

(19)



(11)

**EP 3 372 700 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**12.09.2018 Patentblatt 2018/37**

(51) Int Cl.:  
**C22C 14/00 (2006.01) C22F 1/18 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **17160397.0**

(22) Anmeldetag: **10.03.2017**

(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**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**MA MD**

(71) Anmelder: **MTU Aero Engines AG**  
**80995 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Dr. Heutling, Falko**  
**81377 München (DE)**  
• **Kunze, Claudia**  
**85238 Petershausen (DE)**  
• **Dr. Habel, Ulrike**  
**81241 München (DE)**

**(54) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG GESCHMIEDETER TIAL-BAUTEILE**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines geschmiedeten Bauteils aus einer TiAl - Legierung, insbesondere einer Turbinenschaufel (10), bei welchem ein Rohling aus einer TiAl - Legierung bereitgestellt wird und durch Schmieden zu einem geschmiedeten Halbzeug (9) umgeformt wird, wobei in dem geschmiedeten Halbzeug ein nutzbares Volumen definiert ist, welches dem herzustellenden, geschmiedeten Bauteil entspricht, wobei die Form des Rohlings so gewählt wird, dass der Umformgrad innerhalb des nutzbaren Volumens des geschmiedeten Halbzeugs durch das Schmieden einen definierten Wert aufweist, der über das nutzbare Volumen maximal um  $\pm 1$  von dem definierten Wert abweicht.

niert ist, welches dem herzustellenden, geschmiedeten Bauteil entspricht, wobei die Form des Rohlings so gewählt wird, dass der Umformgrad innerhalb des nutzbaren Volumens des geschmiedeten Halbzeugs durch das Schmieden einen definierten Wert aufweist, der über das nutzbare Volumen maximal um  $\pm 1$  von dem definierten Wert abweicht.

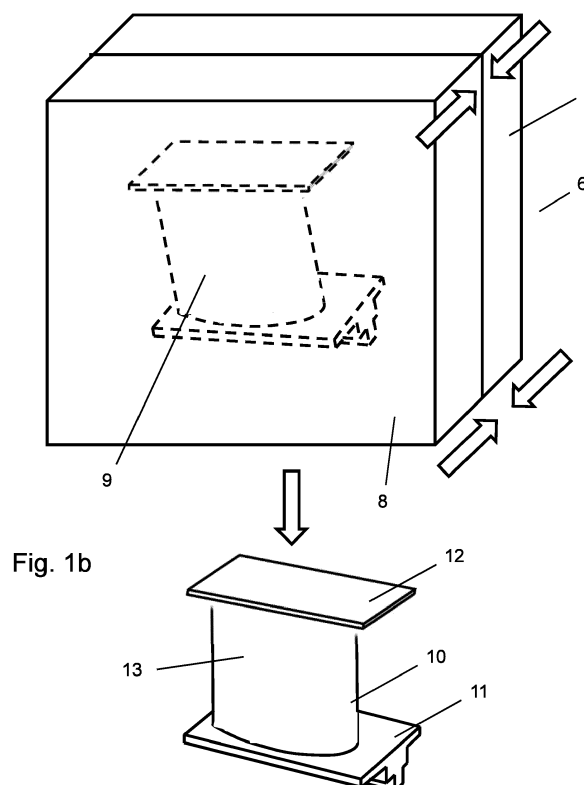


Fig. 1b

**EP 3 372 700 A1**

**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG**5 **GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von geschmiedeten Bauteilen aus einer TiAl - Legierung, insbesondere von Bauteilen für Gasturbinen, vorzugsweise Fluggasturbinen und insbesondere Turbinenschaufeln für Niederdruckturbinen.

10

**STAND DER TECHNIK**

**[0002]** Bauteile aus Titanaluminiden bzw. TiAl - Legierungen sind aufgrund ihres geringen spezifischen Gewichts und ihrer mechanischen Eigenschaften für den Einsatz in Gasturbinen, insbesondere Fluggasturbinen, interessant.

15 **[0003]** Unter Titanaluminiden bzw. TiAl - Legierungen werden hierbei Legierungen verstanden, die als Hauptbestandteile Titan und Aluminium aufweisen, sodass deren chemische Zusammensetzung als Bestandteile mit den höchsten Anteilen Aluminium und Titan aufweist. Darüber hinaus zeichnen sich TiAl - Legierungen durch die Ausbildung von intermetallischen Phasen, wie  $\gamma$  - TiAl oder  $\alpha_2$  -  $\text{Ti}_3\text{Al}$  aus, die dem Werkstoff gute Festigkeitseigenschaften verleihen.

**[0004]** Allerdings sind TiAl - Legierungen nicht einfach zu verarbeiten und die Gefüge von TiAl - Werkstoffen müssen  
20 exakt eingestellt werden, um die gewünschten mechanischen Eigenschaften zu erzielen.

**[0005]** So ist beispielsweise aus der DE 10 2011 110 740 B4 ein Verfahren zur Herstellung geschmiedeter TiAl - Bauteile bekannt, bei welchem nach dem Schmieden eine zweistufige Wärmebehandlung zur Einstellung eines gewünschten Gefüges durchgeführt wird. Auch die Dokumente DE 10 2015 103 422 B3 und EP 2 386 663 A1 offenbaren Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus TiAl - Legierungen.

25 **[0006]** In der europäischen Offenlegungsschrift EP 2 386 663 A1 wird bereits die Problematik angesprochen, dass bei TiAl - Legierungen häufig das Problem auftreten kann, dass das Gefüge inhomogen ausgebildet ist und somit auch die Eigenschaften des TiAl - Werkstoffs Inhomogenitäten aufweisen. Dies ist jedoch für einen Einsatz der TiAl - Legierungen in Strömungsmaschinen, wie Flugtriebwerken, unerwünscht. Die EP 2 386 663 A1 schlägt hierzu eine Wärmebehandlung des umgeformten TiAl - Werkstoffs zur Durchführung einer Rekristallisation vor. Allerdings kann damit das  
30 Problem der inhomogenen Gefügeausbildung nicht vollständig gelöst werden.

**OFFENBARUNG DER ERFINDUNG****AUFGABE DER ERFINDUNG**

35 **[0007]** Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Herstellungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus TiAl - Werkstoffen bereit zu stellen, welche in Gasturbinen, insbesondere Fluggasturbinen, vorzugsweise im Bereich der Niederdruckturbinen, eingesetzt werden können und eine homogene Gefügeausbildung und somit ein homogenes Eigenschaftsprofil aufweisen.

