

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6730936号
(P6730936)

(45) 発行日 令和2年8月5日 (2020. 8. 5)

(24) 登録日 令和2年7月7日 (2020. 7. 7)

(51) Int. Cl.

F I

C 2 2 C 19/05 (2006. 01)
C 2 2 F 1/10 (2006. 01)
C 2 2 F 1/00 (2006. 01)

C 2 2 C 19/05 C
C 2 2 F 1/10 H
C 2 2 F 1/00 6 9 1 A
C 2 2 F 1/00 6 9 1 B
C 2 2 F 1/00 6 9 1 C

請求項の数 18 (全 39 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-569943 (P2016-569943)
(86) (22) 出願日 平成27年5月27日 (2015. 5. 27)
(65) 公表番号 特表2017-520680 (P2017-520680A)
(43) 公表日 平成29年7月27日 (2017. 7. 27)
(86) 国際出願番号 PCT/US2015/032673
(87) 国際公開番号 W02015/183955
(87) 国際公開日 平成27年12月3日 (2015. 12. 3)
審査請求日 平成30年5月25日 (2018. 5. 25)
(31) 優先権主張番号 62/003, 326
(32) 優先日 平成26年5月27日 (2014. 5. 27)
(33) 優先権主張国・地域又は機関
米国 (US)

(73) 特許権者 515057827
クエステック イノベーションズ リミテ
ッド ライアビリティ カンパニー
アメリカ合衆国 イリノイ州 60201
エバンストン リッジ アベニュー 1
820
(74) 代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
(74) 代理人 100088694
弁理士 弟子丸 健
(74) 代理人 100094569
弁理士 田中 伸一郎
(74) 代理人 100084663
弁理士 箱田 篤

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高度に加工性の単結晶性ニッケル合金

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

合金であって、質量基準で、4%～7%のアルミニウム、0%～0.2%の炭素、7%～11%のコバルト、5%～9%のクロム、0.01%～0.2%のハフニウム、0.5%～2%のモリブデン、0.1%～1.5%のレニウム、8%～10.5%のタンタル、0.01%～0.5%のチタン、及び6%～10%のタングステンを含み、残部が、ニッケル及び、2%までの鉄、2%までのニオブ、2%までのルテニウム、2%までのジルコニウム、2%までのマンガン、2%までのケイ素、2%までの銅、2%までのバナジウム、2%までのセリウム、2%までのマグネシウム及び0.02%までの窒素の内の1種又はそれ以上から選択された付随的元素及び不純物であり、

前記合金が、斑点を含まず、そして、

前記合金が、単結晶であることを特徴とする合金。

【請求項 2】

更に、質量基準で、0.5%までのランタン、0.5%までのイットリウム、及び0.5%までのホウ素の内の1種又はそれ以上をも含む、請求項 1 に記載の合金。

【請求項 3】

質量基準で、5.5%～6.5%のアルミニウム、8.5%～9.5%のコバルト、6.5%～7.5%のクロム、0.05%～0.15%のハフニウム、0.6%～1.2%のモリブデン、0.8%～1.2%のレニウム、9%～10%のタンタル、0.05%～0.15%のチタン、及び7.5%～8.5%のタングステンを含み、その残部が、ニッケル及び、鉄、ニオブ、ルテニウム、ジルコニウム、マンガン、ケイ素、銅、バナジウム、セリウム、マグネシウム及び窒素の内の1種又はそれ以上から選択された付随

的元素及び不純物である、請求項 1 に記載の合金。

【請求項 4】

前記合金の 20% 凝固において、 $0.015\text{g}/\text{cm}^3$ 未満の液体密度における減少を示す、請求項 1 に記載の合金。

【請求項 5】

前記合金の 40% 凝固において、 $0.025\text{g}/\text{cm}^3$ 未満の液体密度における減少を示す、請求項 1 に記載の合金。

【請求項 6】

位相幾何学的に最密充填された相を含まない請求項 1 に記載の合金。

【請求項 7】

1000℃において 59% を超える γ' 相画分を有する、請求項 1 に記載の合金。

10

【請求項 8】

1150℃にて 30 時間に及ぶ該合金のエージング後に、45% を超える γ' 相画分を有する、請求項 1 に記載の合金。

【請求項 9】

前記合金の γ/γ' 格子不整合の絶対値が、1000℃において 0~0.35% である、請求項 1 に記載の合金。

【請求項 10】

前記 γ' 析出物が、立方体状の形態を持つ、請求項 8 に記載の合金。

【請求項 11】

界面エネルギーで規格化された粗大化速度定数が、1000℃において 7.0×10^{-20} 以下である、請求項 1 に記載の合金。

20

【請求項 12】

1121℃にて 4 時間、引続き 871℃にて 20 時間の焼き戻し後に 440HV を超える硬さを持つ、請求項 1 に記載の合金。

【請求項 13】

質量基準で、5.9% のアルミニウム、9% のコバルト、7% のクロム、0.1% のハフニウム、0.9% のモリブデン、1% のレニウム、9.5% のタンタル、0.11% のチタン、及び 7.8% のタングステンから選択される少なくとも 1 種の元素を含み、その残部が、ニッケル及び、鉄、ニオブ、ルテニウム、ジルコニウム、マンガン、ケイ素、銅、バナジウム、セリウム、マグネシウム及び窒素の内の 1 種又はそれ以上から選択された付随的元素及び不純物である、請求項 1 に記載の合金。

30

【請求項 14】

質量基準で、4%~7% のアルミニウム、0%~0.2% の炭素、7%~11% のコバルト、5%~9% のクロム、0.01%~0.2% のハフニウム、0.5%~2% のモリブデン、0.1%~1.5% のレニウム、8%~10.5% のタンタル、0.01%~0.5% のチタン、及び 6%~10% のタングステンを含み、その残部が、ニッケル及び、鉄、ニオブ、ルテニウム、ジルコニウム、マンガン、ケイ素、銅、バナジウム、セリウム、マグネシウム及び窒素の内の 1 種又はそれ以上から選択された付随的元素及び不純物であるメルトを調製する工程を含む、請求項 1 に記載の合金の製造方法。

40

【請求項 15】

前記メルトが、鑄造品に成形され、ここで該鑄造品は、各段階間で $0.5^\circ\text{C}/\text{秒}$ という加熱速度で、1282℃にて 2 時間、1292℃にて 2 時間、1300℃にて 6 時間、及び 1305℃にて 4 時間処理し；及び空気中で室温まで冷却することにより均質化される、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

前記鑄造品が、1121℃にて 4 時間、引続き 871℃にて 20 時間処理することにより焼き戻しされる、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

請求項 1 に記載の合金を含有する製作品であって、該合金が、質量基準で、4%~7% のア

50

ルミニウム、0%～0.2%の炭素、7%～11%コバルト、5%～9%のクロム、0.01%～0.2%のハフニウム、0.5%～2%のモリブデン、0.1%～1.5%のレニウム、8%～10.5%のタンタル、0.01%～0.5%のチタン、及び6%～10%のタングステンを含み、その残部が、ニッケル及び、鉄、ニオブ、ルテニウム、ジルコニウム、マンガン、ケイ素、銅、バナジウム、セリウム、マグネシウム及び窒素の内の1種又はそれ以上から選択された付随的元素及び不純物である、前記製作品。

【請求項18】

工業用ガスタービンのブレード又は航空宇宙工学用途において使用されるブレードである、請求項17に記載の製作品。

【発明の詳細な説明】

10

【背景技術】

【0001】

〔関連出願との相互参照〕

本件特許出願は、2014年5月27日付で出願された米国仮特許出願第62/003,326号に対する優先権を主張するものであり、またその全体を、言及することによりここに組入れる。

〔政府の利害関係に関する申立〕

【0002】

本件発明は、米国エネルギー省によって裁定された、契約番号DE-SC0009592の下に、政府の支援によって行われたものであった。当該政府は、本件発明において、幾分かの権利を有する。

20

【0003】

工業用ガスタービン（IGT）の熱効率を改善するべく入口ガス温度を高めるために、タービンブレード材料は、優れたクリープ破壊耐性を持つことが要求される。Ni-基単結晶（SX）製のブレードは、一方向凝固（solidified）されたブレードと比較して、より高いクリープ強度を有しており、また航空宇宙工学エンジンにおいて広く利用されている。しかし、一般的により大型の casting 品（例えば、航空宇宙工学と比較して2-3倍）を必要とする、IGTsにおけるその利用は、例えば斑点形成（freckling）、高角境界（HAB）形成、粒核形成（grain nucleation）、及び収縮／多孔質等の casting 関連欠陥及び例えば高温溶体（solution）加熱処理中の初期融解及び再結晶化等の casting 後の欠陥のために制限される。従って、大型の IGT ブレード部品として効果的に casting することができ、一方で現存する最新の SX エアロタービン（aeroturbine）ブレード合金、例えばルネ N5（René N5）に匹敵する優れたレベルのクリープ特性を維持する、新規な Ni-基 SX 超合金に対する市場のニーズがある。

30

【発明の概要】

【0004】

一局面においては、合金が開示され、該合金は、質量基準で、約4%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約7%～約11%のコバルト、約5%～約9%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.5%のチタン、及び約6%～約10%のタングステンを含み、その残部は本質的にニッケル及び付随的（incidental）元素及び不純物である。

40

もう一つの局面において、開示されるのは、以下の方法により製造される合金であり、該方法は、質量基準で、約4%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約7%～約11%のコバルト、約5%～約9%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.5%のチタン、及び約6%～約10%のタングステンを含み、残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物であるメルトを製造する段階を含み、ここにおいて該メルトは、成形によって casting 品とされ、該 casting 品は、各段

50

階間で0.5℃/秒という加熱速度で、1282℃にて2時間、1292℃にて2時間、1300℃にて6時間、及び1305℃にて4時間処理し、引き続き空気中で室温まで冷却することにより均質化され、また該均質化された鑄造品は、1121℃にて4時間、引き続き871℃にて20時間の処理により焼き戻しされる。

もう一つの局面においては、以下の合金を含む製作品が開示され、該合金は、質量基準で、約4%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約7%～約11%コバルト、約5%～約9%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.5%のチタン、及び約6%～約10%のタングステンを含み、その残部は本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である。

10

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図1】 図1は、模範的単結晶性ニッケル基合金に係る処理－構造－特性の関連性を例証する、システム設計チャートである。

【図2】 図2は、アロイ（Alloy）A（QTSXとして表示されている）及びルネN5（Rene N5）の鑄造品に係る写真である。

【図3】 図3は、アロイAの鑄造品に係るマップであり、該マップは、斑点及び一次デンドライトアーム間隔（primary dendrite arm spacing）について解析された様々な領域を示す。

【図4】 図4は、アロイA及びルネN5の成長方向及び横軸に沿った、鑄造品の微細構造を示す、一連の顕微鏡写真である。

20

【図5】 図5は、アロイA及びルネN5の処理変数（ G/λ_1^2 ）に対して、設計パラメータ（ $\Delta\rho^0 \cdot ^2$ ）を関連付けるグラフである。

【図6】 図6は、一連の温度における等時熱処理（isochronal heat treatment）後の、アロイAの微細構造を示す、一連の顕微鏡写真である。

【図7】 図7は、均質化後のアロイAに係る微細構造を示す、顕微鏡写真である。

【図8】 図8は、アロイA及びルネN5に関する、様々な焼き戻し条件に対する硬さ（y-軸）対エージング時間（x-軸）を示すグラフである。

【図9】 図9は、上記焼き戻し工程後の、アロイA及びルネN5の微細構造を示す、一連の顕微鏡写真である。

30

【図10】 図10は、アロイAのナノ構造に係るリープ（LEAP）解析を例証する図である。

【図11】 図11は、1150℃における長期間のエージング実験中の、一連の時点におけるアロイA及びルネN5の微細構造を示す、一連の顕微鏡写真である。

【図12】 図12は、1150℃における、アロイA及びルネN5の硬さとエージングとの間の関連性を示すグラフである。

【0006】

【図13】 図13は、第二の群の単結晶性ニッケル基合金の鑄造品に係る幾何学的設計を示す、一連の図である。「1」、「2」及び「3」により表示された該鑄造品上の位置は、斑点（freckles）が最も形成され易い位置として特定された。

40

【図14】 図14は、アロイA（ケステックアロイ（Questek Alloy）と表示されている）及びルネN5に係る第二の群の鑄造品の上面に係る写真である。その黒色の矢印が、斑点を指し示している。

【図15】 図15は、アロイA（ケステックアロイと表示されている）及びルネN5に係る第二の群の鑄造品の裏面に係る写真である。その黒色の矢印が、斑点を指し示している。

【図16】 図16は、例となる温度750℃における酸素分圧の関数としての、カルファッド（CALPHAD）法により計算された、アロイA内の安定な相に関する相図である。これらの予測は、酸化中に形成される該安定な酸化物相を決定するのに使用される。

【図17】 図17は、様々な温度における、密着性の外部酸化物フィルム形成を実現す

50

るのに必要な、臨界的Cr及びAl含有率の予測（ワグナー（W a g n e r）の酸化モデルに関するヴァール（W a h l）の改良から予想された）を、該温度範囲内での酸化に対して利用可能な、アロイAにおけるCr及びAl含有率と比較して描写したグラフである。

【図18】 図18は、1000℃にて100時間に渡り空气中で酸化した後の、アロイAの表面層に係る走査型電子顕微鏡写真である。図示されているのは、この酸化された表面層における特定の元素の定量的な凝離に係る、一連のEDS組成のマップであり、密着性の外部 Al_2O_3 及び Cr_2O_3 保護酸化物層を示し、図16及び図17のモデル予測を正当なものであると立証している。

【図19】 図19は、一連の異なる温度における、一連の市販の合金と比較した、アロイA（QTSXと表示される）の0.2%オフセット降伏強さを描写するグラフである。

【図20】 図20は、一連の市販の合金と比較した、アロイA（QTSXと表示される）に係る破壊応力を描写したグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0007】

開示されるのは、ニッケル基合金、該合金の製造方法、及び該合金を含む製作品である。開示される合金は、単結晶性合金として鋳造することができ、また既存のニッケル基合金を超える改善された加工性及び物理的特性両者を持ち、このことは、該合金を高温用途において有用なものとする。

上記の開示された合金は、既存のニッケル基合金に対して、改善された鋳造性（加工性）、改善された高温安定性、及び改善された析出物増強性を持つ。これらの改善された特性は、既存の単結晶性ニッケル基合金に比してより少量のレニウム（例えば、約1質量%）を組み込むという設計の結果である。この設計は、既存の単結晶性ニッケル基合金に比して、凝固（solidification）の際の液体密度差（液体浮揚性（liquid buoyancy））における減少へと導く。順に、液体浮揚性における低下は、高い鋳造収率、耐斑点性（freckle resistance）、及び粒界が存在しないことを含む、該合金に係る加工性の改善へと導く。

【0008】

図1に示したように、適当な合金特性は、製作品の所望の性能に依存して選択することができる。単結晶凝固法は、該所望の合金構造を実現するのに使用される。液-固の粥状ゾーン（mushy zone）において、デンドライト間液体特性、例えば液体浮揚性及び耐斑点性は、該合金の加工性及び欠陥を持たない単結晶構造の実現能力に直接影響を与える。鋳造後の該均質化／溶体化段階は、低い γ/γ' 格子不整合及び高い γ' 相画分によって特徴付けられる強化相構造を実現するのに使用される。この構造は、直接、高い強度及び良好な耐クリープ性を持つ製作品へと導く。

耐斑点性が、凝固中の上記合金の液体密度に関連しており、また次式： $Ra = C \Delta \rho^0 \cdot \Delta T^0 \cdot [\lambda_1^2 (G, R) / G]$ によって関連付けられているように、該合金のレイリー数に基いていることが確定された。該レイリー数は、順に斑点が該合金中に形成されるか否かを決定付ける値と関連している。

