

CH 677 968 A5



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 677 968 A5

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>: F 28 D 1/03  
F 28 G 3/10

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

// B 01 D 9/02, F 25 C 1/14

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 868/88

⑦ Inhaber:  
Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft, Winterthur

㉒ Anmeldungsdatum: 08.03.1988

㉔ Patent erteilt: 15.07.1991

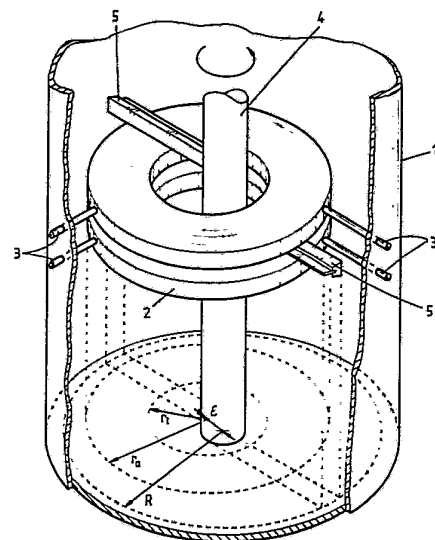
④ Patentschrift  
veröffentlicht: 15.07.1991

⑦ Erfinder:  
Ehram, Christian, Dr., Winterthur

⑤ Wärmetauscher zur kontinuierlichen Erzeugung eines Kristallbreis aus einer Schmelze.

⑦ Der Wärmetauscher dient zur kontinuierlichen Erzeugung eines Kristallbreis aus einer Schmelze. Die Schmelze besteht aus einer Hauptkomponente, in der mindestens ein zweiter Stoff gelöst ist, welcher nicht oder nur in reduziertem Masse mit der Hauptkomponenten auskristallisiert. Im Wärmetauscherbehälter (1) befindet sich ein Stapel von abstandsweise, übereinander angeordneten, ringartigen Wärmetauscherplatten (2). In der inneren Öffnung des Stapels parallel zur Stapelachse, aber exzentrisch hierzu ist eine Antriebswelle (4) angeordnet, mit der Schabelemente (5) verbunden sind, die in die Zwischenräume von benachbarten Platten (2) ragen, welche z.B. den Verdampfer einer Kältemaschine bilden.

Ein derartiger Wärmetauscher weist bei einem relativ kleinen Raumbedarf grosse Wärmetauscheroberflächen auf und kann während des Betriebes nicht durch Kristallbrei verstopft werden.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Wärmetauscher gemäss Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zum Betrieb dieses Wärmetauschers.

5 Eine etwas abgewandelte Ausführungsform eines solchen, als «Schmelzkristallisor» ausgebildeten Wärmetauschers ist beispielsweise aus der US-PS 2 299 414 bekannt.

Derartige Wärmetauscher werden für Stoffgemische im geschmolzenen Zustand angewendet, bei welchen bei der Kristallisation einer der Stoffe auf den Wärmetauscherflächen in Form von Kristalliten oder Dentriten erstarrt und ein lockeres Gefüge bildet, dessen Zwischenräume von der flüssigbleibenden Schmelze ausgefüllt sind.

10 Verglichen mit einer kompakten Kristallschicht bietet ein derart erstarrter Stoff wenig Widerstand gegen eine Schabeinrichtung und kann daher mit relativ geringem Aufwand von den Wärmetauscheroberflächen abgeschert werden.

Der gelöste Stoff wird bei der Kristallisation nicht oder stark reduziert bezüglich der Konzentration in der Schmelze in die Kristallite eingebaut. Bei derartigen Schmelzen kann eine sogenannte konstitutionelle Unterkühlung auftreten. Hierbei reichern sich an der Oberfläche der wachsenden Kristallschicht die gelösten Stoffe an, was eine Erniedrigung der Erstarrungstemperatur an den Kristalloberflächen verursacht. Eine von der Schmelze zur Kristallschicht gerichtete Wärmeableitung, die mit der Temperaturerniedrigung einhergeht, kann eine Unterkühlung der Schmelze im Bereich der Kristallschicht zur Folge haben. Tritt eine solche «konstitutionelle» Unterkühlung auf, so erweist sich das Kristallwachstum mit ebener Front als instabil. Kleine Unebenheiten verstärken sich während des Wachstums, und die Schmelze bildet beim Erstarren keine kompakte Kristallschicht, sondern einzeln wachsende Kristallite oder Dentrite. Die Schmelze in den Zwischenräumen benachbart wachsender Kristallite bzw. Dentrite weisen wegen eines Dickenwachstums eine erhöhte Konzentration des gelösten Stoffes auf.

25 Da der Schmelzpunkt durch die ansteigende Konzentration im Bereich der Kristallschicht erniedrigt wird, kommt das Dickenwachstum der Kristallite rasch zum Erliegen. Falls die Konzentration des gelösten Stoffes genügend gross ist, bleibt der Kristallverband locker genug, so dass der kristallisierte Stoff leicht mittels einer Schabeinrichtung von den Wärmetauscheroberflächen entfernt werden kann.

Der Widerstand gegen das Abscheren hängt auch von der Form der Kristallite ab. Wächst beispielsweise ein Kristallit in einer Kristallrichtung viel langsamer als in einer zu dieser Richtung senkrechten Ebene, so entstehen plättchenförmige Kristallite, die sich mit geringem mechanischem Aufwand von den Wärmetauscheroberflächen abschaben lassen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht in der Ausbildung eines Wärmetauschers zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens, welcher bei einem möglichst geringen Raumbedarf grosse Wärmetauscheroberflächen aufweist, und der ausserdem während des Betriebes nicht durch Kristallbrei verstopft wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss mit Hilfe der im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Massnahmen gelöst.

40 In den Kennzeichen der Ansprüche 2 bis 8 sind vorteilhafte Ausführungsformen bzw. Weiterbildungen des erfindungsgemässen Wärmetauschers angegeben.

In den Kennzeichen der Ansprüche 9 bis 17 werden vorteilhafte Verfahren für den Betrieb eines erfindungsgemässen Wärmetauschers beschrieben.

