

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2009年12月30日(30.12.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/157555 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 19/05 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/061762
- (22) 国際出願日: 2009年6月26日(26.06.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-167341 2008年6月26日(26.06.2008) JP
特願 2008-168451 2008年6月27日(27.06.2008) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人物質・材料研究機構(NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 原田 広史 (HARADA Hiroshi) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 小泉 裕

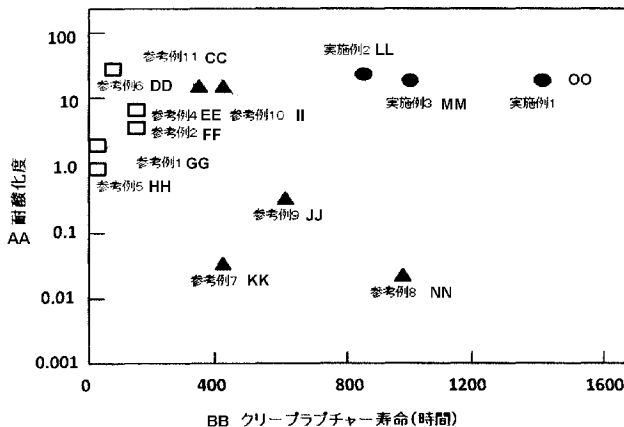
(KOIZUMI Yutaka) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 小林 敏治 (KOBAYASHI Toshiharu) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 横川 忠晴 (YOKOKAWA Tadaharu) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 坂本 正雄 (SAKAMOTO Masao) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 川岸 京子 (KAWAGISHI Kyoko) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 北嶋 具教 (KITAJIMA Tomonori) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 葉 安洲 (YEH An-chou) [CN/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP).

[続葉有]

(54) Title: Ni-BASED SINGLE CRYSTAL SUPERALLOY AND ALLOY MEMBER USING THE SAME AS BASE

(54) 発明の名称: N i 基単結晶超合金とこれを基材とする合金部材

[図1]



AA DEGREE OF OXIDATION RESISTANCE
BB CREEP RAPTURE LIFE (HOURS)
CC REFERENCE EXAMPLE 11
DD REFERENCE EXAMPLE 6
EE REFERENCE EXAMPLE 4
FF REFERENCE EXAMPLE 2
GG REFERENCE EXAMPLE 1
HH REFERENCE EXAMPLE 5
II REFERENCE EXAMPLE 10
JJ REFERENCE EXAMPLE 9
KK REFERENCE EXAMPLE 7
LL EXAMPLE 2
MM EXAMPLE 3
NN REFERENCE EXAMPLE 8
OO EXAMPLE 1

(57) Abstract: Disclosed is a Ni-based single crystal superalloy having a composition consisting of, in mass percent, 5.0-7.0% of Al, 4.0-8.0% of Ta, 0-2.0% of Mo, 3.0-8.0% of W, 3.0-8.0% of Re, 0-0.50% of Hf, 3.0-6.0% of Cr, 0-9.9% of Co, 1.0-14.0% of Ru, 0.1-4.0% of Nb and the balance of Ni and unavoidable impurities. The Ni-based single crystal superalloy suppresses the precipitation of the TCP phase at high temperatures, thereby improving strength at high temperatures, and also has oxidation resistance at high temperatures.

(57) 要約: 本発明は、質量比で、Al : 5.0% - 7.0%、Ta : 4.0% - 8.0%、Mo : 0% - 2.0%、W : 3.0% - 8.0%、Re : 3.0% - 8.0%、Hf : 0% - 0.50%、Cr : 3.0% - 6.0%、Co : 0% - 9.9%、Ru : 1.0% - 14.0%、Nb : 0.1% - 4.0% を含有し、残部がNiと不可避の不純物からなる組成を有するNi基単結晶超合金を採用することにより、高温下でのTCP相の析出を抑制して高温における強度の向上を図るとともに、高温における耐酸化性も兼ね備えたNi基単結晶超合金を提供するものである。



(74) 代理人：西澤 利夫 (NISHIZAWA Toshio); 〒1020073 東京都千代田区九段北 4 丁目 3 番 1 4 号 九段堀江ビル 6 F Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：Ni基単結晶超合金とこれを基材とする合金部材 技術分野

[0001] 本発明は、Al、Ta、W、Re、Cr、Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金とこれを基材とする合金部材に関し、特に、その高温クリープ特性とともに耐高温腐食性などの耐環境性を向上する技術に関する。

背景技術

[0002] 航空機、ガスタービンなどの高温下の動・静翼用の材料として開発されているNi基単結晶超合金の代表的な組成には、例えば表1に示したものが挙げられる。

[0003] [表1]

世代	合金名	元素（重量％）											
		Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Nb	Ta	Hf	Re	Ru	Ni
	PWA1480	5.0	10.0	-	4.0	5.0	1.5	-	12.0	-	-	-	残
	PWA1484	10.0	5.0	2.0	6.0	5.6	-	-	9.0	0.1	3.0	-	残
第四	MX-4	16.5	2.0	2.0	6.0	5.6	-	-	8.3	0.2	6.0	3.0	残
	PWA1497												
第二	CMSX-4	9.6	6.4	0.6	6.4	5.6	1.0	-	6.5	0.1	3.0	-	残
第三	CMSX-10X	3.3	2.3	0.4	5.5	5.7	0.3	0.1	8.4	0.03	6.3	-	残
	Rene' N4	8.0	9.0	2.0	6.0	3.7	4.2	0.5	4.0	-	-	-	残
	Rene' N5	8.0	7.0	2.0	5.0	6.2	-	-	7.0	0.2	3.0	-	残
第三	Rene' N6	13.0	4.0	1.0	6.0	6.0	-	0.3	7.0	0.2	5.0	-	残
	RR3010	3.1	1.7	0.5	5.5	5.9	0.1	0.1	8.5	-	6.8	-	残
第四	3B	12.5	5.0	-	5.5	5.7	0.5	-	8.0	0.15	6.0	3.0	残

[0004] 上記Ni基単結晶超合金では、所定の温度で溶体化処理を行った後、時効処理を行ってNi基単結晶超合金を得ている。この合金は、いわゆる析出硬化型合金と呼ばれており、母相である γ 相中に、析出相である γ' 相が析出した形態を有している。

[0005] 表1に挙げた合金のうち、CMSX-2（キャノン・マスケゴン社製、特

許文献 1 参照) は第 1 世代合金、CMS X-4 (キャノン・マスケゴン社製、特許文献 2 参照) は第 2 世代合金、Rene' N6 (ゼネラル・エレクトリック社製、特許文献 3 参照)、CMS X-10K (キャノン・マスケゴン社製、特許文献 4 参照) は第 3 世代合金、3B および MX-4 (ゼネラル・エレクトリック社製、特許文献 5 参照) は第 4 世代合金と呼ばれている。

[0006] 上記の第 1 世代合金である CMS X-2 や、第 2 世代合金である CMS X-4 は、低温下でのクリープ強度は遜色ないものの、高温の溶体化処理後においても共晶 γ' 相が多量に残存し、第 3 世代合金と比較して高温下でのクリープ強度が劣る。

[0007] また、上記の第 3 世代である Rene' N6 や CMS X-10K は、第 2 世代合金よりも高温下でのクリープ強度の向上を目的とした合金である。しかしながら、Re の組成比 (5 質量%以上) が母相 (γ 相) への Re 固溶量を越えるため、余剰の Re が他の元素と化合して高温下でいわゆる TCP 相 (Topologically Close Packed 相) を析出させ、高温下における長時間の使用によりこの TCP 相の量が増加してクリープ強度が低下するという問題があった。

