



(11) **EP 3 091 095 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
09.11.2016 Patentblatt 2016/45

(51) Int Cl.:
C22C 19/05 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15166317.6**

(22) Anmeldetag: **05.05.2015**

(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

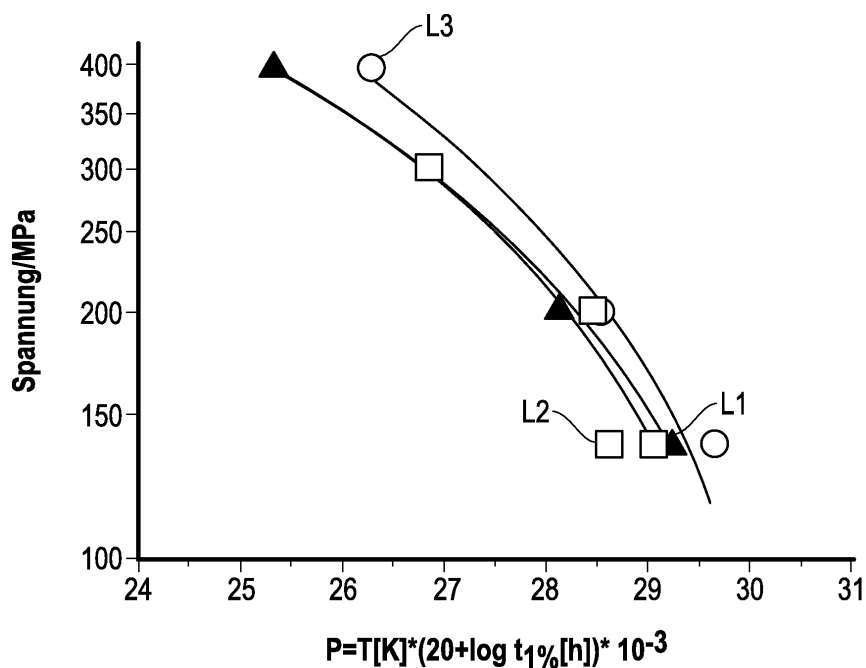
(72) Erfinder:
• **Göhler, Thomas**
85221 Dachau (DE)
• **Rettig, Ralf**
91058 Erlangen (DE)
• **Singer, Robert F.**
91054 Erlangen (DE)
• **Neumeier, Steffen**
91052 Erlangen (DE)
• **Ritter, Nils**
91058 Erlangen (DE)

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

(54) **RHENIUMFREIE NICKELBASIS-SUPERLEGIERUNG MIT NIEDRIGER DICHT**

(57) Die Erfindung betrifft eine rheniumfreie Nickelbasislegierung mit hoher Kriechfestigkeit und relativ niedriger Dichte, die folgende chemische Zusammensetzung aufweist: Aluminium von 4,1 bis 7,7 Gew.-%, Kobalt von 0 bis 16,8 Gew.-%, Chrom von 6 bis 11,8 Gew.-%, Molybdän von 3,6 bis 11,3 Gew.-%, Tantal von 0 bis 3,9 Gew.-%, Titan von 0 bis 3,6 Gew.-%, Wolfram von 0 bis 11,3 Gew.-%, Kohlenstoff von 0 bis 0,05 Gew.-%, Phos-

phor von 0 bis 0,015 Gew.-%, Kupfer von 0 bis 0,05 Gew.-%, Zirkonium von 0 bis 0,015 Gew.-%, Silizium von 0 bis 0,01 Gew.-%, Schwefel von 0 bis 0,001 Gew.-%, Eisen von 0 bis 0,15 Gew.-%, Mangan von 0 bis 0,05 Gew.-%, Bor von 0 bis 0,003 Gew.-%, Hafnium von 0 bis 0,15 Gew.-%, Yttrium von 0 bis 0,002 Gew.-%, sowie Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen.



FIGURE

EP 3 091 095 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Nickelbasislegierung, die im Wesentlichen frei von Rhenium ist, aber gleichzeitig die Eigenschaften hinsichtlich der Kriechbeständigkeit der Nickelbasis-Superlegierungen der zweiten Generation erreicht und eine gegenüber vergleichbaren Legierungen verringerte Dichte aufweist.

