

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】

可加工的高強度、抗氧化Ni-Cr-Co-Mo-Al合金

FABRICABLE, HIGH STRENGTH, OXIDATION RESISTANT Ni-Cr-Co-Mo-Al ALLOYS

[相關申請案]

本申請案主張美國臨時專利申請案第61/790,137號的優先權，該臨時專利申請案於2013年3月15日申請且以引用之方式併入本文中。

【技術領域】

本發明係關於在高溫下使用之可加工的高強度合金。詳言之，其係關於具有卓越抗氧化性、高潛變-破裂強度及足以允許在氣渦輪引擎燃燒器及其他要求高溫之環境中使用的可加工性之合金。

【先前技術】

對於氣渦輪引擎中之薄片加工，多種商業合金為可用的。此等合金可基於其關鍵特性而分為不同類。應注意，以下論述係關於可冷加工/可冷焊之合金，意謂其可製成冷軋薄片，冷成型為加工部件，且經焊接。

γ' 形成劑。 其包括R-41合金、Waspaloy合金、282®合金、263合金及其他。此等合金之特徵在於其高潛變-破裂強度。然而，此等合金之最高使用溫度受 γ' 固溶溫度限制且一般不在高於1600-1700°F (871-927°C)下使用。此外，雖然此等合金之抗氧化性在使用溫度範圍內極佳，但在較高溫度下其為欠佳的。

氧化鋁形成劑。 其包括214®合金及HR-224®合金，但不包括ODS合金(其不具有必要的可加工性)。此類合金在高達2100°F (1149°C)之

溫度下具有卓越抗氧化性。然而，其在結構組件中之使用因在高於約 1600-1700°F (871-927°C) 之溫度下的不良潛變強度而受限。應注意，此等合金亦將形成強化 γ' ，但此相在較高溫度範圍內不穩定。

固溶體強化合金。 其包括 230® 合金、HASTELLOY® X 合金、617 合金及其他。正如其名稱所隱含，此等合金主要由固溶體強化效應，亦由碳化物形成獲得其高潛變-破裂強度。此強化甚至在極高溫度(例如，充分高於 γ' 形成劑之最高溫度)下仍有效。大多數固溶體強化合金因形成保護性氧化鉻皮層而具有極佳抗氧化性。然而，其抗氧化性無法與氧化鋁形成劑相當，尤其在極高溫度下，諸如 2100°F (1149°C)。

氮化物分散強化合金。 其包括 NS-163® 合金，該合金在高達 2100°F (1149°C) 之溫度下具有極高潛變-破裂強度。雖然 NS-163 合金之潛變-破裂強度優於固溶體合金，但其抗氧化性僅類似。其不具有氧化鋁形成劑之卓越抗氧化性。

自以上論述應清楚，不存在組合高潛變-破裂強度及卓越抗氧化性之市售可冷加工/可冷焊合金。然而，在持續推進氣渦輪引擎操作溫度愈來愈高之嘗試中，顯然組合此等品質之合金將為極其需要的。

【發明內容】

本發明之主要目標係提供具有高潛變-破裂強度及卓越抗氧化性之可容易加工的合金。此為未在先前技術中發現(或預期)之高度有價值的特性組合。已發現具有此等特性之合金的組成為：15至20 wt.% 鉻(Cr)、9.5至20 wt.% 鈷(Co)、7.25至10 wt.% 鉬(Mo)、2.72至3.9 wt.% 鋁(Al)及至多存在0.15 wt.%之碳(C)。元素鈦(Ti)及鈮(Nb)可存在，例如以提供強化，但其量應受到限制，因為其對可加工性之某些態樣具有不利影響。詳言之，此等元素之豐度可增加合金存在應變時效裂紋之傾向。若存在，則鈦應限於不超過0.75 wt.%，且鈮應限於不超過1

wt.%。

元素鈦(Hf)及/或鉭(Ta)之存在已意外發現與此等合金中甚至更長之潛變-破裂壽命有關。因此，這一或兩種元素可添加至此等合金以進一步改良潛變-破裂強度。鈦可以高達約1 wt.%之含量添加，而鉭可以高達約1.5 wt.%之含量添加。為了最有效，鉭及鈦含量之總和應在0.2 wt.%與1.5 wt.%之間。

為了維持可加工性，可存在或可不存在之某些元素(特定言之，鋁、鈦、鈮及鉭)的量應以一定方式受限以滿足以下額外關係(其中元素量以wt.%計)：

$$Al + 0.56Ti + 0.29Nb + 0.15Ta \leq 3.9 \quad [1]$$

另外，硼(B)可以高達0.015 wt.%之小但有效之痕量含量存在以獲得此項技術中已知之某些益處。鎢(W)可以高達約2 wt.%存在於此合金中。鐵(Fe)亦可作為雜質存在，或可有意添加以降低原料之總成本。然而，鐵應以不超過約10.5 wt.%存在。若鈮及/或鎢作為微量元素添加物存在，則鐵含量應進一步限於5 wt.%或更低。為了使得能在熔融製程期間移除氧(O)及硫(S)，此等合金典型地含有高達約1 wt.%之少量錳(Mn)，及高達約0.6 wt.%之矽(Si)，且可能含有各自高達約0.05 wt.%之痕量鎂(Mg)、鈣(Ca)及稀土元素(包括釷(Y)、鈰(Ce)、鐳(La)等)。鋯(Zr)可存在於合金中，但應保持以少於0.06 wt.%存在於此等合金中以維持可加工性。

【圖式簡單說明】

無

【實施方式】

吾人提供基於Ni-Cr-Co-Mo-Al之合金，其含有15至20 wt.%鉻、9.5至20 wt.%鈷、7.25至10 wt.%鉬、2.72至3.9 wt.%鋁，以及典型雜質(高達10.5 wt.%鐵之容限)、微量元素添加物且餘下為鎳，該等合金

