



(10) **DE 10 2010 037 046 A1 2011.03.03**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 037 046.0**

(51) Int Cl.⁸: **C22C 19/03 (2006.01)**

(22) Anmelddatum: **18.08.2010**

C22C 19/05 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: **03.03.2011**

(30) Unionspriorität:

12/551,294 31.08.2009 US

(72) Erfinder:

**Hanlon, Timothy, Niskayuna, New York, US;
Henry, Michael Francis, Ashland, Massachusetts,
US; Peck, Arthur S., Greenville, South Carolina,
US; Didomizio, Richard, Niskayuna, New York,
US; Suzuki, Akane, Niskayuna, New York, US;
Balsone, Stephen Joseph, Greenville, South
Carolina, US**

(71) Anmelder:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Nickelbasissuperlegierungen und Artikel**

(57) Zusammenfassung: Geschaffen sind Nickelbasissuperlegierungen, die aufweisen: etwa 7,0 Gewichtsprozent (Gew.-%) bis ungefähr 12,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,1 Gew.-% bis ungefähr 5 Gew.-% Molybdän, etwa 0,2 Gew.-% bis ungefähr 4,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3 Gew.-% bis ungefähr 4,9 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,6 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,02 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,1 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden. Die Legierungen können gegossen, direkional erstarrt und wärmebehandelt werden, um Artikel mit einem γ-Anteil von mehr als etwa 50% zu erzeugen.

Beschreibung**HINTERGRUND**

[0001] Die vorliegende Beschreibung betrifft Nickelbasislegierungen und darauf basierende Artikel.

[0002] Gasturbinentreibwerke arbeiten in extremen Umgebungsbedingungen, wobei Triebwerkskomponenten, insbesondere solche, die in dem Turbinenabschnitt angeordnet sind, hohen Betriebstemperaturen und Spannungen ausgesetzt sind. Arbeitsturbinenlaufschaufeln (oder -blätter) insbesondere solche, die möglicherweise eine Länge von bis zu etwa 36 Zoll oder mehr und ein Gewicht bis zu etwa 40 Pfund oder mehr aufweisen, erfordern ein Gleichgewicht von Eigenschaften, zu denen, jedoch ohne es darauf beschränken zu wollen, Gussrissbeständigkeit, Zugfestigkeit, Duktilität, Kriechfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Hitzekorrosionsbeständigkeit, niedrige Fleckenanfälligkeit, ausreichend niedrige Dichte, vertretbare Kosten und ein angemessen großes Wärmebehandlungsfenster gehören.

[0003] Superlegierungen wurden bisher in diesen anspruchsvollen Anwendungen wegen ihrer Fähigkeit verwendet, bis zum Erreichen von etwa 75 ihrer entsprechenden Schmelzpunkte relativ hohe Festigkeiten beizubehalten, während sie zusätzlich ausgezeichnete Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen aufweisen. Nickelbasissuperlegierungen wurden insbesondere ausgiebig in sämtlichen Teilen von Gasturbinentreibwerken verwendet, z. B. in Turbinenschaufel-, Leitapparat- und Mantelanwendungen. Allerdings lassen sich herkömmliche Nickelbasissuperlegierungen, die in Schaufelanwendungen der letzten Stufe verwendet werden, möglicherweise schwer gießen, was einen geringen Ausbeute zur Folge hat. Die ständig steigenden Anforderungen an die Gasturbinenbrenntemperatur waren in diesen Anwendungen in der Vergangenheit auf eine Verbesserung von mechanischen und Umwelteinflüssen betreffenden Werkstoffeigenschaften beschränkt.

[0004] Direktionale Erstarrung wurde erfolgreich verwendet, um Kriech- und Reißverhalten in Anwendungen von Nickelbasissuperlegierungsschaufeln zu optimieren. Ein bevorzugtes Ausrichten von Körnern in der Richtung der Spannungshauptachse, die im Wesentlichen mit der Längsrichtung zusammenfällt, erzeugt eine Säulenkorngrenze, die transversal zur Wachstumsrichtung verlaufende Korngrenzen beseitigt. Eine solche Ausrichtung ermöglicht außerdem einen günstigen Elastizitätsmodul in Längsrichtung, der von Vorteil ist für die Materialermüdungseigenschaften der Komponente.

[0005] Im Vergleich zu herkömmlich gegossenen Legierungsartikeln bringt die Anwendung des direktonalen Erstarrungsverfahrens Artikel mit wesentlichen Verbesserungen der Festigkeit, Duktilität und der Beständigkeit gegen thermische Ermüdung hervor. Allerdings lassen sich in derartigen Artikeln aufgrund der Anwesenheit von Säulenkorngrenzen dennoch verminderte Festigkeits- und Duktilitätseigenschaften in der transversalen Richtung feststellen. In dem Bemühen, die transversale Korngrenzenfestigkeit solcher Artikel zu verbessern, wurden zusätzliche Legierungselemente, z. B. Hafnium, Kohlenstoff, Bor und Zirconium, verwendet. Allerdings kann die Hinzufügung dieser und anderer Elemente zu einer Verschlechterung anderer gewünschter Eigenschaften, z. B. der Schmelztemperatur, führen, und es war daher erforderlich, hierfür einen Kompromiss mit Blick auf ein Gleichgewicht von Eigenschaften einzugehen.

