

(19)



(11)

**EP 2 876 177 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**27.05.2015 Patentblatt 2015/22**

(51) Int Cl.:  
**C22C 27/02** *(2006.01)* **C22C 38/06** *(2006.01)*  
**C22C 38/12** *(2006.01)* **C22C 38/18** *(2006.01)*  
**C22C 38/26** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **13194100.7**

(22) Anmeldetag: **22.11.2013**

(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)**  
• **Sauthoff, Gerhard**  
**40880 Ratingen (DE)**

(54) **Werkstoff aus Laves-Phase und ferritischer Fe-Al-Phase**

(57) Die Erfindung betrifft einen Werkstoff für Bauteile einer Gasturbine, insbesondere eines Flugzeugtriebwerks, mit Anteilen einer ferritischen Phase mit Fe und Al und Anteilen mindestens einer Laves - Phase, wobei der Anteil der mindestens einen Laves - Phase den größten Anteil des Werkstoffs ausmacht.

**EP 2 876 177 A1**

## Beschreibung

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

#### GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Werkstoff für Bauteile von Strömungsmaschinen, insbesondere von stationären Gasturbinen und Flugzeugtriebwerken, der zumindest eine Laves - Phase und eine ferritische Phase mit Fe und Al umfasst, sowie ein entsprechendes Bauteil.

#### 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]** Beispiele hierfür sind in der DE 10 2005 061 790 A1 bzw. der US 8,012,271 B2 beschrieben. Dort wird ein Werkstoff auf Basis einer Eisenbasislegierung vorgeschlagen, der intermetallische Laves - Phasen eingelagert hat. Bei dem Eisenbasislegierungswerkstoff handelt es sich um eine Eisen - Aluminium - Chrom - Legierung und die intermetallischen Laves - Phasen beruhen auf ternären Systemen mit den Bestandteilen Eisen, Aluminium, Niob und/oder Tantal. Derartige Werkstoffe weisen aufgrund der geordneten intermetallischen Phasen auch bei hohen Temperaturen hohe Festigkeiten auf, sodass sie die Anforderungen für die Anwendung bei entsprechenden Komponenten in Gasturbinen bei Betriebstemperaturen im Bereich von mehr als 730°C erfüllen können.

**[0005]** Trotz der bereits bekannten Werkstoffe besteht weiterhin Bedarf, verbesserte Werkstoffe für den Einsatz in Gasturbinen bei Temperaturen oberhalb von 700°C bereitzustellen.

#### OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

#### AUFGABE DER ERFINDUNG

**[0006]** Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Werkstoff für Bauteile einer Gasturbine, insbesondere eines Flugzeugtriebwerks bereitzustellen, der insbesondere bei Temperaturen über 700 °C eingesetzt werden kann und durch ein geringes spezifisches Gewicht sowohl zur Leistungssteigerung der Gasturbine, als auch zur Gewichtsreduktion insbesondere bei Flugzeugtriebwerken beiträgt. Gleichzeitig soll der Werkstoff den übrigen Anforderungen an einen Hochtemperaturwerkstoff für den Einsatz bei Strömungsmaschinen gerecht werden und Bauteile aus diesem Werkstoff sollen einfach hergestellt werden können.

#### TECHNISCHE LÖSUNG

**[0007]** Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Werkstoff mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch Bauteile mit den Merkmalen des Anspruchs 14. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0008]** Die Erfindung schlägt einen Werkstoff vor, der Anteile einer ferritischen Phase mit Eisen und Aluminium sowie mindestens einer Laves - Phase aufweist, wobei der Anteil der mindestens einen Laves - Phase den größten Anteil des Werkstoffs ausmacht. Mit anderen Worten, die Laves - Phase(n) bildet bzw. bilden das Gerüst bzw. die Matrix des Werkstoffs und die eingelagerte ferritische Phase dient zur Verbesserung der Duktilität des Werkstoffs, da die ferritische Fe - Al - Phase weniger hart als die Laves - Phasen sind. Somit wird also ein Werkstoff vorgeschlagen, bei dem der größte Anteil durch die harten und hochfesten sowie warmfesten Laves - Phasen gebildet wird und eine ferritische Eisen - Aluminium - Phase sowie möglicherweise weitere vorkommende Phasen geringere Anteile am Werkstoff aufweisen.