計算モデルが、一連の熱力学的手段及びデータベースを結び付けることにより、該合金の凝固中の斑点形成の確立を決定するために、液体浮揚性に基いて開発された。該モデル及びデータベースは、ある範囲の既存のニッケル基合金に関連して、正確に調べられ、かつ正しいものと立証された。代表的な既存のニッケル基合金を、上記開示された合金（アロイA）に係る設計との対比で、以下の表1にまとめた。

【0009】

【表 1】

表1										
合金	Al (%)	Co (%)	Cr (%)	Hf (%)	Mo (%)	Re (%)	Ta (%)	Ti (%)	W (%)	その他(%)
PWA1480	5	5	10	--	--	--	12	1.5	4	
PWA1483	3.6	9	12.1	--	1.9	--	5	4.1	3.8	0.07C
GTD444	4.2	7.5	9.8	0.15	1.5	--	4.8	3.5	6	0.08C
CMSX7	5.7	10	6	0.2	0.6	--	9	0.8	9	
CMSX8	5.7	10	5.4	0.2	0.6	1.5	8	0.7	8	
PWA1484	5.6	10	5	0.1	2	3	8.7	--	6	
CMSX4	5.6	9	6.5	0.1	0.6	3	6.5	1	6	
ルネN5	6.2	7.5	7	0.15	1.5	3	6.5	--	5	0.01Y
アロイA, 設計体	5.9	9.1	7.1	0.1	0.9	1	9.4	0.1	8	

10

【0010】

様々な加工パラメータが、各合金に対して決定された。全て1000℃という温度にて計算された、上記 γ' 相画分、 γ/γ' 格子不整合、及び界面エネルギーで規格化された粗大化速度定数(K_{MP})が含まれる。加えて、20%凝固における($\Delta\rho^{0.2}$)及び40%凝固における($\Delta\rho^{0.4}$)液体浮揚性における減少も計算された。以下の表2は、各合金に関するこれらパラメータの値を示す。アロイA設計体(A l l o y A d e s i g n)について得られた値は、低い液体浮揚性の差を明らかに示しており、また低い粗大化速度が、該合金における物理的欠陥を回避する上で好ましい。更に、該アロイA設計体のモデル化が、低い γ/γ' 格子不整合と共に高い γ' 相画分を予測したが、このことは該 γ' 析出物の立方体状(cuboidal)の形態(morphology)の確立を可能とする。該アロイAの設計体は、レニウムを含む他のニッケル-基合金よりも、一層少量のレニウムを含む。このより少ない量は、上記その他の合金に対して高い γ' 相画分を維持しつつ、低減された浮揚性差の予測へと導く。アロイAのクリープ挙動も、より多量のレニウムを含む合金のものと類似するものと予測される。該クリープ挙動の予測は、リードクリープメリットインデックス(Reed Creep Merit Index)を計算することにより達成することができ、これは合金のクリープ挙動を評価するための公知の方法である(Zhu, Z.; Hoglund, L.; Larsson, H.; Reed, R. C. Acta Materialia, 2015, 90, 330-343; 及びReed, R. C. 等, Superalloy, 2012, 197を参照のこと)。この低減された量のレニウムは、同様にこのことが、該合金の製造に係る全体としてのコストの低減に役立つことから、該設計体にとって有益であった。

20

30

【0011】

【表 2】

表2						
データベース	TCNI6		Ni7 + NIST-Ni	パンニッケル(PanNickel)/TCNI6		
合金	f_{γ} (%)*	不整合 (%)*	K_{MP} *	$\Delta\rho^{0.2}$	$\Delta\rho^{0.4}$	RCMI**($m^{-2}s*10^{15}$)
GTD444	64.33	-0.144	1.32×10^{-19}	-0.01487	-0.03388	--
PWA1480	63.60	0.071	1.06×10^{-19}	-0.00465	-0.01120	--
PWA1483	47.05	-0.122	1.22×10^{-19}	-0.00932	-0.02178	2.77
PWA1484	56.05	-0.243	5.97×10^{-20}	-0.01200	-0.02221	5.68
ルネN5	58.80	-0.332	7.17×10^{-20}	-0.02192	-0.04558	3.82
CMSX4	57.84	-0.226	6.00×10^{-20}	-0.02642	-0.05875	4.51
CMSX7	61.67	-0.253	9.83×10^{-20}	-0.01167	-0.02728	--
CMSX8	59.83	-0.019	6.33×10^{-20}	-0.01912	-0.04292	--
アロイA	59.25	-0.271	6.59×10^{-20}	-0.01037	-0.02210	3.97

*: f_{γ} 、 γ/γ' 格子不整合、及び K_{MP} は温度1000℃において計算された。

** : RCMI : リードクリープメリットインデックス(Reed Creep Merit Index)

【0012】

同様にモデル化され、また予測されるのは、既存のニッケル基合金と比較した、アロイAの設計体に係る重要な平衡温度であった(表3)。この熱処理窓(heat treatment window)の予測は、結果として5-20℃の間の該アロイA設計体に関する均質化窓(homogenizing window)(ソルバスと固相線との間の差)をもたらした。

【0013】

【表 3】

表3						
データベース	TCNI6			Ni7		
合金	ソルバス (°C)	固相線 (°C)	液相線 (°C)	ソルバス (°C)	固相線 (°C)	液相線 (°C)
PWA1484	1290.5	1339.0	1391.0	1278.5	1328.6	1381.9
CMSX4	1270.0	1338.1	1389.9	1257.4	1333.7	1380.0
ルネN5	1307.0	1335.0	1393.5	1271.4	1335.2	1380.0
CMSX7	1298.3	1300.5	1376.0	1287.1	1301.7	1359.1
CMSX8	1293.8	1315.8	1384.8	1285.0	1319.4	1370.0
アロイA	1310.7	1315.6	1373.2	1281.0	1303.0	1358.9

【0014】

これらを基にして、アロイAの設計体に係る包括的なモデル化は、新規な単結晶性ニッケル基合金を開発するための手引きを与えた。加工パラメータの正確な予想は、結果として既存の合金を超える改善された加工性を持ち、欠陥を持たない単結晶性ニッケル基合金の形成をもたらす。該合金は、また高い強度、高温安定性、及び高い耐クリープ性を必要とする高温用途における、該合金の使用を可能とする物理的諸特性をも持つ。

I. 用語の定義:

特段の記載がある場合を除き、ここにおいて使用される全ての技術的及び科学的な用語は、当業者によって普通に理解されているものと同様な意味を持つ。矛盾がある場合には、定義を含む本件文書が調整するであろう。好ましい方法及び材料は、以下に記載されるが、ここにおいて記載されるものと類似する又は等価な方法及び材料は、本発明の実施又はテストにおいて使用し得る。ここにおいて述べられているあらゆる刊行物、特許出願、特許及びその他の参考文献は、その全体を言及によりここに組入れる。ここにおいて開示

される材料、方法、及び例は、単なる例示的なものであり、何ら限定を意図するものではない。

ここにおいて使用する「耐クリープ性 (creep resistance)」との用語は、長期間に渡り一定の負荷の下に置かれた際に、あらゆる型の変形に抵抗する能力を表すことができる。

ここにおいて使用する「斑点 (freckle)」との用語は、凝固中の対流の不安定性による鑄造欠陥を表すことができる。

ここにおいて使用する「鑄造欠陥 (casting defect)」との用語は、単結晶合金製の鑄造品におけるある範囲に及ぶ望ましくぬ欠陥を表すことができる。通常の鑄造欠陥は、斑点、粒子欠陥 (grain defect) (例えば、スライバー (slivers) 及びスプリアス (spurious) 粒子)、及び多孔性を包含する。

10

【0015】

ここにおいて使用する「液体浮揚性 (liquid buoyancy)」との用語は、圧力の差に起因する、流体によって及ぼされる上向きの力を表すことができ、また上記凝固の様々な段階における該液体の密度の指標であり得る。

ここにおいて使用する「 γ/γ' 格子不整合 (γ/γ' lattice misfit)」との用語は、異なる格子定数を特色とする2つの相が一緒になった状況を表すことができ、一般的に格子不整合は、格子定数における差の割合である。

ここにおいて使用する「 γ' 相画分 (γ' phase fraction)」との用語は、モル単位で表された、全系に関する該 γ' 相の画分を表すことができる。

20

ここにおいて使用する「ソルバス (solvus)」との用語は、離溶又は分解溶融により形成される可能性のある数種の相からなる場から均質な固溶体を分離する、相図上の線 (二元系) 又は表面 (三元系) を表すことができる。ソルバスは、上記 γ' 相のソルバスを表すことができる。

ここにおいて使用する「固相線 (solidus)」との用語は、特定の温度であって、該温度以下において、混合物が完全に固体であるような温度を表すことができる。

ここにおいて使用する「液相線 (liquidus)」との用語は、特定の温度であって、該温度以上において、ある物質が完全に液体であり、かつ結晶が上記メルトと共に熱力学的平衡状態で共存することのできる該温度を表すことができる。

ここにおいて使用する「界面エネルギーで規格化された粗大化速度定数 (interfacial energy normalized coarsening rate constant)」との用語は、界面エネルギー及びモル体積に対する規格化を伴う、モーラル&パーディー (Morrall and Purdy) モデルによって誘導される粗大化速度定数表すことができる。これは、与えられた温度において、該析出物が如何に迅速に粗大化するかに係る指標である。この数が大きい程、該析出物はより迅速に粗大化する。

30

【0016】

ここにおいて使用する「位相幾何学的に最密充填された相 (topologically close-packed phases)」なる用語は、痕跡量を超える量で存在する場合に、通常は σ 及びラーベス (Laves) 等の板状又は針状の相である、超合金中に形成される有害な相を表すことができる。

40

ここにおいて使用する「立方体状の形態 (cuboidal morphology)」という用語は、上記 γ' 析出物が球状から立方体状に発達する際の、典型的な析出物—硬質化ニッケル—基超合金の微細構造を表すことができる。

ここにおいて使用する「G」なる用語は、上記凝固中の特定の位置の局所的な熱勾配を表すことができる。

ここにおいて使用する「 λ_1 」との用語は、長さで表した、一次デンドライトアーム間の間隔を表すことができる。

本明細書及び添付した特許請求の範囲において使用されているような、単数形の冠詞「ア (a)」、「アン (an)」及び「ザ (the)」は、文脈上そうでないことが明記さ

50

れていない限り、複数への論及も含む。ここにおいて使用する「含む (comprise (s))」、「含む (include (s))」、「持っている (having)」、「持つ (has)」、「できる (can)」、「含む (contain (s))」及びその変形は、制限のない移行句、専門用語、又は単語であるものとし、これらは付随的な行為又は構造の可能性を排除するものではない。本件開示は、同様に他の態様が、明確に述べていようが、いまいが、ここに提示された態様又は要素を「含み」、「これらからなり」、及び「本質的にこれらからなる」ことを意図している。

【0017】

接続語の「又は (or)」は、この接続語により関連付けられた1又はそれ以上の掲載された要素に係る任意の及び全ての組合せを含む。例えば、「A又はBを含む装置」という表現は、Aを含み、Bが存在しない装置、Bを含み、Aが存在しない装置、あるいはA及びB両者が存在する装置を表すことができる。「A、B、…及びNの少なくとも一つ」又は「A、B、…N、又はこれらの組合せの少なくとも一つ」という表現は、A、B、…及びNを含む群から選択される1又は2以上の要素、即ち任意の1要素単独又はその他の要素の1またな2以上との組合せを含む、該要素A、B、…又はNの1又は2以上からなる任意の組合せを意味する、最も広い意味で定義されており、ここで該他の要素は、同様に列挙されていない追加の要素を、組合せとして含むことができる。

量に関連して使用される修飾語「約 (about)」は、述べられている値を含み、また文脈により指示された意味を持つ (例えば、該値は、少なくとも特定の量の測定値に関連する程度の誤差を含む)。該修飾語「約」は、同様に該当する2つの終点の絶対値により規定される範囲を明示しているものと考えるべきである。例えば、「約2～約4」という表現は、同様に「2～4」という範囲を明示している。この用語「約」は、表示された数値の±10%を表すことができる。例えば、「約10%」とは、9%～11%の範囲を表すことができ、及び「約1」とは、0.9～1.1を意味することができる。「約」に係るその他の意味は、その文脈、例えば丸め法から明確であり、そんなわけで例えば「約1」は、同様に0.5～1.4を意味することもできる。

ここに記載された任意の列挙された範囲は、明確な詳説に対する必要性無しに、その範囲内の全ての値を包含し、また含むものと理解すべきである。

【0018】

II. 合金

開示される合金は、アルミニウム、炭素、コバルト、クロム、ハフニウム、モリブデン、レニウム、タンタル、チタン、タングステン、及びニッケルを、偶発的な元素 (incidental elements) 及び不純物と共に含むことができる。

上記合金は、質量基準で、約4%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約7%～約11%のコバルト、約5%～約9%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.5%のチタン、及び約6%～約10%のタングステンを含むことができ、その残部は本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である。ここに記載される合金は、上述の成分のみからなるものであり得、又はこのような成分から本質的になり、あるいは他の態様においては、追加の成分を含むことができるものと理解される。

上記合金は、質量基準で、約5%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約8%～約10%のコバルト、約6%～約8%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8.5%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.2%のチタン、及び約7%～約9%のタングステンを含むことができ、その残部は本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である。ここに記載される合金は、上述の成分のみからなるものであり得、又はこのような成分から本質的になり、あるいは他の態様においては、追加の成分を含むことができるものと理解される。

上記合金は、質量基準で、約5.5%～約6.5%のアルミニウム、約8.5%～約9

．５％のコバルト、約６．５％～約７．５％のクロム、約０．０５％～約０．１５％のハフニウム、約０．６％～約１．２％のモリブデン、約０．８％～約１．２％のレニウム、約９％～約１０％のタンタル、約０．０５％～約０．１５％のチタン、約７．５％～約８．５％のタングステンを含むことができ、その残部は、本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である。

【００１９】

上記合金は、質量基準で、約４％～約７％のアルミニウム、約５％～約７％のアルミニウム、約５．５％～約７％のアルミニウム、約５．５％～約６．５％のアルミニウム、約５．５％～約６％のアルミニウム、約５．６％～約６％のアルミニウム、約５．７％～約６％のアルミニウム、約５．８％～約６％のアルミニウム、約５．９％～約６％のアルミニウム、約５．８％～約５．９％のアルミニウム、約５．８５％～約５．９％のアルミニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、５％～７％のアルミニウム、５．５％～７％のアルミニウム、５．５％～６．５％のアルミニウム、５．５％～６％のアルミニウム、５．６％～６％のアルミニウム、５．７％～６％のアルミニウム、５．８％～６％のアルミニウム、５．９％～６％のアルミニウム、５．８％～５．９％のアルミニウム、又は５．８５％～５．９％のアルミニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、４．０％、４．１％、４．２％、４．３％、４．４％、４．５％、４．６％、４．７％、４．８％、４．９％、５．０％、５．０５％、５．１％、５．１５％、５．２％、５．２５％、５．３％、５．３５％、５．４％、５．４５％、５．５％、５．５５％、５．６％、５．６５％、５．７％、５．７５％、５．８％、５．８１％、５．８２％、５．８３％、５．８４％、５．８５％、５．８６％、５．８７％、５．８８％、５．８９％、５．９％、５．９１％、５．９２％、５．９３％、５．９４％、５．９５％、５．９６％、５．９７％、５．９８％、５．９９％、６．０％、６．０５％、６．１％、６．１５％、６．２％、６．２５％、６．３％、６．３５％、６．４％、６．４５％、６．５％、６．５５％、６．６％、６．６５％、６．７％、６．７５％、６．８％、６．８５％、６．９％、６．９５％、又は７．０％のアルミニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、約４％のアルミニウム、約５％のアルミニウム、約５．５％のアルミニウム、約５．８％のアルミニウム、約５．８９％のアルミニウム、約５．９％のアルミニウム、約６％のアルミニウム、約６．１％のアルミニウム、約６．５％のアルミニウム、又は約７％のアルミニウムを含むことができる。

