

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 85402397.5

51 Int. Cl.⁴: **C 22 C 19/05**

22 Date de dépôt: 04.12.85

30 Priorité: 10.12.84 US 679725

43 Date de publication de la demande:
16.07.86 Bulletin 86/29

84 Etats contractants désignés:
AT DE FR GB IT NL SE

71 Demandeur: **SOCIETE NATIONALE D'ETUDE ET DE
CONSTRUCTION DE MOTEURS D'AVIATION,**
"S.N.E.C.M.A."
2 Boulevard Victor
F-75015 Paris(FR)

71 Demandeur: **SPECIAL METALS CORPORATION**
Middle Settlement Road
New Hartford New York 13413(US)

72 Inventeur: **Boesch, William J.**
16 Lin Road
Utica, N.Y. 13501(US)

72 Inventeur: **Maurer, Gernant E.**
23 Sherman Circle
Utica, N.Y. 13501(US)

72 Inventeur: **Theret, Jean-Marc Clément Francis**
26, rue A. Soljénitsyne
F-91000 Evry(FR)

74 Mandataire: **Molnat, François**
S.N.E.C.M.A. Service des Brevets Boite Postale 81
F-91003 Evry Cedex(FR)

54 Alliage à base de nickel.

57 Alliage à matrice à base de nickel, à durcissement par précipitation de phase gamma-prime, caractérisé par une combinaison très avantageuse de propriétés, en particulier "temps de rupture / résistance à la corrosion à chaud et à l'oxydation / stabilité et ductilité". L'alliage contient de 14 à 18% de chrome, de 0,3 à 3% de molybdène, de 4 à 8% de tungstène, de 0,01 à 1,0% de vanadium, de 3,5 à 5,5% d'aluminium, de 1 à 4% de titane, de 3 à 7% de cobalt, de 0,01 à 0,05% de carbone et de 0,035 à 0,1% de bore.

La présente invention concerne un alliage à base de nickel à durcissement par précipitation d'une phase gamma-prime.

5 Le cobalt est l'un des éléments typique des super-alliages. Il a été et est encore d'une grande importance pour les producteurs de super-alliages et est de plus considéré comme un élément stratégique dont l'approvisionnement a été difficile et pourrait très bien le
10 redevenir. Il a été et est encore un élément d'addition aux super alliages pour de multiples raisons telles que : propriétés de durcissement en solution solide de stabilité de phase, augmentation de ductilité et résistance à la corrosion à chaud.

15

La présente invention concerne un super-alliage à base de nickel avec un taux de cobalt inférieur à celui habituellement rencontré dans les super-alliages. Une sélection très élaborée et un équilibre rigoureux entre
20 les divers éléments a permis la réalisation d'un alliage à faible teneur en cobalt, présentant une répartition judicieuse des teneurs en chrome, molybdène, tungstène, vanadium, aluminium, titane, carbone et bore.

25 Selon la présente invention, l'alliage est caractérisé par la combinaison très recherchée de propriété de résistance au fluage rupture, de résistance à la corrosion, à l'oxydation, de stabilité de phase et de ductilité. Il est particulièrement adapté au moulage d'articles tels que
30 aubes de rotor et de stator de turbine.

De nombreux documents décrivent des super-alliages à base de nickel incluant la liste des brevets américains suivante : 2 515 185, 2 570 193, 2 793 108, 2 809 110,
35 2 975 051, 3 093 476, 3 164 465, 3 260 505, 3 561 955,

3 677 747, 3 890 816, 3 941 590, 3 976 480, 4 039 330,
4 078 951, 4 083 704, 4 093 476, 4 140 555, US-Re 29 920
et la demande déposée sous le n° 270 745 du 6 décembre
1981.

5

Aucun de ces documents ne divulgue l'alliage de la
présente invention, ni ses fourchettes de composition très
spécifiques. L'objet de la présente invention a trait à
l'élaboration d'un alliage à base de nickel, à durcis-
10 sement par précipitation de phase gamma prime et à faible
teneur en cobalt.

