



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 293 103 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) C 03 B 23/025

DEUTSCHES PATENTAMT

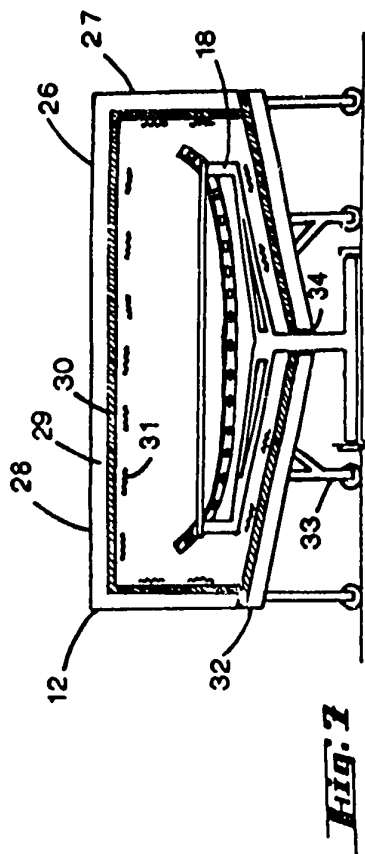
In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD C 03 B / 321 964 6	(22)	18. 11. 88	(44)	22. 08. 91
(31)	FR8716083	(32)	20. 11. 87	(33)	FR

(71) siehe (73)
(72) Lecourt, Jean, FR; Legros, Désiré, BE; Granville, André, BE
(73) Saint-Gobain Vitrage „Les Miroirs“ 18, Avenue d'Alsace, 92400 Courbevoie, FR

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Ausbauchen von erwärmten Glastafeln

(55) Verfahren/Vorrichtung; Glastafeln;
Sicherheitsglasscheiben; Schwerkraft; Ausbauchung;
Reaktionszeit; Wärmekapazität; Tunnelofen; Ofenzellen;
Transportwagen
(57) Die Erfindung betrifft Verfahren zum Erwärmen und
Ausbauchen von Glastafeln durch Schwerkraft, die
insbesondere zur Herstellung von Sicherheitsglas für
Kraftfahrzeuge bestimmt sind. Bei den betreffenden
Verfahren wird die Glastafel durch einen Wagen in eine
horizontale Lage gebracht, der sie schrittweise in die Zellen
eines Ofens transportiert, wo sie nacheinander im Verlaufe
ihrer Erwärmung verweilt. Erfindungsgemäß wird die
Wärmekapazität der Wände (26) der Zellen auf einen Wert
unterhalb der Wärmekapazität des Wagens (18) und der
Glastafel begrenzt. Damit alle Glastafeln auf die gleiche
Weise erwärmt werden und die Reaktionszeit des Ofens
begrenzt wird, wird die Temperatur der Heizwiderstände
(31) reguliert und die Masse des zu erwärmenden Wagens
eingeschränkt. Dieser Wagen kann vorteilhafterweise aus
zwei Teilen bestehen, von denen einer außerhalb des Ofens
verbleibt. Fig. 7



Patentansprüche:

1. Verfahren zum Ausbauchen von erwärmten Glastafeln durch Schwerkraft, bei dem ein Wagen, auf dem das Glas liegt, dasselbe im Ofen von einer Zelle zur anderen transportiert, wobei der Ofen mindestens eine Vorwärmzelle und wenigstens eine Ausbauchungszelle enthält und in dem die Erwärmung durch elektrische Widerstände gewährleistet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wärmekapazität der im Ofen sich bewegenden Massen höher ist als die Summe der Wärmekapazitäten der Materialien, die die Innenwände jeder Zelle darstellen, wobei die Berechnung für eine in Millimetern angegebene Dicke „e“ wie folgt vorgenommen wird:

$$e = \frac{10}{\sqrt{\lambda c}}$$

wobei λ die Wärmeleitfähigkeit in $W/m \cdot K$ und c die spezifische Wärme in $Wh/kg \cdot K$ ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Innenwände (30) des Ofens aus faserartigen Isoliermaterialien bestehen, mit Ausnahme jeder anderen Masse als denen, die zu mechanischen oder elektrischen Zwecken dienen.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sohle (32) des Ofens innen mit einem Fasermaterial ausgekleidet ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Widerstände an den Innenwänden des Ofens angebracht werden und daß ihre Stromversorgung so reguliert wird, daß die Temperatur konstant gehalten wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Wärmeaustausch nach außen eingeschränkt wird, indem durch eine Pufferzelle, die als Schleuse fungiert, die erste Vorwärmzelle vom Ofenäußeren getrennt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch eine als Schleuse wirkende Pufferzelle die letzte Ausbauchungszelle von der nachfolgenden kälteren Zelle getrennt wird.
7. Vorrichtung zum Ausbauchen von erwärmten Glastafeln durch Schwerkraft, bei der der das Glas aufnehmende Wagen die Glastafeln im Ofen von einer Zelle zur anderen transportiert, wobei der Ofen mindestens eine Vorwärmzelle und wenigstens eine Ausbauchungszelle enthält und die Erwärmung durch elektrische Widerstände (31) gewährleistet wird, die an der Innenfläche (30) der Wände (27) des Ofens angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß die fahrbare Ausrüstung zur Aufnahme der Glastafeln aus zweiteiligen Wagen besteht, einer wiegenartigen Tragvorrichtung (18) für die Glastafel, die sich im warmen Teil des Ofens bewegt, und Fahrmitteln, die mechanisch mit der wiegenartigen Tragvorrichtung verbunden sind und ständig außerhalb des Ofens bleiben.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei der sich die Fahrmittel unterhalb der wiegenartigen Tragvorrichtung für die Glastafel befinden.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden Teile des Wagens mechanisch durch eine starre Verbindung (20) verbunden sind, deren Dicke entlang einer zur Fortbewegungsrichtung der Wagen senkrechten Richtung soweit reduziert ist, wie es die Gewährleistung der Steifigkeit des beladenen Wagens zuläßt und dadurch, daß diese starre Verbindung durch die Sohle (32) des Ofens hindurchgeht, wobei ein Längsschlitz (34) eine Bewegung der Verbindung ermöglicht.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dichtigkeit des Schlitzes (34) durch mit dem Wagen verbundene Mittel gewährleistet wird.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die starre Verbindung (20) annähernd die gleiche Länge wie jede Zone und eine Dicke hat, die etwas geringer als die des Schlitzes (34) ist, in der sie sich bewegt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die starre Verbindung (20) aus Stützen (21) besteht, die die Steifigkeit garantieren, und daß sie auch Füllelemente (22) aus Isoliermaterialien enthält, die so angeordnet sind, daß sie den gesamten Raum des Schlitzes ausfüllen.
13. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens einer der beiden Teile der Sohle (32), die sich zu beiden Seiten des Schlitzes (34) befinden, mit Bewegungsmitteln (33) ausgestattet ist, die eine Bewegung in annähernd horizontaler Richtung gestatten.

14. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei, zu beiden Seiten des Schlitzes (34) befindlichen Teile der Sohle (32) eine in bezug auf die Horizontale geneigte Innenfläche haben, wobei die niedrigsten Seiten an den Schlitz (34) angrenzen.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft Techniken zur Erwärmung und zum Ausbauchen von Glastafeln durch Schwerkraft, insbesondere zur Herstellung von Sicherheitsglas für Kraftfahrzeuge.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Um gleichzeitig Glastafeln zu wölben, die zusammengesetzt und dann mit Hilfe eines Plastfilms verklebt werden sollen, um so eine Sicherheitsverglasung zu ergeben, wird gewöhnlich das thermische Ausbauchen durch Schwerkraft angewendet. Das gleiche Verfahren wird auch eingesetzt, um einheitliche Glastafeln zu verformen, die mit einer oder mehreren Plastfolien verbunden werden sollen. Desgleichen wird ein nähnliches Verfahren angewendet, um Einheitsglastafeln zu verformen, die einer Abschreck-Wärmebehandlung unterzogen werden sollen.

Während des Schwerkraftausbauchungsverfahrens wird oder werden die ebene(n), in gewünschter Form zurechtgeschnittene(n) Glastafel(n) flach auf einen Wagen gelegt, der aus einem Material besteht, das hohe Temperaturen ohne Verformung übersteht, zum Beispiel aus rostfreiem Stahl. Dieser Wagen bewegt sich diskontinuierlich in den nacheinander angeordneten Zellen eines Tunnelofens fort, er bewegt sich schrittweise von einer Zelle zur anderen, wobei er eine bestimmte Zeit lang, nämlich die Dauer eines Zyklus, in jeder Zelle verweilt. Dabei steigt die Temperatur der Glastafel allmählich an, bis sie die Transformationstemperatur erreicht und dann überschreitet. Das Glas verformt sich nun unter der Wirkung seines Eigengewichts und nähert sich einer starren Metallform, deren Form es sich anpaßt. Diese als Skelett bezeichnete Form kann gegebenenfalls gelenkig gestaltet werden, um die Verformung des Glases zu erleichtern, oder selbst Vorrichtungen enthalten, die aktiv an dieser Verformung beteiligt sind, wie dies zum Beispiel im EP-PS Nr. 87 40 1344 beschrieben ist.

Der Tunnelofen, in dem sich die Wagen mit den Glastafeln fortbewegen, enthält zwei Typen von Zellen, in denen die Wagen nacheinander verweilen, wobei jede Zelle über eine eigene Wärmeregulierung verfügt. Das sind der Reihe nach die Vorwärmzellen, in denen das Glas möglichst schnell aufgeheizt wird, dann die Ausbauchungszellen, in denen die Temperatur innerhalb der einzelnen Zonen der Glastafeln fein eingestellt werden muß, damit es die gewünschte genaue Form bekommt. Während dieser Ausbauchungsphase werden an das Glas allgemein als „Kerzen“ bezeichnete Heizelemente in variablen Abständen herangeführt. So können, indem unterschiedliche Abstände gewählt werden, die einzelnen Zonen der Glastafeln unterschiedlich erwärmt werden. Dank dieser Vorrichtung können nicht nur unterschiedliche Krümmungsradien, z. B. die an einer Windschutzscheibe erzielt werden, sondern durch Veränderung des Abstandes zwischen Kerzen und Glas von einem Wagen zum nächstfolgenden läßt sich nacheinander die Ausbauchung unterschiedlicher Formen erreichen. Die große Flexibilität des Verfahrens gestattet es, mit einfachen Mitteln nacheinander auf der gleichen Anlage verschiedene Modelle herzustellen. Eine Vorbedingung muß jedoch unbedingt eingehalten werden: die Gesamttemperatur der Glastafel muß bei Eintritt in die erste Ausbauchungszone für den nachfolgenden Prozeß die richtige sein. Wenn sie zu niedrig ist, reicht die örtlich während des Ausbauchens zugeführte Energie nicht aus, um die gewünschten Krümmungsradien zu erzielen, oder wenn sie zu hoch ist, kann selbst bei weitester Entfernung der Kerzen vom Glas das Absacken des Glases nicht eingeschränkt werden. Hieraus ist ersichtlich, daß die Erzielung einer adäquaten Temperatur der Glastafel beim Verlassen der Vorwärmzone ein schwieriges Problem darstellt. In dem Fall, wo die nacheinander behandelten Glastafeln gleich sind, besteht das gewöhnlich zur Erzielung der richtigen Temperatur angewendete Mittel darin, einen Ofen zu verwenden, dessen Zellen zumindest teilweise mit schweren feuerfesten Materialien ausgekleidet sind, die folglich eine hohe Wärmekapazität besitzen und deren Temperatur deshalb bemerkenswert konstant bleibt. Da die Verweilzeit jedes Wagens in einer Zelle immer die gleiche ist (das ist die Zyklusdauer), wird dann, wenn die für den Wagen mit Glastafeln bereitzustellenden Wärmemengen von der gleichen Größenordnung sind, die am Ende des Zyklus bei Austritt aus der Zelle erreichte Temperatur die gleiche sein.