[0008] また、Ni 基単結晶超合金のクリープ強度を向上させるには、析出相 (γ' 相) の格子定数を母相 (γ 相) の格子定数よりわずかに小さくすることが有効であるが、各相の格子定数は合金の構成元素の組成比により大きく変動するため、格子定数の微妙な調整が困難であるためにクリープ強度の向上を図ることが難しいという問題があった。本発明者らは上記事情に鑑みて、高温下での TCP 相の析出を顕著に防止して強度の向上を図ることが可能な Ni 基単結晶超合金を提案してきた (特許文献 6, 7)。

[0009] 一般に、上述の高温高強度の Ni 基単結晶超合金を航空機、ガスタービンなどの高温下の動・静翼用の材料として使用する場合、合金は酸素を含む高温燃焼ガスに長時間曝されることとなるので、上述の高温における強度向上とともに高温における耐酸化性および耐腐食性も見逃すことのできない重要な Ni 基単結晶超合金の性能因子である。前述の特許文献においては具体的

な耐酸化性に関する実施例を示したものはないが、定性的な記述として、Cr、Hf、Taなどが耐酸化性に有効であることが記載されている。しかし、高温における強度向上に顕著に効果を示すRuは、一方で高温における耐酸化性および耐腐食性を低下させるとされていた（特許文献8）。図1は代表的な各種の既存合金の1100℃、137MPにおけるクリープラプチャー寿命と1100℃における耐酸化性をプロットしたものである。Rene' N5およびCMSX-4はかなり優れた耐酸化特性を示すが、これらの既存合金は高いCr含量により耐酸化性は向上しているものの、高温における寿命は不十分となっている。一方、MX-4合金は高温耐熱性にかなり優れた第4世代合金として知られているが、高温における耐酸化性は乏しい。ゼネラル・エレクトリック社はMX-4の耐酸化性を改善するためのdiffusion barrier coatingを含めたコーティングシステムを提案している（特許文献6）。これらの例にも見られるように、高温における寿命・強度と耐酸化性を兼ね備えたNi基単結晶超合金の開発は難しく、今後とも耐熱合金の実用化に向けた重要な技術的課題となっている。

特許文献1：米国特許第4, 582, 548号明細書

特許文献2：米国特許第4, 643, 782号明細書

特許文献3：米国特許第5, 455, 120号明細書

特許文献4：米国特許第5, 366, 695号明細書

特許文献5：米国特許第5, 151, 249号明細書

特許文献6：米国特許第6, 966, 956号明細書

特許文献7：欧州特許第1, 262, 569号明細書

特許文献8：米国特許第6, 921, 586号明細書

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0010] すなわち、本発明は、実用面において高温強度と高温における耐酸化性の両面においてバランスの取れた高性能なNi基単結晶超合金の提供を目的とする。さらに、実用面において見過ごすことのできない”heat treatment wind

ow”においても十分な特性を兼備した特徴のあるNi基単結晶超合金の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 上記の目的を達成するために、本発明では以下の構成を採用した。

発明1は、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta：4.0質量%以上8.0質量%以下、Mo：0.0質量%以上2.0質量%以下、W：3.0質量%以上8.0質量%以下、Re：3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf：0.0質量%以上0.50質量%以下、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0.0質量%以上9.9質量%以下、Ru：1.0質量%以上14.0質量%以下、Nb：0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

[0012] 発明2は、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta：4.0質量%以上10.0質量%以下、Mo：0.0質量%以上1.1質量%未満、W：3.0質量%以上6.0質量%以下、Re：3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf：0.0質量%以上0.50質量%以下、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0.0質量%以上9.9質量%以下、Ru：1.0質量%以上8.0質量%以下、Nb：0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

[0013] 発明3は、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta：4.0質量%以上8.0質量%以下、Mo：0.0質量%以上1.1質量%未満、W：3.0質量%以上6.0質量%未満、Re：3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf：0.0質量%以上0.12質量%未満、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0.0質量%以上9.9質量%以下、Ru：1.0質量%以上8.0質量%以下、Nb：0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

[0014] 発明 4 は、成分が質量比で、A l : 5. 0 質量%以上 7. 0 質量%以下、T a : 4. 0 質量%以上 8. 0 質量%以下、M o : 0 質量%以上 1. 1 質量%未満、W : 3. 0 質量%以上 6. 0 質量%未満、R e : 5. 8 質量%以上 8. 0 質量%以下、H f : 0 質量%以上 0. 1 2 質量%未満、C r : 3. 0 質量%以上 7. 0 質量%以下、C o : 0 質量%以上 9. 9 質量%以下、R u : 1. 0 質量%以上 8. 0 質量%以下、N b : 0. 1 質量%以上 4. 0 質量%以下を含有し、残部が N i と不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

[0015] 発明 5 は、成分が質量比で、A l : 5. 0 質量%以上 7. 0 質量%以下、T a : 4. 0 質量%以上 8. 0 質量%以下、M o : 0 質量%以上 1. 1 質量%未満、W : 3. 0 質量%以上 6. 0 質量%未満、R e : 5. 8 質量%以上 8. 0 質量%以下、H f : 0 質量%以上 0. 1 2 質量%未満、C r : 3. 0 質量%以上 7. 0 質量%以下、C o : 0 質量%以上 9. 9 質量%以下、R u : 4. 1 質量%以上 8. 0 質量%以下、N b : 0. 1 質量%以上 4. 0 質量%以下を含有し、残部が N i と不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

[0016] 発明 6 は、成分が質量比で、A l : 5. 0 質量%以上 7. 0 質量%以下、T a : 4. 0 質量%以上 6. 0 質量%未満、M o : 0 質量%以上 1. 1 質量%未満、W : 3. 0 質量%以上 6. 0 質量%未満、R e : 5. 8 質量%以上 8. 0 質量%以下、H f : 0 質量%以上 0. 1 2 質量%未満、C r : 3. 0 質量%以上 7. 0 質量%以下、C o : 0 質量%以上 9. 9 質量%以下、R u : 4. 1 質量%以上 8. 0 質量%以下、N b : 0. 1 質量%以上 4. 0 質量%以下を含有し、残部が N i と不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

[0017] 発明 7 は、成分が質量比で、A l : 5. 0 質量%以上 7. 0 質量%以下、T a : 4. 0 質量%以上 6. 0 質量%未満、M o : 0 質量%以上 1. 1 質量%未満、W : 3. 0 質量%以上 6. 0 質量%未満、R e : 5. 8 質量%以上 8. 0 質量%以下、H f : 0. 0 質量%以上 0. 1 2 質量%未満、C r : 3

、 O 質量%以上 7. O 質量%以下、 C o : O 質量%以上 9. 9 質量%以下、
R u : 4. 1 質量%以上 8. O 質量%以下、 N b : 1. O 質量%超 3. O 質
量%以下を含有し、残部が N i と不可避免の不純物からなる組成を有すること
を特徴とする。

[0018] 発明 8 は、成分が質量比で、 A l : 5. O 質量%以上 7. O 質量%以下、
T a : 4. O 質量%以上 6. O 質量%未満、 M o : O 質量%以上 1. 1 質量
%未満、 W : 4. O 質量%以上 5. O 質量%未満、 R e : 5. 8 質量%以上
8. O 質量%以下、 H f : 0. O 質量%以上 0. 1 2 質量%未満、 C r : 3
. O 質量%以上 7. O 質量%以下、 C o : O 質量%以上 9. 9 質量%以下、
R u : 4. 1 質量%以上 8. O 質量%以下、 N b : 1. O 質量%超 3. O 質
量%以下を含有し、残部が N i と不可避免の不純物からなる組成を有すること
を特徴とする。

[0019] 発明 9 は、発明 1 から発明 8 のいずれか一項の N i 基単結晶超合金において
、質量比で、 2. O 質量%以下の T i をさらに含有することを特徴とする。

[0020] 発明 10 は、発明 1 から発明 9 のいずれか一項の N i 基単結晶超合金におい
て、 B、 C、 S i、 Y、 L a、 C e、 V、 Z r のうちの少なくとも一つを含有
することを特徴とする。