[0006] Es besteht somit weiter ein Bedarf nach Nickelbasislegierungen, die weitere oder im Wesentlichen sämtliche erwünschte Eigenschaften zum Einsatz in Gasturbinentreibwerken aufweisen, z. B. Korrosionsbeständigkeit, Oxidations-, Kriech- und Hochtemperaturfestigkeit. Weiter wäre es erwünscht, wenn auf diese Weise erzeugte Legierungen entweder keine Elemente aufweisen, die den gewünschten Eigenschaften im Wesentlichen abträglich sind, oder in einer geeigneten Weise verarbeitet sind, so dass jede Verschlechterung der gewünschten Eigenschaften auf ein Minimum reduziert oder eliminiert ist.

KURZBESCHREIBUNG

[0007] Im Vorliegenden sind Nickelbasislegierungen geschaffen, die aufweisen: etwa 7,0 Gew.-% (Gew.-%) bis ungefähr 12,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,1 Gew.-% bis ungefähr 5 Gew.-% Molybdän, etwa 0,2 Gew.-% bis ungefähr 4,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3 Gew.-% bis ungefähr 4,9 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,6 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,02 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,1 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden.

[0008] Weiter sind hierin Nickelbasislegierungen geschaffen, die aufweisen: etwa 9,0 Gew.-% bis ungefähr 11,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,0 Gew.-% Molybdän, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3,5 Gew.-% bis ungefähr 4,25 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,5 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,01 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,07 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden.

[0009] Darüber hinaus ist ein Gussartikel geschaffen und in einem Ausführungsbeispiel anhand einer Nickelbasislegierung ausgebildet, die aufweist: etwa 7,0 Gew.-% (Gew.-%) bis ungefähr 12,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,1 Gew.-% bis ungefähr 5 Gew.-% Molybdän, etwa 0,2 Gew.-% bis ungefähr 4,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3 Gew.-% bis ungefähr 4,9 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,6 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,02 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,1 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden. Der Gussartikel weist einen γ' -Anteil von mehr als etwa 50% auf.

[0010] Weiter ist ein Gussartikel geschaffen, der anhand einer Nickelbasislegierung ausgebildet wird, die aufweist: etwa 9,0 Gew.-% bis ungefähr 11,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,0 Gew.-% Molybdän, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3,5 Gew.-% bis ungefähr 4,25 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,5 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,01 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,07 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden. Der Gussartikel weist einen γ' -Anteil von mehr als etwa 50% auf.

[0011] In einem zusätzlichen Ausführungsbeispiel ist ein Verfahren zum Herstellen eines gegossenen und wärmebehandelten Artikels geschaffen. Das Verfahren beinhaltet ein Bereitstellen einer Nickelbasislegierung, die aufweist: etwa 7,0 Gew.-% (Gew.-%) bis ungefähr 12,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,1 Gew.-% bis ungefähr 5 Gew.-% Molybdän, etwa 0,2 Gew.-% bis ungefähr 4,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3 Gew.-% bis ungefähr 4,9 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,6 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,02 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,1 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden. Die Legierung wird geschmolzen und direkional erstarrt, um den Artikel zu erzeugen, und der Artikel wird wärmebehandelt, so dass der Artikel einen γ' -Anteil von mehr als etwa 50% aufweist.

[0012] In einem zusätzlichen Ausführungsbeispiel ist ein Verfahren zum Herstellen eines gegossenen und wärmebehandelten Artikels geschaffen. Das Verfahren beinhaltet ein Bereitstellen einer Nickelbasislegierung, die aufweist: etwa 9,0 Gew.-% bis ungefähr 11,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,0 Gew.-% Molybdän, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3,5 Gew.-% bis ungefähr 4,25 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,5 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,01 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,07 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden. Die Legierung wird geschmolzen und direkional erstarrt, um den Artikel zu erzeugen, und der Artikel wird wärmebehandelt, so dass der Artikel einen γ' -Anteil von mehr als etwa 50% aufweist.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0013] Falls nicht anders lautend definiert, stimmt die Bedeutung der hierin verwendeten technischen und wissenschaftlichen Begriffe mit der üblicherweise durch den auf dem Gebiet dieser Erfindung bewanderten Fachmann verstandenen Bedeutung überein. In dem hier verwendeten Sinne legen die Begriffe "erste, zweite und dergleichen hierin keine Reihenfolge, Menge oder Rangfolge fest, sondern dienen vielmehr dazu, ein Element von einem anderen zu unterscheiden. Weiter bezeichnet der unbestimmte Artikel ein bzw. eine keine Beschränkung der Menge, sondern bedeutet vielmehr, dass mindestens ein betreffendes Element vorhanden ist, und die Begriffe vorderer, hinterer, unterster und/oder oberster werden, soweit nicht anderweitig vermerkt, lediglich zum Zwecke der Vereinfachung der Beschreibung verwendet und sind nicht auf irgend eine Position oder räumliche Ausrichtung beschränkt. Falls Bereiche offenbart sind, sind die Endpunkte sämtlicher Bereiche, die dieselbe Komponente oder Eigenschaft betreffen, eingeschlossen und voneinander unabhängig kom-

binierbar (z. B. schließen Bereiche von bis zu etwa 25 Gew.-%, oder spezieller etwa 5 Gew.-% bis ungefähr 20 Gew.-% die Endpunkte und sämtliche intermediären Werte der Bereiche von etwa 5 Gew.-% bis ungefähr 25 Gew.-% usw. ein). Der in Zusammenhang mit einer Quantität verwendete modifizierende Begriff etwa schließt den genannten Wert ein und beinhaltet die durch den Zusammenhang vorgegebene Bedeutung (er schließt z. B. die Fehlerabweichung ein, die in Zusammenhang mit einer Messung der speziellen Quantität vorhanden sein kann).