40

**TECHNISCHE LÖSUNG**

**[0008]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

45 **[0009]** Die Erfindung schlägt vor, bei einem Schmiedeverfahren zur Herstellung eines geschmiedeten Bauteils aus einer TiAl - Legierung die Umformung durch das Schmieden so durchzuführen, dass eine homogene Umformung für das gesamte Bauteil stattfindet. Es hat sich nämlich gezeigt, dass bei einer gleichmäßigen Umformung über das gesamte Bauteil hinweg, in einfacher Weise eine homogene Gefügeausbildung des geschmiedeten Bauteils erreicht werden kann, sodass auch das Eigenschaftsprofil des geschmiedeten Bauteils über das gesamte Bauteil homogen ist. Entsprechend wird für das Schmieden ein Rohling bereitgestellt, dessen Form so gewählt wird, dass die Umformung über dem gesamten Volumen des Rohlings bzw. des aus dem Rohling geschmiedeten Halbzeugs im Wesentlichen gleich ist. Hierzu wird ein definierter Umformgrad eingestellt, von dem lediglich um  $\pm 1$  über dem gesamten nutzbaren Volumen des geschmiedeten Halbzeugs abgewichen wird. Unter nutzbarem Volumen des geschmiedeten Halbzeugs wird der Bereich des geschmiedeten Halbzeugs verstanden, der dem herzustellenden, geschmiedeten Bauteil entspricht, beispielsweise dem Bereich oder dem Volumen einer herzustellenden Turbinenschaufel. Entsprechend wird unter dem nutzbaren Volumen des geschmiedeten Halbzeugs der Bereich des geschmiedeten Halbzeugs verstanden, der nach einer materialabtragenden Nachbearbeitung nach dem Schmieden als fertiges Bauteil verbleibt. Unter einem geschmiedeten Halbzeug kann somit insbesondere ein Schmiederohteil oder geschmiedetes Zwischenerzeugnis verstanden  
55

werden, das über einen oder mehrere Bearbeitungsschritte zu einem fertigen Bauteil, beispielsweise einer Turbinenschaufel, bearbeitet werden kann. Unter einem Rohling kann insbesondere ein Schmiedeeinsatzmaterial verstanden werden, das durch einen Schmiedeprozess zu dem Halbzeug verarbeitet werden kann.

**[0010]** Der Umformgrad  $\varphi$  ist hierbei bei einer eindimensionalen Abmessungsänderung in einem kartesischen Bezugssystem definiert als der natürliche Logarithmus des Verhältnisses von Endabmessung  $x_1$  nach der Umformung zur Anfangsabmessung  $x_0$ . Bei einer dreidimensionalen Umformung wird die Umformung durch den größten Umformungsgrad  $\varphi_g$  charakterisiert, der gegeben ist durch:

$$\varphi_g = \left| \varphi_{\max} \right| = \frac{1}{2} \left( \left| \varphi_x \right| + \left| \varphi_y \right| + \left| \varphi_z \right| \right)$$

wobei  $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$ ,  $\varphi_z$  die Umformgrade in x -, y - und z - Richtung sind.

**[0011]** Der Rohling kann nun so geformt werden, dass der Umformgrad bei der Umformung zum gewünschten geschmiedeten Halbzeug in einer der Richtungen des Bezugssystems, also beispielsweise der x -, y - oder z - Richtung eines kartesischen Bezugssystems einen definierten Wert aufweist und von diesem nur innerhalb der zulässigen Schwankungsbreite abweicht oder dass der Umformgrad in mehreren Richtungen des Bezugssystems oder in jeder Richtung, insbesondere jeder Hauptrichtung des Bezugssystems einen definierten Wert aufweist und von diesem nur innerhalb der zulässigen Schwankungsbreite abweicht. Darüber hinaus ist es auch möglich den Rohling so auszubilden, dass von den Umformgraden verschiedener Richtungen der wertmäßig größte und/oder der wertmäßig kleinste Umformgrad die vorgegebenen Bedingungen der homogenen Umformung erfüllt.

**[0012]** Insbesondere kann die Form des Rohlings so gewählt werden, dass die durchzuführende Umformung einen definierten Umformgrad aufweist, der innerhalb des nutzbaren Volumens des geschmiedeten Halbzeugs von dem definierten Wert des Umformgrads maximal um  $\pm 0,5$ , insbesondere  $\pm 0,25$  abweicht.

**[0013]** Der definierte Wert des Umformgrades kann insbesondere größer oder gleich 0,7 sein, sodass eine Mindestumformung in diesem Maße stattfindet. Vorzugsweise wird der Umformgrad von 0,7 innerhalb des nutzbaren Volumens nicht unterschritten, sodass das gesamte Material des geschmiedeten Halbzeugs eine Mindestumformung durch das Schmieden erfährt.

**[0014]** Darüber hinaus kann der definierte Wert des Umformgrades möglichst gering gehalten werden, um den Aufwand für das Umformen niedrig zu halten. Entsprechend kann der Wert des Umformgrades kleiner oder gleich 2,5, insbesondere kleiner oder gleich 2,0 betragen.

**[0015]** Die Umformgeschwindigkeit, also die Änderung des Umformgrads pro Zeiteinheit, kann beim Schmieden im Bereich von 0,01 bis 0,5 1/s und insbesondere im Bereich von 0,025 bis 0,25 1/s liegen.

**[0016]** Darüber hinaus kann die Form des Rohlings so gewählt werden, dass entlang der Längsachse des Rohlings, also der Achse mit der größten Dimension, die Masse so verteilt wird, dass an den beiden Enden mehr Masse vorliegt als in der Mitte des Rohlings. Hierzu kann der Rohling entlang seiner Längsachse in drei gleich lange Bereiche oder Abschnitte unterteilt werden, und zwar einen ersten und zweiten Endbereich sowie einen Mittelbereich wobei die Masse des Rohlings in den Bereichen so verteilt ist, dass in den Endbereichen mehr Masse vorliegt als in dem Mittelbereich. Entsprechend kann der Rohling so ausgebildet werden, dass gilt:  $M_M < M_{E1} \leq M_{E2}$  wobei  $M_M$  die Masse des Rohlings im Mittelbereich,  $M_{E1}$  die Masse des Rohlings im ersten Endbereich und  $M_{E2}$  die Masse des Rohlings im zweiten Endbereich ist.

**[0017]** Weiterhin kann der Rohling die Bedingung erfüllen:  $M_M \leq M_{E2} / 1,25$ .

**[0018]** Für die Herstellung von geschmiedeten Bauteilen aus TiAl-Legierungen, insbesondere für Gasturbinenbauteile, wie beispielsweise Niederdruckturbinen-Turbinenschaufeln, sind vor allem mit Niob und Molybdän legierte Titanaluminid-Legierungen verwendbar. Derartige Legierungen werden auch als TNM-Legierungen bezeichnet.

**[0019]** Für das vorliegende Verfahren kann eine Legierung mit 27 bis 30 Gewichtsprozent Aluminium, 8 bis 10 Gewichtsprozent Niob und 1 bis 3 Gewichtsprozent Molybdän verwendet werden, wobei der Rest durch Titan gebildet sein kann.

**[0020]** Der Aluminiumgehalt kann insbesondere im Bereich von 28,1 bis 29,1 Gewichtsprozent Aluminium gewählt werden, während 8,5 bis 9,6 Gewichtsprozent Niob und 1,8 bis 2,8 Gewichtsprozent Molybdän zulegiert sein können.

**[0021]** Darüber hinaus kann die Legierung mit Bor legiert sein, und zwar im Bereich von 0,01 bis 0,04 Gewichtsprozent Bor, insbesondere 0,019 bis 0,034 Gewichtsprozent Bor.

**[0022]** Ferner kann die Legierung unvermeidbare Verunreinigungen bzw. weitere Bestandteile wie Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Chrom, Silizium, Eisen, Kupfer, Nickel und Yttrium aufweisen, wobei deren Gehalt  $\leq 0,05$  Gewichtsprozent Chrom,  $\leq 0,05$  Gewichtsprozent Silizium,  $\leq 0,08$  Gewichtsprozent Sauerstoff,  $\leq 0,02$  Gewichtsprozent Kohlenstoff,  $\leq 0,015$  Gewichtsprozent Stickstoff,  $\leq 0,005$  Gewichtsprozent Wasserstoff,  $\leq 0,06$  Gewichtsprozent Eisen,  $\leq 0,15$  Gewichtsprozent Kupfer,  $\leq 0,02$  Gewichtsprozent Nickel und  $\leq 0,001$  Gewichtsprozent Yttrium betragen kann. Weitere Bestandteile können einzeln im Bereich von 0 bis 0,05 Gewichtsprozent bzw. insgesamt von 0 bis 0,2 Gewichts-

prozent enthalten sein.

**[0023]** Das Schmieden des Rohlings kann insbesondere als isothermes Schmieden durchgeführt werden, wobei lediglich eine einstufige Umformung, also lediglich ein Umformschritt vorzugsweise in lediglich einem Schmiedegesenk vorgenommen werden kann, ohne dass ein weiteres Umformen oder Schmieden in einem anderen Schmiedegesenk erfolgt. Auf diese Weise kann der Aufwand für das Umformen niedrig gehalten werden.

**[0024]** Einstufig bedeutet hierbei somit sowohl, dass der Umformvorgang in einem einzigen kontinuierlichen Vorgang stattfindet, als auch, dass nur eine einzige Umformung im Herstellungsverfahren stattfindet.

**[0025]** Demnach kann das Umformen des beispielsweise gegossenen, noch nicht umgeformten Rohlings zum Halbzeug in einem einzigen Schmiedeschritt erfolgen, ohne dass eine weitere Umformung zum fertigen Bauteil nötig ist. Es muss also nicht mehrfach und aus unterschiedlichen Richtungen gepresst werden, sondern es ist lediglich eine Presse bzw. ein Gesenk mit zwei Formen erforderlich, zwischen denen der Rohling eingelegt und beim Pressen der beiden Formen gegeneinander umgeformt wird. Dabei muss das Schmiedeteil also nicht zwischen verschiedenen Schmiedeschritten umgelegt oder bewegt werden.

**[0026]** Das Schmieden der entsprechenden Bauteile kann durch Gesenkschmieden im Temperaturbereich des  $\alpha+\gamma+\beta$ -Phasengebiets erfolgen, wobei die Schmiedetemperatur im Bereich von 1150°C bis 1200°C liegen kann. Ein entsprechendes Gesenk kann durch Heizen während des Schmiedevorgangs auf der Temperatur gehalten werden. Abhängig vom Material des Gesenks kann eine inerte Umgebungsatmosphäre während des Schmiedens eingestellt werden.

**[0027]** Nach dem Schmieden können die geschmiedeten Halbzeuge einer zweistufigen Wärmebehandlung unterzogen werden, wobei die erste Stufe der Wärmebehandlung ein Rekristallisationsglühen unterhalb der  $\gamma/\alpha$ -Umwandlungstemperatur für eine Zeitdauer von 50 bis 100 Minuten vorsieht. Das Glühen bei einer Temperatur unterhalb der  $\gamma/\alpha$ -Umwandlungstemperatur, bei der entsprechend dem Phasendiagramm für die verwendete TiAl-Legierung  $\alpha$ -Titan in  $\gamma$ -TiAl umgewandelt wird, kann möglichst nahe an der  $\gamma/\alpha$ -Umwandlungstemperatur stattfinden, wobei eine Temperatur von 8 %, insbesondere 4 %, unterhalb der  $\gamma/\alpha$ -Umwandlungstemperatur nicht unterschritten werden soll.

**[0028]** Das Rekristallisationsglühen kann vorzugsweise für 60 bis 90 Minuten, insbesondere 70 bis 80 Minuten, durchgeführt werden.

**[0029]** Der ersten Stufe der Wärmebehandlung mit dem Rekristallisationsglühen kann sich eine zweite Stufe der Wärmebehandlung mit einem Stabilisierungsglühen im Temperaturbereich von 800°C bis 950°C für 5 bis 7 Stunden anschließen.

**[0030]** Das Stabilisierungsglühen kann insbesondere im Temperaturbereich von 825°C bis 925°C, vorzugsweise von 850°C bis 900°C bei einer Haltedauer von 345 Minuten bis 375 Minuten durchgeführt werden.

**[0031]** Die Abkühlung beim Rekristallisationsglühen kann durch Luftabkühlung erfolgen, wobei im Temperaturbereich zwischen 1300°C und 900°C die Abkühlgeschwindigkeit  $\geq 3^\circ\text{C}$  pro Sekunde sein soll, um ein feinlamellares Gefüge aus  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al und  $\gamma$ -TiAl einzustellen, welches die erforderlichen mechanischen Eigenschaften gewährleistet.

**[0032]** Die Abkühlung bei der zweiten Wärmebehandlungsstufe, also dem Stabilisierungsglühen, kann mit entsprechend niedrigeren Abkühlgeschwindigkeiten im Ofen erfolgen.

**[0033]** Für die Einstellung des Gefüges und Reproduzierbarkeit einer entsprechenden Gefügeeinstellung ist es von Bedeutung, dass die Wärmebehandlungsschritte möglichst genau bei der entsprechend gewählten Temperatur durchgeführt werden. Allerdings ist eine zunehmend exakte Einstellung der Temperatur und Halten der Bauteile auf den entsprechenden Temperaturen mit wachsendem Aufwand verbunden, so dass für eine wirtschaftlich sinnvolle Bearbeitung ein Kompromiss gefunden werden muss. Für die Wärmebehandlung von geschmiedeten TiAl-Bauteilen hat sich eine Temperatureinstellung mit einer Abweichung im Bereich von 5°C bis 10°C nach oben und unten von der Soll-Temperatur als vorteilhaft herausgestellt. Entsprechend kann die gewählte Soll-Temperatur für die Wärmebehandlungsschritte der vorliegenden Erfindung in einem entsprechenden Temperaturfenster mit 5°C bis 10°C Abweichung von der Soll-Temperatur nach oben und unten eingestellt und gehalten werden.

**[0034]** Als Rohlinge für das Schmieden können gegossene und/oder heiß-isostatisch gepresste Rohlinge eingesetzt werden. Alternativ zum Gießen kann das Vormaterial auch über Metallformspritzen (MIM), pulvermetallurgische Verfahren, additive Verfahren (z.B. 3D-Druck, Auftragsschweißen) oder Kombinationen davon hergestellt werden. Unabhängig von der Herstellung können die Rohlinge bzw. das Vormaterial vor dem Schmieden heiß-isostatisch gepresst werden. Es kann vorteilhaft sein, das Vormaterial vor dem Schmieden allseitig oder lokal mit einem materialabtragenden Bearbeitungsverfahren zu bearbeiten, um Oberflächenrandzonen abzarbeiten und/oder dem Rohling die gewünschte Form für die anschließende Umformung zu geben. Als materialabtragendes Bearbeitungsverfahren kann jedes geeignete Verfahren eingesetzt werden, insbesondere spanabhebende Verfahren oder elektrochemische Bearbeitungsverfahren.

**[0035]** Die Rohlinge können durch Erschmelzen im Vakuum oder Schutzgas mit selbstverzehrenden Elektroden oder im gekühlten Tiegel mittels Plasmalichtbogenschmelzen hergestellt werden, wobei ein einmaliges oder mehrmaliges Umschmelzen der Legierung durchgeführt werden kann. Das Umschmelzen kann mittels Vakuuminduktionsschmelzen oder Vakuumlichtbogenumschmelzen (VIM vacuum induction melting; VAR vacuum arc remelting) erfolgen und das abgegossene Material kann heiß-isostatisch gepresst werden, wobei Temperaturen  $\geq 1200^\circ\text{C}$  bei einem Druck  $\geq 100$  MPa und einer Haltezeit  $\geq 4$  Stunden angewendet werden können.

**[0036]** Nach dem Schmieden und vor oder vorzugsweise nach der zweistufigen Wärmebehandlung kann das geschmiedete Halbzeug mit einem materialabtragenden Bearbeitungsverfahren nachbearbeitet werden, um das fertige Bauteil zu erzeugen. Als materialabtragendes Bearbeitungsverfahren kann jedes geeignete Verfahren eingesetzt werden, insbesondere spanabhebende Verfahren oder elektrochemische Bearbeitungsverfahren.

## KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

**[0037]** Die beigefügten Zeichnungen zeigen in rein schematischer Weise in

Figuren 1a und 1b einen Verfahrensablauf zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäß der vorliegenden Erfindung, in

Figur 2 ein Diagramm zur Verdeutlichung möglicher Masseverteilungen in einem Rohling für das Schmieden und in

Figur 3 ein Zustandsdiagramm für eine TiAl - Legierung, wie sie bei der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden kann, mit der Angabe des Phasenfeldes, in dem das Schmieden bzw. die Umformung stattfindet.

## AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

**[0038]** Weitere Vorteile, Kennzeichen und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der Ausführungsbeispiele deutlich. Allerdings ist die Erfindung nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt.

**[0039]** Die Figuren 1a und 1b zeigen die Abfolge der Verfahrensschritte bei der Durchführung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0040]** Zu Beginn wird ein Rohling 5 hergestellt, indem in eine Gießform 1 mit einem Hohlraum 2 entsprechend der Form des herzustellenden Rohlings 5 eine schmelzflüssige TiAl - Legierung eingefüllt wird.

**[0041]** Nach dem Abgießen der TiAl - Legierung in der Form 1 und Erstarren der TiAl - Legierung kann der Gussrohling 4 in einer Anlage 3 für heiß - isostatisches Pressen entsprechend gepresst werden, um den Gussrohling 4 zu verdichten und mögliche Gusslunker oder dergleichen zu schließen. Das heiß - isostatische Pressen dient somit nicht der Umformung des Gussrohlings 4, sondern lediglich der Materialverdichtung.

**[0042]** Danach kann der Rohling 5 zusätzliche einer materialabtragenden Nachbearbeitung unterzogen werden, beispielsweise durch spanabhebende Verfahren oder durch elektrochemische Bearbeitung.

**[0043]** Der entsprechend hergestellte Rohling 5 wird in einer Gesenkschmiede 6 zu einem endkonturnahen, geschmiedeten Halbzeug 9 geschmiedet, wobei die Gesenkschmiede 6 zwei Gesenkhohlformen 7 und 8 aufweist, die zwischen sich eine Kavität entsprechend der Form des zu schmiedenden Halbzeugs 9 definieren, wie in der gestrichelten Darstellung der Figur 1b gezeigt ist. Durch das Zusammenpressen der Gesenkhohlformen 7 und 8 mit dem dazwischen angeordneten Rohling 5 wird die TiAl - Legierung zu dem geschmiedeten Halbzeug 9 umgeformt. Durch ein entsprechendes Erwärmen der Gesenkhohlformen 7 und 8 kann die Umformung des Rohlings 5 zum geschmiedeten Halbzeug 9 durch isothermes Schmieden bei einer möglichst konstanten Temperatur durchgeführt werden. Das Zusammenpressen der Gesenkhohlformen 7 und 8 ist durch die Pfeile in der Figur 1b dargestellt.

**[0044]** Nach dem isothermen Schmieden liegt ein endkonturnahes, geschmiedetes Halbzeug 9 vor, welches zu dem fertigen Bauteil, nämlich einer Turbinenschaufel 10, durch eine materialabtragende Nachbearbeitung gefertigt werden kann. Die Nachbearbeitung durch Materialabtrag kann durch spanabhebende Verfahren oder elektrochemische Bearbeitungsverfahren durchgeführt werden.

**[0045]** Nach der Nachbearbeitung liegt eine fertige Turbinenschaufel 10 mit einem Schaufelblatt 13, einem Schaufelfuß 11 und einem Deckband 12 vor.

**[0046]** Wie sich aus den Figuren 1a und 1b ergibt, kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durch einen einzigen Umformschritt durch isothermes Schmieden in einer Gesenkschmiede 6 eine endkonturnahe Form des herzustellenden Bauteils hergestellt werden, sodass die Nachbearbeitung minimiert werden kann. Durch die erfindungsgemäße Verwendung eines Rohlings 5 für das isotherme Schmieden, der in seiner Form auf das isotherme Gesenkschmieden abgestimmt ist, ist insbesondere sichergestellt, dass bei der Umformung des Rohlings 5 zu dem geschmiedeten Halbzeug 9 eine über dem Bauteil möglichst gleichmäßigen Umformung stattfindet, wobei eine Mindestumformung nicht unterschritten wird, aber die Umformung so gering wie möglich gehalten werden kann. Dadurch kann eine homogene Gefügeeinstellung bei der TiAl - Legierung vorgenommen werden, sodass die Eigenschaften des Werkstoffs homogen über der fertigen Turbinenschaufel 10 vorliegen.

**[0047]** Die Figur 2 zeigt in den Beispielen 1 bis 3 verschiedene Verläufe der Massenverteilung über der Längsachse

eines Rohlings 5, wie sie bei der vorliegenden Erfindung Verwendung finden können. Figur 2 zeigt, dass ein Rohling 5 in gleich große Abschnitte entlang der Längsachse des Rohlings 5 eingeteilt werden kann, wobei innerhalb dieser Abschnitte unterschiedliche Massen des Rohlings vorliegen, nämlich an den beiden Enden der Längsachse jeweils mehr Masse als in einem mittleren Bereich. Die Masse der jeweiligen Bereiche an den Enden kann dabei gleich oder unterschiedlich groß sein.

**[0048]** Die Figur 3 zeigt ein sogenanntes quasibinäres Zustandsdiagramm einer TiAl - Legierung, wie sie bei der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden kann. Quasibinär bedeutet, dass sich im gezeigten Zustandsbereich lediglich die Anteile von zwei Bestandteilen, vorliegend Ti und Al ändern, und die übrigen Legierungsbestandteile, vorliegend Nb und Mo, konstant bleiben. Das gestrichelte Arbeitsfeld 14 liegt im  $\alpha + \beta + \gamma$  - Phasengebiet und zeigt den Temperaturbereich an, in welchen bei der entsprechenden Zusammensetzung der TiAl - Legierung das isotherme Schmieden durchgeführt werden kann. Die  $y/a$  - Umwandlungstemperatur entspricht im Phasendiagramm der Linie zwischen dem  $\beta + \alpha$  - Phasengebiet und dem  $\alpha + \beta + \gamma$  - Phasengebiet

**[0049]** Obwohl die vorliegende Erfindung anhand der Ausführungsbeispiele detailliert beschrieben worden ist, ist für den Fachmann selbst verständlich, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern dass vielmehr Abwandlungen in der Weise vorgenommen werden können, dass einzelne Merkmale weggelassen oder andersartige Kombinationen von Merkmalen verwirklicht werden können, solange der Schutzbereich der beigefügten Ansprüche nicht verlassen wird.

## BEZUGSZEICHENLISTE

### [0050]

- |    |                                         |
|----|-----------------------------------------|
| 1  | Gießform                                |
| 2  | Hohlraum                                |
| 3  | Anlage zum heiß - isostatischen Pressen |
| 4  | Gießrohling                             |
| 5  | Rohling                                 |
| 6  | Gesenkschmiede                          |
| 7  | Gesenkhohlform                          |
| 8  | Gesenkhohlform                          |
| 9  | geschmiedetes Halbzeug                  |
| 10 | Turbinenschaufel                        |
| 11 | Schaufelfuß                             |
| 12 | Deckband                                |
| 13 | Schaufelblatt                           |
| 14 | Arbeitsfeld                             |

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines geschmiedeten Bauteils (10) aus einer TiAl - Legierung, insbesondere einer Turbinenschaufel, bei welchem ein Rohling (5) aus einer TiAl - Legierung bereitgestellt wird und durch Schmieden zu einem geschmiedeten Halbzeug (9) umgeformt wird, wobei in dem geschmiedeten Halbzeug ein nutzbares Volumen definiert ist, welches dem herzustellenden, geschmiedeten Bauteil entspricht,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Form des Rohlings (5) so gewählt wird, dass der Umformgrad innerhalb des nutzbaren Volumens des geschmiedeten Halbzeugs durch das Schmieden einen definierten Wert aufweist, der über das nutzbare Volumen maximal um  $\pm 1$  von dem definierten Wert abweicht.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der verwendete Umformgrad der Umformgrad in einer oder mehreren Richtungen eines Bezugssystems ist, der Umformgrad in jeder Richtung eines Bezugssystems ist, der wertmäßig größte und/oder der wertmäßig kleinste Umformgrad ist oder der Umformgrad  $\varphi_g$  ist, wobei  $\varphi_g = |\varphi_{\max}| = \frac{1}{2}(|\varphi_x| + |\varphi_y| + |\varphi_z|)$  ist und wobei  $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$ ,  $\varphi_z$  die Umformgrade in x - , y - und z - Richtung sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

der Umformgrad innerhalb des nutzbaren Volumens des geschmiedeten Halbzeugs (9) von dem definierten Wert maximal um  $\pm 0,5$ , insbesondere  $\pm 0,25$  abweicht.

- 5      4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der definierte Wert des Umformgrades größer oder gleich 0,7 ist, wobei insbesondere der Umformgrad von 0,7 innerhalb des nutzbaren Volumens nicht unterschritten wird.
- 10     5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der definierte Wert des Umformgrades kleiner oder gleich 2,5, insbesondere kleiner oder gleich 2,0 ist.
- 15     6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Umformgeschwindigkeit im Bereich von 0,01 bis 0,5 1/s, insbesondere 0,025 bis 0,25 1/s liegt.
- 20     7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Form des Rohlings (5) so gewählt wird, dass entlang der Längsachse des Rohlings der Rohling in drei gleiche Bereiche unterteilt wird, und zwar einen ersten und zweiten Endbereich sowie einen Mittelbereich, wobei gilt  $M_M < M_{E1} \leq M_{E2}$  und  $M_M$  die Masse des Rohlings im Mittelbereich,  $M_{E1}$  die Masse des Rohlings im ersten Endbereich und  $M_{E2}$  die Masse des Rohlings im zweiten Endbereich ist.
- 25     8. Verfahren nach Anspruch 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 $M_M \leq M_{E2} / 1,25$  ist.
- 30     9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
eine TiAl-Legierung mit Niob und Molybdän, insbesondere eine Legierung mit 27 bis 30 Gew.% Aluminium, 8 bis 10 Gew.% Niob und 1 bis 3 Gew.% Molybdän verwendet wird.
- 35     10. Verfahren nach Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
eine Legierung mit 0,01 bis 0,04 Gew.% Bor verwendet wird.
- 40     11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
eine Legierung verwendet wird, die neben unvermeidbaren Verunreinigungen mindestens einen weiteren Bestandteil aus der Gruppe aufweist, die Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Chrom, Silizium, Eisen, Kupfer, Nickel und Yttrium umfasst, wobei deren Gehalt  $\leq 0,05$  Gew.% Chrom,  $\leq 0,05$  Gew.% Silizium,  $\leq 0,08$  Gew.% Sauerstoff,  $\leq 0,02$  Gew.% Kohlenstoff,  $\leq 0,015$  Gew.% Stickstoff,  $\leq 0,005$  Gew.% Wasserstoff,  $\leq 0,06$  Gew.% Eisen,  $\leq 0,15$  Gew.% Kupfer,  $\leq 0,02$  Gew.% Nickel und  $\leq 0,001$  Gew.% Yttrium betragen kann.
- 45     12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
eine Legierung verwendet wird, deren chemische Zusammensetzung Titan in einer Menge umfasst, sodass die Legierung mit den übrigen Bestandteilen der Ansprüche 8 bis 10 100 Gew.% umfasst.
- 50     13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Umformen durch isothermes Schmieden, insbesondere Gesenkschmieden im Temperaturbereich des  $\alpha+\gamma+\beta$  - Phasengebiets der TiAl - Legierung erfolgt, insbesondere bei einer Schmiedetemperatur zwischen 1150°C und 1200°C.
- 55     14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die TiAl - Legierung nach dem Umformen durch isothermes Schmieden einer zweistufigen Wärmebehandlung

unterzogen wird, wobei die erste Stufe der Wärmebehandlung ein Rekristallisationsglühen für 50 bis 100 Minuten bei einer Temperatur unterhalb der  $\gamma/\alpha$  - Umwandlungstemperatur und die zweite Stufe der Wärmebehandlung ein Stabilisierungsglühen im Temperaturbereich von 800°C bis 950°C für 5 bis 7 h umfasst, und wobei die Abkühlgeschwindigkeit bei der ersten Wärmebehandlungsstufe im Temperaturbereich zwischen 1300°C bis 900°C größer oder gleich 3°C/s ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Rekristallisationsglühen für 60 bis 90 Minuten, insbesondere 70 bis 80 Minuten und/oder das Stabilisierungsglühen im Temperaturbereich von 825°C bis 925°C, insbesondere 850°C bis 900°C und/oder für 345 bis 375 Minuten durchgeführt wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Temperatur bei der Wärmebehandlung mit einer Genauigkeit von 5°C bis 10°C Abweichung von der Solltemperatur nach oben und unten eingestellt und gehalten wird.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

als Vormaterial für das Schmieden Rohlinge (5) verwendet werden, die durch mindestens eines der Verfahren aus der Gruppe hergestellt sind, die Gießen, Metallformspritzen (MIM), pulvermetallurgische Verfahren, additive Verfahren, 3D-Druck, Auftragsschweißen, heiß - isostatisches Pressen und materialabtragende Bearbeitungsverfahren umfasst.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das isotherme Schmieden und/oder das Umformen in einem einstufigen Umformschritt, insbesondere in einem Schmiedegesenk erfolgt und/oder das isotherme Schmieden als Gesenkschmieden mit beheiztem Gesenk erfolgt.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

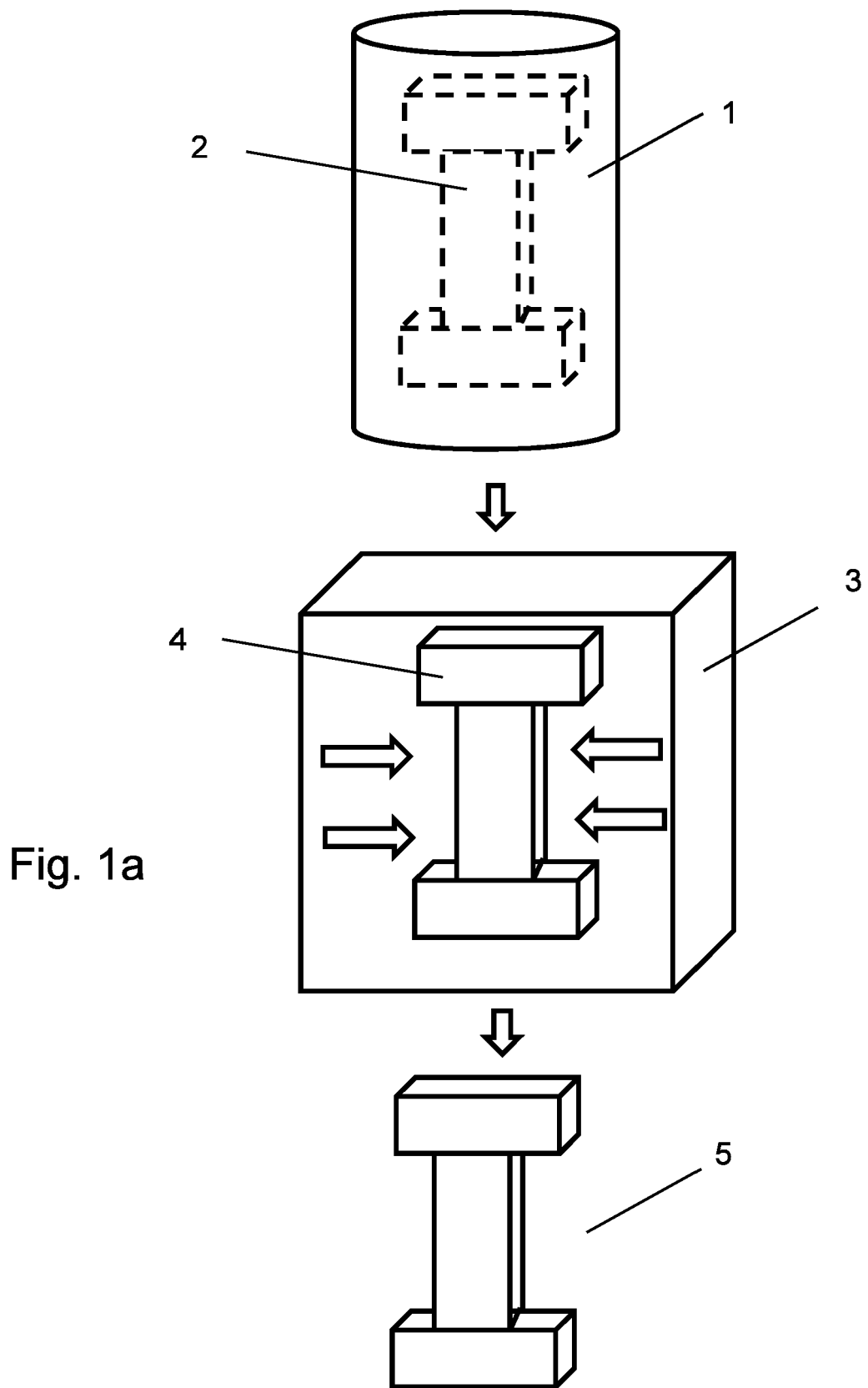
der bereitgestellte Rohling (5) ungeschmiedet ist und mit nur einem Schmiedeschritt zu dem Halbzeug umgeformt wird, wobei der nur eine Schmiedeschritt insbesondere dadurch ausgeführt wird, dass zwei Formen eines Gesenks in jeweils nur eine Richtung und gegeneinander gepresst werden, um dabei den zwischen den Formen liegenden Rohling zu dem Halbzeug (9) umzuformen.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das geschmiedete Halbzeug (9), das insbesondere mit ausschließlich einem Schmiedeschritt umgeformt wurde, mit einem materialabtragenden Bearbeitungsverfahren, insbesondere durch eine spanabhebende Bearbeitung, vorzugsweise Fräsen und/oder eine elektrochemische Bearbeitung, nachbearbeitet wird, um das geschmiedete Bauteil, insbesondere ohne weitere Umformung, zu erzeugen, und/oder dass das geschmiedete Bauteil eine Schaufel einer Strömungsmaschine, insbesondere eine Turbinenschaufel, vorzugsweise einer Niederdruckturbine ist.