[0021] 発明 11 は、発明 1 から発明 10 のいずれか一項の N i 基単結晶超合金にお
いて、母相の格子定数を a_1 とし、析出相の格子定数を a_2 としたとき、 a_1 と
 a_2 の関係が $0.992 a_1 \leq a_2 < a_1$ であることを特徴とする。

[0022] 発明 12 は、 N i 基単結晶超合金を基材とする合金部材であって、前記 N
i 基単結晶超合金が発明 1 から発明 11 のいずれかの N i 基単結晶超合金で
あることを特徴とする。

発明の効果

[0023] 上記の N i 基単結晶超合金系を用いることにより、強度低下の原因となる高
温使用時の T C P 相析出の制御は R u を添加することによって原理的に可能
であり、上記のごとく他の構成元素の組成比を最適な範囲に設定することによ
り母相 (γ 相) の格子定数と析出相 (γ' 相) の格子定数とを最適な値に

制御することによって、高温強度の優れた合金することが可能になる。

[0024] しかし、一方において、Ruは高温における耐酸化性および耐腐食性を低下させることも知られている。本発明は、上述の高温強度改善のための組成最適化とともに、Ni基単結晶超合金の基材そのものの耐酸化性の向上を目指して、Ruおよびその他の構成元素の組成比をさらに最適化し、高温における強度と耐酸化性の両面においてバランスの取れた実用的なNi基単結晶超合金を見出したものである。

[0025] すなわち、先に記載のNi基単結晶超合金系において、成分が質量比で、Al : 5.6質量%、Ta : 5.6質量%、Mo : 1.0質量%、W : 4.8質量%、Re : 6.4質量%、Hf : 0.10質量%、Cr : 4.6質量%、Co : 5.6質量%、Ru : 5.0質量%、Nb : 1.1質量%を含有し、残部がNiと不可避免的不純物からなる組成とした場合、1,100℃、137MPaにおけるクリープラプチャー寿命が約1,400時間であって、1,100℃、1.0時間サイクルによる高温酸化加速試験において、50サイクルまで質量変化が極めて少ないものとする事が可能になる。

[0026] また、先に記載のNi基単結晶超合金系において、質量比で、0質量%以上2.0質量%以下のTiをさらに含有してもよい。

[0027] また、先に記載のNi基単結晶超合金系において、B、C、Si、Y、La、Ce、V、Zrのうちの少なくとも一つを含んでもよい。

この場合、個々の成分は、質量比で、B : 0.05質量%以下、C : 0.15質量%以下、Si : 0.1質量%以下、Y : 0.1質量%以下、La : 0.1質量%以下、Ce : 0.1質量%以下、V : 1質量%以下、Zr : 0.1質量%以下であるのが好ましい。

[0028] さらに、本発明のNi基単結晶超合金は、先に記載のNi基単結晶超合金であって、母相の格子定数を a_1 とし、析出相の格子定数を a_2 としたとき、 $0.992a_1 \leq a_2 < a_1$ であることを特徴とする。

発明を実施するための最良の形態

[0029] 以下、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

本発明のNi基単結晶超合金は、Al、Ta、W、Re、Cr、Ru及びNbを主添加物とし、Mo、Hf及びCoを調整添加元素として使用した合金である。

[0030] 本発明のNi基単結晶超合金は、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta：4.0質量%以上8.0質量%以下、Mo：0質量%以上2.0質量%以下、W：3.0質量%以上8.0質量%以下、Re：3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf：0質量%以上0.50質量%以下、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0質量%以上9.9質量%以下、Ru：1.0質量%以上14.0質量%以下、Nb：0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

本発明のNi基単結晶超合金は、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta：4.0質量%以上10.0質量%以下、Mo：0質量%以上1.1質量%未満、W：3.0質量%以上6.0質量%以下、Re：3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf：0質量%以上0.50質量%以下、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0質量%以上9.9質量%以下、Ru：1.0質量%以上8.0質量%以下、Nb：0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

本発明のNi基単結晶超合金は、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta：4.0質量%以上8.0質量%以下、Mo：0質量%以上1.1質量%未満、W：3.0質量%以上6.0質量%未満、Re：3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf：0質量%以上0.12質量%未満、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0質量%以上9.9質量%以下、Ru：1.0質量%以上8.0質量%以下、Nb：0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

本発明のNi基単結晶超合金は、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上

7. 0質量%以下、T a : 4. 0質量%以上8. 0質量%以下、M o : 0質量%以上1. 1質量%未満、W : 3. 0質量%以上6. 0質量%未満、R e : 5. 8質量%以上8. 0質量%以下、H f : 0質量%以上0. 12質量%未満、C r : 3. 0質量%以上7. 0質量%以下、C o : 0質量%以上9. 9質量%以下、R u : 1. 0質量%以上8. 0質量%以下、N b : 0. 1質量%以上4. 0質量%以下を含有し、残部がN i と不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

本発明のN i 基単結晶超合金は、成分が質量比で、A l : 5. 0質量%以上7. 0質量%以下、T a : 4. 0質量%以上8. 0質量%以下、M o : 0質量%以上1. 1質量%未満、W : 3. 0質量%以上6. 0質量%未満、R e : 5. 8質量%以上8. 0質量%以下、H f : 0質量%以上0. 12質量%未満、C r : 3. 0質量%以上7. 0質量%以下、C o : 0質量%以上9. 9質量%以下、R u : 4. 1質量%以上8. 0質量%以下、N b : 0. 1質量%以上4. 0質量%以下を含有し、残部がN i と不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

本発明のN i 基単結晶超合金は、成分が質量比で、A l : 5. 0質量%以上7. 0質量%以下、T a : 4. 0質量%以上6. 0質量%未満、M o : 0質量%以上1. 1質量%未満、W : 3. 0質量%以上6. 0質量%未満、R e : 5. 8質量%以上8. 0質量%以下、H f : 0質量%以上0. 12質量%未満、C r : 3. 0質量%以上7. 0質量%以下、C o : 0質量%以上9. 9質量%以下、R u : 4. 1質量%以上8. 0質量%以下、N b : 0. 1質量%以上4. 0質量%以下を含有し、残部がN i と不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

本発明のN i 基単結晶超合金は、成分が質量比で、A l : 5. 0質量%以上7. 0質量%以下、T a : 4. 0質量%以上6. 0質量%未満、M o : 0質量%以上1. 1質量%未満、W : 3. 0質量%以上6. 0質量%未満、R e : 5. 8質量%以上8. 0質量%以下、H f : 0. 0質量%以上0. 1質量%未満、C r : 3. 0質量%以上7. 0質量%以下、C o : 0質量%以上9

． 9 質量％以下、R u : 4 . 1 質量％以上 8 . 0 質量％以下、N b : 1 . 0 質量％超 3 . 0 質量％以下を含有し、残部が N i と不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

本発明の N i 基単結晶超合金は、成分が質量比で、A l : 5 . 0 質量％以上 7 . 0 質量％以下、T a : 4 . 0 質量％以上 6 . 0 質量％未満、M o : 0 質量％以上 1 . 1 質量％未満、W : 4 . 0 質量％以上 5 . 0 質量％未満、R e : 5 . 8 質量％以上 8 . 0 質量％以下、H f : 0 . 0 質量％以上 0 . 1 質量％未満、C r : 3 . 0 質量％以上 7 . 0 質量％以下、C o : 0 質量％以上 9 . 9 質量％以下、R u : 4 . 1 質量％以上 8 . 0 質量％以下、N b : 1 . 0 質量％超 3 . 0 質量％以下を含有し、残部が N i と不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とする。

[0031] 上記合金はいずれも、オーステナイト相たる γ 相（母相）と、この母相中に分散析出した中間規則相たる γ' 相（析出相）とを有している。 γ' 相は、主として N i 3 A l で表される金属間化合物からなり、この γ' 相により N i 基単結晶超合金の高温強度が向上する。