Doch will man im selben Ofen unterschiedliche Scheiben herstellen, so kann der Wärmebedarf für jeden Wagen mit Glastafel ebenfalls unterschiedlich sein. So können zum Beispiel bestimmte Windschutzscheiben aus Sicherheitsglas aus einem Glas von 2 mm Dicke und einem zweiten von 1,5 mm Dicke bestehen, während andere Windschutzscheiben aus zwei gleichen Tafeln von 2,5 mm Dicke bestehen. Die Oberflächen der einzelnen Modelle sind in sich sehr unterschiedlich, so ist festzustellen, daß die Masse der herzustellenden Windschutzscheibe zwischen 10 kg und 25 kg schwanken kann. Wenn die Fabrikationsserien des gleichen Windschutzscheibentyps lang sind, ist der Ofen stabilisiert, und man kann die für jeden Scheibentyp geeigneten Wärmebedingungen wählen. Jedoch bei Fahrzeugen kleiner Serien oder wenn der Bedarf sehr verschieden ist, wie auf dem Ersatzteilmarkt, so ist es wünschenswert, daß sich die Herstellung unterschiedlicher Modelle abwechseln. Ebenso kann es aus produktionsbedingten Gründen angebracht sein, das Herstellungsprogramm sofort zu ändern, indem im letzten Moment eine in einer programmierten Serie vorliegende Windschutzscheibe in die Produktion aufgenommen oder herausgenommen wird. Es müßte also möglich sein, die Bedingungen des Ofens sofort an die einzelnen Produkte anzupassen. Es ist unmöglich, die Dauer des Zyklus zu ändern, denn eine Änderung des Zyklus würde gleichzeitig alle im Ofen vorhandenen Wagen, die angemeßenermaßen unterschiedlich sind, betreffen. Die Lösungen, die gewöhnlich zur Regulierung der Wärmeöfen für Glastafeln vorgeschlagen werden, sind meist für Öfen vorgesehen, bei denen die aufeinanderfolgenden Glastafeln gleich sind. So kann man zum Beispiel für Arbeitstakte beim Übergang von einer Serie zur anderen ändern oder die Solltemperatur oder die Leistung, die jeder Zelle in dem Moment zugeführt wird, in dem eine neue Serie in der entsprechenden Zelle ankommt. Wie in dem europäischen Patent 0047682 beschrieben, ist es sogar möglich, bei einem Ofen von unterschiedlichem Typ diese Änderungen vorwegzunehmen, um die Reaktionszeiten des Ofens zu verringern.

Die Sachlage ist anders, wenn Scheiben unterschiedlichen Typs ohne Rücksicht auf ihre Reihenfolge hergestellt werden sollen. Die zuvor vorgeschlagenen Regulierungsverfahren haben zu lange Reaktionszeiten, so daß sie mit den großen und zufälligen Schwankungen der Masse der im Ofen aufeinanderfolgenden Glastafeln nicht vereinbar sind. Vor allem bei Öfen, deren Zellenwände teilweise oder ganz aus feuerfesten Steinen bestehen, kann sich die Temperatur nicht schnell anpassen, und wenn eine leichte Windschutzscheibe auf eine schwere folgt, wird die letztere zwangsläufig zu heiß und im umgekehrten Fall zu kalt sein.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, mit einfachen, kostengünstigen Mitteln das Herstellungsprogramm sofort so umzustellen, daß Scheiben unterschiedlichsten Typs ohne Rücksicht auf eine bestimmte Reihenfolge hergestellt werden können.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Mittel und Möglichkeiten zur verbesserten Regulierung der Reaktionszeiten und der Wärmekapazitäten im Tunnelofen aufzuzeigen.

Die Erfindung schlägt eine Lösung dieses Problems vor. Sie besteht darin, die Wärmekapazität der Ofenwände auf einen Wert unterhalb des Wertes des beweglichen Ganzen zu begrenzen, das aus dem mit seiner Glastafel beladenen Wagen besteht. Diese Wärmekapazität berücksichtigt nicht die ganze Wand, denn nicht die ganze Dicke der Wand ist am Wärmeaustausch beteiligt:

der berücksichtigte Teil der Wand beschränkt sich auf eine in Millimetern angegebene Dicke von $10\sqrt{\lambda c}$, wobei c die spezifische Wärme des Wandmaterials und λ ihre Leitfähigkeit ist und c in Wh/kg · K und λ in W/m · K ausgedrückt wird.