Selon l'invention, l'alliage est caractérisé par la
composition suivante en proportions pondérales : de 14 à
15 18% de chrome, de 0,3 à 3% de molybdène, de 4 à 8% de
tungstène, de 0,01 à 1,0% de vanadium, jusqu'à 0,05% de
tantale, jusqu'à 0,05% de niobium, de 3,5 à 5,5%
d'aluminium, de 1 à 4% de titane, de 3 à 7% de cobalt,
jusqu'à 2% de fer, de 0,01 à 0,05% de carbone, de 0,035 à
20 0,1 de bore, jusqu'à 0,1% de zirconium, jusqu'à 0,01%
d'azote, jusqu'à 0,5% de cuivre, jusqu'à 0,12% de
manganèse, jusqu'à 3% d'éléments du groupe rhénium-
ruthénium, jusqu'à 0,2% d'éléments de terre rare
n'abaissant pas la température de fusion commençante au-
25 dessous de la température de solvus de la phase gamma-
prime dans l'alliage, jusqu'à 0,15% d'éléments du groupe
magnésium-calcium-strontium-baryum, jusqu'à 0,1% de
hafnium et le complément à 100 étant essentiellement en
nickel, ladite teneur en bore étant toujours supérieure à
30 ladite teneur en carbone. A titre d'exemple, les éléments
de terre rare sont le cerium et le lanthane.

Les composants de l'alliage doivent s'équilibrer de
manière à donner un alliage stable, en particulier
35 exempt de phase sigma et autres phases topologiquement
compactes.

Le présent alliage a une valeur $\overline{Md}$ est inférieure ou égale à 0,97, de préférence 0,967. La valeur $\overline{Md}$ est calculée au moyen de la formule suivante :

$$\overline{Md} = \sum_{i=1}^n M_i (\overline{Md})_i$$

où M_i est la fraction atomique de la matrice gamma ; $(\overline{Md})_i$ est le paramètre représentant le niveau énergétique moyen de l'orbitale d de l'élément d'alliage i, et n le nombre d'éléments de la matrice gamma. La substitution des nombres $(\overline{Md})_i$ des éléments concernés donne :

$$\begin{aligned} \overline{Md} = & 0,717(M_{Ni}) + 0,777(M_{Co}) + 2,271(M_{Ti}) \\ & + 1,900(M_{Al}) + 1,655(M_W) + 1,550(M_{Mo}) \\ & + 1,142(M_{Cr}) + 1,543(M_V) + 2,944(M_{Zr}) \end{aligned}$$

Les hypothèses suivantes sont retenues pour déterminer la contribution des éléments présents dans les phases borures, carbures et gamma :

20

a) en supposant que 70% des atomes de bore entrent en combinaison pour former des borures de stoechiométrie suivante $(Cr_{0,72} W_{0,1} Mo_{0,11} Ti_{0,02} V_{0,02} Ni_{0,02})B_2$ la matrice se trouve allégée de la quantité de chaque élément utilisé ;

25

b) en supposant que 30% des atomes de bore entrent en combinaison pour former un borure de stoechiométrie suivante $(Cr_{0,87} W_{0,07} Mo_{0,06})_{23} (B,C)_6$ dans laquelle (B,C) représente la quantité de bore restante et tout le carbone disponible ; la matrice se trouve allégée de la quantité de chaque élément utilisé ;

30

c) les coefficients de partage ci-dessous sont utilisés pour calculer la répartition des éléments de la phase gamma :

35

	Aluminium	R_{Al}	=	0,727	P_{Al}
	Titane	R_{Ti}	=	0,412	P_{Ti}
	Chrome	R_{Cr}	=	1,619	P_{Cr}
5	Tungstène	R_W	=	0,484	P_W
	Cobalt	R_{Co}	=	1,487	P_{Co}
	Zirconium	R_{Zr}	=	1,818	P_{Zr}
	Molybdène	R_{Mo}	=	1,818	P_{Mo}
	Vanadium	R_V	=	1,818	P_V
10	Nickel	R_{Ni}	=	0,863	P_{Ni}

dans lesquels,

15 R_i = la quantité de l'élément i dans la phase gamma

P_i = la quantité de l'élément i dans l'alliage après
formation des borures.

20 La formule $M_i = \frac{R_i}{\sum R_i}$ permet le calcul du

pourcentage atomique M_i de chaque élément dans la
phase gamma.

25 Un pourcentage pondéral de chrome de 14 à 18% est prévu
dans l'alliage. Une teneur d'au moins 14% est nécessaire
pour assurer la protection contre la corrosion. L'alliage
devient instable à des teneurs supérieures à 18%. La
teneur préférée est comprise dans une fourchette de 15
30 à 17%.