[0032] C r は耐酸化性に優れた元素であり、N i 基単結晶超合金の高温耐食性を向上させる。

C r の組成比は、C r : 3 . 0 質量％以上 7 . 0 質量％以下の範囲が好ましく、3 . 5 質量％以上 6 . 5 質量％以下の範囲がより好ましく、4 . 0 質量％以上 6 . 0 質量％以下の範囲とすることが最も好ましい。

C r の組成比が 3 . 0 質量％未満であると、所望の高温耐食性を確保できないので好ましくなく、C r の組成比が 7 . 0 質量％を越えると、 γ' 相の析出が抑制されるとともに σ 相や μ 相などの有害相が生成して高温強度が低下する傾向が認められることもあるので好ましくない。

[0033] M o は、W 及び T a との共存下にて、母相である γ 相に固溶して高温強度を増加させるとともに析出硬化により高温強度に寄与する。また、M o は、本合金の特徴である格子ミスフィット及び転位網間隔（後述）に大きく寄与する。

M_oの組成比は、0.0質量%以上2.0質量%以下の範囲が好ましく、0.0質量%以上1.0質量%未満の範囲がより好ましい。

M_oの組成比が2.0質量%超となると、上記に例示したNi基単結晶超合金の組成域においては、高温における所望の耐酸化特性が確保できないので好ましくない。

[0034] Wは、上記のようにTa及びM_oとの共存下にて固溶強化と析出硬化の作用により、高温強度を向上させる。Wの組成比が3.0質量%未満であると、所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、Wの組成比があまり大きくなり過ぎると高温耐食性が低下するので好ましくない。Wの組成比は、3.0質量%以上8.0質量%以下の範囲が好ましく、3.0質量%以上6.0質量%以下の範囲がより好ましく、4.0質量%以上5.0質量%以下の範囲が最も好ましい。

[0035] Taは、上記のようにW及びM_oとの共存下にて固溶強化と析出硬化の作用により高温強度を向上させ、また一部が γ' 相に対して析出硬化し、高温強度を向上させる。

Taの組成比は、4.0質量%以上8.0質量%以下の範囲が好ましい。

Taの組成比が4.0質量%未満であると、所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、Taの組成比が10.0質量%を越えると、 σ 相や μ 相が生成するようになって高温強度が低下するので好ましくなく、また、実用上、Taの組成比が8.0質量%以上となるとNi基単結晶超合金の密度も上昇するので好ましくない。最も好ましいTaの組成比は、4.0質量%以上6.0質量%未満の範囲である。

[0036] Alは、Niと化合し、母相中に微細均一に分散析出する γ' 相を構成する(Ni₃Al)で表される金属間化合物を、体積分率で60～70%の割合で形成し、高温強度を向上させる。

Alの組成比は、5.0質量%以上7.0質量%以下の範囲が好ましい。

Alの組成比が5.0質量%未満であると、 γ' 相の析出量が不十分となり、所望の高温強度を確保できないので好ましくなく、Alの組成比が7.0

質量%を越えると、共晶 γ' 相と呼ばれる粗大な γ' 相が多く形成され、溶体化処理が不可能となり、高い高温強度を確保できなくなるので好ましくない。

[0037] Hfは耐酸化性向上元素である。Hfの組成比は、0.00質量%以上0.50質量%以下の範囲が好ましく、0.01質量%以上0.12質量%未満とすることが最も好ましい。Hfの組成比が0.01質量%未満であると、耐酸化性向上の効果を確保できないので好ましくない。但し、Al又は/及びCrの含有量によっては、Hfの組成比を0質量%以上0.01質量%未満とする場合もある。また、Hfの組成比が大きくなり過ぎると、局部溶融を引き起こして高温強度を低下させるおそれがあるので好ましくない。

[0038] Coは、Al、Ta等の母相に対する高温下での固溶限度を大きくし、熱処理によって微細な γ' 相を分散析出させ、高温強度を向上させる。

Coの組成比は、0.0質量%以上9.9質量%以下の範囲が好ましく、0.1質量%以上9.9質量%以下の範囲がより好ましい。Coの組成比が0.1質量%未満であると、 γ' 相の析出量が不十分となり、所望の高温強度を確保できないこともあるので好ましくない。但し、Al又は/及びTaの含有量によっては、Coの組成比を0質量%あるいは0.1質量%未満とする場合もある。また、Coの組成比が9.9質量%を越えると、Al、Ta、Mo、W、Hf、Cr等の他の元素とのバランスがくずれ、有害相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。

[0039] Reは母相である γ 相に固溶し、固溶強化により高温強度を向上させる。また耐蝕性を向上させる効果もある。一方でReを多量に添加すると、高温時に有害相であるTCP相が析出し、高温強度が低下するおそれがある。

Reの組成比は、3.0質量%以上8.0質量%以下の範囲が好ましく、5.8質量%以上8.0質量%以下とすることがより好ましい。

Reの組成比が3.0質量%未満であると、 γ 相の固溶強化が不十分となって所望の高温強度を確保できないので好ましくない。Reの組成比が8.0質量%を越えると、高温時にTCP相が析出して高温強度の性能を下げ、ま

た高価なReの量が増えると合金原材料価格が上昇することとなるので、好ましくない。

[0040] Ruは、TCP相の析出を抑え、これにより高温強度を向上させる。

Ruの組成比は、1.0質量%以上14.0質量%以下の範囲が好ましく、1.0質量%以上8.0質量%以下の範囲がより好ましい。Ruの組成比は、4.1質量%以上8.0質量%以下の範囲が特に好ましい。

Ruの組成比が1.0質量%未満であると、高温時にTCP相が析出し、高い高温強度を確保できなくなる。さらに、Ruの組成比が4.1質量%未満であると、Ruの組成比が4.1質量%以上の場合に比べて、高温強度が低くなる。Ruの組成比が8.0質量%を越えると、ε相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。また、高価なRuの量が増えると合金原材料価格が上昇することとなり、実用性の面においても好ましくない。

[0041] Nbの組成比は、0.1質量%以上4.0質量%以下の範囲が好ましく、1.0質量%超3.0質量%以下の範囲がより好ましい。NbはNi基単結晶超合金の密度を低下させる点で好ましい元素であるが、Nbの組成比が3.0質量%以上になると高温において有害相が生成し易くなるので好ましくない。

[0042] 本発明では、Al、Ta、Mo、W、Hf、Cr、Co、Re、NbおよびNiの組成比を最適なものに調整することにより、γ相の格子定数とγ'相の格子定数により算出される格子ミスフィット及び転位網間隔（後述）を最適な範囲に設定して高温強度を向上させるとともに、Ruを添加することにより、TCP相の析出を抑制できる。また、特にAlとCrとTaとMoの組成比を先に述べた組成範囲に設定することにより、合金の製造コストを抑えることができる。さらに、比強度の向上や、格子ミスフィットや転位網間隔の最適値への設定が実施可能となる。

[0043] また、1273K（1000℃）から1373K（1100℃）のような高温での使用環境において、母相であるγ相を構成する結晶の格子定数をa1とし、析出相であるγ'相を構成する結晶の格子定数をa2としたとき、a1と

a_2 の関係が $a_2 < a_1$ であることが好ましい。

なお、以下の記載中、母相の結晶の格子定数 a_1 と析出相の結晶の格子定数 a_2 との差の a_1 に対するパーセンテージ $\{(a_2 - a_1) / a_1 \times 100 (\%) \}$ を、「格子ミスフィット」と呼称する。

この格子ミスフィットの範囲については、母相である γ 相と析出相である γ' 相の整合性が保たれる限りにおいて、より負であることによって、転位網間隔が小さくなり、クリープ強度を向上する効果が得られる。

この格子ミスフィットが 0% 未満、好ましくは -0.1% 以下、より好ましくは -0.15% 以下とする。

しかし、格子ミスフィットの数値があまり負に偏り過ぎると整合性が維持できずに性能が低下するので、最大でも -1% 、好ましくは -0.8% 、より好ましくは -0.7% とすることが望ましい。

