



(10) **DE 11 2017 006 343 B4 2024.01.04**

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 006 343.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2017/047091**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2018/135283**
(86) PCT-Anmeldetag: **27.12.2017**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **26.07.2018**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **29.08.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.01.2024**

(51) Int Cl.: **F01D 5/18 (2006.01)**
F01D 9/02 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2017-006571 18.01.2017 JP

(73) Patentinhaber:
Kawasaki Jukogyo Kabushiki Kaisha, Kobe-Shi, Hyogo, JP

(74) Vertreter:
dompatent von Kreisler Selting Werner - Partnerschaft von Patentanwälten und Rechtsanwälten mbB, 50667 Köln, DE

(72) Erfinder:
Tsuru, Tomoko, Akashi-shi, Hyogo, JP; Ishida, Katsuhiko, Akashi-shi, Hyogo, JP

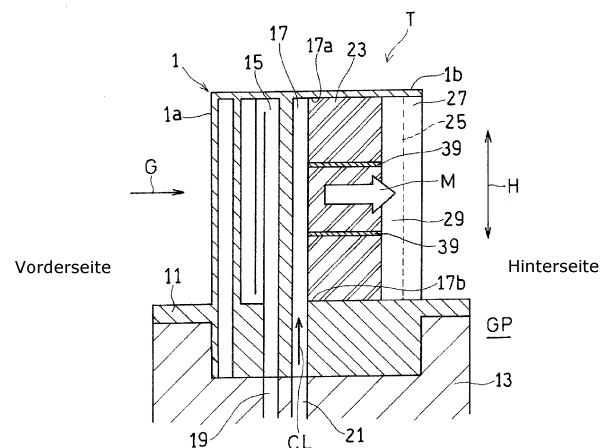
(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2016 / 0 003 549	A1
US	5 603 606	A
JP	4 957 131	B2
JP	2016- 125 380	A

(54) Bezeichnung: **STRUKTUR FÜR EINE KÜHLTURBINENSCHAUFEL**

(57) Hauptanspruch: Struktur zum Kühlen einer Turbinenschaufel (1) einer durch ein Hochtemperaturgas (G) angetriebenen Turbine, wobei die Struktur aufweist: einen Kühldurchgang (17) zwischen einer ersten Schaufelwand (3) der Turbinenschaufel (1), die relativ zu einem Durchgang für das Hochtemperaturgas (GP) konkav gewölbt ist, und einer zweiten Schaufelwand (5) der Turbinenschaufel (1), die relativ zu dem Durchgang für das Hochtemperaturgas (GP) konvex gewölbt ist; einen Gitterstrukturkörper (23) mit einem ersten Rippensatz, der aus einer Mehrzahl von ersten Rippen besteht, die auf einer dem Kühldurchgang (17) zugewandten Wandfläche der ersten Schaufelwand (3) vorgesehen sind, und einem zweiten Rippensatz, der aus einer Mehrzahl von zweiten Rippen besteht, die auf einer dem Kühldurchgang (17) zugewandten Wandfläche der zweiten Schaufelwand (5) vorgesehen sind, wobei der zweite Rippensatz derart auf dem ersten Rippensatz gesetzt ist, dass ein Gittermuster entsteht; eine Kühlmittelaustrittsöffnung (25), die an einem stromabwärts gelegenen Endabschnitt des Kühldurchgangs (17) vorgesehen ist und derart konfiguriert ist, dass das Kühlmittel (CL) innerhalb des Kühldurchgangs (17) nach außen abgeführt wird; einen freiliegenden Wandabschnitt (27) in der Form eines Abschnitts der zweiten Schaufelwand (5), der sich über die

Kühlmittelaustrittsöffnung (25) hinaus nach außen erstreckt; und einen flachen Flächenabschnitt (29), der ein Abschnitt des Kühldurchgangs (17) von einem Auslass (23a) des Gitterstrukturkörpers (23) zur Kühlmittelaustrittsöffnung (25) ist, und an dem die Wandfläche der ersten Schaufelwand (3) und die Wandfläche der zweiten Schaufelwand (5) als flache Flächen ausgebildet sind, dadurch ...



Beschreibung**QUERVERWEIS AUF VERWANDTE ANWENDUNG**

[0001] Die vorliegende Patentanmeldung basiert auf und beansprucht die Priorität der japanischen Patentanmeldung Nr. 2017-006571 vom 18. Januar 2017, veröffentlicht als JP 2018 - 115 601 A.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG**(Gebiet der Erfindung)**

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Struktur für eine Kühlturbinenschaufel und eine Rotorschaufel in einer Turbine eines Gasturbinenmotors.

(Beschreibung des Stands der Technik)

[0003] Eine Turbine, die einen Teil eines Gasturbinenmotors bildet, ist stromabwärts einer Brennkammer angeordnet und ein in der Brennkammer verbranntes Hochtemperaturgas wird der Turbine zugeführt. Somit ist die Turbine beim Betrieb des Gasturbinenmotors hohen Temperaturen ausgesetzt. Daher ist es erforderlich, eine Statorschaufel und eine Rotorschaufel der Turbine zu kühlen. Es ist bekannt, dass als eine Struktur zum Kühlen solcher Turbinenschaufeln ein Teil der von einem Kompressor verdichteten Luft in einen in der Schaufel ausgebildeten Kühldurchgang eingeleitet wird und die Turbinenschaufel, unter Verwendung der verdichteten Luft als Kühlmittel, gekühlt wird (siehe z. B. Patentdokument 1).

[0004] Für den Fall, dass ein Teil der verdichteten Luft zum Kühlen der Turbinenschaufel verwendet wird, ist es nicht erforderlich ein Kühlmittel von außerhalb einzuleiten, was den Vorteil hat, dass die Kühlstruktur vereinfacht werden kann. Wenn jedoch eine große Menge von vom Kompressor verdichteter Luft zum Kühlen verwendet wird, führt dies zu einer Senkung der Energieeffizienz.

[0005] Somit ist es erforderlich, das Kühlen effizient mit so wenig Luft wie möglich durchzuführen. Als eine Struktur zum Kühlen einer Turbinenschaufel mit hoher Effizienz wird die Verwendung eines sogenannten Gitterstrukturkörpers vorgeschlagen, der durch Kombinieren einer Mehrzahl von Rippen zu einem Gittermuster gebildet wird (siehe z. B. Patentschrift 2). In dem Gitterstrukturkörper wird ein Kühlmittel gegen die Rippen gestoßen, die den Gitterstrukturkörper bilden, um eine Wirbelströmung zu erzeugen, wodurch die Kühleffizienz verbessert wird.

[0006] Unterdessen wurde als eine Struktur zum Abführen eines Kühlmittels innerhalb einer Turbinenschaufel durch einen Schaufelhinterabschnitt vorgeschlagen, dass ein Kühlmittel entlang einer Rückflä-

che einer Schaufelwand an der Unterdruckflächenseite strömt, die durch Herausschneiden einer Schaufelwand an der Überdruckflächenseite eines Turbinenschaufel-Hinterkantenabschnitt freigelegt wird, wodurch eine Filmkühlung der Rückfläche erfolgt (siehe Patentschrift 2).

[Verwandte Schriften]**[Patentschriften]**

[Patentdokument 1] US 5 603 606 A

[Patentschrift 2] JP Patent Nr. JP 4 957 131 B2

US 2016/0003549 A1 beschreibt eine Kühlstruktur an einer Turbinenschaufel.

JP 2016-125380 A beschreibt eine Struktur zur Kühlung eines Turbinenblatts.

ÜBERBLICK ÜBER DIE ERFINDUNG

[0007] Wenn die Filmkühlung des Schaufelhinterkantenabschnitts mit dem in der Patentschrift 2 offenbartem Gitterstrukturkörper kombiniert wird, wird jedoch eine intensive Wirbelströmung, die aus dem Gitterstrukturkörper austritt, an eine freiliegende Wandfläche abgeführt und verfängt sich in einem Hochtemperaturgas, das nach außen strömt. Dadurch ist es schwierig, einen ausreichenden Kühleffekt mittels der Filmkühlung zu erreichen.