Konkret kann dieses Ziel erreicht werden, indem die feuerfeste Auskleidung aus Steinen oder Zement der Zellenwände begrenzt oder völlig ausgeschaltet wird.

Als Ergänzung schlägt die Erfindung vor, die Zufuhr von Wärme in den Ofenraum zu regulieren, indem die Temperatur der an den Zellenwänden angelegten Widerstände konstant gehalten wird.

Um die Erwärmungszeiten zu verkürzen und die Regulierung zu erleichtern, muß die Wärmekapazität des im Ofen zirkulierenden Wagens mit Glastafeln weitestgehend begrenzt werden. Das wird erreicht, indem der Teil des Wagens außerhalb des Ofens bleibt, der seine Fortbewegung gewährleistet und seine Fahrmittel enthält.

Der Umstand, daß der Wärmeleitwiderstand der Zellen begrenzt wurde, macht sie gegenüber störenden Wärmewirkungen wie der Zirkulation von Kaltluft besonders anfällig. Die Erfindung sieht deshalb Schleusen einmal zwischen den warmen Teilen des Ofens und zum anderen den kalten Teilen vor: das heißt, das Äußere des Ofens, was davor gelagert ist, und die kälteste Zelle, die auf die danach angeordneten Ausbauchungszellen folgt.

In einer Ausführungsform der Erfindung befindet sich der kalte Teil des Wagens, der seine Fahrmittel enthält, unterhalb des Ofens und ist mit der wiegenförmigen Tragvorrichtung der Glastafel durch Mittel verbunden, die entlang eines Längsschlitzes durch die Sohle hindurchgehen.

Es ist vorgesehen, daß ein Element des Wagens die Dichtigkeit zwischen dem Ofeninnern und dem Äußeren des Ofens durch Verschließen des Schlitzes gewährleistet. Außerdem ist vorgesehen, daß die Sohle in jedem der zu beiden Seiten des Schlitzes befindlichen Teilen beweglich ist.

In einer anderen Variante der Erfindung zur maximalen Begrenzung des Ofeninnenraums ist eine Sohle aus zwei, zu beiden Seiten des Schlitzes befindlichen Teilen vorgesehen, deren Innenflächen geneigt sind, damit die Seitenwände des Ofens so niedrig wie möglich sind.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird in der nachfolgenden Beschreibung genauer dargestellt, wobei auf die Zeichnungen Bezug genommen wird, in denen

- Fig. 1: eine schematische Draufsicht der einzelnen Zellen eines herkömmlichen Ausbauchungsofens darstellt,
- Fig. 2 a: perspektivisch eine ausgebauchte Scheibe auf ihrem Skelett liegend zeigt. Auf Figur 2 ruht das Ganze auf dem Wagen, der in dem herkömmlichen Ofen fährt,
- Fig. 3: in einer Draufsicht die Verteilung der Zellen in einem erfindungsgemäßen Ofen zeigt,
- Fig. 4 u. 5: ist ein erfindungsgemäßer Wagen perspektivisch erst unbeladen und dann mit Skelett dargestellt, auf dem eine ausgebauchte Scheibe liegt.
- Fig. 6: zeigt ein Detail der Figur 5.
- Fig. 7: zeigt eine Zelle eines erfindungsgemäßen Ofens, bei dem der Wagen mit Glasscheibe ebenfalls dargestellt ist.
- Fig. 8: schließlich ist die gleiche Zelle mit der Sohle in geöffneter Stellung dargestellt.

Obwohl das ausgewählte Beispiel einen erfindungsgemäßen Ofen vorstellt, der drei Vorwärmzellen und zwei Ausbauchungszellen enthält, ist dieses Beispiel nicht einschränkend, und die Erfindung betrifft Öfen, in denen die Anzahl der Zellen sowohl zum Vorwärmen als auch zum Ausbauchen beliebig ist.

Figur 1 stellt die Verteilung der Zellen in einem herkömmlichen Ofen zur Erwärmung und zum Ausbauchen von zwei Glastafeln dar, die später mit Hilfe einer Folie aus Thermoplast zusammengesetzt werden sollen, um eine Windschutzscheibe aus Sicherheitsglas zu ergeben. Der Ofen (1) enthält drei Vorwärmzonen (3), zwei Ausbauchungszonen (4) und eine Blaszzone (5). Die Rolle der Blaszelle (5) besteht darin, nach Bedarf an der Peripherie der Windschutzscheibe eine Zone mit leichter Vorspannung zu schaffen, die dem fertigen, abgekühlten Glas eine größere Festigkeit verleiht. Sie gestattet es, den Glasbruch durch mechanischen Stoß oder Wärmespannung zu reduzieren. Der Ofen enthält auch zwei Kühlzonen (6). Am Ofeneingang begrenzt eine Tür (2) die Wärmeverluste durch Konvektion.

Auf Figur 2a wurde die als Skelett bezeichnete Metallform (8) dargestellt, auf dem die Glastafeln (7) liegen. Das Skelett wird in einem starren Rahmen (9) gehalten, der seinerseits auf dem Wagen (10) ruht, dessen Funktion darin besteht, die Glastafeln während ihrer Erwärmung, Ausbauchung und Abkühlung von einer Zelle des Ofens (1) zur anderen zu transportieren. Dieser Wagen bewegt sich meist dank der auf Schienen auf der Ofensohle laufenden Räder fort, er wird durch nicht dargestellte mechanische Mittel wie beispielsweise Ketten oder Arbeitszylinder angetrieben.

