

公告本

436811

申請日期	87. 8. 19
案 號	87113649
類 別	G21C 3/42 3/2

A4
C4

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

一、發明 名稱	中 文	高燃耗之核燃料棒及結構件用鋳錫鐵合金
	英 文	ZIRCONIUM TIN IRON ALLOYS FOR NUCLEAR FUEL RODS AND STRUCTURAL PARTS FOR HIGH BURNUP
二、發明 創作人	姓 名	1. 李奧納多 F.P. 芬斯萬 (Dr. Leonard F.R. VAN SWAM) 2. 弗瑞德瑞奇賈拉羅里 (Dr. Friedrich GARZAROLLI) 3. 翰瑞奇羅曼 (Heinrich RUHMANN)
	國 籍	1. 美國 2. 奧地利 3. 德國
	住、居所	1. 美國華盛頓州 99352 瑞奇蘭德森林道 1974 號 2. 德國賀屈斯達泰佩里勒街 4 號 3. 德國賀羅格勞瑞 D-91074 格拉勒街 11 號
三、申請人	姓 名 (名稱)	西門斯能源股份有限公司 Siemens Power Corporation
	國 籍	美國
	住、居所 (事務所)	美國華盛頓州 99352-0130 里奇區合恩瑞比得路 2101 號
	代 表 人 姓 名	羅賓 L. 費爾巴查 (Robin L. Feuerbacher)

436811

(由本局填寫)

承辦人代碼：
大類：
IPC分類：

A6
B6

本案已向：

國(地區) 申請專利，申請日期： 案號： ，☒有 ☐無主張優先權
美

1997年 8月28日 08/919,452號(主張優先權)

有關微生物已寄存於： ，寄存日期： ，寄存號碼：

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

五、發明說明 (1)

發明簡略

本發明概括關於核子反應器，更特別而言，關係用於之核燃料棒護套，和用於核燃料總成或反應器爐心之結構件。

發明背景

鈾合金在過去廣泛用於核反應器之各項用途，包括核燃料棒護套、核燃料總成組件，和反應器爐心組件。此類合金包括鈾合金-2(Zircaloy-2)和鈾合金-4(Zircaloy-4)，為含有鉻和鐵添加物，以及含量受控制之氧、矽和碳等之稀釋鈾-錫合金，在Zircaloy-2之中尚含有鎳。Zircaloy-2和Zircaloy-4主要用於美國和歐洲所設計之輕水反應器，尤其是沸水反應器(BWR)和壓水式反應器(PWR)。

以含鈳作為主要合金成份之其他鈾合金通常用於俄羅斯和加拿大的反應器。二元鈾鈳合金，一般含有1%之鈳者曾被廣用於俄羅斯核反應器，而含鈳2.5至2.8%之鈾合金則於加拿大所設計之反應器中用作壓力管。二元鈾鈳合金顯現對於類似結節狀之腐蝕有敏感性，其中有100微米或更厚之氧化物疤痕，發生於金屬上通常只有20-30微米遠較為淺之氧化物區域中。在中度至高度燃耗之中，這些似結節狀之腐蝕首先出現於此類合金所製成之燃料棒護套上，並因冷卻水中有溶解氧出現而增多。在結節區域發生極高之腐蝕率為不希望者，因為在反應器中被進一步照射時它會危及燃料棒和結構件的完整

五、發明說明(2)

性。因為BWR一般運作於含有相對較高溶解氧含量之冷卻劑中，而PWR在運轉中隨時地遭遇冷卻劑中氧的突增，故二元鋯-鈮合金未曾被採用於美國或歐洲的商用反應器。最近，含鋯、錫、鈮和通常為鐵之第三合金元素之四元合金已被採用，但在美國、歐洲的PWR和俄羅斯的各種反應器所用核燃料棒護套和結構件中，其被使用之程度仍少於Zircaloy-2和Zircaloy-4。

通常，上述各種合金在其專用目的上表現良好。然而核燃料總成和反應器爐心組件之要求日增，特別是核燃料棒，尤其是核燃料棒之護套，須達到60-70MWd/KgU或更高的燃料燃耗，這些合金的腐蝕性能則欠適當。特別是這些合金的結節腐蝕、均勻腐蝕，及／或加速腐蝕，在60-70MWd/KgU的高燃耗中難符預期之性能。這些合金腐蝕性能的進一步惡化增加了現代燃料在燃料循環負載上的要求。燃料循環期已從10或12個月，在較新的反應器爐心管理計畫中，在數年前，增長至大約18或甚至24個月。在若干核電廠和較長的燃料循環中，平均冷卻劑溫度已被提昇，在核能蒸汽供應系統中，對不銹鋼管與零件免受應力腐蝕破裂的保護和對人員的輻私保護，種種考慮均已需要在冷卻水的化學上有所改變。

特別是，鋯錫合金在超過大約50MWd/KgU之高燃耗時之加速腐蝕，和鋯錫合金在經過加氧處理之反應器冷卻劑對結節腐蝕的敏感性，以及二元鋯鈮合金在大約45 MWd/KgU以上之燃耗時對似結節腐蝕的敏感性，促使這

五、發明說明(3)