**[0009]** Entsprechend kann der Werkstoff 50 vol.% oder mehr Laves - Phase, insbesondere 60 vol.% oder mehr,

vorzugsweise 70 vol.% oder mehr Laves - Phase enthalten, wobei nur eine einzige Laves - Phase vorhanden sein kann oder mehrere verschiedene Laves - Phasen. Die Laves - Phasen sind intermetallische Verbindungen gemäß den drei Strukturtypen ( $\text{MgCu}_2$ ,  $\text{MgZn}_2$  und  $\text{MgNi}_2$ ), wobei die angegebenen Verbindungen lediglich zur Beschreibung der Kristallstruktur dienen, jedoch nicht in dieser Zusammensetzung im erfindungsgemäßen Werkstoff vorkommen.

**[0010]** Die Laves - Phasen im erfindungsgemäßen Werkstoff können insbesondere ternäre oder multinäre Laves - Phasen sein, die somit mindestens drei unterschiedliche Komponenten aufweisen. Multinäre Laves - Phasen bezeichnen hierbei Laves - Phasen mit vier oder mehr Komponenten. Üblicherweise kann es sich bei den Laves - Phasen um eine hexagonale, intermetallische Phase der Zusammensetzung  $\text{MeMe}'_2$  handeln, wobei Me für Metall steht. Bei einer ternären Laves - Phase ist die Zusammensetzung durch  $\text{Me}(\text{Me}', \text{Me}'')$  gegeben, während bei quaternären oder multinären Laves - Phasen die Zusammensetzung durch teilweisen Ersatz einer der Bestandteile Me, Me' oder Me'' gegeben ist.

**[0011]** Bei der vorliegenden Erfindung kann die ternäre Laves - Phase insbesondere auf Basis des ternären Systems FeTaAl gebildet sein, wobei die Laves - Phase insbesondere 15 Gew.% bis 65 Gew.% Eisen, 1 Gew.% bis 15 Gew.% Aluminium und 0,5 Gew.% bis 65 Gew.% Tantal aufweisen kann. Der Tantal - Anteil bei der ternären Laves - Phase kann auch zumindest teilweise durch Niob ersetzt sein, so dass die Laves - Phase auch durch ein quaternäres System FeTaNbAl gebildet sein kann.

**[0012]** Bei einer vollständigen oder nahezu vollständigen Ersetzung kann die ternäre Laves - Phase auf Basis FeNbAl gebildet sein, wobei eine derartige ternäre Laves - Phase insbesondere 15 Gew.% bis 65 Gew.% Eisen, 1 Gew.% bis 15 Gew.% Aluminium und 0,5 Gew.% bis 55 Gew.% Niob aufweisen kann.

**[0013]** Bei den Laves - Phasen auf Basis ternären Laves - Phasen können geringe Bestandteile weiterer in der Legierung vorhandener Elemente enthalten sein, wie dies durch die quaternären oder multinären Systeme bei ausreichend großen Anteilen derartiger Elemente beschrieben ist.

**[0014]** Die Laves - Phasen können auch Chrom - Anteile aufweisen, so dass die beschriebenen ternären Laves - Phasen quaternär mit einem entsprechenden Chrom - Anteil (FeCrTaAl oder Fe-CrNbAl) ausgebildet sein können oder die Laves - Phase kann auf Basis eines Systems Fe-CrAlTaNb gebildet sein. Chrom kann bei diesen Laves - Phasen zumindest teilweise den Fe - Anteil ersetzen.

