

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 999 367 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
12.02.2003 Patentblatt 2003/07

(51) Int Cl.7: **F15D 1/06**

(21) Anmeldenummer: **98811112.6**

(22) Anmeldetag: **06.11.1998**

(54) **Strömungskanal mit Querschnittssprung**

Flow conduit with cross-section discontinuity

Conduit d'écoulement à discontinuité de section transversale

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.05.2000 Patentblatt 2000/19

(73) Patentinhaber: **ALSTOM (Switzerland) Ltd**
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:
• **Eroglu, Adnan Dr.**
5417 Untersiggenthal (CH)
• **Joos, Franz Dr.**
79809 Weilheim-Bannholz (DE)
• **Keller, Jakob Prof.Dr.**
5610 Wohlen (CH)
• **Paikert, Bettina Dr.**
5452 Oberrohrdorf (CH)

• **Paschereit, Christian Oliver Dr.**
5400 Baden (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 321 379 EP-A- 0 410 924
EP-A- 0 669 500 EP-A- 0 745 809
DE-A- 3 328 973 US-A- 3 974 646
US-A- 5 133 519

• **DATABASE WPI Section PQ, Week 88341988**
Derwent Publications Ltd., London, GB; Class
Q73, AN 88-240946 XP002099529 & SU 1 370 370
A (MID ASIA GAS) , 30. Januar 1988
• **BARDAKHANOV S P ET AL: "SUSCEPTIBILITY**
OF TURBULENT SEPARATING FLOW
DOWNSTREAM OF A STEP TO ACOUSTIC
PERTURBATIONS" FLUID MECH SOV RES
JUL-AUG 1986, Bd. 15, Nr. 4, Juli 1986, Seiten
9-14, XP002099528

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 0 999 367 B1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Wärmeerzeuger, in welchen Wärmeerzeuger im Betrieb durch einen Strömungskanal ein Medium einströmt, wobei der Strömungskanal mindestens eine unstetige Querschnittserweiterung in Richtung einer Hauptströmung aufweist, dergestalt, dass mindestens eine den Strömungskanal begrenzende Wand eine im Wesentlichen quer zur Hauptströmungsrichtung verlaufende Stufe aufweist.

Stand der Technik

[0002] In der Verbrennungstechnik ist es häufig notwendig, mit stark unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten zu arbeiten. Während in den Wärmeerzeugern selbst die Strömungsgeschwindigkeit aus Gründen der Flammenstabilität auf recht niedrige Werte begrenzt ist, ist es aus verschiedenen Gründen oft notwendig, die Zuströmung zu den Wärmeerzeugern mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten auszuführen. Aufgrund der Anforderungen an die Baugrösse ist es meist nicht möglich, die Anströmung eines Wärmeerzeugers kontinuierlich zu verzögern. Sehr häufig werden daher Stossdiffusoren mit unstetigen Querschnittserweiterungen eingesetzt, die zwar erhebliche Totaldruckverluste verursachen, aber sehr kompakt bauen. Weiterhin sind in Stossdiffusoren erzeugte Rückströmungen insbesondere in Wärmeerzeugern zur Flammenstabilisierung durchaus erwünscht. Ein Wärmeerzeuger, der durch Querschnittssprünge im Strömungskanal verursachte Rückströmungen zur Flammenstabilisierung nutzt, ist aus der EP 669 500 bekannt.

[0003] Gleichwohl können Wirbelstrukturen, die in Stossdiffusoren entstehen, unter bestimmten Bedingungen auch extrem schädliche Folgen nach sich ziehen, insbesondere dann, wenn der Stossdiffusor einfach als unstetige Querschnittserweiterung eines Strömungskanals ausgelegt ist. In diesem Fall existiert im Strömungskanal eine wesentlich quer zur Hauptströmung verlaufende Stufe, die als Abrisskante der Strömung fungiert. Bei einer hinreichend grossen Geschwindigkeit der Anströmung dieser Kante bilden sich parallel zu dieser Kante verlaufende periodische Ablösewirbel. Die so entstehenden kohärenten Wirbelstrukturen können sich weitgehend ungedämpft in Strömungsrichtung ausbreiten. Erreichen diese periodischen Wirbelstrukturen den Ort der Wärmezufuhr - im allgemeinen die Flamme - so werden die periodischen Druckschwankungen, in denen sich die Wirbel manifestieren, aufgrund der resultierenden starken Volumenausdehnung verstärkt. Im Resultat entstehen thermoakustische Schwingungen hoher Amplitude, die eine hohe Schwingungsenergie in einem schmalen Frequenzband konzentrieren, und die Struktur eines Wär-

meerzeugers potentiell nachhaltig schädigen.