[0008] Zum Lösen des vorgenannten Problems ist es daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Kühlstruktur bereitzustellen, die eine Turbinenschaufel in ihrer Gesamtheit mit hoher Effizienz kühlen kann, indem das Innere der Turbinenschaufel mit hoher Effizienz mittels eines Gitterstrukturkörpers gekühlt wird und zudem ein Turbinenschaufel-Hinterkantenabschnitt mittels Filmkühlung effektiv gekühlt wird.

[0009] Zum Lösen der vorgenannten Aufgabe ist eine erfindungsgemäße Kühlstruktur für eine Turbinenschaufel eine Struktur zum Kühlen einer Turbinenschaufel einer mittels eines Hochtemperaturgases angetriebenen Turbine und weist auf: einen Kühldurchgang zwischen einer ersten Schaufelwand der Turbinenschaufel, die relativ zu einem Durchgang für das Hochtemperaturgas konkav gewölbt ist, und einer zweiten Schaufelwand der Turbinenschaufel, die relativ zu dem Durchgang für das Hochtemperaturgas konvex gewölbt ist; einem Gitterstrukturkörper mit einem ersten Rippensatz, der aus einer Mehrzahl von ersten Rippen besteht, die auf einer dem Kühldurchgang zugewandten Wandfläche der ersten Schaufelwand vorgesehen sind, und einem zweiten Rippensatz, der aus einer Mehrzahl von zweiten Rippen besteht, die auf einer dem Kühldurchgang zugewandten Wandfläche der zweiten Schaufelwand vorgesehen sind, wobei der zweite

Rippensatz auf den ersten Rippensatz gesetzt ist, so dass ein Gittermuster entsteht; eine Kühlmittelaustrittsöffnung, die an einem stromabwärts gelegenen Endabschnitt vorgesehen ist und dazu konfiguriert ist, das Kühlmittel innerhalb des Kühldurchgangs nach außen abzuführen; einem freiliegenden Wandabschnitt in der Form eines Abschnitts der zweiten Schaufelwand, der sich über der Kühlmittelaustrittsöffnung hinaus nach außen erstreckt; und einem flachen Flächenabschnitt, der ein Abschnitt des Kühldurchgangs von einem Auslass des Gitterstrukturkörpers zur Kühlmittelaustrittsöffnung ist und an dem die Wandfläche der ersten Schaufelwand und die Wandfläche der zweiten Schaufelwand als flache Flächen ausgebildet sind.

[0010] Nach dieser Konfiguration wird in einem Prozess, in dem das Kühlmittel, das als Wirbelströmung aus dem Gitterstrukturkörper ausgegeben wird, in dem flachen Flächenabschnitt strömt, das Kühlmedium so vergleichmäßig, dass es in einer einheitlichen Richtung entlang der Wandfläche strömt und dann durch die Kühlmittelaustrittsöffnung zum freiliegenden Wandabschnitt abgeführt wird. Entsprechend wird verhindert, dass sich das Hochtemperaturgas und das Kühlmittel an dem freiliegenden Wandabschnitt vermischen, und es wird ein ausreichender Filmkühleffekt erzielt. Daher kann sowohl eine Kühlung des Inneren der Turbinenschaufel mittels des Gitterstrukturkörpers als auch eine Filmkühlung des Turbinenschaufel-Hinterkantenabschnitts mit einer hohen Effizienz erzielt werden, wodurch die Kühleffizienz der gesamten Turbinenschaufel verbessert werden kann.

[0011] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der flache Flächenabschnitt eine Länge innerhalb eines Bereichs von nicht weniger als dem 1-fachen und nicht mehr als dem 5-fachen einer Höhe des Auslasses des Gitterstrukturkörpers auf. Nach dieser Konfiguration kann ein Abstand sichergestellt werden, der ausreichend ist, um die von dem Gitterstrukturkörper ausgegebene Wirbelströmung für die Filmkühlung zu vergleichmäßigen, so dass ein Kühleffekt des Gitterstrukturkörpers nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Daher kann die Kühleffizienz für die gesamte Turbinenschaufel weiter verbessert werden.

[0012] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann eine Bewegungsrichtung des gesamten Kühlmittels eine Richtung entlang einer Schaufelsehne der Turbinenschaufel sein und eine Mehrzahl der Gitterstrukturkörper kann derart angeordnet sein, dass sie in einer Höhenrichtung der Turbinenschaufel ausgerichtet sind, wobei zwischen ihnen ein Trennkörper angeordnet ist. Da die Bewegungsrichtung des gesamten Kühlmittels die Schaufelsehnenrichtung ist, ist der flache Flächenabschnitt, in dem der Gitterstrukturkörper nicht vorhanden ist, in

einem engen Raum in einem hinteren Endabschnitt der Turbinenschaufel ausgebildet. Dadurch wird eine Reduktion des Kühleffekts aufgrund des Wegfalls des Gitterstrukturkörpers reduziert und die Herstellung der Turbinenschaufel wird vereinfacht. Zudem kann sichergestellt werden, dass der freiliegende Wandabschnitt in Höhenrichtung der Turbinenschaufel breit ist und somit die Kühleffizienz für die gesamte Turbinenschaufel weiter verbessert werden kann.

[0013] Jede Kombination von mindestens zwei Konstruktionen, die in den beigefügten Ansprüchen und/oder der Beschreibung und/oder den dazugehörigen Zeichnungen offenbart werden, ist so auszulegen, dass sie in den Umfang der vorliegenden Erfindung fällt. Insbesondere sollte jede Kombination von zwei oder mehr der beigefügten Ansprüche gleichermaßen als in den Umfang der vorliegenden Erfindung fallend ausgelegt werden.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0014] In jedem Fall wird ein besseres Verständnis der vorliegenden Erfindung durch die nachfolgende Beschreibung ihrer Ausführungsformen in Verbindung mit den dazugehörigen Zeichnungen ermöglicht. Die Ausführungsformen und Zeichnungen dienen jedoch lediglich dem Zwecke der Veranschaulichung und Erläuterung und sind nicht als den in den beigefügten Ansprüchen zu bestimmenden Umfang der vorliegenden Erfindung in irgendeiner Weise einschränkend zu betrachten. In den zugehörigen Zeichnungen bezeichnen gleiche Bezugszeichen durchgängig gleiche Teile in sämtlichen der mehreren Ansichten und:

Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht mit Darstellung eines Beispiels einer Turbinenschaufel, bei der eine Kühlstruktur nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform angewandt wird;

Fig. 2 ist eine Längsquerschnittsansicht mit schematischer Darstellung der Turbinenschaufel aus **Fig. 1**;

Fig. 3 ist eine transversale Querschnittsansicht der Turbinenschaufel aus **Fig. 1**;

Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht mit schematischer Darstellung eines Gitterstrukturkörpers in der Kühlstruktur für die Turbinenschaufel aus **Fig. 2**;

Fig. 5 ist eine Längsquerschnittsansicht mit schematischer Darstellung eines Bereichs um den hinteren Endabschnitt der Turbinenschaufel aus **Fig. 2** in einer vergrößerten Weise;

Fig. 6 ist ein Diagramm mit Darstellung eines Simulationsergebnisses für eine Relation zwischen der Länge eines flachen Flächenabschnitts und der Intensität der Wirbelströmung

eines Kühlmittels in der Kühlstruktur nach der erfindungsgemäßen Ausführungsform;

Fig. 7 ist ein Diagramm mit Darstellung eines Simulationsergebnisses für eine Relation zwischen der Länge des flachen Flächenabschnitts und dem Wärmeübergangskoeffizient einer Wandfläche in der Kühlstruktur nach der erfindungsgemäßen Ausführungsform; und