Un pourcentage pondéral de molybdène de 0,3 à 3,0% est
prévu dans l'alliage, avec une fourchette préférée de 0,8
à 1,8%. Le molybdène est ajouté pour obtenir un durcis-
35 sement de la solution solide. Un excès de molybdène est

préjudiciable, car il tend à empêcher la formation d'une couche d'oxyde bien adhérente et en conséquence, il diminuera la résistance à la corrosion. Il est toutefois bénéfique à la résistance à la corrosion dans une teneur 5 inférieure à 3%.

Un pourcentage pondéral de tungstène de 4 à 8% est prévu dans l'alliage. Ainsi que le molybdène, il concourt au durcissement de la solution solide. L'excès de tungstène 10 peut être préjudiciable pour les mêmes raisons que l'excès de molybdène. Les additions de tungstène sont toutefois avantageuses, dans la mesure où elles tendent à donner à l'alliage des propriétés plus homogènes. Le tungstène tend à se ségréger dans les aires de noyaux dendritiques tandis 15 que le molybdène tend à se ségréger dans les aires interdendritiques de l'alliage. Une teneur préférée de tungstène se situe entre 5 et 7%.

Un pourcentage pondéral de vanadium de 0,01 à 1,0% est 20 prévu dans l'alliage, avec une teneur préférée de 0,3 à 0,7%. Le vanadium améliore la résistance au fluage rupture de l'alliage, mais peut être préjudiciable, en cas d'excès, à la résistance à la corrosion à chaud et à l'oxydation, aussi bien qu'à la stabilité de l'alliage.

25

Une limite maximale de 0,05% de tantale et de niobium est prévue. Des quantités supérieures de tantale et de niobium tendent à provoquer la formation préjudiciable de phases topologiquement compactes. Ces éléments forment également 30 des carbures stables de grande dimension ne pouvant être mis en solution lors des traitements thermiques. Ces carbures de grande dimension sont les sites d'amorçage des criques de fatigue.

Un pourcentage pondéral d'aluminium de 3,5 à 5,5% est prévu dans l'alliage. Il forme la phase gamma prime, mécanisme de base du durcissement de l'alliage et est aussi nécessaire pour assurer une résistance correcte à l'oxydation. Une quantité trop importante d'aluminium provoque un excès de phase gamma prime eutectique préjudiciable à la résistance de l'alliage. La teneur préférée en aluminium est comprise entre 4 et 5%.

- 10 Un pourcentage pondéral de titane de 1 à 4% est prévu dans l'alliage. Comme l'aluminium, le titane forme la phase gamma prime. Le titane augmente aussi la résistance à la corrosion à chaud de l'alliage ; sa proportion habituelle est de 1,3 à 3,7%. Avec un excès de titane, une phase ϵ (Ni_3Ti) tend à se former. La phase ϵ abaisse la ductilité de l'alliage. La teneur préférée de titane est comprise entre 1,5 et 2,5%.

Un pourcentage pondéral de cobalt de 3 à 7% est prévu dans l'alliage. Un minimum de 3% est indispensable à l'effet de durcissement. L'alliage tend à devenir structurellement instable quand la teneur devient supérieure à 7%. La teneur préférée en cobalt est comprise entre 4 et 6%.

- 25 Une limite maximale de 2% de fer est tolérée. Le fer tend à altérer les propriétés mécaniques de l'alliage à haute température. La teneur préférée maximale est de 0,5%.

Le carbone et le bore sont présents dans l'alliage dans les proportions pondérales respectives de 0,01 à 0,05% et 0,035 à 0,1%. Ils forment ensemble des carbo-borures et des borures. Dans les meilleures conditions de résistance en fluage rupture et de ductilité, les alliages présentent des teneurs indiquées de bore et de carbone, la teneur en

bore étant supérieure à la teneur en carbone. La résistance chute à 900°C avec un excès de carbone. Il résulte par ailleurs d'un excès de bore la formation de trop de borures aux joints de grains qui affectent
5 défavorablement la ductilité et la résistance. La teneur préférée en carbone est comprise entre 0,02 et 0,04%, la teneur préférée en bore est comprise entre 0,06 à 0,09%.

Jusqu'à 0,1% de zirconium peut être ajouté à l'alliage
10 puisque le zirconium renforce les joints de grains et contrebalance l'influence du soufre. Des quantités supérieures de zirconium tendraient à former une phase néfaste Ni_5Zr aux joints de grains qui contribuerait à la fragilisation de l'alliage. En général, le zirconium
15 est présent dans l'alliage, avec une teneur minimale de 0,015%.