Figur 3 stellt einen erfindungsgemäßen Ofen dar. Der Ofen (11), der als Beispiel ausgewählt wurde, enthält drei Vorwärmzellen (12) und zwei Ausbauchungszellen (13), er enthält weiterhin eine Blaszelle (14) und zwei Kühlzellen (15). Durch die Kühlzellen (15) wird das Glas ohne Bruchgefahr auf eine Temperatur gebracht, bei der es gehandhabt werden kann. In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform ist der Ofen (11) auch mit zwei Schleusen ausgestattet: zuerst eine erste Zelle (16) vor der Vorwärmung. Diese Zelle ist mit zwei Türen versehen, die niemals gleichzeitig offen sind und dadurch verhindern, daß die Kaltluftströme in die erste Vorwärmzelle gelangen können. Dann eine zweite Schleuse (17), ebenfalls mit zwei Türen, die desgleichen niemals gleichzeitig geöffnet sind. Diese Zelle dient als Puffer zwischen der letzten Ausbauchungszelle, an der Stelle, wo das Glas am heißesten ist, und einer kälteren Zelle, zum Beispiel der Blaszelle (14), in die verhältnismäßig kalte Luft eingeblasen wird. Auch hier geht es darum, die Kaltluftströme auszuschalten, die den Wärmehaushalt eines Ofens, dessen Wärmeleitwiderstände gering sind, stören könnten.

Figur 4 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Wagens, er enthält einen unteren, mit Rädern versehenen Teil (19), der ständig außerhalb des Ofens zu bleiben hat. Das Oberteil (18) ist eine wiegenartige Tragvorrichtung für das Glas und verbleibt im warmen Teil des Ofens.

Auf Figur 5 ist ein anderes Beispiel eines Wagens dargestellt. Auf ihm liegt der Rahmen (9), an dem das Skelett (8) befestigt ist, das zur Aufnahme des Glases (7) dient. Zwischen dem unteren Teil (39) und dem oberen Teil (18) des Wagens dient eine starre Verbindung (20), die möglichst dünn, doch praktisch genauso lang wie die Ofenzellen ist, dazu, den freien Durchgang in der Wand zu verschließen, wobei diese Verbindung aus zwei Teilen, den Tragstützen (21) und einer isolierenden Füllung (22), besteht. Eine Ausführungsform der starren Verbindung ist auf Figur 6 dargestellt, man sieht zwei Blechgehäuse (23) im oberen und unteren Teil, die zwei dichte Faserplatten (24) einschließen, während das Innere mit Dämmstoff (25), zum Beispiel mit Keramikfasern aus Aluminiumoxid mit der Dichte 100 kg/m^3 ausgefüllt ist.

Figur 7 stellt einen Querschnitt eines erfindungsgemäßen Ofens dar. Es ist darauf eine Vorwärmzelle (12) zu sehen, in der der Wagen (18) fährt. Das Gewölbe (26) und die Widerlager (27) sind an einem nicht dargestellten Gerüst befestigt. Sie besitzen ein ebenfalls nicht dargestelltes äußeres Stahlgerippe, an dem die Bleche (28) befestigt sind, die die Außenhaut des Ofens darstellen. Auf dem Blech liegen die Dämmstoffe auf. In einer besonderen Ausführungsform findet man von außen nach innen nacheinander 200 mm Steinwolle mit der Dichte 110 kg/m^3 (29), dann 50 mm Keramikfaser, zum Beispiel Aluminiumsilikat von 100 kg/m^3 (30). Diese Faserisolerstoffe sind durch herkömmliche Mittel wie Stangen oder Metallplatten an den Wänden befestigt.

Die Beschaffenheit dieser Wände wurde speziell an ihrer Innenseite so gewählt, daß der „Nutz“-Wärmeleitwiderstand dem zu lösenden Problem entspricht. Unter „Nutz“-Wärmeleitwiderstand ist der Wärmeleitwiderstand der Wanddicke zu verstehen, die tatsächlich am zyklischen Wärmeaustausch zwischen der Wand und der in regelmäßigen Abständen in die betreffende Zelle eintretende kälteren Masse beteiligt ist.

Um die betreffende Dicke zu bestimmen, wurden Berechnungen nach der Schmidtschen Methode ausgeführt, die in dem Buch „Les fours industriels (Industrieöfen)“ von W. TRINKS (John Wiley and Sons, New York, französische Übersetzung: DUNOD, Paris 1957) dargestellt ist. Es wurde das Beispiel einer Wand mit einer homogenen Temperatur von 500°C genommen, die plötzlich in eine Umgebung von 100°C gebracht wird, und es wurde festgestellt, daß sich die Oberflächentemperatur der Wand sehr schnell stabilisierte (bei Zeiten, die fühlbar unter einer Minute lagen) und daß die Materialdicke, die von dem Wärmeaustausch während dieser geringen Zeitspannen betroffen war, gering blieb.

