



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.03.2012 Patentblatt 2012/12

(51) Int Cl.:
F28D 9/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11007158.6**

(22) Anmeldetag: **03.09.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **17.09.2010 DE 102010045905**

(71) Anmelder: **Karlsruher Institut für Technologie**
76131 Karlsruhe (DE)

(72) Erfinder:
• **Schubert, Klaus**
76227 Karlsruhe (DE)
• **Wenka, Achim**
75196 Remchingen (DE)
• **Dittmeyer, Roland**
61440 Oberursel (DE)

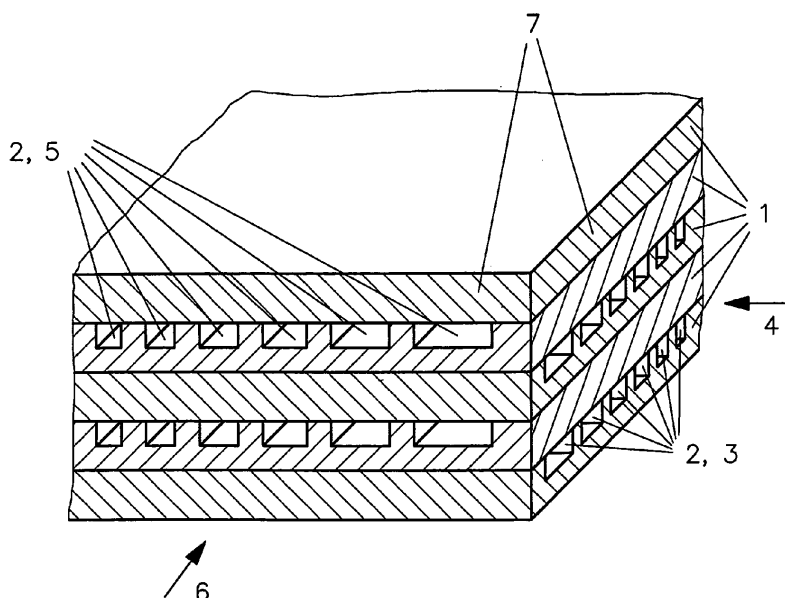
(74) Vertreter: **Weddigen, Andreas**
Karlsruher Institut für Technologie
INNOVATIONSMANAGEMENT
Postfach 36 40
76021 Karlsruhe (DE)

(54) **Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager**

(57) Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager zum schnellen Temperieren eines Fluidstroms in einer ersten Mikrokanalgruppe (3) durch einen Wärmeträgerfluidstrom in einer zweiten, die erste kreuzende Mikrokanalgruppe (5) jeweils mit einer Vielzahl an Mikrokanälen (2) mit jeweils einer Kanalbreite, einem Kanalabstand zu einem benachbarten Mikrokanal der gleichen Mikrokanalgruppe sowie einem Kanalquerschnitt. Die Aufgabe be-

steht darin, ein verbessertes Kreuzstromwärmeübertragungssystem vorzuschlagen, das insbesondere eine gleichförmige Temperierung der Fluide in allen Kanälen je Kanalgruppe ermöglicht. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Kanalbreite oder der Kanalquerschnitt für jeden Kanal beider Kanalgruppen stromaufwärts in Richtung der jeweils anderen Kanalgruppe hin gerichtet zunimmt.

Fig.1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kreuzstrom-Wärmeübertrager, vorzugsweise einen Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager gemäß des ersten Patentanspruchs.

[0002] Kreuzstrom-Wärmeübertrager sind in der Technik allgemein bekannt. Sie weisen einen Wärmetauschbereich auf, in dem ein Fluidstrom in einer ersten Kanalgruppe durch einen Wärmeträgerfluidstrom in einer zweiten, die erste kreuzenden Kanalgruppe temperiert wird. Jede der Kanalgruppen weist eine Vielzahl vorzugsweise über ihre gesamte Länge parallel verschalteter und vorzugsweise auch parallel verlaufender Kanäle auf. Vorzugsweise sind die Kanäle je Kanalgruppe - wie bei Kreuzstrom-Wärmeübertragern üblich - parallel zueinander und vorzugsweise geradlinig auf einer Ebene angeordnet. Üblicherweise sind die erste und zweite Kanalgruppe mit oder ohne Zwischenlagen ohne Kanäle ebenenweise abwechselnd angeordnet, d.h. eine Kühlung oder Aufheizung des Fluidstroms erfolgt durch Wärmeübertragung an den Kreuzungen, die damit die Wärmeübertragungsbereiche bilden. An jeder Kreuzung wird eine Wärmemenge übertragen, wobei der Fluidstrom in einem Kanal der ersten Kanalgruppe eine Vielzahl von Kreuzungen und damit Wärmeübertragungsbereiche passiert und sich die jeweils übertragenen Wärmemengen addieren. Die Gesamtheit der Kanäle einer Kanalgruppe bildet für sich vorzugsweise eine Passage durch den Kreuzstrom-Wärmeübertrager.