上記合金は、質量基準で、０％～約０．２％の炭素、約０．０１％～約０．２％の炭素、０％～約０．１％の炭素、約０．０１％～約０．１％の炭素、又は約０．１％～約０．２％の炭素を含むことができる。該合金は、質量基準で、０％～０．２％の炭素、０．０１％～０．２％の炭素、０％～０．１％の炭素、０．０１％～０．１％の炭素、又は０．１％～０．２％の炭素を含むことができる。該合金は、質量基準で、０．０１％、０．０２％、０．０３％、０．０４％、０．０５％、０．０６％、０．０７％、０．０８％、０．０９％、０．１％、０．１１％、０．１２％、０．１３％、０．１４％、０．１５％、０．１６％、０．１７％、０．１８％、０．１９％、又は０．２％の炭素を含むことができる。該合金は、質量基準で、約０．０１％の炭素、約０．１％の炭素、約０．１２％の炭素、約０．１４％の炭素、約０．１５％の炭素、又は約０．２％の炭素を含むことができる。

【００２０】

上記合金は、質量基準で、約７％～約１１％のコバルト、約８％～約１０％のコバルト、約８．５％～約１０％のコバルト、約８．５％～約９．５％のコバルト、約８．７％～約９．３％のコバルト、約８．８％～約９．２％のコバルト、約８．９％～約９．１％のコバルト、約８．９５％～約９．１５％のコバルト、約９％～約９．１５％のコバルト、又は約９％～約９．１％のコバルトを含むことができる。該合金は、質量基準で、７％～１１％のコバルト、８％～１０％のコバルト、８．５％～１０％のコバルト、８．５％～９．５％のコバルト、８．７％～９．３％のコバルト、８．８％～９．２％のコバルト、８．９％～９．１％のコバルト、８．９５％～９．１５％のコバルト、９％～９．１５％

のコバルト又は9%～9.1%のコバルトを含むことができる。該合金は、質量基準で、7.0%、7.1%、7.2%、7.3%、7.4%、7.5%、7.6%、7.7%、7.8%、7.9%、8.0%、8.05%、8.1%、8.15%、8.2%、8.25%、8.3%、8.35%、8.4%、8.45%、8.5%、8.55%、8.6%、8.65%、8.7%、8.75%、8.8%、8.85%、8.9%、8.91%、8.92%、8.93%、8.94%、8.95%、8.96%、8.97%、8.98%、8.99%、9.0%、9.01%、9.02%、9.03%、9.04%、9.05%、9.06%、9.07%、9.08%、9.09%、9.1%、9.15%、9.2%、9.25%、9.3%、9.35%、9.4%、9.45%、9.5%、9.55%、9.6%、9.65%、9.7%、9.75%、9.8%、9.85%、9.9%、9.95%、10.0%、10.1%、10.2%、10.3%、10.4%、10.5%、10.6%、10.7%、10.8%、10.9%、又は11.0%のコバルトを含むことができる。

10

該合金は、質量基準で、約7%のコバルト、8%のコバルト、約8.5%のコバルト、約8.8%のコバルト、約8.9%のコバルト、約9%のコバルト、約9.04%のコバルト、約9.1%のコバルト、約9.2%のコバルト、約9.5%のコバルト、約10%のコバルト、約11%のコバルトを含むことができる。

【0021】

上記合金は、質量基準で、約5%～約9%のクロム、約6%～約8%のクロム、約6.5%～約8%のクロム、約6.5%～約7.5%のクロム、約6.7%～約7.3%のクロム、約6.8%～約7.2%のクロム、約6.9%～約7.1%のクロム、約6.95%～約7.15%のクロム、約7%～約7.15%のクロム、又は約7%～約7.1%のクロムを含むことができる。該合金は、質量基準で、6%～8%のクロム、6.5%～8%のクロム、6.5%～7.5%のクロム、6.7%～7.3%のクロム、6.8%～7.2%のクロム、6.9%～7.1%のクロム、6.95%～7.15%のクロム、7%～7.15%のクロム又は7%～7.1%のクロムを含むことができる。該合金は、質量基準で、5.0%、5.1%、5.2%、5.3%、5.4%、5.5%、5.6%、5.7%、5.8%、5.9%、6.0%、6.05%、6.1%、6.15%、6.2%、6.25%、6.3%、6.35%、6.4%、6.45%、6.5%、6.55%、6.6%、6.65%、6.7%、6.75%、6.8%、6.85%、6.9%、6.91%、6.92%、6.93%、6.94%、6.95%、6.96%、6.97%、6.98%、6.99%、7.0%、7.01%、7.02%、7.03%、7.04%、7.05%、7.06%、7.07%、7.08%、7.09%、7.1%、7.15%、7.2%、7.25%、7.3%、7.35%、7.4%、7.45%、7.5%、7.55%、7.6%、7.65%、7.7%、7.75%、7.8%、7.85%、7.9%、7.95%、8.0%、8.1%、8.2%、8.3%、8.4%、8.5%、8.6%、8.7%、8.8%、8.9%又は9.0%のクロムを含むことができる。該合金は、質量基準で、約5%のクロム、約6%のクロム、約6.5%のクロム、約6.8%のクロム、約6.9%のクロム、約7%のクロム、約7.03%のクロム、約7.1%のクロム、約7.2%のクロム、約7.5%のクロム、約8%のクロム又は約9%のクロムを含むことができる。

20

30

40

上記合金は、質量基準で、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.1%～約0.2%のハフニウム、約0.01%～約0.1%のハフニウム、約0.05%～約0.15%のハフニウム、約0.08%～約0.12%のハフニウム、又は約0.09%～約0.11%のハフニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、0.01%～0.2%のハフニウム、0.1%～0.2%のハフニウム、0.01%～0.1%のハフニウム、0.05%～0.15%のハフニウム、0.08%～0.12%のハフニウム、又は0.09%～0.11%のハフニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%、0.06%、0.07%、0.08%、0.09%、0.1%、0.11%、0.12%、0.13%、0.14%、

50

0.15%、0.16%、0.17%、0.18%、0.19%又は2.0%のハフニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、約0.01%のハフニウム、約0.1%のハフニウム、約0.15%のハフニウム、約0.2%のハフニウムを含むことができる。

【0022】

上記合金は、質量基準で、約0.5%～約2%のモリブデン、約0.6%～約2%のモリブデン、約0.6%～約1.5%のモリブデン、約0.6%～約1.2%のモリブデン、約0.7%～約1.1%のモリブデン、約0.8%～約1.0%のモリブデン、約0.85%～約0.95%のモリブデン、又は約0.9%～約1.0%のモリブデンを含むことができる。該合金は、質量基準で、0.5%～2%のモリブデン、0.6%～2%のモリブデン、0.6%～1.5%のモリブデン、0.6%～1.2%のモリブデン、0.7%～1.1%のモリブデン、0.8%～1.0%のモリブデン、0.85%～0.95%のモリブデン、又は0.9%～1.0%のモリブデンを含むことができる。該合金は、質量基準で、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.81%、0.82%、0.83%、0.84%、0.85%、0.86%、0.87%、0.88%、0.89%、0.9%、0.91%、0.92%、0.93%、0.94%、0.95%、0.96%、0.97%、0.98%、0.99%、1.0%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、又は2%のモリブデンを含むことができる。該合金は、質量基準で、約0.5%のモリブデン、約0.6%のモリブデン、約0.8%のモリブデン、約0.9%のモリブデン、約0.91%のモリブデン、約1%のモリブデン、約1.1%のモリブデン、約1.2%のモリブデン、約1.5%のモリブデン、又は約2%のモリブデンを含むことができる。

上記合金は、質量基準で、0%～約1.5%のレニウム、約0.1%～約1.5%のレニウム、約0.5%～約1.5%のレニウム、約0.6%～約1.2%のレニウム、約0.7%～約1.1%のレニウム、約0.8%～約1.2%のレニウム、約0.9%～約1.1%のレニウム、又は約0.95%～約1.05%のレニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、0%～1.5%のレニウム、0.1%～1.5%のレニウム、0.5%～1.5%のレニウム、0.6%～1.2%のレニウム、0.7%～1.1%のレニウム、0.8%～1.2%のレニウム、0.9%～1.1%のレニウム、又は0.95%～1.05%のレニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、0.91%、0.92%、0.93%、0.94%、0.95%、0.96%、0.97%、0.98%、0.99%、1.0%、1.01%、1.02%、1.03%、1.04%、1.05%、1.06%、1.07%、1.08%、1.09%、1.1%、1.2%、1.3%、1.4%、又は1.5%のレニウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、約0.5%のレニウム、約0.6%のレニウム、約0.8%のレニウム、約0.9%のレニウム、約1%のレニウム、約1.03%のレニウム、約1.05%のレニウム、約1.1%のレニウム、約1.2%のレニウム、又は約1.5%のレニウムを含むことができる。

【0023】

上記合金は、質量基準で、約8%～約10.5%のタンタル、約8.5%～約10.5%のタンタル、約8.5%～約10%のタンタル、約8.5%～約9.5%のタンタル、約9%～約10%のタンタル、約9.2%～約9.8%のタンタル、又は約9.4%～約9.6%のタンタルを含むことができる。該合金は、質量基準で、8%～10.5%のタンタル、8.5%～10.5%のタンタル、8.5%～10%のタンタル、8.5%～9.5%のタンタル、9%～10%のタンタル、9.2%～9.8%のタンタル、又は9.4%～9.6%のタンタルを含むことができる。該合金は、質量基準で、8.0%、8.1%、8.2%、8.3%、8.4%、8.5%、8.6%、8.7%、8.8%、8.9%、9%、9.1%、9.2%、9.3%、9.4%、9.41%、9.42%、9.43%、9.44%、9.45%、9.46%、9.47%、9.48%、9.49%、

9.5%、9.51%、9.52%、9.53%、9.54%、9.55%、9.56%、9.57%、9.58%、9.59%、9.6%、9.7%、9.8%、9.9%、10%、10.1%、10.2%、10.3%、10.4%、又は10.5%のタンタルを含むことができる。該合金は、質量基準で、約8.0%のタンタル、約8.5%のタンタル、約9%のタンタル、約9.4%のタンタル、約9.5%のタンタル、約9.6%のタンタル、約10%のタンタル、又は約10.5%のタンタルを含むことができる。

上記合金は、質量基準で、約0.01%～約0.5%のチタン、約0.01%～約0.2%のチタン、約0.1%～約0.2%のチタン、約0.01%～約0.15%のチタン、約0.05%～約0.15%のチタン、約0.08%～約0.12%のチタン、約0.09%～約0.11%のチタン、又は約0.1%～約0.12%のチタンを含むことができる。該合金は、質量基準で、0.01%～0.5%のチタン、0.01%～0.2%のチタン、0.1%～0.2%のチタン、0.01%～0.15%のチタン、0.05%～0.15%のチタン、0.08%～0.12%のチタン、0.09%～0.11%のチタン、又は約0.1%～約0.12%のチタンを含むことができる。該合金は、質量基準で、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%、0.06%、0.07%、0.08%、0.09%、0.1%、0.11%、0.12%、0.13%、0.14%、0.15%、0.16%、0.17%、0.18%、0.19%、0.2%、0.3%、0.4%、又は0.5%のチタンを含むことができる。該合金は、質量基準で、約0.01%のチタン、約0.1%のチタン、約0.11%のチタン、約0.15%のチタン、約0.2%のチタン、又は約0.5%のチタンを含むことができる。

【0024】

上記合金は、質量基準で、約6%～約10%のタングステン、約7%～約9%のタングステン、約7.5%～約9%のタングステン、約7.5%～約8.5%のタングステン、約7.5%～約8%のタングステン、約7.6%～約8%のタングステン、約7.7%～約8%のタングステン、約7.7%～約7.9%のタングステン、又は約7.8%～約7.9%のタングステンを含むことができる。該合金は、質量基準で、6%～10%のタングステン、7%～9%のタングステン、7.5%～9%のタングステン、7.5%～8.5%のタングステン、7.5%～8%のタングステン、7.6%～8%のタングステン、7.7%～8%のタングステン、7.7%～7.9%のタングステン、又は7.8%～7.9%のタングステンを含むことができる。該合金は、質量基準で、6.0%、6.1%、6.2%、6.3%、6.4%、6.5%、6.6%、6.7%、6.8%、6.9%、7.0%、7.05%、7.1%、7.15%、7.2%、7.25%、7.3%、7.35%、7.4%、7.45%、7.5%、7.55%、7.6%、7.65%、7.7%、7.71%、7.72%、7.73%、7.74%、7.75%、7.76%、7.77%、7.78%、7.79%、7.8%、7.81%、7.82%、7.83%、7.84%、7.85%、7.86%、7.87%、7.88%、7.89%、7.9%、7.91%、7.92%、7.93%、7.94%、7.95%、7.96%、7.97%、7.98%、7.99%、8.0%、8.01%、8.02%、8.03%、8.04%、8.05%、8.06%、8.07%、8.08%、8.09%、8.1%、8.15%、8.2%、8.25%、8.3%、8.35%、8.4%、8.45%、8.5%、8.55%、8.6%、8.65%、8.7%、8.75%、8.8%、8.85%、8.9%、8.95%、9.0%、9.1%、9.2%、9.3%、9.4%、9.5%、9.6%、9.7%、9.8%、9.9%、又は10.0%のタングステンを含むことができる。該合金は、質量基準で、約6%のタングステン、約7%のタングステン、約7.5%のタングステン、約7.8%のタングステン、約7.81%のタングステン、約7.9%のタングステン、約8%のタングステン、約8.1%のタングステン、約8.5%のタングステン、約9%のタングステン、又は約10%のタングステンを含むことができる。

上記合金は、質量基準で、ニッケル及び付随的元素及び不純物からなる残部を含むことができる。該用語「付随的元素及び不純物 (incidental elements

10

20

30

40

50

and impurities)」とは、炭素、ホウ素、鉄、ニオブ、ルテニウム、ランタン、ジルコニウム、マンガン、ケイ素、銅、バナジウム、セリウム、マグネシウム、及び窒素の内の1種又はそれ以上を含むことができる。

【0025】

上記付随的元素及び不純物は、炭素、ホウ素、鉄、ニオブ、ルテニウム、ランタン、ジルコニウム、マンガン、ケイ素、銅、バナジウム、セリウム、マグネシウム、及び窒素の内の1種又はそれ以上を含むことができる。

上記付随的元素及び不純物は、炭素（例えば、最大0.4%）、ホウ素（例えば、最大0.05%）、鉄（例えば、最大2%）、ニオブ（例えば、最大2%）、ルテニウム（例えば、最大2%）、ランタン（例えば、最大2%）、ジルコニウム（例えば、最大2%）、マンガン（例えば、最大2%）、ケイ素（例えば、最大2%）、銅（例えば、最大2%）、バナジウム（例えば、最大2%）、セリウム（例えば、最大2%）、マグネシウム（例えば、最大2%）、及び窒素（例えば、最大0.02%）の内の1種又はそれ以上を含むことができる。

上記合金は、質量基準で、5.9%のアルミニウム、9%のコバルト、7%のクロム、0.1%のハフニウム、0.9%のモリブデン、1%のレニウム、9.5%のタンタル、0.11%のチタン、及び7.8%のタングステンを含むことができ、その残部は本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である。該付随的元素及び不純物は、1種又はそれ以上の炭素（例えば、最大0.4%）、ホウ素（例えば、最大0.05%）、鉄（例えば、最大2%）、ニオブ（例えば、最大2%）、ルテニウム（例えば、最大2%）、ランタン（例えば、最大2%）、ジルコニウム（例えば、最大2%）、マンガン（例えば、最大2%）、ケイ素（例えば、最大2%）、銅（例えば、最大2%）、バナジウム（例えば、最大2%）、セリウム（例えば、最大2%）、マグネシウム（例えば、最大2%）、及び窒素（例えば、最大0.02%）を含むことができる。