為可容易加工的，具有高潛變強度及高達2100°F (1149°C)之卓越抗氧化性。此特性組合適用於多種氣渦輪引擎組件，包括例如燃燒器。

基於對未來氣渦輪引擎燃燒器之要求的理解，具有以下屬性之合金將為高度需要的：1)在高達2100°F (1149°C)之溫度下的卓越抗氧化性，2)良好可加工性，使得其可以鍛製薄片形式製造，冷成型，經焊接等，3)與常見商業合金(諸如HASTELLOY X合金)一樣或優於常見商業合金之高溫潛變強度，及4)在高溫下之良好熱穩定性。在過去，開發組合所有四種特性之合金的嘗試尚未成功，且因此，市場中無法獲得具有所有這四種品質之商業合金。

吾人測試了30種實驗合金，其組成陳述於表1中。該等實驗合金已標記為A至Z及AA至DD。該等實驗合金具有介於15.3至19.9 wt.%範圍內之Cr含量，以及介於9.7至20.0 wt.%範圍內之鈷含量。鉬含量介於5.2至12.3 wt.%範圍內。鋁含量介於1.93至4.30 wt.%範圍內。鐵介於少於0.1直至10.4 wt.%範圍內。包括鈦、鈮、鉭、鉛、鎢、鈮、矽、碳及硼之微量元素添加物存在於某些實驗合金中。

對合金之所有測試均針對0.065"至0.125"(1.6至3.2 mm)厚度之薄片材料進行。實驗合金經真空感應熔融，且接著經電渣再熔融，爐容量為30至50 lb(13.6至27.2 kg)。如此製成之錠經熱鍛及滾軋至中間規格。薄片經退火，水淬滅，且冷軋以製造所需規格之薄片。經冷軋之薄片有必要在製造0.065"薄片(1.6 mm)期間進行中間退火。經冷軋之薄片在必要時經退火以製造ASTM晶粒尺寸在3½與4½之間的充分再結晶、等軸晶粒結構。

表1

實驗合金之組成(以wt.%計)

合金	Ni	Cr	Co	Mo	Al	Fe	C	Si	Mn	Ti	Y	Zr	B	其他
A	餘下	19.9	14.8	7.8	3.64	1.2	0.096	0.15	--	0.25	0.02	0.04	0.004	

B	餘下	19.8	10.1	7.7	3.56	1.3	0.088	0.14	--	0.25	0.02	0.04	0.004	
C	餘下	16.1	19.9	7.6	3.65	1.3	0.099	0.14	--	0.24	0.02	0.04	0.004	
D	餘下	16.1	19.9	7.7	3.54	5.2	0.079	0.14	--	0.25	0.02	0.02	0.004	
E	餘下	16.0	19.8	7.7	3.62	9.7	0.085	0.14	--	0.25	0.02	0.01	0.004	
F	餘下	16.0	10.1	7.7	3.46	1.2	0.097	0.14	--	0.22	0.01	0.02	0.004	
G	餘下	16.1	9.9	7.8	3.51	9.9	0.089	0.13	--	0.23	0.01	0.02	0.005	
H	餘下	16.0	19.7	9.5	3.56	1.2	0.107	0.17	--	0.24	<0.005	0.02	0.005	
I	餘下	15.8	19.3	7.5	3.60	1.0	0.110	0.18	--	0.23	0.02	0.02	0.004	1.94 W
J	餘下	16.0	9.8	9.5	3.58	9.9	0.116	0.17	--	0.22	0.02	0.01	0.005	
K	餘下	16.3	19.3	7.5	3.50	1.1	0.104	0.14	--	0.22	0.02	0.04	0.004	0.43Hf
L	餘下	16.2	20.0	7.8	3.48	1.0	0.106	0.22	--	0.23	0.02	0.02	0.005	0.71Ta
M	餘下	16.6	10.1	7.7	3.75	10.4	0.108	0.15	--	0.23	0.02	0.03	0.004	0.38Hf
N	餘下	16.7	10.2	7.8	3.64	10.2	0.110	0.19	--	0.23	0.02	0.02	0.005	0.78Ta
O	餘下	16.0	19.9	7.5	3.60	1.1	0.107	0.17	--	0.23	0.02	0.02	0.004	0.35Nb, 0.69Ta
P	餘下	16.0	9.9	7.5	3.63	10.0	0.107	0.19	--	0.23	0.02	0.02	0.004	1.93 W
Q	餘下	16.2	10.1	7.6	3.65	10.2	0.112	0.18	--	0.22	0.02	0.02	0.005	0.35Nb, 0.71Ta
R	餘下	15.3	20	10.0	3.32	<0.1	0.114	0.19	0.20	0.22	0.01	0.04	0.004	
S	餘下	15.9	9.9	9.5	3.78	1.0	0.107	0.47	0.19	0.02	0.011	0.04	0.004	
T	餘下	16.0	9.9	7.6	2.72	4.5	0.120	0.17	0.20	0.22	0.015	0.04	0.004	1.89 W, 0.91 Nb
U	餘下	19.5	19.9	7.6	3.36	1.1	0.103	0.17	0.20	0.49	0.013	0.04	0.005	
V	餘下	19.0	9.9	8.0	3.40	1.0	0.090	0.18	0.15	0.21	0.011	0.04	0.005	0.48 Hf
W	餘下	18.9	19.9	7.5	3.31	1.0	0.086	0.18	0.14	0.21	0.009	0.03	0.004	1.0 Ta
X	餘下	19.2	19.9	7.7	3.40	1.0	0.088	0.17	0.13	0.21	0.011	0.04	0.004	0.45 Hf
Y	餘下	16.4	10.2	7.8	2.81	1.1	0.108	0.49	0.50	0.22	0.010	0.04	0.004	
Z	餘下	19.0	10	7.4	3.19	1.0	0.091	0.18	0.16	0.21	0.008	0.03	0.004	1.0 Ta
AA	餘下	19.2	20	5.2	3.37	1.0	0.107	0.18	0.20	0.24	0.012	0.04	0.004	
BB	餘下	19.3	20	12.3	3.67	1.0	0.099	0.51	0.53	0.42	0.011	0.04	0.004	
CC	餘下	19.4	10	9.6	1.93	1.0	0.107	0.19	0.21	0.24	<0.002	<0.01	0.004	
DD	餘下	18.9	10	9.5	4.30	1.0	0.117	0.49	0.21	0.43	0.005	0.05	0.004	

