



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I663263 B

(45)公告日：中華民國 108 (2019) 年 06 月 21 日

(21)申請案號：105138749

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 11 月 25 日

(51)Int. Cl. : C22C19/03 (2006.01)

C22F1/10 (2006.01)

(71)申請人：國家中山科學研究院(中華民國) NATIONAL CHUNG-SHAN INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY (TW)

桃園市龍潭區中正路佳安段 481 號

(72)發明人：廖健鴻 LIAO, CHIEN HUNG (TW)；薄慧雲 BOR, HUI YUN (TW)；倪國裕 NIEH,
CUO YO (TW)；魏肇男 WEI, CHAO NAN (TW)；陳思漢 CHEN, SZ HEN (TW)；
朱柏翰 CHU, PO HAN (TW)

(56)參考文獻：

CN 101087894A

CN 101857931A

JP 2000-63969A

US 2003/075247A1

審查人員：楊淑珍

申請專利範圍項數：8 項 圖式數：0 共 13 頁

(54)名稱

高抗潛變等軸晶鎳基超合金

HIGH CREEP-RESISTANT EQUIAXED GRAIN NICKEL-BASED SUPERALLOY

(57)摘要

本發明旨在提供一種高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其特徵在於其中之化學組成包含，以重量計：Cr 為 8.0~9.5wt%、W 為 9.5~10.5wt%、Co 為 9.5~10.5wt%、Al 為 5.0~6.0wt%、Ti 為 0.5~1.5wt%、Mo 為 0.5~1.0wt%、Ta 為 2.5~4.0wt%、Hf 為 1.0~2.0wt%、Ir 為 2.0~4.0wt%、C 為 0.1~0.2wt%，B 為 0.01~0.1wt%，Zr 為 0.01~0.10wt%，其餘則由 Ni 及不可避免雜質所構成。

發明專利說明書

【發明名稱】 高抗潛變等軸晶鎳基超合金

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種鎳基合金，特別是關於一種高抗潛變等軸晶鎳基超合金。

【先前技術】

【0002】 鎳在高溫時具有高強度、抗腐蝕性及抗氧化性等，故為現今先進渦輪引擎耐高溫零組件上最廣泛使用的材料之一，傳統上鎳基超合金之成型方式主要有鑄造、鍛造及粉末冶金等三種製程方法，其中鑄造技術由於具有可製作出形狀複雜工件之優點，故實際運用上，若工件之形狀複雜，會選用鑄造方式來製作工件；而目前提升鎳基超合金使用溫度的主要有二種方式，第一種方式為改良合金成份，如傳統鑄造(conventional casting, CC)時，使用 Mar-M247 超合金(晶粒結構為等軸晶)可具有相當高溫之使用溫度，但要進一步提昇超合金之耐溫性，除合金成份設計改進外，可從傳統鑄造方式加以改進，例如以 Bridgeman 長晶原理，於合金凝固階段，將環境的溫度梯度控制在單一方向，因而形成所謂的單方向晶(directional solidification crystal, DC)或單晶(single crystal, SC)組織，如此便能再次提昇合金之使用溫度。

【0003】 雖然等軸晶合金較單方向晶或單晶合金，耐溫性

較低，但單方向晶或單晶鑄造由於僅能製作簡單形狀之鑄件(如渦輪葉片)，故如渦輪引擎用之渦輪轉子等複雜零件，則使用等軸晶合金利用傳統等軸晶鑄造來製作出複雜形狀且一體成形之鑄件，且傳統等軸晶鑄造之生產速率及製造成本也較單方向晶或單晶鑄造優，因而傳統等軸晶鑄造仍是目前產製高性能鎳基超合金鑄件就主要方式之一。

【0004】 潛變為材料在高溫及應力作用下，緩慢地產生塑性變化之現象，為材料在高溫破壞的主要原因之一，其中，應用於航太工業中的渦輪引擎，更需要在高溫環境下維持良好的潛變性能。在潛變性能中最常以潛變壽命及抗潛變能力二種材料性能數據，來衡量材料潛變性能之優劣，其中潛變壽命指著是材料在特定溫度及應力下，造成材料破斷的時間；而抗潛變能力指著是材料在特定溫度及應力下抵抗變形的能力，通常以達到特定變形量之時間來表示之。如在航太渦輪引擎之渦輪葉片工程運用上，通常限制零件之變形量在2%以內，有些嚴荷之使用條件甚至要求變形量要在1%以內，若零件超過限制變形量時，會因工件與工件之間因相互干涉碰撞，造成整個組件損壞，因此材料達變形量1%、2%之潛變時間(以下用 $t_{1\%}$ 、 $t_{2\%}$ 表示)，常用來衡量該材料可否用於渦輪葉片之重要指標之一。所以目前業界極需發展出一種具有優異的高溫抗潛變鎳基超合金，如此一來，方能同時兼具成本與機械特性，以製備出高溫抗潛變之鎳基超合金。