つまり、析出相の結晶の格子定数 a_2 と母相の結晶の格子定数 a_1 との関係は、 $0.990 a_1 \leq a_2 < a_1$ 、好ましくは $0.992 a_1 \leq a_2 \leq 0.999 a_1$ 、さらに好ましくは $0.993 a_1 \leq a_2 \leq 0.9985 a_1$ ということになる。

[0044] 両者の格子定数がこのような関係を有する場合、熱処理によって母相中に析出相が析出する際に、析出相が荷重方向の垂直方向に連続して延在するように析出するので、応力下で転位欠陥が合金組織中を移動することが少なくなり、クリープ強度が高められる。格子定数 a_1 と格子定数 a_2 の関係を上述のように制御するためには、Ni 基単結晶超合金を構成する構成元素の組成を適宜調整する必要がある。

[0045] また、上記の Ni 基単結晶超合金は、Ti をさらに含有してもよい。この場合、Ti の組成比は、0 質量% 以上 2.0 質量% 以下の範囲が好ましい。Ti の組成比が 2.0 質量% を超えると、有害相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。

[0046] あるいは、Ta と Nb と Ti の組成比を、両者の合計 $(Ta + Nb + Ti)$ で 4.0 質量% 以上 10.0 質量% 以下とすることによっても、高温強度を

向上させることができる。

また、上記のNi基単結晶超合金において、不可避免的不純物以外に、例えば、B、C、Si、Y、La、Ce、V、Zrなどを含んでもよい。B、C、Si、Y、La、Ce、V、Zrのうちの少なくとも一つを含む場合、個々の成分の組成比は、B：0.05質量%以下、C：0.15質量%以下、Si：0.1質量%以下、Y：0.1質量%以下、La：0.1質量%以下、Ce：0.1質量%以下、V：1質量%以下、Zr：0.1質量%以下であるのが好ましい。上記個々の成分の組成比が上記範囲を超えると、有害相が析出して高温強度が低下するので好ましくない。

[0047] なお、従来のNi基単結晶超合金には、逆分配を起こす合金が存在するが、本発明に係るNi基単結晶超合金は、逆分配を起こさない。

[0048] 以上述べてきた本発明によるNi基単結晶超合金のクリープラプチャー寿命と耐酸化性を代表的な各種の既存合金の特性とともに図1に示した。本発明によるNi基単結晶超合金はRene' N5、CMSX-4およびMX-4合金に比較し、高温における寿命と耐酸化性において極めて優れた特性を有するものであることが明らかである。

[0049] なお、図1における縦軸の耐酸化度は下記の式で定義される。一般にNi基単結晶超合金の試料を高温下で酸化を進行させた場合、酸化によってその質量が一時増加したのちに減少に転ずるもの、あるいは酸化開始後次第に質量が減少するものが存在する。本式はいずれの場合にも対応して耐酸化性を表すことができる。

$$\text{耐酸化度} = \log \left[\frac{1}{w_1} \times \frac{1}{|w_{50} - w_1|} \right]$$

w_1 : 1サイクル後の質量増加量 (mg/cm²)

$w_{50} - w_1$: 1サイクルから50サイクル
までの質量変化 (mg/cm²)

実施例

[0050] 次に、実施例を示し、本発明の効果について説明する。

真空溶解炉を用いて各種のNi基単結晶超合金の溶湯を調整し、この合金溶湯を用いて組成の異なる複数の合金インゴットを鑄造した。本発明の合金（実施例1－3）とともに、6種類の代表的な既存耐熱合金（参考例1－6）および本出願人が既に出願済みの第4および第5世代の耐熱合金4種類の（参考例7－11）（特許文献6および7）の組成比を表2に示す。

[0051] [表2]

試料	構成元素（重量％）											
	Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Nb	Ta	Hf	Re	Ru	Ni
実1	5.6	4.6	1.0	5.1	5.5	-	1.2	5.6	0.1	6.5	5.0	残
実2	8.0	4.6	1.0	4.8	5.6	-	1.2	5.6	0.1	6.4	5.0	残
実3	5.6	4.8	0.8	5.2	5.6	-	1.2	5.6	0.1	6.4	5.0	残
参1	5.0	10.0	-	4.0	5.0	1.5	-	12.0	-	-	-	残
参2	10.0	5.0	2.0	6.0	5.6	-	-	9.0	0.1	3.0	-	残
参3	16.5	2.0	2.0	6.0	5.6	-	-	8.3	0.2	6.0	3.0	残
参4	9.6	6.4	0.6	6.4	5.6	1.0	-	6.5	0.1	3.0	-	残
参5	8.0	9.0	2.0	6.0	3.7	4.2	0.5	4.0	-	-	-	残
参6	8.0	7.0	2.0	5.0	6.2	-	-	7.0	0.2	3.0	-	残
参7	5.8	2.9	2.9	5.9	5.9	-	-	5.9	0.1	4.9	2.0	残
参8	5.6	2.8	2.8	5.6	5.6	-	-	5.6	0.1	6.9	5.0	残
参9	5.6	4.6	2.4	5.0	5.6	-	-	5.6	0.1	6.4	5.0	残
参10	12.0	4.6	1.0	4.8	5.6	-	1.2	5.6	0.1	6.4	5.0	残
参11	8.0	7.0	0.0	4.8	5.6	-	1.2	5.6	0.1	6.4	5.0	残
実：実施例 参：参考例												

[0052] 次に、合金インゴットに対して溶体化処理及び時効処理を行い、合金組織の状態を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した。実施例1－3および参考例7－11の合金の溶体化処理は、1573K（1300℃）で1時間保持した後、1603K（1330℃）まで昇温し、5時間保持した。また、時効処理は、1273K～1423K（1000℃～1150℃）で4時間保持する1次時効処理と、1143K（870℃）で20時間保持する2次時

効処理を連続して行った。参考例 1－6 の既存合金については、各合金に公知の条件で溶体化処理及び時効処理を行った。その結果、各試料ともに、組織中に T C P 相は確認されなかった。

[0053] 図 2 は、実施例 1 の合金について 1 3 3 5 °C、1 8 時間の溶体化処理に続いて 1 1 5 0 °C の時効処理した N i 基単結晶合金の透過電子顕微鏡写真である。網目状に形成された転位が観測され、また、その網目の間隔は約 0 . 3 2 m μ であって、N i 基単結晶合金として望ましいものであることが分かる。

[0054] 次に、溶体化処理及び時効処理を施した各試料に対して、クリープ試験を行った。クリープ試験は、表 3 に示す温度及び応力の各条件下で各試料（実施例 1 ～ 3 および参考例 1 ～ 1 1 ）がクリープ破断するまでの時間を寿命として測定した。その結果について表 3 にまとめた。

[0055] さらに、溶体化処理及び時効処理を施した各試料に対して、耐酸化特性の試験を行った。耐酸化性の試験条件は空気中において 1 時間サイクルで 1 1 5 0 °C の高温下に試料を暴露して質量の変化を測定し、5 0 サイクル後の耐酸化度についても表 3 に示した。

[0056]

[表3]

試料	クリープ破断寿命	耐酸化度	合金の種類
実 1	1400(h)	19.553	
実 2	857(h)	24.105	
実 3	986(h)	20.364	
参 1	17.8(h)	2.099	(PWA1480)
参 2	141(h)	3.998	(PWA1484)
参 3	142(h)	0.008	(MX-4)
参 4	139(h)	4.276	(CMSX-4)
参 5	31(h)	0.892	(Rene'N4)
参 6	89(h)	33.449	(Rene'N5)
参 7	412(h)	0.032	既出願
参 8	967(h)	0.021	既出願
参 9	608(h)	0.361	既出願
参 10	443(h)	21.843	既出願
参 11	382(h)	20.364	既出願
クリープ破断寿命：1373K(1100℃),137MPa での試験結果			
実：実施例 参：参考例			