為了評估關鍵特性(抗氧化性、可加工性、潛變強度及熱穩定性)，對實驗合金進行四種不同類型之測試以確立其對於所欲應用之適用性。此等測試之結果描述於以下章節中。

抗氧化性 抗氧化性為先進高溫合金之關鍵特性。氣渦輪引擎燃燒器中之溫度可極高且工業中始終推行愈來愈高之使用溫度。在高達2100°F(1149°C)下具有卓越抗氧化性之合金將為多種應用之良好候選物。鎳基合金之抗氧化性強烈地受到熱暴露時在合金表面上形成之氧化物的性質影響。一般有利地形成保護性表面層，諸如富鉻及富鋁

氧化物。形成該等氧化物之合金通常分別稱為氧化鉻或氧化鋁形成劑。大多數鍛製高溫鎳合金為氧化鉻形成劑。然而，少數氧化鋁形成劑為市售的。一種該實例為HAYNES® 214®合金。214合金因其卓越抗氧化性而為人熟知。

為了測定實驗合金之抗氧化性，在流動空氣中在2100°F (1149°C) 下對大多數合金進行氧化測試，持續1008小時。五種商業合金亦隨此等樣品一起測試：HAYNES 214合金、617合金、230合金、263合金及HASTELLOY X合金。樣品每週循環至室溫。在1008小時結束時，對樣品除鏽且使其進行金相檢驗。表2中記錄氧化測試之結果。所記錄之值為受侵蝕金屬平均值，其為金屬損失加上氧化侵蝕之平均內部滲透之總和。此類型測試之詳情可見於 **International Journal of Hydrogen Energy**, 第36卷, 2011, 第4580-4587頁中。為了達成本發明之目的，2.5密耳/側(64 μm/側)或更低之受侵蝕金屬平均值為較佳目標且適當指示既定合金是否可被視為具有「卓越」抗氧化性。實際上，具有小於此水準之侵蝕的合金之金相檢驗確認其所需氧化行為。某些微量元素/雜質可能導致略微降低(但仍可接受)之抗氧化性，因此受侵蝕金屬平均值可能高達3密耳/側(76 μm/側)，而仍維持卓越抗氧化性。

表2

2100°F (1149°C)氧化測試結果

合金	受侵蝕金屬平均值	
	(密耳/側)	(μm/側)
A	0.9	23
B	0.9	23
C	0.7	18
D	1.0	25
E	0.6	15
F	0.9	23
G	0.9	23
H	0.4	10
I	0.6	15

J	0.6	15
K	1.8	46
L	0.7	18
M	1.5	38
N	0.5	13
O	0.6	15
P	0.5	13
Q	0.4	10
R	0.9	23
S	0.6	15
T	1.1	28
U	1.4	36
V	2.3	58
W	0.5	13
X	1.6	41
Z	0.5	13
CC	4.4	112
263	16.5	419
214	1.3	33
617	5.1	130
230	4.8	122
HASTELLOY X	12.0	305

實驗合金之氧化測試結果令人印象極其深刻。所有所測試之實驗合金(除合金CC外)具有2.3密耳/側(58 μm)或更低之受侵蝕金屬平均值。因此，為達成本發明之目的，所有此等合金(除合金CC外)均具有可接受之抗氧化性。考慮到商業合金，實驗合金均可與形成氧化鋁之HAYNES 214合金相當，HAYNES 214合金具有1.3密耳/側(33 μm)之受侵蝕金屬平均值。相比之下，形成氧化鉻之617合金、230合金、HASTELLOY X合金及263合金均具有高得多之氧化侵蝕水準，受侵蝕金屬平均值分別為5.1、4.8、12.0及16.5密耳/側(130、122、305及419 μm)。威信實驗合金之卓越抗氧化性源自於臨界量之鋁，對於除合金CC外之所有實驗合金，該臨界量為2.72 wt.%或更大。合金CC具有僅1.93 wt.%之Al值，說明對於所需之卓越抗氧化性而言，Al含量過低。類似地，四種形成氧化鉻之商業合金之Al含量相當低(最高為617合金，具有1.2 wt.% Al)。相比之下，形成氧化鋁之214合金具有4.5 wt.%之Al含量。總之，在此程序中所測試之所有具有2.72 wt.%或

更大之Al含量的鎳基合金均發現具有卓越抗氧化性，而具有較低Al含量者則不具有。因此，考慮到本發明之合金，合金之Al含量應大於或等於2.72 wt.%。

可加工性 本發明之合金之一種要求為其為可加工的。如先前所論述，對於含有大量某些元素(諸如鋁、鈦、鈮及鉍)之合金，具有良好可加工性與合金對於應變時效裂紋之抗性密切相關。實驗合金對於應變時效裂紋之抗性使用Metzler在**Welding Journal**增刊, 2008年10月, 第249s-256s頁中所述之經修改CHRT測試來量測。此測試經開發以測定合金對於應變時效裂紋之相對抗性。其為美國專利第8,066,938號中所述之測試的變化形式。在經修改之CHRT測試中，量器部分之寬度為可變的且在動力學熱-機械模擬器而非螺旋驅動拉伸單元上進行測試。預期兩種不同形式之測試的結果為定性上類似的，但絕對定量結果將不同。對本實驗合金進行之經修改CHRT測試的結果展示於表3中。測試在1450°F(788°C)下進行，且所報告之CHRT延展性值經量測為超過1.5吋(38 mm)之伸長。實驗合金之經修改CHRT測試延展性介於5.9%(對於合金DD)至17.9%(對於合金X)範圍內。

