

(19)



(11)

EP 4 136 323 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

29.05.2024 Patentblatt 2024/22

(21) Anmeldenummer: **21731686.8**

(22) Anmeldetag: **21.05.2021**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

F01D 5/18 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

F01D 5/185; F01D 5/186; F01D 5/187;

F05D 2220/32; F05D 2230/20; F05D 2230/21;

F05D 2240/304; F05D 2240/305; F05D 2250/12;

F05D 2250/13

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP2021/063617

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2021/259569 (30.12.2021 Gazette 2021/52)

(54) **TURBINENSCHAUFEL UND ZUGEHÖRIGES HERSTELLUNGSVERFAHREN**

TURBINE BLADE AND CORRESPONDING METHOD OF MACHINING

AUBE DE TURBINE ET PROCÉDÉ D'USINAGE ASSOCIÉ

(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**

(30) Priorität: **22.06.2020 DE 102020207646**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

22.02.2023 Patentblatt 2023/08

(73) Patentinhaber: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**

81739 München (DE)

(72) Erfinder:

- **BOEFF, Martin**
45894 Gelsenkirchen-Buer (DE)
- **RUDA, Thomas**
47447 Moers (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A1- 1 318 274 EP-A1- 1 555 390

EP-A1- 2 685 049 EP-A1- 2 787 173

US-A1- 2013 336 767

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 4 136 323 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für eine Gasturbine mit einem Schaufelfuß und einem oberhalb des Schaufelfußes angeordneten, aerodynamisch gekrümmten Schaufelblatt, wobei das Schaufelblatt eine druckseitige Schaufelwand und eine saugseitige Schaufelwand aufweist, die sich gemeinsam von einer von einem Arbeitsmedium anströmbaren Vorderkante des Schaufelblattes zu einer Hinterkante des Schaufelblattes erstrecken, wobei an der druckseitigen Schaufelwand eine Vielzahl von Kühlluftaustrittsöffnungen ausgebildet ist, die sich jeweils ausgehend von der Hinterkante bezogen auf die Strömungsrichtung eines das Schaufelblatt umströmenden Arbeitsmediums stromaufwärts erstrecken und durch die durch das Innere des Schaufelblattes geleitete Kühlluft austreten kann, wobei zumindest eine der Kühlluftaustrittsöffnungen eine im Wesentlichen rechteckige oder trapezförmige Form mit abgerundeten Ecken aufweist, die sich in Austrittsrichtung der Kühlluft bevorzugt aufweitet. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Bearbeiten einer solchen Turbinenschaufel. Turbinenschaufeln der eingangs genannten Art sind im Stand der Technik in unterschiedlichen Ausgestaltungen bekannt. Während des Betriebs sind sie hohen thermischen Belastungen ausgesetzt, weshalb ihre Schaufelblätter zur Erhöhung der Lebensdauer gekühlt werden. Hierzu wird Kühlluft durch den Schaufelfuß in das Schaufelblatt eingeleitet, das durch die an der druckseitigen Schaufelwand im Bereich der Hinterkante vorgesehenen Kühlluftaustrittsöffnungen im Wesentlichen axial in den Strömungskanal des Arbeitsmediums austritt. Die Kühlluftaustrittsöffnungen weisen eine im Wesentlichen trapezförmige und/oder rechteckige Form auf, die sich in Austrittsrichtung der Kühlluft aufweitet, und werden häufig auch als Cut-Back-Öffnungen bezeichnet. Ein Problem besteht zum einen darin, dass durch das Vorsehen solcher Kühlluftaustrittsöffnungen geometrische Spannungen in das Schaufelblatt induziert werden. Zum anderen ist die durch die Kühlluft hervorgerufene Kühlung im Bereich der Kühlluftaustrittsöffnungen nicht gleichmäßig, was thermisch bedingte Spannungen nach sich zieht. Diese geometrischen und thermischen Spannungen können lebensdauerbegrenzend für die Turbinenschaufel sein und führen dazu, dass Turbinenschaufeln im Rahmen von Wartungsarbeiten häufig ausgetauscht werden müssen. Der Versuch, den negativen Auswirkungen der Spannungen durch Versteifungen des Schaufelblattes im Bereich der Kühlluftaustrittsöffnungen zu begegnen, blieb erfolglos. Im Ergebnis wurde entweder ein erweitertes Risiko zugelassen oder die Turbinenschaufeln haben eine Restriktion bezüglich ihrer Einsatzdauer erhalten.

[0002] Die EP 1 555 390 A1 offenbart eine Turbinenschaufel für eine Gasturbine mit einem Schaufelfuß und einem oberhalb des Schaufelfußes angeordneten, aerodynamisch gekrümmten Schaufelblatt, wobei das Schaufelblatt eine druckseitige Schaufelwand und eine

saugseitige Schaufelwand aufweist, die sich gemeinsam von einer von einem Arbeitsmedium anströmbaren Vorderkante des Schaufelblattes zu einer Hinterkante des Schaufelblattes erstrecken, wobei an der druckseitigen Schaufelwand eine Vielzahl von Kühlluftaustrittsöffnungen ausgebildet ist, die sich jeweils ausgehend von der Hinterkante bezogen auf die Strömungsrichtung eines das Schaufelblatt umströmenden Arbeitsmediums stromaufwärts erstrecken und durch die durch das Innere des Schaufelblattes geleitete Kühlluft austreten kann, wobei zumindest eine der Kühlluftaustrittsöffnungen eine im Wesentlichen rechteckige oder trapezförmige Form mit abgerundeten Ecken aufweist, die sich in Austrittsrichtung der Kühlluft bevorzugt aufweitet.