[0002] In Gasturbinen, wie stationären Gasturbinen oder Flugtriebwerken, werden Nickelbasis-Superlegierungen beispielsweise als Schaufelwerkstoffe eingesetzt, da diese Werkstoffe auch bei den hohen Betriebstemperaturen noch eine ausreichende Festigkeit für die hohen mechanischen Belastungen aufweisen. Beispielsweise werden Turbinenschaufeln bei stationären Gasturbinen oder Strahltriebwerken in Verkehrsflugzeugen einem Abgasstrom mit Temperaturen von bis zu 1500 °C ausgesetzt und unterliegen gleichzeitig sehr hohen mechanischen Belastungen durch Fliehkräfte. Unter diesen Bedingungen kommt es insbesondere darauf an, dass die Kriechbeständigkeit des eingesetzten Werkstoffs den Anforderungen genügt. Um die Kriechbeständigkeit weiter zu steigern, werden seit einigen Jahrzehnten Turbinenschaufeln auch einkristallin hergestellt, um durch die Vermeidung von Korngrenzen die Kriechbeständigkeit weiter zu verbessern.

[0003] Bei den derzeit eingesetzten Nickelbasis-Superlegierungen der sogenannten zweiten und dritten Generation weisen die Legierungen üblicherweise das chemische Element Rhenium auf, und zwar mit einem Anteil von drei bzw. sechs Gewichtsprozent, da Rhenium die Kriechbeständigkeit weiter verbessert.

[0004] Allerdings ist durch die geringe Verfügbarkeit von Rhenium die Beimengung von Rhenium sehr teuer. Entsprechend gibt es im Stand der Technik bereits Bestrebungen den Anteil von Rhenium zu reduzieren bzw. ganz auf das Zulegieren von Rhenium zu verzichten, wobei gleichzeitig die mechanischen Eigenschaften, insbesondere hinsichtlich der Kriechbeständigkeit, erhalten bleiben sollen. Untersuchungen hierzu gibt es von A. Heckl, S. Neumeier, M. Goken, R.F. Singer, "The effect of Re and Ru on γ/γ' microstructure, γ -solid solution strengthening and creep strength in nickel-base superalloys", in Material Science and Engineering A 528 (2011) 3435-3444 und Paul J. Fink, Joshua L. Miller, Douglas G. Konitzer, "Rhenium Reduction - Alloy Design Using an Economically Strategic Element", JOM, 62(2010), 55-57. Darüber hinaus sind auch entsprechende Legierungen Gegenstand von Patentanmeldungen und Patenten, wie beispielsweise EP 2 725 110 A1, DE 102010037046, US 2011/0076180 A1, EP 2 314 727 A1, EP 2 305 847 A1, EP 2 305 848 A1, US 2013/0129522 A1, WO 2013/083101 A1, EP 2 576 853 B1, WO 2009/032578 A1, WO 2009/032579 A1, EP 0 962 542 A1, US 6,054,096, US 2013/0230405 A1 und US 2010/0135846 A1.

[0005] Beispielsweise offenbart die EP 2 725 110 A1 eine Nickelbasislegierung, die im Wesentlichen frei von Rhenium ist und eine Solidustemperatur von höher als 1320°C aufweist, wobei bei Temperaturen von 1050 °C bis 1100 °C Ausscheidungen einer γ' -Phase in einer γ -Matrix mit einem Anteil von 40 bis 50 Vol.-% vorliegen, die γ/γ' -Fehlpassung bei Temperaturen von 1050 °C bis 1100 °C im Bereich von -0,15 % bis -0,25 % liegt und der Wolframgehalt in der γ -Matrix größer ist als in den ausgeschiedenen γ' -Phasen. Die Legierung weist folgende chemische Zusammensetzung auf: Aluminium von 11 bis 13 at.-%, Kobalt von 4 bis 14 at.-%, Chrom von 6 bis 12 at.-%, Molybdän von 0,1 bis 2 at.-%, Tantal von 0,1 bis 3,5 at.-%, Titan von 0,1 bis 3,5 at.-%, Wolfram von 0,1 bis 3 at.-%, sowie Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0006] Obwohl damit bereits einige Lösungsvorschläge für eine Rheniumreduzierung bzw. für rheniumfreie Nickelbasis-Superlegierungen bestehen, besteht weiterhin Bedarf, rheniumreduzierte bzw. rheniumfreie Nickelbasis-Superlegierungen zu entwickeln, deren mechanische Eigenschaften, insbesondere Hochtemperatureigenschaften, wie Kriechbeständigkeit, im Bereich der derzeit eingesetzten rheniumhaltigen und rheniumfreien Nickelbasis-Superlegierungen liegen und gegenüber diesen Legierungen weiter verbesserte Eigenschaften, wie beispielsweise eine geringere Dichte, aufweisen.