[0004] Gerade in der modernen Gasturbinentechnik, wo lokal hohe Strömungsgeschwindigkeiten, hohe Wärmefreisetzungsraten, und hohe Drücke vorliegen, spielen diese thermoakustischen Schwingungen eine entscheidende Rolle beim sicheren Betrieb der Brennkammern, und ihre Beherrschbarkeit ist eine wesentliche Voraussetzung zum Bau von Gasturbinen- und Kombi-Kraftwerken.

Darstellung der Erfindung

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es also, in einem Wärmeerzeuger, in welchen Wärmeerzeuger im Betrieb durch einen Strömungskanal ein Medium einströmt, wobei der Strömungskanal mindestens eine unstetige Querschnittserweiterung in Richtung einer Hauptströmung aufweist, dergestalt, dass mindestens eine den Strömungskanal begrenzende Wand eine im Wesentlichen quer zur Hauptströmungsrichtung verlaufende Stufe aufweist, die Entstehung der oben diskutierten hohen Druckschwankungen in einem engen Frequenzbereich zu verhindern.

[0006] Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass stromauf der Stufe eine Anzahl wirbelerzeugender Elemente angeordnet sind, wobei die wirbelerzeugenden Elemente zueinander beabstandet mit einem lateralen Teilungsmass auf einer quer zur Hauptströmungsrichtung verlaufenden Linie angeordnet sind, und, dass zur Störung kohärenter periodischer Ablösewirbel, deren Ablösefrequenz unterhalb einer Grenzfrequenz liegt, das laterale Teilungsmass kleiner als die halbe Wellenlänge ist, die der Grenzfrequenz in der Hauptströmung stromab der Stufe zugeordnet ist, so, dass die Bedingung

$$t \leq \frac{u_c}{2f_G}$$

erfüllt ist, in welcher Beziehung t das laterale Teilungsmass der Anordnung der wirbelerzeugenden Elemente, u_c die Geschwindigkeit der Hauptströmung stromab der Stufe, und f_G die Grenzfrequenz darstellen. Aufgrund der Störungen, die diese in die Anströmung einbringen, liegt an der Stufe kein homogenes Strömungsfeld vor, so, dass an der Stufe keine Ablösewirbel mehr auftreten können, die über die gesamte Quererstreckung der Stufe eine konstante Phasenlage aufweisen. Somit werden Gradienten des Strömungsfeldes quer zur Hauptströmungsrichtung induziert, wodurch die Ablösewirbel einerseits wesentlich schneller dissipiert werden; zudem erreichen Ablösewirbel die Flamme nicht mehr in Phase, wodurch die Entstehung der eingangs beschriebenen schädlichen thermoakustischen Schwingungen wirksam verhindert wird.

[0007] Zudem ist es vorteilhaft, wenn die wirbelerzeugenden Elemente nicht weiter als 20% des lateralen Teil-

lungsmasses stromauf der Stufe angeordnet sind, damit diese Wirbel nicht vor dem Erreichen der Stufe selbst dissipiert werden.

[0008] Weiterhin sollte die Höhe der wirbelerzeugenden Elemente nicht mehr als 20% des Teilungsmasses betragen, um keine übermässigen Druckverluste zu verursachen; das Einbringen von Wirbeln in die Grenzschicht ist bereits ausreichend, um den angestrebten Effekt zu erreichen.

[0009] Es ist weiterhin von Vorteil, die wirbelerzeugenden Elemente eine geringe Strecke in Strömungsrichtung gegeneinander zu versetzen, um die Phase der Wirbel relativ zueinander zu verschieben, und die Dämpfung weiter zu verbessern.

[0010] Eine Vorzugsgeometrie der Wirbelerzeuger ist in der EP 0 745 809 A1 beschrieben.

[0011] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0012]

Fig. 1 zeigt ein Beispiel für die erfindungsgemässe Ausführung einer Wand eines Strömungskanals mit einer Stufe und wirbelerzeugenden Elementen.

Fig. 2 und 3 zeigen alternative Anordnungen von wirbelerzeugenden Elementen.

Fig. 4 zeigt eine bevorzugte Geometrie der wirbelerzeugenden Elemente.