表3中亦展示三種商業合金之經修改CHRT測試結果，如Metzler在**Welding Journal**增刊, 2008年10月, 第249s-256s頁中所公開。R-41合金及Waspaloy之經修改CHRT測試延展性值均低於7%，而263合金之值為18.9%。R-41合金及Waspaloy合金雖為可焊接的，但已知均容易發生應變時效裂紋，而263合金被認為可容易焊接的。為此，本發明之合金應具有大於7%之經修改CHRT測試延展性值。在實驗合金中，僅合金O及DD具有低於7%之經修改CHRT測試延展性值；因此，合金O及DD無法被視為本發明之合金。

表3

經修改CHRT測試之結果

合金	經修改CHRT測試延展性(%)
A	13.0
B	11.6
C	7.7
D	13.3
E	13.6
F	8.9
G	10.3
H	8.7
I	9.4
J	10.2
K	8.6
L	8.0
M	9.7
N	10.0
O	6.3
P	9.3
Q	10.2
R	10.8
S	9.4
T	9.9
U	9.5
V	15.1
W	16.3
X	17.9
Y	13.5
Z	11.9
AA	10.5
BB	8.9
CC	15.3
DD	5.9
R-41	6.9
WASPALLOY	6.8
263	18.9

發現對於此等基於Ni-Cr-Co-Mo-Al之合金，對於應變時效裂紋之抗性可能與 γ' 形成元素Al、Ti、Nb及Ta之總量有關。因此，存在於合金中之此等元素之組合量應滿足以下關係(其中元素量以重量%給出)：

$$Al + 0.56Ti + 0.29Nb + 0.15Ta \leq 3.9 \quad [1]$$

對於所有實驗合金，等式1左手側之值展示於表4中。其中 $Al + 0.56Ti + 0.29Nb + 0.15Ta$ 低於或等於3.9之所有合金均可見具有大於7%之經修改CHRT測試延展性且因此通過本發明之應變時效裂紋抗性

要求。僅發現合金O、Q及DD具有大於3.9之值。對於合金O及DD，值3.93及4.54可與不良之經修改CHRT測試延展性有關。另一方面，發現合金Q具有可接受之經修改CHRT測試延展性。咸信此為合金之高Fe含量之結果。已知Fe添加物會抑制 γ' 形成且因此可能有助於改良經修改CHRT測試延展性。然而，較少量之 γ' 形成元素一般有益於可加工性。因此，對於本發明之所有合金， $Al + 0.56Ti + 0.29Nb + 0.15Ta$ 之值可保持低於或等於3.9。應注意，對此，一方面暗示本發明之合金之最高鋁含量必須為3.9 wt.%(其對應於鈦、鈮及鉭均不存在之情形)。

表4

實驗合金-等式[1]值(左手側)

合金	$Al + 0.56Ti + 0.29Nb + 0.15Ta$
A	3.78
B	3.70
C	3.78
D	3.68
E	3.76
F	3.58
G	3.64
H	3.69
I	3.73
J	3.70
K	3.62
L	3.72
M	3.88
N	3.89
O	3.93
P	3.76
Q	3.98
R	3.44
S	3.79
T	3.11
U	3.63
V	3.52
W	3.58
X	3.52
Y	2.93
Z	3.46
AA	3.50
BB	3.90

CC	2.06
DD	4.54

潛變-破裂強度 實驗合金之潛變-破裂強度使用潛變-破裂測試在1800°F(982°C)下在2.5 ksi(17 MPa)之負荷下測定。在此等條件下，估計(基於來自Haynes International, Inc.出版物#H-3009C之內插數據)抗潛變HASTELLOY X合金具有285小時之潛變-破裂壽命。為了達成本發明之目的，325小時之最小潛變-破裂壽命經確立為要求，其將為相對HASTELLOY X合金之顯著改良。有用的是，應注意1800°F(982°C)之測試溫度高於實驗合金之預測 γ' 固溶溫度，因此， γ' 相強化之任何效應均應忽略不計。

實驗合金之潛變-破裂壽命連同若干商業合金之潛變-破裂壽命展示於表5中。發現合金A至O、R至Z及BB均在此等條件下具有大於325小時之潛變-破裂壽命，且因此滿足本發明之潛變-破裂要求。發現合金P、Q、AA、CC及DD無法滿足潛變-破裂要求。考慮到商業合金，617合金及230合金分別具有732.2及915.4小時之可接受之潛變-破裂壽命。相反地，214合金僅具有196.0小時之潛變-破裂壽命，充分低於界定本發明合金之潛變-破裂壽命要求。

表5

在1800°F(982°C)/2.5 ksi(17 MPa)下之潛變-破裂壽命

合金	破裂壽命(小時)
A	1076.7
B	534.7
C	486.1
D	447.0
E	331.9
F	402.8
G	722.0
H	2051.1
I	360.0
J	1785.7
K	5645.5
L	566.7
M	1317.4
N	1197.3

O	340.3
P	134.3
Q	254.4
R	> 500
S	> 500
T	> 330
U	> 500
V	1624.0
W	693.8
X	> 500
Y	> 500
Z	909.4
AA	276.0
BB	> 500
CC	224.3
DD	138.6
617	732.2
214	196.0
230	915.4
HASTELLOY X	285 (估計值)

發現含有鈳或鈿之某些實驗合金令人意外地展示高於許多其他實驗合金之潛變-破裂壽命。舉例而言，含有鈳之合金K具有5645.5小時之潛變-破裂壽命，且含有鈿之合金N具有1197.3小時之潛變-破裂壽命。具有及不具有鈳及鈿添加物之合金之比較在表6中給出。對於比較目的，合金根據其標稱基礎組成來分組。對於所有基礎組成，可見鈳及鈿添加物對潛變-破裂壽命之清楚益處。然而，鈿對潛變-破裂強度之任何有益影響必須與如本文獻中先前所述對可加工性之任何不利影響相權衡。