[0014] Hierin ist eine Nickelbasissuperlegierung geschaffen, die eine eindeutig bestimmte Kombination von Legierungselementen aufweist, die bewirken, dass sich die Legierung besonders zum Gießen und direktionalem Erstarren eignet, um Artikel zu erzeugen, z. B. Gasturbinenlaufschaufeln, die eine Kombination von verbesserten mechanischen Eigenschaften sowie eine gesteigerte Beständigkeit gegen Oxidation und Hitzekorrosion aufweisen. Spezieller können Komponenten, die auf der Grundlage der beschriebenen Superlegierungen ausgebildet sind, verbesserte Gussrissbeständigkeit und ein größeres Wärmebehandlungsfenster im Vergleich zu herkömmlichen Nickelbasissuperlegierungen aufweisen, so dass sich die Herstellungskosten reduzieren lassen, und die Ausbeute von Gussteilen gesteigert werden kann. Darüber hinaus können Artikel, die unter Verwendung der vorliegenden Superlegierungen erzeugt sind, im Vergleich zu herkömmlichen Nickelbasis-superlegierungen außerdem erhöhte Festigkeit, Duktilität und Kriechfestigkeit aufweisen, so dass die Artikel bei höheren Betriebstemperaturen genutzt werden und/oder eine längere Nutzungsdauer aufweisen können und/oder in dem Beispiel von Turbinenschaufeln länger dimensioniert werden können, um einen verbesserten Wirkungsgrad zu erzielen.

[0015] Es ist allgemein bekannt, dass sich Legierungselemente zwischen den Phasen einer Legierung gewöhnlich in einer Weise aufteilen, die in Beziehung zu der Grundstoffchemie steht. Eine Phase einer Legierung wird als ein homogener, physikalisch und chemisch gesonderter Bestandteil angesehen, der von dem Rest der Legierung durch gesonderte Bindungsflächen getrennt ist. Die für Nickelbasissuperlegierungen typische Legierungsstruktur weist eine hauptsächliche Phase auf, die als γ bekannt ist, das die Matrix der Legierung ist und daher üblicherweise als die γ -Matrix bezeichnet wird. Die Legierungsstruktur weist außerdem eine relativ große, als γ' -Präzipitatphase bezeichnete Präzipitatphase in der γ -Matrix sowie kleinere Mengen an Karbiden, Oxiden und Bорiden auf. Es wird angenommen, dass die Hochtemperaturfestigkeit einer Nickelbasissuperlegierung, zusätzlich zu der Mischkristallverfestigung der γ -Matrix, zu dem Anteil an anwesender γ' -Präzipitatphase in Beziehung steht.

[0016] Die Legierungselemente verteilen sich zwischen den Phasen, wobei die Verteilung zwischen der γ -Matrix und dem γ' -Präzipitat die wichtigste ist. Ein Verständnis des Vorgangs der Verteilung von Elementen zwischen Phasen ist für einen Legierungsentwurf erforderlich, um die Berechnung einiger wichtiger Legierungseigenschaften zu ermöglichen, beispielsweise die chemische Zusammensetzung von γ , γ' , Karbiden, Oxiden und Bорiden; den Anteil an γ' , der als γ -Partikel und als γ - γ' -Eutektikum anwesend ist; die Stabilität der γ -Phase; und eine Atomgitterfehlanpassung zwischen γ und γ' .

[0017] Eine Analyse einer Anzahl von Superlegierungen zeigte, dass unter den Legierungselementen, die allgemein in der Entwicklung von Nickelbasissuperlegierungen verwendet werden, Elemente, die sich auf die γ -Matrix verteilen und als γ -mischkristallverfestigende Elemente wirken, Chrom (Cr), Kobalt (Co), Molybdän (Mo), Wolfram (W), Rhenium (Re) und Eisen (Fe) sind. Allgemein sind feuerfeste Elemente mit schweren (großen Atomen), beispielsweise Rhenium, Wolfram und Molybdän, bei hohen Temperaturen die Verfestiger mit der größten Effizienz. Erwünscht ist, eine Mischkristallverfestigung zu erzielen, ohne eine Instabilität der Matrixstruktur hervorzurufen. Eine Instabilität, die sich möglicherweise nachteilig auf Legierungseigenschaften auswirkt, ist auf die Entstehung unerwünschter Phasen oder Präzipitate bei hohen Temperaturen zurückzuführen. Daher werden derartige Phasen oder Präzipitate möglichst vermieden.

[0018] Der zweite bedeutende Verfestigungsvorgang, der in Nickelbasissuperlegierungen erkannt wurde, ist das Ausscheidungshärten. Das Präzipitat entsteht in der γ -Matrix und ist als γ' bekannt. γ' ist eine geordnete flächenzentrierte kubische Verbindung Ni_3Al , die mit der Nickelmatrix kohärent ist. Zu Elementen, die bevorzugt in die γ' -Phase ausfallen, gehören Aluminium (Al), Titan (Ti), Tantal (Ta), Niob (Nb) und Vanadium (V).

[0019] Die vorliegenden Nickelbasissuperlegierungen weisen in einigen Ausführungsbeispielen im Vergleich zu herkömmlichen Nickelbasissuperlegierungen hervorragendes Gießbarkeits-, Hochtemperaturfestigkeits- und Kriechverhalten, zyklische Korrosionsbeständigkeit und Hitzekorrosionsbeständigkeit auf. Die beschriebenen Superlegierungen sind auch für Gießen, direktionale Erstarrung und Wärmebehandlung geeignet, um Artikel, z. B. Gasturbinenlaufschaufeln, zu erzeugen, während die grundlegenden Eigenschaften der Superlegierung aufrecht erhalten werden.