On admet un maximum de 0,01% d'azote qui tend à former des nitrures de titane et d'autres nitrures nuisibles qui sont
20 à l'origine de criques de fatigue.

Dans les limites définies ci-dessus, divers autres éléments peuvent être incorporés à l'alliage. Les pourcentages maximaux des éléments du groupe magnésium-
25 calcium-strontium-baryum est habituellement de 0,05%. La présence d'hafnium est habituellement tolérée dans une proportion égale ou inférieure à 0,05%. L'hafnium tend à former des carbures insensibles aux traitements thermiques.

30

Les exemples suivants illustrent plusieurs aspects de l'invention.

35

Exemple 1

Deux alliages (A et B) ont été élaborés suivant les procédés courants de la fusion par induction sous vide. La composition chimique de chacun de ces alliages figure au tableau I ci-dessous.

TABLEAU I

Alliages	Composition (% poids)										
	Cr	Co	Mo	W	V	Ti	Al	C	Bo	Zr	Ni
A	16,0	5,0	2,0	7,0	-	3,5	3,5	0,015	0,09	0,05	Comp ^{lt}
B	16,2	5,0	2,0	7,0	0,5	3,5	3,5	0,037	0,09	0,06	Comp ^{lt}

L'alliage B contient du vanadium dans les conditions définies pour la présente invention alors que l'alliage A n'en contient pas. L'alliage A est dépourvu de vanadium.

Ces alliages ont été coulés et ont subi les traitements thermiques énoncés ci-dessous :

1163°C (2125°F) = 2 heures + refroidissement à l'air

927°C (1700°F) = 16 heures + refroidissement à l'air

et testés en fluage rupture dans les conditions suivantes :

982°C (1800°F)/152 MPa (22ksi)

760°C (1400°F)/620 MPa (90ksi)

Le résultat des essais figure au tableau II ci-dessous :

TABLEAU II

5	Alliages	Temps de rupture (en heures)	
		22ksi/1800°F	90ksi/1400°F
10	A	96,6	203,1
	B	119,7	242,7

15

L'effet bénéfique du vanadium est nettement démontré au tableau II. Le temps de rupture de l'alliage B qui contient du vanadium est sensiblement supérieur à celui de l'alliage A qui n'en contient pas quand les deux alliages sont soumis
20 aux mêmes conditions d'essai.

Les valeurs $\overline{M_d}$ des alliages A et B sont respectivement de 0,961 et 0,968. Une étude des microstructures des deux alliages a toutefois révélé leur instabilité bien que des
25 alliages dont la valeur de $\overline{M_d}$ est inférieur ou égale à 0,97 entrent généralement dans la présente invention. La valeur $\overline{M_d}$ de l'alliage A est incompatible avec la valeur des données, celle de B se situe dans une zone mal définie. La valeur de $\overline{M_d}$ doit être de préférence égale ou inférieure à
30 0,967 pour l'invention.

Les valeurs $\overline{M_d}$ des alliages A et B démontrent les effets du vanadium. L'alliage B qui contient du vanadium a une valeur $\overline{M_d}$ plus élevée que l'alliage A qui n'en contient pas. De ce
35 fait, la teneur en vanadium doit être soigneusement

contrôlée de manière à respecter la valeur maximale de 1,0% de l'invention et, de préférence, une valeur maximale de 0,7%.

5

Exemple 2

Deux autres alliages (C et D) ont été élaborés suivant les procédés courants de la fusion par induction sous vide. La composition chimique de chacun de ces alliages figure au tableau III ci-après :

TABLEAU III

Alliages	Composition (% poids)										
	Cr	Co	Mo	W	V	Ti	Al	C	Bo	Zr	Ni
C	16,3	0,005	2,99	4,1	-	3,6	3,5	0,026	0,08	0,05	Comp ^{lt}
D	16,2	5,0	3,03	4,1	-	3,6	3,5	0,030	0,07	0,05	Comp ^{lt}

25

L'alliage D présente une teneur en cobalt comprise dans la fourchette de l'invention alors que l'alliage C n'en contient pas.

Ces alliages ont été coulés et ont subi les traitements thermiques énoncés ci-dessous :

1163°C (2125°F) = 2 heures + refroidissement à l'air

927°C (1700°F) = 16 heures + refroidissement à l'air ,

et testés en fluage rupture dans les conditions suivantes :

982°C (1800°F)/152MPa (22ksi)

5 760°C (1400°F)/620MPa (90ksi).

