

**發明專利說明書**200734469  
PD1060083

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：951074P6

※申請日期：95.3.7

※IPC 分類：H22L38/04, 38/06, H21D6/00

一、發明名稱：(中文/英文)

NA63 B53/04 (2006.01)

低密度高強度高韌性合金材料及其製法

HIGH STRENGTH AND HIGH TOUGHNESS ALLOY WITH LOW DENSITY AND THE  
METHOD OF MAKING

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學

NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY

代表人：(中文/英文)

張俊彥/CHANG, CHUN-YEN

住居所或營業所地址：(中文/英文)

新竹市大學路 1001 號

1001 TA-HSUEH RD., HSINCHU, TAIWAN R.O.C.

國籍：(中文/英文)

中華民國/R.O.C

三、發明人：(共 2 人)

姓名：(中文/英文)

1. 劉增豐/LIU, TZENG-FENG

2. 李堅璋/LEE, JIAN-WEI

國籍：(中文/英文)

1.~2. 中華民國/R.O.C

#### 四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項  第一款或  第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

本案未在國外申請專利

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

## 五、中文發明摘要：

本發明係關於一種低密度、高強度、高韌性之合金材料及其製法。該合金材料其主要包含 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之碳、0.1~1.0 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之合金材料，其具有 6.6~6.9 g/cm<sup>3</sup> 的密度、25~70% 的延伸率或 100~190ksi 的抗拉強度等極佳的性質，故使得該合金材料可達到高強度、低密度、高延展性及優異表面性質之高爾夫桿頭設計目的，且該合金材料更可降低高爾夫桿頭在電鍍過程中所產生的孔蝕孔洞及缺陷的發生，因此大幅降低產品的不良率及成本。

## 六、英文發明摘要：

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種低密度、高強度、高韌性之合金材料及其製法。該材料除了具有極佳的延伸性、強度與吸震性外，特別適合用於高爾夫球桿頭之製造上，其可使在高爾夫球桿頭的設計上達到優異的設計變化空間、高強度、高延伸性，並且更能降低高爾夫球桿頭在電鍍過程中所產生的孔蝕（pitting）孔洞及缺陷的發生，因此大幅降低產品的不良率及成本。

### 【先前技術】

所謂合金材料係藉由兩種或兩種以上的金屬（或金屬跟非金屬或元素）熔合而成的具有金屬特性的物質。因此該融合而成的金屬合金材料，其本身的性質因其所添加物的不同會隨之發生變化，例如，熔點降低、強度升高、延展性降低、導熱度降低、耐蝕性變化或密度變化等等。所以隨著各種機械與器具等不同的應用與設計需求，選擇適當的合金材料並控制其含量、製造程序、加工程序等，以配製成適用的合金材料。

例如，鐵-鋁-錳合金材料是以鐵鋁錳三元素合金為基材而發展出的合金系列。其經過國內外學者專家廣泛的研究，顯示不同的合金設計能使鐵-鋁-錳合金材料分別具有高強度、高韌性、耐低溫、耐高溫、耐耗磨等特性。

而本發明者於 1989 年利用新的合金設計理念成功開發之熱軋合金鋼板（hot-rolled alloy steel plate），其可經過

適當的合金設計，使得鐵-錳-合金材料在熱軋的狀態下，不須再經過任何後續熱處理，則其機械性質便可以達到或更優於目前須經過沃斯田鐵化、淬火與回火的商業用或軍事用之淬火-回火合金材料（美國專利第 4968357 號、中華民國專利第 42454 號、日本專利第 1971688 號、韓國專利第 53613 號、法國專利第 8902580 號、英國專利第 2227495 號、加拿大專利第 1333556 號、德國專利第 3903774 號）。而且該鐵-鋁-錳-碳合金經固溶化、淬火及時效處理後，依合金成份不同，其機械性質之抗拉強度介於 80~200ksi 之間，降伏強度介於 70~160ksi 之間，而延伸率則介於 50~25%之間。而將鋁、錳、碳等元素含量作適合之調整後，並添加少量的鈦、鈮或釩等元素（ $Ti+Nb+V \leq 0.5$  重量百分比），經過巧妙的設計與連續熱滾軋後，則鐵-鋁-錳熱軋合金材料在熱軋的狀態下（不須再經過任何後續熱處理），便可具有 120~200ksi 之間的抗拉強度和介於 80~160ksi 之間的降伏強度，同時其延伸與衝擊韌性值在 60~30%與 180~40ft-lb 之間，其性質可以達到甚至更優於 AISI304、306 不銹鋼和經沃斯田鐵化、淬火及回火的 9%鎳剛合金材料。