[0057] 図 1 は 1100℃、137MPa におけるクリープラプチャー寿命と 1150℃における耐酸化性に関して、本発明の耐熱合金（実施例 1－3）、代表的な各種の既存実用合金（参考例 1－6）および本発明者らが既に提案済の耐熱合金（参考例 7－11）（特許文献 6 および 7）の性能を比較したものである。代表的な既存の実用合金は耐熱性が劣っており、また本発明者らが既に提案済の合金は実用合金に比べて耐熱性の面で明らかに優れているが、耐酸化性の点で必ずしも充分でないものも認められる。また、参考例 3 の既存合金 MX-4 の酸化度については図中にプロットしていないが、酸化度は 0.01 以下であり、他の合金系に比べて著しく低いものであった。図 1 に示す結果は、本発明の合金系が上記の既存合金に比べて、極めて優れた耐熱性と耐酸化性を兼ね備えた合金系であることは示唆している。

[0058] 図 3 は、実施例 1 の合金および参考例 4 の合金について、空气中、1 時間サイクルで 1100℃の高温下に約 600 サイクルまでの繰り返し暴露試験を

行った際の質量の変化を比較して示したものである。本結果は、本発明合金が耐酸化性に優れていることが一般に知られる既存合金CMSX-4に較べて、一段と優れた耐酸化性を有した合金であることを示している。

[0059] 図4は、1100℃、1時間、空气中に暴露した実施例1の合金の表面を観測したものである。合金の表面は酸化アルミナ層を含む複数の緻密な薄い多層構造となっており、耐酸化性に優れた特徴を示している。

[0060] 実施例1および代表的な既存合金であるCMSX-4（参考例4）について、格子ミスフィットの値（％）を算出したところ、それぞれ0.28および0.14であり、実施例1の合金の方が、母相である γ 相と析出相である γ' 相の整合性を保持するのに望ましいものであった。

[0061] 図5は、実施例1の合金および実用合金である参考例4の合金について、heat-treatment windowを測定したものである。実施例1および参考例4の合金のheat-treatment windowはそれぞれ47℃および28℃であった。本発明の合金のheat-treatment windowは実用合金である参考例4に比べて広いwindowを持っており、工業的なブレード鑄造工程においてもプロセス的な問題を有しておらず、また鑄造工程におけるブレードの歩留まりも非常に高いことが期待されるものであった。

図面の簡単な説明

[0062] [図1] 1100℃、137MPにおけるクリーププラプチャー寿命と1150℃における耐酸化性に関して、本発明の耐熱合金（実施例1-3）、代表的な既存実用合金（参考例1-6）および本発明者らの既出願合金（参考例7-11）の性能を比較した図である。

[図2] 実施例1の合金について、溶体化処理及び時効処理したのちのNi基単結晶合金の透過電子顕微鏡写真である。

[図3] 実施例1の合金および実用合金である参考例4の合金について、空气中、1時間サイクルで1100℃の高温下に約600サイクルの繰り返して試料を暴露した際の質量の変化を示した図である。

[図4] 実施例1の合金について、1100℃、1時間、空气中に暴露したのち

に表面を観測した写真である。

[図5] 実施例 1 の合金および実用合金である参考例 4 の合金について、heat-treatment windowを測定した熱分析結果である。

請求の範囲

- [請求項1] Al, Ta, W, Re, Cr, Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金であって、成分が質量比で、Al: 5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta: 4.0質量%以上8.0質量%以下、Mo: 0.0質量%以上2.0質量%以下、W: 3.0質量%以上8.0質量%以下、Re: 3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf: 0.0質量%以上0.50質量%以下、Cr: 3.0質量%以上7.0質量%以下、Co: 0.0質量%以上9.9質量%以下、Ru: 1.0質量%以上14.0質量%以下、Nb: 0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基単結晶超合金。
- [請求項2] Al, Ta, W, Re, Cr, Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金であって、成分が質量比で、Al: 5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta: 4.0質量%以上10.0質量%以下、Mo: 0.0質量%以上1.1質量%未満、W: 3.0質量%以上6.0質量%以下、Re: 3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf: 0.0質量%以上0.50質量%以下、Cr: 3.0質量%以上7.0質量%以下、Co: 0.0質量%以上9.9質量%以下、Ru: 1.0質量%以上8.0質量%以下、Nb: 0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基単結晶超合金。
- [請求項3] Al, Ta, W, Re, Cr, Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金であって、成分が質量比で、Al: 5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta: 4.0質量%以上8.0質量%以下、Mo: 0.0質量%以上1.1質量%未満、W: 3.0質量%以上6.0質量%未満、Re: 3.0質量%以上8.0質量%以下、Hf: 0.0質量%以上0.12質量%未満、Cr: 3.0質量%以上7.0質量%以下、Co: 0.0質量%以上9.9質量%以下、Ru: 1.0質量%以上

8. 0質量%以下、Nb : 0. 1質量%以上4. 0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基単結晶超合金。

[請求項4]

Al, Ta, W, Re, Cr, Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金であって、成分が質量比で、Al : 5. 0質量%以上7. 0質量%以下、Ta : 4. 0質量%以上8. 0質量%以下、Mo : 0質量%以上1. 1質量%未満、W : 3. 0質量%以上6. 0質量%未満、Re : 5. 8質量%以上8. 0質量%以下、Hf : 0質量%以上0. 12質量%未満、Cr : 3. 0質量%以上7. 0質量%以下、Co : 0質量%以上9. 9質量%以下、Ru : 1. 0質量%以上8. 0質量%以下、Nb : 0. 1質量%以上4. 0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基単結晶超合金。

[請求項5]

Al, Ta, W, Re, Cr, Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金であって、成分が質量比で、Al : 5. 0質量%以上7. 0質量%以下、Ta : 4. 0質量%以上8. 0質量%以下、Mo : 0質量%以上1. 1質量%未満、W : 3. 0質量%以上6. 0質量%未満、Re : 5. 8質量%以上8. 0質量%以下、Hf : 0質量%以上0. 12質量%未満、Cr : 3. 0質量%以上7. 0質量%以下、Co : 0質量%以上9. 9質量%以下、Ru : 4. 1質量%以上8. 0質量%以下、Nb : 0. 1質量%以上4. 0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基単結晶超合金。

[請求項6]

Al, Ta, W, Re, Cr, Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金であって、成分が質量比で、Al : 5. 0質量%以上7. 0質量%以下、Ta : 4. 0質量%以上6. 0質量%未満、Mo : 0質量%以上1. 1質量%未満、W : 3. 0質量%以上6. 0質量%未満、Re : 5. 8質量%以上8. 0質量%以下、Hf : 0質量

%以上0.12質量%未満、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0質量%以上9.9質量%以下、Ru：4.1質量%以上8.0質量%以下、Nb：0.1質量%以上4.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基単結晶超合金。

[請求項7]

Al、Ta、W、Re、Cr、Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金であって、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta：4.0質量%以上6.0質量%未満、Mo：0質量%以上1.1質量%未満、W：3.0質量%以上6.0質量%未満、Re：5.8質量%以上8.0質量%以下、Hf：0.0質量%以上0.12質量%未満、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0質量%以上9.9質量%以下、Ru：4.1質量%以上8.0質量%以下、Nb：1.0質量%超3.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基単結晶超合金。

[請求項8]