Les résultats de ces essais figurent au tableau IV ci-après :

10

TABLEAU IV

Alliages	Temps de rupture (en heures)	
	22ksi/1800°F	90ksi/1400°F
C	50,8	53,9
D	77,3	128,6

20

L'effet bénéfique du cobalt est nettement démontré par le tableau IV. Le temps de rupture de l'alliage D qui
25 contient du cobalt est sensiblement supérieur à celui de l'alliage C qui n'en contient que quelques traces quand les deux alliages sont soumis aux mêmes essais.

Les valeurs respectives $\overline{M_d}$ des alliages C et D sont de
30 0,966 et 0,963. Une étude des microstructures de ces alliages a révélé leur stabilité. Dans la présente invention, la valeur $\overline{M_d}$ des alliages est inférieure ou égale à 0,970.

35

Exemple 3

Cinq autres alliages (E,F,G,H et I) ont été élaborés suivant les procédés courants de la fusion par induction sous vide. La composition chimique de ces alliages figure au tableau V ci-après :

TABLEAU V

10

Alliages	Composition (% poids)										
	Cr	Co	Mo	W	V	Ti	Al	C	Bo	Zr	Ni
E	15,7	5,0	1,53	5,87	-	3,6	3,56	0,081	0,025	0,068	Comp ^{lt}
F	15,7	5,0	1,54	5,85	-	3,6	3,53	0,021	0,018	0,063	Comp ^{lt}
G	15,7	5,0	1,56	6,02	-	3,6	3,51	0,073	0,093	0,077	Comp ^{lt}
H	15,7	5,0	1,55	5,91	-	3,6	3,48	0,025	0,078	0,059	Comp ^{lt}
I	15,6	5,0	1,54	5,90	-	3,7	3,56	0,017	0,059	0,065	Comp ^{lt}

25

Les teneurs des alliages H et I en carbone et en bore restent dans les limites de la présente invention. Les teneurs en carbone des alliages E et G sont excessives ; ($> 0,05\%$ de carbone). Les teneurs en bore de E et F sont trop faibles (moins de $0,035\%$ de bore). En outre , la teneur en bore de F n'est pas supérieure à la teneur en carbone.

Ces alliages ont été coulés et ont subi les traitements thermiques suivants :

35

1163°C (2125°F) = 2 heures + refroidissement à l'air

927°C (1700°F) = 16 heures + refroidissement à l'air

et testés en fluage rupture et ductilité dans les
5 conditions suivantes :

982°C (1800°F) / 152MPa (22ksi)

760°C (1400°F) / 620MPa (90ksi)

10

Les résultats des essais figurent au tableau VI ci-après :

TABLEAU VI

15

20

25

30

Alliages	22ksi/1800°F		90ksi/1400°F	
	Temps en heures	Allonge-ment en %	Temps en heures	Allonge-ment en%
E	76,5	14,7	97,9	5,8
F	62,8	4,4	36,7	3,5
G	74,4	9,9	58,6	8,5
H	82,1	14,9	89,9	8,2
I	74,5	15,0	114,9	7,8

Dans le tableau VI les effets bénéfiques du carbone et du bore apparaissent nettement dans la limite des fourchettes de teneurs définies dans la présente invention. Les
35 alliages H et I y présentent la meilleure combinaison

temps de rupture/ductilité et leurs teneurs en bore et carbone sont dans les fourchettes de l'invention. Dans les autres cas, les teneurs en carbone et/ou bore sortent de ces fourchettes.

5

Les valeurs $\overline{Md}$ des alliages E, F, G, H et I figurent au tableau VII ci-après :

TABLEAU VII

10

Alliages	Md
E	0,952
F	0,955
G	0,951
H	0,953
I	0,956

15

20

L'étude des microstructures de chacun de ces alliages a montré leur stabilité. Les alliages selon la présente invention ont une valeur de $\overline{Md}$ inférieure ou égale à 0,970.

