

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. Februar 2010 (04.02.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/012255 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 20/12 (2006.01) *B23P 15/00* (2006.01)
B23K 20/16 (2006.01) *F01D 5/30* (2006.01)
B23K 20/233 (2006.01) *B23K 101/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/000890

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Juni 2009 (26.06.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 034 930.5 26. Juli 2008 (26.07.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **MTU AERO ENGINES GMBH** [DE/DE]; Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHNEEFELD, Dieter** [DE/DE]; Am Leberfeld 4, 85253 Walkertshofen (DE). **BAMBERG, Joachim** [DE/DE]; Krankenhausstrasse 14, 85221 Dachau (DE). **GABEL, Johannes** [DE/DE]; Johann-Sebastian-Bach-Weg 8, 85221 Dachau (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **MTU AERO ENGINES GMBH**; Intellectual Property Management, Postfach 50 06 40, 80976 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: PROCESS FOR PRODUCING A JOIN TO SINGLE-CRYSTAL OR DIRECTIONALLY SOLIDIFIED MATERIAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ERZEUGEN EINER FÜGEVERBINDUNG MIT EINKRISTALLINEM ODER GERICHTET ERSTARRTEM WERKSTOFF

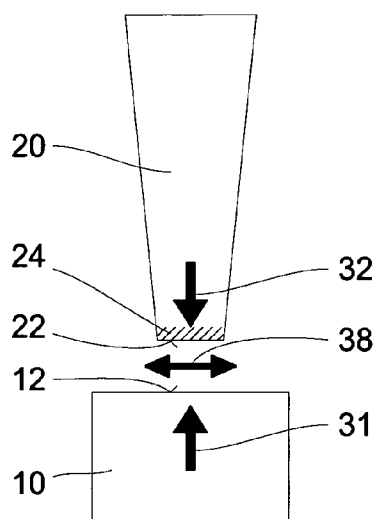


Fig. 1

(57) Abstract: In a process for producing a join between a first component (10) and a second component (20), wherein the second component (20) contains a single-crystal or directionally solidified material, a first component (10) and a second component (20) are provided. A polycrystalline layer (24) is produced on a joining surface (22) of the second component (20) provided for joining the second component (20) to the first component (10). The joining surface (22) of the second component (20) is joined to the first component (10) by friction welding.

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zum Erzeugen einer Fügeverbindung zwischen einem ersten Bauteil (10) und einem zweiten Bauteil (20), wobei das zweite Bauteil (20) einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff aufweist, werden ein erstes Bauteil (10) und ein zweites Bauteil (20) bereitgestellt. An einer zum Fügen des zweiten Bauteils (20) mit dem ersten Bauteil (10) vorgesehenen Fügefläche (22) des zweiten Bauteils (20) wird eine polykristalline Schicht (24) erzeugt. Die Fügefläche (22) des zweiten Bauteils (20) wird mit dem ersten Bauteil (10) durch Reibschweißen gefügt.

WO 2010/012255 A2

Beschreibung

Verfahren zum Erzeugen einer Fügeverbindung mit einkristallinem oder gerichtet erstarrtem Werkstoff

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen einer Fügeverbindung zwischen zwei Bauteilen, von denen mindestens eines einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff umfasst. Ferner bezieht sich die vorliegende Erfindung auf eine integral beschaufelte Rotorscheibe eines Verdichters oder einer Turbine sowie auf einen Verdichter und eine Turbine.

10

Für eine Reihe von Anwendungen werden einkristalline oder gerichtet erstarrte Werkstoffe verwendet, insbesondere einkristalline oder gerichtet erstarrte metallische Werkstoffe. Beispiele sind Rotorscheaufeln von Gasturbinen-Triebwerken für Flugzeuge oder andere Anwendungen. Diese Schaufeln sind gleichzeitig hohen Fliehkräften oder Ermüdungsbeanspruchungen in radialer Richtung, Vibrationen und hohen Temperaturen ausgesetzt. Einkristalline oder gerichtet erstarrte Werkstoffe sind für diese Anwendungen aufgrund ihrer Eigenschaften besonders geeignet.