Fig. 8 ist eine Längsquerschnittsansicht mit schematischer Darstellung eines Beispiels einer Anordnung der Kühlstruktur nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0015] Nachfolgend werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme der Zeichnungen beschrieben. **Fig. 1** ist eine perspektivische Ansicht mit Darstellung einer Rotorscheufel 1 einer Turbine eines Gasturbinenmotors, bei der eine Kühlstruktur für eine Kühleufel nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform eingesetzt wird. Die Turbinenrotorscheufel 1 bildet einen Teil einer Turbine T, die mittels eines in Pfeilrichtung strömenden Hochtemperaturgases G angetrieben wird, das aus einer Brennkammer, die nicht abgebildet ist, zugeführt wird. Die Turbinenrotorscheufel 1 weist auf: eine erste Schaufelwand 3, die relativ zu einem Durchgang GP für das Hochtemperaturgas G konkav gewölbt ist, und eine zweite Schaufelwand 5, die relativ zu dem Durchgang GP für das Hochtemperaturgas konvex gewölbt ist. In der vorliegenden Spezifizierung wird die stromaufwärts gelegene Seite entlang der Strömungsrichtung des Hochtemperaturgases G (linke Seite in **Fig. 1**) als Vorderseite bezeichnet und die stromabwärts gelegene Seite (rechte Seite in **Fig. 1**) wird als Hinterseite bezeichnet. In der nachfolgenden Beschreibung wird die Turbinenrotorscheufel 1 hauptsächlich als ein Beispiel einer Turbinenschaufel beschrieben, bei der die Kühlstruktur vorgesehen ist; die Kühlstruktur nach der vorliegenden Ausführungsform kann jedoch auf ähnliche Weise bei einer Turbinenstatorschaufel, die eine Turbinenschaufel ist, eingesetzt werden, sofern nicht ausdrücklich anderweitig beschrieben.

[0016] Insbesondere ist eine große Anzahl von Turbinenrotorschaufeln 1 in einer Umfangsrichtung in einer eingebetteten Weise vorgesehen, so dass, wie in **Fig. 2** abgebildet, eine Plattform 11 jeder Turbinenrotorscheufel 1 mit einem äußeren Umfangsabschnitt einer Turbinenscheibe 13 verbunden ist, wodurch die Turbine T gebildet wird. Die Turbinenrotorscheufel 1 ist mit einem in ihrem vorderen Abschnitt 1a befindlichem vorderen Kühldurchgang 15 derart ausgebildet, dass dieser sich in einer Schaufelhöhenrichtung H erstreckt und umkehrt. Die Turbinenrotorscheufel 1 ist ebenfalls mit einem in ihrem hinteren Abschnitt 1b befindlichem hinteren

Kühldurchgang 17 ausgebildet. Wie in **Fig. 3** abgebildet, werden diese Kühldurchgänge durch Nutzung eines Raums zwischen der ersten Schaufelwand 3 und der zweiten Schaufelwand 5 ausgebildet.

[0017] Wie in **Fig. 2** abgebildet, strömt ein Kühlmittel CL, das Teil einer verdichteten Luft des Kompressors ist, durch einen vorderen Kühlmittleinlassdurchgang 19 und einen hinteren Kühlmittleinlassdurchgang 21, die innerhalb der Turbinenscheibe 13 an der radial inneren Seite zu der radial äußeren Seite hin ausgebildet sind, und wird in den vorderen Kühldurchgang 15 bzw. den hinteren Kühldurchgang 17 eingeleitet. Das dem vorderen Kühldurchgang 15 zugeführte Kühlmittel CL wird durch ein Kühlmittelaustrittsloch (nicht abgebildet), das mit der Außenseite der Turbinenrotorscheufel 1 in Verbindung steht, nach außen abgeführt. Das dem hinteren Kühldurchgang 17 zugeführte Kühlmittel CL wird durch eine Kühlmittelaustrittsöffnung 25, die später beschrieben wird, nach außen abgeführt. Nachfolgend wird ein Beispiel beschrieben, in dem die Kühlstruktur nach der vorliegende Ausführungsform lediglich für den hinteren Abschnitt 1b der Turbinenrotorscheufel 1 vorgesehen ist. Die Kühlstruktur nach der vorliegenden Ausführungsform kann jedoch in jedem Bereich, der einen hinteren Abschnitt 1b der Turbinenrotorscheufel 1 aufweist, vorgesehen sein. In der vorliegenden Ausführungsform strömt in dem hinteren Kühldurchgang 17 das gesamte Kühlmittel CL in einer von der Vorderseite zur Hinterseite verlaufenden Richtung. In der folgenden Beschreibung wird die Strömungsrichtung des gesamten Kühlmittels CL als Kühlmittelbewegungsrichtung M bezeichnet.

[0018] Wie in **Fig. 3** abgebildet, ist der hintere Kühldurchgang 17a mit einem Gitterstrukturkörper 23 versehen, der ein Element ist, welches einen Teil der Kühlstruktur zum Kühlen der Turbinenrotorscheufel 1 bildet. Der Gitterstrukturkörper 23 weist eine Mehrzahl von Rippen auf, die aufrecht auf jeder der Wandflächen der ersten Schaufelwand 3 und der zweiten Schaufelwand 5, die dem hinteren Kühldurchgang 17 zugewandt sind, vorgesehen sind. In der nachfolgenden Beschreibung wird die dem hinteren Kühldurchgang 17 zugewandte Wandfläche der ersten Schaufelwand 3 als erste Wandfläche 3a bezeichnet und die dem hinteren Kühldurchgang 17 zugewandte Wandfläche der zweiten Schaufelwand 5 wird als zweite Wandfläche 5a bezeichnet.

[0019] Als Elemente, die einen Teil der Kühlstruktur zum Kühlen der Turbinenrotorscheufel 1 bilden, weist die Turbinenrotorscheufel 1 ferner die Kühlmittelaustrittsöffnung 25, einen freiliegenden Wandabschnitt 27 und einen flachen Flächenabschnitt 29 auf. In einem hinteren Endabschnitt der Turbinenrotorscheufel 1 bildet ein Abschnitt der zweiten Schau-

felwand 5, deren Wandfläche durch Herausschneiden der ersten Schaufelwand 3 nach außen freigelegt ist (Durchgang GP für das Hochtemperaturgas), den freiliegenden Wandabschnitt 27. Die Kühlmittelaustrittsöffnung 25 ist an einem stromabwärts gelegenen Endabschnitt (hinterer Endabschnitt) des hinteren Kühldurchgangs 17 vorgesehen und führt das Kühlmittel CL innerhalb des hinteren Kühldurchgangs 17 nach außen ab. Die Kühlmittelaustrittsöffnung 25 ist als eine Lücke zwischen der ersten Wandfläche 3a und der zweiten Wandfläche 5a an einer Stelle ausgebildet, an der die erste Schaufelwand 3 herausgeschnitten wird, wie vorstehend beschrieben. In anderen Worten wird der freiliegende Wandabschnitt 27 in der Form eines Abschnitts der zweiten Schaufelwand 5 vorgesehen, der sich über die Kühlmittelaustrittsöffnung 25 hinaus nach außen erstreckt. Daher bildet eine der ersten Schaufelwandseite 3 zugewandte Wandfläche 27a des freiliegenden Wandabschnitts 27 eine Wandfläche, die von der zweiten Wandfläche 5a angrenzt. Der flache Flächenabschnitt 29 ist in einem Bereich von einem Auslass 23a des Gitterstrukturkörpers 23 zu der Kühlmittelaustrittsöffnung 25 innerhalb des hinteren Kühldurchgangs 17 ausgebildet. An dem flachen Flächenabschnitt 29 sind die erste Wandfläche 3a und die zweite Wandfläche 5a als flache Flächen ausgebildet, d. h. als Flächen ohne Vorsprünge oder Ausnehmungen. Das aus dem Gitterstrukturkörper 23 abgeführte Kühlmittel CL wird mittels des flachen Flächenabschnitts 29 zu der Kühlmittelaustrittsöffnung 25 geführt.

[0020] Der hintere Endabschnitt der Turbinenrotorschaukel 1 weist eine zur Hinterseite konisch zulaufende Form auf. Wie in **Fig. 3** abgebildet, erstrecken sich im hinteren Endabschnitt der Turbinenschaufel 1 die erste Wandfläche 3a der ersten Schaufelwand 3 und die zweite Wandfläche 5a der zweiten Schaufelwand 5 derart zur Hinterseite, dass sie sich aneinander annähern. Aufgrund dieser Konfiguration verringert sich der Durchgangsbereich des hinteren Kühldurchgangs 17 an dem flachen Flächenabschnitt 29 graduell zur Hinterseite.