Weg zur Ausführung der Erfindung

[0013] In Fig. 1 ist eine Wand 8 eines Strömungskanals dargestellt, der von einer Strömung in Richtung des mit U gekennzeichneten Pfeils durchströmt wird. Aus der im wesentlichen quer zur Richtung der Hauptströmung U verlaufenden Stufe 10 der Wand 8 resultiert eine unstetige Querschnittserweiterung des Strömungskanals, an der es zur Strömungsablösung kommt. Dabei ist die dargestellte Geometrie als senkrechte Stufe nicht zwingend; die Stufe kann durchaus auch eine negative oder positive Hinterschneidung aufweisen, wobei insbesondere im Falle einer negativen Hinterschneidung die Baulänge einen begrenzenden Faktor darstellt.

[0014] Beim Überströmen einer solchen Stufe durch eine Strömung hoher Geschwindigkeit kommt es zu periodischen Ablösungen. Insbesondere über einer quer zur Anströmung glatten Stufe bilden sich kohärente Ablösewirbel, deren Phasenlage über die gesamte Quererstreckung nahezu konstant ist, und die, wie eingangs beschrieben, sich nahezu ungedämpft in Richtung der Hauptströmung ausbreiten. Treffen die Ablösewirbel auf den Ort der Wärmezufuhr, werden die mit ihnen verbundenen Druckschwankungen verstärkt, und es entstehen die eingangs beschriebenen thermoakustischen

Schwingungen.

[0015] Die Bildung der kohärenten Ablösewirbel kann vermieden werden, indem stromauf der Stufe wirbelerzeugende Elemente 20 auf einer quer zur Hauptströmung verlaufenden Linie angeordnet werden. An den Spitzen 218 der wirbelerzeugenden Elemente 20, welche mit einem lateralen Teilungsmass t angeordnet sind, entstehen Ablösewirbel, welche das Entstehen von kohärenten Ablösewirbeln vermeidet, deren Abstand voneinander in der Hauptströmung stromab der Stufe grösser als das doppelte Teilungsmass t ist. Ablösefrequenzen, die grösser als eine Grenzfrequenz f_G sind, wobei f_G durch den Zusammenhang $f_G = \frac{u_C}{2t}$ werden somit wirkungsvoll gedämpft. u_C ist in dieser Gleichung die Konvektionsgeschwindigkeit der Ablösewirbel, also die Geschwindigkeit der Hauptströmung stromab der Stufe.

[0016] Wie aus den physikalischen Zusammenhängen leicht erkennbar ist, kann für das Teilungsmass eine recht grosse Toleranz gewählt werden: Ein gleichmässiger Abstand zwischen den wirbelerzeugenden Elementen ist nicht erfindungswesentlich.

[0017] Die Höhe h der wirbelerzeugenden Elemente wird mit Vorteil recht klein gewählt, um keine unerwünschten Druckverluste zu erzeugen. Ein Mass $h = 0.2t$ ist vollkommen ausreichend, denn erfindungsgemäss sollen keine Wirbel in der Hauptströmung induziert werden, sondern es werden lediglich kleine Wirbel erzeugt, die mit den Ablösewirbeln an der Stufe interferieren und deren laterale Kohärenz stören. Somit genügt eine Beeinflussung eines Teils der Grenzschicht zur erfindungsgemässen Funktion der Erfindung. Selbstverständlich kann die Grösse der wirbelerzeugenden Elemente in weiten Grenzen liegen, und muss zur Erfüllung der Aufgabenstellung die oben gestellte Bedingung nicht unbedingt erfüllen; jedoch sind die wirbelerzeugenden Elemente dann weniger effizient.

[0018] Fig. 2 zeigt eine alternative Anordnung der wirbelerzeugenden Elemente. Diese müssen nicht notwendigerweise wie in Fig. 1 dargestellt unmittelbar an der Stufe angeordnet sein, sondern ihre Spitzen 218 können durchaus auch eine Strecke s Stromauf der Stufe angeordnet sein, wobei diese Strecke s durchaus nicht immer gleich gross sein muss: Unterschiedliche wirbelerzeugende Elemente können in Hauptströmungsrichtung unterschiedliche Lagen haben. Bevorzugt beträgt jedoch das Mass s für das am weitesten stromauf liegende Element nicht mehr als 20% des Teilungsmass t .