45 Während einer vollen Umdrehung gelangt jeder Punkt der Kanten der Schabelemente mindestens einmal in den freien, mit Schmelze gefüllten Raum ausserhalb der Wärmetauscheroberfläche. Dort kann sich der vor den Schabelementen aufgestaute Kristallbrei von den Schabelementen lösen und aus dem Bereich der Wärmetauscheroberflächen dem Ort seiner Verwendung zugeführt werden.

Das Ablösen des Kristallbreis von den Schabelementen kann beispielsweise aufgrund eines Dichteunterschieds, den im allgemeinen der Kristallbrei gegenüber der Schmelze aufweist, erfolgen.

50 Beispielsweise schwimmt bei Salzlösungen oder wässrigen Alkohollösungen, bei denen reines Wasser auskristallisiert wird, der Kristallbrei aufgrund seiner geringeren Dichte nach oben.

Es ist auch möglich, den Kristallbrei dadurch aus dem Wärmetauscher zu entfernen, indem mittels quer zu den Platten strömende Schmelze der aufgestaute Kristallbrei aus der Einrichtung weggespült wird.

55 Mit dem Wärmetauscher lässt sich über längere Zeit kontinuierlich Kristallbrei erzeugen. Es zeigt sich jedoch, dass allmählich der Widerstand gegen das Abschaben zunimmt. Grund hierfür ist eine Basisschicht des Kristallansatzes, der auf den Wärmetauscheroberflächen haftet und nicht durch die Schabelemente abgeschert wird. Da die in der Schmelze gelösten Stoffe aus den Zwischenräumen der Kristallite hindusdiffundieren, wächst die Basisschicht langsam an.

60 Wärmetauscher mit Phasenwechsel zeichnen sich bekanntlich durch einen guten Wärmeübergang aus. Bei der Erzeugung von Eisbrei wurden für den Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  Werte gemessen, die in der Grössenordnung von mindestens  $1 \text{ kW/m}^2\text{K}$  liegen. Wegen der wachsenden Basisschicht verringert sich der Wert von  $\alpha$ . Um einen guten Wärmeübergang zu erreichen, ist es daher vorteilhaft, wenn intermittierend für eine Entfernung der Basisschicht gesorgt wird.

65 Beispielsweise kann ein Unterbruch der Kühlung bei weiter rotierenden Schabelementen schon genügen, dass die Basisschicht sich von den Wärmetauscheroberflächen löst. Wie in den Ansprüchen 13

und 14 beschrieben wird, kann das Ablösen der Basisschicht beschleunigt werden, dadurch, dass die Basisschicht durch Wärmezufuhr aus der überhitzten Schmelze entfernt wird bzw. dass der Kristallsatz durch Wärmezufuhr von einem, die Wärmetauscherplatten durchströmenden Heizmittel entfernt wird.

5 Die Erfindung wird im folgenden anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen erläutert.

Fig. 1 zeigt in perspektivischer Darstellung einen Wärmetauscher mit dem ihn umgebenden Behälter, und

10 Fig. 2 zeigt in schematischer Darstellungsweise einen Horizontalschnitt des Wärmeaustauschers.

In Fig. 3 ist die Draufsicht auf eine Ausführungsform einer Wärmetauscherplatte dargestellt, während die Fig. 3a bis 3c diese Wärmetauscherplatte in einem Querschnitt, in einer Seitenansicht und einen Längsschnitt durch das abgewinkelte Rohr dieser Wärmetauscherplatte zeigen.

Fig. 4a zeigt in perspektivischer Darstellung ein Schabelement mit einer Halterung an der Welle und

15 Fig. 4b das Schabelement in einem Querschnitt.

In den Fig. 1 und 2 sind ausser den Konstruktionselementen für die Bemessung des Wärmetauschers relevante geometrische Grössen eingetragen, deren Bedeutung nachstehend noch im einzelnen erläutert wird.

20 In einem zylindrischen Behälter 1 befindet sich ein Stapel von abstandweise, übereinander angeordneten Wärmetauscherplatten 2, von denen in Fig. 1 nur zwei dargestellt sind. Der Stapel wird mittels zwei nicht dargestellten Deckplatten, die nicht als Wärmetauscher ausgebildet sind, zusammengehalten. Der Stapel ist stationär im Behälter 1 angeordnet und mittels Halterungen 3 an der Behälterwand befestigt, wobei im Ausführungsbeispiel diese Halterungen rohrförmig ausgebildet sind und als Zu- bzw. Abführleitungen für ein Kühlmittel, welches die Platten 2 durchströmt, dienen.

25 Konzentrisch im Behälter 1 ist eine Antriebswelle 4 für die Schabelemente 5 angeordnet. Die Achse der Welle 4 ist identisch mit der Längsachse des Behälters 1, während die Längsachse des Plattenstapels exzentrisch zu der Wellenachse 4 verläuft, derart, dass zwischen der Wellen- bzw. Behälterachse und der Stapelachse ein Abstand  $\epsilon$  vorhanden ist. Abgesehen von der obersten und der untersten Platte des Stapels, wo die Schabelemente nur einseitig aufliegen, sind die Schabelemente 5 in den Zwischenräumen zwischen den einzelnen Platten 2 derart ausgebildet, dass sie gleichzeitig die Kristallschicht an der Oberfläche einer oberen Platte und diejenige an der Oberfläche einer benachbarten, unteren Platte abscheren.

30 Eine vorteilhafte Ausführungsform der Schabelemente 5 ist in den Fig. 4a und 4b dargestellt und wird an späterer Stelle erläutert.

35 In Fig. 1 sind ausser  $\epsilon$  die geometrischen Grössen  $R$ ,  $r_i$  und  $r_a$  eingetragen, wobei  $R$  den Radius der Schabelemente 5,  $r_i$  den inneren Radius und  $r_a$  den äusseren Radius der ringförmigen Platten 2 bezeichnen.

40 In Fig. 2 sind noch weitere geometrische Grössen eingetragen, deren Bedeutung im folgenden anhand der Beschreibung der Fig. 2 erläutert wird.

Da in Fig. 2 nur eine Platte 2 und ein Schabelement 5 sichtbar sind, wird die Funktionsweise des Wärmetauschers anhand dieser Darstellung erläutert.