[0020] Die entsprechend entworfene und hier beschriebene Nickelbasislegierung enthält Chrom, Molybdän, Titan, Aluminium, Kobalt, Wolfram, Tantal, Hafnium, Niob, Bor und Kohlenstoff. Die Nickelbasislegierung ist frei von Rhenium, was Kosteneinsparungen erlaubt. In einem Ausführungsbeispiel enthält die Nickelbasislegierung etwa 7,0 Gew.-% (Gew.-%) bis ungefähr 12,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,1 Gew.-% bis ungefähr 5 Gew.-% Molybdän, etwa 0,2 Gew.-% bis ungefähr 4,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3 Gew.-% bis ungefähr 4,9 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,6 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,02 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,1 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden.

[0021] In noch einem Ausführungsbeispiel enthält die Nickelbasislegierung etwa 8,5 Gew.-% bis ungefähr 11,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,0 Gew.-% Molybdän, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3,5 Gew.-% bis ungefähr 4,25 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,5 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,01 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,07 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden. In einigen Ausführungsbeispielen kann der Chromanteil der Nickelbasislegierung bevorzugt zwischen etwa 7 Gew.-% bis ungefähr 12 Gew.-%, oder etwa 8,5 Gew.-% bis ungefähr 11 Gew.-% betragen.

[0022] In einigen Ausführungsbeispielen ist es erwünscht, ein Gleichgewicht zwischen Chrom und Aluminium aufrecht zu erhalten, so dass die Legierung sowohl gute Oxidations- als auch Hitzekorrosionsbeständigkeit aufweisen kann. Daten, die in der Analyse gewisser hierin beschriebener Legierungen erzeugt wurden, zeigten, dass ein begrenztes Verhältnis von Cr:Al von etwa 1,5 bis ungefähr 2,5 das Gleichgewicht von geforderten Eigenschaften ermöglichte. Daher kann ein geeigneter Bereich für Aluminium in gewissen beschriebenen Legierungen etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% sein.

[0023] Der Anteil an Titan gewisser der hierin beschriebenen Legierungen kann bevorzugt zwischen etwa 0,2 Gew.-% bis ungefähr 4,5 Gew.-%, oder etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,5 Gew.-% betragen. Titan ist bevorzugt in den oben erwähnten Anteilen vorhanden, so dass das Verhältnis Al:Ti etwa 1, oder 2, oder 3, oder sogar etwa 4 überschreiten kann.

[0024] Wolfram ist ein für Hochtemperaturfestigkeit geeignetes Legierungselement und kann sich entweder auf die γ -Phase oder auf die γ' -Phase verteilen. Wolfram kann in gewissen beschriebenen Legierungen in Anteilen von etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% enthalten sein.

[0025] Molybdän kann in manchen erfindungsgemäßen Legierungen die Wirkung von Wolfram übernehmen, weist jedoch eine geringere Dichte auf. Molybdän kann die Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse mindern, obwohl sich dies durch ausgewogene Anteile von Chrom auf ein Minimum reduzieren lässt. In einigen Ausführungsbeispielen, in denen Chrom mit einem Anteil von etwa 7 Gew.-% bis ungefähr 12 Gew.-%, oder etwa 8,5 Gew.-% bis ungefähr 11 Gew.-% vorhanden ist, kann bevorzugt Molybdän in Anteilen von etwa 0,1 Gew.-% bis ungefähr 5 Gew.-%, oder etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,0 Gew.-% enthalten sein, so dass der hinzugefügte Vorteil der Festigkeit ohne eine wesentliche Beeinträchtigung der Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse erfahren wird.

[0026] Tantalpartitionen, beispielsweise Titan in Nickelbasislegierungen, gehen nahezu vollständig in die γ' -Phase ein. Tantal kann in einigen Ausführungsbeispielen gegenüber Titan bevorzugt sein, da Tantal eine höhere Schmelztemperatur als Titan aufweist und daher die Schmelztemperatur der Legierung nicht so stark senken kann wie ein vergleichbare Anteil von Titan. Allerdings ist Tantal ein schweres Element mit einer erheblich höheren Dichte als Titan, und es lässt sich daher ein leichterer Artikel erzeugen, wenn eine größeren Menge von Titan als Tantal verwendet wird. Unter Berücksichtigung dieser Erwägungen können in speziellen Ausführungsbeispielen der beschriebenen Superlegierungen nützliche Anteile an Tantal etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% bezogen auf das Gesamtgewicht der Legierung betragen.

[0027] Kobalt kann die Festlöslichkeitstemperatur von γ' erhöhen, so dass dadurch die temperaturabhängigen Eigenschaften von Legierungen, in denen es enthalten ist, verbessert werden. Kobalt kann außerdem durch Unterbindung von Sigma-Phasenausfällung die strukturelle Stabilität der Legierung verbessern. Aus diesen Gründen können die hierin beschriebenen Legierungen in speziellen Ausführungsbeispielen unter anderem etwa 3,0 Gew.-% bis ungefähr 4,9 Gew.-%, oder etwa 3,4 Gew.-% bis ungefähr 4,25 Gew.-% Kobalt bezogen auf das Gesamtgewicht der Legierung enthalten.