些合金無法在60-70MWd/KgU之燃耗邊限達成其功能。

目前用作核燃料棒護套和燃料總成結構件之合金，在超過大約35至50MWd/KgU之燃耗時，所承受之加速腐蝕造成氧化物厚度快速增加，並使材料吸收大量的氫，由於氫化物的形成導致失去展延性而致不合格。根據特別的合金組成，製作時所受的熱處理以及操作條件，腐蝕率可能迅速變為非常高，使由此等合金製成之核燃料棒護套、燃料總成結構件和其他反應器爐心組件不能適合用於60-70MWd/KgU或更高之高燃耗。

Zircaloy之加速腐蝕發生於高的燃料燃耗，是在高燃耗當中腐蝕率增加之結果。輕水反應器所用鋳合金之耐蝕性與合金中之第二相粒子或沉澱物所存在之分量有關。例如，由含有錫在鋳中固溶液，和鋳-過渡金屬之金屬間化合物第二相沉澱物等所成之各種Zircaloy。在Zircaloy-2中通常存在的沉澱物是 $Zr_2(Fe, Ni)$ ，是一種所謂Zintl相，具有並衍生自 Zr_2Ni 之晶體結構，其中局部之鎳被鐵取代而形成金屬間化合物。另一種通常存在於Zircaloy-2且也存在於Zircaloy-4之沉澱物為 $Zr(Cr, Fe)_2$ ，是一種所謂拉夫斯相(Laves)，具有並衍生自 $ZrCr_2$ 之晶體結構，其中局部之鉻被鐵所取代。相似者，四元鋳錫鉍鐵合金含有鋳、鉍和鐵之各種組成物和化合物的沉澱物。與熱處理且可能亦與其他製造變數有關，下列各種沉澱物為已知存在者：斜方晶系之 $(ZrNb)_3Fe$ ，體心正方晶系 $(ZrNb)_2Fe$ ，密集六角晶系

五、發明說明(4)

之 $Zr(FeNb_2)$ 和 $(ZrNb)_3Fe$ ，以及 β -鋳（一種含約 19% 鈮和 81% 鋳之固溶體）和 β -鈮（一種約含 7.8% 鋳和 92.2% 鈮之固溶體）。具有 1% 和 2.5% 鈮之二元鋳-鈮合金依熱處理而定，分別含有 β -鋳或 β -鈮沉澱物。

上述第二相沉澱物在其所形成之合金中扮演腐蝕行為之重要角色。此外，平均沉澱物之粒度和沉澱物分佈（亦即粒子間之間隔）兩者明顯影響以上各種合金的腐蝕性質。在習用反應器之運轉溫度，上列各種鋳合金，其含有與除鋳以外之金屬結合之鐵者，在中子照射場中為不穩定。在充分長的反應器內留駐時間之後，第二相沉澱物溶解於合金基質中而導致平均粒度減小且粒間之間隔加大，提高合金中各元素的含量，尤其是鐵溶解於基質之中。

第二相沉澱物在平均粒度和平均密度上之變化，和從沉澱物進入基質所溶解之合金元素，其量隨燃耗而增加，導致 Zircaloy。和四元鋳-錫-鈮-鐵等合金，在中度至高度燃耗中之腐蝕率加大。各種合金的腐蝕率可能變為很高，視特別的合金組成，反應器運轉條件，和合金或合金所成反應器組件在製作當中所接受的熱處理而定，將使此等合金所製成之核燃料棒護套，核燃料總成組件，和反應器爐心元件等等在高燃耗中不能合用。

以第 1 和 2 圖為例，證明所繪腐蝕率、沉澱物密度和沉澱物平均粒度，為在一壓水或反應器中 Zircaloy-4 被照射於大約 300℃ 時能量密度之函數。在照射之前，沉

五、發明說明(5)

澱物平均粒度在0.19與0.34微米之間。當約有50%之金屬間第二相沉澱物被溶解，且其平均沉澱物粒度明顯變為較小之時，在約為 10×10^{21} 中子/平方厘米(n/cm^2)，能量密度(大約50MWd/KgU)中發現腐蝕增大。

結節腐蝕，為一種高溫水或蒸汽之腐蝕形式，在其材料之表面，局部受到侵蝕而形成有明顯的氧化物厚度或深度之細小凹凸形狀屑片或結節，而各個結節之間的表面只受輕微的腐蝕，並僅形成薄的氧化物厚度層，這是最常見於沸水反應器中的各種Zircaloy，和在沸水反應器、壓水式反應器、和俄式反應器中曝於含有氧氣之冷卻水中之鋁鎳合金。雖然已知熱處理有助於各種Zircaloy在高燃耗時減少發生結節腐蝕之傾向，但如此之熱處理可能引發功能上之問題，特別是上述加速均勻腐蝕的早變。鋁-鎳二元合金不含錫，因此理由而在含氧冷卻劑中對結節或類似結節之耐腐蝕性不佳，特別是在BWR中，以及在偶有氧增多之PWR中。再者，並無已知之熱處理可用於免除鋁-鎳二元合金的結節腐蝕侵害。

除結節腐蝕外，Zircaloy-4在被用於壓水式反應器時，常常遭受高的均勻腐蝕率。若Zircaloy-4產品是製成於錫含量依「美國試驗與材料標準」B350-93(1993)所訂1.2至1.7重量百分比允許範圍之上限時，通常為超過1.5重量百分比，則在被用於利用低中子裂漏燃料循環之壓水式反應器高溫冷卻劑之中者，材料遭受到高的均勻腐蝕率。而且也覺察高的均勻腐蝕率可能導致上述