[0003] Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Turbinenschaufel der eingangs genannten Art zu schaffen.

[0004] Zur Lösung dieser Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung eine Turbinenschaufel für eine Gasturbine mit einem Schaufelfuß und einem oberhalb des Schaufelfußes angeordneten, aerodynamisch gekrümmten Schaufelblatt, wobei das Schaufelblatt eine druckseitige Schaufelwand und eine saugseitige Schaufelwand aufweist, die sich gemeinsam von einer von einem Arbeitsmedium anströmbaren Vorderkante des Schaufelblattes zu einer Hinterkante des Schaufelblattes erstrecken, wobei an der druckseitigen Schaufelwand eine Vielzahl von Kühlluftaustrittsöffnungen ausgebildet ist, die sich jeweils ausgehend von der Hinterkante bezogen auf die Strömungsrichtung eines das Schaufelblatt umströmenden Arbeitsmediums stromaufwärts erstrecken und durch die durch das Innere des Schaufelblattes geleitete Kühlluft austreten kann, wobei zumindest eine der Kühlluftaustrittsöffnungen eine im Wesentlichen rechteckige oder trapezförmige Form mit abgerundeten Ecken aufweist, die sich in Austrittsrichtung der Kühlluft bevorzugt aufweitet, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die zur Vorderkante weisende untere Ecke dieser zumindest einen Kühlluftaustrittsöffnung eine auswärts von der rechteckigen Form vorstehende Entlastungskerbe mit abgerundetem Kerbgrund bildet. Während der Turbinenschaufelentwicklung hat sich herausgestellt, dass die hohen Spannungen im Bereich der Kühlluftaustrittsöffnungen in erster Linie thermisch nur zu geringen Anteilen geometrisch bedingt sind. Vor diesem Hintergrund wurde die Geometrie zumindest der beanspruchtesten Kühlluftaustrittsöffnung dahingehend überarbeitet, dass eine Entlastungskerbe mit abgerundetem Kerbgrund in der unteren, zur Vorderkante weisenden Ecke ergänzt wurde. Auch wenn diese Entlastungskerbe die Steifigkeit der Turbinenschaufel im Bereich der entsprechenden Kühlluftaustrittsöffnung deutlich herabsetzt, unterstützt sie die thermische Dehnung des Schaufelblattes, wodurch die Spannungen innerhalb der Turbinenschaufel insgesamt deutlich reduziert werden, was eine spürbare Erhöhung der Lebensdauer zur Folge hat. Dieser positive Effekt konnte auch im Rahmen

von 3D Finite Elemente Analysen nachgewiesen werden.

[0005] Gemäß einer Variante der vorliegenden Erfindung setzt die Entlastungskerbe die Linie einer unteren Kante der Kühlluftaustrittsöffnung fort, wobei der oberhalb der unteren Kante der Kühlluftaustrittsöffnung angeordnete Kerbgrund in Richtung der Vorderkante des Schaufelblattes weist. Bei dieser Variante kann das Schaufelblatt im Bereich der Kühlluftaustrittsöffnung gießtechnisch ohne Hinterschnitt hergestellt werden, was grundsätzlich wünschenswert ist.

[0006] Gemäß einer weiteren Variante der vorliegenden Erfindung erstreckt sich die Entlastungskerbe ausgehend von der unteren Kante der Kühlluftaustrittsöffnung im stumpfen Winkel schräg abwärts, wobei der unterhalb der unteren Kante der Kühlluftaustrittsöffnung angeordnete Kerbgrund in Richtung des Schaufelfußes weist. Diese Variante ist spannungstechnisch von Vorteil. Allerdings lässt sie sich gießtechnisch nicht ohne störende Hinterschnitte fertigen.

[0007] Bevorzugt weitet sich die Entlastungskerbe ausgehend von ihrem Kerbgrund kelchartig auf, wodurch eine besonders gute thermische Dehnfähigkeit des Schaufelblattes im Bereich der Kühlluftaustrittsöffnung erzielt wird.

[0008] Vorteilhaft handelt es sich bei der zumindest einen Kühlluftaustrittsöffnung um die unterste Kühlluftaustrittsöffnung, da dort die größten thermischen Spannungen auftreten.

[0009] Ferner schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Bearbeitung einer Turbinenschaufel mit einem Schaufelfuß und einem aerodynamisch gekrümmten Schaufelblatt, wobei das Schaufelblatt eine druckseitige Schaufelwand und eine saugseitige Schaufelwand aufweist, die sich gemeinsam von einer von einem Arbeitsmedium anströmbaren Vorderkante des Schaufelblattes zu einer Hinterkante des Schaufelblattes erstrecken, wobei an der druckseitigen Schaufelwand eine Vielzahl von Kühlluftaustrittsöffnungen ausgebildet ist, die sich jeweils ausgehend von der Hinterkante bezogen auf die Richtung eines das Schaufelblatt umströmende Arbeitsmediums stromaufwärts erstrecken und durch die ein durch das Innere des Schaufelblattes geleitete Kühlluft austreten kann, und wobei eine der Kühlluftaustrittsöffnungen eine im Wesentlichen rechteckige oder trapezförmige Form mit abgerundeten Ecken aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass in zumindest die zur Vorderkante weisende untere Ecke dieser zumindest einen Kühlluftaustrittsöffnung eine auswärts von der rechteckigen Form vorstehende Entlastungskerbe mit abgerundetem Kerbgrund ausgebildet wird, um eine erfindungsgemäße Turbinenschaufel herzustellen.