Bei einer Wand, die zur oben beschriebenen analog ist, betrug die vom Wärmeaustausch betroffene Dicke nach einer Minute 36 mm (bei Zugrundelegung der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,13$ Watt pro Meter und Kelvin und molaren spezifischen Wärme $c = 0,29$ Watt-Stunden pro Kilogramm und Kelvin). Dagegen beträgt bei einer Wand aus feuerfesten Steinen eines Aluminiumsilikatmaterials diese Dicke nur 19 mm ($\lambda = 0,95 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, $c = 0,27 \text{ W/kg} \cdot \text{K}$). Als Beispiel betragen in den beiden voraufgehenden Fällen die durch die Wand verlorengegangenen Wärmemengen jeweils 46 Watt-Stunden pro Quadratmeter bei der Wand aus Fasermaterial und 398 W-h/m^2 bei den Ofenziegeln.

Es erwies sich folglich als notwendig, die bei der Berechnung der Wärmekapazität berücksichtigte Wanddicke auf einen Wert zu begrenzen, der von den thermischen Eigenschaften des Materials, insbesondere von seiner Wärmeleitfähigkeit abhängt, bei der das

Produkt λc eine Rolle spielt. Der in Millimetern angegebene Wert $e = 10/\sqrt{\lambda c}$ schien als der am besten geeignete, um die zu berücksichtigende Dicke festzulegen. Bei dem betrachteten Beispiel ergeben sich bei der Wand aus Fasermaterial eine für die Rechnung zu verwendende Dicke von 50 mm und für die Wand aus Ofenziegeln genau 10 mm.

Bei Fortsetzung der Beschreibung der Figur 7 sind die direkt der freien Luft ausgesetzten Widerstände (31) zu sehen, die an der Oberfläche des Dämmstoffs aus Keramikfaser (30) befestigt sind.

Beim dargestellten Beispiel ist die zweiteilige Sohle (32) mit Hilfe rollender Mittel beweglich gestaltet. In Normalstellung ist der Schlitz (34) fast gänzlich durch die starre Verbindung (20) verschlossen, die den kalten und den warmen Teil des Wagens verbindet. Die Sohle besteht aus den gleichen Materialien wie die anderen Wände des Ofens, sie enthält ebenfalls Widerstände.

Figur 8 stellt den Ofen mit seiner Sohle (32) dar. Man sieht, daß die auf ihren Rollmitteln (33) rollende Sohle sich dank ihrer Neigung von den Widerlagern des Ofens (27) entfernt und die dadurch freigegebene Öffnung einen leichten Zugang ins Ofeninnere gestattet, um dort Wartungsarbeiten vorzunehmen oder im Fall von Bruch Glasteile daraus zu entfernen.

Anhand des nachfolgenden vergleichenden Beispiels werden die durch die Erfindung erzielten Vorzüge klar hervorgehen. Es wird von einem herkömmlichen Ofen des auf Figur 1 dargestellten Typs ausgegangen (Ofen A).

Die Vorwärmzellen (3) dieses Ofens haben folgende Innenabmessungen:

- Gewölbe: 2,10 m × 1,25 m
- Widerlager: 1,25 m × 0,90 m
- Sohle: 2,10 m × 1,25 m

Die Materialien des Gewölbes und der Widerlager sind angenommenmaßen identisch mit denen des erfindungsgemäßen Ofens: 50mm Keramikfaser im Innern, dann 200mm Steinwolle. Was die Sohle angeht, so besteht sie aus Ziegeln eines feuerfesten Aluminiumsilikat-Materials von 80mm Dicke, auf dem zwei Eisenschienen mit einem Querschnitt von 50mm x 20mm liegen. Der im Ofen A zirkulierende Wagen besteht aus rostfreiem Stahl und hat eine Masse von 50kg. Der erfindungsgemäße Ofen B ist analog der Figur 3. Seine Vorwärmzellen sind analog zu denen der Figur 7, ihre Innendimensionen sind folgende:

- Länge: 1,25 m
- Breite: 2,10 m
- Höhe: 0,55 m

Der der Ofen B durchlaufende Wagen besteht aus einem Oberteil mit einer Masse von 25kg. Im Ofen A wie im Ofen B haben der Träger des Skeletts und das Skelett aus rostfreiem Stahl zusammen eine Masse von 15kg. Es wird ebenfalls angenommen, daß die Glasscheibe die gleiche ist und eine Masse von 15kg hat.

In der nachstehenden Tabelle ist die Berechnung der „Nutz“-Wärmekapazitäten eines jeden Ofens zusammengefaßt:

		λ W/m · K	c Wh/kg · K	e mm	S m ²	p kg/m ³	Äquiva- lent- masse kg	Nutz- Wärme- kapa- zität Wh/kg
Ofen A	Gewölbe	0,13	0,29	50	2,625	91	11,9	3,46
	Widerlager	0,13	0,29	50	2,25	91	10,2	2,97
	Sohle	0,95	0,27	19	2,625	3,10 ³	149,6	40,40
	Schienen	-	0,17	(2,5 · 10 ⁻³ m ³)		7,7,10 ³	19,3	3,27
Gesamt Ofen A		-	-	-	-	-	-	50,10
Ofen B	Gewölbe	0,13	0,29	50	2,625	91	11,9	3,46
	Widerlager	0,13	0,29	50	1,375	91	6,3	1,81
	Sohle	0,13	0,29	50	2,625	91	11,9	3,46
Gesamt Ofen B		-	-	-	-	-	-	8,74

Was den Wagen mit Glastafel in jedem Ofen angeht, so ergibt sich folgendes:

		Masse kg	c wh/kg · K	Wärmekapazität wh/K
Ofen A	Wagen	50	0,17	8,50
	Skelett	15	0,17	2,55
	Glas	15	0,29	4,35
Gesamt Ofen A		-	-	15,40
Ofen B	Wagen	25	0,17	4,25
	Skelett	15	0,17	2,55
	Glas	15	0,29	4,35
Gesamt Ofen B		-	-	11,15

Es ist festzustellen, daß der erfindungsgemäße Ofen B eine „Nutz“-Wärmekapazität von 8,74Wh/K, die unter der seiner fahrbaren Ausrüstung (Wagen mit Glastafel) liegt, die 11,5Wh/K beträgt. Dagegen hat der herkömmliche Wagen A eine „Nutz“-Wärmekapazität von 50,10Wh/K, die deutlich über der effektiven Wärmekapazität der fahrbaren Ausrüstung liegt, die jedoch größer als die des Ofens B ist und hier 15,40Wh/K beträgt.