表6

鈳及鈿添加物對潛變-破裂壽命之影響

1800°F (982°C) / 2.5 ksi (17 MPa)

標稱基礎組成	合金	添加物	潛變-破裂壽命(h)
Ni-16Cr-20Co-7.5Mo-3.5Al-1Fe	C	-	486.1
	L	0.43 Hf	5645.5
	K	0.71 Ta	566.7
Ni-16Cr-10Co-7.5Mo-3.5Al-10Fe	P	-	134.3
	M	0.38 Hf	1317.4
	N	0.78 Ta	1197.3
Ni-19.5Cr-10Co-7.5Mo-3.5Al-1Fe	B	-	534.7
	V	0.48 Hf	1624.0
	Z	1 Ta	909.4

如上文所提及，實驗合金P及Q均含有約10 wt.%鐵，無法滿足潛變-破裂要求。此等合金分別含有鎢及鈮微量元素添加物。有用的是，比較此等合金與合金G，合金G類似於此兩種合金，但不具有鎢或鈮添加物。發現合金G具有可接受之潛變-破裂壽命。因此，當此類合金在其鐵範圍之上端(約10 wt.%)時，元素鎢及鈮看起來對潛變-破裂壽命具有不利影響。然而，當鐵含量較低時，例如合金I及T，鎢添加物不會導致不可接受之潛變-破裂壽命。類似地，當鐵含量較低時(合金T)，鈮添加物不會導致不可接受之潛變-破裂壽命。為此，當鎢或鈮作為微量元素添加物存在時，本發明之合金限於5 wt.%鐵或更低。對於具有大於5 wt.%鐵之合金，鈮及鎢應受到控制僅為雜質含量(鈮及鎢分別為約0.2 wt.%及0.5 wt.%)。

上文亦提及，合金AA、CC及DD無法滿足潛變-破裂要求。合金AA具有低於本發明所需之Mo含量，而所有其他元素均在其可接受之範圍內。因此，發現臨界最低Mo含量對於必要潛變-破裂強度為必須的。類似地，合金CC及DD均具有超出本發明範圍之Al含量，而所有其他元素均在其可接受之範圍內。當Al含量超出本發明所界定之範圍時，造成低潛變-破裂強度之機制尚不清楚。

熱穩定性 實驗合金之熱穩定性在於1400°F (760°C)下熱暴露100小時後使用室溫拉伸測試來測試。在熱暴露後室溫拉伸伸長之量(保留之延展性)可視為合金熱穩定性之量度。選擇1400°F (760°C)之暴露溫度，因為許多基於鎳之合金在彼溫度範圍周圍具有最低熱穩定性。為了具有所關注應用可接受之熱穩定性，確定大於10%之保留之延展性為必要的。較佳地，保留之延展性應大於15%。在此處所述之30種實驗合金中，其中28種具有17%或更大之保留之延展性——充裕地高於較佳最小值。合金BB及DD為例外，兩者均具有低於10%之保留之延展性。合金BB具有大於本發明合金之最大值之Mo含量，而所

有其他元素均在其可接受之範圍內。因此，咸信此高Mo含量造成不良熱穩定性。類似地，合金DD具有大於本發明合金之最大之Al含量，而所有其他元素均在其可接受之範圍內。因此，咸信高Al含量造成不良熱穩定性。

表7

熱穩定性測試

合金	在1400°F(760°C)/100小時後，伸長%(保留之延展性)
A	24
B	25
C	23
D	25
E	25
F	23
G	23
H	23
I	21
J	19
K	24
L	22
M	20
N	22
O	23
P	20
Q	20
R	21
S	17
T	23
U	23
V	21
W	23
X	21
Y	23
Z	20
AA	22
BB	2
CC	29
DD	7

彙總四種關鍵特性(抗氧化性、可加工性、潛變-破裂強度及熱穩定性)之測試結果，發現合金A至N、合金R至X及合金Z(共22種)通過所有四種關鍵特性測試且因此被視為本發明之合金。合金Y亦被視為

本發明之一部分，其通過了潛變-破裂、經修改CHRT及熱穩定性測試，但未測試抗氧化性(其鋁含量指示合金Y根據本說明書之教示亦將具有卓越抗氧化性)。合金O及DD無法通過經修改CHRT測試且因此經測定具有不充分可加工性(歸因於對於應變時效裂紋之不良抗性)。發現合金P、Q、AA、CC及DD無法滿足潛變-破裂強度要求。合金CC無法滿足氧化要求。最後，合金BB及DD無法滿足熱穩定性要求。因此，合金O、P、Q、AA、BB、CC及DD(共7種)未被視為本發明之合金。此等結果彙總於表8中。另外，隨該等實驗合金一起考慮七種不同商業合金。發現所有七種商業合金無法通過一或多個關鍵特性測試。

表8

實驗合金概述

合金	無法通過關鍵特性測試	本發明之合金
A		是
B		是
C		是
D		是
E		是
F		是
G		是
H		是
I		是
J		是
K		是
L		是
M		是
N		是
O	經修改CHRT	否
P	潛變-破裂	否
Q	潛變-破裂	否
R		是
S		是
T		是
U		是
V		是
W		是

X		是
Y		是
Z		是
AA	潛變-破裂	否
BB	熱穩定性	否
CC	氧化，潛變-破裂	否
DD	經修改CHRT，潛變-破裂，熱穩定性	否

可接受之實驗合金含有(以重量百分比計)：15.3至19.9鉻、9.7至20.0鈷、7.5至10.0鉬、2.72至3.78鋁、少於0.1直至10.4鐵、0.085至0.120碳，以及微量元素及雜質。可接受之合金進一步具有介於2.93至3.89範圍內之項 $Al + 0.56Ti + 0.29Nb + 0.15Ta$ 之值。

