



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 046 867 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
07.04.2004 Patentblatt 2004/15

(51) Int Cl.7: **F24H 1/10**

(21) Anmeldenummer: **00107948.2**

(22) Anmeldetag: **14.04.2000**

(54) **Wärmeübertragung auf ein Fluid in einem Mikrostrukturkörper**

Heat transfer on a fluid in a microstructure body

Transfert de chaleur sur un fluide dans un corps de microstructure

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

(30) Priorität: **17.04.1999 DE 19917521**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.10.2000 Patentblatt 2000/43

(73) Patentinhaber: **Forschungszentrum Karlsruhe
GmbH
76133 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:
• **Schubert, Klaus, Dr.
76227 Karlsruhe (DE)**

• **Brandner, Jürgen
69115 Heidelberg (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A- 0 454 550 GB-A- 2 195 249
US-A- 5 690 763**

• **DANNENBERG F: "Application of reaction
kinetics to the denaturation of whey proteins in
heated milk" MILCHWISSENSCHAFT, VV GMBH
VOLKSWIRTSCHAFTLICHER VERLAG.
MÜNCHEN, DE, Bd. 43, Nr. 1, 1988, Seiten 3-7,
XP002142511 ISSN: 0026-3788**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 046 867 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Wärmeübertragung auf ein Fluid in einem Mikrostrukturkörper mit einer Vielzahl von Mikrokanälen für die Ab- und Zufuhr des Fluids sowie einem, die Wärmeenergie auf das Fluid übertragenden Energieträger und einen Mikrostrukturkörper zur Ausübung des Verfahrens.

[0002] Es ist bekannt, Fluide durch elektrisch beheizte Elemente zu erhitzen, was den Vorteil hat, das sich die Temperaturregelung bei der Wärmeübertragung schnell und einfach mit Hilfe einer elektrischen Leistungsregelung realisieren lässt. In allen Fällen werden die Fluide durch den direkten Kontakt mit dem elektrisch auf hohe Temperatur gebrachten Heizelement aufgeheizt. Zur Übertragung größerer Leistungen muß jedoch wegen der kleineren Oberflächen der konventionellen Heizelemente die treibende Temperaturdifferenz groß sein, das heisst die Oberflächentemperaturen der Heizelemente müssen sehr hoch sein. Dies kann problematisch sein, wenn Fluide erhitzt werden sollen, die sensitiv gegen hohe Temperaturen und/oder lokale Überhitzungen sind, z. B. Milch. Auch haben konventionelle elektrische Heizapparate relativ niedrige Aufheizraten, das heisst die erreichte Temperaturdifferenz pro Zeiteinheit ist gering und die Verweilzeiten sind, bedingt durch große aktive Wärmeübertragungsvolumina, relativ lang.

[0003] Aus der US 5.690.763 ist ein Verfahren zur Wärmeübertragung auf ein Fluid in einem Mikrostrukturkörper mit einer Vielzahl von Mikrokanälen für die Ab- und Zufuhr des Fluids, sowie einem die Wärmeenergie auf das Fluid übertragenden Energieträger bekannt, wobei ein Teil des Mikrostrukturkörpers durch direkte oder indirekte ohmsche elektrisch Erwärmung aufgeheizt und die entstandene Wärme durch Wärmeleitung innerhalb des Mikrostrukturkörpers auf das zu erwärmende Fluid übertragen wird. Ebenso wird ein schichtweise aufgebauter Mikrostrukturkörper mit einem elektrischen Heizkörper offenbart, der innerhalb des Mikrostrukturkörpers elektrische Energie direkt in Wärme umgewandelt und dann durch Wärmeleistung auf das zu erwärmende Fluid überträgt.

[0004] Ausgehend davon ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren mit einem Mikrostrukturapparat zu schaffen, mittels welchem Fluide mit kleinen Aufheizraten, kurzen Verweilzeiten und exakter Temperatursteuerung bei gleichzeitig technisch relevanten Durchsätzen aufgeheizt werden können. Unter Fluiden sind dabei sowohl Gase als auch Flüssigkeiten zu verstehen. Die Temperaturdifferenz zwischen dem zu erhitzenden Medium und der Oberfläche, von der die Leistung auf das Fluid übertragen wird, soll für bestimmte Anwendungen klein gehalten werden können.

[0005] Zur Lösung der Aufgabe schlägt die Erfindung die Merkmale vor, die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angeführt sind. Weitere vorteilhafte

Merkmale zur Lösung sind in den kennzeichnenden Teilen der Unteransprüche angeführt.