45 Die Schaberwelle 4 hat einen Durchmesser  $d$  und steht senkrecht und exzentrisch zur Wärmetauscherplatte 2 im Behälter 1, wobei – wie bereits erwähnt – das Zentrum  $Z$  der Platte 2 und die Wellenachse 4 um den Abstand  $\epsilon$  voneinander entfernt sind. Das an der Welle 4 befestigte Schabelement 5 überstreicht eine Kreisfläche mit dem Radius  $R$ . Die Fläche, die das Schabelement 5 überstreichen muss, ist einerseits durch die Wärmetauscherplatte 2 und andererseits durch zwei Randzonen 6 und 7 gegeben. Diese Randzonen, die beide mit der gleichen Dicke  $\delta_1$  in der Fig. 2 eingezeichnet sind, bestehen aus kristallisierter Schmelze, die sich an den Seitenflächen der Wärmetauscherplatte angesetzt hat und die durch das Schabelement nicht entfernt wird. Die Wärmetauscheroberfläche der Platte 2, einschliesslich der beiden Randzonen 6 und 7 wird durch einen Kreisring 8, der durch strichpunktierte Linien dargestellt ist, in zwei Bereiche unterteilt. Der Bereich ausserhalb des Kreisrings 8 umfasst die Fläche  $a$ , von der die abgescherten Kristallite durch das Schabelement 2 in den Aussenraum des Plattenstapels befördert werden. Der im komplementären Bereich  $b$  erzeugte Kristallbrei wird in die innere Öffnung der Wärmetauscherplatte 2 befördert. Die Fläche des Kreisrings 8 selbst gehört teils zum Innen- und teils zum Aussenbereich.

55 Die effektive Oberfläche einer Wärmetauscherplatte ist gegeben durch die Oberfläche, von der ein Schabelement Kristallinat abscheren muss. Diese effektive Wärmetauscherfläche weist folgende Radien auf:

$$60 \quad r'_i = r_i - \delta_1, \quad r'_a = r_a + \delta_1$$

Die Kreisringfläche 8 hat ihren Mittelpunkt auf der Wellenachse und ist gegeben durch Berührungspunkte mit der Begrenzung der effektiven Wärmetauscherfläche: Der innere Kreis der Fläche 8 berührt

65

den Kreis mit dem Radius  $r_a$  im Aussenbereich, und der äussere Kreis der Fläche 8 berührt den Kreis mit dem Radius  $r_i$  im Innenbereich. Die Breite  $\delta_2$  des Kreisrings 8 kann beliebig vorgegeben werden.

Die Radien  $r_i$  und  $r_a$  der effektiven Wärmetauscheroberfläche und die Exzentrizität  $\varepsilon$  müssen folgenden Beziehungen genügen:

5

$$r'_i = \frac{1}{4} (R - 3 \delta_1 + \delta_2 + 1.5d)$$

10

$$r'_a = 3r'_i + 2 \delta_1 - \delta_2 - d$$

15

$$\varepsilon = \frac{1}{2} (r'_a - r'_i + \delta_2)$$

Fig. 3 zeigt eine vorteilhafte Ausführungsform einer Wärmetauscherplatte 2, die als Verdampfer einer konventionellen Kältemaschine oder Wärmepumpe ausgebildet ist. Die Wärmetauscheroberflächen werden durch die Oberflächen einer doppelschichtigen Ringscheibe 2 gebildet. Hierbei ist ein spiralförmig aufgewickeltes Rohr an seinem inneren Ende über eine Nahtstelle 12 mit einer zweiten, ähnlich ausgebildeten Rohrspirale 11 verbunden. Am äusseren Ende der Rohrspirale 10 ist eine Zufuhrleitung 13 für das flüssige Kältemittel 16 – z.B. Ammoniak oder ein Fluorkohlenwasserstoff, wie Difluordichlormethan – angeschlossen, während am Ende der Rohrspirale 11 eine Ableitung 14 für das verdampfte Kältemittel 17 angebracht ist. Die Leitungen 13 und 14 müssen so geführt werden, dass das Schabelement 5 nicht blockiert wird.

Aus konstruktiven Gründen kann es sinnvoll sein, die beiden Rohrspiralen 10 und 11 mit einem Reifen 15 einzufassen. Dieser Reifen 15 kann dazu dienen, Rückstellkräfte aufzunehmen, die nach dem Wickeln der Rohre verbleiben. So können auch am Reifen 15 Befestigungselemente für die Befestigung an der Behälterwand angebracht werden.

Die Fig. 3a zeigt einen Querschnitt III–III der Fig. 3. Die Rohrquerschnitte sind vorteilhaft quadratisch bzw. rechteckig ausgebildet. Mit solchen Querschnittsformen ergeben sich ebene Wärmetauscheroberflächen 18 und 19, was für einen guten Wärmeübergang von Vorteil ist. Vorteilhaft wählt man für die zweite Rohrspirale 11 einen grösseren Querschnitt, wie es in der Fig. 3a bis 3c dargestellt ist. Dem sich bildenden Kältemitteldampf 17 steht hierdurch ein grösseres Volumen zur Verfügung, um abzuziehen.

Die Fig. 3b zeigt eine Seitenansicht der Wärmetauscherplatte mit weggeschnittenem Reifen 15, wobei der Blick senkrecht auf die Kältemittelanschlüsse 13 und 14 fällt.

Fig. 3c zeigt einen Längsschnitt durch die abgewickelten Rohrspiralen 10 und 11. Hieraus geht hervor, wie das flüssige Kältemittel 16 durch die Zufuhrleitung 13 in das Rohr 10 eintritt, während dem Durchlauf durch die beiden Rohre 10 und 11 verdampft und als Dampf 17 durch die Ableitung 14 austritt.

Die Fig. 4a und 4b zeigen eine vorteilhafte Ausführungsform eines Schabelementes 5. Das Schabelement 5 streift gleichzeitig auf zwei benachbarten, parallel ausgerichteten Wärmetauscherplatten 2 den Kristallbrei ab. Diese Konstruktion ist derart ausgebildet, dass das Schabelement 5 leicht erneuert werden kann. Das Schabelement 5 besteht hierbei aus einem zweiteiligen Halter 31 und 32 und einem Abstreifteil 33. Dieser Abstreifteil, der aus Kunststoff, z.B. einem Polyoxymethylen oder einem Polyamid bestehen kann, weist eine Nut 34 auf, mittels der er auf dem Halterteil 32 aufgesetzt ist. Der Halterteil 32 steckt in einem geschlitzten Rohrstück 31, das unlösbar auf der Welle 4 befestigt ist. Der Abstreifteil 33, der einem Verschleiss unterworfen ist, kann nun mit geringem Aufwand ausgewechselt werden. In einer zweiten Nut 35 des Abstreifteils 33 ist ein U-förmiges Federelement 37 eingelegt, durch das die beiden Schabkanten 36 und 36' gegen die Wärmetauscheroberflächen 18 und 19 von benachbarten Platten 2 gedrückt werden.