Unter Einhaltung der von der Erfindung wie beim Ofen B vorgesehenen Bedingungen können die Abmessungen verändert werden, also die Masse und die Wärmekapazität des Glases, ohne daß dadurch die thermischen Bedingungen des Ofens gestört werden.

Nehmen wir an, daß das Glas eine Masse von 20kg (anstelle von 15 wie im vorausgehenden Beispiel) hat, dann nimmt die Wärmekapazität und damit die der kalten Masse zuzuführende Wärme um $5 \times 0,29 = 1,45$ Wh/K, d. h. um 13% zu. Die Temperatur der Widerstände wird sofort verändert, und die für die Erwärmung abgerufene elektrische Energie steigt sofort an. Dagegen stellt im Ofen A die feuerfeste Auskleidung einen Puffer dar, der eine ebenso rasche Reaktion der Regulierung verhindert, und es ist allgemein ein sogenannter „Pendeleffekt“ der Regelung und damit eine Instabilität der Wärmebedingungen zu verzeichnen, die eine Temperatur des Glases bei seinem Austritt aus den Vorwärmzellen zur Folge haben kann, die mit einem exakten Ausbauchvorgang unvereinbar ist.

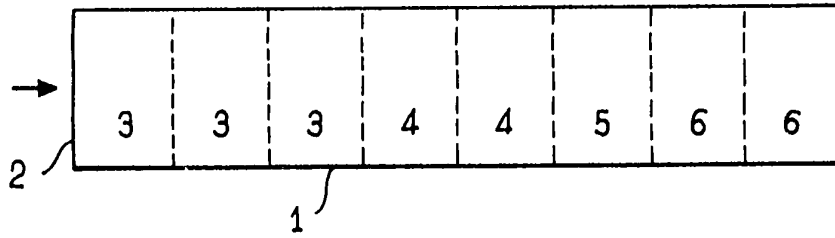


FIG. 1

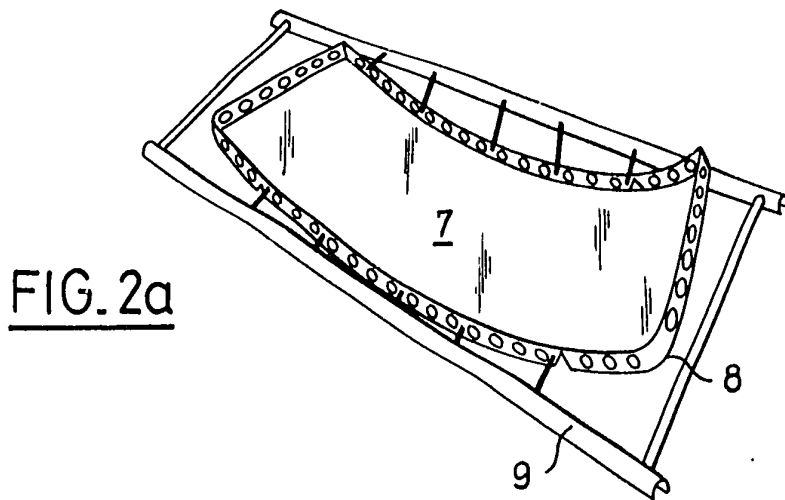


FIG. 2a

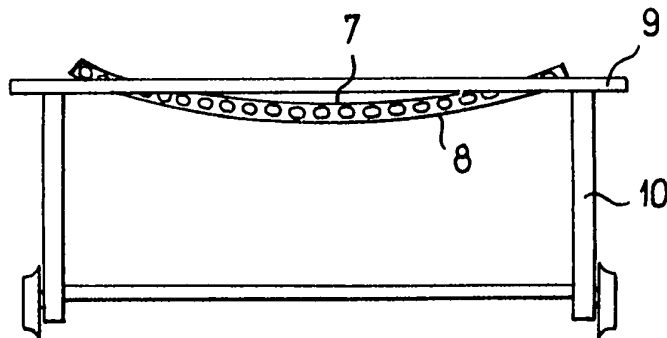


FIG. 2b

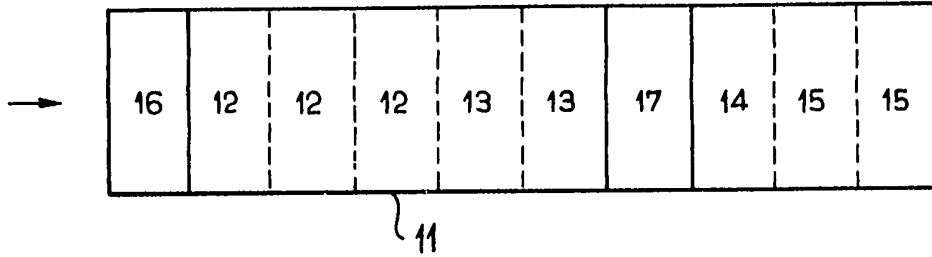


FIG. 3

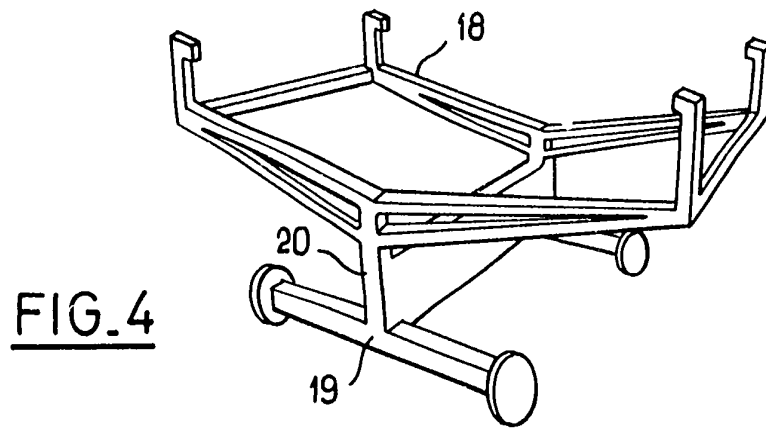


FIG. 4

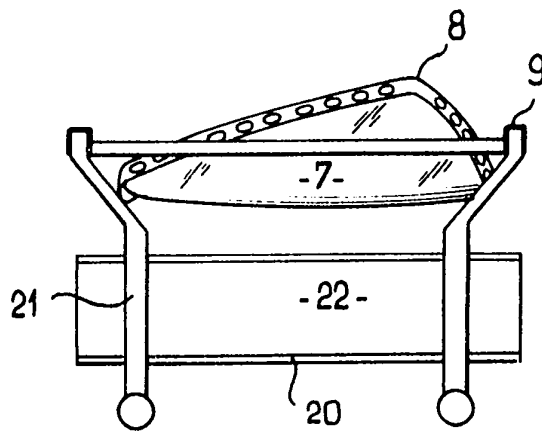


FIG. 5

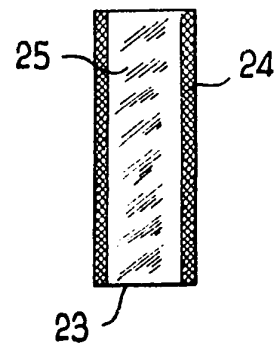


FIG. 6

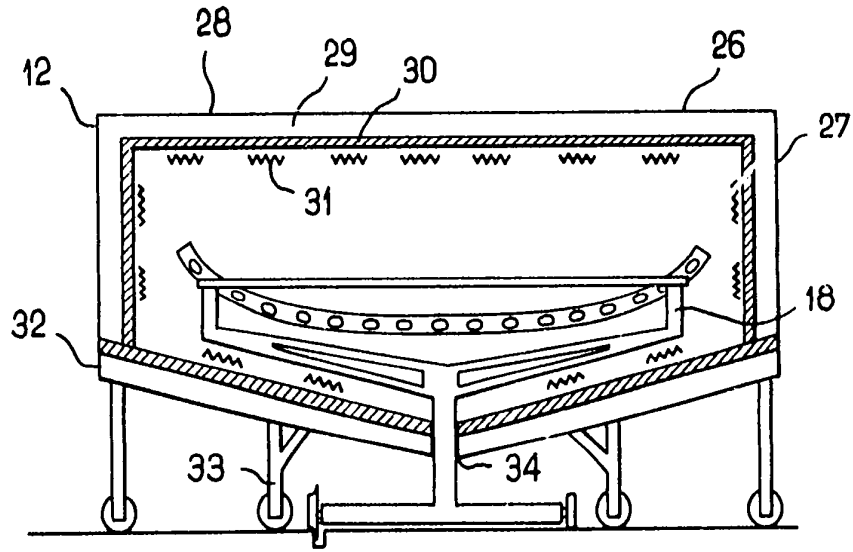


FIG. 7

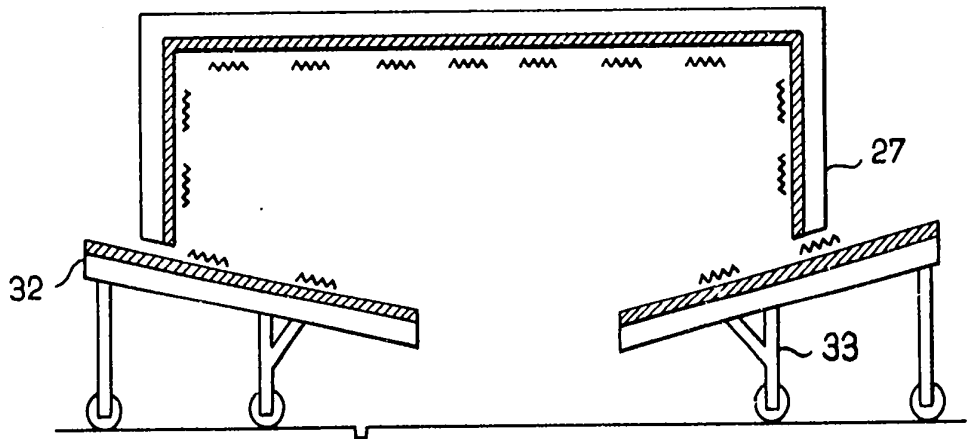


FIG. 8