[0007] Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Nickelbasis-Superlegierung anzugeben, welche vergleichbare mechanische Eigenschaften, insbesondere Hochtemperatureigenschaften, wie Kriechbeständigkeit, wie derzeit eingesetzte Nickelbasis-Superlegierungen der zweiten und dritten Generation aufweist, aber im Wesentlichen kein Rhenium enthält. Darüber hinaus soll die Legierung eine möglichst geringe Dichte und eine gute Lösungsglühbarkeit aufweisen, wirtschaftlich und effizient herstellbar und einkristallin oder gerichtet erstarrbar sein und gegenüber der in EP 2 725 110 A1 offenbarten rheniumfreien Nickelbasislegierung bei vergleichbarer Kriechbeständigkeit verbesserte Eigenschaften aufweisen, insbesondere eine geringere Dichte, einen geringeren Anteil an Resteutektikum und eine verbesserte Lösungsglühbarkeit.

TECHNISCHE LÖSUNG

[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Legierung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einen entsprechenden Gegenstand, insbesondere eine Komponente einer stationären Gasturbine oder Fluggasturbine mit den Merkmalen des Anspruchs 12. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0009] Die vorliegende Erfindung betrifft eine mindestens die Elemente Al, Cr, Mo und Ta enthaltenden Nickelbasis-Superlegierung, die mit den folgenden Zielen optimiert wurde:

EP 3 091 095 A1

- höchstmöglicher gewichteter Mischkristallhärtingsindex I_{SSS} in der Matrix
- optimale γ -Morphologie:

o γ/γ' -Fehlpassung bei 1100 °C von -0,1 bis -0,5 %
o γ' -Anteil bei 1100 °C von 44 bis 48 mol-%

- Solidustemperatur > 1320 °C.

[0010] Dabei ist $I_{SSS} = 2,44 x_{Re}^{\gamma} + 1,22 x_{W}^{\gamma} + x_{Mo}^{\gamma}$ (x_i^{γ} = Konzentration in at.-% des jeweiligen Elements in der Matrix) und die γ/γ' -Fehlpassung ist definiert als die normierte Differenz der Gitterkonstanten der beiden Phasen γ und γ' :

$$\frac{a_{\gamma'} - a_{\gamma}}{1/2 * (a_{\gamma'} + a_{\gamma})}$$

[0011] Gemäß der obigen Optimierung kann eine Nickelbasislegierung die folgende chemische Zusammensetzung aufweisen: Aluminium von 4,1 bis 7,7 Gew.-%, Kobalt von 0 bis 16,8 Gew.-%, Chrom von 6 bis 11,8 Gew.-%, Molybdän von 3,6 bis 11,3 Gew.-%, Tantal von 0 bis 3,9 Gew.-%, Titan von 0 bis 3,6 Gew.-%, Wolfram von 0 bis 11,3 Gew.-%, Kohlenstoff von 0 bis 0,05 Gew.-%, Phosphor von 0 bis 0,015 Gew.-%, Kupfer von 0 bis 0,05 Gew.-%, Zirkonium von 0 bis 0,015 Gew.-%, Silizium von 0 bis 0,01 Gew.-%, Schwefel von 0 bis 0,001 Gew.-%, Eisen von 0 bis 0,15 Gew.-%, Mangan von 0 bis 0,05 Gew.-%, Bor von 0 bis 0,003 Gew.-%, Hafnium von 0 bis 0,15 Gew.-%, Yttrium von 0 bis 0,002 Gew.-%, sowie Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen. Wie ersichtlich ist die Legierung im Wesentlichen frei von Rhenium, d.h. enthält Rhenium wenn überhaupt nur im Spurenmengenbereich (z.B. nicht mehr als 0,001 Gew.-%). Die Legierung kann ferner auch im Wesentlichen frei von Tantal sein.