**[0015]** Bei der ferritischen Phase mit Eisen und Aluminium kann es sich um einen kubischraumzentrierten Mischkristall mit Aluminium und weiteren Legierungsbestandteilen handeln. Insbesondere kann die ferritische Fe - Al - Phase zusätzlich Chrom aufweisen.

**[0016]** Entsprechend kann der Werkstoff gemäß der Erfindung bis zu 45 at.% Aluminium und bis zu 25 at.% Tantal und/oder Niob und/oder bis zu 25 at.% Chrom umfassen.

**[0017]** Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung weist der Werkstoff 20 bis 25 at.% Chrom, insbesondere um 23 at.% Chrom, 5 bis 35 at.% Aluminium, insbesondere 7 bis 30 at.% Aluminium und 10 bis 25 at.% Tantal und/oder Niob sowie Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen auf.

**[0018]** Bei Gehalten von mehr als 35 at.% Aluminium, insbesondere mehr als 40 at.% Aluminium im erfindungsgemäßen Werkstoff kann der Chromgehalt kleiner oder gleich 10 at.%, insbesondere kleiner oder gleich 1 at.% gewählt werden oder es kann auf Chrom vollständig verzichtet werden, um eine definierte Matrix aus Laves - Phase mit eingelagerter ferritischer Phase mit Eisen und Aluminium zu gewährleisten und zusätzliche Ausscheidungen von Chromverbindungen oder andere intermetallische Phasen zu vermeiden.

**[0019]** Der entsprechende Werkstoff kann sowohl schmelzmetallurgisch als auch pulvermetallurgisch hergestellt werden.

## AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

**[0020]** Weitere Vorteile, Kennzeichen und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden bei der nachfolgenden Beschreibung detaillierter Ausführungsbeispiele deutlich. Allerdings ist die Erfindung nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt.

**[0021]** Für einen Einsatz bieten sich beispielsweise folgende Legierungszusammensetzungen an:

Legierung	Fe [At.%]	Cr [At.%]	Al [At.%]	Ta [At.%]	Nb [At.%]
1	40	23	27	10	0
2	40	23	27	7	3
3	40	23	27	3	7
4	40	23	27	0	10

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5	60	23	7	10	0
6	60	23	7	7	3
7	60	23	7	3	7
8	60	23	7	0	10
9	25	23	27	25	0
10	25	23	27	16	9
11	25	23	27	9	16
12	25	23	27	0	25
13	45	23	7	25	0
14	45	23	7	16	9
15	45	23	7	9	16
16	45	23	7	0	25

**[0022]** Wie die Tabelle der Ausführungsbeispiele zeigt, können insbesondere die Anteile an Aluminium, Tantal und Niob sowie entsprechend von Eisen variiert werden, während beispielsweise ein fester Chromgehalt in der Größenordnung von 23 at. % vorgesehen werden kann. Während der Anteil von Tantal und Niob in Summe auf Werte von 10 bzw. 25 At. % eingestellt wird, variiert der Aluminiumgehalt und entsprechend der Eisengehalt zwischen einem niedrigen Aluminiumgehalt in der Größenordnung von 7 at. % und einem hohen Aluminiumgehalt in der Größenordnung von 27 at. %, sodass entsprechend unterschiedliche Eisengehalte vorliegen. Dadurch lässt sich insbesondere die ferritische Fe - Al - Cr - Phase und deren Eigenschaften insbesondere hinsichtlich der Duktilität variieren.