Der abgeschabte Kristallbrei staut sich während des Betriebes vor dem Abstreifteil 33 auf. Ein Schenkel des Federelementes 37 ist an der Vorderseite verlängert und aufgebogen, so dass verhindert wird, dass Kristallbrei in die Nut 35 eindringt. Der aufgestaute Kristallbrei kann sich vom Schabelement 5 lösen, sobald er, dank der exzentrischen Anordnung der Schaberwelle 4 in den Aussenraum bzw. in den freien Innenraum des Plattenstapels gelangt (vergleiche Fig. 2). Wie bereits erwähnt, kann das Ablösen durch einen Dichteunterschied zwischen Kristallbrei und Schmelze bewirkt werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Kristallbrei mit Schmelze von den Schabelementen 5 wegzuspülen.

Anstelle eines Kältemittels, das innerhalb einer Wärmetauscherplatte 2 verdampft, kann als Wärmetransportmittel auch ein Kühlmittel, z.B. bei der Erzeugung von Eisbrei ein Glykol-Wasser-Gemisch verwendet werden, mit dem man die Kühlung mit der Kältemaschine in indirekter Weise vornimmt. Es ist jedoch energetisch günstiger, die Kühlung direkt durchzuführen, d.h. mit als Verdampfer ausgebildeten Wärmetauscherplatten, da in diesem Fall die Verdampfungstemperatur der Kältemaschine und damit deren Leistungsziffer höher ist.

Wie bereits erwähnt, ist eine intermittierende Betriebsweise vorteilhaft, bei der eine Kristallisationsphase mit einer kurzen Abschmelzphase abwechselt. Während der Abschmelzphase wird die Kühlung unterbrochen. Eine Wärmezufuhr aus der Umgebung, falls die Schmelze überhitzt ist, oder eine Erwärmung mittels des Wärmetransportmediums lässt die Basisschicht des Kristallansatzes anschmelzen, so dass die Wärmetauscheroberflächen vollständig frei werden. Die weiter rotierenden Schabelemente 5 beschleunigen die Entfernung der Basisschicht. Sind die Wärmetauscherplatten als Verdampfer ausgebildet, so lässt sich das Abschmelzen auch mit komprimiertem Kältemitteldampf durchführen. Dies erfolgt durch eine entsprechende Umschaltung im Kältemittelkreislauf, wobei die Wärmetauscherplatten 2 als Kondensator geschaltet werden.

Der intermittierende Betrieb lässt sich auch in anderer Hinsicht vorteilhaft nutzen. Geht man davon aus, dass die Wärmetauscherplatten als Verdampfer einer Kältemaschine ausgebildet sind, dass sie weiterhin horizontal ausgerichtet sind, und dass die Kältemittelzuleitungen 13 in die oberen Rohrspiralen 10 erfolgen, kann das Kältemittel im Überschuss zugeführt werden. Das überschüssige, noch nicht verdampfte Kältemittel sammelt sich dann im unteren Rohr 11 an. Hierbei muss vorausgesetzt werden, dass die Ableitung 14 in der oberen Hälfte des Endes des Rohres 11 angebracht ist, so dass ein Abfließen des Kältemittels verhindert wird.

Nach dem Unterbruch der Kältemittelzufuhr verdampft schliesslich das verbliebene flüssige Kältemittel. Sobald die Rohre ausgetrocknet sind, ist die Kristallisationsphase abgeschlossen. Wenn die Schmelze überhitzt ist, beginnt nun die Abschmelzphase, ohne dass zusätzlich etwas unternommen werden muss, wie beispielsweise eine Umschaltung des Kältemittelkreislaufs.

Eine Überhitzung der Schmelze, wenn auch nur eine geringe, ist somit für ein selbsttätiges Abschmelzen der Basisschicht von Vorteil. Darüberhinaus ist die Überhitzung auch deshalb von Vorteil, da sie das Wachstum der Kristallschichten 6 und 7 an den Rändern der Wärmetauscherplatten 2 (vergleiche Fig. 2) limitiert. Die Schmelze darf jedoch nicht zu stark überhitzt werden, da dann keine konstitutionelle Unterkühlung möglich ist. Diese Unterkühlung ist jedoch notwendig, um die Bildung einer kompakten Kristallschicht zu verhindern.

Ein konstanter Betrieb der Kältemaschine ist trotz intermittierender Betriebsweise des Schabwärmetauschers möglich, denn wenn jeweils nur einzelne der Wärmetauscherplatten abwechselungsweise sich in der Abschmelzphase befinden. Beispielsweise lässt sich der Schabwärmetauscher derart an die Kältemaschine anschliessen, dass nur jede zweite Platte des Stapels mit Kältemittel versorgt wird. Durch periodisches Umschalten kann dann in den einen Platten die Abschmelzphase abgebrochen und bei den andern – mit einer gewissen Verzögerung wegen noch vorhandenen flüssigem Kältemittel – die Kristallisationsphase abgeschlossen werden.

Im folgenden wird ein Zahlenbeispiel für einen Prozess angegeben, wie er in einem erfindungsgemässen Wärmetauscher durchgeführt werden kann.

Es wird von einer Schmelze ausgegangen, die eine Kochsalzlösung ist, die eine Gefrieretemperatur von  $-1,5^{\circ}\text{C}$  oder, was gleichbedeutend damit ist, eine Salzkonzentration von 26 g/l aufweist.

Der Wärmeabfluss auf der Eiserzeugungsseite der Wärmetauscherplatten 2 hängt vom Wärmeabfluss durch diese Flächen und von der Abstreifgeschwindigkeit des Schabers 5 ab. Beispielsweise kann man bei einem Wärmeabfluss von  $10\text{ kW/m}^2$  mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von rund  $2\text{ kW/m}^2\text{K}$  oder mehr rechnen; die Schaberwelle 4 muss dabei eine Umdrehungsgeschwindigkeit von mindestens 10 U/min haben. Bei einem grösseren Wärmeabfluss muss die Schaberwelle 4 schneller rotieren, um einen gleich guten Wärmeübergangskoeffizienten zu erzielen.