[0010] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung deutlich. Darin ist

Figur 1 eine perspektivische Ansicht einer bekannten Turbinenschaufel;

Figur 2 eine vergrößerte Ansicht des in Figur 1 mit der Bezugsziffer II gekennzeichneten Ausschnitts, der eine Kühlluftaustrittsöffnung mit bekanntem Design zeigt;

Figur 3 eine perspektivische Ansicht der in Figur 1 gezeigten Turbinenschaufel nach Durchführung eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Figur 4 eine vergrößerte Ansicht des in Figur 3 mit der Bezugsziffer IV gekennzeichneten Ausschnitts, der eine Kühlluftaustrittsöffnung mit einer Entlastungskerbe gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt;

Figur 5 eine perspektivische Ansicht der in Figur 1 gezeigten Turbinenschaufel nach Durchführung eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Figur 6 eine vergrößerte Ansicht des in Figur 5 mit der Bezugsziffer VI gekennzeichneten Ausschnitts, der eine Kühlluftaustrittsöffnung mit einer Entlastungskerbe gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0011] Gleiche Bezugsziffern bezeichnen nachfolgend gleichartige Bauteile oder Bauteilbereiche.

[0012] Figur 1 zeigt eine bekannte Turbinenschaufel 1 für eine Gasturbine, bei der es sich vorliegend um eine Laufschaufel handelt. Die Turbinenschaufel 1 umfasst einen Schaufelfuß 2 und ein oberhalb des Schaufelfußes 2 angeordnetes, aerodynamisch gekrümmtes Schaufelblatt 3. Das Schaufelblatt 3 weist eine druckseitige Schaufelwand 4 und eine saugseitige Schaufelwand 5 auf, die sich gemeinsam von einer von einem Arbeitsmedium in Richtung des Pfeils 6 anströmbaren Vorderkante 7 des Schaufelblattes 3 zu einer Hinterkante 8 des Schaufelblattes 3 erstrecken. An der druckseitigen Schaufelwand 4 sind entlang der Hinterkante 8 eine Reihe von Kühlluftaustrittsöffnungen 9 vorgesehen, die vorliegend als so genannte Cut-Back-Öffnungen ausgebildet sind. Die Kühlluftaustrittsöffnungen 9 erstrecken sich jeweils ausgehend von der Hinterkante 8 bezogen auf die Strömungsrichtung des das Schaufelblatt 3 umströmenden Arbeitsmediums stromaufwärts und dienen dazu, durch im Inneren des Schaufelblattes 3 vorhandene, vorliegend nicht näher dargestellte Kühlkanäle geleitete Kühlluft im Wesentlichen axial in einen Strömungskanal des Arbeitsmediums auszulassen. Die Kühlluftaustrittsöffnungen 9 weisen eine im Wesentlichen rechteckige oder trapezförmige Form mit abgerundeten Ecken 10 auf, die sich vorliegend jeweils in Austrittsrichtung der Kühlluft aufweitet. In Figur 1 werden die Formen der un-

tersten Kühlluftaustrittsöffnung 9 sowie der obersten drei Kühlluftaustrittsöffnungen 9 als eher rechteckig angesehen, auch wenn sie sich leicht in Austrittsrichtung der Kühlluft aufweiten, während alle übrigen Kühlluftaustrittsöffnungen 9 eher trapezförmig ausgebildet sind.

[0013] Figur 2 zeigt eine vergrößerte Ansicht der untersten Kühlluftaustrittsöffnung 9, die sich dadurch auszeichnet, dass in ihrem Bereich die thermischen Spannungen während des Betriebs der Turbinenschaufel 1 besonders hoch bzw. am höchsten sind.

[0014] Die Figuren 3 und 4 zeigen eine Turbinenschaufel 1 gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die ausgehend von der in den Figuren 1 und 2 dargestellten Turbinenschaufel 1 hergestellt wurde.

[0015] Die in den Figuren 3 und 4 gezeigte Turbinenschaufel 1 unterscheidet sich von der in den Figuren 1 und 2 gezeigten Turbinenschaufel 1 nur hinsichtlich der Ausgestaltung der untersten Kühlluftaustrittsöffnung 9, wie es anhand eines Vergleichs der Figuren 2 und 4 ersichtlich ist. Ausgehend von der in Figur 2 dargestellten Kühlluftaustrittsöffnung 9 wurde die zur Vorderkante weisende untere Ecke 10 der in Figur 4 gezeigten Kühlluftaustrittsöffnung 9 mit einer auswärts von der rechteckigen Form vorstehenden Entlastungskerbe 11 mit abgerundetem Kerbgrund 12 versehen. Die Entlastungskerbe 11 setzt vorliegend die Linie der unteren Kante 13 der Kühlluftaustrittsöffnung 9 fort, wobei der oberhalb der unteren Kante 13 der Kühlluftaustrittsöffnung 9 angeordnete Kerbgrund 12 in Richtung der Vorderkante 7 des Schaufelblattes 3 weist. Eine solche Entlastungskerbe 11 kann beispielsweise unter Verwendung eines spanabhebenden Bearbeitungsverfahrens in die in Figur 2 dargestellte Kühlluftaustrittsöffnung 9 eingebracht werden. Sie führt dazu, dass thermische Spannungen im Bereich der Kühlluftaustrittsöffnung 9 während des Betriebs der Turbinenschaufel 1 deutlich reduziert werden, was eine spürbare Verlängerung der Lebensdauer der Turbinenschaufel 1 nach sich zieht.