[0028] Hafnium kann als ein Korngrenzenfestiger nützlich sein und kann die Oxidationsbeständigkeit steigern. Daher enthalten in einigen Ausführungsbeispielen die hierin beschriebenen Legierungen Hafnium in Anteilen von bis zu etwa 1,0 Gew.-%, oder etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,5 Gew.-%. In speziellen Ausführungsbeispielen enthalten die Legierungen außerdem Niob in Anteilen von bis zu etwa 1 Gew.-%.

[0029] Die Nickelbasislegierung kann nach einem (oder mehreren) beliebigen vorhandenen Verfahren verarbeitet werden, um Komponenten für ein Gasturbinentriebwerk auszubilden, beispielsweise, jedoch ohne es darauf beschränken zu wollen, Pulvermetallurgieverfahren (z. B. Sintern, Warmpressen, heißisostatische Verfahren, Heißvakuumsackverfahren, und dergleichen), Blockgießen, gefolgt von einem direktionalen Erstarren, Wachsaußschmelzgießen, Blockgießen gefolgt von einer thermomechanischen Behandlung, endabmessungsnahes Vergießen, chemisches Aufdampfen, physikalische Dampfabscheidung, Kombinationen davon und dergleichen.

[0030] In einem Herstellungsverfahren einer Gasturbinenschaufel anhand einer Nickelbasislegierung, wie sie beschrieben ist, werden die gewünschten Komponenten in Form von Pulverpartikeln entweder getrennt oder als ein Gemisch bereitgestellt und auf eine ausreichende, gewöhnlich im Bereich von etwa 1350°C bis ungefähr 1750°C liegende Temperatur erwärmt, um die Metallkomponenten zu schmelzen. Das schmelzflüssige Metall wird anschließend in einem Gießvorgang in eine Gießform gegossen, um die gewünschte Gestalt herzubringen.

[0031] Wie oben erwähnt, können beliebige Gießverfahren genutzt werden, z. B. Blockgießen, Wachsaußschmelzgießen, Hochgradientgießen oder endabmessungsnahes Vergießen. Im Falle von Ausführungsbeispielen, bei denen verhältnismäßig komplexe Teile zu erzeugen sind, kann das schmelzflüssige Metall bevorzugt mittels eines Wachsaußschmelzverfahrens gegossen werden, das im Allgemeinen für die Herstellung von Teilen möglicherweise geeigneter ist, die nicht durch normale Herstellungstechniken erzeugt werden können, z. B. Turbinenschaufeln, die komplexe Formen aufweisen, oder Turbinenkomponenten, die hohen Temperaturen standhalten müssen. In noch einem Ausführungsbeispiel kann das schmelzflüssige Metall mittels eines Blockgussverfahrens zu Turbinenkomponenten gegossen werden. Der Gießvorgang kann unter Verwendung von Schwerkraft, Druck, Inertgas oder Vakuumbedingungen durchgeführt werden. In einigen Ausführungsbeispielen wird der Gießvorgang in einem Vakuum durchgeführt.

[0032] Nach dem Gießen kann die Schmelze in der Gießform vorteilhafterweise direktional erstarrt werden. Direktionales Erstarren führt im Allgemeinen zu in Richtung der Verfestigung länglichen Körnern und somit zu einer höheren Kriechstandfestigkeit für das Schaufelblatt als im Falle eines gleichachsigen Gießens und ist für den Einsatz in einigen Ausführungsbeispielen geeignet. Speziell können die vorliegenden Legierungen zu mehrfachkörnigen direktional erstarrten Komponenten geformt werden, die dazu eingerichtet sind, über den Querschnitt des Teils hinweg eine große Anzahl von Körnern unterzubringen, wobei die Ausbeute wesentlich größer ist als im Falle herkömmlicher monokristalliner Nickelbasissuperlegierungen. D. h., es können zwar kleine Komponenten gewöhnlich als ein Einkristall hergestellt werden, jedoch lassen sich viele der größeren Komponenten von Gasturbinen nur schwer als ein echter Einkristall (SC, Single Crystal) ausbilden. Daher ist die Ausbeute dieser Komponenten in SC-Form möglicherweise wirtschaftlich nicht nutzbar. Im Gegensatz dazu kann die Ausbeute einer ähnlich bemessenen mehrfachkörnigen direktional erstarrten Gasturbinenkomponente unter Nutzung der hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele wenigstens etwa 80%, oder etwa 80% bis ungefähr 100% betragen.

[0033] Nach der direktionalen Erstarrung werden die Gussteile, z. B. durch ein beliebiges herkömmliches Kühlverfahren, gekühlt. Die Gussteile, die die Nickelbasislegierung aufweisen, können optional anschließend unterschiedlichen Wärmebehandlungen unterworfen werden, um die Festigkeit zu optimieren und die Kriechfestigkeit zu steigern. Wünschenswerterweise führt die Wärmebehandlung zu einem Gussteil, das einen γ' -Anteil von mehr als etwa 50%, oder sogar mehr als etwa 60% aufweist. Die Wärmebehandlung kann allgemein eine Erwärmung des Gussteils in Vakuum auf eine Temperatur von etwa 2260°F bis ungefähr 2400°F für 2 bis 4 Stunden beinhalten. Das Gussteil kann anschließend durch eine Ofenkühlung in Vakuum, Argon oder Helium mit einer Abkühlrate etwa 15°F/Minute bis ungefähr 45°F/Minute auf 2050°F abgekühlt werden, und danach mittels Gasgebläsekühlung in Vakuum, Argon oder Helium mit etwa 100°F/Minute bis ungefähr 150°F/Minute auf 1200°F oder darunter abgekühlt werden. Wenn 1200°F unterschritten sind, können die Artikel mit einer beliebigen Kühlungsrate auf Raumtemperatur abgekühlt werden.