Für fluorierte Kohlenwasserstoffe als Kältemittel ist der innere Wärmeübergangskoeffizient nicht grösser als etwa  $1\text{ kW/m}^2\text{K}$ . Berücksichtigt man, dass die innere Oberfläche des Verdampferrohres etwa dreimal grösser ist als die äussere Oberfläche, auf der Eisbrei erzeugt wird, so findet man für den Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  der Wärmetauscherplatte einen Wert von ungefähr  $1,2\text{ kW/m}^2\text{K}$ . Bei der Wärmeabflussdichte von  $10\text{ kW/m}^2$ , was einer stündlich erzeugten Eismenge von  $108\text{ kg/m}^2$  entspricht, lässt sich somit eine Verdampfungstemperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  abschätzen.

Es ist möglich, höhere Werte für den Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  als die oben angegebenen  $1,2\text{ kW/m}^2\text{K}$  zu gewinnen. Dazu sind zwei Massnahmen nötig: erstens Erhöhung der Schaberdrehzahl, zweitens Vergrösserung der inneren Oberfläche der Verdampferrohre. Die zweite Massnahme lässt sich auf einfache Weise ausführen, wenn man ein Verdampferrohr mit einem radial abgeplatteten Querschnitt wählt, ähnlich wie es für die Rohrspirale 11 in Fig. 3 der Fall ist. Eine andere Möglichkeit zur Oberflächenvergrösserung besteht darin, dass Rippen innerhalb des Rohres angebracht werden.

Die für die Schabelemente 5 aufzuwendende mechanische Leistung ist, wie experimentell festgestellt worden ist, annähernd proportional zur Wärmeabflussdichte durch die Wärmetauscherplatten 2 auf den Eiserzeugungsseiten. Bei der im erläuterten Beispiel verwendeten Kochsalzlösung beträgt diese für die Schabelemente 5 erforderliche Leistung etwa  $20\text{ W/m}^2$  bei einer Eiserzeugungsrate von  $100\text{ kg/m}^2\text{h}$ . Etwa die gleichen Werte für die aufzuwendende Schaberleistung sind auch mit einer weiteren Lösung erreicht worden, bei der durch Lösen von 25 g/l Äthanol eine Gefrierpunktniedrigung auf etwa  $-1^{\circ}\text{C}$  erzeugt worden ist.

### Patentansprüche

- 5 1. Wärmetauscher zur kontinuierlichen Erzeugung eines Kristallbreis aus einem geschmolzenen Stoff, in welchem mindestens ein zweiter Stoff gelöst ist, bestehend aus mindestens zwei, von einem Kühlmittel durchströmten Wärmetauscherplatten, welche in die Schmelze eingetaucht sind, und auf deren Oberfläche bei Wärmeabführung der geschmolzene Stoff teilweise als lockeres Gefüge auskristallisiert, wobei zur laufenden Abstreifung des Kristallisates eine Schabeinrichtung dient, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmetauscherplatten zumindest angenähert kreisringförmig sind und konzentrisch übereinander angeordnet einen Stapel bilden, dass in der inneren Öffnung des Plattenstapels parallel zur Stapelachse, aber exzentrisch hierzu eine Antriebswelle angeordnet ist, mit welcher Schabelemente verbunden sind, welche jeweils in die Zwischenräume von benachbarten Platten ragen, und dass die Exzentrizität der Antriebswelle sowie die radialen Abmessungen der Wärmetauscherplatten so ausgelegt sind, dass bei einer vollen Umdrehung der Welle jeder Punkt der Schaberanten mindestens einmal in den freien Raum ausser- oder innerhalb des Plattenstapels gelangt.
- 10 2. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede Wärmetauscherplatte eine Anschlussstelle für ein verflüssigtes Kältemittel und mindestens eine zweite Anschlussstelle für das zumindest teilweise verdampfte Kältemittel aufweist.
- 15 3. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Wärmetauscherplatte aus zwei Schichten besteht, welche aus spiralförmig gewickelten Rohren gebildet sind, wobei die beiden Rohre am Rand der inneren Plattenöffnung zusammengeschlossen sind.
- 20 4. Wärmetauscher nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohrquerschnitte rechteckig ausgebildet sind.
5. Wärmetauscher nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt des einen Rohres grösser als der Querschnitt des anderen Rohres ist.
- 25 6. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schabelemente auswechselbar mit an der Welle befestigten Trägerarmen verbunden sind.
7. Wärmetauscher nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schabelemente aus Kunststoff bestehen.
- 30 8. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Schabelemente zwei Schabkanten aufweisen, mit welchen sich die gebildeten Kristallite gleichzeitig von den einander gegenüberliegenden Wärmetauscherflächen abscheren lassen.
9. Verfahren zum Betrieb eines Wärmetauschers nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebswelle so langsam gedreht wird, dass vor den Schabelementen die abgescheren Kristallite zu einem lockeren Kristallbrei aufgestaut werden.
- 35 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der aufgestaute Kristallbrei nach dem Austreten aus den Zwischenräumen in den freien Aussen- oder Innenbereich des Plattenstapels von den Schabelementen aufgrund der unterschiedlichen Dichte gegenüber der Schmelze getrennt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Kristallbrei von den Schabelementen durch in axialer Richtung strömende Schmelze getrennt wird.
- 40 12. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Wärmetauscher zugeführte Schmelze überhitzt ist.
13. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlung der Wärmetauscherplatten periodisch unterbrochen wird, um den von den Schabelementen nicht entfernten Kristallansatz zu entfernen.
- 45 14. Verfahren nach Anspruch 12 und 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Kristallansatz durch Wärmezufuhr aus der überhitzten Schmelze entfernt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Kristallansatz durch Wärmezufuhr von einem die Wärmetauscherplatten durchströmenden Heizmittel entfernt wird.
- 50 16. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Schmelze aus Wasser besteht, in dem ein Salz gelöst ist, welches eine Gefrierpunktserniedrigung von mindestens 1K bewirkt.
17. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Schmelze aus Wasser besteht, in der ein Alkohol gelöst ist, welcher eine Gefrierpunktserniedrigung von mindestens 1K bewirkt.