[0016] Es sei darauf hingewiesen, dass es alternativ natürlich auch möglich ist, die in den Figuren 3 und 4 gezeigte Turbinenschaufel 1 im Rahmen einer Neuherstellung zu fertigen. So kann die in den Figuren 3 und 4 dargestellte Turbinenschaufel 1 beispielsweise gegossen und bei Bedarf thermisch und/oder mechanisch nachbearbeitet werden. Für die gießtechnische Herstellung eignet sich die in Figur 4 dargestellte Kühlluftaustrittsöffnung 9 besonders gut, da die die Entlastungskerbe 11 keine hinterschnittenen Bereiche erzeugt, welche die Geometrie des oder der Gießkerne unnötig kompliziert gestalten würden.

[0017] Die Figuren 5 und 6 zeigen eine Turbinenschaufel 1 gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die ausgehend von der in den Figuren 1 und 2 dargestellten Turbinenschaufel 1 hergestellt wurde.

[0018] Die in den Figuren 5 und 6 gezeigte Turbinenschaufel 1 unterscheidet sich von der in den Figuren 1

und 2 gezeigten Turbinenschaufel 1 nur hinsichtlich der Ausgestaltung der untersten Kühlluftaustrittsöffnung 9, wie es anhand eines Vergleichs der Figuren 2 und 6 ersichtlich ist. Ausgehend von der in Figur 2 dargestellten Kühlluftaustrittsöffnung 9 wurde die zur Vorderkante 7 weisende untere Ecke 10 der in Figur 6 gezeigten Kühlluftaustrittsöffnung 9 mit einer auswärts von der rechteckigen Form vorstehenden Entlastungskerbe 11 mit abgerundetem Kerbgrund 12 versehen. Die Entlastungskerbe 11 erstreckt sich ausgehend von der unteren Kante 13 der Kühlluftaustrittsöffnung 9 im stumpfen Winkel schräg abwärts. Der unterhalb der unteren Kante 13 der Kühlluftaustrittsöffnung 9 angeordnete Kerbgrund 12 weist in Richtung des Schaufelfußes 2, wobei sich die Entlastungskerbe 11 ausgehend von ihrem Kerbgrund 12 kelchartig aufweitet.

[0019] Auch die in Figur 6 gezeigte Entlastungskerbe 11 kann beispielsweise unter Verwendung eines spanabhebenden Bearbeitungsverfahrens in die in Figur 2 dargestellte Kühlluftaustrittsöffnung 9 eingebracht werden. Sie führt dazu, dass thermische Spannungen im Bereich der Kühlluftaustrittsöffnung 9 während des Betriebs der Turbinenschaufel 1 deutlich reduziert werden, was eine spürbare Verlängerung der Lebensdauer der Turbinenschaufel 1 nach sich zieht. In Bezug auf die Spannungsreduzierung ist die Form der in Figur 6 dargestellten Kühlluftaustrittsöffnung 9 bzw. ihrer Entlastungskerbe 11 günstiger als die in Figur 4 gezeigte Form. Allerdings hat sie Hinterschnidungen, die sich gießtechnisch nur mit erhöhtem Aufwand realisieren lassen, wenn die in den Figuren 5 und 6 dargestellte Turbinenschaufel 1 im Rahmen einer Neuherstellung realisiert wird.

[0020] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden.

[0021] Insbesondere können auch weitere Kühlluftaustrittsöffnungen 9 und/oder andere als die unterste Kühlluftaustrittsöffnung 9 mit einer Entlastungskerbe 11 versehen sein bzw. versehen werden. Die vorliegende Erfindung ist durch die beigefügten Ansprüche 1 bis 6 definiert.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1) für eine Gasturbine mit einem Schaufelfuß (2) und einem oberhalb des Schaufelfußes (2) angeordneten, aerodynamisch gekrümmten Schaufelblatt (3), wobei das Schaufelblatt (3) eine druckseitige Schaufelwand (4) und eine saugseitige Schaufelwand (5) aufweist, die sich gemeinsam von einer von einem Arbeitsmedium anströmbaren Vorderkante (7) des Schaufelblattes (3) zu einer Hinterkante (8) des Schaufelblattes (3) erstrecken, wobei an der druckseitigen Schaufelwand (4) eine Vielzahl von Kühlluftaustrittsöffnungen (9) ausgebildet

ist, die sich jeweils ausgehend von der Hinterkante (8) bezogen auf die Strömungsrichtung eines das Schaufelblatt (3) umströmenden Arbeitsmediums stromaufwärts erstrecken und durch die durch das Innere des Schaufelblattes (3) geleitete Kühlluft austreten kann, wobei zumindest eine der Kühlluftaustrittsöffnungen (9) eine im Wesentlichen rechteckige oder trapezförmige Form mit abgerundeten Ecken (10) aufweist, die sich in Austrittsrichtung der Kühlluft bevorzugt aufweitet, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest die zur Vorderkante (7) weisende untere Ecke dieser zumindest einen Kühlluftaustrittsöffnung (9) eine auswärts von der rechteckigen Form vorstehende Entlastungskerbe (11) mit abgerundetem Kerbgrund (12) bildet.

2. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Entlastungskerbe (11) die Linie einer unteren Kante (13) der Kühlastrittsöffnung (9) fortsetzt, und dass der oberhalb der unteren Kante (13) der Kühlastrittsöffnung (9) angeordnete Kerbgrund (12) in Richtung der Vorderkante (7) des Schaufelblattes (3) weist.
3. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Entlastungskerbe (11) ausgehend von der unteren Kante (13) der Kühlastrittsöffnung (9) im stumpfen Winkel schräg abwärts erstreckt, und dass der unterhalb der unteren Kante der Kühlastrittsöffnung (9) angeordnete Kerbgrund (12) in Richtung des Schaufelfußes (2) weist.
4. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Entlastungskerbe (11) ausgehend von ihrem Kerbgrund (12) kelchartig aufweitet.
5. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei der zumindest einen Kühlluftaustrittsöffnung (9) um die unterste Kühlluftaustrittsöffnung (9) handelt.
6. Verfahren zur Bearbeitung einer Turbinenschaufel (1) mit einem Schaufelfuß (2) und einem aerodynamisch gekrümmten Schaufelblatt (3), wobei das Schaufelblatt (3) eine druckseitige Schaufelwand (4) und eine saugseitige Schaufelwand (5) aufweist, die sich gemeinsam von einer von einem Arbeitsmedium anströmbaren Vorderkante (7) des Schaufelblattes (3) u einer Hinterkante (8) des Schaufelblattes (3) erstrecken, wobei an der druckseitigen Schaufelwand (4) eine Vielzahl von Kühlluftaustrittsöffnungen (9) ausgebildet ist, die sich jeweils ausgehend von der Hinterkante (8) bezogen auf die Richtung

eines das Schaufelblatt (3) umströmende Arbeitsmediums stromaufwärts erstrecken und durch die durch das Innere des Schaufelblattes (3) geleitete Kühlluft austreten kann, und wobei eine der Kühlluftaustrittsöffnungen (9) eine im Wesentlichen rechteckige oder trapezförmige Form mit abgerundeten Ecken (10) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in zumindest die zur Vorderkante (7) weisende untere Ecke (10) dieser zumindest einen Kühlluftaustrittsöffnung (9) eine auswärts von der rechteckigen Form vorstehende Entlastungskerbe (11) mit abgerundetem Kerbgrund (12) ausgebildet wird, um eine Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 herzustellen.

Claims

1. Turbine blade (1) for a gas turbine with a blade root (2) and an aerodynamically curved blade leaf (3) arranged above the blade root (2), wherein the blade leaf (3) has a pressure-side blade wall (4) and a suction-side blade wall (5) which extend together from a leading edge (7), onto which a working medium can flow, of the blade leaf (3) to a trailing edge (8) of the blade leaf (3), wherein a plurality of cooling-air outlet openings (9) are formed on the pressure-side blade wall (4) which, starting from the trailing edge (8), each extend upstream relative to the direction of flow of a working medium which flows around the blade leaf (3) and through which cooling air routed through the inside of the blade leaf (3) can issue, wherein at least one of the cooling-air outlet openings (9) has an essentially rectangular or trapezoidal shape with rounded corners (10) which preferably widens out in the direction in which the cooling air issues, **characterized in that** at least the lower corner, facing the leading edge (7), of this at least one cooling-air outlet opening (9) forms a relief notch (11) which projects outward from the rectangular shape and has a rounded notch base (12).
2. Turbine blade (1) according to Claim 1, **characterized in that** the relief notch (11) continues the line of a lower edge (13) of the cooling outlet opening (9), and **in that** the notch base (12) arranged above the lower edge (13) of the cooling outlet opening (9) faces in the direction of the leading edge (7) of the blade leaf (3).
3. Turbine blade (1) according to Claim 1, **characterized in that** the relief notch (11) extends, starting from the lower edge (13) of the cooling outlet opening (9), obliquely downward at an obtuse angle, and **in that** the notch base (12) arranged below the lower edge of the cooling outlet opening (9) faces in the direction of the blade root (2).