或許本發明之最臨界態樣為元素鋁之極窄窗口。此等合金中需要至少2.72 wt.%之臨界鋁含量以促進形成保護性氧化鋁皮層——其卓越抗氧化性所必須。然而，如由合金對於應變時效裂紋之抗性部分地所界定，鋁含量必須控制為3.9 wt.%或更低以維持合金之可加工性。此小心控制鋁含量對於本發明合金為必要的。亦發現窄鋁窗口對於此等合金之潛變強度以及熱穩定性為重要的。除窄鋁窗口以外，亦存在其他對於本發明至關重要之因素。此等因素包括鈷及鉬添加物，其極大地有助於潛變-破裂強度——此等合金之一種關鍵特性。詳言之，發現臨界最低含量之鉬在此特定類別之合金中為必須的以確保足夠潛變強度。鉻亦因其有助於抗氧化性而為至關重要的。某些微量元素添加物可對本發明合金提供顯著益處。此包括碳，其為賦予潛變強度、晶粒細化等之關鍵(且所需)元素。另外，硼及銨雖然不需要存在，但因其對於潛變-破裂強度之有益影響而較佳存在。同樣，諸如釷、鏷、鈾等稀土元素因其對於抗氧化性之有益影響而較佳存在。最後，雖然所有本發明合金均具有高潛變-破裂強度，但已發現具有鉛及/或鉍添加物者具有意外顯著之潛變-破裂強度。

某些元素對於本發明合金滿足四種關鍵材料特性之組合的能力

之關鍵程度藉由本發明與Gresham在美國專利第2,712,498號中所述者進行比較來說明，該美國專利與本發明重疊。在Gresham專利中，描述了寬元素範圍，其涵蓋組成空間之大部分區域。未嘗試描述具有本發明所需之四種關鍵材料特性之組合的合金。實際上，Gresham專利描述多種不滿足本發明要求之合金。舉例而言，商業263合金由Rolls-Royce Limited(此專利讓渡給他)開發且已用於航太產業數十年。然而，此合金不具有本發明所需之卓越抗氧化性——如以上表2中所展示。此外，Gresham等人未教示臨界最低鋁含量為抗氧化性所必須。另一實例為表1中所述之合金DD。此合金在Gresham專利之範圍內。然而，此合金無法滿足本發明之四種要求中的三者：潛變-破裂，對於應變時效裂紋之抗性(如經修改CHRT測試所量測)，及熱穩定性。例如，合金DD無法通過應變時效裂紋要求已於本說明書中展示為鋁含量過高之結果。Gresham等人未教示存在避免容易發生應變時效裂紋的臨界最大鋁含量(或元素Al、Ti、Nb及Ta之最大組合含量)。第三實例為Gresham未描述需要限制最大鋁含量以避免不良熱穩定性。簡言之，Gresham描述了不滿足本文所述之四種關鍵材料特性之組合的合金，且未教示關於組合此四種特性所必須之臨界組成要求的任何內容，包括例如極窄之可接受鋁範圍。

本發明之合金必須含有(以重量百分比計)：15至20鉻、9.5至20鈷、7.25至10鈿、2.72至3.9鋁、高達0.15之量之碳，且餘下為鎳加上雜質、微量元素添加物。主要元素之範圍彙總於表9中。除碳以外，微量元素添加物亦可包括鐵、矽、錳、鈦、鈮、鉭、鉛、鋳、硼、鎢、鎂、鈣及一或多種稀土元素(包括但不限於釷、鐳及鈾)。微量元素之可接受範圍描述於下文且彙總於表10中。

表9

主要元素範圍(以wt.%計)

元素	寬範圍	中間範圍#1	中間範圍#2	窄範圍
Ni	餘下	餘下	餘下	餘下
Cr	15至20	16至20	17至20	17.5至19.5
Co	9.5至20	15至20	17至20	17.5至19.5
Mo	7.25至10	7.25至9.75	7.25至9.25	7.25至8.25
Al	2.72至3.9	2.9至3.7	2.9至3.6	3.0至3.5

元素鈦及鈮可存在，例如以提供強化，但其量應受到限制，因為其對可加工性之某些態樣具有不利影響。詳言之，此等元素之豐度可增加合金存在應變時效裂紋之傾向。若存在，則鈦應限於不超過0.75 wt.%，且鈮應限於不超過1 wt.%。若不作為有意添加物存在，則鈦及鈮可能作為雜質各自以高達約0.2 wt.%存在。

已意外發現元素鉛及/或鉍之存在與此等合金中甚至更長之潛變-破裂壽命有關。因此，這一或兩種元素可視情況添加至此等合金中以進一步改良潛變-破裂強度。鉛可以高達約1 wt.%之含量添加，而鉍可以高達約1.5 wt.%之含量添加。為了最有效，鉍及鉛含量之總和應在0.2 wt.%與1.5 wt.%之間。若不作為有意添加物存在，則鉛及鉍可能作為雜質各自以高達約0.2 wt.%存在。

為了維持可加工性，可存在或可不存在之某些元素(特定言之，鋁、鈦、鈮及鉍)的量應以一定方式受到限制以滿足以下額外關係(其中元素量以wt.%計)：

$$\text{Al} + 0.56\text{Ti} + 0.29\text{Nb} + 0.15\text{Ta} \leq 3.9 \quad [1]$$

另外，硼可以高達0.015 wt.%之小但有效之痕量含量存在以獲得此項技術中已知之某些益處。鎢可以高達約2 wt.%添加，但若作為雜質存在，則將典型地為約0.5 wt.%或更低。鐵亦可作為雜質以高達約2 wt.%之含量存在，或可為較高含量之有意添加物以降低原料之總成本。然而，鐵應以不超過約10.5 wt.%存在。若鈮及/或鎢作為微量元素添加物存在，則鐵含量應進一步限於5 wt.%或更低。為了使得能在熔融製程期間移除氧及硫，此等合金典型地含有高達約1 wt.%之少量

錳，及高達約0.6 wt.%之矽，且可能含有各自高達約0.05 wt.%之痕量鎂、鈣及稀土元素(包括鈮、鈾、鑷等)。鋯可作為雜質或有意添加物(例如，用於改良潛變-破裂壽命)存在於合金中，但應在此等合金中保持0.06 wt.%或更低以維持可加工性，較佳為0.04 wt.%或更低。