[0006] Einzelheiten der vorliegenden Erfindung werden im folgenden und anhand der Figuren 1 und 2 näher erläutert. Es zeigen:

die Figur 1 die schematische Darstellung eines elektrisch beheizten Mikrostrukturkörpers und

die Figur 2 die weitere Ausführung eines solchen.

[0007] Mikrostrukturkörper mit Mikrokanälen bestehen im allgemeinen aus einem Stapel diffusionsverschweißter Metallfolien mit Foliendicken von z. B. 100 µm. In diese Metallfolien werden mit Hilfe formgeschliffener Werkzeuge die parallel zueinander verlaufenden Mikrokanäle für Fluidpassagen gegebenfalls für eine zu erhitzende Flüssigkeit eingebracht. Die minimal zu realisierenden Kanalabmessungen liegen im Bereich von 10 µm. Die geometrische Form der Mikrokanäle ist frei wählbar. So sind zum Beispiel Rechteck- sowie auch kreisförmige Querschnitte möglich. Die Mikrokanäle können dabei auch unterschiedliche Abmessungen aufweisen. Um gleiche Durchflußmengenströme in den einzelnen Mikrokanälen einer Fluidpassage zu gewährleisten, sind die Mikrokanäle einer solchen Fluidpassage untereinander gleich. Der charakteristische hydraulische Kanaldurchmesser von Mikrokanälen einer Fluidpassage i ergibt sich zum Beispiel aus der Beziehung:

$$d_i = 4A_i / U_i,$$

wobei

d_i = hydraulischer Durchmesser der Kanäle der Fluidpassage i

A_i = durchströmter Kanalquerschnitt der Fluidpassage i

U_i = benetzter Kanalumfang der Fluidpassage i

ist.

[0008] Mikrostrukturkörper der genannten Art sind allgemein dadurch gekennzeichnet, daß entweder die charakteristischen hydraulischen Kanaldurchmesser d_i oder die Kanalabmessungen a_i , wobei a_i die größte Abmessung eines Mikrokanals senkrecht zur Fluidpassage i ist, aller Mikrokanäle zumindest einer Fluidpassage i kleiner 1000 µm sind. Die kleinste Wandstärke b_i , das heisst der geringste Abstand zwischen einzelnen Fluidpassagen ist ebenfalls kleiner 1000 µm, vorzugsweise kleiner 200 µm zu wählen. Diese Aussagen gelten auch für den Fall, daß die Mikrokanäle einer Fluidpassage i untereinander unterschiedlich groß sind.

[0009] Die deutliche Erhöhung der Wärmeübertragungsleistung in solchen Mikrostrukturkörpern beruht darauf, daß durch die kleinen hydraulischen Kanal-

durchmesser d_i , vor allem aber durch die kleinen Kanalabmessungen a_i , die Transportwege für zu übertragenden Wärmeströme sehr kurz sind. Gegenüber Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. 1000 W/K m in konventionellen Wärmeübertragern ergeben sich in Mikrostrukturkörpern zur Wärmeübertragung Werte in der Größenordnung 20000 W/K m, bei Fluidpassagen mit $d_i = 80 \mu\text{m}$, $a_i = 70 \mu\text{m}$. Die spezifische Wärmeübertragungsfläche kann dabei Werte größer 100 cm^2/cm^3 erreichen. Daraus resultiert insgesamt eine Steigerung der volumenspezifischen Wärmeübertragungsleistung um mindestens einen Faktor 100 gegenüber konventionellen Wärmeübertragern.

[0010] Aus gewonnenen experimentellen Daten von Mikrostrukturkörpern zur Wärmeübertragung ergeben sich bei Verweilzeiten herunter bis zu wenigen Millisekunden Aufheizraten von bis zu 10000 K pro Sekunde. Daher kann ein Flüssigkeitsstrom von 400 kg/h in einem Mikrostrukturkörper von 1 cm^3 aktivem Volumen bei 6 bar Eintritts- und 1 bar Austrittsdruck in 3 Millisekunden um 30°K erhitzt werden. Für größere Mikrostrukturkörper mit 27 cm^3 aktivem Volumen ergeben sich ein Durchsätze von ca. 4000 kg/h. Unter dem aktiven Volumen eines Mikrostrukturkörpers ist das Volumen im Inneren zu verstehen, in welchem die Mikrokanäle verlaufen, wobei das Volumen von Deck- und Seitenplatten sowie das der Anschlüsse nicht mitgerechnet ist.