[0019] Wie in Fig. 2 angedeutet, ist die Geometrie der wirbelerzeugenden Elemente ebenfalls nicht primär erfindungswesentlich. So zeigt Fig. 3 eine herstellungstechnisch besonders einfache Variante, bei der Kerben der Tiefe h im lateralen Abstand t in die Stufe eingefräst sind.

[0020] Sollen die wirbelerzeugenden Elemente hingegen erhaben ausgeführt werden, so kann mit Vorteil auf die in Fig. 4 dargestellte Variante zurückgegriffen

werden, die aus der EP 0 745 809 A1 bekannt ist. Hierbei weist ein wirbelerzeugendes Element drei frei umströmte Flächen 212, 213, 214 auf, von denen zwei die Seitenflächen 213, 214 und eine die Dachfläche 212 bilden. Die Erstreckung der Seitenflächen 213, 214 aus der Kanalwand 8 heraus nimmt in Strömungsrichtung zu, während der Abstand zwischen den Seitenflächen abnimmt, und die Höhe erreicht ein Maximum an einer stromab gelegenen Stelle, an der die Seitenflächen aufeinandertreffen. Entsprechend ist die Dachfläche 212 dreiecksförmig, und stellt eine in Strömungsrichtung von der Wand 8 wegweisende Rampe dar. An einer Stelle, an der alle drei Flächen 212, 213, 214 aufeinandertreffen, findet sich die grösste Erstreckung h des wirbelerzeugenden Elements von der Wand 8; dort ist die Spitze 218 definiert.

Bezugszeichenliste

[0021]

8	Wand eines Strömungskanals
10	Stufe
20	Wirbelerzeugendes Element
212	Dachfläche
213	Seitenfläche
214	Seitenfläche
218	Spitze
f_G	Grenzfrequenz
h	Höhe eines wirbelerzeugenden Elements
s	Mass stromauf der Stufe 10
t	Teilungsmass
u_C	Konvektionsgeschwindigkeit
U	Hauptströmung

Patentansprüche

1. Wärmeerzeuger, in welchen Wärmeerzeuger im Betrieb durch einen Strömungskanal ein Medium einströmt, wobei der Strömungskanal mindestens eine unstetige Querschnittserweiterung in Richtung einer Hauptströmung aufweist, welche Querschnittserweiterung eine Rückströmzone zur Flammenstabilisierung im Wärmeerzeuger hervorruft, dergestalt, dass mindestens eine den Strömungskanal begrenzende Wand eine im Wesentlichen quer zur Hauptströmungsrichtung verlaufende Stufe aufweist, wobei stromauf der Stufe eine Anzahl wirbelerzeugender Elemente angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wirbelerzeugenden Elemente mit einem lateralen Teilungsmass auf einer quer zur Hauptströmungsrichtung verlaufenden Linie angeordnet sind, und, dass zur Störung kohärenter periodischer Ablösewirbel, deren Ablösefrequenz unterhalb einer Grenzfrequenz liegt, das laterale Teilungsmass kleiner als die halbe Wellenlänge ist, die der Grenzfrequenz in der Haupt-

strömung stromab der Stufe zugeordnet ist, so, dass die Bedingung

$$t \leq \frac{u_C}{2f_G}$$

erfüllt ist, in welcher Beziehung t das laterale Teilungsmass der Anordnung der wirbelerzeugenden Elemente, u_C die Geschwindigkeit der Hauptströmung stromab der Stufe, und f_G die Grenzfrequenz darstellen.

2. Wärmeerzeuger nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die stromabwärtigen Kanten der wirbelerzeugenden Elemente weniger als 20% des lateralen Teilungsmasses stromauf der Stufe angeordnet sind.

3. Wärmeerzeuger nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe der wirbelerzeugenden Elemente weniger als 20% des lateralen Teilungsmasses beträgt.

4. Wärmeerzeuger nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wirbelerzeugenden Elemente um ein Mass, das kleiner als 20% des lateralen Teilungsmasses ist, in Hauptströmungsrichtung gegeneinander versetzt angeordnet sind.

5. Wärmeerzeuger nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung der wirbelerzeugenden Elemente an der Stelle der Stufe eine Anzahl von Einfräsungen in die den Strömungskanal begrenzende Wand eingearbeitet sind, wobei der Abstand der Einfräsungen voneinander dem lateralen Teilungsmass entspricht.