[0021] Wie in **Fig. 4** abgebildet, besteht der Gitterstrukturkörper 23 aus einer Kombination einer Mehrzahl von Rippensätzen, die an beiden Wandflächen 3a und 5a vorgesehen sind, die dem hinteren Kühldurchgang 17 zugewandt sind, wobei jeder der Rippensätze eine Mehrzahl von Rippen 31 aufweist, die in gleichen Abständen angeordnet sind, so dass sie parallel zueinander verlaufen. Der Gitterkörper wird gebildet, indem die Rippensätze derart aufeinander gesetzt werden, dass ein Gittermuster entsteht. In der vorliegenden Ausführungsform wird der Gitterstrukturkörper 23 durch Kombinieren zweier Rippensätze gebildet, d. h. einem ersten Rippensatz (der untere Rippensatz in **Fig. 4**) 33A und einem zweiten Rippensatz (der obere Rippensatz in **Fig. 4**) 33B, so

dass die Rippensätze 33A und 33B in einer Höhenrichtung der Rippen 31 (eine Richtung, in der die erste Wandfläche 3a und die zweite Wandfläche 5a einander zugewandt sind) derart aufeinander gesetzt sind, dass sie ein Gittermuster bilden.

[0022] In dem Gitterstrukturkörper 23 bildet die Lücke zwischen den benachbarten Rippen 31, 31 des Rippensatzes 33A, 33B einen Durchgang (Gitterdurchgang) 35 für das Kühlmittel CL. In dem hinteren Kühldurchgang 17 ist der Gitterstrukturkörper 23 zwischen zwei Seitenwänden 37, 37 platziert, die sich in der Kühlmittelbewegungsrichtung M erstrecken, um derart ausgerichtet zu sein, dass die Gitterdurchgänge 35 relativ zur Kühlmittelbewegungsrichtung M schräggestellt sind. Das in den Gitterstrukturkörper 23 eingeleitete Kühlmittel CL strömt zunächst durch den Gitterdurchgang 35 einer der Rippensätze (der untere Rippensatz 33A im gezeigten Beispiel), was in **Fig. 4** durch einen Pfeil mit gestrichelter Linie dargestellt ist, während es den anderen der Rippensätze (der obere zweite Rippensatz 33B im gezeigten Beispiel) durchläuft, wodurch eine Wirbelströmung erzeugt wird. Anschließend stößt das Kühlmittel CL gegen die Seitenwand 37 und strömt in den Gitterdurchgang 35 der anderen Rippensätze (der obere zweite Rippensatz 33B im gezeigten Beispiel), was in **Fig. 4** durch einen Pfeil mit durchgezogener Linie dargestellt ist. Nach Wiederholung eines Prozesses des Strömens durch den Gitterdurchgang 35 einer der Rippensätze, des Stoßens gegen die Seitenwand 37 und des Strömens in den Gitterdurchgang 35 des anderen der Rippensätze in dem Gitterstrukturkörper 23, wie zuvor beschrieben, wird das Kühlmittel CL aus dem Gitterstrukturkörper 23 abgeführt. In diesem Prozess wird in der Strömung des Kühlmittels CL eine Wirbelströmung erzeugt, wenn das Kühlmittel CL den anderen der Rippensätze durchläuft, der sich in eine Richtung erstreckt, die den Gitterdurchgang 35 durchläuft, wodurch die Kühlung der Wandflächen 3a und 5a verbessert wird.

[0023] In der vorliegenden Ausführungsform, wie in **Fig. 4** dargestellt, sind in dem Gitterstrukturkörper 23 die Höhen der unteren und oberen Rippen 31, d. h. die Gitterdurchgangshöhen h in Schaufeldickenrichtung gleich. Zudem ist der Abstand zwischen den Rippen 31, 31 in dem ersten Rippensatz 33A gleich dem Abstand zwischen den Rippen 31, 31 in dem zweiten Rippensatz 33B. Das heißt, dass eine Gitterdurchgangsbreite w in dem ersten Rippensatz 33A und eine Gitterdurchgangsbreite w in dem zweiten Rippensatz 33B gleich sind. Der durch die Erstreckungsrichtung des ersten Rippensatzes 33A und die Erstreckungsrichtung des zweiten Rippensatzes 33B gebildete Winkel liegt bei ca. 90° . Selbstverständlich ist die Anordnungsconfiguration der Mehrzahl von Rippen 31 in jedem Rippensatz nicht auf das gezeigte Beispiel beschränkt und kann entspre-

chend der Struktur der Turbinenschaufel, der erforderlichen Kühlleistung usw. zweckmäßig festgelegt werden.

[0024] In der in **Fig. 2** dargestellten Ausführungsform ist eine Mehrzahl (drei in dem gezeigten Beispiel) von Gitterstrukturkörpern 23, die in der Höhenrichtung H durch eine Mehrzahl (zwei in dem gezeigten Beispiel) von Trennkörpern 39, 39 voneinander getrennt sind, in dem hinteren Kühldurchgang 17 vorgesehen. Eine obere Stirnwand 17a, die Trennkörper 39 und eine untere Stirnwand 17b des in **Fig. 2** dargestellten hinteren Kühldurchgangs 17 entsprechen den Seitenwänden 37 in **Fig. 4**. In dem Beispiel in **Fig. 2** wird für jeden Trennkörper 39 eine flachplattenartige Trennwand verwendet. Selbstverständlich ist jeder Trennkörper 39 nicht auf die Trennplatte beschränkt und es kann jede Komponente verwendet werden, solange jeder Trennkörper 39 das Strömen des Kühlmittels CL zwischen den benachbarten Gitterstrukturkörpern 23 erheblich behindern kann und das Kühlmittel CL gegen den Seitenabschnitt des Gitterstrukturkörpers 23 gestoßen werden kann und so zurückströmt, dass es von einem Gitterdurchgang 35 zum anderen Gitterdurchgang 35 strömt (**Abb. 4**).

[0025] Wie in **Fig. 5** abgebildet, wird das Kühlmittel CL, das den Gitterstrukturkörper 23 passiert hat, hauptsächlich als Wirbelströmung durch den Auslass 23a des Gitterstrukturkörpers 23 abgeführt. Anschließend wird das als Wirbelströmung abgeführte Kühlmittel CL derart vergleichmäßigt, dass es in einer einheitlichen Richtung zur Hinterseite entlang der Wandflächen 3a und 5a strömt, während es an den Wandflächen 3a und 5a an dem flachen Flächenabschnitt 29 zur Hinterseite strömt. Das vergleichmäßigte Kühlmittel CL wird durch die Kühlmittelaustrittsöffnung 25 an den Durchgang GP für das Hochtemperaturgas abgeführt. Dementsprechend strömt das Kühlmittel CL an dem freiliegenden Wandabschnitt 27 in einer einheitlichen Richtung entlang der Wandfläche 27a des freiliegenden Wandabschnitts 27. Bleibt in der an den freiliegenden Wandabschnitt 27 abgeführten Strömung des Kühlmittels CL eine intensive Wirbelströmung, dann verfängt sich die Wirbelströmung in der Strömung des Hochtemperaturgases G und das Kühlmittel CL und das Hochtemperaturgas G werden miteinander vermischt, so dass die Filmkühlung des freiliegenden Wandabschnitts 27 behindert wird. In der vorliegenden Ausführungsform, wie oben beschrieben, strömt das Kühlmittel CL an dem freiliegenden Wandabschnitt jedoch in einer einheitlichen Richtung entlang der Wandfläche 27a (d. h. in einem Zustand, in dem die Wirbelströmung beseitigt ist). Somit wird ein Mischen des Hochtemperaturgases G und des Kühlmittels CL an dem freiliegenden Wandabschnitt 27 unterdrückt und die Filmkühlung des freiliegenden Wandabschnitts 27 wird effektiv durchgeführt.

