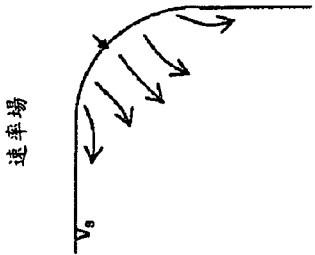


圖26

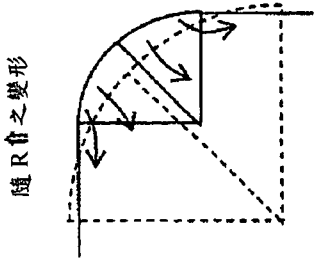


圖27

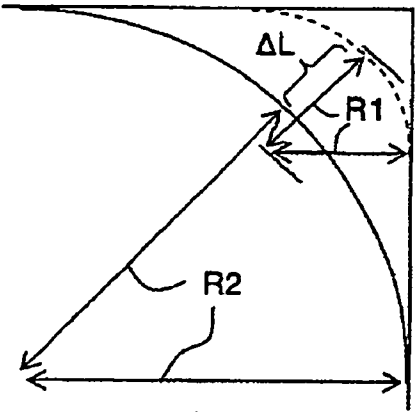


圖 28

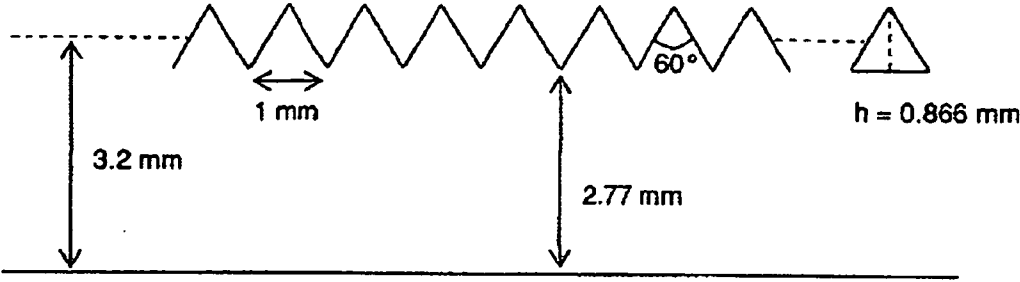


圖 29