[0012] In einer bevorzugten Ausgestaltung kann eine Nickelbasislegierung gemäß der vorliegenden Erfindung folgende chemische Zusammensetzung aufweisen: Aluminium von 4,7 bis 5,7 Gew.-%, Kobalt von 2,6 bis 13,6 Gew.-%, Chrom von 6,3 bis 7,3 Gew.-%, Molybdän von 3,7 bis 4,7 Gew.-%, Tantal von 0 bis 0,5 Gew.-%, Titan von 2,8 bis 3,6 Gew.-%, Wolfram von 7,4 bis 8,4 Gew.-%, Kohlenstoff von 0 bis 0,05 Gew.-%, Phosphor von 0 bis 0,015 Gew.-%, Kupfer von 0 bis 0,05 Gew.-%, Zirkonium von 0 bis 0,015 Gew.-%, Silizium von 0 bis 0,01 Gew.-%, Schwefel von 0 bis 0,001 Gew.-%, Eisen von 0 bis 0,15 Gew.-%, Mangan von 0 bis 0,05 Gew.-%, Bor von 0 bis 0,003 Gew.-%, Hafnium von 0 bis 0,15 Gew.-%, Yttrium von 0 bis 0,002 Gew.-%, sowie Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0013] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung kann eine Nickelbasislegierung gemäß der vorliegenden Erfindung folgende chemische Zusammensetzung aufweisen: Aluminium von 5,0 bis 5,4 Gew.-%, Kobalt von 2,9 bis 13,3 Gew.-%, Chrom von 6,6 bis 7 Gew.-%, Molybdän von 4 bis 4,4 Gew.-%, Tantal von 0 bis 0,2 Gew.-%, Titan von 3,1 bis 3,5 Gew.-%, Wolfram von 7,7 bis 8,1 Gew.-%, Kohlenstoff von 0 bis 0,05 Gew.-%, Phosphor von 0 bis 0,015 Gew.-%, Kupfer von 0 bis 0,05 Gew.-%, Zirkonium von 0 bis 0,015 Gew.-%, Silizium von 0 bis 0,01 Gew.-%, Schwefel von 0 bis 0,001 Gew.-%, Eisen von 0 bis 0,15 Gew.-%, Mangan von 0 bis 0,05 Gew.-%, Bor von 0 bis 0,003 Gew.-%, Hafnium von 0 bis 0,15 Gew.-%, Yttrium von 0 bis 0,002 Gew.-%, sowie Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen.

[0014] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung kann eine Nickelbasislegierung gemäß der vorliegenden Erfindung einen Kobaltgehalt kleiner als 5 Gew.-%, vorzugsweise kleiner als 4 Gew.-%, aufweisen. Da Kobalt eine niedrigere molare Masse als Nickel aufweist, wirkt sich ein relativ niedriger Kobaltgehalt vorteilhaft auf die Gesamtdichte der Nickelbasislegierung aus, und somit auch auf das Gesamtgewicht des aus dieser Legierung hergestellten Zielbauteils.

[0015] Alternativ kann die erfindungsgemäße Nickelbasislegierung jedoch auch einen Kobaltgehalt größer als 11 Gew.-%, vorzugsweise größer als 13 Gew.-%, aufweisen. Ein entsprechend hoher Kobaltgehalt wirkt sich positiv für die Seigerungen bei der Erstarrung und die Mikrostrukturstabilität gegenüber der unerwünschten Bildung von TCP-Phasen aus. Bevorzugt ist es außerdem, dass die Nickelbasislegierung gemäß der vorliegenden Erfindung mindestens 67 at.-%, insbesondere mindestens 68 at.-% Nickel enthält.

[0016] Bevorzugt ist es weiterhin, dass die Nickelbasislegierung gemäß der vorliegenden Erfindung eine oder mehrere (und vorzugsweise alle) der folgenden Eigenschaften aufweist:

- Dichte von nicht höher als 8,5 g/cm³, vorzugsweise nicht höher als 8,4 g/cm³;
- Solidustemperatur von höher als 1320°C;
- 44 bis 48 Vol.-% Ausscheidungen einer γ' -Phase in einer γ -Matrix bei einer Temperatur von 1100°C;
- γ/γ' -Fehlpassung im Bereich von -0,1 % bis -0,5 % bei einer Temperatur von 1100°C;
- Resteutektikum von nicht mehr als 4 %, vorzugsweise nicht mehr als 3 %.

[0017] Als "unvermeidbare Verunreinigungen" in der Legierung sind Elemente zu verstehen, deren Zugabe nicht beabsichtigt ist, die sich jedoch aus technischen Gründen nicht oder nur mit extrem großen Aufwand verhindern lässt.