【發明內容】

【0005】 鑒於上述習知技術之缺點，本發明之主要目的在於提供一種高抗潛變等軸晶鎳基超合金，整合一真空熔煉、一真空鑄造及適當元素知添加等，以製備出高抗潛變等軸晶鎳基超合金。

【0006】 為了達到上述目的，根據本發明所提出之一方案，提供一種高抗潛變等軸晶鎳基超合金，具有如下以重量百分比計之組成：Cr 為 8.0~9.5 wt%、W 為 9.5~10.5 wt%、Co 為 9.5~10.5 wt%、Al 為 5.0~6.0 wt%、Ti 為 0.5~1.5 wt%、Mo 為 0.5~1.0 wt%、Ta 為 2.5~4.0 wt%、Hf 為 1.0~2.0 wt%、Ir 為 2.0~4.0 wt%、C 為 0.1~0.2 wt%，B 為 0.01~0.1wt%，Zr 為 0.01~0.10wt%，其餘則由 Ni 及不可避免雜質所構成。

【0007】 上述高抗潛變等軸晶鎳基超合金係以真空感應爐進行熔煉，之後在真空的環境下進行真空精密鑄造，將熔融的合金液澆進陶模中，再進行冷卻即完成該鎳基超合金之鑄錠工作。

【0008】 上述鎳基超合金之鑄錠為等軸晶組織，須進行進一步熱處理程序；該鎳基超合金於本發明中進行兩階段熱處理，其中，第一階段熱處理係以 1100-1300℃對該鎳基超合金之鑄錠進行熱處理至少一小時以上，然後以惰性氣體(例如氬氣)對該鎳基超合金進行降溫、淬冷；第二階段熱處理則是以 800-1000℃對該鎳基超合金之鑄錠進行熱處理至少十小時以

上，然後以自然冷卻對該高抗潛變等軸晶鎳基超合金進行降溫，製備出高抗潛變等軸晶鎳基超合金。

【0009】 以上之概述與接下來的詳細說明，皆是為了能進一步說明本創作達到預定目的所採取的方式、手段及功效。而有關本創作的其他目的及優點，將在後續的說明及圖式中加以闡述。

【圖式簡單說明】

無

【實施方式】

【0010】 以下係藉由特定的具體實例說明本創作之實施方式，熟悉此技藝之人士可由本說明書所揭示之內容輕易地了解本創作之優點及功效。

【0011】 本發明之合金設計從具有等軸晶組織之鎳基超合金出發，並在其中加入鋁及鈦元素，利用 Al 及 Ti 和 Ni 所形成 $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$ 之 γ' 析出強化相來強化合金高溫機械強度，但是 γ' 相數量若過多，反而會造成合金脆性增加，容易於鑄造過程或使用過程中引發合金之脆裂現象，故本發明中鎳基超合金之 Al 最佳之含量應介於 5.0~6.0 wt% 之間，Ti 的含量應介於 0.5~1.5 wt% 之間；鎳基超合金在高溫長時間使用時，隨著時間之增加 γ' 相會粗化及體積分率逐漸會降低，使鎳基超合金之強度降低，為改善此一現象本發明於合金中 Ta 元素，有利於提昇 γ' 相在高溫時的穩定性，但 Ta 元素添加過多，

易產生粗大之 TaC 型碳化物，該型碳化物容易成為破裂裂縫的起源，使合金強度降低，故本發明中鎳基超合金之 Ta 元素含量控制在 2.5~4.0 wt.%；Co 在本發明中主要是扮演提高 γ' 相的固相線溫度，減少 Al 及 Ti 在 γ 基地的溶解度的功能，以增加 γ' 析出相的數量，致使合金的高溫強度增加，但 Co 添加一定量以後，其 γ' 相數量增加的效果就會變得不明顯，另 Co 雖能提供固溶強化效果，但 Co 與 Ni 的原子大小相差不多，其提供固溶強化效果不大，因此本發明中鎳基超合金之 Co 含量控制在 9.5~10.5 wt% 之間；碳(C)在本發明之鎳基超合金中，可和其他合金元素形成原子結合強度很高的碳化物，碳化物主要扮演晶界強化之角色，有助於抑制高溫時晶界的滑移，進而提高潛變壽命，但若碳含量過高時則易形成大顆粒狀之 MC 型(M 表示金屬原子，C 表示碳原子)塊狀或長條狀碳化物，使該碳化物易成為裂縫的起源，另碳含量過高時會降低合金初熔相的溫度，為避免初熔相的產生，故必須採用較低固溶溫度之熱處理條件，如此會使合金於鑄造後，後續想藉由熱處理來強化合金之效果打折扣，因此本發明中鎳基超合金之碳含量應介於 0.1~0.2wt% 之間；Cr 在本實驗的主要作用為提高合金之抗氧化性及耐熱腐蝕性，但在本發明之合金中 Cr 除了有上述優點外，尚是形成 M₂₃C₆ 碳化物的主要成份，經過系列實驗發現本發明中鎳基超合金之 Cr 含量應限制在 8.0~9.5 wt% 之間；Hf 在本發明中主要的效果在形成大量的 γ - γ' 薔薇