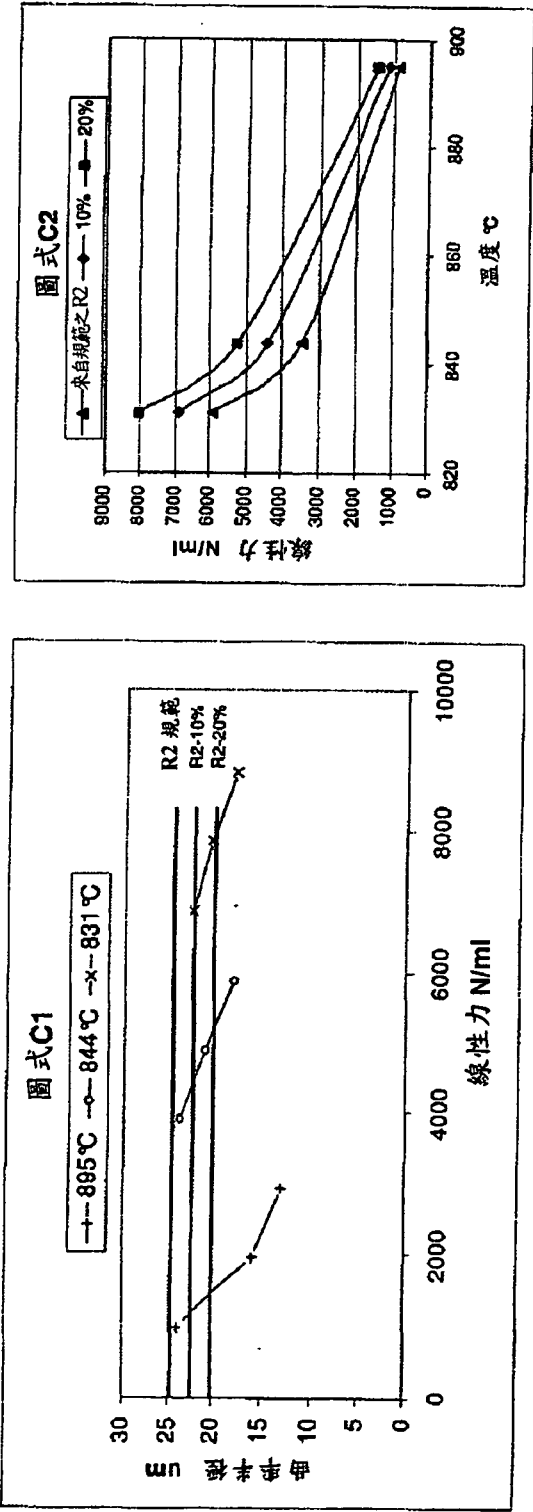


圖30

104年2月17日修正替換頁

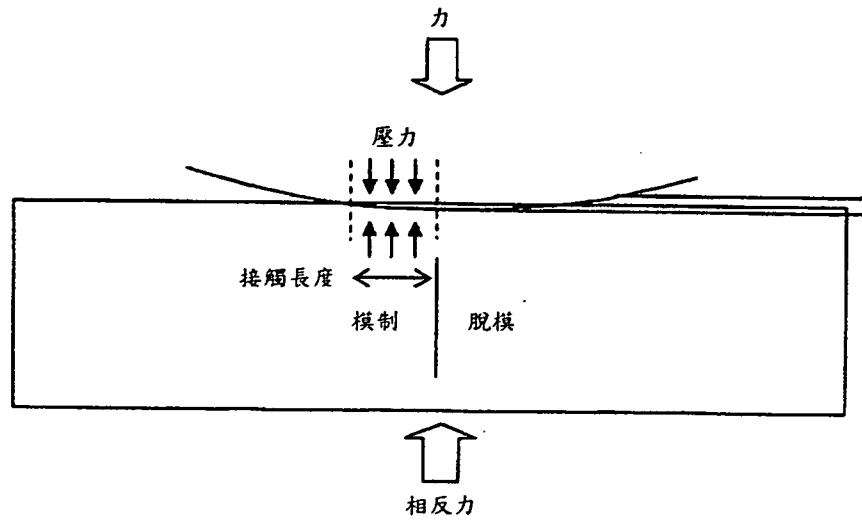


圖31

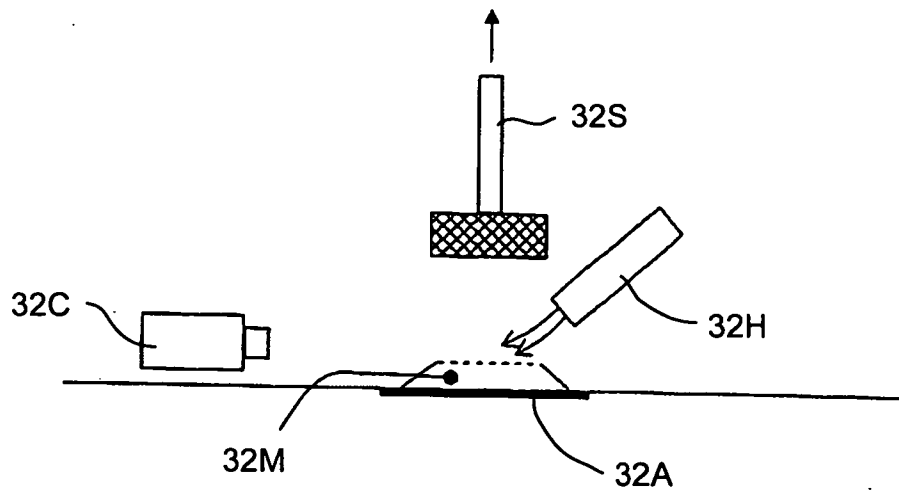


圖32

104年2月7日修正替換頁

圖式 C3

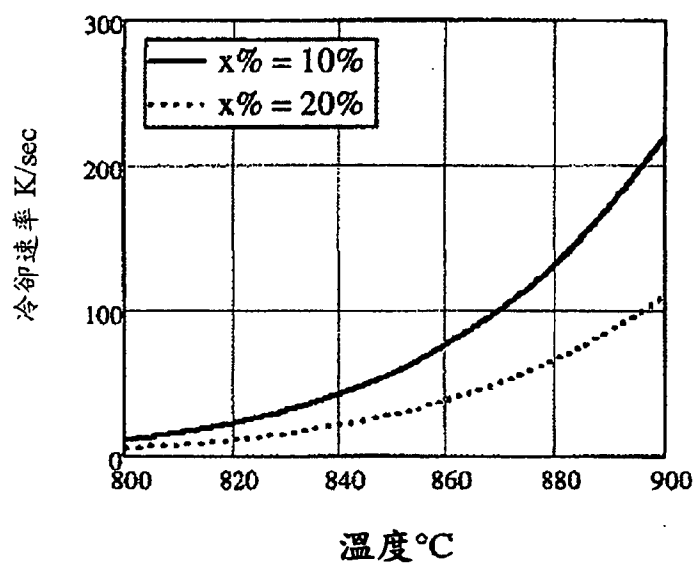


圖 33