[0003] In der [1] wird beispielhaft neben anderen Bauformen ein Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager offenbart, bei dem die Mikrokanäle ebenenweise als eine Vielzahl paralleler Rillen einseitig in Metallfolien eingearbeitet sind. Die Folien werden vorzugsweise quadratisch ausgeschnitten und mit den Rillen kreuzweise abwechselnd um bevorzugte 90° verdreht gestapelt und durch Kleben, Löten oder Schweißen miteinander verbunden, wobei die mit Rillen strukturierten Folienseiten jeweils an einer unstrukturierten Seite der benachbarten Folie anliegen.

[0004] Alternativ zu einem Kreuzstromwärmeübertrager sind auch Gegenstrom- und Gleichstromwärmeübertrager bekannt, in denen sich die Kanäle des zu temperierenden Fluids und des Wärmeträgerfluids nicht kreuzen, sondern parallel zueinander geführt werden.

[0005] Für einen Einsatz von Kreuzstrom-Mikrowärmeübertragern der vorgenannten Art sprechen nicht nur die herausragenden thermischen Eigenschaften, beschrieben z.B. in [2], sondern auch die im Vergleich zu Gleich- oder Gegenstromwärmeübertragern einfacher, da nicht ineinander verschlungen zu realisierenden sowie verlustärmeren Zu- und Ableitungen der Fluidströme.

[0006] Der Nachteil eines Kreuzstromwärmeübertragers im Vergleich zu einem Gegenstrom- oder Gleichstromwärmeübertrager liegt darin, dass der zu temperierende Fluidstrom wegen des querströmenden Wärmeträgerfluids nicht in jedem Kanal gleich temperiert wird. Mit jedem Kreuzen zwischen zwei sich kreuzenden Kanälen kommt es zu einer Wärmeübertragung, die auch die Temperatur des Wärmeübertragungsfluids verändert.

[0007] Eine wirtschaftliche und in allen Kanälen einer jeden Kanalgruppe gleichförmige Temperierung, d.h. Erhitzung oder Abkühlung der Fluide ist in einem Kreuzstromwärmetauscher herkömmlicher Bauart ohne ein verzerrtes Temperaturprofil des zu temperierenden Fluidstroms am Austritt aus dem Kanälen praktisch nicht möglich. Da es bei jeder Kreuzung zweier Kanäle zu einer Übertragung von Wärme kommt, die bei einer nachfolgenden Kreuzung nicht mehr zur Verfügung steht, ist eine nahezu gleichförmige Temperierung des Fluids in allen Kanälen nur mit einem erheblichen Überschuss an Wärmeenergie im Wärmeträgerfluidstrom realisierbar. Dies kann nur mit einem signifikant erhöhten Massenstrom an Wärmeübertragungsfluid erfolgen, was nicht nur den Wirkungsgrad, sondern auch die Wirtschaftlichkeit reduziert.

[0008] Folglich liegt die **Aufgabe der Erfindung** darin, ein weiter verbessertes Kreuzstromwärmeübertragersystem vorzuschlagen, das die vorgenannten Einschränkungen nicht aufweist und insbesondere eine gleichförmige Temperierung der Fluide in allen Kanälen je Kanalgruppe ermöglicht.

[0009] Die Aufgabe wird durch einen Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen wieder.