15

Hochfeste Fügeverbindungen können durch Reibschweißen erzeugt werden. Beispielsweise werden Turbinen-Schaufeln mit Naben durch Reibschweißen verbunden. Zum Reibschweißen von einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoffen sind jedoch besonders hohe mechanische Schweißspannungen erforderlich. Diese besonders hohen mechanischen Schweißspannungen bedingen eine extrem steife Auslegung der Maschinen und Werkzeuge, die zum Reibschweißen verwendet werden. Dadurch werden hohe Kosten verursacht.

20

Die WO 2007/144557 A1 beschreibt eine Reibschweiß-Fügeverbindung mit einer einkristallinen Komponente und die dabei zu verwendenden Orientierungen der primären Gleitebene eines flächenzentrierten Kristallgitters parallel zur Oszillationsrichtung und zur Schweißkraft.

30

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein verbessertes Verfahren zum Erzeugen einer Fügeverbindung zwischen Bauteilen, von denen mindestens eines einen einkri-

stallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff aufweist, eine verbesserte integral beschaukelte Rotorscheibe eines Verdichters oder einer Turbine sowie einen verbesserten Verdichter und eine verbesserte Turbine zu schaffen.

5 Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

10 Verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beruhen auf der Idee, an der Fügefläche eines Bauteils, das einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff umfasst, eine polykristalline Schicht zu erzeugen, bevor die Fügefläche mit einem weiteren Bauteil durch Reibschweißen verbunden wird.

15 Die polykristalline Schicht wird beispielsweise durch Einbringen von Verformungs- oder Verzerrungsenergie in eine dünne oberflächennahe Schicht und eine anschließende Wärmebehandlung erzeugt. Verformungsenergie wird beispielsweise durch Kugelstrahlen (engl.: shot peening), Ultraschall-Kugelstrahlen (engl.: ultrasonic peening), Einwirkung von Neutronen, hochenergetischen Elektronen oder anderer ionisierender Strahlung oder Festwalzen (engl.: compact rolling) eingebracht.

20 Die Wärmebehandlung kann vor dem Reibschweißen in einem separaten Verfahrensschritt erfolgen. Dabei kann durch Verwendung einer hohen Heizleistung innerhalb einer kurzen Zeitdauer lediglich eine oberflächennahe Schicht erwärmt werden. Vorteilhaft wird dabei nur der Bereich auf die Rekristallisationstemperatur erwärmt, in den zuvor durch eine der genannten Maßnahmen Verformungs- oder Verzerrungsenergie eingebracht wurde.

25 Alternativ kann die Wärmebehandlung bei dem Reibschweißvorgang selbst unmittelbar vor dem Verschweißen der Fügeflächen erfolgen. Im einfachsten Fall wird nach dem Einbringen von Verformungs- oder Verzerrungsenergie der eigentliche Reibschweißvorgang ähnlich den bekannten Reibschweißvorgängen durchgeführt. Alternativ werden die Parameter des Reibschweißvorgangs beispielsweise so gewählt, dass zunächst nur eine oberflächennahe Schicht auf die Rekristallisationstemperatur erwärmt und während eines Zeitintervalls vorbestimmter

Dauer bei dieser Rekristallisationstemperatur gehalten wird. Diese vorbestimmte Dauer wird so gewählt, dass die polykristalline Schicht entsteht. Danach findet der eigentliche Reibschweißvorgang statt, indem beispielsweise durch Erhöhen der Flächennormalkraft oder der Amplitude oder Frequenz des Reibens die Temperatur an der Fügefläche kurzfristig auf den erforderlichen Wert erhöht wird.

Das so vorbehandelte Bauteil kann mit einem optional auf ähnliche Weise vorbehandelten Bauteil mit einem einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff oder mit einem Bauteil mit einem polykristallinen Werkstoff durch Reibschweißen verbunden werden.