25

Exemple 4

Un autre alliage (J) a été élaboré suivant les procédés courants de la fusion par induction sous vide. La composition chimique de cet alliage figure au tableau VIII ci-après :

35

TABLEAU VIII

Alliage	Composition (% poids)										
	Cr	Co	Mo	W	V	Ti	Al	C	Bo	Zr	Ni
J	16,0	5,0	1,5	5,9	0,5	2,0	4,5	0,02	0,071	0,05	Comp ^{lt}

10

La valeur $\overline{Md}$ de l'alliage J est 0,964. Sa microstructure a été étudiée et s'est révélée stable. L'alliage J a été coulé et a subi les traitements thermiques définis ci-après :

15

1163°C (2125°F) = 2 heures + refroidissement à l'air
 927°C (1700°F) = 16 heures + refroidissement à l'air

et testés en fluage rupture et en ductilité dans les
 20 conditions suivantes :

980°C (1800°F)/152MPa (22ksi)

760°C (1400°F)/620MPa (90ksi)

25 Les résultats de ces essais figurent au tableau IX ci-après :

TABLEAU IX

30	Alliage	22ksi/1800°F		90ksi/1400°F	
		Temps en heures	Allonge-ment en %	Temps en heures	Allonge-ment en %
35	J	113,4	10,8	132,4	4,2

Le tableau IX montre très nettement que l'alliage de la présente invention présente des caractéristiques avantageuses et combinées de résistance à la rupture et de ductilité.

5

L'alliage J a été soumis à un essai d'oxydation d'une durée de 500 heures à la température de 1000°C. Cet essai a été effectué par cycles d'une heure à l'issue desquels les échantillons sont refroidis à la température ambiante
 10 puis rechauffés à 1000°C. Les résultats ont été très positifs, aucun changement de poids n'a été observé. L'oxydation ne s'est produite que sur une profondeur de 50 μ m sur une première éprouvette et de 80 μ m sur une seconde.

15

Exemple 5

Deux autres alliages (K et L) ont été élaborés suivant les
 20 procédés courants de la fusion par induction sous vide. La composition chimique de ces alliages figure au tableau X ci-après :

TABLEAU X

25

Alliages	Composition (% poids)											
	Cr	Co	Mo	W	V	Ti	Al	Ta	C	Bo	Zr	Ni
30 K	16,1	4,9	1,6	5,9	0,5	3,0	4,0	-	0,024	0,072	0,05	Comp ^{lt}
L	16,1	4,9	1,6	5,9	0,5	3,0	4,0	0,5	0,027	0,071	0,05	Comp ^{lt}

L'alliage K est en conformité avec la présente invention tandis que l'alliage L ne l'est pas car il comporte du
 35 tantale.

Une étude de la microstructure des alliages K et L a révélé que l'alliage L est instable. D'autre part l'alliage K s'est révélé stable. L'alliage K présente une valeur $\overline{Md}$ de 0,966 . La valeur $\overline{Md}$ de l'alliage L ne peut être indiquée puisque les bases de calcul ne tiennent pas compte du tantale. L'homme du métier comprendra cependant que la valeur $\overline{Md}$ de l'alliage L excédera nettement 0,970.

10 Exemple 6

Deux autres alliages (M et N) ont été élaborés suivant les procédés courants de la fusion par induction sous vide. La composition chimique de ces alliages figure au tableau XI ci-après :

TABLEAU XI

Alliages	Composition (% poids)										
	Cr	Co	Mo	W	V	Ti	Al	C	Bo	Zr	Ni
M	15,62	5,06	1,35	6,12	0,51	1,94	4,57	0,025	0,068	0,067	Comp ^{lt}
N	15,92	4,98	1,5	6,1	0,51	1,96	4,75	0,021	0,071	0,061	Comp ^{lt}

Les alliages M et N concordent avec les données de la présente invention. L'étude de leur microstructure a démontré leur stabilité et leurs valeurs $\overline{Md}$ respectives sont 0,963 et 0,969.

Les alliages M et N ont été coulés et ont subi les traitements thermiques définis ci-après :

1163°C(2125°F) = 2 heures + refroidissement à l'air

927°C(1700°F) = 16 heures + refroidissement à l'air

et testés pour leur résistance à la corrosion à chaud.

5

Des éprouvettes d'alliage M et N ont été chauffées à la température de 850°C sous atmosphère résultant de la combustion de kérozène chargé en soufre et d'air chargé de chlorure de sodium. Ce milieu ambiant est analogue à celui
10 rencontré dans les turbines à gaz. Trois fois par jour les éprouvettes sont refroidies à la température ambiante puis réchauffées à 850°C.