[0010] Die Lösung der Aufgabe basiert auf einer Modifikation eines eingangs beschriebenen Kreuzstrom-Wärmeübertragers. Die Kanäle sind in zwei Kanalgruppen, jeweils eine erste Kanalgruppe für das zu temperierende Fluid und eine zweite Kanalgruppe für das Wärmeträgerfluid aufgeteilt. Die Kanäle sind ebenenweise angeordnet. Jede Ebene weist Kanäle nur einer Kanalgruppe auf, wobei die Ebenen und damit die Kanalgruppen - wie eingangs beschrieben - in bevorzugt abwechselnder Reihenfolge zu einem Wärmeübertrager gestapelt sind. Die Kanäle sind für jede Kanalgruppe parallel geschaltet und vorzugsweise auch parallel angeordnet, wobei unterschiedliche Kanalgruppen unterschiedlich ausgerichtet sind und sich die Kanäle somit kreuzen. Zwischenebenen ohne Kanäle oder benachbarte Ebenen mit Kanälen aus der gleichen Kanalgruppe sind im Rahmen der möglichen Ausführungsformen nicht ausgeschlossen. Wesentlich ist, dass sich zwei Kanäle aus benachbarten Ebenen mit unterschiedlicher Kanalgruppenzugehörigkeit kreuzen und in diesen Kreuzungen Wärmeübertragungsbereiche für eine Wärmeübertragung zwischen den angrenzenden Kanälen entstehen.

[0011] Vorzugsweise ist der Kreuzstrom-Wärmeübertrager als Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager gestaltet, wobei die Kanäle Mikrokanäle sind, mit engsten Querschnitten zwischen 0,001 mm² und 1 mm² sowie vorzugsweise mit engsten Querschnittsabmessungen zwischen 0,01 mm und 1 mm. Mikrowärmeübertrager sind vorzugsweise aus Platten- oder

Folienstapeln gefertigt, wobei die Mikrokanäle der Mikrokanalgruppen als Rillen einseitig oder beidseitig in die Platten oder Folien eingearbeitet und die Folien durch Pressung, Klebung, Lötung oder Schweißung zu einem Folienstapel zusammengefügt sind. Die Ein- und Austritte der Mikrokanäle sind seitlich, für jede Kanalgruppe bevorzugt auf einer eigenen Seitenfläche.

[0012] Die Grundidee liegt darin, die Fluidströme in allen Kanälen der ersten und zweiten Kanalgruppe allein durch geometrisch individuelle Gestaltung der Kreuzungen und damit der thermischen Übertragungswege in den Wärmeübertragungsbereichen in Summe gleich zu temperieren. Damit wird in vorteilhafter Weise in Summe eine gleiche Temperaturänderung des Fluidstroms in der ersten Kanalgruppe wie auch des Wärmeträgerfluidstroms in der zweiten Kanalgruppe realisiert. Damit werden die Austrittstemperaturen der zu temperierenden Fluide und des Wärmeträgerfluids in engen Temperaturintervallen gehalten. Die Gefahr von Unterkühlung oder Überhitzung von Fluidbestandteilen und damit Auskristallisation bzw. Dampfbildung wird wirksam reduziert. Dies ermöglicht in vorteilhafter Weise auch eine exaktere Einhaltung und Ausnutzung eines definierbaren Temperaturfensters und damit eine Verwendung von Fluiden mit Phasenübergängen nahe dem Temperaturfenster. Ferner weisen beide den Wärmeübertrager verlassende Fluidströme je Kanalgruppe eine homogene Temperatur auf und können ohne zwischengeschaltete Vermischerstufe direkt z.B. in einen Reaktor oder einen weiteren Wärmeübertrager eingeleitet werden. Der beanspruchte Kreuzstrom-Wärmeübertrager oder Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager eignet sich damit besonders für einen Einsatz in verfahrenstechnischen Prozessen, bei dem beide eingesetzten Fluide in beiden Mikrokanalgruppen und nicht nur das Fluid in der ersten Mikrokanalgruppe verfahrenstechnisch verändert werden.

[0013] Als Variationsparameter dienen nicht nur die spezifische Kontaktfläche der Fluidströme zu den Kanalwandungen, sondern auch die Fluidstromdichte oder der Massenstrom an den Kreuzungen.

[0014] Wesentlich ist, dass die Kanäle einer jeden Ebene für sich, d.h. beide Kanalgruppen unterschiedliche geometrische Abmessungen in ihren Kanälen (z.B. Querschnitt, Breite) und/oder in den Kanalabständen und/oder Stegbreiten aufweisen. Dabei nimmt in jeder Ebene die Kanalbreite oder der Kanalquerschnitt in stromaufwärts der jeweils anderen Kanalgruppe gelegener Richtung, d.h. zu den jeweiligen Fluideintritten der jeweils anderen Kanalgruppe hin zu. Durch diese Variation ändert man das Wärmeübertragungsverhalten in den Wärmeübertragungsbereichen der Kreuzungen.