高強度高韌性合金材料，與目前商業化用合金材料來比較時，其意義上是指能同時具有高強度與高韌性之組合性質。舉例而言，目前商業化用合金材料具有高韌性者（如延伸率 30%以上）首推鐵-鉻-鎳系沃斯田鐵型不銹鋼。例如 304 不銹鋼，其延伸率約為 30%至 40%，但其抗拉強度和降伏強度分別為 70 至 90 ksi 和 25 至 45 ksi，韌性值在室溫時約

為 154 ft-lb，在  $-196^{\circ}\text{C}$  時約為 70ft-lb。此合金材料能具有如此優異的延伸率，主要乃導因於擁有完全沃斯田鐵面心立方 (face-centered cubic, FCC) 結構。

目前商業化用合金材料有高強度者甚多，但大多乃利用經過沃斯田鐵化→淬火→回火等熱處理步驟，使其具有回火麻田散鐵顯微結構。以廣被使用的 4340 合金材料為例，在經過沃斯田鐵化、淬火、回火後，其抗拉強度、降伏強度、延伸率和衝擊值分別約為：180 ksi，168 ksi，17%和 35 ft-lb (回火溫度  $540^{\circ}\text{C}$ ，時間一小時)，或 148 ksi，125 ksi，20%和 74 ft-lb (回火溫度  $650^{\circ}\text{C}$ ，時間一小時)。所以所謂「高強度高韌性鐵鋁錳合金材料」其意乃指「同時具有像沃斯田鐵型不銹鋼的延伸

率和具有合金鋼淬火回火後的強度」。高強度高韌性鐵鋁錳合金材料主要成分為鐵鋁錳碳，錳元素的添加主要是穩定沃斯田鐵相，而使此合金材料在室溫或低溫均為面心立方結構，以改善 Fe-Al 或 Fe-Al-C 合金材料的脆性，而使此合金材料具有良好的韌性和加工性。此合金材料主要的強化方法為析出強化，即將合金於  $1050$  至  $1100^{\circ}\text{C}$  間做固溶化熱處理後急速淬火，並於  $450^{\circ}\text{C}$  至  $750^{\circ}\text{C}$  間做時效熱處理。當合金在淬火狀態時為單一沃斯田鐵相；時效熱處理後有細微  $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{AlC}_x$  ( $\kappa$ -相) 碳化物均勻整合在基材內析出， $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{AlC}_x$  具有規律面心立方 (ordered FCC)  $L'1_2$  結構，此析出反應乃為鐵鋁錳碳合金最主要的強化機構。依據研究成果發現，鐵鋁錳碳合金經固溶化、淬火及時效處理後，依

合金成分不同，其機械性質：抗拉強度介於 80 至 200ksi 之間，降伏強度介於 70 至 160 ksi 之間，而延伸率介於 70 至 20% 之間。

鐵 - 鋁 - 錳合金材料經過國內外專家學者的廣泛研究後發現，經由鉻及鉬合金元素的添加，能增加合金的抗蝕能力，下列文獻對於這些性質均有詳細的描述，且在此併入本發明的參考內容中：

1. 1989 年三月 J. Electrochem. Soc. 期刊, 第 136 期, No. 3, 由 Jeng-Gong Duh 等人所發表之國外期刊論文「Diffusion-Related Kinetics in the Oxidation-Induced Phase Transformation of Fe-9Al-3Cr-31Mn Alloys」。
2. 1989 年 JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 期刊, 第 23 期, 由 Jeng-Gong Duh 等人所發表之國外期刊論文「Microstructural development in the oxidation-induced phase transformation of Fe-Al-Cr-Mn-C alloys」。
3. 1993 年 JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 期刊, 第 28 期, 由 J. G. Duh 等人所發表之國外期刊論文「Nitriding behavior in Fe-Al-Mn-Cr-C alloys at 1000-1100°C」。
4. 1995 年 CORROSION 期刊, 第 51 期, 由 S. C. Chang 等人所發表之國外期刊論文「Environment-Assisted Cracking of Fe-32%Mn-9%Al Alloys in 3.5% Sodium Chloride Solution」。
5. 1990 年 JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 期刊, 第 25 期, 由 J. G. Duh 等人所發表之國外期刊論文「Nitriding



Kinetics of Fe-Al-Mn-Cr-C alloys at 1000°C」。

6. 1990 年 JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 期刊,第 25 期,由 J. G. Duh 等人所發表之國外期刊論文「High temperature oxidation of Fe-31Mn-9Al-xCr-0.87C alloys(x=0, 3 and 6)」。
7. 民國 89 年(1990)國立交通大學 劉增豐教授(本專利申請之發明人之一)所指導之碩士論文「鐵-8.8 鋁-30.0 錳-6.0 鉻-1.0 碳合金相變化」(Phase Transformations in an Fe-8.8Al-30.0Mn-6.0Cr-1.0C Alloy)。

是故，鐵-鋁-錳合金材料的優質機械性質與低密度特性，在各個商業應用的領域中，均可適用，特別是在於高爾夫球桿頭製造產業領域。

高爾夫球爲了要打得更遠，其桿頭的合金材料必須十分的優異，且須具備以下特性：（1）低密度：在同樣號數桿頭必須在規定的重量之下，低密度的材質可加大桿頭體積，增加擊球的甜蜜區，以提高正確位置的擊球率，並且可增加配重的設計空間，設計低重心桿頭，將桿頭重心往下，增加擊球時的穩定性及扭力，打得更穩更遠。（2）高延伸性與適當強度的組合：要打得更穩、震動力越小、控球方向要準，則桿頭合金材料的延伸性、韌性要更優異，如此在這樣的條件下打擊時球與桿頭間黏球的時間才會越長，而且高延伸性材質球頭可依照打球者的身高，調整最適合打球者身高的桿身與打擊面間的角度，延伸性越高，可調整桿身角度範圍就越大。（3）高阻尼比：吸震能力高，打擊者不會有手麻及

震動的不舒服感覺，打感佳控球穩。(4)高彈性係數(楊氏係數)：彈性係數高，擊球距離遠。(5)材質本身或經表面處理後具有高抗蝕能力：可長期在含水份及化學除草劑的草地上使用不易生鏽，維持桿頭功能及美觀。

因此要達到上述的擊球條件，許多商業化合金材料不斷的被嘗試應用在高爾夫球桿頭上。而依據所欲擊球的目的之不同，又可將高爾夫球桿分為木桿桿頭與鐵桿桿頭。一般而言，木桿桿頭呈中空球形，桿身長較長，主要使用於開球或長距離打擊。傳統的木桿桿頭係由木頭製成，主要原料為柿木，但由於其抗腐蝕性、韌性與強度不佳，已被金屬合金材料所製成之桿頭所取代。目前商業上用來製作木桿桿頭常見的材質例如，純鈦、Ti-6Al-4V 合金、β-鈦、17-4PH 不銹鋼與高強度的 431、455 麻田散鐵型不銹鋼。另外，鐵桿主要用以將球擊至目標處，其特徵為球飛行距離比木桿稍短，但可將球擊得較高，且控球性較佳。而目前商業上用來製作鐵桿桿頭常見的材質，主要為不銹鋼系列合金材料，例如，17-4PH 不銹鋼、8620 鋼、304 不銹鋼、18Ni(200)麻時效鋼或鈦合金。

而在上述這些材料中有些是擁有很好的延伸性但強度卻嚴重不足，例如，8620 鋼與 304 不銹鋼的強度及延伸性約為 60ksi 和 30%。另有些是擁有很好的強度但延伸性卻很差，例如，431、455 麻田散鐵型不銹鋼、18Ni(200)麻時效鋼，其強度大約為 150~200ksi 但延伸性約只有 10% 以下。至於鈦合金材料，其密度介於 4.5~4.8 g/cm<sup>3</sup> 之間，強度及

延伸率約為 140~180ksi 及 7~14% 之間，而鈦合金的開發與量產使得高爾夫球桿頭之設計產生極大的變化空間，惟鈦合金價格實在太高，而且延伸性不高。

因此，目前工業量產之高爾夫球桿頭所需的條件特性為：（1） $7.8 \text{ g/cm}^3$  以下的低密度。（2）延伸率 10% 以上。（3）抗拉強度 100ksi 以上。（4）材質本身或經表面處理後能通過 24 至 48 小時 5% 濃度的鹽霧試驗。

以上均為基本之需求，當然強度與延伸率的組合越高以及密度越低越好，藉以增加桿頭體積、擴大擊球甜蜜區、增加擊球的距離與操控性。然而綜觀相關參考文獻所述相關的合金材料應用在高爾夫球桿頭之專利文獻，包括鐵鋁錳碳合金材料，除了台灣專利公告編號第 178648 號所揭示的合金材料成分中不含有鉻元素，以及台灣專利公告編號第 506845 號所揭示的合金材料成分中可不含有鉻元素但含有鈦元素外（但在其成分中因為分別含有高含量的碳及鈦元素，很容易在晶界上析出粗大的碳化物，造成合金的韌性降低，而使得以此類合金材料製成的高爾夫球桿頭在進行打擊面砲擊測試時，很容易就產生裂痕或破裂），其餘專利文獻中所揭示的高爾夫球桿頭合金材料成份中，其為为了提高抗蝕性均添加了重量百分比 5 至 9 的鉻元素，但其抗蝕性仍不及於 17-4PH 不銹鋼與高強度的 431、455 麻田散鐵型不銹鋼等常用於高爾夫球桿頭上的各式不銹鋼合金材料。為了使鐵鋁錳碳合金材質高爾夫球桿頭能達到上述抗蝕能力，即通過鹽霧測試，仍必須在原材質上施以電鍍表面處理。

由於在鐵鋁錳碳合金材料中添加鉻元素時，會使得合金表面自發性的產生三氧化二鉻（ $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ）氧化層，雖然鉻元素的加入使得合金的抗蝕性增加，但卻因為無法利用普通的酸處理及活性化處理來去除附著性強的三氧化二鉻氧化層，因為此氧化層不導電，如同一絕緣層，造成電鍍層與高爾夫球桿頭本身基材的附著性降低，使得電鍍層很容易在擊球時剝落或者根本無法附著在基材上。但若是以利用電鍍不銹鋼時的酸處理及活性化處理來去除含有鉻的鐵鋁錳碳合金表面上的不連續三氧化二鉻氧化層時，其於酸處理時的高氯離子濃度則會造成鐵鋁錳碳合金高爾夫球桿頭表面上嚴重的孔蝕孔洞，而造成在電鍍過程中產生極高的不良率與壞品。

因此，若能開發出低密度、高延伸性或高韌性、價格合理、具有一定硬度且可避免在電鍍過程中產生孔蝕孔洞之合金材料，則其低密度與適當的強度將使高爾夫球桿頭之設計空間增加，高延伸性或高韌性則可使控球性能增加，如此一來便可使高爾夫球桿頭之打擊效果發揮到極致，且亦可大幅降低量產製造之成本。

#### 【發明內容】

有鑑於此，本發明者乃利用合金設計與製程處理之概念，針對上述其他有關鐵鋁錳碳合金高爾夫球桿頭所存在之缺點，研發出本發明之低密度高強度高韌性合金材料及其製法，該合金材料能同時兼具有  $6.6 \sim 6.9 \text{ g/cm}^3$  的密度、 $25 \sim 70\%$  的延伸性與韌性以及  $100 \sim 190 \text{ ksi}$  的抗拉強度，並將其

應用在高爾夫球桿頭上，而且可以降低目前電鍍鐵鋁錳碳合金材料之高爾夫球桿頭過程中所產生的孔蝕孔洞，大幅增加產品的良率。

而以各種添加元素之設計原理與其對於材料性質的影響，詳述如下，

1. 錳：錳元素為沃斯田鐵相的強化元素，由於沃斯田鐵相為面心立方結構，具有較多的滑移系統，因此能有較佳的延伸性，所以錳的添加能增加沃斯田鐵相的比例，同時也提高合金的延伸性，欲使合金具有極佳延展性，錳元素添加量至少須在 15 重量百分比或以上，但錳元素添加量超過 33 重量百分比以上時，由於  $\beta$ -Mn 的析出，反而造成合金延展性的下降。故本發明中錳元素的添加應限制在大於等於 15 小於等於 33 重量百分比之間。
2. 鋁：鋁元素不但是肥粒鐵的強化元素，同時也是  $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{AlC}_x$  超結晶格子碳化物的主要形成元素之一，所以  $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{AlC}_x$  碳化物的析出狀況及量的多寡與鋁元素的添加量間有極密切的關係。當鋁元素添加量在 6 重量百分比以下時， $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{AlC}_x$  碳化物在沃斯田鐵基地內的析出量太少，合金將達不到令人滿意的強度。但是當鋁元素添加量超過 10 重量百分比以上時，不但會有肥粒鐵相的形成，而且會促使無序的 (disordered) 肥粒鐵相 (bcc) 轉變為一種極脆的  $\text{D0}_3$  有序 (ordered) 相。另外，由於碳在肥粒鐵相的飽和濃度相當低，很容易導致粗大的  $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{AlC}_x$  碳化物在沃斯田鐵相與肥粒鐵相間的晶界

上析出，此現象不但未能提高合金的強度，反而使合金的延展性急遽的降低，形成脆性的沿晶破裂。因此，本發明中鋁元素的添加量宜限制在大於等於 6 小於等於 10 重量百分比之間。

3. 碳：碳元素不但是沃斯田鐵鐵的強化元素，同時也是形成  $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{AlC}_x$  超結晶格子碳化物的基本元素。同樣的，當碳元素的添加量在 0.6 重量百分比以下時， $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{AlC}_x$  碳化物在沃斯田鐵基地內的析出量太少，合金將無法達到令人滿意的強度。但是當碳元素的含量超過 1.2 重量百分比以上時，則在沃斯田鐵晶粒邊界上析出的碳化物含量急速的增加且顆粒變大，合金容易成為沿晶破裂模式，反而使合金的延展性急遽的降低。因此，本發明中碳元素的添加量宜限制在大於等於 0.6 小於等於 1.2 重量百分比之間。
4. 矽：矽元素的微量添加在 0.1 重量百分比或以上時可以促使  $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{AlC}_x$  碳化物於冷卻的過程中經由史賓若多相分解反應 (spinodal decomposition) 在沃斯田鐵相中微細且均勻地析出，可提高合金的強度並且對延展性影響不大，另外，矽元素的添加也增加合金在液態時的流動性，提高合金的鑄造性。然而，矽元素在鐵錳鋁合金系統中不但是肥粒鐵相的強化元素，更是一種很強的  $\text{D0}_3$  有序 (ordered) 相的形成元素，當矽元素的含量超過 1.0 重量百分比以上時，會促使脆性的  $\text{D0}_3$  有序相的形成，一旦合金中有  $\text{D0}_3$  有序相的析出，合金的延展性將會嚴重的被

破壞。因此，本發明中矽元素的添加量宜限制在大於等於 0.1 小於等於 1.0 重量百分比之間。

5. 鉬：鉬元素雖然是一種很強的碳化物形成元素，但是對  $(Fe, Mn)_3AlC_x$  碳化物的形成並沒有明顯的效果，但是根據發明人的實驗發現，鉬的添加可以造成合金的固溶強化，因此，可以增加合金的強度，而且對延展性影響不大。但是，當鉬元素的含量超過 1.5 重量百分比以上時， $M_2C$ 、 $M_{23}C_6$  及  $M_6C$  等碳化鉬的析出，導致其附近的沃斯田鐵相因為缺乏足夠的碳元素而變得相當不穩定，很容易轉變為肥粒鐵相，反而對合金的延展性有不利的影響。因此，本發明中鉬元素的添加量宜限制在小於等於 1.5 重量百分比。

因此為達成前述之目的，本發明係針對各種添加元素設計比例與成分範圍反覆研究，終於發明一種低密度高強度高韌性合金材料，其合金材料包含 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之碳、0.1~1.0 重量百分比之矽，其中亦可添加至多 1.5 重量百分比的鉬，其餘比例以鐵為基材所組合而成。

本發明之合金材料，其包含包含 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之碳、0.1~1.0 重量百分比之矽，其中亦可添加至多 1.5 重量百分比的鉬，其餘比例以鐵為基材，其經一熔煉程序形成一鑄件後，其可選擇在 950 至 1200°C 溫度之間進行 0.5~10 小時的固溶熱處理，接著在 500 至 700°C 溫度之間進行至多 24 小時

的時效熱處理，或者也可選擇不經任何熱處理。

本發明之合金材料，其包含包含 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之碳、0.1~1.0 重量百分比之矽，其中亦可添加至多 1.5 重量百分比的鉬，其餘比例以鐵為基材，其經一熔煉程序形成一合金材料，該合金材料在 800 至 1200℃ 溫度之間進行鍛造、軋延等塑性加工，而該合金材料在經過塑性加工後可選擇在 950 至 1200℃ 溫度之間進行 0.5~10 小時的固溶熱處理，接著在 500 至 700℃ 溫度之間進行至多 24 小時的時效熱處理，或者也可選擇不經任何熱處理。

#### 【實施方式】

為使該所屬技術領域中具有通常知識者能更進一步瞭解本發明之組成成分及其機械特性，茲配合具體實施例、圖式與表格詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

本發明係關於一種低密度高強度高韌性合金材料，並可應用於高爾夫球桿頭之製造，其主要之元素組成成分包含 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之碳、0.1~1.0 重量百分比之矽，其中亦可添加至多 1.5 重量百分比的鉬，其餘比例以鐵為基材所組合而成之合金材料。

以下即配合實施例詳細說明，如第 1 圖所示，合金編號 1~7 為本發明之成份範疇，編號 8~13 為習知技術所製成之合金材料組成成分的範圍，在此將之列為比較實施例，並且



併入本發明之參考資料。

合金編號 1：27.8 重量百分比之錳、8.8 重量百分比之鋁、0.95 重量百分比之碳、0.28 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之本發明較佳實施例，其以高周波感應爐熔煉後，澆鑄在已預熱過的高爾夫桿頭脫蠟殼模內，待其殼模鑄件冷卻後，即可進行震殼、切割流道澆口、噴砂、研磨、焊接、桿身鑽銑孔、電鍍、表面處理及美工等程序步驟。不須任何鍛造及軋延等熱作和冷作塑性加工，也不須經過任何熱處理的情況下，高爾夫桿頭鑄件即具有  $6.70\text{g/cm}^3$  的低密度、38.6%的延伸率及 122.5ksi 的抗拉強度等極佳性質，而且桿頭經過電鍍後，可大幅降低孔蝕孔洞的產生。

合金編號 2：30.3 重量百分比之錳，8.8 重量百分比之鋁，1.15 重量百分比之之碳，0.16 重量百分比之矽、1.05 重量百分比之鉬及其餘比例以鐵為基材之本發明另一較佳實施例，其以高周波感應爐熔煉後，澆鑄在已預熱過的高爾夫桿頭脫蠟殼模內，待其殼模鑄件冷卻後，即可進行震殼、切割流道澆口、噴砂、研磨、焊接、桿身鑽銑孔、電鍍、表面處理及美工等程序步驟。由於另外添加了 1.05 重量百分比之鉬，所以能在不須任何鍛造及軋延等熱作和冷作塑性加工以及任何熱處理的情況下，高爾夫桿頭鑄件強度可再增加 8~10ksi，即具有  $6.79\text{g/cm}^3$  的低密度、35.1%的延伸率及 130.7ksi 的抗拉強度等極佳性質，而且桿頭經過電鍍後，可大幅降低孔蝕孔洞的產生。

合金編號 3：17.5 重量百分比之錳、6.2 重量百分比之

鋁、1.08 重量百分比之碳、0.15 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之本發明另一較佳實施例，其以高周波感應爐熔煉後，澆鑄在已預熱過的高爾夫桿頭脫蠟殼模內，桿頭鑄件在經過 1100°C 真空固溶熱處理 4 小時後，不須任何鍛造及軋延等熱作和冷作塑性加工，高爾夫桿頭即具有 6.73g/cm<sup>3</sup> 的低密度、45.4% 的延伸率及 116.8ksi 的抗拉強度等極佳性質，而且桿頭經過電鍍後，可大幅降低孔蝕孔洞的產生。

合金編號 4：24.9 重量百分比之錳、7.3 重量百分比之鋁、1.05 重量百分比之碳、0.17 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之本發明另一較佳實施例，其以高周波感應爐熔煉後，澆鑄在已預熱過的高爾夫桿頭脫蠟殼模內，桿頭鑄件在經過 1100°C 真空固溶熱處理 2 小時後，不須任何鍛造及軋延等熱作和冷作塑性加工，高爾夫桿頭即具有 6.73g/cm<sup>3</sup> 的低密度、64.5% 的延伸率及 120.1ksi 的抗拉強度等極佳性質，而且桿頭經過電鍍後，可大幅降低孔蝕孔洞的產生。

合金編號 5：29.1 重量百分比之錳、8.5 重量百分比之鋁、0.62 重量百分比之碳、0.26 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之本發明另一較佳實施例，其以高周波感應爐熔煉後，澆鑄在已預熱過的高爾夫桿頭脫蠟殼模內，桿頭鑄件在經過 1050°C 真空固溶熱處理 2 小時及 600°C 時效熱處理 2 小時後，不須任何鍛造及軋延等熱作和冷作塑性加工，高爾夫桿頭即具有 6.70g/cm<sup>3</sup> 的低密度、36.9% 的延伸率及 148.7ksi 的抗拉強度等極佳性質，而且桿頭經過電鍍後，可大幅降低孔蝕孔洞的產生。

合金編號 6：32.1 重量百分比之錳、9.0 重量百分比之鋁、0.78 重量百分比之碳、0.31 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之本發明另一較佳實施例，其鑄錠經由鍛造及軋延等熱作和冷作塑性加工，成為高爾夫桿頭鍛件或打擊面板材，經過 1050℃ 真空固溶熱處理 2 小時及 600℃ 時效熱處理 2 小時後，高爾夫桿頭即具有 6.67g/cm<sup>3</sup> 的低密度、36.1% 的延伸率及 189.5ksi 的抗拉強度等極佳性質的高爾夫桿頭，而且桿頭經過電鍍後，可大幅降低孔蝕孔洞的產生。

合金編號 7：31.6 重量百分比之錳、8.7 重量百分比之鋁、1.10 重量百分比之碳、0.56 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之本發明另一較佳實施例，其鑄錠經由鍛造及軋延等熱作和冷作塑性加工，成為高爾夫桿頭鍛件或打擊面板材，經過 1050℃ 真空固溶熱處理 2 小時及 500℃ 時效熱處理 6 小時後，高爾夫桿頭即具有 6.65g/cm<sup>3</sup> 的低密度、30.8% 的延伸率及 178.2ksi 的抗拉強度等極佳性質的高爾夫桿頭，而且桿頭經過電鍍後，可大幅降低孔蝕孔洞的產生。