上記合金は、質量基準で、5.9%のアルミニウム、9%のコバルト、7%のクロム、0.1%のハフニウム、0.9%のモリブデン、1%のレニウム、9.5%のタンタル、0.11%のチタン、及び7.8%のタングステンからなるものであり得、その残部は、本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物であり得る。該付随的元素及び不純物は、1種又はそれ以上の炭素（例えば、最大0.4%）、ホウ素（例えば、最大0.05%）、鉄（例えば、最大2%）、ニオブ（例えば、最大2%）、ルテニウム（例えば、最大2%）、ランタン（例えば、最大2%）、ジルコニウム（例えば、最大2%）、マンガン（例えば、最大2%）、ケイ素（例えば、最大2%）、銅（例えば、最大2%）、バナジウム（例えば、最大2%）、セリウム（例えば、最大2%）、マグネシウム（例えば、最大2%）、及び窒素（例えば、最大0.02%）を含むことができる。

【0026】

増強された耐酸化性及び／又は増強された遮熱被膜寿命が望まれる特定の態様において、上記合金は追加の元素を含むことができる。該追加の元素は、1種又はそれ以上のランタン及びイットリウムを含むことができる。該合金は、質量基準で、0%～約0.5%のランタンを含むことができる。該合金は、質量基準で、0%～約0.5%のイットリウムを含むことができる。

低傾角境界強化（low angle boundary strengthening）が望ましい、大型工業用ガスタービン単結晶用途のための特定の態様において、上記合金はホウ素を含むことができる。該合金は、質量基準で、0%～約0.5%のホウ素を含むことができる。

上記合金は、単結晶として、鑄造品の形状であり得る。該合金は、本質的に粒界を含まないものであってよい。該合金は、本質的に高傾角粒界を含まないものであり得る。該合金は、本質的に低傾角粒界を含まないものであり得る。該合金は、本質的にスライバグレイン（sliver grain）を含まないものであり得る。該合金は、本質的にバイグレイン（big grains）を含まないものであり得る。特定の態様において、該合金は、粒界を含むことはない。特定の態様において、該合金は高傾角粒界を含むことはな

10

20

30

40

50

上記合金は、本質的に斑点を含まないものであり得る。特定の態様において、該合金は斑点を含むことはない。

【 0 0 2 7 】

10

20

30

40

50

12000℃/cm³、13000℃/cm³、14000℃/cm³、又は15000℃/cm³という、該合金の20%凝固における G/λ_1^2 値を持つことができる。該合金は約2000℃/cm³、約2500℃/cm³、約3000℃/cm³、約3500℃/cm³、約4000℃/cm³、約4500℃/cm³、約5000℃/cm³、約5500℃/cm³、約6000℃/cm³、約6500℃/cm³、約7000℃/cm³、約7500℃/cm³、約8000℃/cm³、約8500℃/cm³、約9000℃/cm³、約9500℃/cm³、約10000℃/cm³、約11000℃/cm³、約12000℃/cm³、約13000℃/cm³、約14000℃/cm³、又は約15000℃/cm³という、該合金の20%凝固における G/λ_1^2 値を持つことができる。

10

【0028】

上記合金は、0～0.025g/cm³、0～0.02g/cm³、0～0.015g/cm³、0～0.011g/cm³、0～0.01g/cm³、又は0～0.005g/cm³という、該合金の20%凝固での液体密度における低下を示すことができる。該合金は、0.025g/cm³、0.024g/cm³、0.023g/cm³、0.022g/cm³、0.021g/cm³、0.02g/cm³、0.019g/cm³、0.018g/cm³、0.017g/cm³、0.016g/cm³、0.015g/cm³、0.014g/cm³、0.013g/cm³、0.012g/cm³、0.011g/cm³、0.01g/cm³、0.009g/cm³、0.008g/cm³、0.007g/cm³、0.006g/cm³、0.005g/cm³、0.004g/cm³、0.003g/cm³、0.002g/cm³、又は0.001g/cm³という、該合金の20%凝固での液体密度における低下を示すことができる。該合金は、約0.025g/cm³、約0.02g/cm³、約0.015g/cm³、約0.011g/cm³、約0.01g/cm³、又は約0.005g/cm³という、該合金の20%凝固での液体密度における低下を示すことができる。

20

上記合金は、0～0.035g/cm³、0～0.03g/cm³、0～0.025g/cm³、0～0.022g/cm³、0～0.02g/cm³、0～0.015g/cm³、0～0.01g/cm³、又は0～0.005g/cm³という、該合金の40%凝固での液体密度における低下を示すことができる。該合金は、0.035g/cm³、0.034g/cm³、0.033g/cm³、0.032g/cm³、0.031g/cm³、0.03g/cm³、0.029g/cm³、0.028g/cm³、0.027g/cm³、0.026g/cm³、0.025g/cm³、0.024g/cm³、0.023g/cm³、0.022g/cm³、0.021g/cm³、0.02g/cm³、0.019g/cm³、0.018g/cm³、0.017g/cm³、0.016g/cm³、0.015g/cm³、0.014g/cm³、0.013g/cm³、0.012g/cm³、0.011g/cm³、0.01g/cm³、0.009g/cm³、0.008g/cm³、0.007g/cm³、0.006g/cm³、0.005g/cm³、0.004g/cm³、0.003g/cm³、0.002g/cm³、又は0.001g/cm³という、該合金の40%凝固での液体密度における低下を示すことができる。該合金は、約0.035g/cm³、約0.03g/cm³、約0.025g/cm³、約0.022g/cm³、約0.02g/cm³、約0.015g/cm³、約0.011g/cm³、約0.01g/cm³、又は約0.005g/cm³という、該合金の40%凝固での液体密度における低下を示すことができる。

30

40

【0029】

上記合金は、本質的に位相幾何学的に最密充填された相を含まないものであり得る。特定の態様において、該合金は、位相幾何学的に最密充填された相を含むことはない。

上記合金は、エージング後に、50%を超える、51%を超える、52%を超える、53%を超える、54%を超える、55%を超える、56%を超える、57%を超える、58%を超える、59%を超える、60%を超える、61%を超える、62%を超える、63%を超える、64%を超える、65%を超える、66%を超える、67%を超える、6

50

8%を超える、69%を超える、又は70%を超える γ' 相画分を持つことができる。該合金は、エージング後に、50%、51%、52%、53%、54%、55%、56%、57%、58%、59%、60%、61%、62%、63%、64%、65%、65%、66%、67%、68%、69%、70%、71%、72%、73%、74%、75%、75%、76%、77%、78%、79%、又は80%という γ' 相画分を持つことができる。該合金は、エージング後に、約50%、約55%、約59%、約60%、約65%、約67%、約69%、約70%、又は約75%という、 γ' 相画分を持つことができる。

上記合金は、1150℃にて30時間に渡り該合金をエージングした後に、35%を超える、36%を超える、37%を超える、38%を超える、39%を超える、40%を超える、41%を超える、42%を超える、43%を超える、44%を超える、45%を超える、46%を超える、47%を超える、48%を超える、49%を超える、50%を超える、51%を超える、52%を超える、53%を超える、54%を超える、又は55%を超える、 γ' 相画分を持つことができる。該合金は、1150℃にて30時間に渡り該合金をエージングした後に、35%、36%、37%、38%、39%、40%、41%、42%、43%、44%、45%、46%、47%、48%、49%、50%、51%、52%、53%、54%、55%、56%、57%、58%、59%、60%、61%、62%、63%、64%、65%、66%、又は70%という、 γ' 相画分を持つことができる。該合金は、1150℃にて30時間に渡り該合金をエージングした後に、約35%、約40%、約45%、約47%、約50%、約55%、又は約60%という、 γ' 相画分を持つことができる。

【0030】

上記合金は、1000℃において、0～約-0.35%、0～約-0.3%、0～約-0.27%、0～約-0.25%、0～約-0.2%、0～約-0.15%、0～約-0.1%、又は0～約-0.5%という、 γ/γ' 格子不整合を持つことができる。該合金は、1000℃において、-0.35%、-0.34%、-0.33%、-0.32%、-0.31%、-0.3%、-0.29%、-0.28%、-0.27%、-0.26%、-0.25%、-0.24%、-0.23%、-0.22%、-0.21%、-0.2%、-0.19%、-0.18%、-0.17%、-0.16%、-0.15%、-0.14%、-0.13%、-0.12%、-0.11%、-0.1%、-0.09%、-0.08%、-0.07%、-0.06%、-0.05%、-0.04%、-0.03%、-0.02%、又は0.01%という、 γ/γ' 格子不整合を持つことができる。該合金は、1000℃において、約-0.35%、約-0.3%、約-0.27%、約-0.25%、約-0.2%、約-0.15%、約-0.11%、約-0.1%、又は約-0.05%という、 γ/γ' 格子不整合を持つことができる。

上記合金は、上記 γ' 析出物が立方体状の形態を持つのに十分に小さい、 γ/γ' 格子不整合を持つことができる。該合金の該 γ' 析出物は、立方体状の形態を持つことができる。

特定の態様において、該合金の該 γ' 析出物は、立方体状の形態を持つ。

上記合金は、 9.0×10^{-20} 又はそれ未満、 8.5×10^{-20} 又はそれ未満、 8.0×10^{-20} 又はそれ未満、 7.5×10^{-20} 又はそれ未満、 7.0×10^{-20} 又はそれ未満、 6.8×10^{-20} 又はそれ未満、 6.7×10^{-20} 又はそれ未満、 6.6×10^{-20} 又はそれ未満、 6.59×10^{-20} 又はそれ未満、 6.5×10^{-20} 又はそれ未満、 6.0×10^{-20} 又はそれ未満、 5.5×10^{-20} 又はそれ未満、又は 5.0×10^{-20} 又はそれ未満という、1000℃における界面エネルギーで規格化された粗大化率 (coarsening rate) を持つことができる。

該合金は、 9.0×10^{-20} 、 8.9×10^{-20} 、 8.8×10^{-20} 、 8.7×10^{-20} 、 8.6×10^{-20} 、 8.5×10^{-20} 、 8.4×10^{-20} 、 8.3×10^{-20} 、 8.2×10^{-20} 、 8.1×10^{-20} 、 8.0×10^{-20} 、 7.9×10^{-20} 、 7.8×10^{-20} 、 7.7×10^{-20} 、 7.6×10^{-20} 、 7.5×10^{-20} 、

0.2×10^{-2} 、 7.4×10^{-2} 、 7.3×10^{-2} 、 7.2×10^{-2} 、 7.1×10^{-2} 、 7.0×10^{-2} 、 6.9×10^{-2} 、 6.8×10^{-2} 、 6.7×10^{-2} 、 6.6×10^{-2} 、 6.59×10^{-2} 、 6.5×10^{-2} 、 6.4×10^{-2} 、 6.3×10^{-2} 、 6.2×10^{-2} 、 6.1×10^{-2} 、 6.0×10^{-2} 、 5.9×10^{-2} 、 5.8×10^{-2} 、 5.7×10^{-2} 、 5.6×10^{-2} 、 5.5×10^{-2} 、 5.4×10^{-2} 、 5.3×10^{-2} 、 5.2×10^{-2} 、 5.1×10^{-2} 、又は 5.0×10^{-2} という、 1000°C における界面エネルギーで規格化された粗大化率を持つことができる。該合金は、約 9.0×10^{-2} 、約 8.5×10^{-2} 、約 8.0×10^{-2} 、約 7.5×10^{-2} 、約 7.0×10^{-2} 、約 6.8×10^{-2} 、約 6.7×10^{-2} 、約 6.6×10^{-2} 、約 6.59×10^{-2} 、約 6.5×10^{-2} 、約 6.0×10^{-2} 、約 5.5×10^{-2} 、又は約 5.0×10^{-2} という、 1000°C における界面エネルギーで規格化された粗大化率を持つことができる。

10

【0031】

上記合金は、エージング後に、 300 HV を超える、 310 HV を超える、 320 HV を超える、 330 HV を超える、 340 HV を超える、 350 HV を超える、 360 HV を超える、 370 HV を超える、 380 HV を超える、 390 HV を超える、 400 HV を超える、 410 HV を超える、 420 HV を超える、 430 HV を超える、 440 HV を超える、 450 HV を超える、 460 HV を超える、 470 HV を超える、 480 HV を超える、 490 HV を超える、 500 HV を超える、又は 510 HV を超える硬さを持つことができる。該合金は、エージング後に、 300 HV 、 310 HV 、 320 HV 、 330 HV 、 340 HV 、 350 HV 、 360 HV 、 370 HV 、 380 HV 、 390 HV 、 400 HV 、 401 HV 、 402 HV 、 403 HV 、 404 HV 、 405 HV 、 406 HV 、 407 HV 、 408 HV 、 409 HV 、 410 HV 、 411 HV 、 412 HV 、 413 HV 、 414 HV 、 415 HV 、 416 HV 、 417 HV 、 418 HV 、 419 HV 、 420 HV 、 421 HV 、 422 HV 、 423 HV 、 424 HV 、 425 HV 、 426 HV 、 427 HV 、 428 HV 、 429 HV 、 430 HV 、 431 HV 、 432 HV 、 433 HV 、 434 HV 、 435 HV 、 436 HV 、 437 HV 、 438 HV 、 439 HV 、 440 HV 、 441 HV 、 442 HV 、 443 HV 、 444 HV 、 445 HV 、 446 HV 、 447 HV 、 448 HV 、 449 HV 、 450 HV 、 451 HV 、 452 HV 、 453 HV 、 454 HV 、 455 HV 、 456 HV 、 457 HV 、 458 HV 、 459 HV 、 460 HV 、 461 HV 、 462 HV 、 463 HV 、 464 HV 、 465 HV 、 466 HV 、 467 HV 、 468 HV 、 469 HV 、 470 HV 、 471 HV 、 472 HV 、 473 HV 、 474 HV 、 475 HV 、 476 HV 、 477 HV 、 478 HV 、 479 HV 、 480 HV 、 481 HV 、 482 HV 、 483 HV 、 484 HV 、 485 HV 、 486 HV 、 487 HV 、 488 HV 、 489 HV 、 490 HV 、 491 HV 、 492 HV 、 493 HV 、 494 HV 、 495 HV 、 496 HV 、 497 HV 、 498 HV 、 499 HV 、 500 HV 、 505 HV 、 510 HV 、 520 HV 、 530 HV 、 540 HV 、 550 HV 、 560 HV 、 570 HV 、 580 HV 、 590 HV 、又は 600 HV という硬さを持つことができる。該合金は、エージング後、約 300 HV 、約 310 HV 、約 320 HV 、約 330 HV 、約 340 HV 、約 350 HV 、約 360 HV 、約 370 HV 、約 380 HV 、約 390 HV 、約 400 HV 、約 410 HV 、約 420 HV 、約 430 HV 、約 440 HV 、約 450 HV 、約 460 HV 、約 470 HV 、約 480 HV 、約 490 HV 、約 500 HV 、又は約 510 HV という硬さを持つことができる。該硬さは、ASTM E92、ASTM E18、及びASTM E140に従って測定することができる。