[0015] Vorzugsweise wird die Aufgabe durch einen Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager gelöst, bei dem die Kanäle in beiden Kanalgruppen je Ebene mit unterschiedlichen, vorzugsweise abgestuften Querschnitten ausgebildet sind. Vorzugsweise sind die Tiefe der Mikrokanäle, d.h. die Rillentiefe in den einzelnen Folien oder Platten sowie die Stegbreite zwischen den Kanälen konstant, sodass die unterschiedlichen Querschnitte durch unterschiedliche Kanalbreiten realisiert werden.

[0016] Die Abstufung der Querschnitte und der vorgenannten Kanalbreiten je Ebene erfolgt vorzugsweise in kontinuierlichen Schritten mit jedem Kanal stets zu- oder abnehmend, wobei der Kanal mit dem größten Querschnitt bzw. der größten Breite nahe den Fluideintritten der jeweils kreuzenden Kanäle der anderen Kanalgruppe angeordnet ist. Die folgenden Kanäle auf der Ebene weisen stufenweise immer kleinere Querschnitte oder Breiten auf, wobei der Kanal mit dem kleinsten Querschnitt nahe den Fluidaustritten der jeweils kreuzenden Kanäle der anderen Kanalgruppe angeordnet ist.

[0017] Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert, das optional auch mit einzelnen oder allen vorgenannten Maßnahmen zusätzlich kombinierbar oder erweiterbar ist. Es zeigt

[0018] **Fig. 1** eine perspektivische abschnittsweise Darstellung eines Kreuzstrom-Mikrowärmeübertragers.

[0019] Der in **Fig. 1** dargestellte Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager besteht aus Folien **1** mit rillenförmigen geradlinig eingearbeiteten Kanälen **2** einer ersten Kanalgruppe **3** für ein zu temperierendes Fluid (Fluidstromrichtung **4**) sowie einer zweiten Kanalgruppe **5** für ein Wärmeträgerfluid (Fluidstromrichtung **6**). Die zum Betrachter hinweisenden Stirnflächen **7** umfassen jeweils die Fluideintritte. Zwischen zwei Kanälen einer Folie befindet sich ein Steg als Kanalbegrenzung sowie zur Kanaltrennung. Jede Folie mit Kanälen weist nur Kanäle einer Kanalgruppe auf und grenzt einseitig oder beidseitig vorzugsweise stets an Folien mit Kanälen der jeweils anderen Kanalgruppe an. Die Kanäle weisen gleiche Tiefen und unterschiedliche Breiten auf. Die Fluidanschlüsse des Kreuzstrom-Mikrowärmeübertragers sind in **Fig. 1** nicht dargestellt. Im Ausführungsbeispiel weisen alle Kanäle **2** beider Kanalgruppen eine Tiefe von 0,1 mm sowie eine Stegbreite zwischen den Mikrokanälen ebenfalls von 0,1 mm auf. Die Folien **1** bestehen im Ausführungsbeispiel aus VA-Stahl (18-8-Chrom-Nickel-Stahl) und weisen eine Stärke von 0,2 mm auf.

[0020] Im Folgenden wird die rechnerische Ermittlung der individuellen Abstufungen der Breiten und damit der Querschnitte der Mikrokanäle der beiden Kanalgruppen beschrieben. Die Querschnitte und Abstufungen sind im konkreten Ausführungsbeispiel für beide Kanalgruppen identisch, wobei sich die Anmeldung nicht nur auf diese Ausführungsform beschränkt. Die Berechnung erfolgt somit unter der Annahme, dass in beiden Kanalgruppen identische thermische Kapazitätsströme, z.B. die gleichen Massenströme des gleichen Fluids durchgesetzt werden. Dies wird insbesondere durch eine ähnliche oder gleiche Wärmeleitfähigkeit und Viskosität realisiert. Als Eintrittstemperaturen werden für die erste Kanalgruppe 8°C, für die zweite Kanalgruppe 95°C angenommen.