[0034] In einigen Ausführungsbeispielen werden die Gussteile möglicherweise einer Vergütungsbehandlung unterworfen. Beispielsweise können die Gussteile eine Vergütung erfahren, indem sie für einen Zeitraum von 4 Stunden unter Vakuum auf 1975°F erwärmt werden, bis unterhalb von 1200°F ofengekühlt werden, auf etwa

1600°F bis ungefähr 1650°F für 4 bis 16 Stunden erwärmt werden, und anschließend einer Ofenkühlung bis auf Raumtemperatur unterworfen werden.

[0035] Die hierin beschriebenen Nickelbasis-Legierungen können somit zu unterschiedlichen Schaufelblättern für große Gasturbinentreibwerke verarbeitet werden. Wie oben erwähnt, können die hierin beschriebenen Nickelbasislegierungen verbesserte Gussrissbeständigkeit und ein größeres Wärmebehandlungsfenster als herkömmliche Nickelbasissuperlegierungen, z. B. Rene' N4, aufweisen, während dadurch die Kosten bei der Herstellung reduziert sind und die Ausbeute gegossener Elemente größer ist. Artikel, die anhand der offebarten Legierungen ausgebildet sind, können außerdem eine erhöhte Festigkeit, Duktilität und Kriechfestigkeit sowie Oxidations- und Hitzekorrosionsbeständigkeit aufweisen. Im Ergebnis können solche Artikel bei höheren Betriebstemperaturen eingesetzt werden und/oder längere Nutzungsdauern aufweisen als Artikel, die mittels herkömmlicher Nickelbasislegierungen ausgebildet sind.

[0036] Zu Beispielen von Komponenten oder Artikeln, die mittels der hierin beschriebenen Legierungen geeignet ausgebildet sind, gehören, jedoch ohne darauf beschränken zu wollen, Laufschaufeln (oder Blätter), nicht rotierende Leitapparate (oder Leitschaufeln), Mäntel, Brennkammern, und dergleichen. Zu Komponenten/Artikeln, von denen angenommen wird, dass sie besonders vorteilhaft anhand der hierin beschriebenen Legierungen ausgebildet werden können, gehören Leitapparate und Laufschaufeln. Die Superlegierung kann in Verbindung mit vielfältigen Wärmebarriereforschichtungen verwendet werden.

[0037] Ein exemplarisches Verfahren zur Herstellung eines gegossenen und wärmebehandelten Industriearikels, beispielsweise einer großen Arbeitsturbinschaufel, mittels einer Nickelbasissuperlegierung der vorliegenden Beschreibung, kann im Allgemeinen wie im Folgenden erläutert durchgeführt werden. Die gewünschte Komponente, z. B. eine Turbinenschaufel, kann mittels der Superlegierung direkional gegossen werden. Das Gussteil kann anschließend einer Wärmebehandlung unterworfen werden, bei der die Schaufel gewöhnlich beispielsweise in Vakuum auf eine Temperatur von etwa 2260°F bis ungefähr 2400°F für 2 bis 4 Stunden erwärmt wird, so dass die Schaufel einen γ'-Anteil von mehr als etwa 50%, oder mehr als 60% aufweist. Die Schaufel kann anschließend durch eine Ofenkühlung in Vakuum, Argon oder Helium mit einer Abkühlrate von etwa 15°F bis ungefähr 45°F/Minute bis auf ungefähr 2050°F abgekühlt werden, worauf eine Gasgebläsekühlung in Vakuum, Argon oder Helium mit etwa 100°F/Minute bis ungefähr 150°F/Minute auf ungefähr 1200°F oder darunter durchgeführt wird. Wenn etwa 1200°F unterschritten sind, kann die eine (bzw. die mehreren) Schaufel(n) mit einer beliebigen Kühlungsrate auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Die Schaufel(n) kann (können) anschließend eine Vergütung erfahren, indem sie für einen Zeitraum von 4 Stunden unter Vakuum auf 1975°F erwärmt werden, bis unterhalb von 1200°F ofengekühlt werden, auf etwa 1600°F bis ungefähr 1650°F für 4 bis 16 Stunden erwärmt werden, und anschließend einer Ofenkühlung bis auf Raumtemperatur unterworfen werden.

[0038] Obwohl die Superlegierung der vorliegenden Erfindung sich besonders für Gießen unter Verwendung gerichteter Erstarrung eignet, kann sie ohne weiteres durch herkömmliche Gießverfahren oder monokristalline Gießtechniken erzeugt werden. Die Superlegierung ist bestens geeignet für Hochtemperaturturbinenkomponenten beispielsweise Laufschaufeln, Blätter, Leitschaufeln, und dergleichen für Gasturbinentreibwerke.

[0039] Die folgenden Beispiele, die exemplarisch und nicht beschränkend sein sollen, veranschaulichen Zusammensetzungen und Verfahren zur Herstellung einiger der vielfältigen Ausführungsbeispiele der Nickelbasisslegierungen. In den folgenden Beispielen wurden Untersuchungsproben in einem Direktonalerstarrungs-Ofen gegossen. Die Formentnahmerate, die der Erstarrungsrate entspricht, betrug 12 Zoll pro Stunde. Materialeigenschaften wurden in der as-direktonal erstarrten Bedingung mit der ausdrücklichen Absicht einer Optimierung der Chemie unabhängig von Wärmebehandlungswirkungen gemessen.