Beispiele für nach dem beschriebenen Verfahren zu verbindende Bauteile sind Schaufeln eines Verdichters oder einer Turbine. Jede Schaufel wird auf eine der oben beschriebenen Weisen mit einem Adapter verbunden, der wiederum mit einer Nabe oder Rotorscheibe verbunden wird. Alternativ werden die Schaufeln direkt mit der Nabe der Rotorscheibe auf eine der oben beschriebenen Weisen verbunden.

Mit dem beschriebenen Verfahren können integral beschaufelte Rotorscheiben für Verdichter oder Turbinen geschaffen werden, deren Schaufeln einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff aufweisen. Die Schaufeln weisen an ihren Fügeflächen jeweils eine polykristalline Schicht auf. Die polykristalline Schicht kann eine Dicke von mehreren Mikrometern bis mehreren Millimetern aufweisen. Für einige Materialien ist eine Dicke von wenigstens 0,3 mm vorteilhaft. Ein Verdichter oder eine Turbine oder ein Gasturbinen-Triebwerk für ein Flugzeug oder eine andere Anwendung kann mehrere derartige integral beschaufelte Rotorscheiben aufweisen.

Verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung haben den Vorteil, dass die zum Ausbilden der Reibschweiß-Fügeverbindung erforderliche mechanische Schweißspannung niedriger ist, als sie ohne eine vorherige Ausbildung einer polykristallinen Schicht wäre.

Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beruhen auf der Idee, beim Reibschweißen eines ersten Bauteils mit einem zweiten Bauteil, das einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff aufweist, die Fügefläche an dem zweiten Bauteil parallel zu einer

kristallographischen Ebene des Typs {001} anzuordnen. Dies hat sich, beispielsweise im Vergleich zum herkömmlichen Reibschweißen an einer Ebene des Typs {111}, als vorteilhaft erwiesen, vor Allem in Bezug auf die erforderliche Flächennormalkraft,

5 Kurzbeschreibung der Figuren

Nachfolgend werden Ausführungsformen anhand der beigefügten Figuren näher erläutert. Es zeigen:

10 Figur 1 eine schematische Darstellung zweier durch Reibschweißen zu verbindenden Bauteile;

Figur 2 eine schematische Darstellung einer Rotorscheibe; und

15 Figur 3 ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zum Erzeugen einer Fügeverbindung, einer Rotorscheibe, eines Verdichters oder einer Turbine.

Beschreibung der Ausführungsformen

20 Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines ersten Bauteils 10 mit einer Fügefläche 12 und eines zweiten Bauteils 20 mit einer Fügefläche 22. Das erste Bauteil 10 ist beispielsweise eine Nabe für eine Rotorscheibe. Das zweite Bauteil 20 ist in diesem Fall beispielsweise eine Schaufel für die Rotorscheibe. Das erste Bauteil 10 weist einen polykristallinen Werkstoff auf. Das zweite Bauteil 20 weist einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff auf.

25 Die Werkstoffe des ersten Bauteils 10 und des zweiten Bauteils 20 können von ihrer kristallinen bzw. mikroskopischen Strukturen abgesehen ähnlich oder verschieden sein. Beispielsweise sind beide Werkstoffe des ersten Bauteils 10 und des zweiten Bauteils 20 metallische Werkstoffe.