[0021] Für die Abstufung oder Verringerung der Breiten B_n der Mikrokanäle für beide Kanalgruppen gilt folgende Beziehung

$$B_n = \left(\frac{1}{4,1} - \frac{1}{208} \cdot n + \frac{1}{1,3 \cdot n^2} \right) \cdot B_1 \quad (1) .$$

[0022] Dabei ist n die laufende Nummer des Kanals ($n = 1, \dots, N$), beginnend mit dem breitesten Mikrokanal (Breite B_1 in mm) vorzugsweise parallel nahe den fluideintrittsseitigen Stirnflächen der kreuzenden Mikrokanäle. Ergibt sich für B_n ein Wert kleiner 0,05 mm, erfolgt vorzugsweise (und im Rahmen der vorliegenden Berechnung) eine Aufrundung dieses B_n -Wertes auf einen Wert von 0,05 mm.

[0023] Die Breite des breitesten Mikrokanals berechnet sich zu

$$B_1 = 10^{-3} \cdot (-3,3 \cdot N + 800) \cdot \frac{(0,314 - 0,815 \cdot \ln \lambda)}{0,69} \quad [\text{mm}] \quad (2) ,$$

wobei N die Gesamtzahl der Mikrokanäle pro Ebene (Folie) ist und zwischen 10 und 60 liegt sowie λ die Wärmeleitfähigkeit in W/mK des jeweiligen Fluids in den Kanälen. Die Stegbreiten sind zumindest für jede Kanalgruppe konstant und vorzugsweise im Bereich zwischen 10 und 15% von B_1 .

[0024] In analoger Weise, d.h. mit grundsätzlich den gleichen Formeln lassen sich anstelle der Abstufungen der Breite B_n auch die der Querschnittsflächen A_n der Kanäle berechnen. Die Stegbreite ist dabei zu korrigieren. Vorzugsweise wird hier der Kanalabstand zwischen den Mittellinien der einzelnen Kanäle herangezogen, der sich zu der Stegbreite zuzüglich der mit (1) berechneten Breite B_n bei einer zugrundeliegenden Kanaltiefe summiert.

[0025] Tab. 1 zeigt die unter den vorgenannten Annahmen und Beziehungen ermittelten Kanalbreiten B_n und die Austrittstemperaturen von kalter (Wärme aufnehmender) und warmer (Wärme abgebender) Kanalgruppe eines Kreuzstrom-Mikrowärmeübertragers, ausgelegt für Wasser ($\lambda = 0,5562$ W/mK). Bei dem Ausführungsbeispiel handelt es sich um einen Mikrowärmeübertrager im Kreuzstrom mit quadratischen Folien mit jeweils 34 Mikrokanälen. Die Tiefe der Mikrokanäle beträgt 0,1 mm, die Breite der Stege zwischen den Mikrokanälen 0,1 mm. Der Massendurchsatz pro Folie beträgt 1 kg/h, wobei die Folien eine Abmessung von 10 x 10 mm aufweisen und einseitig auf 8 mm Breite mit 0,1 mm tiefen Kanälen strukturiert sind.

[0026] Zudem ergibt sich, dass die Austrittstemperaturen bei der beschriebenen Ausführungsform mit abgestuften Kanalbreiten in allen Kanälen beider Kanalgruppen bis auf $\pm 4\%$ (Bezug auf $^{\circ}\text{C}$) und $\pm 0,6\%$ (Bezug auf Kelvin) gleich sind.

[0027] Für den Fall, dass ein größeres Temperaturintervall von $\pm 8\%$ (Bezug auf $^{\circ}\text{C}$) für die aus den Mikrokanälen austretenden Fluide einer Kanalgruppe tolerierbar ist, berechnen sich die Breiten mit $n = 1, \dots, N$ zu

$$B_n = \left(\frac{1}{n^{1/\sqrt{2}}} \right) \cdot B_1 \quad (3) .$$

Tabelle 1: Kanalbreiten und Austrittstemperaturen

Kanal-Nr.:	Kanal-breite	Austrittstemperatur kalte Passage		Austrittstemperatur warme Passage	
		in K	in $^{\circ}\text{C}$	in K	in $^{\circ}\text{C}$
Kanal 1	0,706	324,6	51,4	322,7	49,5
Kanal 2	0,299	322,7	49,5	325,5	52,3
Kanal 3	0,221	323,1	50,0	325,2	52,1
Kanal 4	0,191	323,2	50,0	325,4	52,2
Kanal 5	0,176	323,0	49,9	325,7	52,5
Kanal 6	0,166	322,8	49,7	326,0	52,9
Kanal 7	0,159	322,5	49,4	326,4	53,3
Kanal 8	0,153	322,3	49,1	326,8	53,7
Kanal 9	0,148	322,0	48,8	327,2	54,1