表10

微量元素添加物(以wt.%計)

元素	寬範圍	中間範圍	窄範圍
C	以高達0.15存在	以高達0.12存在	0.02直至0.12
Fe	高達10.5	高達5	高達2
Si	高達0.6	高達0.5	高達0.4
Mn	高達1	高達1	高達0.5
Ti	高達0.75	高達0.75	0.2至0.5
Nb ^a	高達1	高達1 ^c	高達1 ^d
Ta	高達1.5	高達1.5 ^c	高達1 ^d
Hf	高達1	高達1 ^c	高達0.5 ^d
Zr	高達0.06	高達0.04	以高達0.04存在
B	高達0.015	高達0.008	以高達0.005存在
W ^a	高達2	高達2	高達0.5
Mg	高達0.05	高達0.05	高達0.05
Ca	高達0.05	高達0.05	高達0.05
REE ^b	各自高達0.05	各自高達0.05	一或多者各自以高達0.05存在

^a其中Nb或W以高於雜質含量存在之合金亦應含有 ≤ 5 wt.% Fe

^b稀土元素(REE)包括Y、La、Ce等中之一或多者。

^c在中間範圍中，鈮、鈿及鉛中之至少一者應存在，且總和應在0.2與1.5之間

^d在中間範圍中，鈿及鉛中之至少一者應存在，且總和應在0.2與1.5之間

某些雜質之容限的概述提供於表11中。列於表11中的一些元素(鈿、鉛、硼等)可作為有意添加物而非雜質存在；若一種既定元素作為有意添加物存在，則其應在表10中而非表11中所界定之範圍內。若額外未列出之雜質不使關鍵特性降級至低於所界定之標準，則其亦可存在且容許的。

表11

雜質容限(以 wt.%計)

雜質	最大容限
Fe	2*
Si	0.4*
Mn	0.5*
Ti	0.2*
Nb*	0.2*
Ta	0.2*
Hf	0.2*
Zr	0.05*
B	0.005*
W*	0.5*
Cu	0.5
S	0.015
P	0.03

*若為有意添加物，則可較高(參見表10)

自本說明書中所提供之資訊，可預期表12中所陳述之合金組成亦將具有所需特性。

表12

其他合金組成

合金	Ni	Cr	Co	Mo	Al	Fe	C	Si	Ti	Y	Zr	B	其他
1	餘下	16	15	8	3.9	1	0.1	0.1	--	0.02	0.04	0.004	
2	餘下	16	15	7.25	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
3	餘下	16	15	8	3.3	1	0.02	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
4	餘下	16	15	8	3.3	1	0.15	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
5	餘下	15	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
6	餘下	20	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
7	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	--	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
8	餘下	16	9.5	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
9	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	--	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
10	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	--	0.004	0.5 Ta
11	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	--	0.5 Ta
12	餘下	16	15	8	3.3	1	0.05	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
13	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.015	0.5 Ta
14	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.75	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
15	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	1 Nb
16	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	1 Hf
17	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	1.5 Ta
18	餘下	16	15	8	3.3	10.5	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
19	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	1 Mn, 0.5 Ta

20	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.5	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
21	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.6	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
22	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.06	0.004	0.5 Ta
23	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.008	0.5 Ta
24	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.5	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta
25	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Hf
26	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta, 0.2 W
27	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta, 0.05 Mg
28	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta, 0.05 Ca
29	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta, 0.05 La
30	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.02	0.04	0.004	0.5 Ta, 0.05 Ce
31	餘下	16	15	8	3.3	1	0.1	0.1	0.25	0.05	0.04	0.004	0.5 Ta
32	餘下	16	15	8	3.5	1	0.1	0.1	0.45	0.05	0.04	0.004	1 Ta

除以上所述之四種關鍵特性以外，本發明合金之其他所需特性將包括：在退火狀態下之高拉伸延展性，在焊接期間之良好熱裂紋抗性，良好熱疲勞抗性，及其他。

即使所測試之樣品限於鍛製薄片，該等合金亦應在其他鍛製形式(諸如板、條、管、導管、鍛件及線)中及在鑄造、噴霧成型或粉末冶金形式(亦即粉末、壓實粉末及燒結壓實粉末)中展現相當的特性。因此，本發明涵蓋所有形式之合金組成。

由此合金展現之卓越抗氧化性、良好可加工性及良好潛變-破裂強度之組合特性使其特別適用於製造成氣渦輪引擎組件且特別適用於此等引擎中之燃燒器。該等組件及含有此等組件之引擎可在較高溫度下操作而不會故障且應具有比目前可用之彼等組件及引擎長的使用壽命。

儘管已揭示合金之某些較佳實施例，但應清楚瞭解，本發明不限於此，而可以不同方式在以下申請專利範圍之範疇內體現。

【符號說明】

無

I645049

發明摘要

※ 申請案號：103109755

※ 申請日：103/03/14

※IPC 分類：C22C 19/05 (2006.01)

【發明名稱】

可加工的高強度、抗氧化Ni-Cr-Co-Mo-Al合金

FABRICABLE, HIGH STRENGTH, OXIDATION RESISTANT Ni-Cr-Co-Mo-Al ALLOYS

【中文】

本發明揭示基於Ni-Cr-Co-Mo-Al之合金，其含有15至20 wt.% 鉻、9.5至20 wt.% 鈷、7.25至10 wt.% 鉬、2.72至3.9 wt.% 鋁，以及典型雜質(高達10.5 wt.%鐵之容限)、微量元素添加物且餘下為鎳。此等合金為可容易加工的，具有高潛變強度及高達2100°F (1149°C)之卓越抗氧化性。此特性組合適用於多種氣渦輪引擎組件，包括例如燃燒器。

【英文】

Ni-Cr-Co-Mo-Al based alloys are disclosed which contain 15 to 20 wt.% chromium, 9.5 to 20 wt.% cobalt, 7.25 to 10 wt.% molybdenum, 2.72 to 3.9 wt.% aluminum, along with typical impurities, a tolerance for up to 10.5 wt.% iron, minor element additions and a balance of nickel. These alloys are readily fabricable, have high creep strength, and excellent oxidation resistance up to as high as 2100°F (1149°C). This combination of properties is useful for a variety of gas turbine engine components, including, for example, combustors.