30 Zum Erzeugen einer Fügeverbindung zwischen dem ersten Bauteil 10 und dem zweiten Bauteil 20 wird zunächst eine in Figur 1 schraffiert dargestellte polykristalline Schicht 24 an der Fügefläche 22 des zweiten Bauteils 20 erzeugt. Dazu wird die Fügefläche 22 des zweiten

Bauteils 20 beispielsweise zunächst durch Kugelstrahlen (Engl.: Shot Peening), Ultraschall-Kugelstrahlen (Engl.: Ultrasonic Peening) oder Festwalzen (Engl.: Compact Rolling) vorbehandelt. Gute Ergebnisse wurden mit Druckspannungen von 500 MPa oder mehr und einer
5 Wirktiefe der Behandlung von 0,3 mm oder mehr erzielt. Durch diese Behandlung wird Verformungs- oder Verzerrungsenergie in den ursprünglich einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff des zweiten Bauteils 20 nahe dessen Fügefläche 22 eingebracht. Anschließend wird das zweite Bauteil 20 oder zumindest ein an die Fügefläche 22 angrenzender Bereich einer kurzen Wärmebehandlung unterzogen. Diese Wärmebehandlung erfolgt beispielsweise durch induktives Heizen. Dabei wird eine Temperatur nahe oder über der Rekristallisationstemperatur erzeugt. Aufgrund der eingebrachten Verformungs- oder Verzerrungsenergie rekristallisiert der Werkstoff polykristallin.
10

Anstelle einer Wärmebehandlung in einem separaten Schritt vor dem Reibschweißvorgang ist auch eine in den Reibschweißvorgang integrierte Wärmebehandlung möglich, wie sie unten
15 anhand der Figur 3 als Alternative beschrieben wird.

Nach dem Erzeugen der polykristallinen Schicht 24 an der Fügefläche 22 im zweiten Bauteil 20 werden das erste Bauteil 10 und das zweite Bauteil 20 durch Reibschweißen verbunden bzw. gefügt. Dazu werden die Fügefläche 12 des ersten Bauteils 10 und die Fügefläche 22 des
20 zweiten Bauteils 20 mit einer hohen Flächennormalkraft aneinander gepresst. Diese Flächennormalkraft wird durch die Pfeile 31, 32 repräsentiert. Gleichzeitig werden das erste Bauteil 10 und das zweite Bauteil 20 und damit insbesondere die Fügefläche 12 des ersten Bauteils 10 und die Fügefläche 22 des zweiten Bauteils 20 relativ zueinander bewegt. Diese Relativbewegung ist beispielsweise eine Oszillationsbewegung in einer Richtung oder (mit zwei verschiedenen Frequenzen) in zwei verschiedenen Richtungen. Die Oszillationsbewegung wird durch
25 den Pfeil 38 angedeutet. Die entstehende Reibungswärme hat ein Verschweißen der Fügeflächen 12, 22 der Bauteile 10, 20 zur Folge.

Aufgrund der Polykristallinität der Schicht 24 an der Fügefläche 22 des zweiten Bauteils 20
30 ist ein Fügen durch Reibschweißen bei einer Flächennormalkraft möglich, die deutlich niedriger liegt, als sie sein müsste, wenn der Werkstoff des zweiten Bauteils 20 auch an dessen Fügefläche 22 einkristallin oder gerichtet erstarrt wäre. Der apparative Aufwand, insbesondere

die erforderliche Steifigkeit der verwendeten Werkzeuge und die Belastung für die Bauteile 10, 20 sind dadurch deutlich geringer.

Die dargestellte Reibschweiß-Fügeverbindung ist besonders für die Verbindung von Bauteilen geeignet, die hohen mechanischen Belastungen, beispielsweise hohen Fliehkräften und/oder Ermüdungsbeanspruchungen ausgesetzt sind. Ein Beispiel ist die Verbindung zwischen einer Schaufel und einer Nabe oder zwischen einer Schaufel und einem später mit einer Nabe zu verbindenden Adapter zur Bildung einer Rotorscheibe eines Verdichters oder einer Turbine eines Gasturbinen-Triebwerks für ein Flugzeug oder für andere Anwendungen. In diesem Fall ist das zweite Bauteil 20 die Schaufel und das erste Bauteil 10 der Adapter oder die Nabe.