狀的共晶組織，此種共晶組織具有良好的韌性，在晶界上析出增加晶界的本質韌性，阻止裂紋之高速擴展，因而韌化晶界，但 Hf 元素添加過多，易產生粗大之 HfC 型碳化物，該型碳化物容易成為破裂裂縫的起源，使合金強度降低，故本發明中鎳基超合金之 Hf 含量範圍宜控制在 1.0~2.0 wt% 之間；Mo 及 W 在本發明中則是可提高 γ' 相穩定溫度，即提高 γ' 相的溶解溫度，但 Mo 及 W 如果添加過量會造成成份分佈不均勻，嚴重時會在合金內形成 TCP (Topologically-close-packed) 有害相，TCP 相是一種非常脆硬的相，容易因差排堆積造成應力集中讓其成為裂縫的起源，進而造成材料強度降低，另 TCP 相形成時會消耗掉 γ 基地中大量的固溶強化元素，使 γ 基地的強度減低。本發明添加適當含量的 Ir，可增加成份分佈的均勻性，抑止 TCP 相的形成，另 Ir 的添加也能增加合金固溶強化及提高 γ' 相高溫穩性的效果，基於上述綜合考量，本發明鎳基超合金中 Mo、W、Ir 的含量，應分別限制在 0.5~1.0 wt%、9.5~10.5 wt% 及 2~4 wt%；B、Zr 主要有晶界強化效果，微量的添加 B、Zr 具有淨化及強化晶界的效果，但添加過量反而會弱化晶界或各種有害強度的有害組織，而使強度降低，故本發明中鎳基超合金之 B、Zr 含量範圍宜控制在 0.01~0.1wt% 之間。

【0012】 根據前述之實驗結果，本發明開發一種高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其化學組成為（以重量百分比計）：Cr

為 8.0~9.5 wt%、W 為 9.5~10.5 wt%、Co 為 9.5~10.5 wt%、Al 為 5.0~6.0 wt%、Ti 為 0.5~1.5 wt%、Mo 為 0.5~1.0 wt%、Ta 為 2.5~4.0 wt%、Hf 為 1.0~2.0 wt%、Ir 為 2.0~4.0 wt%、C 為 0.1~0.2 wt%，B 為 0.01~0.1wt%，Zr 為 0.01~0.10wt%，其餘則由 Ni 及不可避免雜質所構成。

【0013】 實施例一

本發明之鎳基超合金，按其化學組成比例(如表一所示)以真空感應爐進行熔煉，之後進行真空精密鑄造，將熔融的合金液澆進陶模中；

表一 實施例一合金成份

元素	Cr	Co	Mo	W	Ta	Al	Ti	Ir	Hf	C	B	Zr	Ni
wt.%	9.44	10.1	0.79	10.3	3.8	5.34	0.91	3.04	1.33	0.15	0.019	0.05	Rem.

此鎳基超合金於鑄造後須經過熱處理來優化合金內部之顯微組織，其熱處理程序為：(1)以 1100-1300℃進行真空固溶處理至少一小時以上後，以氬氣淬冷至室溫，(2)接著進行 800-1000℃進行真空時效處理至少十小時以上，隨後爐冷至室溫，試桿於熱處理後進行 982℃ /200MPa 潛變測試，測試結果如表二所示：

表二 實施例一之潛變性能

潛變壽命(小時)	t1% (小時)	t2% (小時)	延伸率(%)
121.3	48.6	71.6	15.0

。

【0014】 實施例二

本發明之鎳基超合金，按其化學組成比例(如表三所示)以真空感應爐進行熔煉，之後進行真空精密鑄造，將熔融的合金液澆進陶模中；

表三 實施例二合金成份

元素	Cr	Co	Mo	W	Ta	Al	Ti	Ir	Hf	C	B	Zr	Ni
wt. %	8.38	9.88	0.72	9.83	2.92	5.49	0.97	2.12	1.32	0.15	0.017	0.05	Rem.

此鎳基超合金於鑄造後須經過熱處理來優化合金內部之顯微組織，其熱處理程序為：(1)以 1100-1300℃進行真空固溶處理至少一小時以上後，以氬氣淬冷至室溫，(2)接著進行 800-1000℃進行真空時效處理至少十小時以上，隨後爐冷至室溫，試桿於熱處理後進行 982℃ /200MPa 潛變測試，測試結果如表四所示：

表四 實施例二之潛變性能

潛變壽命(小時)	t1% (小時)	t2% (小時)	延伸率(%)
102.7	34.8	57.0	13.8

。

【0015】 目前商用最常用的等軸晶鎳基超合金，主要有 Mar-M247、In713LC 及 In718 等合金為主，其中以 Mar-M247 合金的高溫潛變性能表現最佳，故本發明選用 Mar-M247 合金作為比較參考，並參考 Mar-M247 合金之 EMS 55447 航空材料規範，選用 982℃ /200MPa 之潛變測試條件作為比較基準；由於 EMS 55447 規範並未規定 t1%、t2%之標準，故以同實施例

之製程條件熔鑄出符合 Mar-M247 合金成份規範之合金，並於潛變測試後，將潛變相關數據補充於表五中，其中 t1%係指材料達延伸變形量 1%之潛變時間、t2%係指材料達延伸變形量 2%之潛變時間；經比較本發明合金與 Mar-M247 合金之潛變性能，顯示在潛變壽命及抗潛變能力(t1%、t2%)方面以本發明之合金表現最好，在延伸率方面則與 Mar-M247 相差不多，但仍符合 EMS 55447 規範，可見本發明合金在潛變性能之進步性。

表五 比較例之潛變性能

	潛變壽命 (小時)	t1% (小時)	t2% (小時)	延伸率(%)
EMS 55447	> 25	-	-	> 4
Mar-M247	37.4	14.6	22.2	15.6

【0016】 上述之實施例僅為例示性說明本創作之特點及功效，非用以限制本創作之實質技術內容的範圍。任何熟悉此技藝之人士均可在不違背創作之精神及範疇下，對上述實施例進行修飾與變化。因此，本創作之權利保護範圍，應如後述之申請專利範圍所列。

【符號說明】 無

I663263

發明摘要

※ 申請案號：105138749

G22G 19/03 (2006.01)

※ 申請日：105/11/25

※IPC 分類：**G22F 1/10** (2006.01)

【發明名稱】 高抗潛變等軸晶鎳基超合金

【中文】

本發明旨在提供一種高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其特徵在於其中之化學組成包含，以重量計：Cr 為 8.0~9.5 wt%、W 為 9.5~10.5 wt%、Co 為 9.5~10.5 wt%、Al 為 5.0~6.0 wt%、Ti 為 0.5~1.5 wt%、Mo 為 0.5~1.0 wt%、Ta 為 2.5~4.0 wt%、Hf 為 1.0~2.0 wt%、Ir 為 2.0~4.0 wt%、C 為 0.1~0.2 wt%，B 為 0.01~0.1wt%，Zr 為 0.01~0.10wt%，其餘則由 Ni 及不可避免雜質所構成。

【英文】

【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】：

申請專利範圍

1. 一種高抗潛變等軸晶鎳基超合金，具有如下以重量百分比計之組成：
Cr 為 8.0~9.5 wt%、W 為 9.5~10.5 wt%、Co 為 9.5~10.5 wt%、Al 為 5.0~6.0 wt%、Ti 為 0.5~1.5 wt%、Mo 為 0.5~1.0 wt%、Ta 為 2.5~4.0 wt%、Hf 為 1.0~2.0 wt%、Ir 為 2.0~4.0 wt%、C 為 0.1~0.2 wt%，B 為 0.01~0.1wt%，Zr 為 0.01~0.10wt%，其餘則由 Ni 及不可避免雜質所構成。
2. 如申請專利範圍第 1 項所述之高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其中，該高抗潛變等軸晶鎳基超合金係以真空感應爐進行熔煉。
3. 如申請專利範圍第 1 項所述之高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其中，該高抗潛變等軸晶鎳基超合金係在真空環境中進行鑄造。
4. 如申請專利範圍第 3 項所述之高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其中，該高抗潛變等軸晶鎳基超合金鑄造後係經一二階段熱處理。
5. 如申請專利範圍第 4 項所述之高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其中，該第一階段熱處理係以 1100°C 以上進行熱處理。
6. 如申請專利範圍第 5 項所述之高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其中，該第一階段熱處理係以惰性氣體對該高抗潛變等軸晶鎳基超合金進行降溫。

7. 如申請專利範圍第 6 項所述之高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其中，該第二階段熱處理係以 800°C 以上進行熱處理。
8. 如申請專利範圍第 7 項所述之高抗潛變等軸晶鎳基超合金，其中，該第二階段熱處理係以自然冷卻進行降溫。