Beispiel 1.

[0040] In diesem Beispiel wurden vierzig eindeutig bestimmte Nickelbasissuperlegierungen direktional gegossen und bewertet. Vor einem mechanischen Testen wurden Materialhauptattribute identifiziert, die für eine optimale Leistung einer Gasturbinenlaufschaufel erforderlich sind. Jedem Attribut wurde in Abhängigkeit von dessen relativer Wichtigkeit ein Gewichtungsfaktor zugeordnet. Die berechneten und gemessenen Eigenschaften wurden anschließend in einem gemeinsamen einheitslosen Maßstab vereinigt und entsprechend gewichtet. Die Summe der gewichteten, einheitslosen Attribute stellten ein Mittel bereit, um die Legierungen basierend auf deren gesamten Gleichgewicht von Eigenschaften Rangstufen zuzuordnen. Tafel I gibt die chemischen Eigenschaften von drei exemplarischen Legierungen (Legierung 1, Legierung 2 und Legierung 3) in Gew.-% an, wobei Nickel und Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden. Jede dieser Nickelbasissuperlegierun-

gen wies eine vorherberechnete γ' -Molfraktion von über 50% auf. Außerdem ist Rene' N4, eine standardmäßige, für hohe Temperaturen geeignete Nickelbasissuperlegierung, eingeschlossen, die gegenwärtig für die Herstellung von Hochtemperaturturbinenkomponenten verwendet wird.

Tafel I

Legierung	Cr	B	C	Co	Al	Hf	Mo	Nb	Ta	Ti	W
*Rene' N4	9,75	0,004	0,05	7,50	4,20	0,15	1,50	0,50	4,80	3,50	6,00
1	9,59	0,01	0,07	3,93	4,13	0,15	0,74	0,49	5,90	3,44	8,85
2	9,78	0,01	0,04	4,01	4,71	0,15	1,50	0,50	6,01	2,62	6,02
3	10,00	0,01	0,05	4,10	5,80	0,50	2,50	0,00	4,45	0,82	7,97

Zusammensetzungen sind in Gewichtsprozent angegeben, wobei Nickel und Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden.

*Beispiel zum Vergleich

[0041] Tafel II unterbreitet vielfältige berechnete Eigenschaften der Superlegierungszusammensetzungen. Für jede Legierung ist vorausgesagt, dass sie ein Wärmebehandlungsfenster aufweist, das ähnlich oder größer ist, als jenes der Referenzlegierung Rene' N4, wobei eine verbesserte Verarbeitbarkeit und eine höhere Ausbeute eine wahrscheinliche Folge ist. Die berechnete Dichte jeder Legierung ist in ähnlicher Weise der Referenzlegierung gegenübergestellt. Eine vorherberechnete γ' -Molfraktion ist im Vergleich zu Rene' N4 in jedem Fall höher, was gewöhnlich mit Blick auf Hochtemperaturfestigkeit gewünscht ist.

Tafel II

Legierung	Berechneter γ' Solvus (°F)	Berechnete beginnende Schmelztemperatur (°F)	Berechnetes Wärmebehandlungsfenster (°F)	Berechnete Dichte (Pfund/Zoll ³)	Berechnetes γ' Max. NP (%)
*Rene' N4	2192	2351	159	0,298	69
1	2185	2352	167	0,302	72
2	2211	2355	144	0,299	73
3	2222	2381	159	0,298	76

*Beispiel zum Vergleich

[0042] Tafel III fasst vielfältige Materialeigenschaften zusammen, die unter der as-direktonal erstarrten (as-DS) Bedingung gemessen wurden, wobei der Begriff "UTS, Ultimate Tensile Strength" Grenzbruchfestigkeit kennzeichnet; und der Begriff "YS, Yield Strength" die Fließgrenze kennzeichnet.

[0043] Die Gießbarkeit wurde mittels eines Gussrisstests gemäß US-Patent. Nr. 4 169 742 analysiert, wobei die Rissgesamtlänge an dem Außendurchmesser eines direktonal erstarrten (etwa 60 Tausendstelzoll dicken) Dünnwandgussteils gemessen wurde. Bevorzugt sind Legierungen, die den kleinsten Risswert aufweisen. Jede der Legierungen in Tabelle III weist unter den Beschränkungen dieser Screeninguntersuchung im Vergleich zu der Referenzlegierung eine hervorragenden Beständigkeit gegen Gussriss auf.

[0044] Das Kriechverhalten jeder Legierung wurde in Luft bei 1400°F und 1800°F bewertet. Eine Tragfähigkeitsbelastung wurde eingesetzt, um bei 1400°F und 31 Kilopond pro Quadratzoll bei 1800°F eine Spannung von 107 Kilopond pro Quadratzoll aufzuerlegen. Die plastische Dehnung wurde während der gesamten Dauer der Untersuchung überwacht. Tafel III zeigt Verbesserungen der Zeiten bis zu 2 Kriechen, die bei 1400°F im Bereich des 2,0- bis 3,5-fachen im Vergleich zu as-DS-Rene' N4 liegen. Darüber hinaus betragen Verbesserungen der Zeiten bis zu 2 Kriechen bei 1800°F zwischen dem 2,75-fachen und 4,75-fachen im Vergleich zu as-

DS-Rene' N4. Die Zeitstandfestigkeiten bei jeder Temperatur sind im Vergleich zu as-DS-Rene' N4 ebenfalls um ähnliche Größenordnungen verbessert.