EP 3 091 095 A1

Beispielsweise können in der erfindungsgemäßen Legierung noch die folgenden Elemente in Form von Spurenelementen vorhanden sein, deren Gehalt jedoch auf folgende Bereiche beschränkt ist: Bismut von 0 bis 0,00003 Gew.-%, Selen von 0 bis 0,0001 Gew.-%, Thallium von 0 bis 0,00005 Gew.-%, Blei von 0 bis 0,0005 Gew.-%, und Tellur von 0 bis 0,0001 Gew.-%.

[0018] Mit der erfindungsgemäßen Legierung können insbesondere Gegenstände wie Komponenten von Gasturbinen, vorzugsweise Turbinenschaufeln, und dergleichen hergestellt werden, die einkristallin oder gerichtet erstarrt ausgebildet sein können.

[0019] Die beigefügte Figur zeigt einen Larson - Miller - Plot zur Veranschaulichung der Kriechbeständigkeit der erfindungsgemässen Legierung im Vergleich zu bekannten Legierungen.

[0020] Es wurde eine erfindungsgemäße Legierung hergestellt, deren Zusammensetzung der nachfolgenden Tabelle entnommen werden kann (Legierung 1). Als Vergleichslegierungen wurden die Legierungen 2 und 3 gewählt, wobei die Legierung 3 in der chemischen Zusammensetzung im Wesentlichen derjenigen des rheniumhaltigen Werkstoffs CMSX-4 entspricht und die Legierung 2 die in EP 2 725 110 A1 offenbarte rheniumfreie Nickelbasis-Superlegierung ist. Die Bestandteile der Legierungen sind in der Tabelle in Gewichtsprozent angegeben (Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen).

Legierung No.	Al	Co	Cr	Mo	Re	Ta	Ti	W
1	5,2	3,1	6,8	4,2	-	-	3,3	7,9
2	4,8	8,6	5,0	1,4	-	10,1	1,3	8,8
3	5,6	9,0	6,5	0,6	3,0	6,5	1,0	6,0

[0021] Die erfindungsgemäße Legierung 1 wurde an einer Labor-Bridgman Giessanlage in einer Dreistab-Geometrie stängelkristallin hergestellt. Die Stäbe hatten einen Durchmesser von jeweils 12 mm und eine Länge von jeweils 180 mm und zeigten eine typische dendritische Mikrostruktur mit einem Dendritenabstand von etwa 230 μm . Der Anteil an Resteutektikum ist mit 2,8 % sehr gering (die Legierungen 2 und 3 weisen ein Resteutektikum von 6,5 % bzw. 9,0 % auf). Bei geeigneter Wärmebehandlung (siehe unten) hat die Legierung 1 eine typische vollständig kubische γ' -Phasenmorphologie.

[0022] Außerdem wurden an aus den fertig wärmebehandelten Legierungen 1 bis 3 hergestellten Zylindern (Durchmesser 4,0 mm, Höhe 6,4 mm) Druckkriechversuche durchgeführt. Die Stirnflächen waren abgedreht um deren Planparallelität sicherzustellen. Alle Kriechversuche wurden bei konstanten Spannungen und folgenden Parametern durchgeführt: 1100 °C/137 MPa, 1050 °C/200 MPa, 950 °C/300 MPa, 950 °C/400 MPa. Die entsprechenden Kriechkurven sind in der Figur dargestellt (1 % plastische Dehnung, DB-Material, $\lambda = 220 \mu\text{m}$).

[0023] Wie sich aus der Figur ergibt, weist die erfindungsgemäße Legierung 1 (L1) eine Kriechbeständigkeit auf, die im Wesentlichen gleich derjenigen der rheniumfreien Legierung 2 (L2) ist, wobei die Kriechbeständigkeiten dieser Legierungen ähnlich der Kriechbeständigkeit von Legierung 3 (L3) sind, die einer Nickelbasis-Superlegierung der zweiten Generation entspricht. Im Vergleich zu den Legierungen 2 und 3 weist die Legierung 1 aber insbesondere eine geringere Dichte auf. Die Analyse der Mikrostruktur der erfindungsgemäßen Legierung 1 nach dem Kriechen offenbarte keinerlei TCP-Phasenbildung.

[0024] Damit wird deutlich, dass durch die erfindungsgemäße Lehre Nickelbasis-Superlegierungen bereitgestellt werden können, die auf das schwer verfügbare Element Rhenium verzichten können, aber gleichwohl mechanische Hochtemperatureigenschaften, wie beispielsweise eine entsprechende Kriechbeständigkeit, wie bekannte rheniumhaltige Legierungen bereitstellen können und zudem eine geringere Dichte aufweisen als bekannte rheniumhaltige und rheniumfreie Legierungen.