55

60

65

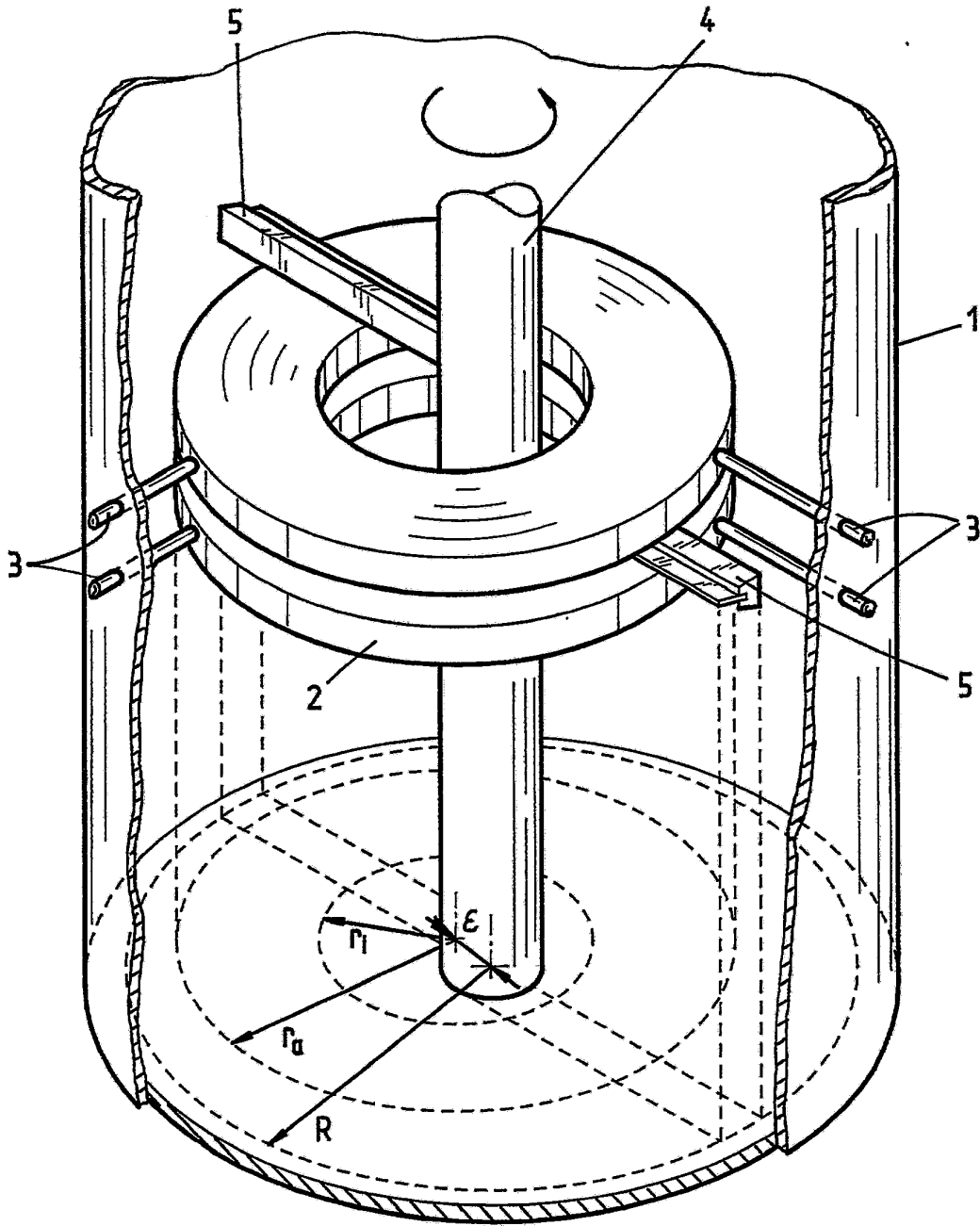


FIG. 1

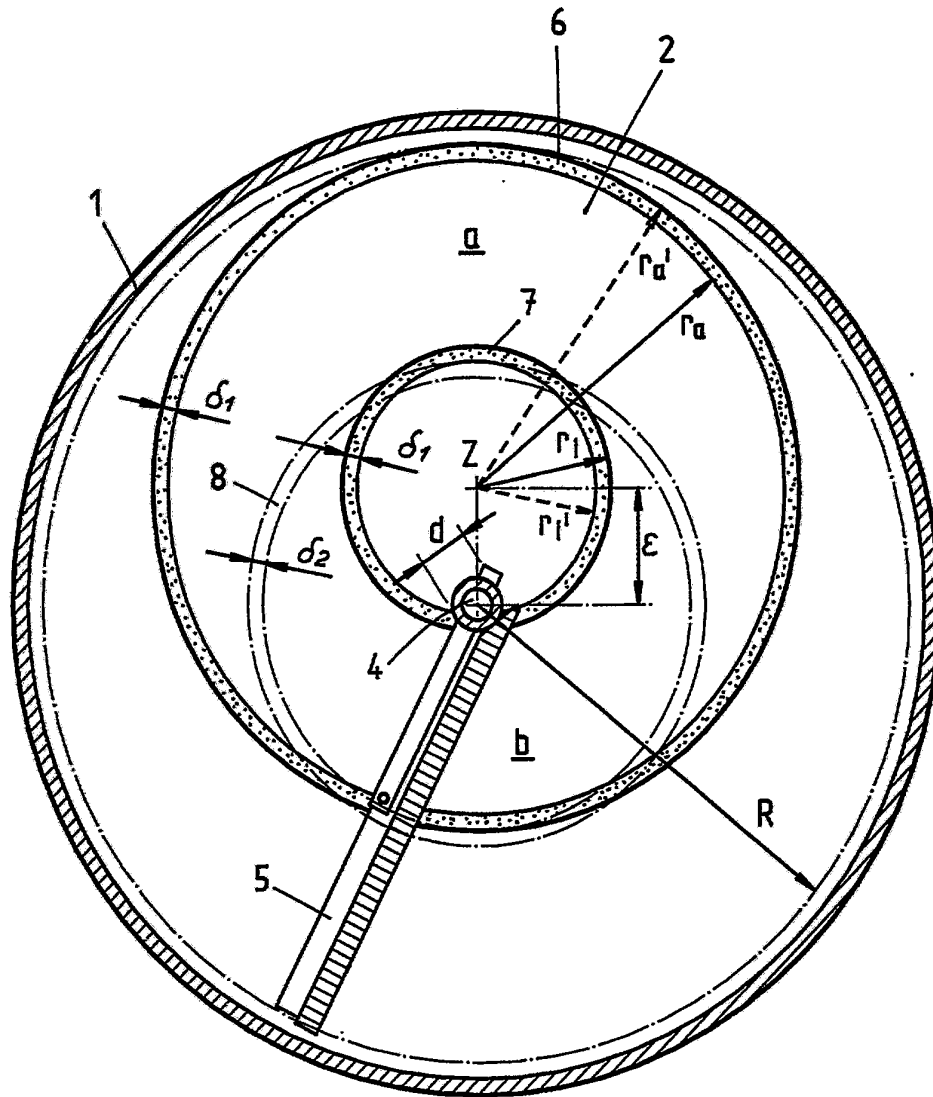


FIG. 2

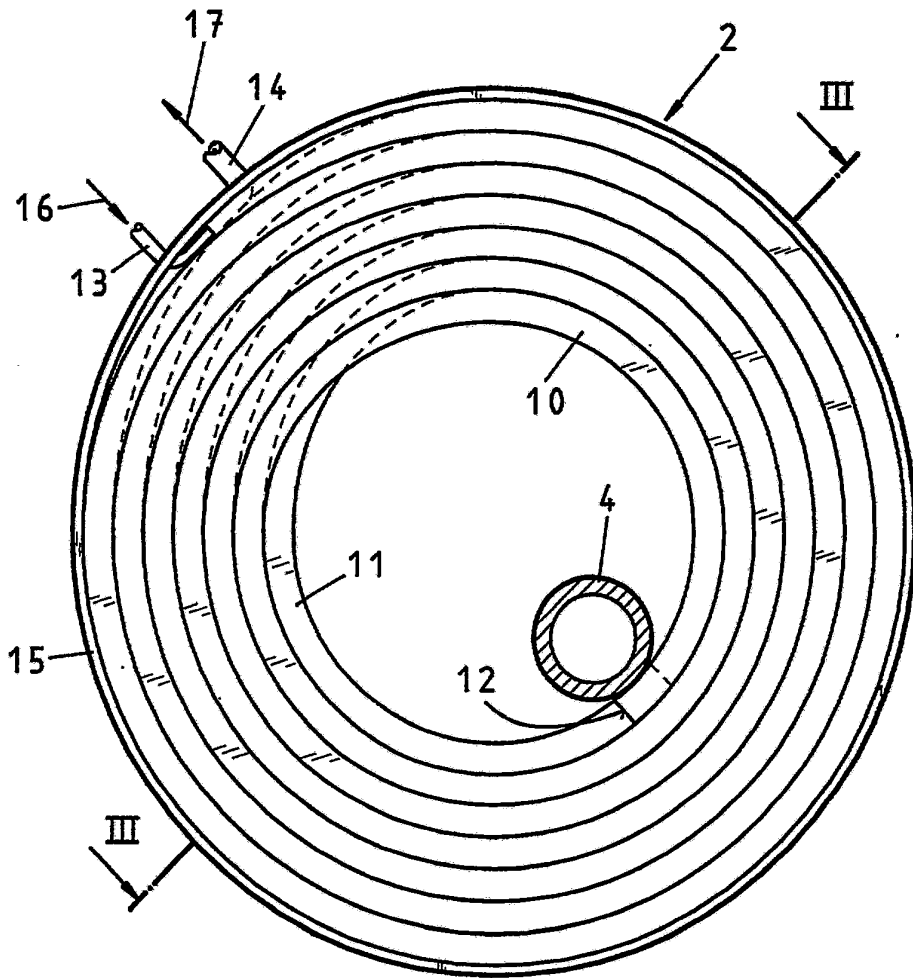