Claims

1. Heat generator, into which heat generator a medium flows through a flow duct during operation, the flow duct having at least one discontinuous cross-sectional expansion in the direction of a main flow, which cross-sectional expansion creates a return flow zone in the heat generator, for the purpose of flame stabilization, in such a way that at least one wall bounding the flow duct has a step extending substantially transverse to the main flow direction, a number of vortex-generating elements being arranged upstream of the step, **characterized in that** the vortex-generating elements are arranged on a line extending transversely to the main flow direction with a lateral pitch dimension, and **in that**, in order to interfere with coherent periodic separation vortices whose separation frequency is located below a limiting frequency, the lateral pitch dimension

is smaller than half the wavelength which is associated with the limiting frequency in the main flow downstream of the step, so that the following condition is satisfied

$$t \leq \frac{u_c}{2f_G}$$

in which relationship t represents the lateral pitch dimension of the arrangement of the vortex-generating elements, u_c represents the velocity of the main flow downstream of the step and f_G represents the limiting frequency.

2. Heat generator according to Claim 1, **characterized in that** the downstream edges of the vortex-generating elements are arranged less than 20% of the lateral pitch dimension upstream of the step.
3. Heat generator according to Claim 1, **characterized in that** the height of the vortex-generating elements is less than 20% of the lateral pitch dimension.
4. Heat generator according to Claim 1, **characterized in that** the vortex-generating elements are arranged offset relative to one another in the main flow direction by a dimension which is smaller than 20% of the lateral pitch dimension.
5. Heat generator according to Claim 1, **characterized in that** a number of milled recesses are machined into the wall bounding the flow duct in order to generate the vortex-generating elements at the location of the step, the distance of the milled recesses from one another corresponding to the lateral pitch dimension.