Um das volle Festigkeitspotenzial des einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoffs des zweiten Bauteils 20 nutzen zu können, wird die Richtung der Schweißkrafteinleitung vorteilhaft parallel zur primären Kristallorientierungsrichtung des Typs $\langle 100 \rangle$ gewählt. In diesem Fall liegt die Oszillationsbewegung 38 beim Reibschweißen vorteilhaft in einer kristallographischen Ebene des Typs $\{100\}$ des Werkstoffs des zweiten Bauteils 20. Um eine hohe Beständigkeit gegen Kriechen und Thermoermüdung in der Hauptbeanspruchungsrichtung zu erzielen, weicht die $[001]$ -Richtung von der Hauptbeanspruchungsrichtung und der Stapelachse des zweiten Bauteils 20 (auch als Z-Achse bezeichnet) um maximal 15 Grad ab. Die Hauptbeanspruchungsrichtung und die Stapelachse entsprechen im Fall einer Rotorscheibe der radialen Richtung. Die Sekundärorientierung (Verdrehung des Kristallgitters um die Z-Achse) ist für viele Anwendungen unerheblich.

Die beschriebene Orientierung der Fügefläche parallel zu einer kristallographischen Ebene des Typs $\{001\}$ ist aber auch vorteilhaft, wenn vor oder bei dem Reibschweißvorgang nicht polykristallin rekristallisiert wird. Auch beim Verbinden einer Fügefläche, an der der Werkstoff einkristallin oder gerichtet erstarrt ist, mit einem anderen Bauteil, ist eine Orientierung der Fügefläche parallel zu einer kristallographischen Ebene des Typs $\{001\}$ vorteilhaft. Neben den oben genannten Vorteilen erlaubt diese Orientierung bei bestimmten Materialien beispielsweise die Verwendung einer vergleichsweise niedrigeren Flächennormalkraft oder einer reduzierten Frequenz oder Amplitude des Reibens.

Figur 2 zeigt als Beispiel der Anwendung des beschriebenen Fügeverfahrens eine Rotorscheibe 40 aus einer Nabe 10 und einer Vielzahl von Schaufeln 20, die wie oben anhand der Figur 1 dargestellt, mit der Nabe 10 verbunden sind.

5

Figur 3 zeigt ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zum Erzeugen einer Fügeverbindung durch Reibschweißen. Obwohl dieses Verfahren auch für Bauteile verwendbar ist, die andere als die oben anhand der Figur 1 dargestellten Merkmale aufweisen, werden nachfolgend zur Vereinfachung des Verständnisses Bezugszeichen aus Figur 1 beispielhaft verwendet.

10

In einem ersten Schritt 101 wird ein erstes Bauteil 10 bereitgestellt. In einem zweiten Schritt 102 wird ein zweites Bauteil 20 bereitgestellt, das einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff umfasst.

15

In einem dritten Schritt 103 und einem vierten Schritt 104 wird eine polykristalline Schicht 24 in dem Werkstoff an der Fügefläche 22 des zweiten Bauteils 20 erzeugt. Die polykristalline Schicht 24 wird in diesem Beispiel erzeugt, indem zunächst im dritten Schritt 103 die Fügefläche 22 durch Kugelstrahlen oder Ultraschall-Kugelstrahlen oder Festwalzen behandelt wird.

20

Anschließend werden in einem vierten Schritt 104 die Fügefläche 22 des zweiten Bauteils 20 und zumindest ein an die Fügefläche 22 angrenzender Teilbereich des zweiten Bauteils 20 einer (ggf. lokalen) Wärmebehandlung unterzogen. Diese Wärmebehandlung erfolgt in einem separaten Prozess oder in einem Prozess mit dem nachfolgend dargestellten Reibschweißen. Dabei rekristallisiert der Werkstoff aufgrund der im dritten Schritt 103 eingebrachten Verformungs- oder Verzerrungsenergie polykristallin.