20

30

40

50

【0032】

上記合金は、約22.2℃～約1093℃(72-2000°F)の温度範囲に渡り、約551.2MPa～約1378MPa(80ksi～200ksi)、約689MPa～約1378MPa(100ksi～200ksi)、約895.7MPa～約1378MPa(130ksi～200ksi)、約1033MPa～約1378MPa(150ksi～200ksi)、約1102MPa～約1378MPa(160ksi～200ksi)、又は約1171MPa～約1378MPa(170ksi～200ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃～約982.2℃(72-1800°F)の温度範囲に渡り、約551.2MPa～約1378MPa(80ksi～200ksi)、約689MPa～約1378MPa(100ksi～200ksi)、約895.7MPa～約1378MPa(130ksi～200ksi)、約1033MPa～約1378MPa(150ksi～200ksi)、約1102MPa～約1378MPa(160ksi～200ksi)、又は約1171MPa～約1378MPa(170ksi～200ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃～約871.1℃(72-1600°F)の温度範囲に渡り、約551.2MPa～約1378MPa(80ksi～200ksi)、約689MPa～約1378MPa(100ksi～200ksi)、約895.7MPa～約1378MPa(130ksi～200ksi)、約1033MPa～約1378MPa(150ksi～200ksi)、約1102MPa～約1378MPa(160ksi～200ksi)、又は約1171MPa～約1378MPa(170ksi～200ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃～約760℃(72-1400°F)の温度範囲に渡り、約551.2MPa～約1378MPa(80ksi～200ksi)、約689MPa～約1378MPa(100ksi～200ksi)、約895.7MPa～約1378MPa(130ksi～200ksi)、約1033MPa～約1378MPa(150ksi～200ksi)、約1102MPa～約1378MPa(160ksi～200ksi)、又は約1171MPa～約1378MPa(170ksi～200ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約538℃～約760℃(1000-1400°F)の温度範囲に渡り、約551.2MPa～約1378MPa(80ksi～200ksi)、約689MPa～約1378MPa(100ksi～200ksi)、約895.7MPa～約1378MPa(130ksi～200ksi)、約1033MPa～約1378MPa(150ksi～200ksi)、約1102MPa～約1378MPa(160ksi～200ksi)、又は約1171MPa～約1378MPa(170ksi～200ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃(72°F)、約538℃(1000°F)、約648.9℃(1200°F)、約760℃(1400°F)、約871.1℃(1600°F)、約982.2℃(1800°F)、又は約1093℃(2000°F)という温度にて、約551.2MPa～約1378MPa(80ksi～200ksi)、約689MPa～約1378MPa(100ksi～200ksi)、約895.7MPa～約1378MPa(130ksi～200ksi)、約1033MPa～約1378MPa(150ksi～200ksi)、約1102MPa～約1378MPa(160ksi～200ksi)、又は約1171MPa～約1378MPa(170ksi～200ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃(72°F)の温度にて、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、少なくとも約1102MPa(160ksi)、少なくとも約1171MPa(170ksi)、少なくとも約1240MPa(180ksi)、又は少なくとも約1309MPa(190ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約538℃(1000°F)の温度において、少なくとも約551.2MPa(

10

20

30

40

50

80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、少なくとも約1102MPa(160ksi)、少なくとも約1171MPa(170ksi)、少なくとも約1240MPa(180ksi)、又は少なくとも約1309MPa(190ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約648.9℃(1200°F)の温度において、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、少なくとも約1102MPa(160ksi)、少なくとも約1171MPa(170ksi)、少なくとも約1240MPa(180ksi)、又は少なくとも約1309MPa(190ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約760℃(1400°F)の温度において、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、少なくとも約1102MPa(160ksi)、少なくとも約1171MPa(170ksi)、少なくとも約1240MPa(180ksi)、又は少なくとも約1309MPa(190ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約871.1℃(1600°F)の温度において、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、少なくとも約1102MPa(160ksi)、少なくとも約1171MPa(170ksi)、少なくとも約1240MPa(180ksi)、又は少なくとも約1309MPa(190ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約982.2℃(1800°F)の温度において、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、少なくとも約1102MPa(160ksi)、少なくとも約1171MPa(170ksi)、少なくとも約1240MPa(180ksi)、又は少なくとも約1309MPa(190ksi)という極限引張強さを持つことができる。該合金は、約1093℃(2000°F)の温度において、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、少なくとも約1102MPa(160ksi)、少なくとも約1171MPa(170ksi)、少なくとも約1240MPa(180ksi)、又は少なくとも約1309MPa(190ksi)という極限引張強さを持つことができる。該極限引張強さは、ASTM E8及びASTM E21に従って測定することができる。

【0033】

上記合金は、約22.2℃～約1093℃(72-2000°F)の範囲の温度に渡り、約345MPa～約1171MPa(50ksi～170ksi)、約689MPa～約1171MPa(100ksi～170ksi)、約896MPa～約1171MPa

10

20

30

40

50

(130ksi~170ksi)、約965MPa~約1171MPa(140ksi~170ksi)、約1034MPa~約1171MPa(150ksi~170ksi)、又は約1034MPa~約1102MPa(150ksi~160ksi)という、0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃~約982.2℃(72-1800°F)の範囲の温度に渡り、約345MPa~約1171MPa(50ksi~170ksi)、約689MPa~約1171MPa(100ksi~170ksi)、約896MPa~約1171MPa(130ksi~170ksi)、約965MPa~約1171MPa(140ksi~170ksi)、約1034MPa~約1171MPa(150ksi~170ksi)、又は約1034MPa~約1102MPa(150ksi~160ksi)という、0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃~約871.1℃(72-1600°F)の範囲の温度に渡り、約345MPa~約1171MPa(50ksi~170ksi)、約689MPa~約1171MPa(100ksi~170ksi)、約896MPa~約1171MPa(130ksi~170ksi)、約965MPa~約1171MPa(140ksi~170ksi)、約1034MPa~約1171MPa(150ksi~170ksi)、又は約1034MPa~約1102MPa(150ksi~160ksi)という、0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃~約760℃(72-1400°F)の範囲の温度に渡り、約345MPa~約1171MPa(50ksi~170ksi)、約689MPa~約1171MPa(100ksi~170ksi)、約896MPa~約1171MPa(130ksi~170ksi)、約965MPa~約1171MPa(140ksi~170ksi)、約1034MPa~約1171MPa(150ksi~170ksi)、又は約1034MPa~約1102MPa(150ksi~160ksi)という、0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約538℃~約760℃(1000°F~1400°F)の範囲の温度に渡り、約345MPa~約1171MPa(50ksi~170ksi)、約689MPa~約1171MPa(100ksi~170ksi)、約896MPa~約1171MPa(130ksi~170ksi)、約965MPa~約1171MPa(140ksi~170ksi)、約1034MPa~約1171MPa(150ksi~170ksi)、又は約1034MPa~約1102MPa(150ksi~160ksi)という、0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃(72°F)、約538℃(1000°F)、約648.9℃(1200°F)、約760℃(1400°F)、約871.1℃(1600°F)、約982.2℃(1800°F)、又は約1093℃(2000°F)という温度において、約345MPa~約1171MPa(50ksi~170ksi)、約689MPa~約1171MPa(100ksi~170ksi)、約896MPa~約1171MPa(130ksi~170ksi)、約965MPa~約1171MPa(140ksi~170ksi)、約1034MPa~約1171MPa(150ksi~170ksi)、又は約1034MPa~約1102MPa(150ksi~160ksi)という、0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約22.2℃(72°F)の温度にて、少なくとも約345MPa(50ksi)、少なくとも約413MPa(60ksi)、少なくとも約482MPa(70ksi)、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、又は少なくとも約1102MPa(160ksi)という0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約538℃(1000°F)の温度にて、少なくとも約345MPa(50ksi)、少なくとも約413MPa(60ksi)、少なくとも約482MPa(70ksi)、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも

10

20

30

40

50

約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、又は少なくとも約1102MPa(160ksi)という0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約648.9℃(1200°F)の温度にて、少なくとも約345MPa(50ksi)、少なくとも約413MPa(60ksi)、少なくとも約482MPa(70ksi)、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、又は少なくとも約1102MPa(160ksi)という0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約760℃(1400°F)の温度にて、少なくとも約345MPa(50ksi)、少なくとも約413MPa(60ksi)、少なくとも約482MPa(70ksi)、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、又は少なくとも約1102MPa(160ksi)という0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約871.1℃(1600°F)の温度にて、少なくとも約345MPa(50ksi)、少なくとも約413MPa(60ksi)、少なくとも約482MPa(70ksi)、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、又は少なくとも約1102MPa(160ksi)という0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約982.2℃(1800°F)の温度にて、少なくとも約345MPa(50ksi)、少なくとも約413MPa(60ksi)、少なくとも約482MPa(70ksi)、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、又は少なくとも約1102MPa(160ksi)という0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該合金は、約1093℃(2000°F)の温度にて、少なくとも約345MPa(50ksi)、少なくとも約413MPa(60ksi)、少なくとも約482MPa(70ksi)、少なくとも約551.2MPa(80ksi)、少なくとも約620MPa(90ksi)、少なくとも約689MPa(100ksi)、少なくとも約758MPa(110ksi)、少なくとも約827MPa(120ksi)、少なくとも約896MPa(130ksi)、少なくとも約965MPa(140ksi)、少なくとも約1034MPa(150ksi)、又は少なくとも約1102MPa(160ksi)という0.2%オフセット降伏強さを持つことができる。該0.2%オフセット降伏強さは、ASTM E8及びASTM E21に従って測定することができる。

【0034】

上記合金は、約22.2～約1093℃(72～2000°F)の温度範囲に渡り、1%～50%、5%～40%、10%～35%、又は20%～30%という伸び率パーセントを持つことができる。該合金は、約538～約1093℃(1000～2000°F)の温度範囲に渡り、1%～50%、5%～40%、10%～35%、又は20%～30%という伸び率パーセントを持つことができる。該合金は、約648.9～約1093℃(1200～2000°F)の温度範囲に渡って、1%～50%、5%～40%、10%～

10

20

30

40

50

10

20

30

40

50

． 2℃～約 760℃（72－1400 ° F）の温度範囲に渡り、約 68.9 GPa～約 138 GPa（10 Msi～20 Msi）、約 75.8 GPa～約 138 GPa（11 Msi～20 Msi）、約 82.7 GPa～約 138 GPa（12 Msi～20 Msi）、約 82.7 GPa～約 124 GPa（12 Msi～18 Msi）、約 96.5 GPa～約 82.7 GPa（14 Msi～12 Msi）、又は約 96.5 GPa～約 124 GPa（14 Msi～18 Msi）という弾性率を持つことができる。該合金は、約 22.2℃～約 538℃（72－1000 ° F）の温度範囲に渡り、約 68.9 GPa～約 138 GPa（10 Msi～20 Msi）、約 75.8 GPa～約 138 GPa（11 Msi～20 Msi）、約 82.7 GPa～約 138 GPa（12 Msi～20 Msi）、約 82.7 GPa～約 124 GPa（12 Msi～18 Msi）、約 96.5 GPa～約 82.7 GPa（14 Msi～12 Msi）、又は約 96.5 GPa～約 124 GPa（14 Msi～18 Msi）という弾性率を持つことができる。該合金は、約 22.2℃（72 ° F）、約 538℃（1000 ° F）、約 648.9℃（1200 ° F）、約 760℃（1400 ° F）、約 871.1℃（1600 ° F）、約 982.2℃（1800 ° F）、又は約 1093℃（2000 ° F）にて、約 68.9 GPa～約 138 GPa（10 Msi～20 Msi）、約 75.8 GPa～約 138 GPa（11 Msi～20 Msi）、約 82.7 GPa～約 138 GPa（12 Msi～20 Msi）、約 82.7 GPa～約 124 GPa（12 Msi～18 Msi）、約 96.5 GPa～約 82.7 GPa（14 Msi～12 Msi）、又は約 96.5 GPa～約 124 GPa（14 Msi～18 Msi）という弾性率を持つことができる。この弾性率は、ASTM E8 及び ASTM E21 に従って測定することができる。

10

20

【0036】

上記合金は、206.8 MPa 及び約 982.2℃（1800 ° F）にて、50 時間～400 時間、70 時間～350 時間、80 時間～350 時間、100 時間～350 時間、110 時間～350 時間、140 時間～350 時間、200 時間～350 時間、又は 300～350 時間という応力破断寿命を持つことができる。該合金は、206.8 MPa 及び約 982.2℃（1800 ° F）にて、少なくとも 100 時間、少なくとも 150 時間、少なくとも 200 時間、少なくとも 250 時間、少なくとも 300 時間、少なくとも 320 時間、又は少なくとも 340 時間という応力破断寿命を持つことができる。該合金は、172.4 MPa 及び約 1038℃（1900 ° F）にて、50 時間～400 時間、70 時間～350 時間、80 時間～350 時間、100 時間～350 時間、110 時間～350 時間、140 時間～350 時間、又は 200 時間～350 時間という応力破断寿命を持つことができる。該合金は、172.4 MPa 及び約 1038℃（1900 ° F）にて、少なくとも 100 時間、少なくとも 150 時間、少なくとも 200 時間、少なくとも 210 時間又は少なくとも 220 時間という応力破断寿命を持つことができる。該応力破断寿命は、ASTM E139 に従って測定することができる。

30

上記応力破断テストにおいて、上記合金は、15%～50%、20%～50%、20%～45%、25%～45%、30%～45%、又は 40%～45% という伸び率パーセントを持つことができる。該破断応力に係る該伸び率パーセントは、ASTM E139 に従って測定することができる。

40

【0037】

III. 合金の製造方法

上記合金は、単結晶鑄造品として製造することができる。上記メルトを成形して鑄造品とした後、該鑄造品を均質化する。該均質化は、1250℃～1290℃にて 1 時間～4 時間；1280℃～1300℃にて 1 時間～4 時間；1290℃～1305℃にて 1 時間～4 時間；及び 1300℃～1320℃にて 1 時間～4 時間に渡る、各段階間において 0.1℃/秒～10℃/秒という加熱速度を用いる処理；及び空気中又は他の雰囲気（例えば、アルゴン）内で 0℃～100℃まで冷却する段階を含むことができる。例えば、該合金は、1282℃にて 2 時間；1292℃にて 2 時間；1300℃にて 6 時間；及び 1305℃にて 4 時間に渡る、各段階間において 0.5℃/秒という加熱速度を用いて処理し

50

、また空气中で室温まで冷却することにより均質化することができる。該均質化された合金製鑄造品は、更に焼き戻しすることができる。該焼き戻しは、1000℃～1180℃にて2時間～10時間、その後700℃～950℃にて4時間～30時間に渡る2段階処理を含むことができる。例えば、該均質化された合金製鑄造品は、1121℃にて4時間、これに続く871℃にて20時間の2段階処理によって、更に焼き戻しすることができる。

IV. 製品 (Articles of Manufacture)

同様に開示されるのは、上述の合金を含む製作品である。実例となる製作品は、工業用ガスタービンのブレードを含むが、これらに限定されない。該ブレードは、約55.9cm (22in) の長さを持つことができる。該ブレードは、約61.0cm (24in) という長さを持つことができる。該ブレードは、約2.54cm (1in)、約5.08cm (2in)、約7.62cm (3in)、約10.2cm (4in)、約12.7cm (5in)、約15.2cm (6in)、約17.8cm (7in)、約20.3cm (8in)、約22.9cm (9in)、約25.4cm (10in)、約27.9cm (11in)、約30.5cm (12in)、約33.0cm (13in)、約35.5cm (14in)、約38.1cm (15in)、約40.6cm (16in)、約43.2cm (17in)、約45.7cm (18in)、約48.3cm (19in)、約50.8cm (20in)、約53.3cm (21in)、約55.9cm (22in)、約58.4cm (23in)、約61.0cm (24in)、約63.5cm (25in)、約66.0cm (26in)、約68.6cm (27in)、約71.1cm (28in)、約73.7cm (29in)、約76.2cm (30in)、約78.7cm (31in)、約81.3cm (32in)、約83.8cm (33in)、約86.4cm (34in)、約88.9cm (35in)、約91.4cm (36in)、約94.0cm (37in)、約96.5cm (38in)、約99.1cm (39in)、約102cm (40in)、約104cm (41in)、又は約107cm (42in) の長さを持つことができる。