FIG. 3

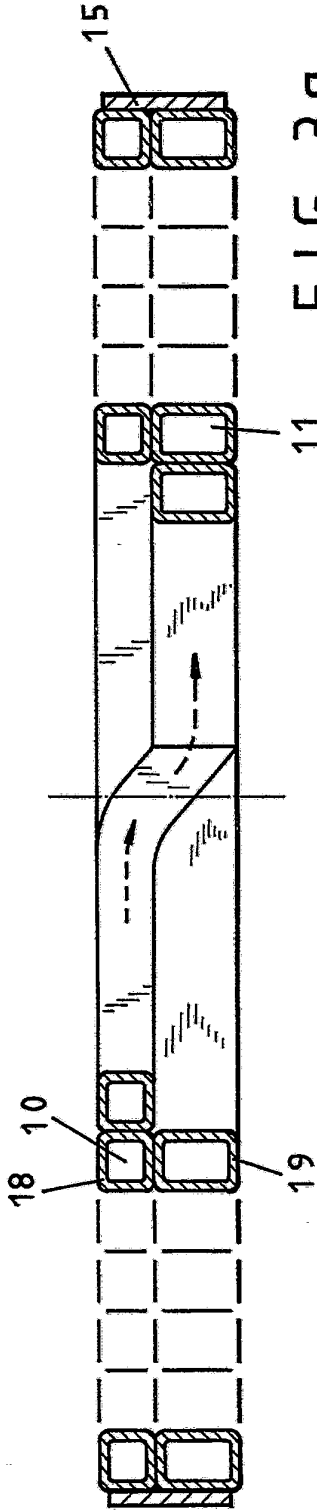


FIG. 3a

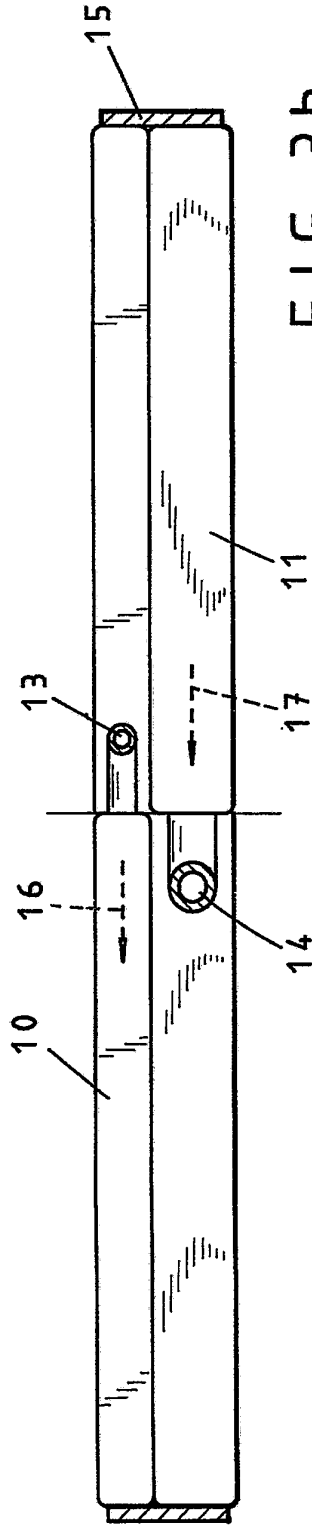


FIG. 3b