[0025] In der folgenden Tabelle sind einige Eigenschaften der Legierungen 1-3 einander gegenübergestellt.

Eigenschaft	Legierung 1 berechnet	Legierung 1 gemessen	Legierung 2 gemessen	Legierung 3 berechnet
Dichte, g/cm ³	8,3	8,4	9,0	8,7
Liquidustemp., °C	1373	1371	1371	1381
Solidustemp., °C	1348	1302*	1316*	1338
γ' - Solvustemp. °C	1232	1255	1242	1257
γ/γ' -Fehlpassung, 1100 °C, %	-0,5	-0,45**	-0,02**	-0,17

EP 3 091 095 A1

(fortgesetzt)

Eigenschaft	Legierung 1 berechnet	Legierung 1 gemessen	Legierung 2 gemessen	Legierung 3 berechnet
γ' - Anteil, 1100 °C, mol-%	44,0	-	-	44,9
*Gusszustand **Raumtemperatur				

5

10 **[0026]** Herauszuheben ist insbesondere die relative geringe Dichte der erfindungsgemäßen Legierung 1. Die γ/γ' -Fehlpassung konnte nur bei Raumtemperatur gemessen werden; üblicherweise liegen die Werte bei höheren Temperaturen höher.

[0027] Das Lösungsglühen der Legierung 1 kann beispielsweise zweistufig wie folgt durchgeführt werden:

- 15
- Erwärmung der Legierung um 4 K/min bis auf 1285 °C,
 - 2 h Halten bei 1285°C,
 - Erwärmung der Legierung um 1 K/min bis auf 1300 °C,
 - 6,5 h Halten bei 1300 °C,
 - anschließend Schnellabkühlung.

20

[0028] Zudem kann die Legierung 1 nach dem Lösungsglühen eine oder beide der nachfolgenden Ausscheidungswärmebehandlungen erfahren:

Ausscheidungswärmebehandlung 1:

25

Temperatur	Heizrate	Haltezeit
1000 °C	4 K/min	
1050 °C	1K/min	
1050 °C		1h
20 °C	Schnellabkühlung	

30

Ausscheidungswärmebehandlung 2:

35

Temperatur	Heizrate	Haltezeit
840 °C	4 K/min	
870 °C	1K/min	
870 °C		24 h
20 °C	Schnellabkühlung	

40

Längere Glühzeiten als 2 Stunden bei 1050 °C oder höhere Temperaturen führen zu einer Überalterung der Mikrostruktur.

45 **[0029]** Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die oben beschriebene erfindungsgemäße Legierung insbesondere folgende Eigenschaften aufweist:

- 50
- Kriechbeständigkeit nahe derjenigen von CSMX-4
 - niedrige Dichte von 8,4 g/cm³ (Vergleich: CSMX-4: 8,7 g/cm³)
 - geringes Resteutektikum von 2,8 % (Vergleich: CSMX-4: 9,0 %)
 - gute Lösungsglühbarkeit (8,5 Stunden Halten bei 1285 °C/ 1300 °C).
 - geringe TCP-Phasenneigung.

55 **[0030]** Obwohl die vorliegende Erfindung anhand des Ausführungsbeispiels detailliert beschrieben worden ist, ist für den Fachmann selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt ist, sondern dass vielmehr Abwandlungen in der Weise möglich sind, dass einzelne Merkmale weggelassen oder Merkmale andersartig kombiniert werden können, solange der Schutzbereich der beigefügten Ansprüche nicht verlassen wird. Die vor-

liegende Offenbarung offenbart sämtliche Kombinationen aller vorgestellter Einzelmerkmale.

Patentansprüche

5

1. Nickelbasislegierung mit hoher Kriechfestigkeit, die im Wesentlichen frei von Rhenium ist und folgende chemische Zusammensetzung aufweist:

10

Aluminium von 4,1 bis 7,7 Gew.-%,

Kobalt von 0 bis 16,8 Gew.-%,

Chrom von 6 bis 11,8 Gew.-%,

Molybdän von 3,6 bis 11,3 Gew.-%,

Tantal von 0 bis 3,9 Gew.-%,

Titan von 0 bis 3,6 Gew.-%,

15

Wolfram von 0 bis 11,3 Gew.-%,

Kohlenstoff von 0 bis 0,05 Gew.-%,

Phosphor von 0 bis 0,015 Gew.-%,

Kupfer von 0 bis 0,05 Gew.-%,

Zirkonium von 0 bis 0,015 Gew.-%,

20

Silizium von 0 bis 0,01 Gew.-%,

Schwefel von 0 bis 0,001 Gew.-%,

Eisen von 0 bis 0,15 Gew.-%,

Mangan von 0 bis 0,05 Gew.-%,

Bor von 0 bis 0,003 Gew.-%,

25

Hafnium von 0 bis 0,15 Gew.-%,

Yttrium von 0 bis 0,002 Gew.-%

sowie Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen.

30

2. Nickelbasislegierung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Legierung folgende chemische Zusammensetzung aufweist:

35

Aluminium von 4,7 bis 5,7 Gew.-%,

Kobalt von 2,6 bis 13,6 Gew.-%,

Chrom von 6,3 bis 7,3 Gew.-%,

Molybdän von 3,7 bis 4,7 Gew.-%,

Tantal von 0 bis 0,5 Gew.-%,

Titan von 2,8 bis 3,6 Gew.-%,

40

Wolfram von 7,4 bis 8,4 Gew.-%,

Kohlenstoff von 0 bis 0,05 Gew.-%,

Phosphor von 0 bis 0,015 Gew.-%,

Kupfer von 0 bis 0,05 Gew.-%,

Zirkonium von 0 bis 0,015 Gew.-%,

45

Silizium von 0 bis 0,01 Gew.-%,

Schwefel von 0 bis 0,001 Gew.-%,

Eisen von 0 bis 0,15 Gew.-%,

Mangan von 0 bis 0,05 Gew.-%,

Bor von 0 bis 0,003 Gew.-%,

50

Hafnium von 0 bis 0,15 Gew.-%,

Yttrium von 0 bis 0,002 Gew.-%

sowie Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen.

55

3. Nickelbasislegierung nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Legierung folgende chemische Zusammensetzung aufweist:

Aluminium von 5,0 bis 5,4 Gew.-%,

Kobalt von 2,9 bis 13,3 Gew.-%,

5 Chrom von 6,6 bis 7 Gew.-%,
Molybdän von 4 bis 4,4 Gew.-%,
Tantal von 0 bis 0,2 Gew.-%,
Titan von 3,1 bis 3,5 Gew.-%,
10 Wolfram von 7,7 bis 8,1 Gew.-%,
Kohlenstoff von 0 bis 0,05 Gew.-%,
Phosphor von 0 bis 0,015 Gew.-%,
Kupfer von 0 bis 0,05 Gew.-%,
Zirkonium von 0 bis 0,015 Gew.-%,
15 Silizium von 0 bis 0,01 Gew.-%,
Schwefel von 0 bis 0,001 Gew.-%,
Eisen von 0 bis 0,15 Gew.-%,
Mangan von 0 bis 0,05 Gew.-%,
Bor von 0 bis 0,003 Gew.-%,
Hafnium von 0 bis 0,15 Gew.-%,
Yttrium von 0 bis 0,002 Gew.-%
sowie Rest Nickel und unvermeidbare Verunreinigungen.

20 **4. Nickelbasislegierung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass**
die Legierung einen Kobaltgehalt kleiner als 5 Gew.-%, vorzugsweise kleiner als 4 Gew.-%, aufweist.

25 **5. Nickelbasislegierung nach irgendeinem der Ansprüche 1-3,
dadurch gekennzeichnet, dass**
die Legierung einen Kobaltgehalt größer als 11 Gew.-%, vorzugsweise größer als 13 Gew.-%, aufweist.

30 **6. Nickelbasislegierung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass**
sie eine Dichte von nicht höher als 8,5 g/cm³, vorzugsweise nicht höher als 8,4 g/cm³, aufweist.

**7. Nickelbasislegierung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass**
sie eine Solidustemperatur von höher als 1320°C aufweist.

35 **8. Nickelbasislegierung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass**
sie ein Resteutektikum von nicht mehr als 4 %, vorzugsweise nicht mehr als 3 %, aufweist.

40 **12. Gegenstand, hergestellt aus einer Nickelbasislegierung nach irgendeinem der vorhergehenden Ansprüche.**

**13. Gegenstand nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass**
der Gegenstand einkristallin oder gerichtet erstarrt ist.

45 **14. Gegenstand nach einem der Ansprüche 12 und 13,
dadurch gekennzeichnet, dass**
der Gegenstand eine Komponente einer stationären Gasturbine oder einer Fluggasturbine, insbesondere eine Turbinenschaufel, ist.

50 **15. Verfahren zur Herstellung einer Nickelbasislegierung,
dadurch gekennzeichnet, dass**
das Verfahren das Vereinigen und Zusammenschmelzen von Metallen in Mengenverhältnissen, die in einer Legierung nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 11 resultieren, umfasst.



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 15 16 6317

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,D	EP 2 725 110 A1 (MTU AERO ENGINES AG [DE]; UNIV FRIEDRICH ALEXANDER ER [DE]) 30. April 2014 (2014-04-30) * Absätze [0010], [0022] * * Ansprüche 1-14 *	1-15	INV. C22C19/05
A,D	WO 2009/032579 A1 (GEN ELECTRIC [US]; O'HARA KEVIN SWAYNE [US]; CARROLL LAURA JILL [US]) 12. März 2009 (2009-03-12) * Absatz [0016] - Absatz [0019] *	1-15	
A,D	EP 2 305 847 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 6. April 2011 (2011-04-06) * Ansprüche 1,11-13 *	1-15	
A,D	EP 2 314 727 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 27. April 2011 (2011-04-27) * Ansprüche 1,13; Tabelle 1 *	1-15	
A	HECKL A ET AL: "The effect of Re and Ru on / microstructure, -solid solution strengthening and creep strength in nickel-base superalloys", MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING A: STRUCTURAL MATERIALS: PROPERTIES, MICROSTRUCTURES AND PROCESSING, ELSEVIER BV, NL, Bd. 528, Nr. 9, 12. Januar 2011 (2011-01-12), Seiten 3435-3444, XP028145882, ISSN: 0921-5093, DOI: 10.1016/J.MSEA.2011.01.023 [gefunden am 2011-01-19] * das ganze Dokument *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C22C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 3. August 2015	Prüfer Rolle, Susett
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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 15 16 6317

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

03-08-2015

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	EP 2725110	A1	30-04-2014	EP 2725110 A1	30-04-2014
				US 2014119941 A1	01-05-2014

15	WO 2009032579	A1	12-03-2009	CA 2696939 A1	12-03-2009
				CN 101790593 A	28-07-2010
				CN 104313397 A	28-01-2015
				EP 2188401 A1	26-05-2010
				JP 5595917 B2	24-09-2014
20				JP 2011514431 A	06-05-2011
				US 2013230405 A1	05-09-2013
				WO 2009032579 A1	12-03-2009

	EP 2305847	A1	06-04-2011	CN 102031420 A	27-04-2011
25				EP 2305847 A1	06-04-2011
				JP 2011074491 A	14-04-2011
				US 2011076182 A1	31-03-2011

	EP 2314727	A1	27-04-2011	CN 102031419 A	27-04-2011
30				EP 2314727 A1	27-04-2011
				JP 2011074493 A	14-04-2011
				US 2011076181 A1	31-03-2011

35					
40					
45					
50					
55					

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

- EP 2725110 A1 [0004] [0005] [0007] [0020]
- DE 102010037046 [0004]
- US 20110076180 A1 [0004]
- EP 2314727 A1 [0004]
- EP 2305847 A1 [0004]
- EP 2305848 A1 [0004]
- US 20130129522 A1 [0004]
- WO 2013083101 A1 [0004]
- EP 2576853 B1 [0004]
- WO 2009032578 A1 [0004]
- WO 2009032579 A1 [0004]
- EP 0962542 A1 [0004]
- US 6054096 A [0004]
- US 20130230405 A1 [0004]
- US 20100135846 A1 [0004]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **A. HECKL ; S. NEUMEIER ; M. GOKEN ; R.F. SINGER.** The effect of Re and Ru on γ/γ' microstructure, γ -solid solution strengthening and creep strength in nickel-base superalloys. *Material Science and Engineering A*, 2011, vol. 528, 3435-3444 [0004]
- **PAUL J. FINK ; JOSHUA L. MILLER ; DOUGLAS G. KONITZER.** Rhenium Reduction - Alloy Design Using an Economically Strategic Element. *JOM*, 2010, vol. 62, 55-57 [0004]