【0038】

実例となる製作品は、航空宇宙工学用途において使用されるブレードを含むが、これらに限定されない。該ブレードは、約55.9cm (22in) という長さを持つことができる。該ブレードは、約61.0cm (24in) という長さを持つことができる。該ブレードは、約2.54cm (1in)、約5.08cm (2in)、約7.62cm (3in)、約10.2cm (4in)、約12.7cm (5in)、約15.2cm (6in)、約17.8cm (7in)、約20.3cm (8in)、約22.9cm (9in)、約25.4cm (10in)、約27.9cm (11in)、約30.5cm (12in)、約33.0cm (13in)、約35.5cm (14in)、約38.1cm (15in)、約40.6cm (16in)、約43.2cm (17in)、約45.7cm (18in)、約48.3cm (19in)、約50.8cm (20in)、約53.3cm (21in)、約55.9cm (22in)、約58.4cm (23in)、約61.0cm (24in)、約63.5cm (25in)、約66.0cm (26in)、約68.6cm (27in)、約71.1cm (28in)、約73.7cm (29in)、約76.2cm (30in)、約78.7cm (31in)、約81.3cm (32in)、約83.8cm (33in)、約86.4cm (34in)、約88.9cm (35in)、約91.4cm (36in)、約94.0cm (37in)、約96.5cm (38in)、約99.1cm (39in)、約102cm (40in)、約104cm (41in)、又は約107cm (42in) という長さを持つことができる。

【実施例】

【0039】

V. 実施例

ニッケル-基合金を製造し、かつ物性につきテストした。以下の表4は、例証される合金 (アロイA) の設計及び組成を示す。

【0040】

【表4】

表4：原料合金の質量%での組成											
	金属	Al	Co	Cr	Hf	Mo	Re	Ta	Ti	W	Ni
アロイ A	設計目標 (%)	5.9	9.1	7.1	0.1	0.9	1.0	9.4	0.1	8.0	残部
	実測値 (%)	5.89	9.04	7.03	0.1	0.91	1.03	9.5	0.11	7.81	残部

10

【0041】

実施例1：アロイA

メルトを、質量%単位で、5.89 Al、9.04 Co、7.03 Cr、0.1 Hf、0.91 Mo、1.03 Re、9.5 Ta、0.11 Ti、7.81 W、及び残部のNiという呼称組成で調製した。該メルトを成形して、鑄造品とした。該鑄造品を、0.5℃/秒という各段階間の加熱速度で、1282℃にて2時間；1292℃にて2時間；1300℃にて6時間；次いで1305℃にて4時間に渡る処理によって均質化した。該均質化した鑄造品を、空气中で室温まで冷却させた。該鑄造品を、1121℃にて4時間、引続き871℃にて20時間に渡る処理により、更に焼き戻した。

20

A. アロイAの分析及び物理的テスト

実施例1において製造したアロイAの鑄造品を、物理的な欠陥につき分析した。該アロイAの分析は、前に開示されたニッケル-基合金である公知の合金：ルネ（Rene）N5製の鑄造品と比較して達成された。該ルネN5合金の鑄造は、アロイAの鑄造品に対して使用されたものと同一の方法により成し遂げられた。図2は、これら2つの鑄造品に係る並置画像比較を示す。これら2つの合金に係る可視的検査は、アロイAがバイグレインを全く持たず、かつスライバグレインを全く有さず、その一方で該ルネN5合金が、1個のバイグレイン及び1個のスライバグレインを有していることを明らかにした。図3に示したように、更なる分析は、5つの領域に更に細分された該鑄造品を示している。これら領域の分析は、アロイAもルネN5合金も斑点を持たないことを明らかにした。更に、アロイAの各領域に係る一次デンドライトアーム間隔（PDAS）を測定した。これらの結果を以下の表5に示す。

30

【0042】

【表5】

表5		
位置	平均PDAS (μm)	標準偏差 (μm)
2	278.9	47
3	373.3	68
4	357.5	55
5	346	68

40

【0043】

50

図4は、鑄造時点のアロイA及びルネN5に係る微細構造を示す。左側の一組の写真は、成長方向の軸に沿った該各合金の微細構造を示し、一方で右側における写真は、横軸に沿った、その顕微鏡写真である。

20%凝固における液体密度の変化 ($\Delta \rho^{0.2}$) に関連する設計パラメータは、アロイA及びルネN5の上記鑄造品に係る処理変数 (G/λ_1^2) と関連付けられた。図5は、 $\Delta \rho^{0.2}$ に関するアロイAのより低い値が、該合金鑄造工程において斑点を形成しないであろう、より大きなプロセスウィンドウ (processing window) を持つことを可能とすることを示している。実際に、アロイAは、ルネN5よりも大きな耐斑点性を有しているが、その理由はこれがルネN5よりも低い G/λ_1^2 を持つことができ、かつ依然として斑点を含まないものであり得ることにある。

10

アロイAの初期溶融のための臨界温度を決定するための、等時性均質化 (isochronal homogenization) 研究を行った。該アロイAの鑄造品を、1275℃にて2時間、1282℃にて2時間及び1290℃にて2時間という条件を包含する、様々な均質化された条件で加熱した。図6は、規定された温度における熱処理後の、該合金鑄造品の顕微鏡写真を示す。

上述 (1282℃にて2時間、1292℃にて2時間、1300℃にて6時間、引続き1305℃にて4時間；各段階間で0.5℃/秒という加熱速度を使用) の如き、上記合金の4-段階均質化処理は、初期溶融を効果的に回避し、該処理の最終段階が、上記予想された γ' ソルバス (solvus) の上方で起こることを明確にしている。図7は、この方法による均質化後の、アロイAの微細構造を詳細に示す、顕微鏡写真である。

20

同様に、アロイA及びルネN5の強度をも、一連の焼き戻し研究において評価した。アロイAを、871℃にて180時間加熱することにより焼き戻した。同様に、アロイAを、2-段階処理 (1121℃にて4時間、その後871℃にて20時間) を利用して焼き戻した。ルネN5を、同様に2-段階処理 (1121℃にて4時間、その後899℃にて20時間) を用いて焼き戻した。図8は、アロイAが、ルネN5よりも高い硬さを呈することを示している。

【0044】

上述の2-段階焼き戻し法の利用後に、アロイAの微細構造は、立方体状形態 (図9) を持つ γ' 析出物をあらわにした。該微細構造は、 γ' 析出物及び γ 相マトリックスを、明確に示している。この特徴付け及び微細構造の解析は、上記設計目標である γ' 相画分及び格子不整合の達成を裏付けた。上記熱処理中における位相幾何学的に最密充填された相に係る証拠は全くない。

30

アロイAのナノ構造は、ローカル電極アトムプローブ (LEAP) 分析を用いて決定された。図10に示したように、該合金の2つの領域を精査した。両者の領域において、 γ マトリックスの狭いチャンネルに係る形態が確認され、またその γ' 相における合金元素の実測された組成割合は、その予想された組成と申し分なく一致していた。

同様に、アロイA及びルネN5に係る長期に及ぶエージング研究をも実施した。両合金を、1150℃にて30時間に及ぶ熱処理に掛けた。その γ' 粒子の面積及びサイズを、上記 γ' 相画分に加えて、監視した。以下の表6は、これら研究の結果を示す。これらのデータは、アロイAがエージングしたままの及び1150℃にて1及び30時間後に、ルネN5よりも高い γ' 相画分を持つことを示している。図11は、これらの結果を示しており、その理由は、これが該熱処理に全体渡る該合金の微細構造の進展を示していることにある。

40

【0045】

【表 6】

	アロイ A			ルネ N5		
1150℃での時間 (時)	平均 γ' 粒子 面積(μm^2)	平均 γ' 粒 度(μm)	γ' 領域画 分(%)	平均 γ' 粒子 面積(μm^2)	平均 γ' 粒 度(μm)	γ' 領域画 分(%)
0 (エージング されたままの)	0.09	0.3	69	0.13	0.36	67.2
1	0.17	0.41	48.5	0.19	0.44	40
30	0.32	0.57	46.7	0.28	0.53	40

10

【0046】

同様に、この熱処理を通して、上記合金の硬さをも監視した。図 12 に示したように、アロイ A は、該研究に渡る全時点において、ルネ N5 を超える高い硬さ（強度）を明らかに示した。

アロイ A 及びルネ N5 に係る第二群の鋳造品を、凝固中に斑点形成を促進する、異なる幾何学的設計を用いて獲得した。図 13 は、該鋳造品の設計に係る形状を例示する。また、アロイ A 及びルネ N5 に係るこれら第二の鋳造品を、物理的な欠陥につき分析した。図 14 及び図 15 が明らかにしているように、アロイ A の鋳造品は、斑点を全く示さないが、一方でルネ N5 の鋳造品は多数の斑点を有していた。

20

更に、アロイ A の酸化のモデル化を、多成分系に対するワグナー（Wagner）のモデルに係るヴァール（Wahl）の改良を使用して、実現した。該合金の表面レベルの酸素濃度は、カルファード（CALPHAD）法を用いて計算されている（図 16 参照）。モデル化の結果は、 Al_2O_3 及び Cr_2O_3 の両者が、高温において発生するものと予想されることを明らかにしており、ここで該合金中の利用可能な Al 及び Cr は、その適用温度範囲において連続する保護酸化層を形成するのに必要とされる臨界的な量を超える（図 17 参照）。更に、図 18 は、1000℃にて100時間に渡り熱処理されたアロイ A に係る EDS マッピングの結果を示しており、これはその表面における該連続する保護酸化物層の形成を立証している。全サンプルにおいて、連続する Al に富む酸化物が観測され、このようにして十分な耐酸化性をもたらす。

30

上記第一のアロイ A 鋳造品及び様々な市販の合金に関する引張試験を、ASTM E8 及び ASTM E21 に従って実行した。以下の表 7 は、約 22.2～約 1093℃（72～2000°F）という温度範囲における、アロイ A に関する結果を示し、一方図 19 は、該市販の合金と比較したアロイ A に係る結果を例示する。

【0047】

【表 7】

表 7					
温度 ℃(°F)	0.2% YS MPa(ksi)	UTS MPa(ksi)	伸び 率%	面積減 少率(%)	弾性率 GPa(Msi)
約 22.2(72)	約 1067(154.9)	約 1120(162.6)	8	8.5	約 127(18.4)
約 22.2(72)	約 1022(148.3)	約 1093(158.6)	9.5	14	約 127(18.4)
約 538(1000)	約 1048(152.1)	約 1104(160.3)	4.5	4	約 110(15.9)
約 649(1200)	--	約 1231(178.7)	4.5	8.5	--
約 760(1400)	約 1104(160.3)	約 1349(195.8)	9.5	13.5	約 97.1(14.1)
約 871(1600)	約 940.5(136.5)	約 1084(157.4)	23.5	21.5	約 84.7(12.3)
約 982(1800)	約 738.6(107.2)	約 908.8(131.9)	23.5	31	約 76.4(11.1)
約 1093(2000)	約 397(57.6)	約 563(81.7)	31	50.5	約 71.7(10.4)

40

【0048】

同様に、上記第一のアロイ A 鋳造品及び様々な市販の合金に係る応力破断テストを、A

50

STM E139に従って実施した。一連の温度及び圧力を、テスト条件として使用した。該テストの結果は、各サンプルの破損時点及び該破損時点における各サンプルの伸び率%を含む。表8は、約871～約1149℃（1600～2100°F）の温度範囲におけるアロイAに関する結果を示し、一方図19は、市販の合金と比較した、アロイAに係る結果を例示する。

【0049】

【表8】

表8			
温度[℃(°F)]	テスト応力(MPa)	寿命(時)	伸び率%
約871(1600)	551.6	76.7	20.6
約982(1800)	275.8	86.6	30
約982(1800)	241.3	147.4	43.8
約982(1800)	206.8	340.6	41.4
約1038(1900)	172.4	224.6	43.8
約1093(2000)	137.9	119	30.6
約1149(2100)	89.6	107.7	24.8

10

【0050】

まとめると、これらの結果は、アロイAの元素組成は、該合金が優れた加工性を持つことを可能とすることを立証している。上記鑄造工程と組合せると、上記均質化及び焼き戻し段階は、堅牢な合金の形成へと導き、該合金は加工して、高温用途に対して有用な物品とすることができる。上記実施された設計は、処理パラメータ、例えば液体の浮揚性及び格子不整合等に依存しており、該格子不整合は、単結晶性ニッケル-基超合金の活発な生産を促進し、該超合金は欠陥を持たず、また既存のニッケル-基合金を超える好都合な特性を持つ。

20

本件開示は、その精神及びその中心的な諸特徴を逸脱することなしに、他の特定の形態で実現し得ることが理解される。従って、諸局面及び態様の開示は、あらゆる点に関連して、例示であり、かつ個別のものではないと考えられるべきであり、また特許請求の範囲は、ここに与えられた詳細に限定されるものではない。従って、特定の態様を例示しかつ説明してきたが、多数の改良が、本発明の精神から著しく逸れること無しに念頭に浮かび、かつ保護範囲は、添付された特許請求の範囲に係る範囲のみによって限定される。特に断りがない限り、ここに掲載されている百分率は、質量%である。

30

【0051】

完全を期するために、本開示の様々な局面を以下の番号付けした条項に列挙する：

条項1：質量基準で、約4%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約7%～約11%のコバルト、約5%～約9%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.5%のチタン、及び約6%～約10%のタングステンを含み、残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である合金。

40

条項2：該合金が、質量基準で、0%～約0.5%のランタン、0%～約0.5%のイットリウム、及び0～約0.5%のホウ素を更に含む、請求項1の合金。

条項3：質量基準で、約5%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約8%～約10%のコバルト、約6%～約8%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8.5%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.2%のチタン、及び約7%～約9%のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である合金。

条項4：該合金が、質量基準で、約5.5%～約6.5%のアルミニウム、約8.5%～約9.5%のコバルト、約6.5%～約7.5%のクロム、約0.05%～約0.15%のハフニウム、約0.6%～約1.2%のモリブデン、約0.8%～約1.2%のレニウ

50

ム、約 9 %～約 10 %のタンタル、約 0.05 %～約 0.15 %のチタン、及び約 7.5 %～約 8.5 %のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、条項 1 又は 2 の合金。

条項 5：該合金が単結晶である、条項 1～4 の何れかの合金。

条項 6：該合金が、本質的に斑点を含まない、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 7：該合金が、その 20 %凝固において、少なくとも $4000^{\circ}\text{C}/\text{cm}^3$ という G/λ_1^2 の値を持つ、条項 6 の合金。

条項 8：該合金が、その 20 %凝固において、 $4000^{\circ}\text{C}/\text{cm}^3 \sim 20,000^{\circ}\text{C}/\text{cm}^3$ という G/λ_1^2 の値を持つ、条項 6 の合金。

【0052】

条項 9：該合金が、その 20 %凝固において、 $0.015 \text{ g}/\text{cm}^3$ 未満の液体密度における減少を示す、条項 6 の合金。

条項 10：該合金が、その 40 %凝固において、 $0.025 \text{ g}/\text{cm}^3$ 未満の液体密度における減少を示す、条項 6 の合金。

条項 11：該合金が、本質的に位相幾何学的に最密充填された相を含まない、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 12：該合金が、 1000°C にて 59 %を超える γ' 相画分を含む、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 13：該合金が、これを 1150°C にて 30 時間に渡りエージングした後に、45 %を超える γ' 相画分を含む、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 14：該合金の γ/γ' 格子不整合の絶対値が、 1000°C において 0～約 0.35 %である、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 15：該 γ' 析出物が、立方体状の形態を持つ、条項 14 の合金。

条項 16：該界面エネルギーで規格化された粗大化速度定数が、 1000°C にて 7.0×10^{-20} 又はそれ未満である、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 17：該合金が、エージング後に、440 HV を超える硬さを持つ、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 18：該合金が、3.0 を超える、リードクリープメリットインデックスを持つ、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 19：該合金が、3.5 を超える、リードクリープメリットインデックスを持つ、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 20：該合金が、ASTM E8 及び ASTM E21 に従って測定された如き、約 982°C (1800°F) の温度における少なくとも約 827 MPa (120 ksi) という極限引張強さを持つ、条項 1～5 の何れかの合金。

【0053】

条項 21：該合金が、ASTM E8 及び ASTM E21 に従って測定された如き、約 982°C (1800°F) の温度における少なくとも約 620 MPa (90 ksi) という 0.2 %オフセット降伏強さを持つ、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 22：該合金が、ASTM E8 及び ASTM E21 に従って測定された如き、約 982°C (1800°F) の温度における約 68.9 GPa～約 172 GPa (10 Msi～25 Msi) という弾性率を持つ、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 23：該合金が、ASTM E139 に従って測定された如き、約 1038°C (1900°F) において 200 時間以下の応力破断寿命を持つ、条項 1～5 の何れかの合金。

条項 24：該合金が、約 5.9 %のアルミニウムを含む、条項 1～23 の何れかの合金。

条項 25：該合金が、約 9 %のコバルトを含む、条項 1～23 の何れかの合金。

条項 26：該合金が、約 7 %のクロムを含む、条項 1～23 の何れかの合金。

条項 27：該合金が、約 0.1 %のハフニウムを含む、条項 1～23 の何れかの合金。

条項 28：該合金が、約 0.9 %のモリブデンを含む、条項 1～23 の何れかの合金。

条項 29：該合金が、約 1 %のレニウムを含む、条項 1～23 の何れかの合金。

条項 30：該合金が、約 9.5 %のタンタルを含む、条項 1～23 の何れかの合金。

10

20

30

40

50

条項 3 1 : 該合金が、約 0 . 1 1 % のチタンを含む、条項 1 ~ 2 3 の何れかの合金。

条項 3 2 : 該合金が、約 7 . 8 % のタングステンを含む、条項 1 ~ 2 3 の何れかの合金。

条項 3 3 : 該合金が、質量基準で、約 5 . 9 % のアルミニウム、約 9 % のコバルト、約 7 % のクロム、約 0 . 1 % のハフニウム、約 0 . 9 % のモリブデン、約 1 % のレニウム、約 9 . 5 % のタンタル、約 0 . 1 1 % のチタン、及び約 7 . 8 % のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、条項 1 ~ 2 3 の何れかの合金。

【 0 0 5 4 】

条項 3 4 : メルトを製造する段階を含み、該メルトが、質量基準で、約 4 % ~ 約 7 % のアルミニウム、0 % ~ 約 0 . 2 % の炭素、約 7 % ~ 約 1 1 % のコバルト、約 5 % ~ 約 9 % のクロム、約 0 . 0 1 % ~ 約 0 . 2 % のハフニウム、約 0 . 5 % ~ 約 2 % のモリブデン、0 % ~ 約 1 . 5 % のレニウム、約 8 % ~ 約 1 0 . 5 % のタンタル、約 0 . 0 1 % ~ 約 0 . 5 % のチタン、及び約 6 % ~ 約 1 0 % のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、合金の製造方法。

10

条項 3 5 : メルトを製造する段階を含み、該メルトが、質量基準で、約 5 % ~ 約 7 % のアルミニウム、0 % ~ 約 0 . 2 % の炭素、約 8 % ~ 約 1 0 % のコバルト、約 6 % ~ 約 8 % のクロム、約 0 . 0 1 % ~ 約 0 . 2 % のハフニウム、約 0 . 5 % ~ 約 2 % のモリブデン、0 % ~ 約 1 . 5 % のレニウム、約 8 . 5 % ~ 約 1 0 . 5 % のタンタル、約 0 . 0 1 % ~ 約 0 . 2 % のチタン、及び約 7 % ~ 約 9 % のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、合金の製造方法。

20

条項 3 6 : 該合金が、質量基準で、約 5 . 5 % ~ 約 6 . 5 % のアルミニウム、約 8 . 5 % ~ 約 9 . 5 % のコバルト、約 6 . 5 % ~ 約 7 . 5 % のクロム、約 0 . 0 5 % ~ 約 0 . 1 5 % のハフニウム、約 0 . 6 % ~ 約 1 . 2 % のモリブデン、約 0 . 8 % ~ 約 1 . 2 % のレニウム、約 9 % ~ 約 1 0 % のタンタル、約 0 . 0 5 % ~ 約 0 . 1 5 % のチタン、及び約 7 . 5 % ~ 約 8 . 5 % のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、条項 3 4 又は 3 5 の方法。

条項 3 7 : 該合金が、質量基準で、約 5 . 9 % のアルミニウム、約 9 % のコバルト、約 7 % のクロム、約 0 . 1 % のハフニウム、約 0 . 9 % のモリブデン、約 1 % のレニウム、約 9 . 5 % のタンタル、約 0 . 1 1 % のチタン、及び約 7 . 8 % のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、条項 3 4 ~ 3 6 の何れかの方法。

30

条項 3 8 : 該メルトが、鑄造品に成形される、条項 3 4 ~ 3 7 の何れかの方法。

条項 3 9 : 該鑄造品が、成形後に均質化される、条項 3 8 の方法。

条項 4 0 : 該鑄造品が、1 2 8 2 ° C にて 2 時間、1 2 9 2 ° C にて 2 時間、1 3 0 0 ° C にて 6 時間、及び 1 3 0 5 ° C にて 4 時間に渡る、0 . 5 ° C / 秒という各段階間の加熱速度での処理及び空气中で室温まで冷却することにより均質化される、条項 3 9 の方法。

【 0 0 5 5 】

条項 4 1 : 該鑄造品が、1 1 2 1 ° C にて 4 時間、その後 8 7 1 ° C にて 2 0 時間処理することにより焼き戻しされる、条項 4 0 の方法。

条項 4 2 : 該合金が単結晶である、条項 3 4 ~ 4 1 の何れかの方法。

40

条項 4 3 : 該合金が、本質的に斑点を含まない、条項 3 4 ~ 4 1 の何れかの方法。

条項 4 4 : 該合金が、その 2 0 % 凝固において、少なくとも $4000^{\circ}\text{C}/\text{cm}^3$ という G/λ_1^2 値を持つ、条項 4 3 の方法。

条項 4 5 : 該合金が、その 2 0 % 凝固において、 $4000^{\circ}\text{C}/\text{cm}^3 \sim 20,000^{\circ}\text{C}/\text{cm}^3$ の G/λ_1^2 値を持つ、条項 4 3 の方法。

条項 4 6 : 該合金が、その 2 0 % 凝固において、 $0.015\text{ g}/\text{cm}^3$ 未満の液体密度における減少を示す、条項 4 3 の方法。

条項 4 7 : 該合金が、その 4 0 % 凝固において、 $0.025\text{ g}/\text{cm}^3$ 未満の液体密度における減少を示す、条項 4 3 の方法。

条項 4 8 : 該合金が、位相幾何学的に最密充填された相を本質的に含まない、条項 3 4 ~

50

41の何れかの方法。

条項49：該合金が、1000℃において59%を超える γ' 相画分を含む、条項34～41の何れかの方法。

条項50：該合金が、1150℃にて30時間に渡り該合金をエージングした後に、45%を超える γ' 相画分を含む、条項34～41の何れかの方法。

条項51：該合金の γ/γ' 格子不整合の絶対値が、1000℃において0～約0.35%である、条項34～41の何れかの方法。

条項52：該 γ' 析出物が、立方体状の形態を持つ、条項51の方法。

条項53：該界面エネルギーで規格化された粗大化速度定数が、1000℃にて 7.0×10^{-20} 又はそれ未満である、条項34～41の何れかの方法。

条項54：該合金が、エージング後に440HVを超える硬さを持つ、条項34～41の何れかの方法。

【0056】

条項55：合金を含む製作品であって、該合金が、質量基準で、約4%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約7%～約11%のコバルト、約5%～約9%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.5%のチタン、及び約6%～約10%のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、上記製作品。

条項56：合金を含む製作品であって、該合金が、質量基準で、約5%～約7%のアルミニウム、0%～約0.2%の炭素、約8%～約10%のコバルト、約6%～約8%のクロム、約0.01%～約0.2%のハフニウム、約0.5%～約2%のモリブデン、0%～約1.5%のレニウム、約8.5%～約10.5%のタンタル、約0.01%～約0.2%のチタン、及び約7%～約9%のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、上記製作品。

条項57：該合金が、質量基準で、約5.5%～約6.5%のアルミニウム、約8.5%～約9.5%のコバルト、約6.5%～約7.5%のクロム、約0.05%～約0.15%のハフニウム、約0.6%～約1.2%のモリブデン、約0.8%～約1.2%のレニウム、約9%～約10%のタンタル、約0.05%～約0.15%のチタン、及び約7.5%～約8.5%のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、条項55又は56の物品。

条項58：該合金が、質量基準で、約5.9%のアルミニウム、約9%のコバルト、約7%のクロム、約0.1%のハフニウム、約0.9%のモリブデン、約1%のレニウム、約9.5%のタンタル、約0.11%のチタン、及び約7.8%のタングステンを含み、その残部が本質的にニッケル及び付随的元素及び不純物である、条項55～57の何れかの物品。

条項59：該合金が、鋳造品の形状にある、条項55～58の何れかの物品。

条項60：該合金が単結晶である、条項55～58の何れかの物品。

条項61：該合金が、本質的に斑点を含まない、条項55～58の何れかの物品。

条項62：該合金が、その20%凝固において、少なくとも $4000^\circ\text{C}/\text{cm}^3$ という G/λ_1^2 値を持つ、条項61の物品。

【0057】

条項63：該合金が、その20%凝固において、 $4000^\circ\text{C}/\text{cm}^3 \sim 20,000^\circ\text{C}/\text{cm}^3$ の G/λ_1^2 値を持つ、条項61の物品。

条項64：該合金が、その20%凝固において、 $0.015\text{g}/\text{cm}^3$ 未満の液体密度における減少を示す、条項61の物品。

条項65：該合金が、その40%凝固において、 $0.025\text{g}/\text{cm}^3$ 未満の液体密度における減少を示す、条項61の物品。

条項66：該合金が、位相幾何学的に最密充填された相を本質的に含まない、条項55～58の何れかの物品。

10

20

30

40

50

条項 67：該合金が、1000℃において59%を超える γ' 相画分を含む、条項55～58の何れかの物品。

条項 68：該合金が、1150℃にて30時間に渡り該合金をエージングした後に、45%を超える γ' 相画分を含む、条項55～58の何れかの物品。

条項 69：該合金の γ/γ' 格子不整合の絶対値が、1000℃において0～約0.35%である、条項55～58の何れかの物品。

条項 70：該 γ' 析出物が、立方体状の形態を持つ、条項69の物品。

条項 71：該界面エネルギーで規格化された粗大化速度定数が、1000℃にて 7.0×10^{-20} 又はそれ未満である、条項55～58の何れかの物品。

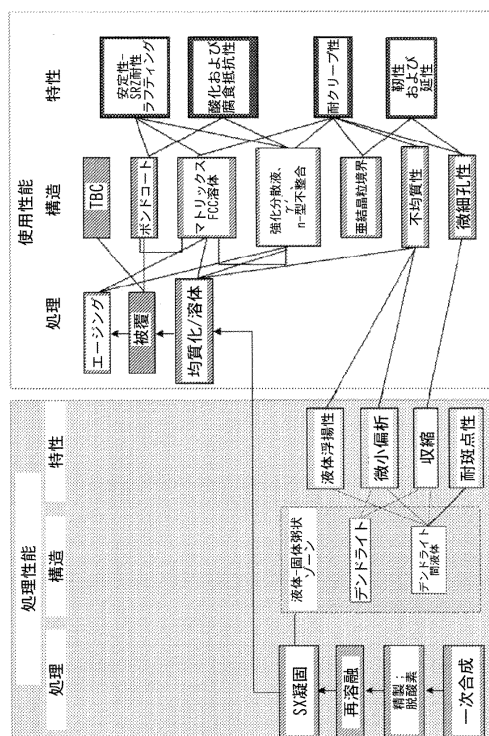
条項 72：該合金が、エージング後に440HVを超える硬さを持つ、条項55～58の何れかの物品。 10

条項 73：該物品がブレードである、条項55～58の何れかの物品。

条項 74：該ブレードが、工業用ガスタービンのブレードである、条項73の物品。

条項 75：該ブレードが、航空宇宙工学用途において使用される、条項73の物品。

【図1】



【図2】

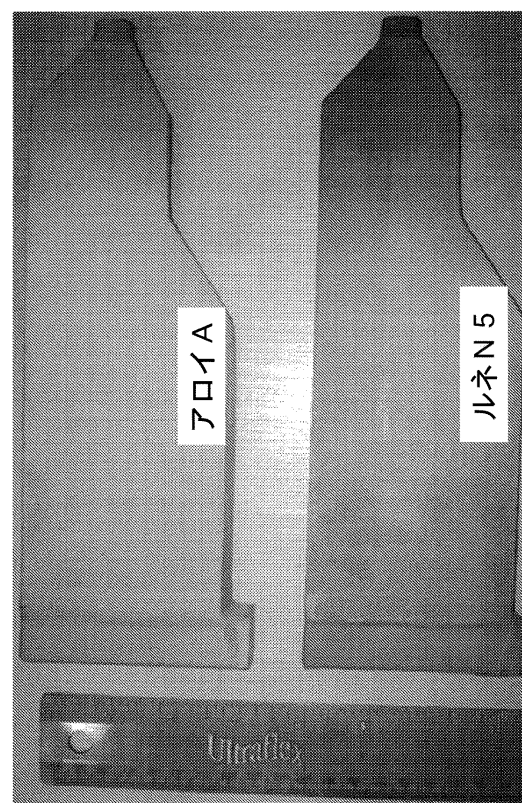


FIG. 2

【図 3】

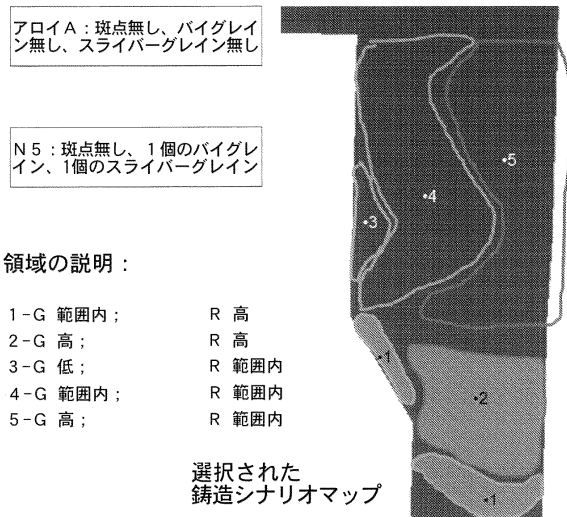


FIG. 3

【図 4】

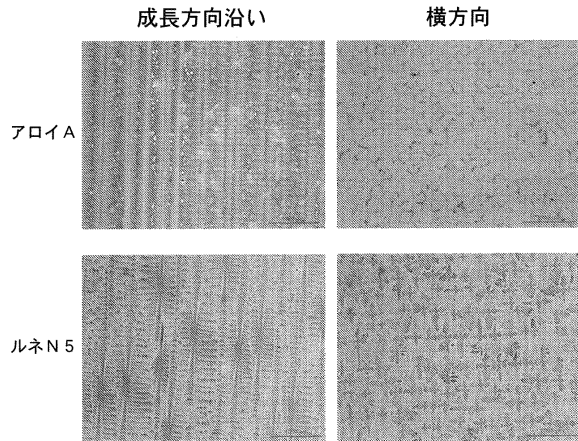


FIG. 4

【図 5】

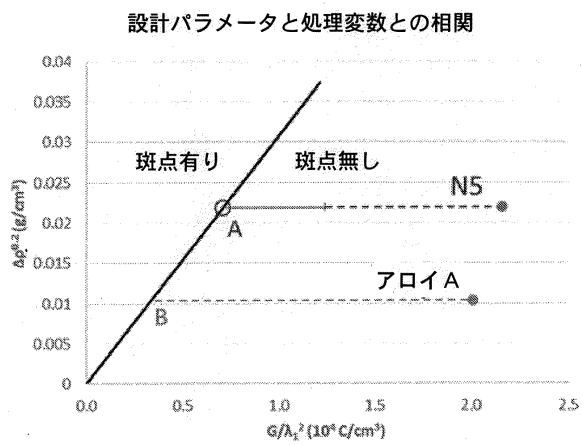
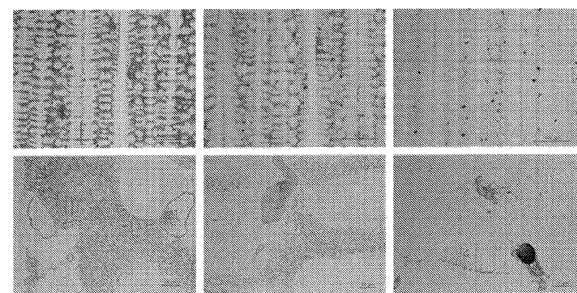


FIG. 5

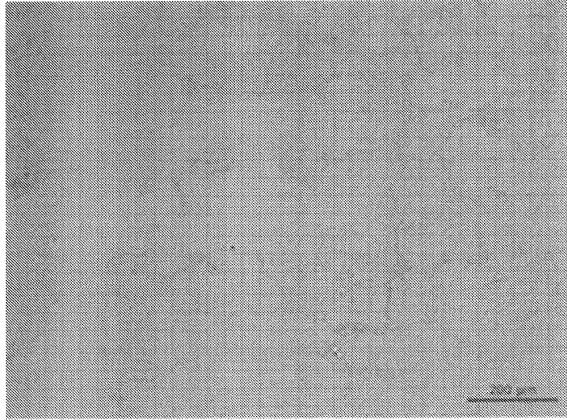
【図 6】



(a) 1275°C/2時間 (b) 1282°C/2時間 (c) 1290°C/2時間

FIG. 6

【図 7】



(a) アロイ A

FIG. 7

【図 8】

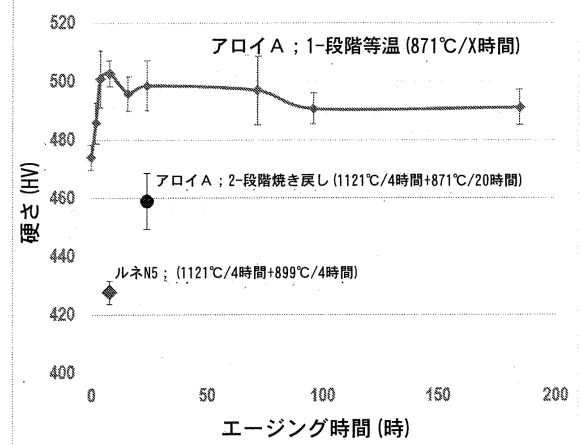


FIG. 8

【図 9】

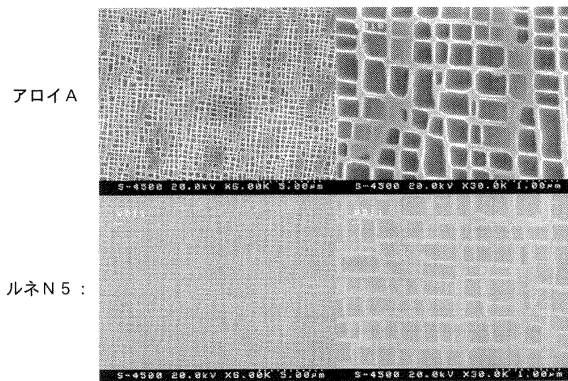


FIG. 9

【図 10】

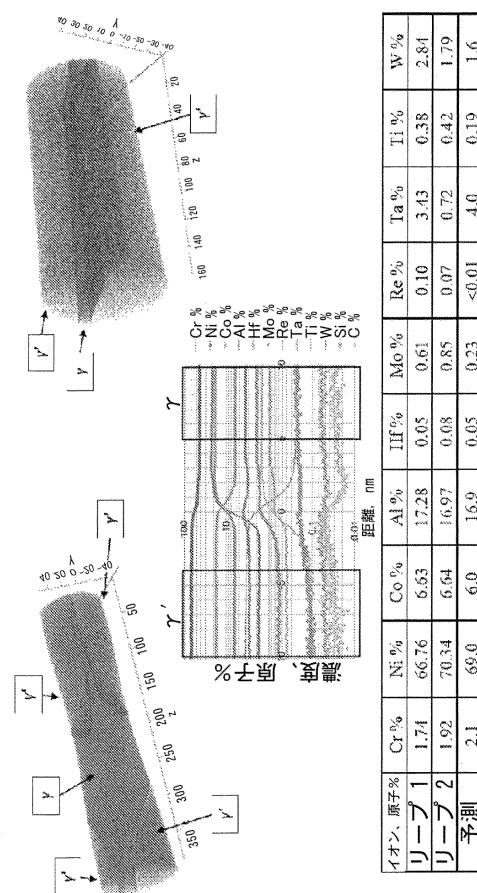


FIG. 10

【図 1 1】

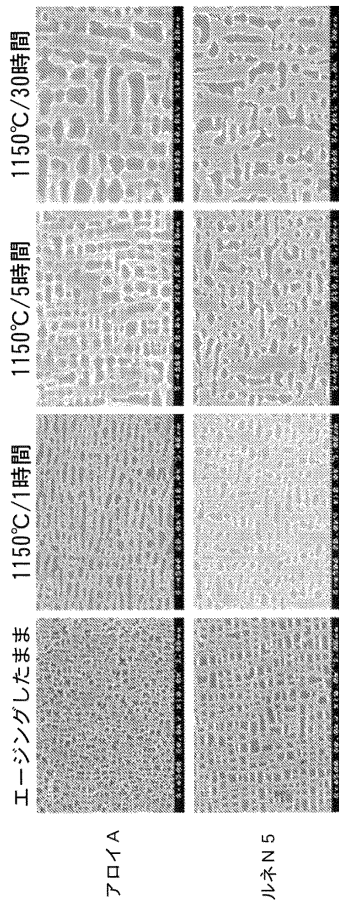


FIG. 11

【図 1 2】

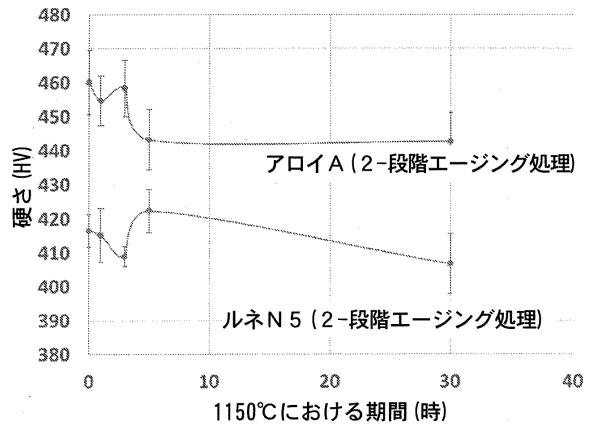


FIG. 12

【図 1 3】

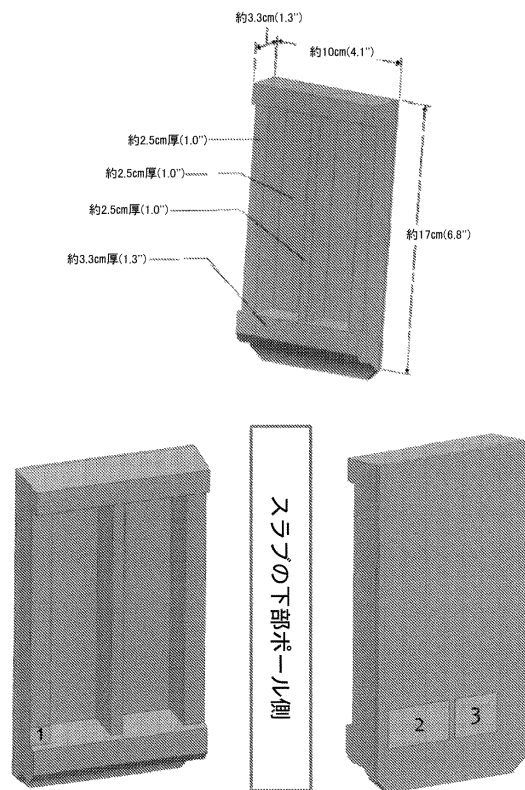


FIG. 13

【図 1 4】

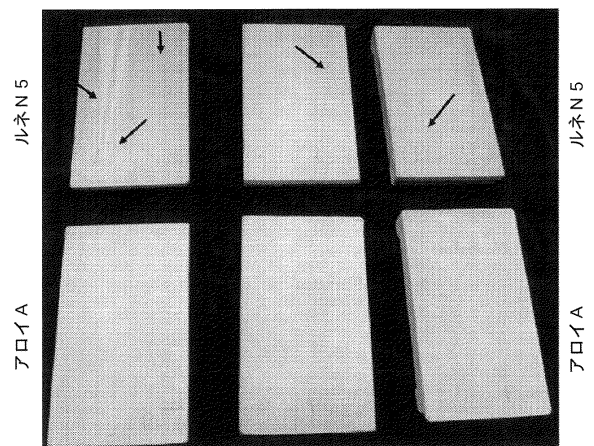


FIG. 14

【図 15】

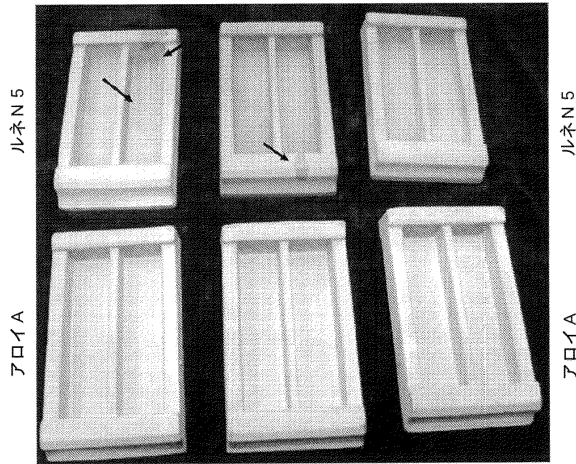


FIG. 15

【図 16】

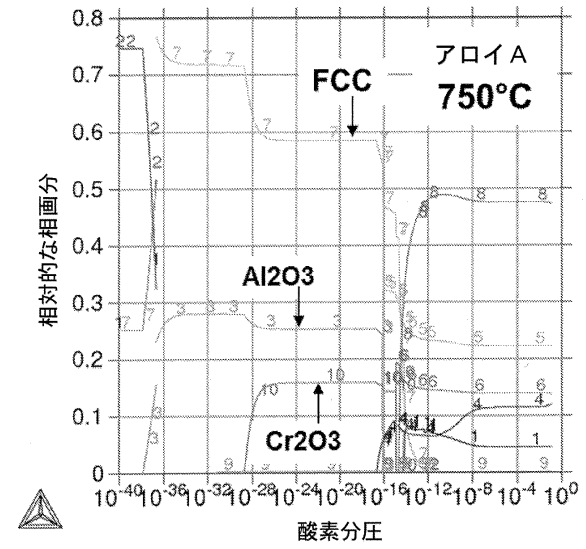


FIG. 16

【図 17】

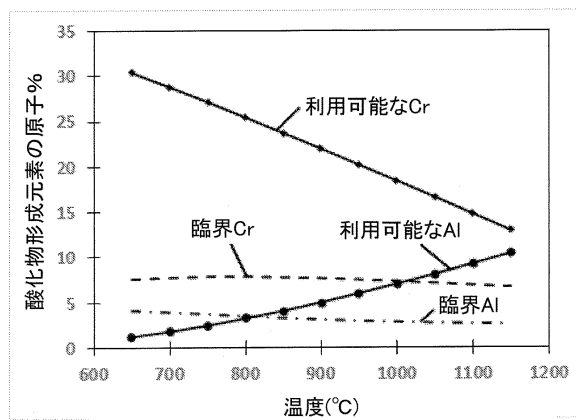


FIG. 17

【図 19】

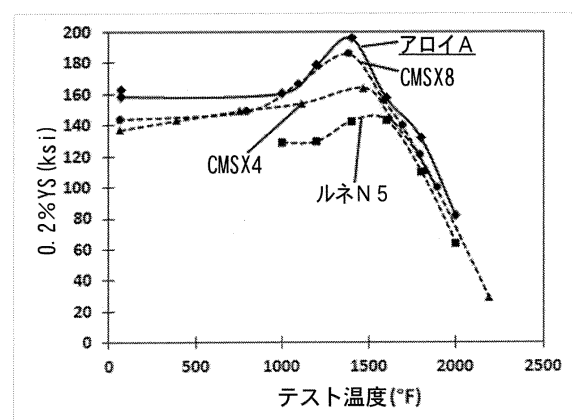


FIG. 19

【図 18】

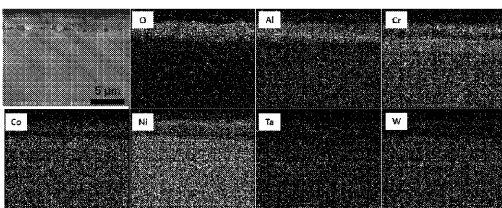


FIG. 18

【図 20】

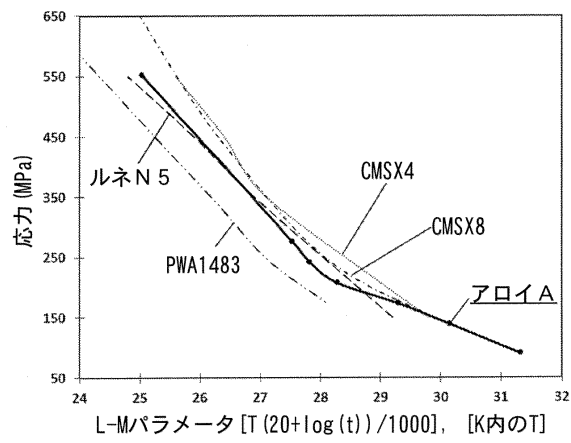


FIG. 20

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

C 2 2 F	1/00	6 8 1
C 2 2 F	1/00	6 5 1 B
C 2 2 F	1/00	6 0 7
C 2 2 F	1/00	6 0 2

(74)代理人 100093300

弁理士 浅井 賢治

(74)代理人 100119013

弁理士 山崎 一夫

(74)代理人 100123777

弁理士 市川 さつき

(74)代理人 100111796

弁理士 服部 博信

(72)発明者 ゴン ジャドン

アメリカ合衆国 イリノイ州 6 0 2 0 1 エヴァンストン チャーチ ストリート 1 1 2 1
アパートメント 3 0 6

(72)発明者 スナイダー デイヴィッド アール

アメリカ合衆国 イリノイ州 デス プレーンズ グリーンウッド ドライヴ 9 4 9 9

(72)発明者 セバスチャン ジェイソン ティー

アメリカ合衆国 イリノイ州 6 0 6 2 5 シカゴ ウェスト サニーサイド アヴェニュー 2
1 0 2

審査官 河野 一夫

(56)参考文献 国際公開第1 9 9 3 / 0 2 4 6 8 3 (WO, A 1)

国際公開第2 0 1 1 / 0 1 9 0 1 8 (WO, A 1)

特開2 0 1 1 - 0 7 4 4 9 2 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 2 C 1 9 / 0 5

C 2 2 F 1 / 0 0 - 3 / 0 2