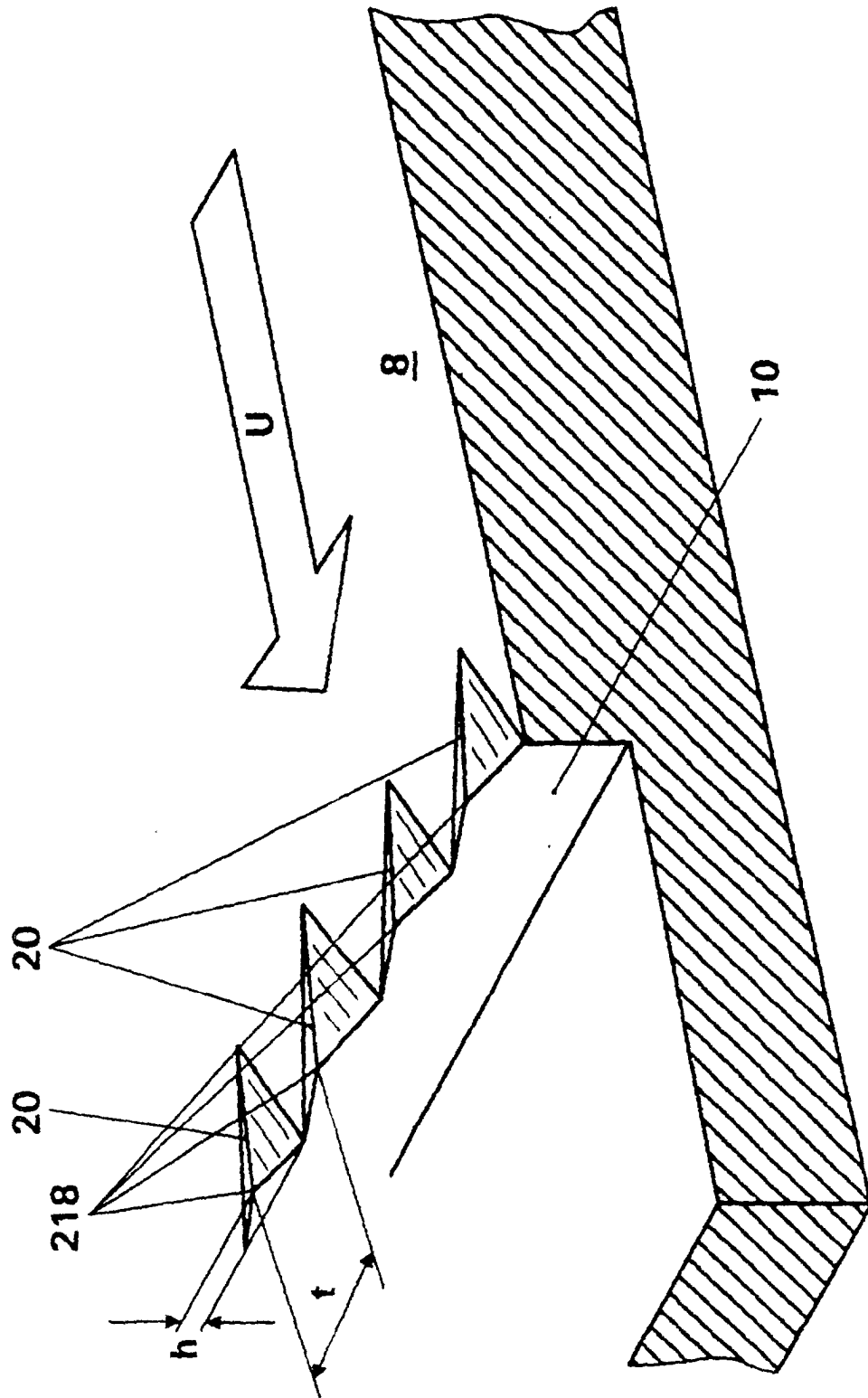
Revendications

1. Dispositif de création de chaleur, dans lequel, en fonctionnement, un fluide pénètre par un canal d'écoulement, le canal d'écoulement présentant au moins un agrandissement discontinu de sa section transversale dans la direction d'un écoulement principal, lequel agrandissement de la section transversale entraîne la formation d'une zone de retour d'écoulement pour la stabilisation de la flamme dans le dispositif de création de chaleur par le fait qu'au moins une paroi délimitant le canal d'écoulement présente un épaulement qui s'étend essentiellement transversalement par rapport à la direction principale d'écoulement, un certain nombre d'éléments de création de tourbillons étant disposés en amont de l'épaulement, **caractérisé en ce que** les éléments de création de tourbillons sont

disposés à un intervalle latéral sur une ligne qui s'étend transversalement par rapport à la direction principale d'écoulement et **en ce que**, pour perturber des tourbillons périodiques cohérents de décollement dont la fréquence de décollement est inférieure à une fréquence limite, l'intervalle latéral est inférieur à la demi-longueur d'onde qui est associée à la fréquence limite dans l'écoulement principal en aval de l'épaulement, de telle sorte que la condition:

$$t \leq \frac{u_c}{2f_G}$$

- soit satisfaite, et dans cette équation, t représente l'intervalle latéral d'agencement des éléments de création de tourbillons, u_c la vitesse de l'écoulement principal en aval de l'épaulement et f_G la fréquence limite.
2. Dispositif de création de chaleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les bords aval des éléments de création de tourbillons sont disposés en amont de l'épaulement à moins de 20 % de l'intervalle latéral.
3. Dispositif de création de chaleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la hauteur des éléments de création de tourbillons est inférieure à 20 % de l'intervalle latéral.
4. Dispositif de création de chaleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les éléments de création de tourbillons sont disposés à un décalage mutuel dans la direction principale d'écoulement qui correspond à une distance inférieure à 20 % de l'intervalle latéral.
5. Dispositif de création de chaleur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** pour créer les éléments de création de tourbillons à l'endroit de l'épaulement, on réalise un certain nombre de fraisages dans la paroi qui délimite le canal d'écoulement, la distance mutuelle entre les fraisages correspondant à l'intervalle latéral.