[0045] Das Zugdehnungsverhalten jedes Materials wurde bei 1400°F in Luft bewertet. Proben wurden mit einer feststehenden Verformungsrate von 0,02 Zoll/Minute bis zum Bruch gezogen. Tafel III gibt einen Bereich des Verhaltens im Vergleich zu der Referenzlegierung an. Die Legierungen 1 und 2 weisen bei vergleichbaren Grenzbruchfestigkeiten beträchtliche Verbesserungen der Fließgrenze auf. Hinsichtlich der Ausbeute und Zugfestigkeiten sind die Ergebnisse der Legierung 3 im Vergleich zu as-DS Rene' N4 geringfügig schlechter. Dies wird jedoch wirkungsvoll ausgeglichen durch die hervorragende Gießbarkeit und das Kriechverhalten.

Tafel III

As DS Legie- rung	Gemessenes Dünnewand- gussteil Riss- gesamtlänge (Zoll)	Gemessene Zeit bis zu 2,0% Kriechdeh- nung (Stunden)		Gemessene Zeit- standfestigkeit (Stunden)		Zug-Fließgren- ze bei 1400°F (ksi)	Zug- Grenz- bruchfes- tigkeit bei 1400°F (C)
		1400°F/ 107 ksi	1800°F/ 31 ksi	1400°F/ 107 ksi	1800°F/ 31ksi		
*Rene' N4	17,4	23,0	14,6	95,7	25,4	146	168,6
1	13,6	82,0	69,4	133,2	104,9	154,6	166,7
2	9,1	47,0	61,5	105,2	87,9	153,5	169,6
3	7,8	61,0	40,1	142,4	64,0	131,2	153,8

(ksi = Kilopond pro Quadratzoll)

*Beispiel zum Vergleich

[0046] Während hierin lediglich spezielle Merkmale der Erfindung veranschaulicht und beschrieben wurden, erschließen sich dem Fachmann viele Abwandlungen und Veränderungen. Es ist daher selbstverständlich, dass die beigefügten Patentansprüche sämtliche Abwandlungen und Veränderungen abdecken sollen, die in den wahren Schutzbereich der Erfindung fallen.

[0047] Geschaffen sind Nickelbasissuperlegierungen, die aufweisen: etwa 7,0 Gewichtsprozent (Gew.-%) bis ungefähr 12,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,1 Gew.-% bis ungefähr 5 Gew.-% Molybdän, etwa 0,2 Gew.-% bis ungefähr 4,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3 Gew.-% bis ungefähr 4,9 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,6 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,02 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,1 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden. Die Legierungen können gegossen, direkional erstarrt und wärmebehandelt werden, um Artikel mit einem γ-Anteil von mehr als etwa 50% zu erzeugen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 4169742 [[0043](#)]

Patentansprüche

1. Nickelbasislegierung, die aufweist: etwa 7,0 Gewichtsprozent (Gew.-%) bis ungefähr 12,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,1 Gew.-% bis ungefähr 5 Gew.-% Molybdän, etwa 0,2 Gew.-% bis ungefähr 4,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3 Gew.-% bis ungefähr 4,9 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,6 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,02 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,1 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden.
2. Nickelbasislegierung nach Anspruch 1, wobei die Legierung im Wesentlichen frei von Rhenium ist.
3. Nickelbasislegierung nach Anspruch 1, wobei die Legierung ein von Aluminium/Titan-Verhältnis von mehr als etwa 1 aufweist.
4. Gussartikel der Legierung nach Anspruch 1, mit einem γ' -Anteil von mehr als etwa 50%.
5. Nickelbasislegierung, die aufweist: etwa 9,0 Gew.-% bis ungefähr 11,0 Gew.-% Chrom, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,0 Gew.-% Molybdän, etwa 0,5 Gew.-% bis ungefähr 3,5 Gew.-% Titan, etwa 4 Gew.-% bis ungefähr 6 Gew.-% Aluminium, etwa 3,5 Gew.-% bis ungefähr 4,25 Gew.-% Kobalt, etwa 6,0 Gew.-% bis ungefähr 9,0 Gew.-% Wolfram, etwa 4,0 Gew.-% bis ungefähr 6,5 Gew.-% Tantal, etwa 0,05 Gew.-% bis ungefähr 0,5 Gew.-% Hafnium, bis etwa 1,0 Gew.-% Niob, bis etwa 0,01 Gew.-% Bor, und bis etwa 0,07 Gew.-% Kohlenstoff, wobei Nickel und zufällige Verunreinigungen die Differenz zu 100% bilden.
6. Nickelbasislegierung nach Anspruch 5, wobei die Legierung im Wesentlichen frei von Rhenium ist.
7. Nickelbasislegierung nach Anspruch 5, wobei die Legierung ein Verhältnis von Aluminium zu Titan von mehr als etwa 1 aufweist.
8. Gussartikel der Legierung nach Anspruch 5, mit einem γ' -Anteil von mehr als 50%.
9. Gussartikel nach Anspruch 8, der eine Komponente einer Gasturbine beinhaltet.
10. Verfahren zur Herstellung eines gegossenen und wärmebehandelten Industrieartikels, mit den Schritten:
Bereitstellen einer Nickelbasislegierung nach Anspruch 1;
Schmelzen und direktionales Erstarren der Legierung, um einen Artikel zu erzeugen; und
Wärmebehandeln des Artikels, so dass der Artikel einen γ' -Anteil von mehr als 50% aufweist.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen