

(19)



(11)

EP 2 840 154 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.02.2015 Patentblatt 2015/09

(51) Int Cl.:
C22C 1/04 (2006.01) **C22C 33/02 (2006.01)**
F01D 5/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13181259.6**

(22) Anmeldetag: **21.08.2013**

(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

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

(72) Erfinder: **Smarsly, Wilfried**
81669 München (DE)

(54) **Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus und mit Laves-Phasen**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils, insbesondere für Strömungsmaschinen, welches aus mindestens einer intermetallischen Laves - Phase gebildet ist oder mindestens eine intermetallische Laves - Phase umfasst, wobei das Bauteil pulvermetallurgisch hergestellt wird, sowie entsprechend hergestellte Bauteile.

EP 2 840 154 A1

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen, insbesondere Bauteilen für Strömungsmaschinen, wie stationäre Gasturbinen und Flugzeugtriebwerke, die zumindest Laves - Phasen enthalten, sowie entsprechende Bauteile.

STAND DER TECHNIK

[0002] In Strömungsmaschinen, wie stationären Gasturbinen oder Flugzeugtriebwerken, werden Bauteile, wie beispielsweise Schaufeln, Scheiben und dergleichen, eingesetzt, die sowohl den hohen Temperaturen als auch den aggressiven Umgebungsbedingungen beim Betrieb der Strömungsmaschinen widerstehen müssen, als auch insbesondere bei den teilweise herrschenden hohen Temperaturen eine ausreichende Festigkeit und Kriechbeständigkeit aufweisen müssen. Hierzu sind im Stand der Technik verschiedene Werkstoffe bekannt, die zusammen mit geeigneten Beschichtungen den Anforderungen genügen. Allerdings ist das Potential der bisher eingesetzten Werkstoffe, wie beispielsweise Eisen - und Nickel - Basis - Legierungen, bereits weitgehend ausgeschöpft, so dass weitere Effizienzsteigerungen für Strömungsmaschinen beispielsweise durch höhere Arbeitstemperaturen durch neuartige Werkstoffe erreicht werden müssen.

[0003] So gibt es bereits Bestrebungen, Legierungen mit Partikeln aus Laves - Phasen zu verfestigen, welche aufgrund ihrer geordneten intermetallischen Struktur günstige Festigkeitswerte auch bei hohen Einsatztemperaturen erwarten lassen.

[0004] Allerdings hat sich herausgestellt, dass die Herstellung derartiger Bauteile, die Laves - Phasen als Ausscheidungen enthalten, schwierig herzustellen sind, da bei der Abkühlung entsprechend hergestellter Bauteile Seigerungen und Risse auftreten.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0005] Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen anzugeben, die aus einem Werkstoff gefertigt sind, der zumindest Laves - Phasen umfasst. Hierbei soll das Verfahren effizient durchführbar und industriell anwendbar sein.

TECHNISCHE LÖSUNG

[0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Bauteil

mit den Merkmalen des Anspruchs 10. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0007] Die Erfindung schlägt vor, zur Herstellung eines Bauteils aus einem Werkstoff, der Laves - Phasen enthält, ein pulvermetallurgisches Verfahren zu verwenden. Durch ein pulvermetallurgisches Herstellungsverfahren ist es darüber hinaus auch möglich, gesamte Bauteile oder Teile davon vollständig aus einer oder mehreren intermetallischen Laves - Phasen herzustellen.

[0008] Für die pulvermetallurgische Herstellung kann eine Pulverpackung, also eine Ansammlung von Pulverpartikeln, Verwendung finden, bei der die Pulverpartikel die Zusammensetzung der Laves - Phase aufweisen, aus der das Bauteil gebildet werden soll. Soll das Bauteil aus einer Mischung verschiedener Laves - Phasen gebildet werden, kann die Pulverpackung verschiedene Pulver mit den entsprechenden Zusammensetzungen der Laves - Phasen aufweisen.

[0009] Alternativ oder zusätzlich kann die Pulverpackung auch Pulver umfassen, die lediglich Bestandteile der Laves - Phasen aufweisen, die in dem Bauteil ausgebildet werden sollen, so dass die Laves - Phase(n) erst bei der Kompaktierung und stoffschlüssigen Verbindung der Pulver gebildet wird.

[0010] Wie bereits erwähnt, ist auch eine Kombination der beiden oben aufgezeigten Möglichkeiten denkbar, nämlich einerseits in der Pulverpackung Pulver mit Pulverpartikeln der gewünschten Laves - Phase einzusetzen und andererseits Pulverpartikel mit Bestandteilen einer weiteren Laves - Phase, die in dem Bauteil zusätzlich ausgebildet werden soll.

[0011] Darüber hinaus ist es auch möglich, nicht nur ein Gefüge des herzustellenden Bauteils auszubilden, das vollständig aus Laves - Phase(n) gebildet ist, sondern es kann auch die Laves - Phase oder mehrere Laves - Phasen in einer Matrix aus einem anderen Werkstoff eingelagert sein oder umgekehrt können ein oder mehrere weitere Werkstoffe in einer Matrix aus Laves - Phase(n) eingelagert sein.

[0012] Entsprechend kann bei der pulvermetallurgischen Herstellung eine Pulverpackung neben dem Pulver aus Laves - Phasen auch Pulver aus oder zur Bildung eines Matrix - Werkstoffs enthalten, wobei also wiederum die Pulverpartikel die Zusammensetzungen des Matrix - Werkstoffs aufweisen können oder Pulvermischungen Verwendung finden können, bei denen die Pulverpartikel jeweils Bestandteile des zu bildenden Matrix - Werkstoffs aufweisen.

[0013] Die Pulverpackungen können somit Mischungen aus Pulvern aufweisen, die einerseits für die Bildung von Laves - Phasen vorgesehen sind bzw. aus Laves - Phasen bestehen, und andererseits Pulvern, die für die Bildung des Matrix - Werkstoffs vorgesehen sind oder aus diesem bestehen. Diese Pulver können in einem Verhältnis von 1:9 bis 9:1 gemischt werden, wobei in dem entstehenden Bauteil das Verhältnis der Anteile von Laves - Phase(n) zur Matrix - Werkstoff sich ebenfalls im Be-

reich von 1:9 bis 9:1 bewegen kann.

[0014] Zur pulvermetallurgischen Herstellung wird die Pulverpackung zunächst verdichtet und in eine gewünschte Form gebracht, wobei gleichzeitig und/oder anschließend die Pulverpartikel aufgeschmolzen oder miteinander versintert werden, um das gewünschte Bauteil zu erzeugen. Hierzu können verschiedene pulvermetallurgische Verfahren eingesetzt werden, und zwar insbesondere Strangpressen, heißisostatisches Pressen oder Spark-Plasma-Sintering.

[0015] Nach einer Ausführungsform kann das Verfahren so gestaltet werden, dass beim stoffschlüssigen Fügen der Pulverpartikel bzw. nach dem Umschmelzen gerichtet erstarrte oder einkristalline Gefüge entstehen, so dass also bei einer polykristallinen Ausgestaltung mit einem gerichtet erstarrten Gefüge die entstandenen Körner mit ihrem Kristallgefüge in einer Richtung parallel zueinander ausgerichtet sind, während bei einer einkristallinen Ausbildung des Gefüges das Gefüge aus einem Einkristall besteht. Dabei kann gezielt beim Kompaktierungsvorgang die Wärme so zugeführt werden, dass eine Wärmefront durch das Bauteil läuft, sodass die gerichtete oder einkristalline Gefügeausbildung bewirkt werden kann. Dies ist beispielsweise insbesondere bei Verwendung des Spark-Plasma-Sintering-Verfahrens möglich, bei dem zur Wärmezufuhr bei der Kompaktierung des Pulvers die in einer Form unter Druck befindliche Pulverpackung von einem Strom durchflossen wird, wobei der Stromfluss entlang der Form verändert werden kann.

[0016] Weiterhin kann bei der Abkühlung des Bauteils nach der Verdichtung und Formgebung gezielt Wärme zugeführt werden, um die Ausbildung von Eigenspannungen und die Entstehung von Rissen zu vermeiden bzw. zumindest zu verringern.

[0017] Als Laves - Phasen können insbesondere ternäre Laves - Phasen eingesetzt werden, wobei vorzugsweise Laves - Phasen auf der Basis von FeMAl eingesetzt werden, wobei M durch Tantal, Niob, Molybdän und/oder Wolfram gebildet ist. Insbesondere kann für M Tantal gewählt werden, welches teilweise durch Molybdän, Niob und/oder Wolfram ersetzt werden kann. Darüber hinaus kann in der ternären Phase auch der Eisenbestandteil teilweise durch Chrom ersetzt werden.

[0018] Der Matrix - Werkstoff kann durch eine Eisen - oder Nickel - Basislegierung gebildet sein, wobei der Begriff der Basislegierung angibt, dass der größte Bestandteil des Matrix - Werkstoffs Eisen oder Nickel ist.

[0019] Die Zusammensetzung der einzelnen Pulver und/oder der Pulvermischungen in einer Pulverpackung kann so gewählt werden, dass sie eine eutektische Zusammensetzung aufweisen, um die Schmelztemperatur zu verringern. Allerdings sind auch nicht eutektische Zusammensetzungen möglich.

[0020] Das Bauteil kann als Halbzeug oder Rohteil, insbesondere als endkonturnahes Rohteil gebildet werden, sodass zur Herstellung des fertigen Bauteils lediglich Endkonturbearbeitungen durch mechanisches Abtragen und/oder elektrochemisches Abtragen erforder-

lich sind. Hierbei können als Verfahren zur mechanischen Bearbeitung Schleifen und Fräsen eingesetzt werden.

[0021] Als Bauteile können Schaufeln, Scheiben oder Blisken (Kunstwort aus Blade und Disk für einstückige Schaufel - Scheiben - Einheiten) gebildet werden. Entsprechend werden nach einem Aspekt der vorliegenden Erfindung auch Bauteile, insbesondere für Strömungsmaschinen beansprucht, die Laves - Phasen, insbesondere ternäre Laves - Phasen umfassen oder zumindest in Teilbereichen vollständig aus Laves - Phasen gebildet sind. Unter Teilbereich eines Bauteils wird hier ein Bereich verstanden, der in seinen Dimensionen oberhalb der Dimensionen der Gefügestrukturen, also beispielsweise der Korngrößen, und unterhalb der Bauteildimensionen liegt. Beispielsweise könnte eine Blisk so ausgebildet sein, dass die Schaufel oder Scheibe aus der Laves - Phase gebildet ist, während der andere Bestandteil des Bauteils lediglich Laves - Phase(n) in einer Matrix - Werkstoff umfasst.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL

[0022] Zur Herstellung eines Bauteils, welches vollständig aus Laves - Phase gebildet ist, kann eine Pulverpackung verwendet werden, die Eisenpulver, Aluminiumpulver und Tantalpulver umfasst, wobei das Mischungsverhältnis der Pulver so gewählt ist, dass eine ternäre Phase Fe₄₂Al₃₀Ta₂₈ mit 42 at. % Eisen, 30 at. % Aluminium und 28 at. % Tantal gebildet wird. Hierbei kann das Eisen teilweise durch Chrom ersetzt werden und das Tantal kann ganz oder teilweise durch Niob, Molybdän und/oder Wolfram ersetzt werden. Bei einem Bauteil mit einem derartigen Werkstoff handelt es sich um ein Bauteil, das aus einer nicht eutektischen Laves - Phase gebildet ist.

[0023] Alternativ kann ein Bauteil aus einer entsprechenden Laves - Phase auch durch eine Pulverpackung hergestellt werden, welche Pulverpartikel mit der Zusammensetzung der Laves - Phase, also im gegebenen Ausführungsbeispiel mit einer Zusammensetzung Fe₄₂Al₃₀Ta₂₈ aufweist.

[0024] Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel kann ein Bauteil mit einer Eisen - Basislegierungsmatrix mit eingebetteter Laves - Phase hergestellt werden, wobei für die Bildung der Eisenbasismatrix ein Pulver Verwendung findet, welches eine Zusammensetzung aufweist, in der Eisen mit 72 at. %, Aluminium mit 27 at. % und Tantal mit 1 at. % vorliegt. Dieses Pulver wird im Verhältnis von 75 zu 25 mit Pulver einer Laves - Phase gemischt, die also entsprechend mit einem Anteil von 25 % in der Pulverpackung vorliegt. Das Pulver der Laves - Phase weist eine Zusammensetzung auf mit 59 at. % Eisen, 14 at. % Aluminium und 27 at. % Tantal.

[0025] Auch hier ist es alternativ wieder möglich statt der Pulverpartikel mit den entsprechenden Zusammensetzungen des Matrix - Werkstoffs und der Laves - Phase Pulverpackungen einzusetzen, bei denen mehrere Pul-

ver mit einzelnen Bestandteilen der jeweiligen Zusammensetzung gemischt sind.

[0026] Die Pulverpackungen werden jeweils durch heißisostatisches Pressen verdichtet und zu dem gewünschten Bauteil geformt, wobei das heißisostatische Pressen unter Schutzgas bei einem Druck von 100 bis 200 MPa und einer Temperatur von 1000°C - 1400°C für zwei bis acht Stunden durchgeführt werden kann.

[0027] Alternativ kann die Kompaktierung und Formgebung durch Spark-Plasma-Sintering (SPS) erfolgen, wobei ein Druck von 100 bis 300 MPa bei einer Temperatur von 1000°C bis 1600°C für eine Dauer von zwei bis zwanzig Minuten aufgebracht werden kann.

[0028] Obwohl durch die Ausführungsbeispiele konkrete Ausführungsformen angegeben worden sind, ist für den Fachmann selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsformen beschränkt ist, sondern dass vielmehr Abwandlungen in der Weise möglich sind, dass einzelne Merkmale weggelassen oder andersartige Kombinationen von Merkmalen verwirklicht werden. Insbesondere schließt die vorliegende Offenbarung sämtliche Kombinationen der vorgestellten Einzelmerkmale mit ein.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils, insbesondere für Strömungsmaschinen, welches aus mindestens einer intermetallischen Laves - Phase gebildet ist oder mindestens eine intermetallische Laves - Phase umfasst, wobei das Bauteil pulvermetallurgisch hergestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Pulverpackung verwendet wird, bei welcher die Pulverpartikel eine Zusammensetzung entsprechend der Laves - Phase aufweisen, oder welche eine Mischung aus Pulvern ist, die Pulverpartikel aus jeweils einem oder mehreren Bestandteilen der Laves - Phase aufweisen.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Pulverpackung verwendet wird, bei welchem erste Pulverpartikel eines ersten Pulvers eine Zusammensetzung entsprechend der Laves - Phase aufweisen und zweite Pulverpartikel eines zweiten Pulvers eine Zusammensetzung entsprechend eines Matrix - Werkstoffs aufweisen, und die ersten und zweiten Pulver gemischt sind.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Pulverpackung verwendet wird, die eine Mi-

schung aus verschiedenen Pulvern ist, die Pulverpartikel aus jeweils einem oder mehreren Bestandteilen der Laves - Phase und eines Matrix - Werkstoffs aufweisen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pulver der Laves - Phase und des Matrix - Werkstoffs im Verhältnis von 1:9 bis 9:1 gemischt werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pulverpackung durch Strangpressen, heißisostatisches Pressen oder Sparc Plasma Sintering verdichtet und geformt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil gerichtet oder einkristallin erstarrt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Laves - Phase eine ternäre Laves - Phase, insbesondere auf der Basis von FeMn eingesetzt wird, wobei M durch Ta, Nb, Mo und/oder W gebildet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil einen Matrix - Werkstoff umfasst, in den die Laves - Phase eingebettet oder der in die Laves - Phase eingebettet ist, wobei der Matrix - Werkstoff insbesondere eine Fe - oder Ni - Basislegierung ist.
10. Bauteil für eine Strömungsmaschine, welches aus einer intermetallischen Laves - Phase insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche gebildet ist.
11. Bauteil nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil eine gerichtete Kornstruktur aufweist oder einkristallin ist.
12. Bauteil nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil eine Schaufel, eine Scheibe oder eine Blisk einer Strömungsmaschine ist.



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 13 18 1259

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X A	US 2004/126613 A1 (BEWLAY BERNARD [US] ET AL) 1. Juli 2004 (2004-07-01) * Absatz [0024] * * Beispiele *	1-8, 10-12 9	INV. C22C1/04 C22C33/02 F01D5/12
X A	US 4 015 947 A (DAVER EDUL M) 5. April 1977 (1977-04-05) * Beispiele *	1-9 10-12	
X A	JP S60 59050 A (TOSHIBA KK) 5. April 1985 (1985-04-05) * Zusammenfassung *	1-9 10-12	
X A	WO 2007/076805 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; MAX PLANCK INST EISENFORSCHUNG [DE]; SMARS) 12. Juli 2007 (2007-07-12) * Ansprüche *	10-12 1-9	
A	WO 2012/120231 A1 (SNECMA [FR]; HUGOT JULIETTE [FR]; MENUÉY JUSTINE [FR]) 13. September 2012 (2012-09-13) * das ganze Dokument *	1-12	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C22C B22F F01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 23. Januar 2014	Prüfer Morra, Valentina
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503.03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 13 18 1259

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

23-01-2014

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004126613 A1	01-07-2004	US 2004126613 A1	01-07-2004
		US 2005079377 A1	14-04-2005
US 4015947 A	05-04-1977	KEINE	
JP S6059050 A	05-04-1985	JP H066772 B2	26-01-1994
		JP S6059050 A	05-04-1985
WO 2007076805 A1	12-07-2007	DE 102005061790 A1	05-07-2007
		EP 1966405 A1	10-09-2008
		JP 2009520877 A	28-05-2009
		US 2009202381 A1	13-08-2009
		WO 2007076805 A1	12-07-2007
WO 2012120231 A1	13-09-2012	CA 2828711 A1	13-09-2012
		CN 103415365 A	27-11-2013
		EP 2683509 A1	15-01-2014
		FR 2972379 A1	14-09-2012
		US 2013344347 A1	26-12-2013
		WO 2012120231 A1	13-09-2012

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82