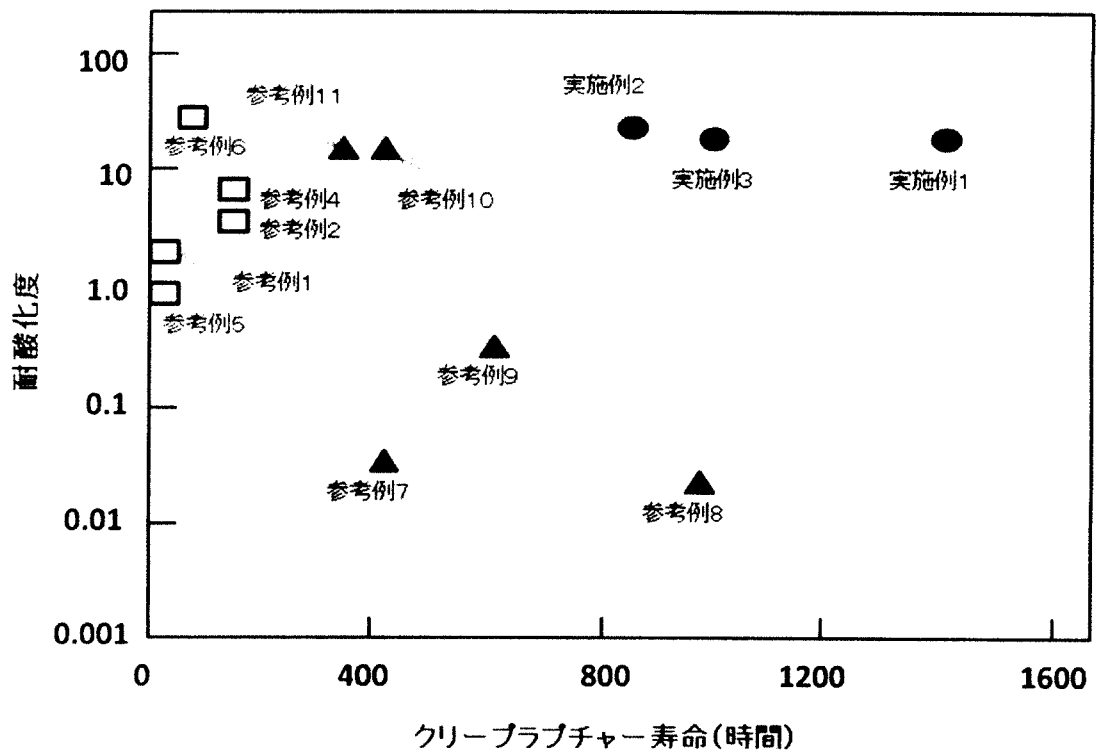
Al、Ta、W、Re、Cr、Ru及びNbを主添加元素とするNi基単結晶超合金であって、成分が質量比で、Al：5.0質量%以上7.0質量%以下、Ta：4.0質量%以上6.0質量%未満、Mo：0質量%以上1.1質量%未満、W：4.0質量%以上5.0質量%未満、Re：5.8質量%以上8.0質量%以下、Hf：0.0質量%以上0.12質量%未満、Cr：3.0質量%以上7.0質量%以下、Co：0質量%以上9.9質量%以下、Ru：4.1質量%以上8.0質量%以下、Nb：1.0質量%超3.0質量%以下を含有し、残部がNiと不可避免の不純物からなる組成を有することを特徴とするNi基単結晶超合金。

[請求項9]

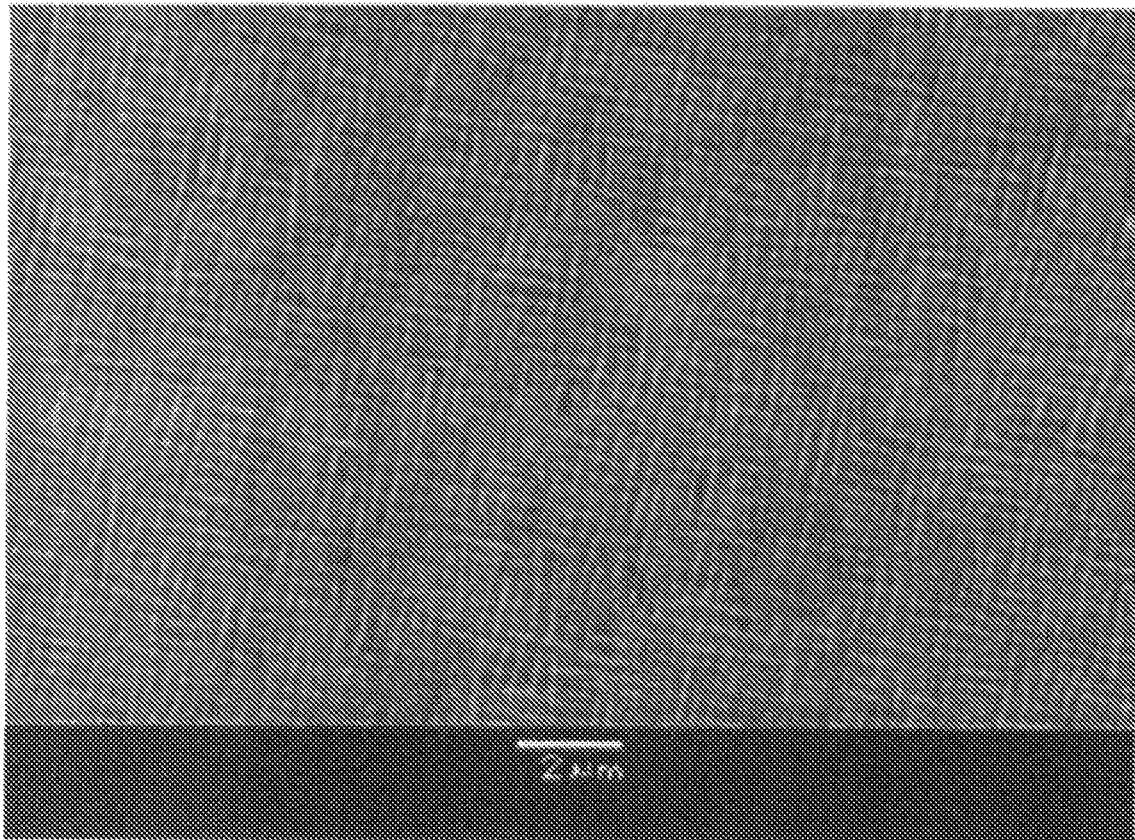
請求項1から請求項8のいずれか一項に記載のNi基単結晶超合金において、質量比で、2.0質量%以下のTiをさらに含有することを特徴とするNi基単結晶超合金。

- [請求項10] 請求項1から請求項9のいずれか一項に記載のN i 基単結晶超合金において、B、C、S i、Y、L a、C e、V、Z rのうちの少なくとも一つを含有することを特徴とするN i 基単結晶超合金
- [請求項11] 請求項1から請求項10のいずれか一項に記載のN i 基単結晶超合金において、母相の格子定数を a_1 とし、析出相の格子定数を a_2 としたとき、 a_1 と a_2 の関係が $0.992a_1 \leq a_2 < a_1$ であることを特徴とするN i 基単結晶超合金。
- [請求項12] N i 基単結晶超合金を基材とする合金部材であって、前記N i 基単結晶超合金が請求項1から請求項11のいずれかに記載のN i 基単結晶超合金であることを特徴とする合金部材。

[図1]