申請專利範圍

1. 一種基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其具有包含以下之組成(以重量百分比計)：

15至20	鉻
9.5至20	鈷
7.25至10	鉬
2.72至3.9	鋁
高達10.5	鐵
以高達0.15存在	碳
高達0.015	硼
高達0.75	鈦
高達1.5	鉭
高達1	鉛
高達1	錳
高達0.6	矽
高達0.06	銻

餘下為鎳及雜質，該合金進一步滿足由以重量百分比計之元素量確定的以下組成關係：

$$Al + 0.56Ti + 0.29Nb + 0.15Ta \leq 3.9。$$

2. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有鉛、鉭或鉛及鉭之組合，其中該兩種元素之總和在0.2 wt.%與1.5 wt.%之間。
3. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有0.2至0.75 wt.%之鈦。
4. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有元素鉛及鉭中的至少一者，該等元素之含量分別介於0.2 wt.%直至1及1.5 wt.%之

範圍內。

5. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有高達0.05 wt.%之痕量鎂、鈣及任何稀土元素中的至少一者。
6. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有以下雜質中的至少一者：高達0.5 wt.%之銅、高達0.015 wt.%之硫及高達0.03 wt.%之磷。
7. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其中該合金含有以下(以重量百分比計)：

16至20	鉻
15至20	鈷
7.25至9.75	鉬
2.9至3.7	鋁。
8. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其中該合金含有以下(以重量百分比計)：

17至20	鉻
17至20	鈷
7.25至9.25	鉬
2.9至3.6	鋁。
9. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其中該合金含有以下(以重量百分比計)：

17.5至19.5	鉻
17.5至19.5	鈷
7.25至8.25	鉬
3.0至3.5	鋁。
10. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其中該合金含有以下(以重量百分比計)：

高達5	鐵
以高達0.12存在	碳
高達0.008	硼
高達0.5	矽
高達0.04	銻。

11. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其中該合金含有以下
(以重量百分比計)：

高達2	鐵
0.02至0.12	碳
以高達0.005存在	硼
0.2至0.5	鈦
高達0.5	錳
高達0.4	矽
以高達0.04存在	銻。

12. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其中該合金具有抗氧化性，使得當在流動空氣中在2100°F(1149°C)下測試持續1008小時之時，受侵蝕金屬平均值具有不大於2.5密耳/側之值。

13. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其中該合金具有大於7%之經修改CHRT測試延展性值。

14. 如請求項1之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其中當在1800°F(982°C)下在2.5 ksi(17 MPa)之負荷下測試時，該合金具有至少325小時之潛變-破裂壽命。

15. 一種基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其具有包含以下之組成(以重量百分比計)：

15至20	鉻
9.5至20	鈷

7.25至10	鋁
2.72至3.9	鋁
高達5	鐵
以高達0.15存在	碳
高達0.015	硼
高達0.75	鈦
高達1	鈮
高達1.5	鉭
高達1	鉛
高達2	鎢
高達1	錳
高達0.6	矽
高達0.06	鋇

餘下為鎳及雜質，該合金進一步滿足由以重量百分比計之元素量確定的以下組成關係：

$$\text{Al} + 0.56\text{Ti} + 0.29\text{Nb} + 0.15\text{Ta} \leq 3.9。$$

16. 如請求項15之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有鉛、鉭或鉛及鉭之組合，其中該兩種元素之總和在0.2 wt.%與1.5 wt.%之間。
17. 如請求項15之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有鉛、鉭及鈮中的至少一者，其中此等元素之總和在0.2 wt.%與1.5 wt.%之間。
18. 如請求項15之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有0.2至0.75 wt.%之鈦。
19. 如請求項15之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有該等元素鈮、鉛及鉭中的至少一者，該等元素之含量分別介於0.2 wt.%直至1、1及1.5 wt.%之範圍內。
20. 如請求項15之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有高達0.05 wt.%

之痕量鎂、鈣及任何稀土元素中的至少一者。

21. 如請求項15之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有以下至少一者：高達0.5 wt.%之銅、高達0.015 wt.%之硫及高達0.03 wt.%之磷。

22. 一種基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其具有包含以下之組成(以重量百分比計)：

15.3至19.9	鉻
9.7至20.0	鈷
7.5至10.0	鉬
2.72至3.78	鋁
0.1至10.4	鐵
0.085至0.120	碳
高達0.005	硼
高達0.49	鈦
高達1.0	鉭
高達0.48	鉛
高達0.49	矽
高達0.02	鈮
高達0.04	銻

餘下為鎳及雜質，該合金進一步滿足由以重量百分比計之元素量確定的以下組成關係：

$$\text{Al} + 0.56\text{Ti} + 0.29\text{Nb} + 0.15\text{Ta} \leq 3.89。$$

23. 如請求項22之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有高達4.5 wt.%之鐵，以及鎢或鈮中的至少一者，其含量為高達1.94 wt.%之鎢及高達0.91 wt.%之鈮。

24. 如請求項22之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有高達0.05 wt.%

之痕量鎂、鈣及任何稀土元素中的至少一者。

25. 如請求項22之基於鎳-鉻-鈷-鉬-鋁之合金，其含有以下雜質中的一或多者：高達0.2 wt.%之鈮、高達0.5 wt.%之鎢、高達0.5 wt.%之銅、高達0.015 wt.%之硫及高達0.03 wt.%之磷。

【代表圖】

【本案指定代表圖】：（無）。

【本代表圖之符號簡單說明】：

（無）

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

（無）