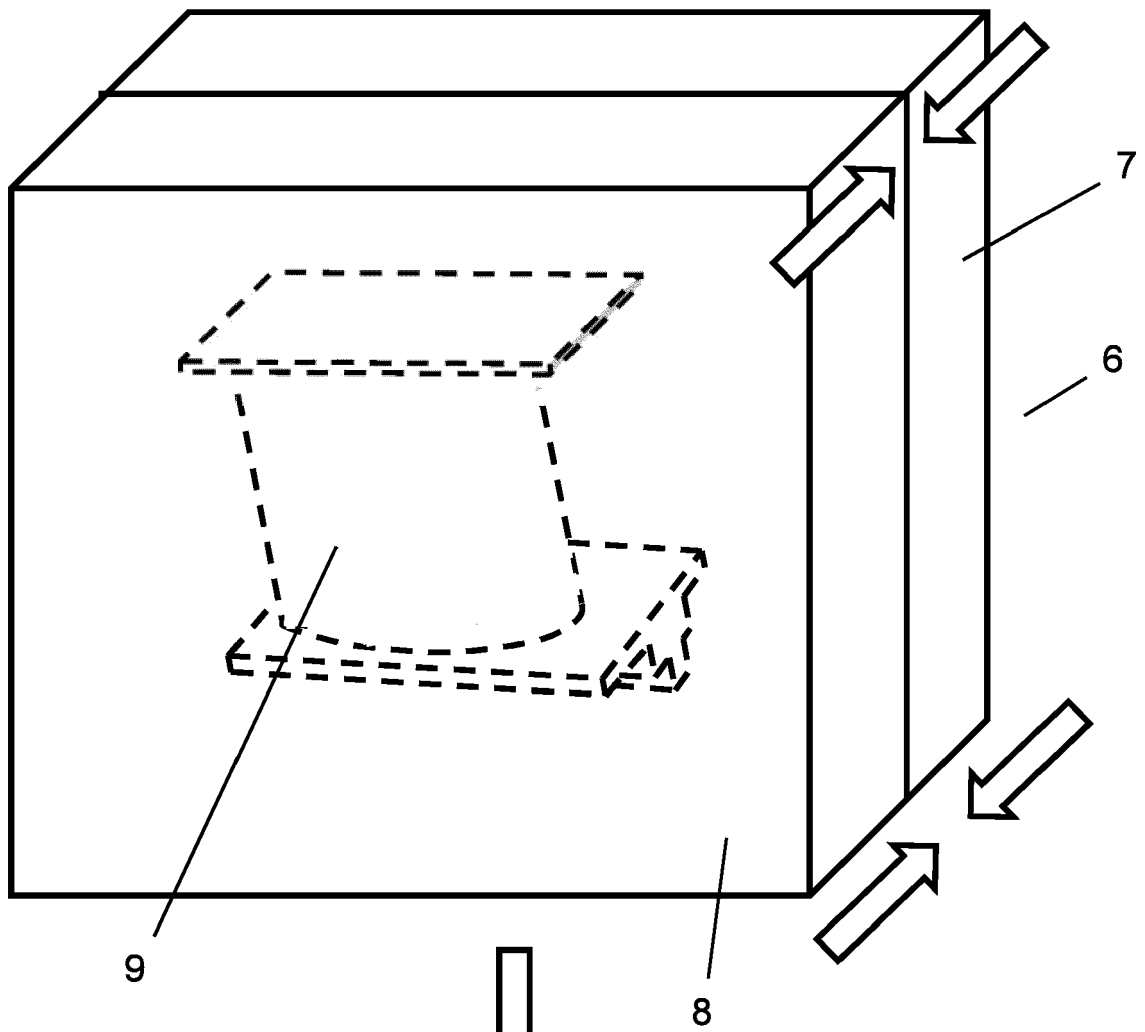
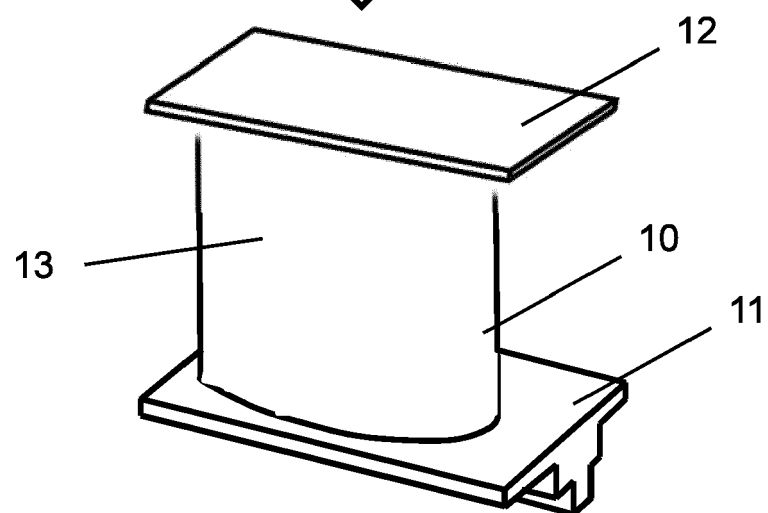