[0011] Nach dem neuen Verfahren wird das zu erhitzende Fluid durch mindestens eine Ebene bzw. Schicht eines Mikrostrukturkörpers mit einer Vielzahl von nebeneinanderliegenden Mikrokanälen bzw. Mikrodurchbrüchen geleitet, deren Querabmessungen wie bereits erwähnt kleiner 1000 μm sind, bevorzugt kleiner 500 μm , wobei unmittelbar angrenzend an diese fluidführende Ebene mindestens eine Schicht mit mindestens einem elektrisch beheizten Heizelement angeordnet ist, welches gegenüber dem Material der Fluidebene elektrisch isoliert ist. Für größere Durchsätze sind viele Ebenen bzw. Schichten mit Mikrodurchbrüchen für die Fluide abwechselnd mit Schichten mit elektrisch beheizten Heizelementen zu einer kompakten Einheit angeordnet, wie in den später beschriebenen Figuren 1 und 2 prinzipiell gezeigt.

[0012] Die Heizelemente können je nach Anwendung bezüglich des Stromflusses in Reihe oder parallel oder in einer Kombination davon geschaltet werden. Zur Erzeugung eines aufgeprägten Temperaturprofils in Strömungsrichtung des zu erwärmenden Fluides können in den Heizschichten mehrere Heizelemente, -in Strömungsrichtung gesehen-, hintereinander angeordnet werden, die unterschiedliche elektrische Leistungen abgeben. Damit können die fluidführenden Mikrostrukturen, -wieder in Strömungsrichtung gesehen-, auf unterschiedliche Temperaturen aufgeheizt werden. Dadurch kann ein Temperaturprofil in dem Mikrostrukturkörper zur Ausübung eines Verfahrens in dem strömenden Fluid erzeugt werden. Dies kann dann von Bedeutung sein, wenn z. B. in dem Mikrostrukturkörper ein

chemischer, endothermer Prozeß geführt wird, bei dem die Temperatur in Strömungsrichtung erst konstant gehalten und danach gezielt erhöht werden muß.

[0013] In der Figur 1 ist nun ein solcher Mikrostrukturkörper 1 schematisch dargestellt, in den elf Foliendoppelstücke eingebaut sind, die jeweils zusammengeschweißt und übereinander gestapelt elf Reihen von Mikrokanälen 2 ergeben. Jedes der Foliendoppelstücke enthält eine Vielzahl von Mikrokanälen mit 150 μm Breite und Höhe sowie einer Länge von 22 mm. Ihr hydraulischer Durchmesser liegt bei 133 μm . Die elf zusammengeschweißten Foliendoppelstücke sind jeweils an ihren Rändern übereinander mit zehn Abstandsstücken 3 zu einem Block verschweißt, so daß durch die Abstandstücke 3 flache Hohlräume 4 zwischen den Foliendoppelstücken gebildet werden, in welche plattenförmige, keramische elektrische Heizelemente 5 eingesetzt werden. Auf die Stirnseiten des Mikrostrukturkörpers 1 mit den Öffnungen der Mikrokanäle 2 sind hohle Adapterstücke 6 gesetzt, durch welche das zu erwärmende Fluid 7 in die Mikrokanäle 2 geleitet wird. Der Mikrostrukturkörper 1 ist oben und unten mit zwei Endplatten 7 komplettiert, die mit den Strukturen der Foliendoppelstücke sowie der Abstandsstücke 3 zu einem geschlossenen Block diffusionsverschweißt sind.

[0014] Als Material für direkt einsetzbare Heizelemente 5 werden neben der bereits erwähnten elektrisch leitfähigen Keramik Materialien mit einem relativ hohen spezifischen Widerstand verwendet. In Frage kommen neben anderem z. B. Tantal, Titan, Wolfram, Konstantan und Fecralloy, wobei letzteres auf seiner Oberfläche eine Chromoxyd-Aluminiumoxyd-Schutzschicht ausbildet, die eine natürliche Isolierung bildet. Letztlich können die beheizten Schichten oder Heizelemente aber auch aus einem anderen Metall bzw. einer Metalllegierung mit einer Oxydschicht auf der Oberfläche zur Isolierung bestehen.