[0026] Darüber hinaus wird in der vorliegenden Ausführungsform eine Länge L (die als eine Distanz entlang der Kühlmittelbewegungsrichtung M definiert ist) des flachen Flächenabschnitts 29 innerhalb eines Bereichs des 1- bis 5-fachen einer Höhe E des Auslasses 23a des Gitterstrukturkörpers 23 festgelegt. In dem gezeigten Beispiel ist die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 doppelt so groß wie die Auslasshöhe E des Gitterstrukturkörpers 23. Indem der flache Flächenabschnitt 29 zur Beabstandung des Auslasses 23a des Gitterstrukturkörpers 23 von der Kühlmittelaustrittsöffnung 25, wie vorstehend beschrieben, vorgesehen ist, kann die Strömungsrichtung des Kühlmittels CL, das durch eine Mehrzahl von Auslässen 23a des Gitterstrukturkörpers 23 zur Hinterseite hin ausströmt, einheitlich gestaltet werden. Wenn die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 jedoch zu lang ist, wird eine Wirbelströmung des Kühlmittels CL beseitigt und ein Wärmeübergangskoeffizient sinkt, so dass der Bereich eines Abschnitts, der nicht zur Kühlung durch den Gitterstrukturkörper 23 beiträgt, größer wird. Die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 wird daher vorzugsweise innerhalb eines Bereichs gekürzt, der ausreichend ist, um die Wirbelströmung des aus dem Gitterstrukturkörper 23 abgeführten Kühlmittels CL zu beseitigen und die Strömung des Kühlmittels CL gleichmäßig zu gestalten. Es wurde zudem festgestellt, dass die Intensität (Wirbelgeschwindigkeit) der Wirbelströmung des aus dem Gitterstrukturkörper 23 abgeführten Kühlmittels CL hauptsächlich von der Auslasshöhe E des Gitterstrukturkörpers 23 abhängt und somit ist es zweckmäßig, die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 basierend auf der Auslasshöhe E des Gitterstrukturkörpers 23 festzulegen.

[0027] In **Fig. 6** ist ein Ergebnis dargestellt, das bei der Durchführung einer Simulation für eine Relation zwischen der Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 und der Intensität der Wirbelströmung des Kühlmittels CL aus einem solchen Blickwinkel erhalten wurde. Es wurde festgestellt, dass in Bezug auf das Kühlmittel CL, das, unmittelbar nachdem es durch den Auslass 23a des Gitterstrukturkörpers 23 abgeführt wurde, eine intensive Wirbelströmung ist, die Intensität der Wirbelströmung an der Position, an der die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 = 1E ist, deutlich abnimmt und die Strömung von dieser Position zur stromabwärts gelegenen Seite graduell gleichmäßig gestaltet wird. Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass, wenn die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 so festgelegt ist, dass sie 1E oder größer ist, die Strömungsrichtung des Kühlmittels CL, das durch den Auslass 23a des Gitterstrukturkörpers 23 zur Hinterseite ausströmt, gleichmäßig gestaltet werden kann, wodurch die Filmkühlung des freiliegenden Wandabschnitts 27 effektiv durchgeführt werden kann.

[0028] Als nächstes ist in **Fig. 7** ein Ergebnis dargestellt, das ebenfalls bei der Durchführung einer Simulation für eine Relation zwischen der Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 und des Wärmeübertragungskoeffizienten einer Wandfläche erhalten wurde. Ein Wärmeübertragungskoeffizient, der erhalten wird, wenn ein Kühlmittel als gleichmäßige Strömung, die keine Wirbelströmung enthält, durch ein Rohr mit einer glatten Wandfläche strömt, wird als Referenz (1,0) verwendet und **Fig. 7** stellt ein Verhältnis zu diesem Wärmeübertragungskoeffizienten dar. In einem Bereich stromaufwärts der Position, an der die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 = $5E$ ist, obwohl kein Gitterstrukturkörper 23 vorhanden ist, gibt es einen breiten Abschnitt, in dem aufgrund der Wirkung der im Kühlmittel verbleibenden Wirbelströmung der Wärmeübertragungskoeffizient auf der Wandfläche auf einem höheren Wert gehalten wird als bei der Strömung des Kühlmittels, das auf einer normalen glatten Wandfläche strömt (fast vollständig gleichmäßige Strömung). Indes wurde festgestellt, dass in einem Bereich stromabwärts der Position, an der die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 = $5E$ ist, die Wirbelströmung in dem Kühlmittel nahezu vollständig beseitigt ist und der Anteil eines Abschnitts, in dem der Wärmeübertragungskoeffizient auf der Wandfläche einen Wert aufweist, der gleich dem im Falle einer Strömung des auf einer normalen glatten Wandfläche strömenden Kühlmittels ist, schnell zunimmt. Das heißt, dass in dem Bereich stromaufwärts der Position, an der die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 = $5E$ ist, der Kühleffekt durch den Gitterstrukturkörper 23 bleibt. Daher wird davon ausgegangen, dass, indem die Länge des flachen Flächenabschnitts 29 gleich oder kleiner als $5E$ ist, die Filmkühlung des freiliegenden Wandabschnitts 27 durchgeführt werden kann, während der Kühleffekt durch den Gitterstrukturkörper 23 an dem flachen Flächenabschnitt 29 ausreichend erhalten wird. Aus diesen Ergebnissen ergibt sich, dass die Länge L des flachen Flächenabschnitts 29 bevorzugt innerhalb eines Bereichs von nicht weniger als dem 1-fachen und nicht mehr als dem 5-fachen der Auslasshöhe E ist und stärker bevorzugt in einem Bereich von nicht weniger als dem 1,5-fachen und nicht mehr als dem 3,5-fachen der Auslasshöhe E liegt.

[0029] Da die Bewegungsrichtung M des gesamten Kühlmittels CL auf eine Schaufelsehenrichtung festgelegt ist, wie in **Fig. 2** abgebildet, wird in der vorliegenden Ausführungsform der flache Flächenabschnitt 29, in dem kein Gitterstrukturkörper 23 vorhanden ist, in einem Bereich in dem hinteren Endabschnitt der Turbinenschaufel ausgebildet, in welchem die Kühlturchgangsbreite (Distanz zwischen den Wandflächen des Kühlturchgangs) gering ist. Daher wird, sogar wenn der Gitterstrukturkörper 23 in diesem Bereich ausgelassen wird und dieser Bereich als der flache Flächenabschnitt 29 ausgebil-

det ist, ein ausreichender Kühleffekt durch die Wirbelströmung erzielt, die aus dem Gitterstrukturkörper 23 abgeführt wird. Zudem ist es nicht erforderlich, einen Gitterstrukturkörper 23 mit einer komplizierten Konfiguration in dem Bereich vorzusehen, in dem die Kühlturchgangsbreite gering ist, und somit wird die Herstellung der Turbinenschaufel vereinfacht. Darüber hinaus kann sichergestellt werden, dass der freiliegende Wandabschnitt 27 in der Höhenrichtung H der Turbinenschaufel breit ist, und somit kann die Kühleffizienz für die gesamte Turbinenschaufel weiter verbessert werden. Die Bewegungsrichtung des Kühlmittels CL ist jedoch nicht auf die Schaufelsehenrichtung beschränkt und die Anordnung des Gitterstrukturkörpers 23, des flachen Flächenabschnitts 29, der Kühlmittelaustrittsöffnung 25 und des freiliegenden Wandabschnitts 27 kann entsprechend der Bewegungsrichtung des Kühlmittels CL zweckmäßig festgelegt werden.

[0030] In dem Beispiel in **Fig. 2** ist die Mehrzahl von Gitterstrukturkörpern 23, die in der Höhenrichtung durch die Mehrzahl von Trennkörpern 39 getrennt sind, im hinteren Kühlturchgang 17 vorgesehen, aber Gitterstrukturkörper 23, die nicht durch einen Trennkörper 39 getrennt sind, können in dem hinteren Kühlturchgang 17 vorgesehen sein. Zudem sind in dem gezeigten Beispiel die Gitterstrukturkörper 23 im Wesentlichen über die Gesamtheit in der Höhenrichtung H (die radiale Richtung der Turbine) der Turbinenrotorschaukel 1 vorgesehen, aber ein Gitterstrukturkörper 23 kann lediglich in einem Teil in der Höhenrichtung H der Turbinenrotorschaukel 1 vorgesehen sein. Wie beispielsweise in **Fig. 8** dargestellt, kann ein Gitterstrukturkörper 23 lediglich an der Basisseite der Turbinenrotorschaukel 1 (in einem halben Bereich an der Basisseite im gezeigten Beispiel) vorgesehen sein, d. h. auf der radial inneren Seite. Dementsprechend kann ein Basisabschnitt der Turbinenrotorschaukel 1, der ein Abschnitt ist, auf den große Spannungen einwirken, effektiv gekühlt werden. Aus dem gleichen Grund kann der Gitterstrukturkörper 23, wenn ein Gitterstrukturkörper 23 für eine Turbinenstatorschaufel vorgesehen ist, lediglich an der Basisseite der Turbinenstatorschaufel, welche die radial äußere Seite der Turbine ist, vorgesehen sein.