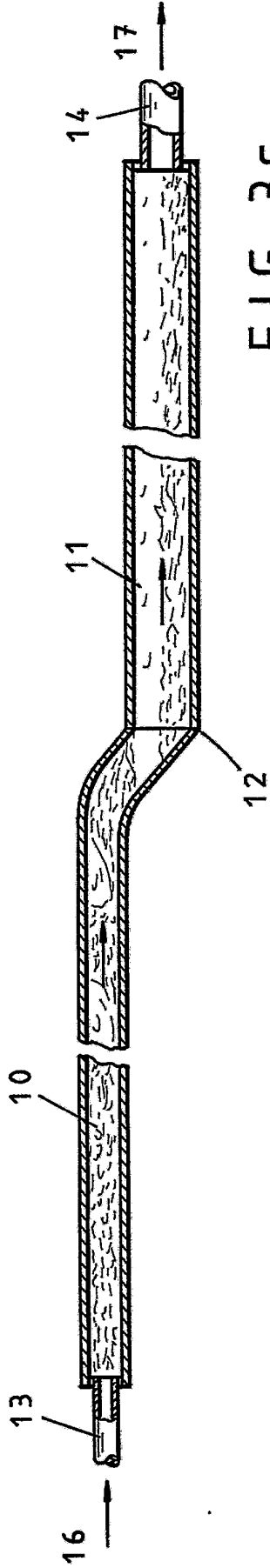


FIG. 3c

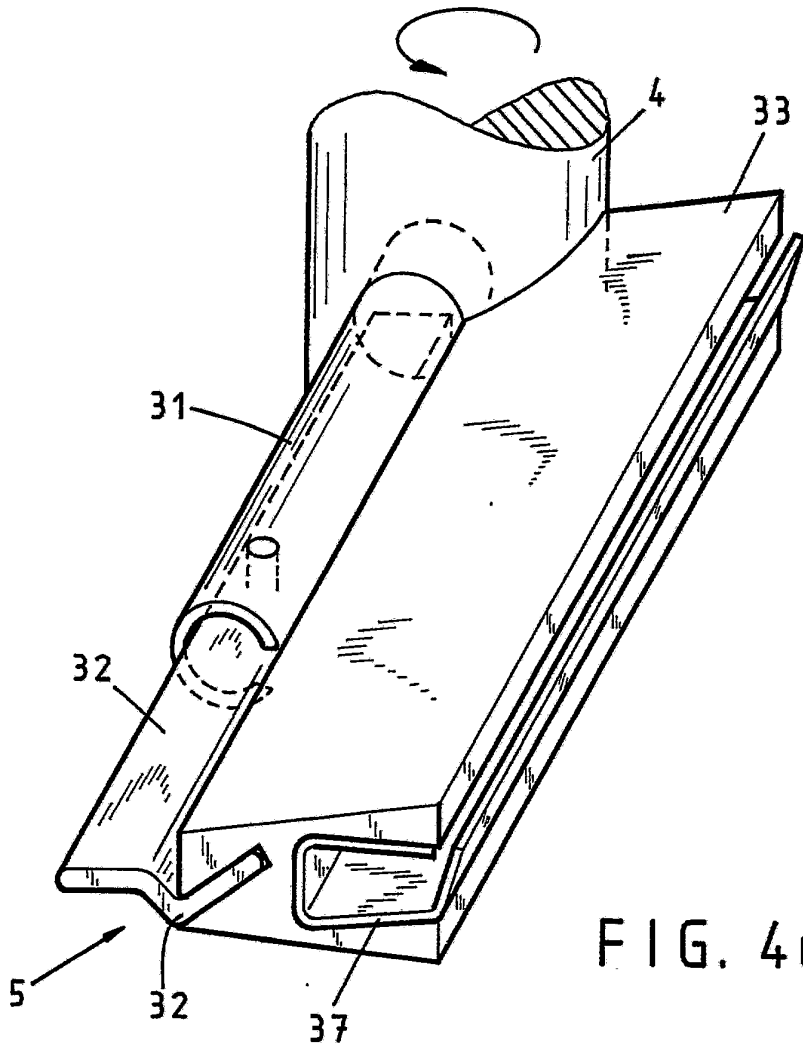


FIG. 4a

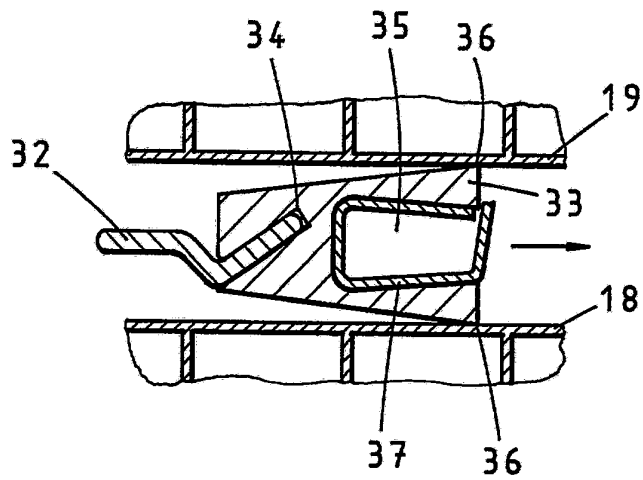


FIG. 4b