EP 2 431 700 A2

(fortgesetzt)

	Kanal-Nr.:	Kanal-breite	Austrittstemperatur kalte Passage		Austrittstemperatur warme Passage	
			in K	in °C	in K	in °C
5	Kanal 10	0,143	321,7	48,6	327,6	54,4
	Kanal 11	0,139	321,5	48,3	327,9	54,8
	Kanal 12	0,135	321,3	48,2	328,2	55,0
10	Kanal 13	0,131	321,2	48,0	328,4	55,3
	Kanal 14	0,127	321,1	47,9	328,6	55,4
	Kanal 15	0,123	321,0	47,9	328,7	55,5
15	Kanal 16	0,119	321,0	47,9	328,7	55,6
	Kanal 17	0,116	321,0	47,9	328,8	55,6
	Kanal 18	0,112	321,1	47,9	328,7	55,6
	Kanal 19	0,109	321,2	48,0	328,7	55,5
20	Kanal 20	0,105	321,3	48,2	328,5	55,3
	Kanal 21	0,102	321,5	48,4	328,3	55,2
	Kanal 22	0,098	321,8	48,6	328,0	54,9
25	Kanal 23	0,095	322,0	48,9	327,7	54,6
	Kanal 24	0,091	322,3	49,2	327,4	54,2
	Kanal 25	0,088	322,6	49,5	327,0	53,9
	Kanal 26	0,085	322,9	49,8	326,7	53,5
30	Kanal 27	0,081	323,3	50,1	326,3	53,1
	Kanal 28	0,078	323,6	50,4	325,9	52,7
	Kanal 29	0,074	323,9	50,8	325,5	52,4
35	Kanal 30	0,071	324,2	51,0	325,3	52,1
	Kanal 31	0,067	324,4	51,3	325,0	51,9
	Kanal 32	0,064	324,6	51,4	324,9	51,7
	Kanal 33	0,061	324,7	51,6	324,8	51,6
40	Kanal 34	0,057	324,7	51,6	324,8	51,6

Literatur:

[0028]

[1] DE 37 09 278 C2

[2] Schubert, K. et al.: Microstructure Devices for Applications in Thermal and Chemical Process Engineering; Microscale Thermophysical Eng. 5 (2001) S.17-39

Bezugszeichenliste:

[0029]

- 1 Folie
- 2 Kanal

- 3 erste Kanalgruppe
- 4 Fluidstromrichtung in der ersten Kanalgruppe
- 5 5 zweite Kanalgruppe
- 6 Fluidstromrichtung in der zweiten Kanalgruppe
- 7 Stirnfläche

Patentansprüche

1. Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager zum schnellen Temperieren eines Fluidstroms in einer ersten Mikrokanalgruppe (3) durch einen Wärmeträgerfluidstrom in einer zweiten, die erste kreuzende Mikrokanalgruppe (5) jeweils mit einer Vielzahl an Mikrokanälen (2) mit jeweils einer Kanalbreite, einem Kanalabstand zu einem benachbarten Mikrokanal der gleichen Mikrokanalgruppe sowie einem Kanalquerschnitt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kanalbreite oder der Kanalquerschnitt für jeden Kanal beider Kanalgruppen stromaufwärts in Richtung der jeweils anderen Kanalgruppe hin gerichtet zunimmt.

2. Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen zwei Mikrokanälen (2) einer Mikrokanalgruppe (3, 5) Stege angeordnet sind, die eine konstante Stegbreite aufweisen oder die Mikrokanäle je Mikrokanalgruppe einen konstanten Kanalabstand zueinander aufweisen.

3. Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Tiefen aller Mikrokanäle (2) gleich sind und die Breiten B_n der fortlaufend mit n ($n = 1, \dots, N$) bezeichneten Mikrokanäle für beide Mikrokanalgruppen sich ausgehend von einer ersten Kanalbreite B_1 gemäß einer Formel

$$B_n = \left(\frac{1}{4,1} - \frac{1}{208} \cdot n + \frac{1}{1,3 \cdot n^2} \right) \cdot B_1 \text{ berechnen, wobei sich } B_1 \text{ in Abhängigkeit der Gesamtzahl } N \text{ der Mikrokanäle und der Wärmeleitfähigkeit } \lambda \text{ sowohl des Fluids als auch des Wärmeträgerfluidstroms zu}$$

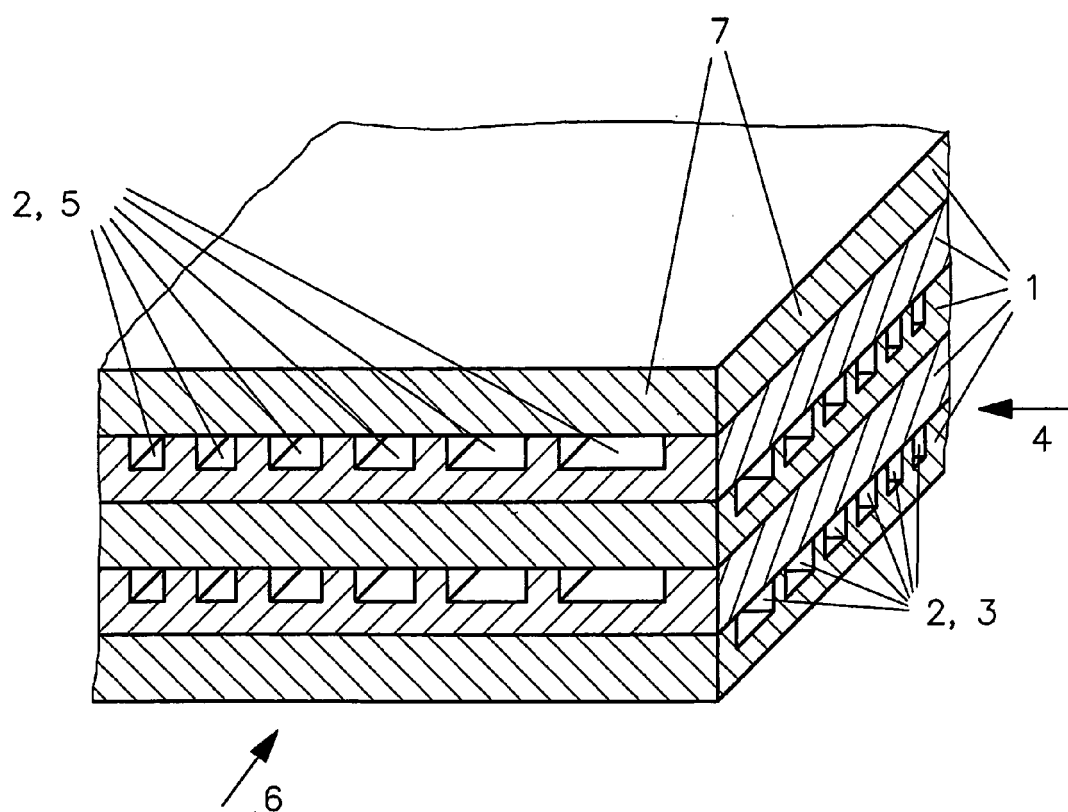
$$B_1 = 10^{-3} \cdot (-3,3 \cdot N + 800) \cdot \frac{(0,314 - 0,815 \cdot \ln \lambda)}{0,69} \text{ in Millimeter berechnet.}$$

4. Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gemäß der Formel berechneten Kanalbreiten B_n unterhalb eines Wert von 0,05 mm auf 0,05 mm aufgerundet werden.

5. Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Mikrokanal (2) einer Mikrokanalgruppe (3, 5) einen unveränderten Querschnitt aufweist.

6. Kreuzstrom-Mikrowärmeübertrager nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrokanäle (2) der Mikrokanalgruppen (3, 5) als Rillen einseitig oder beidseitig in Platten oder Folien (1) eingearbeitet und die Folien zu einem Folienstapel zusammengefügt sind.

Fig.1



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 3709278 C2 [0028]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **SCHUBERT, K. et al.** Microstructure Devices for Applications in Thermal and Chemical Process Engineering. *Microscale Thermophysical Eng.*, 2001, vol. 5, 17-39 [0028]