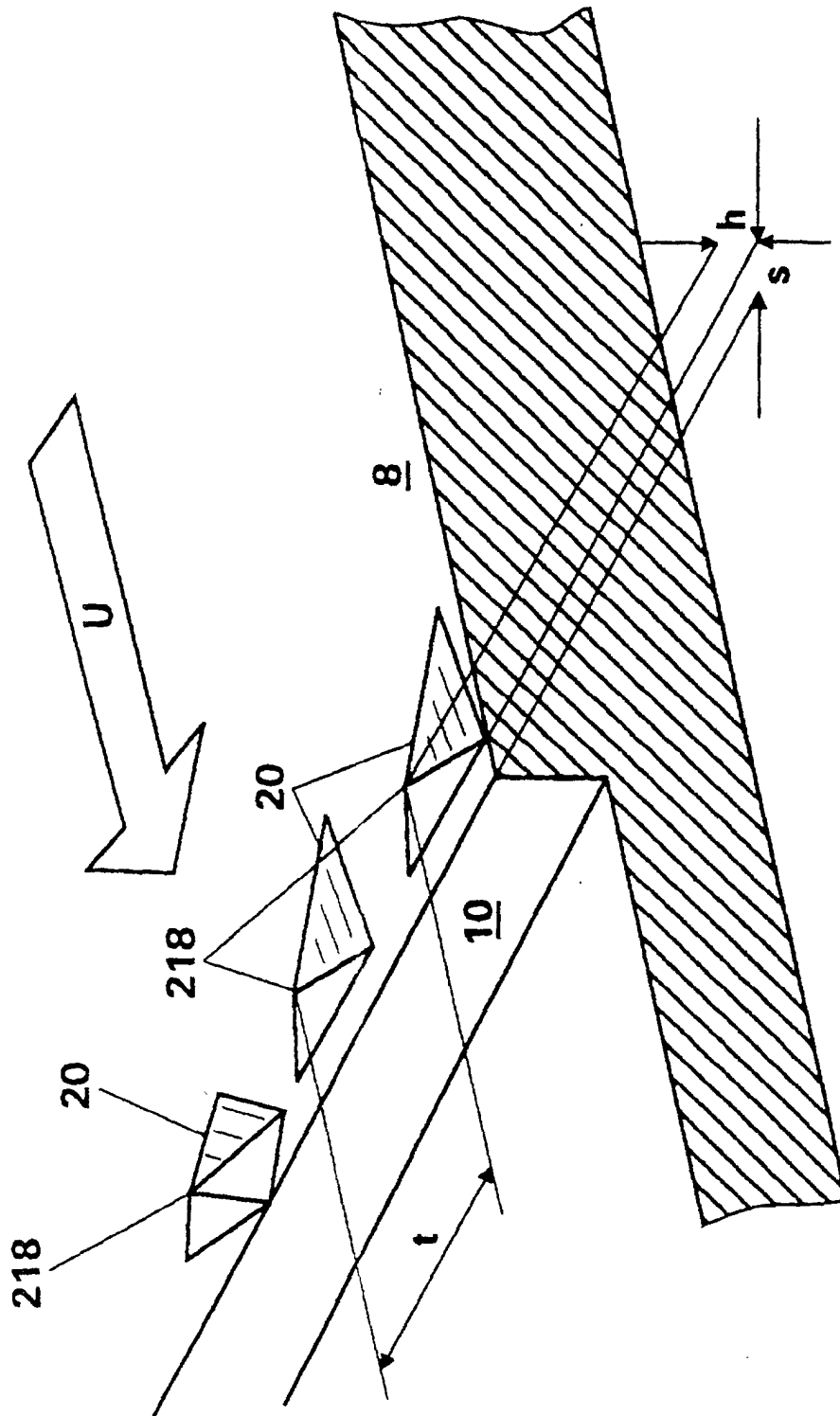


FIG. 2

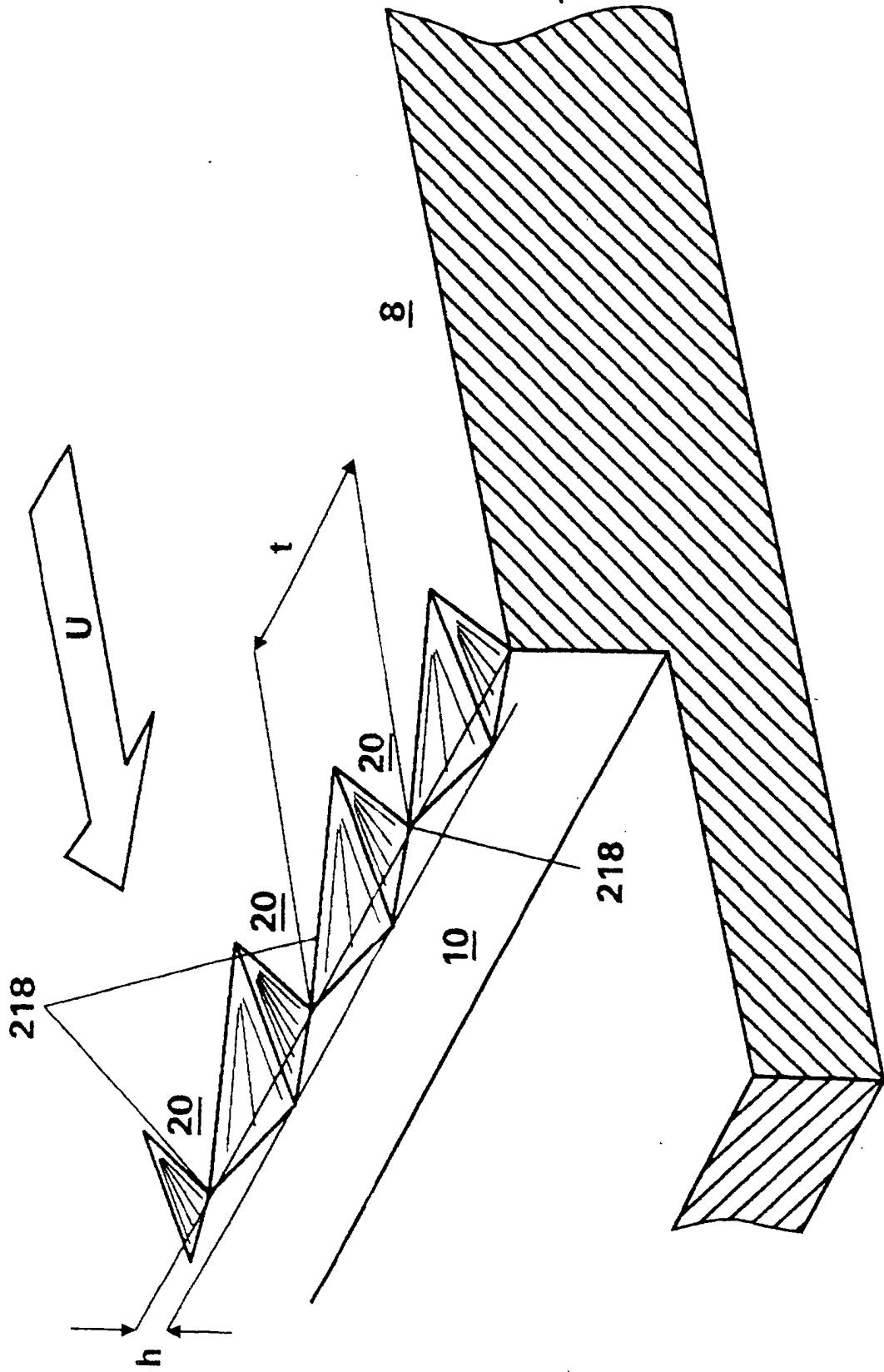