25

Wenn auch das erste Bauteil 10 einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten Werkstoff aufweist, wird vorzugsweise auch an der Fügefläche 12 des ersten Bauteils 10 eine polykristalline Schicht erzeugt, beispielsweise in Verfahrensschritten, die dem dritten Schritt 103 und dem vierten Schritt 104 entsprechen.

30

In einem fünften Schritt 105 werden das erste Bauteil 10 und das zweite Bauteil 20 durch Reibschweißen, insbesondere durch lineares Reibschweißen miteinander verbunden bzw. gefügt. Die Polykristallinität der Schicht 24 reduziert die Flächennormalkraft 31, 32 und die zur Erzeugung der Oszillationsbewegung 38 erforderliche Kraft, die zum Ausbilden der Reibschweiß-Fügeverbindung erforderlich sind.

Der vierte Schritt 104 und der fünfte Schritt 105 können teilweise oder vollständig integriert werden. Die Wärmebehandlung kann im Rahmen des Reibschweißens unmittelbar vor oder beim Verschweißen der Fügeflächen erfolgen. Der Reibevorgang kann ähnlich einem herkömmlichen Reibevorgang gesteuert werden. Alternativ kann der Reibevorgang so gesteuert werden, dass zunächst nur eine oberflächennahe Schicht auf die Rekristallisationstemperatur erwärmt und während eines Zeitintervalls vorbestimmter Dauer bei dieser Rekristallisationstemperatur gehalten wird. Diese vorbestimmte Dauer wird so gewählt, dass die polykristalline Schicht entsteht. Danach findet der eigentliche Reibschweißvorgang statt, indem beispielsweise durch Erhöhen der Flächennormalkraft oder der Amplitude oder Frequenz des Reibens die Temperatur an der Fügefläche kurzfristig auf den erforderlichen Wert erhöht wird.

Um eine Rotorscheibe zu bilden, können in einem sechsten Schritt 106 die oben beschriebenen Schritte für alle Schaufeln der Rotorscheibe wiederholt werden.

In einem optionalen siebten Schritt 107 können aus einer oder mehreren Rotorscheiben, die im sechsten Schritt 106 gebildet wurden, ein Verdichter oder eine Turbine oder ein Gasturbinen-Triebwerk gebildet werden.

Ansprüche:

1. **Verfahren** zum Erzeugen einer Fügeverbindung zwischen einem ersten Bauteil (10) und einem zweiten Bauteil (20), wobei das zweite Bauteil (20) einen **einkristallinen** oder **gerichtet erstarrten** Werkstoff aufweist, mit folgenden Schritten:
- 5
- Bereitstellen (101) des ersten Bauteils (10);
- Bereitstellen (102) des zweiten Bauteils (20) mit einer zum Fügen des zweiten Bauteils (20) mit dem ersten Bauteil (10) vorgesehenen Fügefläche (22);
- 10
- Erzeugen (103, 104) einer **polykristallinen Schicht (24)** an der Fügefläche (22) des zweiten Bauteils (20);
- 15
- Fügen (105) der Fügefläche (22) des zweiten Bauteils (20) mit dem ersten Bauteil (10) durch Reibschweißen.
2. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Erzeugen (103, 104) der polykristallinen Schicht (24) zumindest entweder ein **Kugelstrahlen** oder ein **Ultraschall-Kugelstrahlen** oder ein Bestrahlen mit Neutronen, Elektronen oder anderer **ionisierender Strahlung** oder ein **Festwalzen** umfasst.
- 20
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Erzeugen (103, 104) der polykristallinen Schicht zumindest entweder ein **induktives Heizen** oder eine andere **lokale Wärmebehandlung** oder eine andere Erwärmung mindestens auf die Rekristallisationstemperatur des Werkstoffs des zweiten Bauteils (20) umfasst.
- 25
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das erste Bauteil (10) einen einkristallinen oder gerichtet erstarrten weiteren Werkstoff umfasst, ferner mit folgendem Schritt:
- 30

Erzeugen (103, 104) einer **polykristallinen Schicht** in dem weiteren Werkstoff des ersten Bauteils (10) an einer Fügefläche (12) des ersten Bauteils (10).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das erste Bauteil (10) einen **polykristallinen Werkstoff** umfasst.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das zweite Bauteil (20) eine **Schaufel** eines Verdichters oder einer Turbine ist, und bei dem das erste Bauteil (10) ein **Adapter** zum Verbinden der Schaufel (20) mit einer Nabe einer Rotorscheibe (40) ist.