Fig. 1b



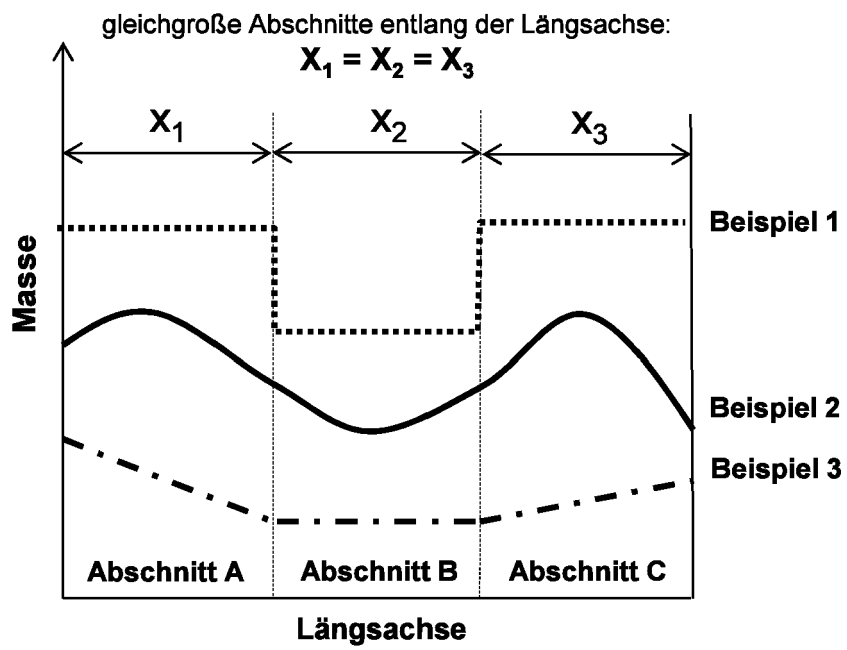
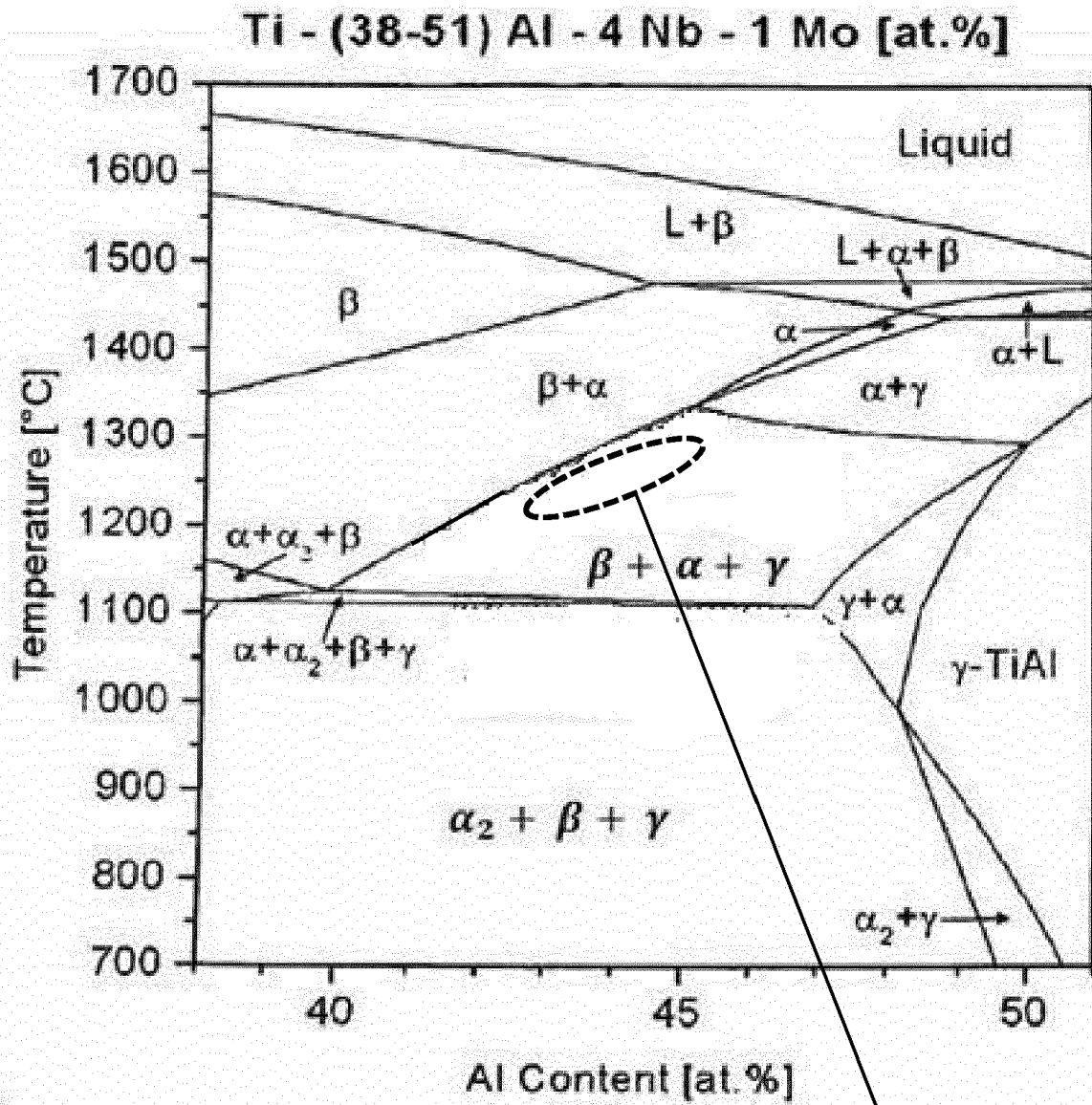


Fig. 2



14

Fig. 3



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 17 16 0397

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | BROOKS ET AL: "Three-dimensional finite element modelling of a titanium aluminide aerofoil forging", JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNO, ELSEVIER, NL, Bd. 80-81, 1. August 1998 (1998-08-01), Seiten 149-155, XP005310781, ISSN: 0924-0136, DOI: 10.1016/S0924-0136(98)00103-4<br>* Absatz "2. Experimental";<br>Abbildung 3 *                                                               | 1-20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | INV.<br>C22C14/00<br>C22F1/18                   |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | KIM ET AL: "Microstructural evolution and mechanical properties of a forged gamma titanium aluminide alloy", ACTA METALLURGICA & MATERIALIEN, PERGAMON / ELSEVIER SCIENCE LTD, GB, Bd. 40, Nr. 6, 1. Juni 1992 (1992-06-01), Seiten 1121-1134, XP024183449, ISSN: 0956-7151, DOI: 10.1016/0956-7151(92)90411-7<br>[gefunden am 1992-06-01]<br>* Absatz "Experimental", Seite 1122, linke Spalte * | 1-20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)<br>C22C<br>C22F |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                 | SRINIVASAN R ET AL: "Temperature changes and loads during hot-die forging of a gamma titanium-aluminide alloy", JOURNAL OF MATERIALS PROCESSING TECHNOLOGY, ELSEVIER, NL, Bd. 160, Nr. 3, 30. März 2005 (2005-03-30), Seiten 321-334, XP027805712, ISSN: 0924-0136<br>[gefunden am 2005-03-30]<br>* Absatz "2. Materials and experimental procedure" *                                            | 1-20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                 |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                 |
| Recherchenort<br>München                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Abschlußdatum der Recherche<br>1. September 2017                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Prüfer<br>González Junquera, J                  |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                                 |

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**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**

- DE 102011110740 B4 [0005]
- DE 102015103422 B3 [0005]
- EP 2386663 A1 [0005] [0006]