4. Turbine blade (1) according to Claim 3, **characterized in that** the relief notch (11) widens out, starting from its notch base (12), in the manner of a chalice.
5. Turbine blade (1) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the at least one cooling-air outlet opening (9) is the lowest cooling-air outlet opening (9).
6. Method for machining a turbine blade (1) with a blade root (2) and an aerodynamically curved blade leaf (3), wherein the blade leaf (3) has a pressure-side blade wall (4) and a suction-side blade wall (5) which extend together from a leading edge (7), onto which a working medium can flow, of the blade leaf (3) to a trailing edge (8) of the blade leaf (3), wherein a plurality of cooling-air outlet openings (9) are formed on the pressure-side blade wall (4) which, starting from the trailing edge (8), each extend upstream relative to the direction of a working medium which flows around the blade leaf (3) and through which cooling air routed through the inside of the blade leaf (3) can issue, and wherein one of the cooling-air outlet openings (9) has an essentially rectangular or trapezoidal shape with rounded corners (10), **characterized in that** a relief notch (11) which projects outward from the rectangular shape and has a rounded notch base (12) is formed in at least the lower corner (10), facing the leading edge (7), of this at least one cooling-air outlet opening (9) in order to produce a turbine blade (1) according to one of Claims 1 to 5.

Revendications

1. Aube (1) de turbine pour une turbine à gaz comprenant une emplanture (2) d'aube et un corps (3) d'aube incurvé aérodynamiquement et disposé au-dessus de l'emplanture (2) de l'aube, dans laquelle le corps (3) de l'aube a un intrados (4) et un extrados (5), qui s'étendent conjointement d'un bord (7) avant, où peut affluer un fluide de travail, du corps (3) de l'aube, à un bord (8) arrière du corps (3) de l'aube, dans laquelle sur l'intrados (4) est constitué une pluralité d'ouvertures (9) de sortie d'air de refroidissement, qui chacune, à partir du bord (8) arrière, rapporté au sens d'écoulement d'un fluide de travail passant autour du corps (3) de l'aube, s'étendent vers l'amont et par lesquelles de l'air de refroidissement passant à l'intérieur du corps (3) de l'aube peut sortir, dans laquelle au moins l'une des ouvertures (9) de sortie de l'air de refroidissement a une forme sensiblement rectangulaire ou trapézoïdale à sommets arrondis, qui de préférence s'élargit dans le sens de sortie de l'air de refroidissement, **caractérisée en ce qu'**au moins le sommet (10) inférieur, tourné vers le bord (7) avant de cette au moins une

ouverture (9) de sortie de l'air de refroidissement, forme une encoche (11) de détente en saillie vers l'extérieur de la forme rectangulaire à fond (12) d'encoche arrondie.

2. Aube (1) de turbine suivant la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'encoche (11) de détente suit la ligne d'un bord (13) inférieur de l'ouverture (9) de sortie de refroidissement, et **en ce que** le fond (12) de l'encoche disposé au-dessus du bord (13) inférieur de l'ouverture (9) de sortie de refroidissement est tourné dans la direction du bord (7) avant du corps (3) de l'aube.
3. Aube (1) de turbine suivant la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'encoche (11) de détente s'étend à partir du bord (13) inférieur de l'ouverture (9) de sortie de refroidissement vers le bas d'une manière inclinée suivant un angle obtus, et **en ce que** le fond (12) de l'encoche disposé en-dessous du bord inférieur de l'ouverture (9) de sortie de refroidissement est tourné dans la direction de l'emplanture (2) de l'aube.
4. Aube (1) de turbine suivant la revendication 3, **caractérisée en ce que** l'encoche (11) de décharge s'élargit en forme de coupe à partir de son fond (12) d'encoche.
5. Aube (1) de turbine suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la au moins une ouverture (9) de sortie d'air de refroidissement est l'ouverture (9) de sortie de l'air de refroidissement la plus basse.
6. Procédé d'usinage d'une aube (1) de turbine, comprenant une emplanture (2) d'aube et un corps (3) d'aube incurvé aérodynamiquement, dans lequel le corps (3) de l'aube a un intrados (4) et un extrados (5), qui s'étendent conjointement d'un bord (7) avant, où peut affluer un fluide de travail du corps (3) de l'aube, à un bord (8) arrière du corps (3) de l'aube, dans lequel sur l'intrados (4) est constitué une pluralité d'ouvertures (9) de sortie de l'air de refroidissement, qui chacune, à partir du bord (8) arrière, rapporté au sens d'écoulement d'un fluide de travail passant autour du corps (3) de l'aube, s'étendent vers l'amont et par lesquelles de l'air de refroidissement passant à l'intérieur du corps (3) de l'aube peut sortir, dans lequel au moins l'une des ouvertures (9) de sortie de l'air de refroidissement a une forme sensiblement rectangulaire ou trapézoïdale à sommets (10) arrondis, **caractérisé en ce que** l'on forme dans au moins le sommet (10) inférieur, tourné vers le bord (7) avant, de cette au moins une ouverture (9) de sortie de l'air de refroidissement, une encoche (11) de détente en saillie vers l'extérieur de la forme rectangulaire à fond (12) d'encoche arrondie, afin de

fabriquer une aube (1) de turbine suivant l'une des revendications 1 à 5.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