10

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die **Fügefläche** (22) parallel zu einer kristallographischen Ebene des Typs **{001}** ist.

8. **Verfahren** zum Erzeugen einer Fügeverbindung zwischen einem ersten Bauteil (10) und einem zweiten Bauteil (20), wobei das zweite Bauteil (20) einen **einkristallinen** oder **gerichtet erstarrten** Werkstoff aufweist, mit folgenden Schritten:

15

Bereitstellen (101) des ersten Bauteils (10);

20 Bereitstellen (102) des zweiten Bauteils (20) mit einer zum Fügen des zweiten Bauteils (20) mit dem ersten Bauteil (10) vorgesehenen **Fügefläche** (22), die parallel zu einer kristallographischen Ebene des Typs **{001}** ist;

25 Fügen (105) der Fügefläche (22) des zweiten Bauteils (20) mit dem ersten Bauteil (10) durch Reibschweißen.

9. Verfahren zum Herstellen einer integral beschaufelten Rotorscheibe (40) eines Verdichters oder einer Turbine, wobei eine **Nabe** der Rotorscheibe als erstes Bauteil (10) und eine **Schaufel** als zweites Bauteil (20) nach einem der vorangehenden Ansprüche gefügt werden.

30

10. Integral beschaufelte Rotorscheibe (40) eines Verdichters oder einer Turbine, mit folgenden Merkmalen:

einer **Nabe (10)**;

5

einer **Schaufel (20)**, die ein **einkristallines** Material oder ein gerichtet erstarrtes Material aufweist,

wobei eine Fügefläche (22) der Schaufel (20) durch **Reibschweißen** mit der Nabe (10) oder mit einem Adapter, der mit der Nabe (10) verbunden ist, gefügt ist, und

10

wobei die Schaufel (20) an der Fügefläche (22) eine **polykristalline Schicht (24)** aufweist.

11. Integral beschaufelte Rotorscheibe (40) nach dem vorangehenden Anspruch, wobei die Schaufel (20) und die Nabe (10) nach einem der vorangehenden Verfahrensansprüche gefügt sind.

15

12. Integral beschaufelte Rotorscheibe (40) nach dem vorangehenden Anspruch, bei der die **Nabe (10)** ein **polykristallines** Material aufweist.

20

13. Integral beschaufelte Rotorscheibe (40) eines Verdichters oder einer Turbine, mit folgenden Merkmalen:

einer **Nabe (10)**;

25

einer **Schaufel (20)**, die ein **einkristallines** Material oder ein gerichtet erstarrtes Material aufweist,

wobei eine Fügefläche (22) der Schaufel (20) durch **Reibschweißen** mit der Nabe (10) oder mit einem Adapter, der mit der Nabe (10) verbunden ist, gefügt ist, und

30

wobei die **Fügefläche (22)** parallel zu einer kristallographischen Ebene des Typs **{001}** ist.

14. Verdichter oder Turbine mit einer integral beschauften Rotorscheibe (40) nach einem der vorangehenden Vorrichtungsansprüche.