FIG. 3

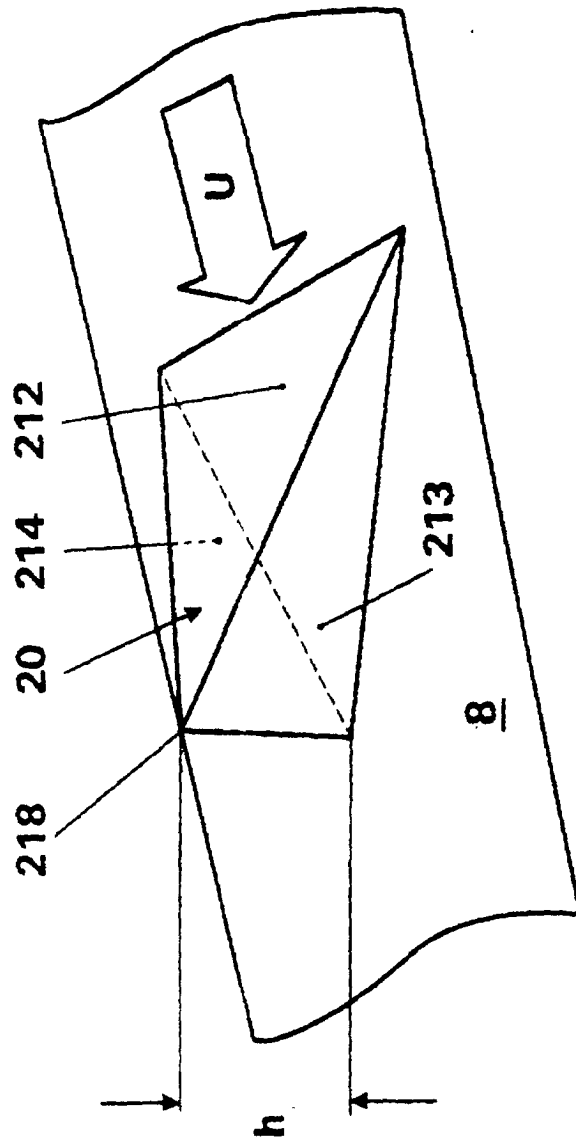


FIG. 4