五、發明說明(6)

加速腐蝕的早發。雖然均勻腐蝕之程度可以利用限制錫含量在接近允許範圍之下限而予局部限制，然而此種低錫 Zircaloy 在高燃耗時之腐蝕太高而使在大部份情形中成為不當的設計邊限。

因此將須提供一種優於先前技藝之合金，使適合用於核燃料棒護套、核燃料總成元件和反應器爐心元件，克復上述缺失，改善在高燃耗之輕水核反應器中對均勻、加速、和結節腐蝕之耐性。

發明概要

本發明關於由合金構成之耐蝕核反應器組件，重要含有 0.3 至 1.8 重量百分比之錫，0.1 至 0.65 重量百分比之鐵，0.003 至 0.015 重量百分比之矽，0.005 至 0.02 重量百分比之碳，和 0.09 至 0.22 重量百分比之氧，餘於該合金實質為核能級之銻與偶存之雜質，產生 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，均勻分佈於晶粒內和晶粒之間，在合金基質中形成耐輻射之第二相沉澱物，使 Zircaloy 在受高能量密度之照射時增進對水性腐蝕的耐性，其中在該合金內之第二相 Zr_3Fe 沉澱物具有約為 40 至 300 nm (微米) 之平均直徑。

在一較佳具體例中，提供一種用於核反應器燃料棒之燃料棒護套，由合金構成，主要含有 0.3 至 1.8 重量百分比之錫，0.1 至 0.65 重量百分比鐵而合金中之餘量實質為核能級之銻和偶有之雜質，具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，均勻分佈於晶粒內和晶粒間，在合金基質

五、發明說明(7)

中形成耐輻射之第二相沉澱物，使 Zircaloy 在受高能量密度照射時得以增進對水性腐蝕之耐力。

在另一較佳具體例中，用於水性環境接受水反應器之高能量密度之鋳合金，其特徵在於提供改良之腐蝕性，此合金實質含有 0.3 至 1.8 重量百分比錫，0.1 至 0.65 重量百分比鐵，該合金之餘量實質為核能級之鋳和偶現之雜質，並具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，均勻分佈於晶粒內和晶粒間，在合金基質中具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，均勻分佈於晶粒內和晶粒間，在合金基質中形成耐輻射之第二相沉澱物，使 Zircaloy 在受高能量密度照射時得以增進對水性腐蝕之耐力。

在再另一較佳具體例中，提供一種用於核反應器燃料總成之結構件，由鋳合金構成，實質含有 0.3 至 1.8 重量百分比錫，0.1 至 0.65 重量百分比鐵，該合金之餘量實質為核能級之鋳和偶現之雜質，具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，均勻分佈於晶粒內和晶粒間，在合金基質中形成耐輻射之第二相沉澱物，使 Zircaloy 在受高能量密度照射時得以增進防水性腐蝕耐力。

圖式簡單說明

第 1 圖為一圖表，表示於壓水式反應器內，Zircaloy-4 在正常和高燃耗當中，其沉澱物粒度與密度受輻射之效應；

第 2 圖為一圖表，表示在壓水式反應器內，Zircaloy-4 在正常和高燃耗當中，其腐蝕作用受輻射之影響；

五、發明說明(8)

第3圖為一圖表，表示在壓水式反應器內，Zircaloy-4在正常和高燃耗當中，輻射對感應成長之影響；

第4圖表示一透射電子顯微鏡之顯微照片，顯示根據本發明在一種鋁-錫-過度金屬合金所產生沉澱物在晶粒內和晶粒間之均勻分佈；

第5和6圖表示透射電子顯微鏡之顯微照片，說明與第4圖相同組成之合金，在晶粒週邊，和在晶粒週邊與其前之 β 晶粒週邊之沉澱物不均勻分佈。

詳細說明

根據本發明，為克復各種Zircaloy、鋁-鋁二元、和四元族系等合金所受上述各種限制，並提供水核反應器所用各元件材料，具有合於高燃耗之優異耐蝕性，新的鋁基合金專用作核燃料棒護套，以及核燃料總成之結構元件和其他爐心元件，具有特別的第三相沉澱物，且有微結構特點，已被開發克復前述合金的缺失，供達於並包括高燃耗的核能用途。此等新的鋁基合金已被證實普遍具有低腐蝕率，並可在沸水和壓水式反應器內達於高燃耗中抗拒加速腐蝕和結節腐蝕的發生。

這些鋁合金含有0.3至1.8重量百分比之錫，0.1至0.66重量百分比之鐵，合金的餘量是核能級之鋁和偶有之雜質，具有Zr₃Fe的細小第三相沉澱物均勻分佈晶粒之內和晶粒之間，提供對腐蝕、加速腐蝕、和結節腐蝕在 β 相於高燃耗時的耐力。如將討論於後者，合金中錫之存在保護免於結節腐蝕，而鐵之存在於合金中則提

五、發明說明(9)

供穩定的沉澱物，有助於高燃耗或大的中子能量密度累積時維持低的均勻腐蝕率。這些合金除了微量雜質之外，不應含其他元素如：鉻、鉬、鈮、銅、鎳、鎢，或在高燃耗時形成不穩定的第二相沉澱物而導致不合宜之腐蝕程度之其他合金元素。

為求得以改善腐蝕性能而適合用於輕水反應器之水性環境中而達於高的燃耗，各種合金或合金製品經過加工和熱處理以使第二相沉澱物均勻分佈於晶粒之間和晶粒之內，遍及於合金或合金製品之中。根據本發明合金或合金製品之熱處理和加工，可獲第二相沉澱物在晶粒間和晶粒內之均勻分佈，與其他熱處理和加工不同，後者僅有不均勻的沉澱物分佈，存在於晶粒週邊或原先 β -晶粒週邊且不存在有晶粒內之沉澱物。

為使本發明之鋁-錫-鐵合金得到第二相沉澱物在晶粒間和晶粒內之均勻分佈，在合金材料被加熱於 β 範圍至高於約 1000°C 之溫度，使形成無第二相沉澱物之固溶液，然後迅速淬冷而達成無擴散之馬氏體轉移。當鋁-錫-鐵合金被加熱至高於約 1000°C 之 β 範圍溫度，合金元素鐵和錫在固溶液中與鋁成為體心立方晶體結構。在由此 β 範圍溫度將合金迅速淬冷，則無擴散之馬氏體轉移至少發生於材料之表面，在其間之淬冷速率最高而承受腐蝕作用，且其中立體心立方晶體結構相被轉移成為一種具有密集六角晶體結構之 α 相。因為馬氏體轉移之無擴散性質，當被迅速冷卻至低於 $\alpha + \beta$ 至 α 轉移溫度（大

五、發明說明(10)

約為 820-880℃) 時, 合金元素維持在 α 相中超飽和的相對穩定溶液。在從高溫 β 相區域迅速淬冷以形成 Zr_3Fe 粒子之沉澱物之後, 繼之以在低於大約 800℃ 之溫度在 α 相區域中退火熱處理, 繼而成長為較大粒度之沉澱物, 而在鉛-錫固溶體基質中保持均勻的晶粒間和晶粒內之分佈。 Zr_3Fe 沉澱物之存在和均勻的晶粒間與晶粒內分佈使合金具有優異之腐蝕性質, 而且由於輕水核反應器內在所有常用溫度之中子輻射場中 Zr_3Fe 的穩定性, 合金在高燃耗或高中子能量密度時的腐蝕性質不會劣化。

在一較佳具體例中, 合金先被加熱至 $1050^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, 經過 20 至 120 分鐘使形成固溶體, 其間之鐵合金溶解於 β 鉛錫基質之中。然後此材料被迅速淬冷於水浴、灑水、熔融金屬浴、或任何其他習知方法, 以超過 500K/秒之速率至低於大約 250℃ 之溫度, 使形成為馬氏體結構而鐵維持在超飽和溶液之中。然後此材料接受熱作或冷作加工, 並在 α 範圍中之溫度作熱處理(低於大約 800℃), 且較佳在 550℃ 至 750℃ 之間, 經過 1 至 2 小時而形成 Zr_3Fe 沉澱物, 均勻分佈晶粒間和晶粒內。材料可以進一步熱處理於 575℃ 與 700℃ 間之溫度, 經過 2 至 12 小時而增大沉澱物之粒度。合計之熱處理時間可以於單一熱處理步驟以特定之時間期限進行, 或可利用多個熱處理步驟而經過合計之特定期間。熱處理使鐵原子擴散而聚集成 Zr_3Fe 微細沉澱物, 在鉛-錫基質中均勻分佈於晶

五、發明說明 (11)

粒間和晶粒內。微細而於晶粒間和晶粒內均勻分佈的 Zr_3Fe 沉澱物，是在 α 相退火熱處理步驟中形成於 α 之鋁-錫基質中。

若本發明合金未經 β 淬冷於特定速率至所訂溫度而接受所訂時間長度和溫度之退火，則第二相粒子沉澱物，由於從體心立方晶體結構 β 相因受控制的轉移成為密集六角晶體結構 α 相，在其中形成一種所謂編籃或平行板結構。受控制之擴散轉移促進第二相合金元素之擴散而分離至晶粒之邊界、先前 β 相晶粒邊界，或在編籃或平行板微結構中之其他成核位置。

上列合金族系可以另含最高大約 0.015 重量百分比之矽以達增加強度和晶粒淨化之目的。在一較佳具體例中，最小矽含量應為 0.008 至 0.012 重量百分比 (80-120 ppm)。這些合金也可以含有大約在 0.005 與 0.02 重量百分比 (50 與 200 ppm) 之間的碳以控制晶粒粒度。在上列各合金中氧含量可被調整至落在 0.09 與 0.22 重量百分比 (900 ~ 2200 ppm) 之範圍內，而較佳在 0.11 至 0.14 重量百分比 (1100 至 1400 ppm) 以使各種合金具備低溫強度。 Zr_3Fe 沉澱物不受矽、碳或氧的存在所影響，其在中子輻射場中的穩定性也無損失。

根據本發明之方法，一種鋁合金錠，具有所需之組成，選自本發明各合金族系之組成者，以熔融鋁和合金元素而形成，較佳以二度或三度熔融之鑄錠使獲得組成上的均勻性。鑄錠先於 β 相經熱煨使成扁錠或圓棒（或棒

五、發明說明(12)

段並切成胚料)於1000至1100℃,歷經0.1至1小時,製成反應器所用,結構件或成為用作燃料棒護套之空心管。鍛造可以用一或多步驟完成於 α 加 β 範圍或 α 範圍。扁錠或切段之棒或胚件,其為實心或經鑽孔穿過其中者,可以加熱至1050℃ $\pm$ 20℃之溫度,經過20至120分鐘,然後以大或等於約為500K每秒之速率迅速淬冷至250℃以下之溫度而作 β 淬火。為求獲得高的淬火速率而製作, β 淬火步驟可以在鑄錠與最終成品間之中間製作階段進行於薄截面之工件。

對於核能用途所用結構件之製作,經過 β 淬火之扁錠在低於75℃被熱軋以製成板片。隨後經冷軋步驟和中間退火,於700℃以下使成最後尺寸之結構件。

對於燃料棒護套的製作,經過 β 淬火之胚件被加工製妥以供擠壓成單壁護套,或供共擠壓而成多壁、內襯、或複合之護套。在單壁護套的製造中,經過 β 淬火之胚件被加熱至600與750℃之間,並擠壓形成空心而外徑大約在40至100毫米之範圍。對多壁護套、複合護套、或內襯護套,內壁或內襯材料之空心胚料被插入為外壁材料之另一空心胚件之中。此兩胚件之一或兩者可為本發明合金所形成且經過 β 淬火之胚件。兩個被組合之空心胚件可以用電子束焊焊接定位,然後加熱至600與750℃之間而共擠壓,成為外徑在40至100毫米範圍之空心件。擠壓成之空心管或共擠壓所成之複合或加襯空心管,隨後被加熱數小時至700℃或較低作適當退火,視所需

五、發明說明(13)

沉澱物之粒度而定。然後使空心管或共擠而成之空心管接受一系列之交替滾軌與退火步驟循環，在 700°C 或較低，形成大約10毫米直徑之管。在滾軌之最後一個循環之後，管件於 700°C 或較低作最後的熱處理或退火，視管件所需條件而定，其如應力解除，局部再結晶或再結晶等。

金屬間沉澱物在晶粒間和晶粒內之均勻分佈，其為獲自於本發明含錫與鐵之鋅合金而經適當加工和熱處理者，如第4圖所示。第4圖是一透射電子顯微鏡的顯微照片，表示根據本發明金屬間的沉澱物在晶粒間和晶粒內典型的均勻分佈，為獲自從超過 1000°C （即 β 範圍）之溫度以超過 $500\text{K}/\text{秒}$ 之速率將合金迅速淬火而將合金轉移成馬氏體，繼於 750°C 經8小時重量百分比而沉澱金屬間第二相粒子。第5和6圖為透射電子顯微鏡顯微照片，說明合金在低速（分別為 $50\text{K}/\text{秒}$ 和 $5\text{K}/\text{秒}$ ）淬火而繼之以在 750°C 經8小時的退火而獲得的沉澱物分佈。如在顯微照片所見，在這些實例中之第二相粒子，由於從體心立方晶體結構 β 相因控制擴散的轉移而成密合六角晶體結構 α 相，因而在晶粒週邊（第5圖）或在先前之 β 晶粒週邊（第6圖）作不均勻的沉澱。受控制的轉移提高了第二相合金化元素的擴散和分離而至晶粒週邊，先前的 β 相晶粒週邊，或其他結核位置，並導致金屬間沉澱物的不均分佈。

本發明合金所成之包括或結構件也可依需要增進對輻

五、發明說明(14)

射感應之生長的抗力。根據本發明之另一觀點，在高於大約 1000°C 之溫度作 β 退火半小時，較佳為2至15分鐘，繼於空氣或水中以在 $50\text{K}/\text{秒}$ 以上之控制速率淬火，可被用於產生具有隨機組織之材料，減少軸向的護套成長和燃料總成與反應器爐心結構件等之軸向成長，否則將在高燃耗中可能發生。 β 退火可在最後冷作或滾軋步驟之前或之後施行；或在冷作或滾軋各步驟之中間進行。如果 β 退火在最後冷作步驟之後執行，則可繼之以在 575 和 700°C 間之溫度作 α 退火以提具備所希望沉澱物粒度之材料。

在許多應用中，可望在合金材料中產生對不同高溫水性環境具有適當耐蝕性的沉澱物粒度。在壓水式反應器中，其中冷卻劑／緩衝劑環境是一種無氧化學，核燃料棒護套、核總成所用各種結構件、和反應器爐心組件等通是是以具有大沉澱物的合金材料製成。在一較佳具體例中，以沉澱物粒度是由 $100-300\text{nm}$ ，較佳為 200nm 之合金用於形成在壓水式反應器中之核燃料棒護套，核燃料總成用之結構件，和反應器爐心元件。在沸水式反應器中，其中之冷卻劑／緩衝劑環境是一種富氧化學，所用核燃料棒護套，核燃料總成結構件，和反應器爐心元件等，通常是用具有 $40-100\text{nm}$ ，較佳為 80nm 之較小沉澱物之合金材料製成。

雖然以上所述與圖式代表本發明之較佳具體例，然而對於熟悉此技藝之人士顯然可以在不離本發明真正精神與範圍之內作種種變化與修改。

四、中文發明摘要 (發明之名稱： 高燃耗之核燃料棒及結構件用鋳錫
鐵合金)

一種用於水性環境可承受水反應器之高能量密度，且以改善耐腐蝕性為特徵之鋳合金，實質含有0.3至1.8重量百分比之錫，0.1至0.65重量百分比之鐵，該合金中之餘量實質為核用級之鋳和偶在之雜質及具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，於晶粒內和晶粒之間均勻分佈，在合金基質中形成耐輻射之第二相沉澱物。

英文發明摘要 (發明之名稱： ZIRCONIUM TIN IRON ALLOYS FOR NUCLEAR)
FUEL RODS AND STRUCTURAL PARTS FOR
HIGH BURNUP

Zirconium alloys for use in an aqueous environment subject to high fluence of a water reactor and characterized by improved corrosion resistance, consisting essentially of 0.3 to 1.8 weight percent tin, 0.1 to 0.65 weight percent iron, the balance of alloys being essentially nuclear grade zirconium with incidental impurities and having a microstructure of Zr_3Fe second phase precipitates distributed uniformly intragranularly and intergranularly to form radiation resistant second phase precipitates in the alloy matrix.

六、申請專利範圍

1. 一種耐腐蝕之核反應器元件，由一合金構成，其實質含有0.3至1.8重量百分比之錫，0.1至0.65重量百分比之鐵，0.003至0.15重量百分比之矽，0.005至0.02重量百分比之碳；和0.09至0.22重量百分比之氧，該合金中之餘量實質為核用級之銦和偶存之雜質，及具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，均勻分佈於晶粒內和晶粒之間，在合金基質中形成耐輻射之第二相沉澱物，使銦合金在受高能量密度之照射時能增加對水性腐蝕之抗力，而且在該合金中之第二相 Zr_3Fe 沉澱物具有約自40至300nm之平均直徑。
2. 一種用於核反應器燃料棒之燃料棒護套，由合金構成，其實質含有0.3至1.8重量百分比之錫，0.1至0.65重量百分比之鐵，該合金中之餘量實質為核用約之銦和偶存之雜質，及具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，均勻分佈於晶粒內和晶粒之間，在合金基質中形成耐輻射之第二相沉澱物，使銦合金在受高能量密度之照射時，能增加對水性腐蝕之抗力。
3. 如申請專利範圍第2項之核燃料棒護套，其中之合金實質地另含由0.008至0.015重量百分比之矽，由0.005至0.02重量百分比之碳，和自0.09至0.22重量百分比之氧。
4. 如申請專利範圍第3項之核燃料棒護套，其中該合金之沉澱物具有由40至300nm平均直徑。
5. 一種用於水性環境之可承受水反應器之高能量密度

六、申請專利範圍

且以改善耐腐蝕性為特徵之鋳合金，此合金實質含有 0.3 至 1.8 重量百分比之錫，0.1 至 0.65 重量百分比之鐵，該合金中之餘量實質為核用級之鋳和偶存之雜質，及具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，於晶粒內和晶粒之間均勻分佈，在合金基質中形成耐輻射之第二相沉澱物，使鋳合金在照射於高能量密度時增進對水性腐蝕之抗力。

6. 如申請專利範圍第 5 項之鋳合金，實質含有最高為約 0.015 重量百分比之矽，0.005 至 0.02 重量百分比之碳，和 0.09 至 0.22 重量百分比之氧。
7. 如申請專利範圍第 5 項之鋳合金，其中在該合金中之 β -鋁第二相沉澱物具有自約 40nm 至 300nm 之平均直徑。
8. 如申請專利範圍第 7 項之鋳合金，其中平均直徑為自約 100 至 300nm。
9. 如申請專利範圍第 8 項之鋳合金，其中平均直徑為約 200nm。
10. 如申請專利範圍第 7 項之鋳合金，其中平均直徑為約 40-100nm。
11. 如申請專利範圍第 10 項之鋳合金，其中平均直徑為約 80nm。
12. 如申請專利範圍第 9 項之鋳合金，實質又另含最高為 0.015 重量百分比之矽，0.005 至 0.02 重量百分比之碳，和 0.09 至 0.22 重量百分比之氧。
13. 如申請專利範圍第 11 項之鋳合金，實質另含最高為

六、申請專利範圍

0.015重量百分比之矽，0.005至0.02重量百分比之碳，和0.09至0.22重量百分比之氧。

14. 一種用於核反應器燃料總成之結構件，含有鋳合金，其實質含有0.3至1.8重量百分比之錫，0.1至0.65重量百分比之鐵，該合金中之餘量實質為核用級之鋳和偶存之雜質，及具有 Zr_3Fe 第二相沉澱物之微結構，均晶粒內和晶粒之間均勻分佈，在合金基質中形成耐輻射之第二相沉澱物，使鋳合金在照射於高能量密度時增進對水性腐蝕之抗力。
15. 如申請專利範圍第14項之結構件，其中之鋳合金實質另含由0.008至0.012重量百分比之矽，0.005至0.02重量百分比之碳，和0.09至0.20重量百分比之氧，且其中該合金之第二相 β 鋳沉澱物具有約40至300nm之平均直徑。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

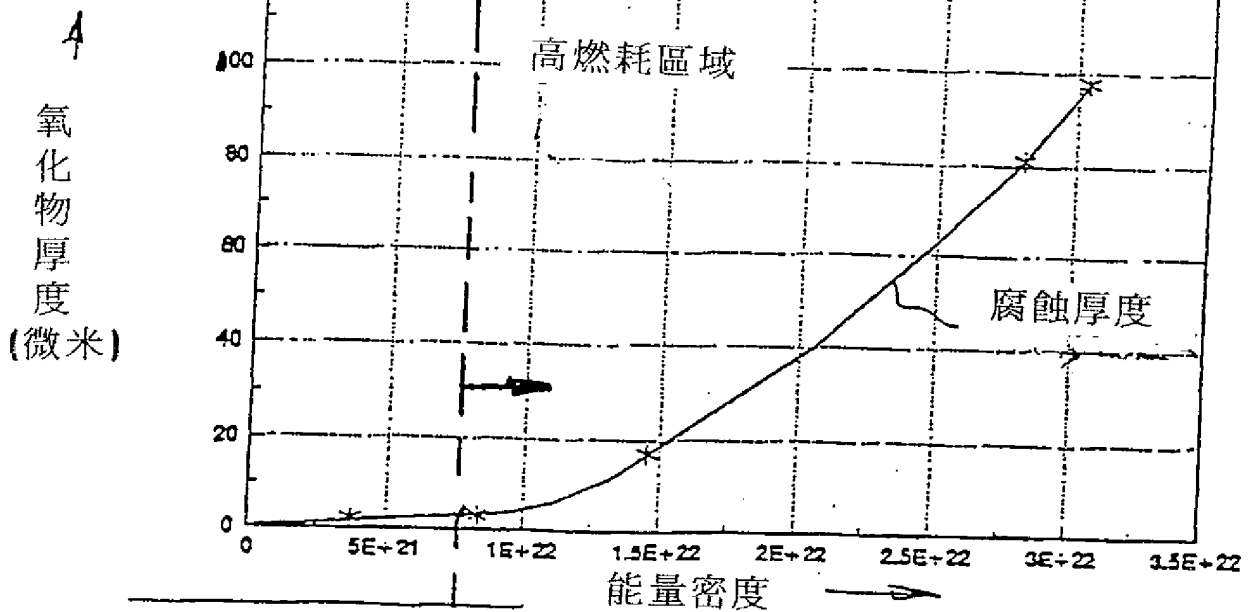
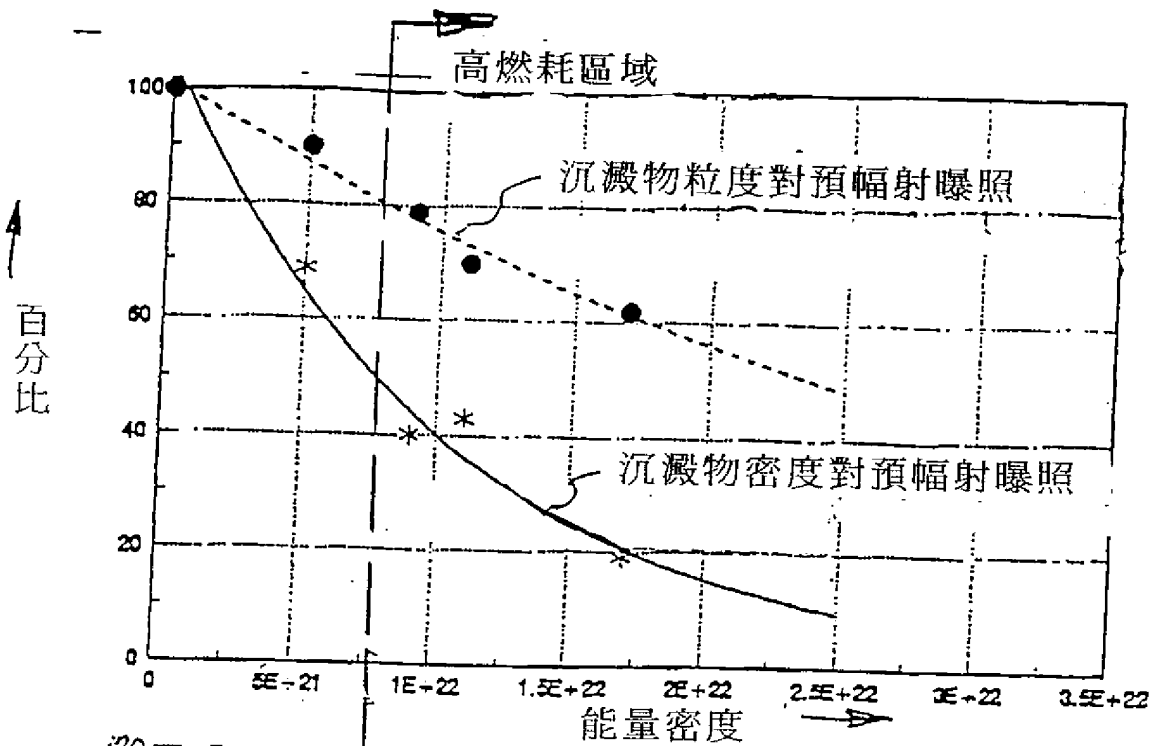
裝

訂

線

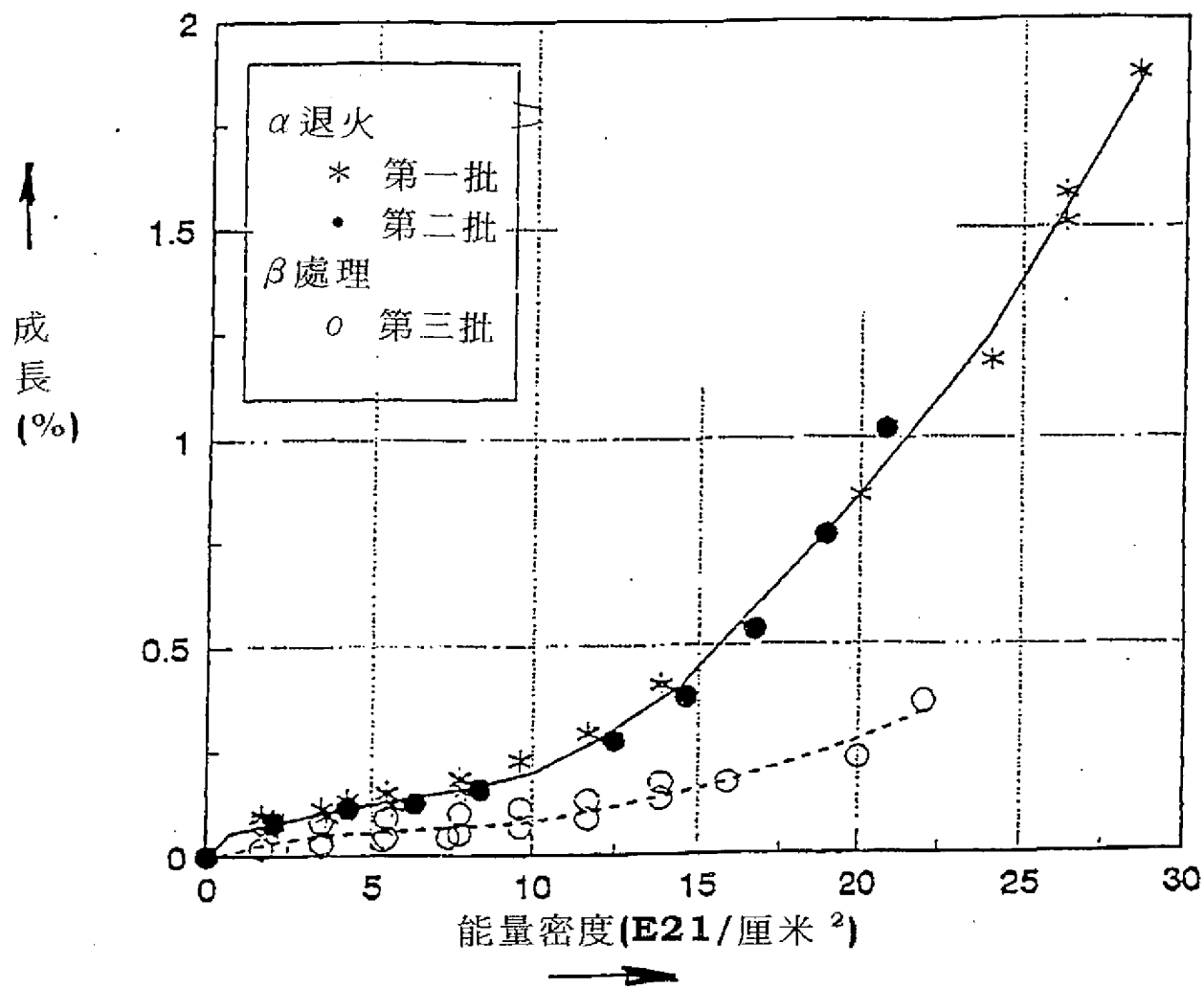
436811

第 1 圖



沉澱物在反應器中(在 300°C PWR 水化學)
腐蝕與溶解

第 2 圖



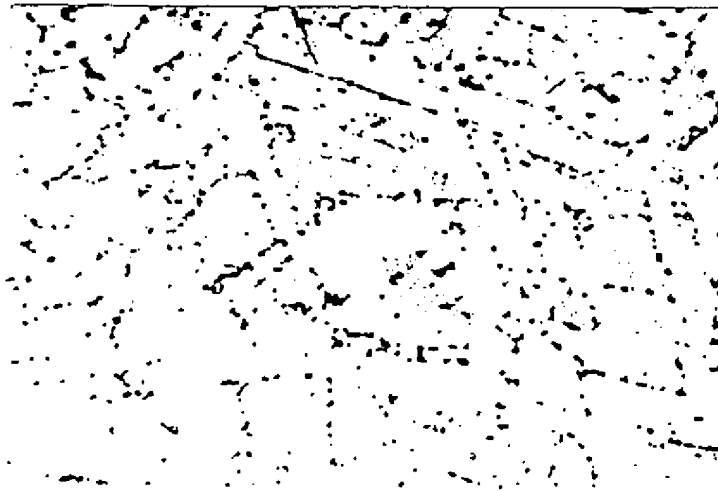
由鋯合金製成封套之照射感應成長

第 3 圖

第 4 圖



第 5 圖



第 6 圖