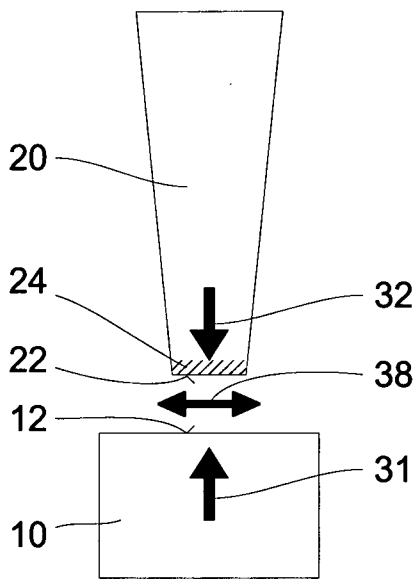


Fig. 1

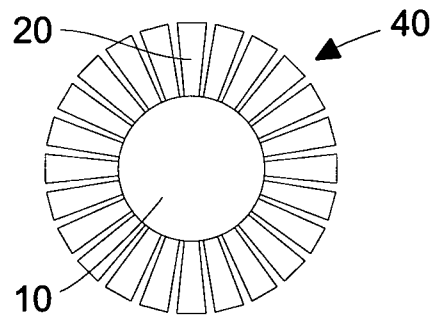


Fig. 2

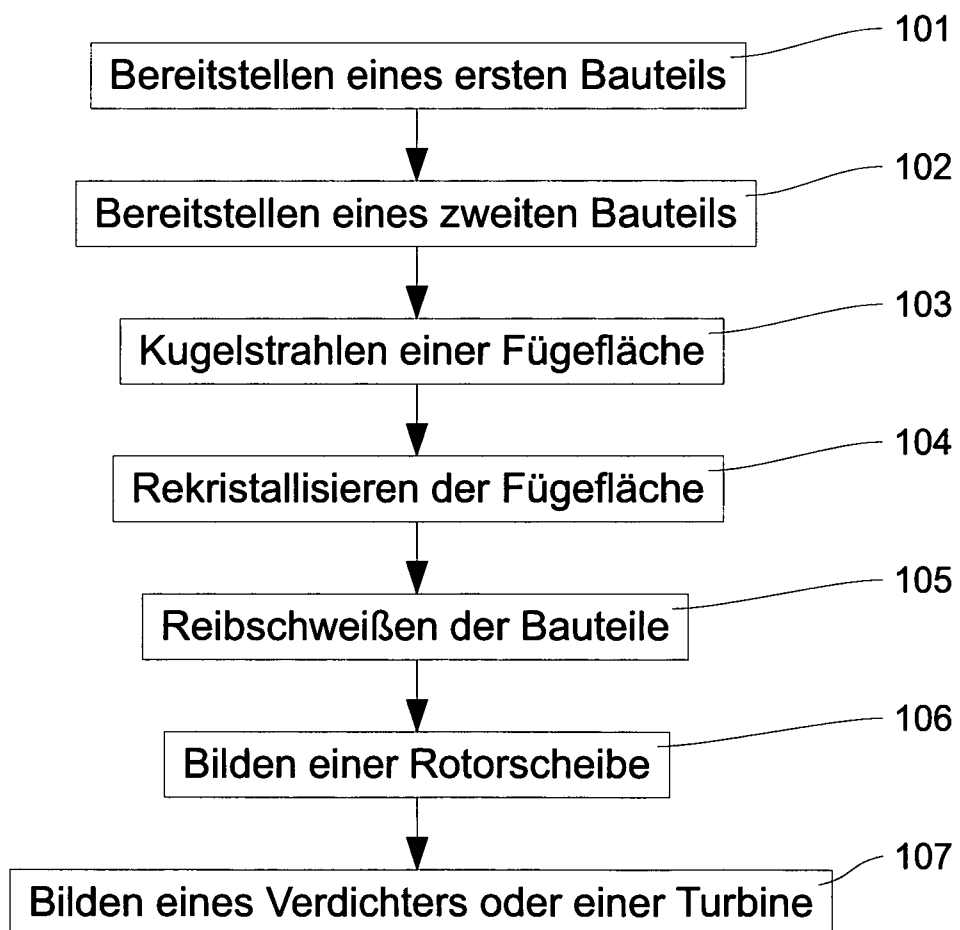


Fig. 3