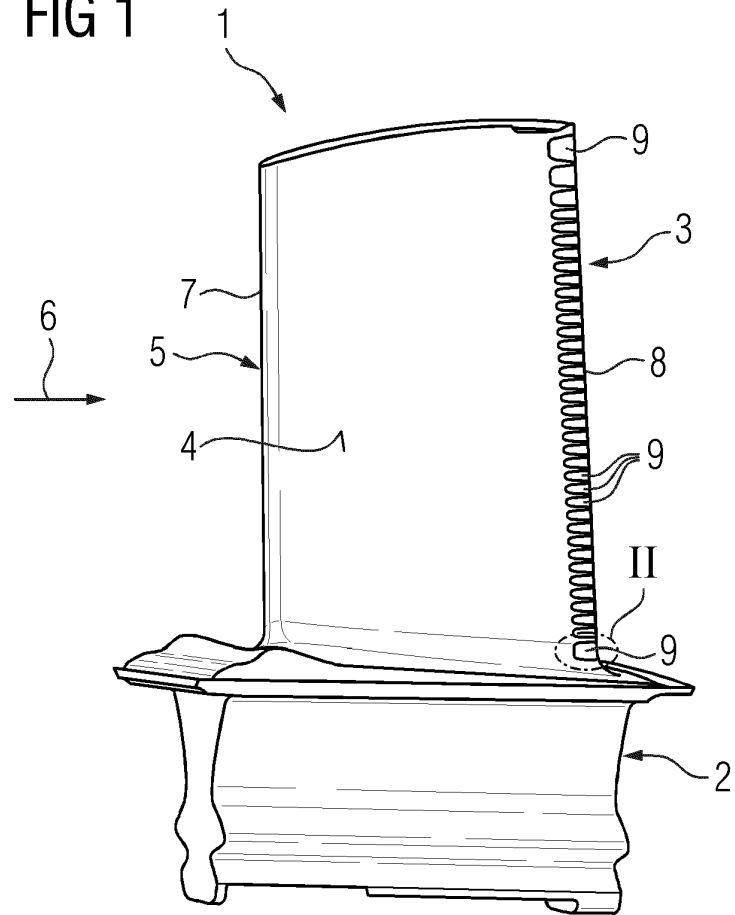


FIG 2

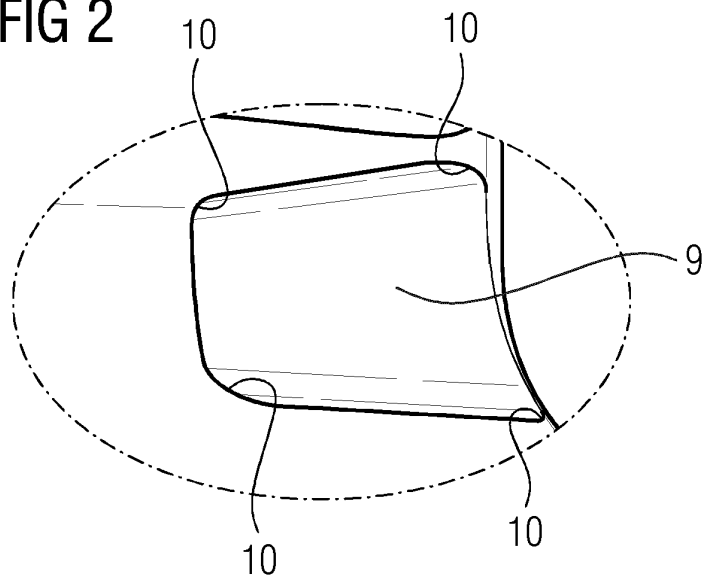


FIG 3

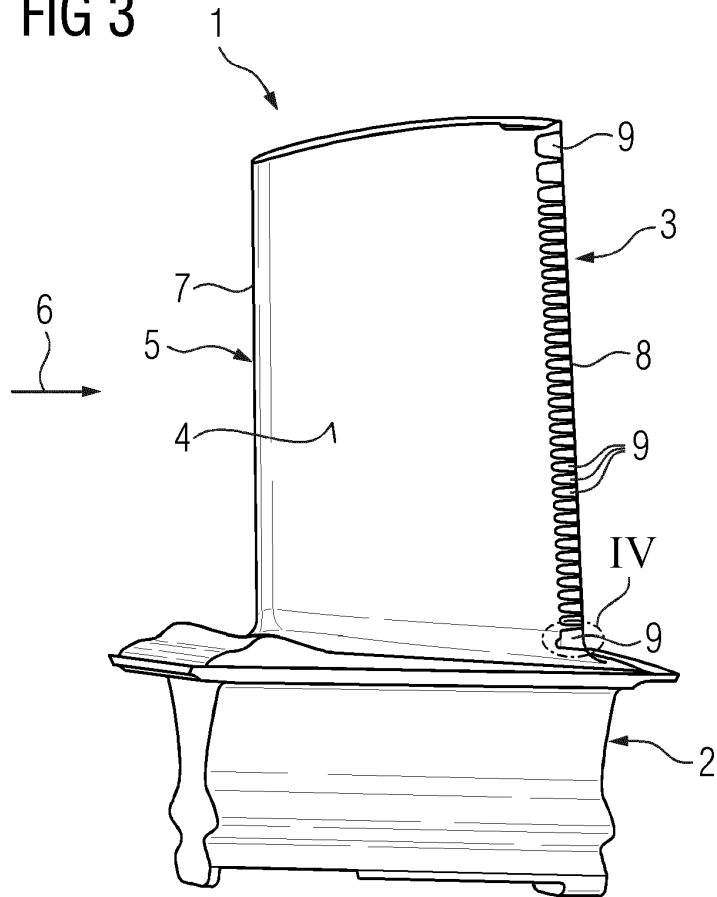


FIG 4

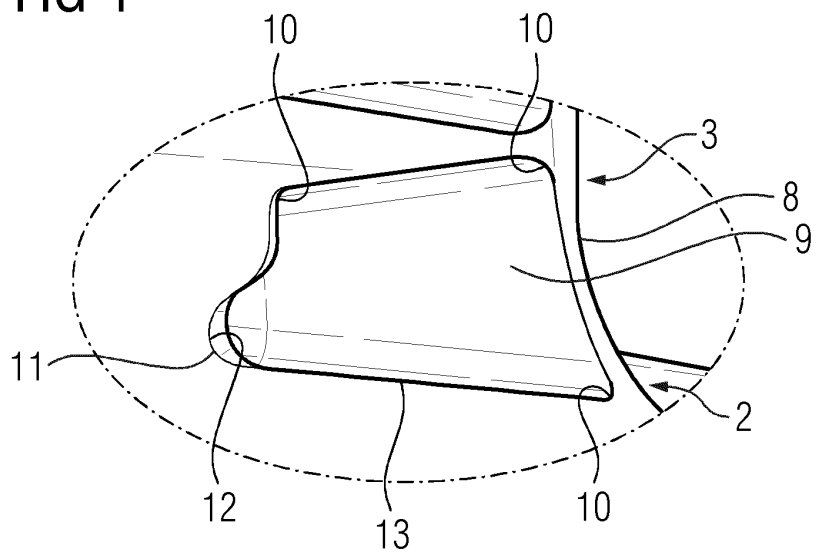