Les résultats obtenus ont été positifs comparativement aux
15 alliages connus. L'alliage M n'a présenté aucun signe d'écaillage d'oxyde avant 253 heures effectives et l'alliage N n'a présenté aucun signe d'effritement par oxydation après 500 heures. La cause de la supériorité des performances de l'alliage N sont bien connues ; on peut
20 l'attribuer à une teneur supérieure en chrome et dans une certaine mesure à une teneur supérieure en molybdène.

Il sera évident à un homme du métier que les principes définis ci-dessus, en corrélation avec les exemples
25 spécifiques énoncés plus haut suggéreront différentes applications et modifications qui ne sortiront pas du cadre de la présente invention, la portée de la protection définie par les revendications n'étant pas par conséquent limitée aux exemples décrits.

30

35

REVENDICATIONS

1. Alliage à matrice à base de nickel à durcissement par
précipitation de phase gamma-prime, caractérisé par la
5 composition en proportions pondérales suivantes :
de 14 à 18% de chrome, de 0,3 à 3,0% de molybdène, de 4 à
8% de tungstène, de 0,01 à 1,0% de vanadium, jusqu'à 0,05%
de tantale, jusqu'à 0,05% de niobium, de 3,5 à 5,5%
d'aluminium, de 1 à 4% de titane, de 3 à 7% de cobalt,
10 jusqu'à 2% de fer, de 0,01 à 0,05% de carbone, de 0,035 à
0,1% de bore, jusqu'à 0,1% de zirconium, jusqu'à 0,01%
d'azote, jusqu'à 0,5% de cuivre, jusqu'à 0,12% de
manganèse, jusqu'à 3% des éléments du groupe rhénium-
rhuténium, jusqu'à 0,2% des éléments de terre rare
15 n'abaissant pas la température de fusion commençante en
dessous de la température de solvus de la phase gamma-
prime présente dans l'alliage, jusqu'à 0,15% du groupe
magnésium-calcium-strontium-baryum, jusqu'à 0,1% de
hafnium, le complément à 100 étant essentiellement du
20 nickel, ladite teneur en bore étant toujours supérieure à
ladite teneur en carbone.

2. Alliage à matrice à base nickel selon la revendication
1, caractérisé par une teneur pondérale de 15 à 17% de
25 chrome.

3. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une des
revendications 1 et 2, caractérisé par une teneur
pondérale de 0,8 à 1,8% de molybdène.

30

4. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une
quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par une
teneur pondérale de 5 à 7% de tungstène.

35 5. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une

quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par une teneur pondérale de 0,3 à 0,7% de vanadium.

6. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une
5 quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé par une teneur pondérale de 4 à 5 % d'aluminium.

7. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une
quelconque des revendications 1 à 6 caractérisé par une
10 teneur pondérale de 1,3 à 3,7% de titane.

8. Alliage à matrice à base de nickel selon la
revendication 7, caractérisé par une teneur pondérale de
1,5 à 2,5% de titane.

15

9. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une
quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé par une
teneur pondérale de 4 à 6% de cobalt.

20 10. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une
quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé par une
teneur pondérale en fer jusqu'à 0,5.

11. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une
25 quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé par une
teneur pondérale de 0,02 à 0,04% de carbone.

12. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une
quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé par une
30 teneur pondérale de 0,06 à 0,09% de bore.

13. Alliage à matrice à base de carbone selon l'une
quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé par une
teneur pondérale de 0,02 à 0,04% de carbone.

35

14. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé par une teneur pondérale en cuivre jusqu'à 0,1%.
- 5 15. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé par une teneur pondérale en éléments du groupe magnésium-calcium-strontium-baryum jusqu'à 0,05%.
- 10 16. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé par une teneur pondérale en hafnium jusqu'à 0,05%.
- 15 17. Alliage à matrice à base de nickel selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé par une teneur pondérale d'au moins 0,015% de zirconium.
18. Alliage à matrice à base de nickel à durcissement par précipitation de phase gamma-prime caractérisé par la
- 20 composition pondérale suivante de 15 à 17% de chrome, de 0,8 à 1,8% de molybdène, de 5 à 7% de tungstène, de 0,3 à 0,7% de vanadium, de 4 à 5% d'aluminium, de 1,3 à 3,7% de titane, de 4 à 6% de cobalt, de 0,02 à 0,04% de carbone, de 0,06 à 0,09% de bore, de 0,015 à 0,1% de zirconium et
- 25 le complément à 100 étant constitué essentiellement par du nickel.