#### Patentansprüche

1. Werkstoff für Bauteile einer Gasturbine, insbesondere eines Flugzeugtriebwerks, mit Anteilen einer ferritischen Phase mit Fe und Al und Anteilen mindestens einer Laves - Phase,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Anteil der mindestens einen Laves - Phase den größten Anteil des Werkstoffs ausmacht.
2. Werkstoff nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Anteil der mindestens einen Laves - Phase größer oder gleich 50 vol. %, insbesondere größer oder gleich 60 vol. %, vorzugsweise größer oder gleich 70 vol. % ist.
3. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Laves - Phase eine ternäre oder multinäre Laves - Phase ist.
4. Werkstoff nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die ternäre oder multinäre Lavesphase auf Basis von FeTaAl gebildet ist.
5. Werkstoff nach Anspruch 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Lavesphase auf Basis von FeTaAl zusätzlich Nb umfasst, welches teilweise Ta ersetzt.
6. Werkstoff nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die ternäre oder multinäre Lavesphase auf Basis von FeNbAl gebildet ist.
7. Werkstoff nach Anspruch 6,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Lavesphase auf Basis von FeNbAl zusätzlich Ta umfasst, welches teilweise Nb ersetzt.

8. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Laves - Phase Cr enthält, das insbesondere teilweise Fe ersetzt.

9. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Laves - Phase auf Basis von FeCrAlTaNb gebildet ist.

10. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die ferritische Phase zusätzlich Cr umfasst.

11. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

im Werkstoffgefüge die mindestens eine Laves - Phase eine Matrix oder ein Skelett bildet, in welche(s) die ferritische Phase eingelagert ist.

12. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

der Werkstoff bis zu 45 at. % Al und bis zu 25 at. % Ta und/oder Nb und/oder bis zu 25 at. % Cr umfasst.

13. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

der Werkstoff 20 bis 25 at.% Cr, insbesondere um 23 at.% Cr, 5 bis 35 at.% Al, insbesondere 7 bis 30 at.% Al und 10 bis 25 at.% Tantal und/oder Niob sowie Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen aufweist.

14. Werkstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

der Werkstoff bei Gehalten von mehr als 35 at.% Al, insbesondere mehr als 40 at.% Al der Gehalt an Cr kleiner oder gleich 10 at.%, insbesondere kleiner oder gleich 1 at.% oder gleich 0 ist.

15. Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

der Werkstoff schmelzmetallurgisch oder pulvermetallurgisch hergestellt ist.

16. Bauteil einer Gasturbine, insbesondere eines Flugzeugtriebwerks mit einem Werkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche.



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 13 19 4100

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A, D	DE 10 2005 061790 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]) 5. Juli 2007 (2007-07-05) * Absätze [0001], [0005] - [0007], [0009] - [0013] *	1-16	INV. C22C27/02 C22C38/06 C22C38/12 C22C38/18 C22C38/26
A	RISANTI D D ET AL: "Strengthening of iron aluminige alloys by atomic ordering and Laves phase precipitation for high temperature applications", INTERMETALLICS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V, GB, Bd. 13, 7. April 2005 (2005-04-07), Seiten 1313-1321, XP002428083, ISSN: 0966-9795, DOI: 10.1016/J.INTERMET.2004.12.029 * das ganze Dokument *	1-16	
A	SCHNEIDER ANDRE ET AL: "Iron Aluminium Alloys with Strengthening Carbides and Intermetallic Phases for High-Temperature Applications", STEEL RESEARCH INTERNATIONAL, VERLAG STAHLISEN GMBH., DUSSELDORF, DE, Bd. 75, Nr. 1, Januar 2004 (2004-01), Seiten 55-61, XP009093993, ISSN: 1611-3683 * das ganze Dokument *	1-16	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C22C B23P F01D B22F
A	US 2004/011435 A1 (WU JAMES B C [US] ET AL) 22. Januar 2004 (2004-01-22) * Absätze [0002], [0005], [0020] *	1-16	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 28. März 2014	Prüfer Stocker, Christian
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 : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, 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	

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

EP 13 19 4100

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.

28-03-2014

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005061790 A1	05-07-2007	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
-----			
US 2004011435 A1	22-01-2004	KEINE	
-----			

EPO FORM P0461

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

**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 102005061790 A1 **[0004]**
- US 8012271 B2 **[0004]**