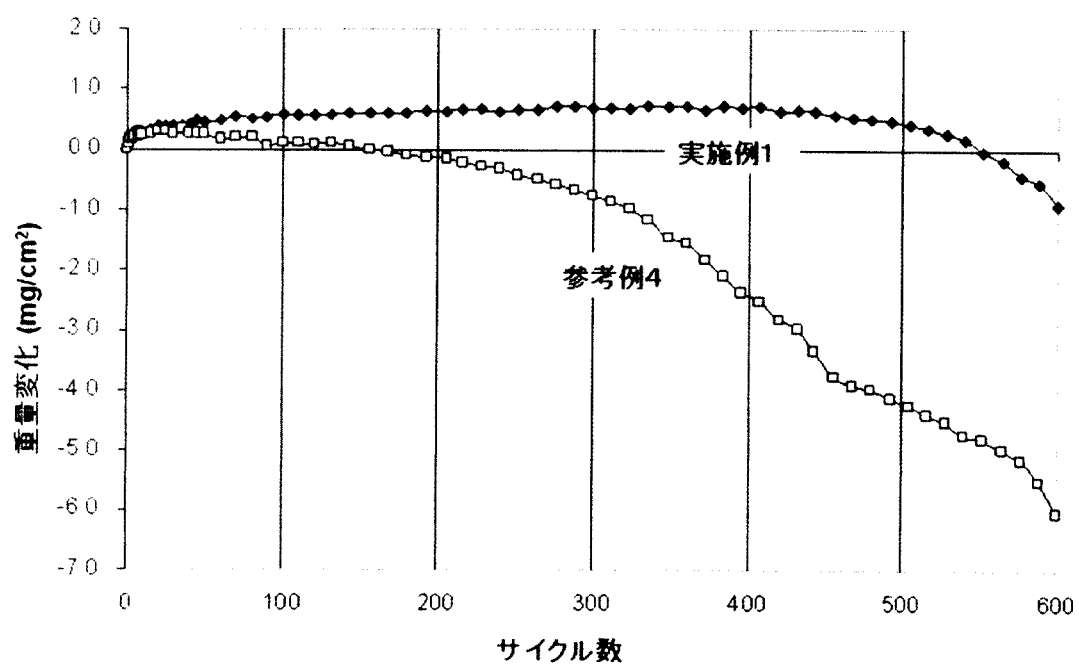


[図2]

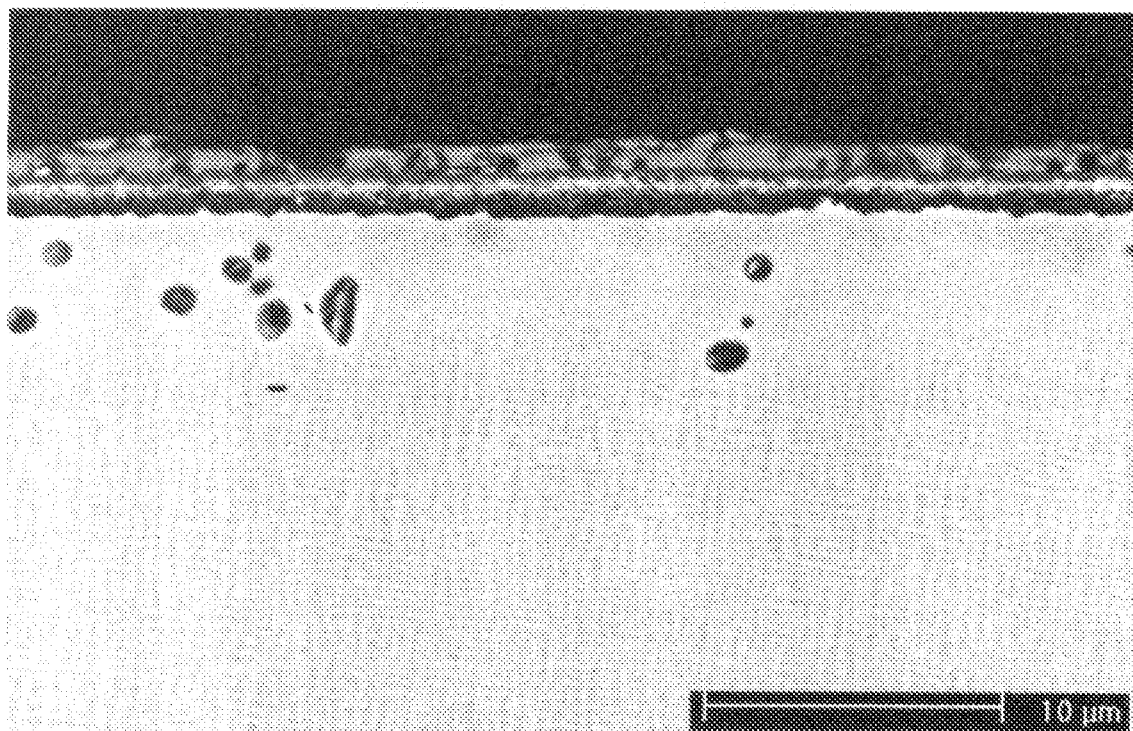


実施例1の合金

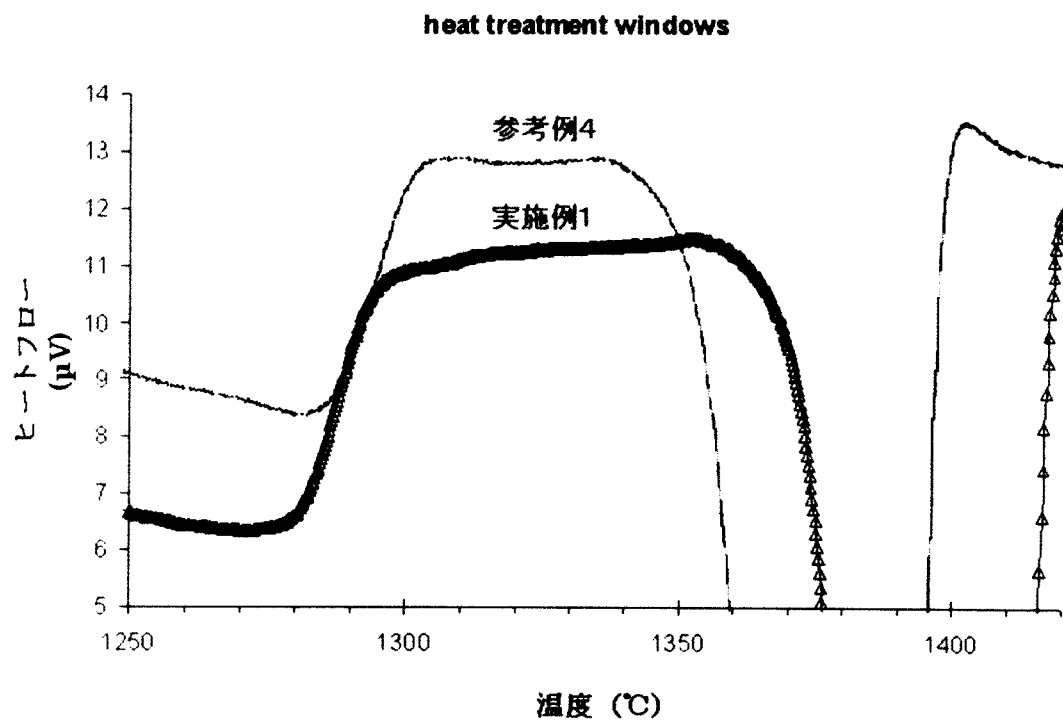
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/061762

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C19/05 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C19/05

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 5-5143 A (General Electric Co.), 14 January, 1993 (14.01.93), Par. No. [0033] & EP 434996 A1 & US 5151249 A	1-12
A	JP 11-310839 A (Hitachi, Ltd.), 09 November, 1999 (09.11.99), Claim 5 (Family: none)	1-12
A	WO 2008/032751 A1 (Independent Administrative Institution National Institute for Materials Science), 20 March, 2008 (20.03.08), Table 2 & EP 2062990 A1	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 September, 2009 (01.09.09)

Date of mailing of the international search report
15 September, 2009 (15.09.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C19/05 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C19/05

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 5-5143 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ) 1993. 01. 14, 【0033】 & EP 434996 A1 & US 5151249 A	1-12
A	JP 11-310839 A (株式会社日立製作所) 1999. 11. 09, 【請求項 5】 (ファミリーなし)	1-12
A	WO 2008/032751 A1 (独立行政法人物質・材料研究機構) 2008. 03. 20, [表 2] & EP 2062990 A1	1-12

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 1 . 0 9 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 9 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

蛭田 敦

4 K

3 2 3 7

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 3 5