[0031] Wie vorstehend beschrieben wird in der Kühlstruktur nach der vorliegenden Ausführungsform in dem Prozess, in dem das als Wirbelströmung aus dem Gitterstrukturkörper 23 abgeführte Kühlmittel CL in dem flachen Flächenabschnitt 29 strömt, das Kühlmittel CL derart vergleichmäßig, dass es in eine einheitliche Richtung entlang der Wandfläche strömt und anschließend durch die Kühlmittelaustrittsöffnung 25 an den freiliegenden Wandabschnitt 27 abgeführt wird. Dementsprechend wird verhindert, dass das Hochtemperaturgas G und das Kühlmittel CL sich an dem freiliegenden Wandabschnitt

27 miteinander vermischen, und es wird ein ausreichender Filmkühlungseffekt erzielt. Daher können sowohl eine Kühlung des Inneren der Turbinenschaufel durch den Gitterstrukturkörper 23 als auch eine Filmkühlung des Turbinenschaufel-Hinterkantenabschnitt mit hoher Effizienz erreicht werden und somit kann die Kühleffizienz für die gesamte Turbinenschaufel verbessert werden.

[0032] Obwohl die vorliegenden Erfindung vorstehend in Verbindung mit ihren Ausführungsformen unter Bezugnahme der dazugehörigen Zeichnungen beschrieben wurde, können zahlreichen Ergänzungen, Änderungen oder Entfernungen durchgeführt werden, ohne vom Wesentlichen der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Dementsprechend sind solche Ergänzungen, Änderungen oder Entfernungen als im Umfang der vorliegenden Erfindung miteinbezogen auszulegen.

[Bezugszeichen]

1	Turbinenrotorschaukel (Turbinenschaufel)
3	erste Schaufelwand
5	zweite Schaufelwand
17	hinterer Kühldurchgang (Kühldurchgang)
23	Gitterstrukturkörper
23a	Auslass des Gitterstrukturkörpers
25	Kühlmittelaustrittsöffnung
27	freiliegender Wandabschnitt
29	flacher Flächenabschnitt
CL	Kühlmittel
E	Auslasshöhe des Gitterstrukturkörpers
G	Hochtemperaturgas
GP	Durchgang für Hochtemperaturgas
L	Länge des flachen Flächenabschnitts

Patentansprüche

1. Struktur zum Kühlen einer Turbinenschaufel (1) einer durch ein Hochtemperaturgas (G) angetriebenen Turbine, wobei die Struktur aufweist: einen Kühldurchgang (17) zwischen einer ersten Schaufelwand (3) der Turbinenschaufel (1), die relativ zu einem Durchgang für das Hochtemperaturgas (GP) konkav gewölbt ist, und einer zweiten Schaufelwand (5) der Turbinenschaufel (1), die relativ zu dem Durchgang für das Hochtemperaturgas (GP) konvex gewölbt ist; einen Gitterstrukturkörper (23) mit einem ersten Rippensatz, der aus einer Mehrzahl von ersten Rippen besteht, die auf einer dem Kühldurchgang (17)

zugewandten Wandfläche der ersten Schaufelwand (3) vorgesehen sind, und einem zweiten Rippensatz, der aus einer Mehrzahl von zweiten Rippen besteht, die auf einer dem Kühldurchgang (17) zugewandten Wandfläche der zweiten Schaufelwand (5) vorgesehen sind, wobei der zweite Rippensatz derart auf dem ersten Rippensatz gesetzt ist, dass ein Gittermuster entsteht; eine Kühlmittelaustrittsöffnung (25), die an einem stromabwärts gelegenen Endabschnitt des Kühldurchgangs (17) vorgesehen ist und derart konfiguriert ist, dass das Kühlmittel (CL) innerhalb des Kühldurchgangs (17) nach außen abgeführt wird; einen freiliegenden Wandabschnitt (27) in der Form eines Abschnitts der zweiten Schaufelwand (5), der sich über die Kühlmittelaustrittsöffnung (25) hinaus nach außen erstreckt; und einen flachen Flächenabschnitt (29), der ein Abschnitt des Kühldurchgangs (17) von einem Auslass (23a) des Gitterstrukturkörpers (23) zur Kühlmittelaustrittsöffnung (25) ist, und an dem die Wandfläche der ersten Schaufelwand (3) und die Wandfläche der zweiten Schaufelwand (5) als flache Flächen ausgebildet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass der flache Flächenabschnitt (29) eine Länge innerhalb eines Bereichs von nicht weniger als dem 1-fachen und nicht mehr als dem 5-fachen einer Höhe (E) des Auslasses (23a) des Gitterstrukturkörpers (23) aufweist.

2. Struktur zum Kühlen der Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, wobei eine Bewegungsrichtung des gesamten Kühlmittels (CL) eine Richtung entlang einer Schaufelsehne der Turbinenschaufel (1) ist und eine Mehrzahl der Gitterstrukturkörper (23) derart angeordnet ist, dass sie in einer Höhenrichtung der Turbinenschaufel (1) nebeneinander liegen, wobei dazwischen ein Trennkörper angeordnet ist.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

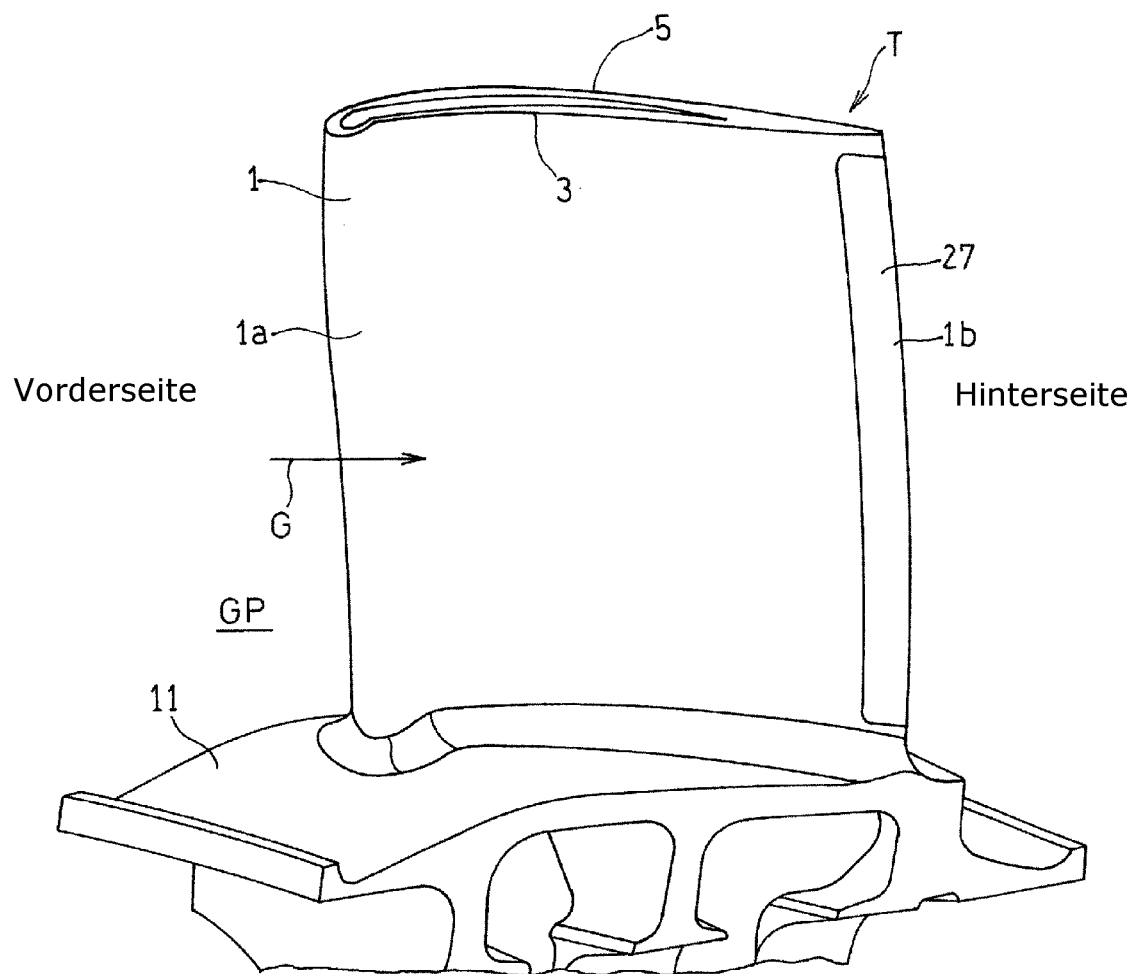
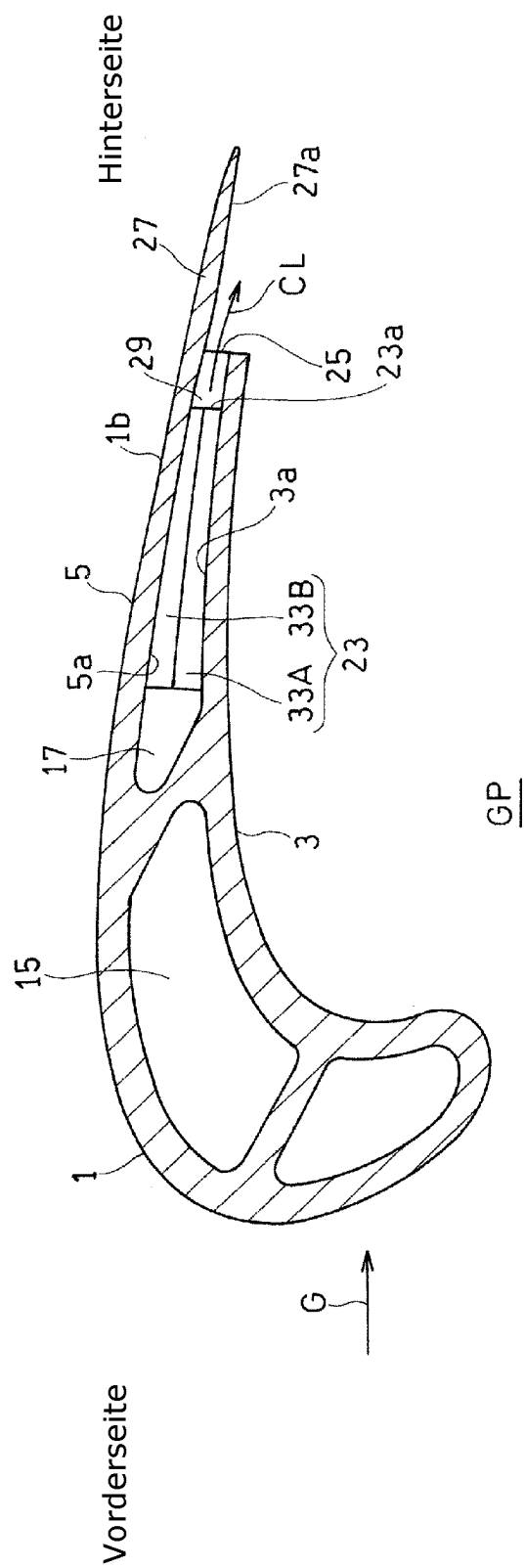


Fig. 3



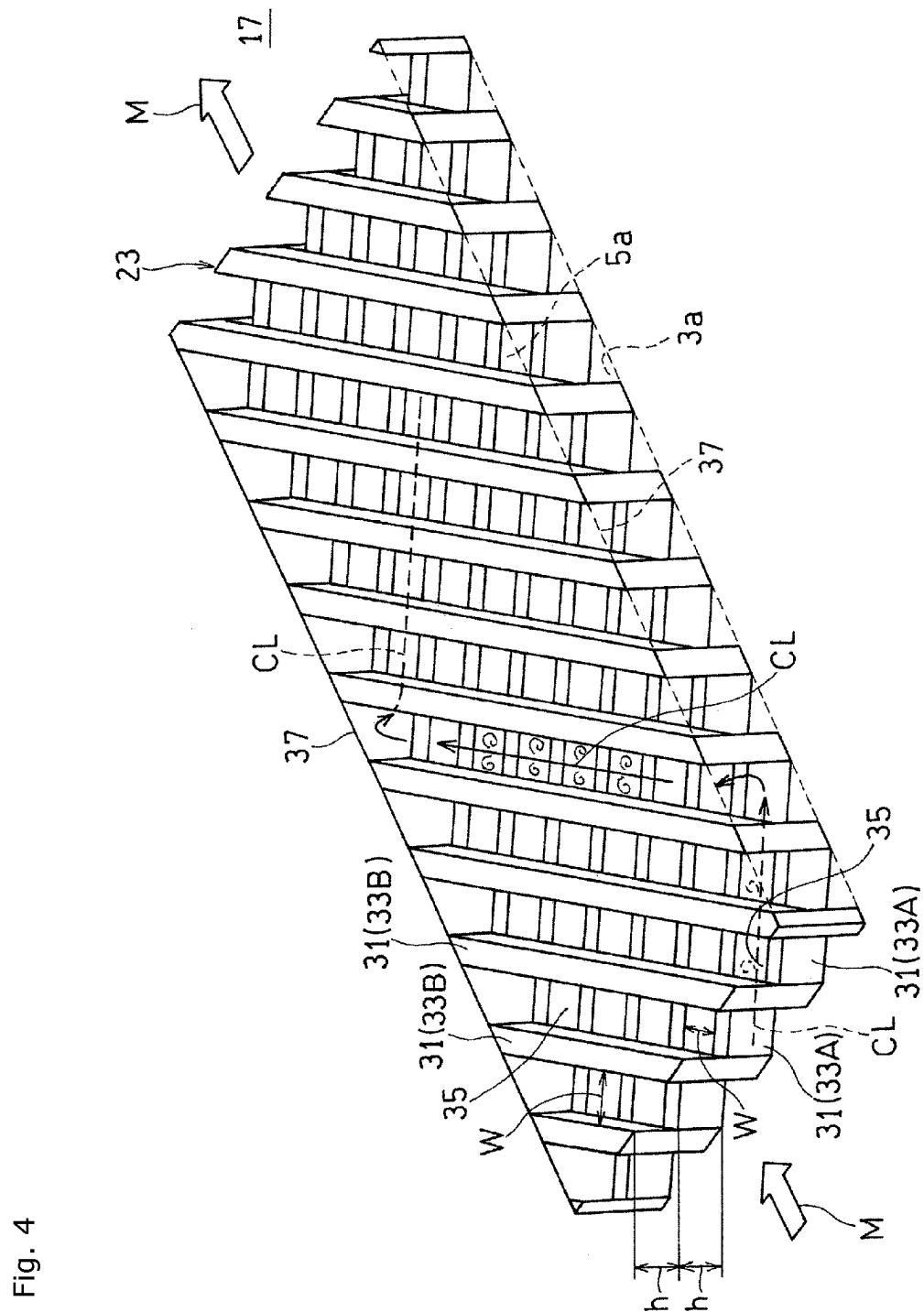
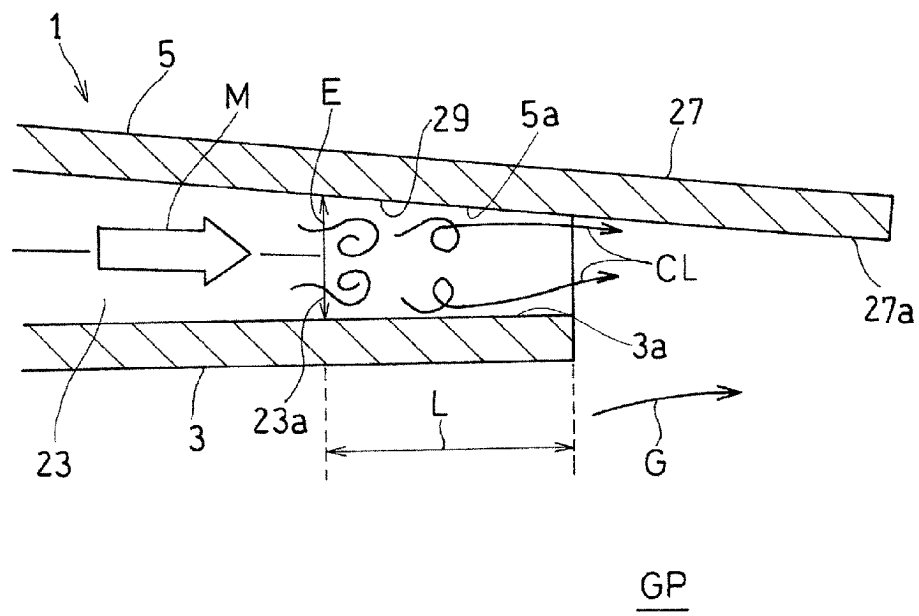


Fig. 5



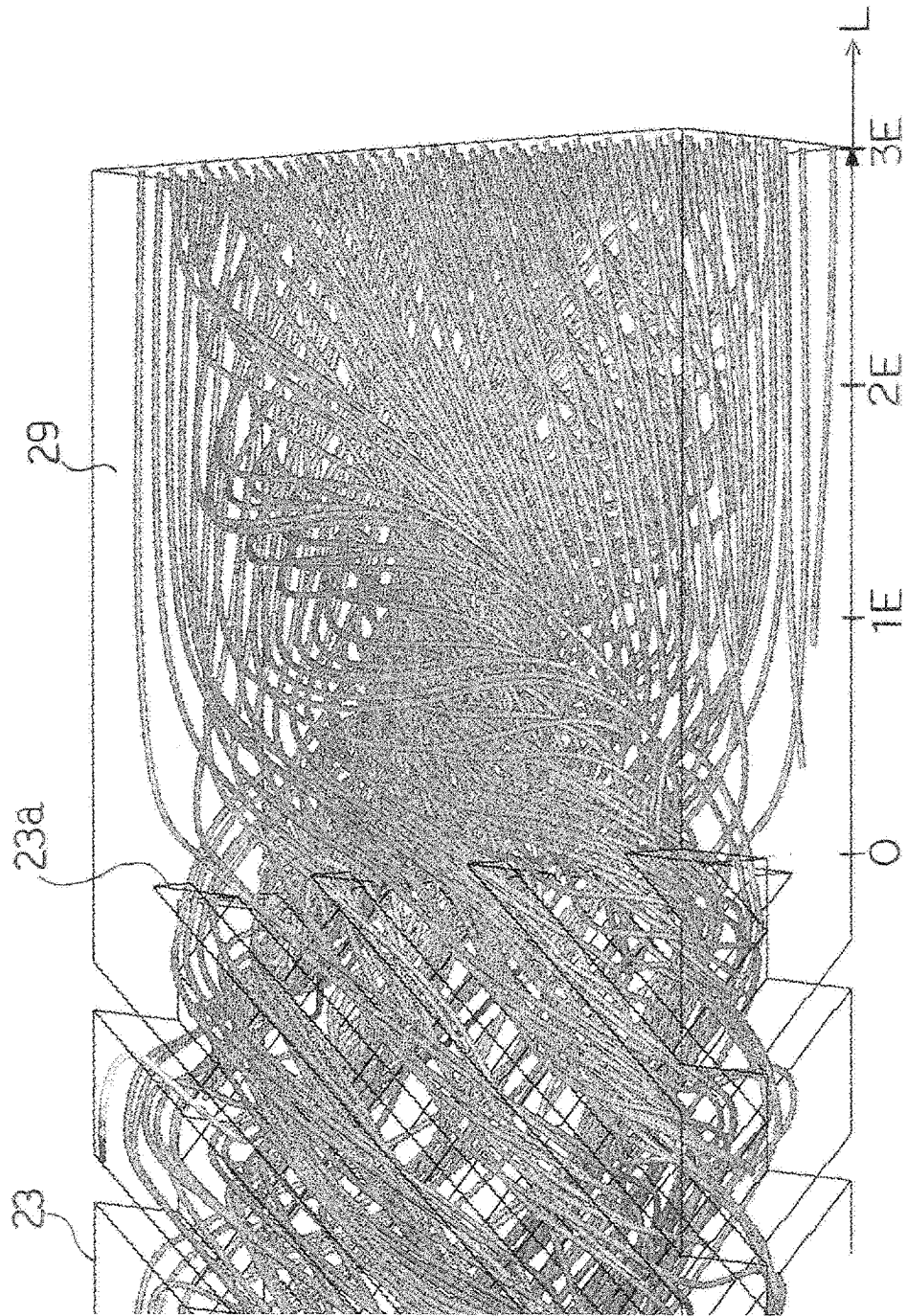
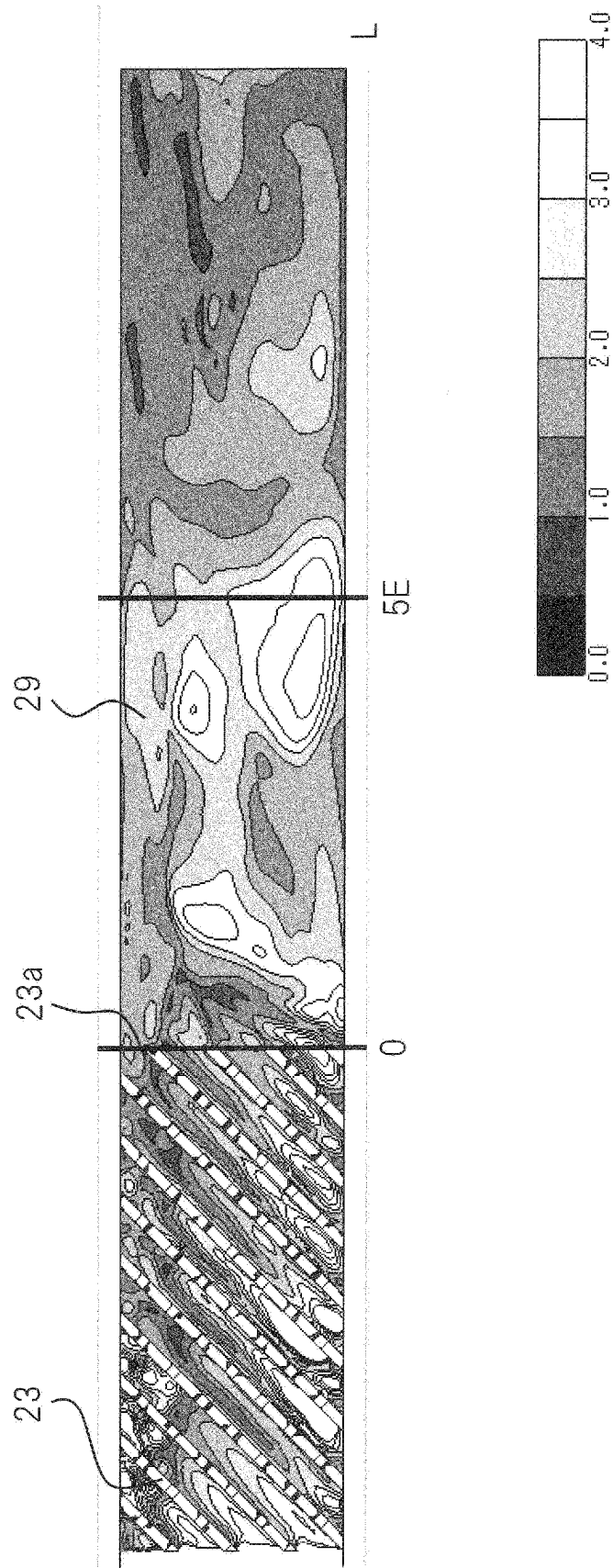


Fig. 6

Fig. 7



Anstiegsrate des Wärmeübertragungskoeffizienten

Fig. 8