FIG 5

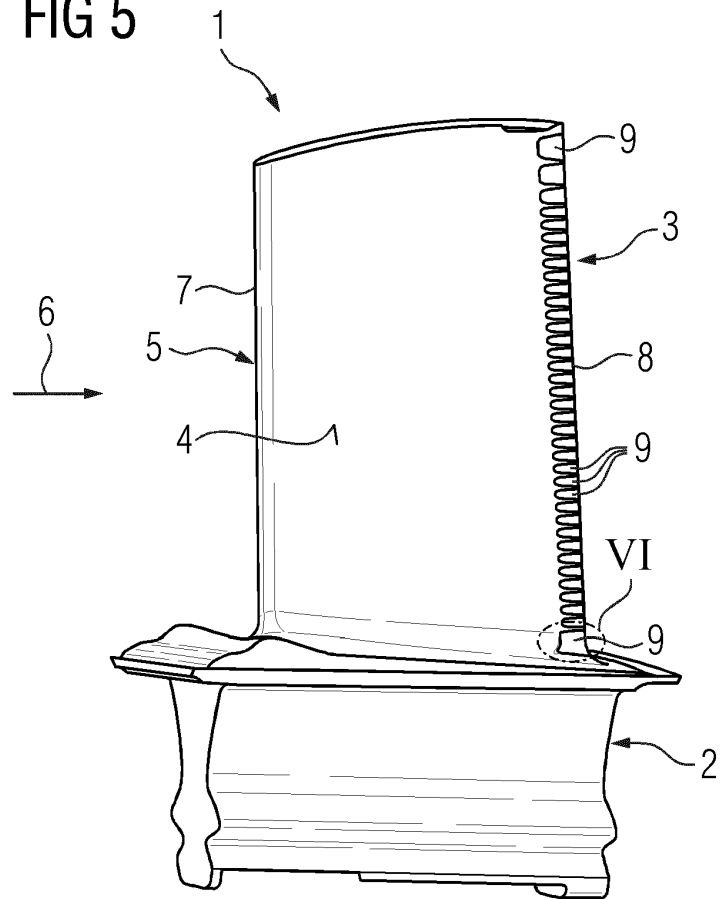
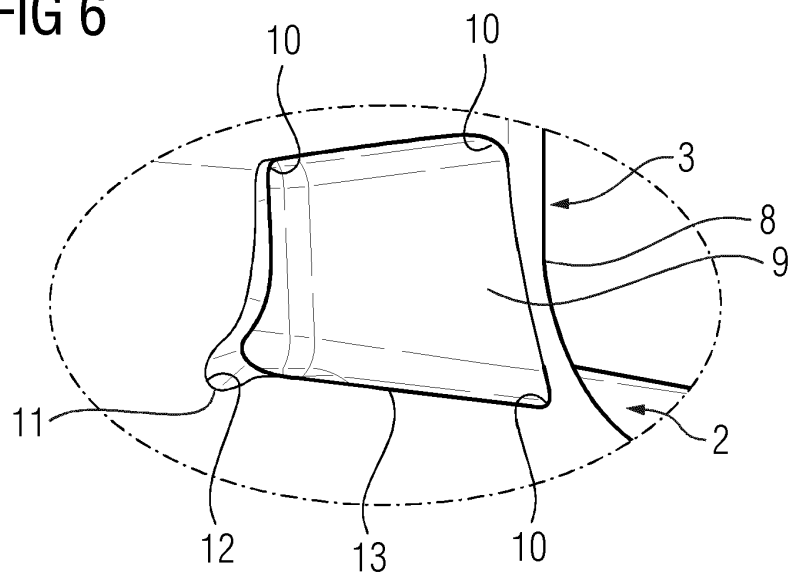


FIG 6



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

- EP 1555390 A1 [0002]