[0015] Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Mikrostrukturkörpers ist in der Figur 2 dargestellt. Bei diesem Mikrostrukturkörper 13 werden Widerstandsheizpatronen 9 zum Heizen verwendet. Zwischen zwei Stahlplatten 10 als Deckel und Boden des Mikrostrukturkörpers sind jeweils mehrere mit Mikrokanälen 14 strukturierte Stahlfolien 11 und Abstandsstücke 12 als beheizte Schichten in alternierender Ordnung übereinandergeschichtet und miteinander diffusionsverschweißt. In die mikrostrukturierten Folien 11 sind jeweils eine Vielzahl von Mikrokanälen 14 für das Fluid 7 mit etwa den bereits angeführten Abmessungen eingebracht. Die Heizpatronen 9 sind in Bohrungen der Abstandsstücke 12 eingeschoben. Der Fluidanschluß an die Mikrokanäle 14 erfolgt mittels nicht dargestellter Standardfittings die als Verbindungsstücke dienen. Abhängig von der Zahl und der Leistung der Heizpatronen 9 kann die Gesamtleistung eines solchen Mikrostrukturkörpers 13 im Bereich von einigen 100W bis zu mehreren kW liegen.

Bezugszeichenliste:

[0016]

- | | | |
|----|---------------------------------------|----|
| 1 | Mikrostrukturkörper | 5 |
| 2 | Mikrokanäle | |
| 3 | Abstandsstücke | |
| 4 | Hohlräume | |
| 5 | Heizelemente | |
| 6 | Adapterstücke | 10 |
| 7 | Fluid | |
| 8 | Endplatten | |
| 9 | Heizpatronen | |
| 10 | Stahlplatten | |
| 11 | Folien | 15 |
| 12 | Abstandsstücke als beheizte Schichten | |
| 13 | Mikrostrukturkörper | |
| 14 | Mikrokanäle | |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Wärmeübertragung auf ein Fluid in einem Mikrostrukturkörper mit einer Vielzahl von Mikrokanälen für die Ab- und Zufuhr des Fluids, sowie einem die Wärmeenergie auf das Fluid übertragenden Energieträger, wobei ein Teil des Mikrostrukturkörpers durch direkte oder indirekte ohmsche elektrisch Erwärmung aufgeheizt und die entstandene Wärme durch Wärmeleitung innerhalb des Mikrostrukturkörpers auf das zu erwärmende Fluid übertragen wird
dadurch gekennzeichnet, dass
 zur Erzeugung eines aufgeprägten Temperaturprofils in Strömungsrichtung des zu erwärmenden Fluides mit unterschiedlicher elektrischer Leistung geheizt wird und damit unterschiedliche Wärmemengen übertragen werden.
 2. Mikrostrukturkörper zur Ausübung eines Verfahrens nach Anspruch 1 mit einem primären Energieträger und einem sekundären Fluid als Medium zur Abfuhr der im Mikrowärmetauscher freigesetzten Wärme, wobei
 - a) der Energieträger elektrischer Strom ist, der innerhalb des Mikrostrukturkörpers (1, 13) direkt in Wärme umgewandelt und dann durch Wärmeleitung auf das zu erwärmende Fluid (7) übertragen wird sowie
 - b) der Mikrostrukturkörper schichtweise aufgebaut ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
 c) zwischen mindestens jeweils einer, Mikrokanäle für das Fluid aufweisenden Schicht (11) mindestens eine elektrisch direkt oder indirekt beheizte Schicht (12 und 4, 5) angeordnet ist sowie

d) in Strömungsrichtung des zu erwärmenden Fluides gesehen, beheizte Schichten (12) oder Heizelemente (5, 9) mit unterschiedlichen elektrischen Leistungen angeordnet sind.

3. Mikrostrukturkörper nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beheizten Schichten (12) oder Heizelemente (5, 9) aus Fecralloy oder einem anderen Metall bzw. einer Metalllegierung mit einer Oxydschicht auf der Oberfläche zur Isolierung bestehen.

Claims

1. Method of transferring heat to a fluid in a microstructure body having a plurality of microchannels for removing and supplying the fluid, as well as an energy carrier which transfers the heat energy to the fluid, a portion of the microstructure body being heated up by direct or indirect ohmic electrical heating and the heat produced being transferred by heat conduction inside the microstructure body to the fluid to be heated,
characterised in that
 in order to generate a distinct temperature profile in the direction of flow of the fluid to be heated, differing electrical power is used for heating and thus differing quantities of heat are transferred.
 2. Microstructure body for carrying out a method according to claim 1, having a primary energy carrier and a secondary fluid as the medium for carrying away the heat released in the micro heat exchanger, wherein
 - a) the energy carrier is electrical current which is converted directly into heat inside the microstructure body (1, 13) and is then transferred by heat conduction to the fluid (7) to be heated, and
 - b) the microstructure body is constructed in layers,
characterised in that
 c) between at least respectively one layer (11) having microchannels for the fluid, at least one electrically directly or indirectly heated layer (12 and 4, 5) is disposed, and
 - d) when viewed in the direction of flow of the fluid to be heated, heated layers (12) or heating elements (5, 9) are disposed which have differing electrical power.
 3. Microstructure body according to claim 2, **characterised in that** the heated layers (12) or heating elements (5, 9) are formed from Fecralloy or some other metal or a metal alloy with an oxide layer on the surface for insulation.

Revendications

1. Procédé pour transmettre la chaleur à un fluide dans un corps à microstructure comportant un grand nombre de microcanaux destinés à évacuer et à apporter le fluide, ainsi qu'une source d'énergie qui transmet l'énergie thermique au fluide, une partie du corps à microstructure étant chauffée électriquement par chauffage ohmique direct ou indirect et la chaleur obtenue étant transmise au fluide à chauffer par conduction thermique à l'intérieur du corps à microstructure, 5
caractérisé en ce que
 pour produire un profil de température marqué en direction d'écoulement du fluide à chauffer, on chauffe à l'aide d'une puissance électrique différente et on transmet par conséquent différentes quantités de chaleur. 10
2. Corps à microstructure pour exécuter un procédé selon la revendication 1, comportant une source d'énergie primaire et un fluide secondaire en tant que moyen destiné à évacuer la chaleur libérée dans le micro-échangeur de chaleur, dans lequel 20
 a) la source d'énergie est un courant électrique qui est directement transformé en chaleur à l'intérieur du corps à microstructure (1, 13) et qui est ensuite transmis par conduction thermique au fluide (7) à chauffer et 25
 b) le corps à microstructure présente une structure à couches, 30
caractérisé en ce que
 c) au moins une couche (12 et 4, 5), chauffée directement ou indirectement à l'électricité, est placée à chaque fois entre au moins une couche (11) qui présente des microcanaux pour le fluide et 35
 d) des couches (12) ou des éléments de chauffage (5, 9) chauffés dont les puissances électriques sont différentes sont disposés dans la direction d'écoulement du fluide à chauffer. 40
3. Corps à microstructure selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** 45
 les couches (12) ou les éléments de chauffage (5, 9) chauffés sont en un alliage Fr-Cr ou en un autre métal ou un alliage métallique comportant à la surface une couche d'oxyde destinée à l'isolation. 50

55

Fig. 1

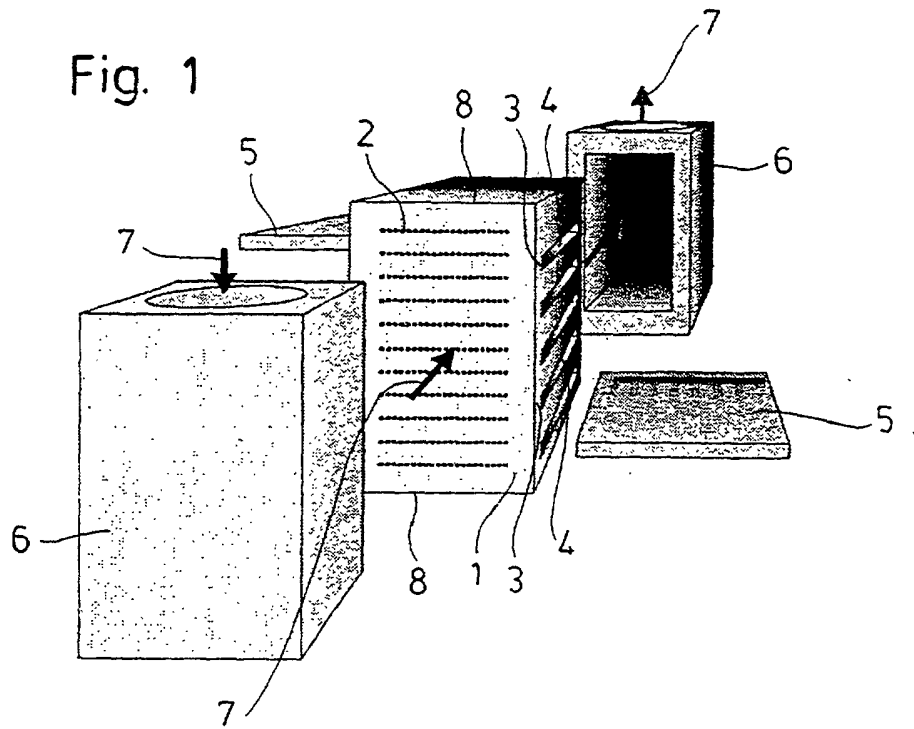


Fig. 2