合金編號 8：22~36 重量百分比之錳，6~8 重量百分比之鋁，1.5~2.0 重量百分比之碳，1.0~1.5 重量百分比之鉬，及其餘為鐵之鐵錳鋁合金，必需利用 1030~1050℃，1~2 小時之固溶化熱處理，再經 450~550℃，1~2 小時時效熱處理後，才能具有其設定的機械性質（台灣專利公告編號第 178648 號，鐵錳鋁合金精細鑄件之製造方法）。

合金編號 9：26~28 重量百分比之錳，6.5~8 重量百分比之鋁，5.0~6.0 重量百分比之鉻，0.9~1.1 重量百分比之

碳，0.2~1.5 重量百分比之矽，1.0~1.2 重量百分比之鉬，0.9~1.1 重量百分比之銅，0.02~0.04 重量百分比之鈮，及其餘主要為鐵之合金，其合金鑄品需在大氣爐、氣氛控制爐、真空爐環境中施以均質化熱處理（台灣專利公告編號第 185568 號，精密鑄造耐銹合金之製造方法）。

合金編號 10：25~31 重量百分比之錳，6.3~7.8 重量百分比之鋁，5.5~9.0 重量百分比之鉻，0.65~0.85 重量百分比之碳，及其餘比例以鐵為基材所組合而成，並將合金材料在 800~1050℃ 溫度之間熱鍛加工。其中該合金材料亦可添加 0.8~1.5 重量百分比之矽及 2.0~5.0 重量百分比之鈦。另該合金材料亦可添加 0.5~1.0 重量百分比之鉬。在 800~1050℃ 溫度熱鍛加工後，並經過 980~1080℃ 溫度 1~24 小時熱處理而成（台灣專利公告編號第 460591 號，低密度高延展性鐵基之高爾夫球鐵桿頭合金材料）。

合金編號 11：28.0~31.5 重量百分比之錳，7.8~10.0 重量百分比之鋁，0.9~1.10 重量百分比之碳，0.35~2.5 重量百分比之鈦及其餘比例以鐵為基材所組合而成，並將合金材料在 900~1100℃ 溫度之間熱鍛加工。其中該合金材料亦可添加 5.0~7.0 重量百分比之鉻或 0.8~1.5 重量百分比之矽。而在經過 950~1270℃ 溫度 1~24 小時熱處理而成（台灣專利公告編號第 506845 號，低密度鐵基之高爾夫球桿頭材料）。

合金編號 12：25~31 重量百分比之錳，5~7 重量百分比之鉻，7~10 重量百分比之鋁，0.9~1.1 重量百分比之碳，

及其餘比例以鐵為基材所組合而成。其中該合金材料亦可添加 0.8~1.5 重量百分比之矽、2~5 重量百分比之鉻或可進一步添加 0.5~1.0 重量百分比之鉬。在經塑性加工(冷作及熱作)後，以 950~1270℃ 溫度 1~24 小時熱處理，且在 800~1050℃ 溫度熱鍛加工，另於 980~1080℃ 溫度 1~4 小時熱處理及 500~650℃ 溫度 4~8 小時熱處理，再利用冷作軋軋加工改變晶粒結構及時效處理而成之高爾夫球桿頭(台灣專利公告編號第 584568 號，低密度鐵基之高爾夫球桿頭合金材料)。

合金編號 13：23.0~30.0 重量百分比之錳，6.3~10.0 重量百分比之鋁，0.8~1.05 重量百分比之碳，5.0~9.0 重量百分比之鉻，0.2~10.0 鈷，其餘比例以鐵為基材所組合而成；其中該合金材料亦可添加 0.6~1.0 重量百分比之矽及 0.2~0.4 重量百分比之氮，並在 1000~1050℃ 溫度熱鍛加工，再經由，1000~1050℃ 溫度下熱鍛處理，再經由 1030~1080℃ 溫度 15~60 分鐘熱處理及 450~850℃ 溫度 4~24 小時熱處理而成之高爾夫球頭鐵桿頭(台灣專利公告編號第 1235677 號，低密度高延展性鐵基之高爾夫球鐵桿頭合金材料)。

因此，本發明所提供之低密度高強度高韌性合金材料可應用於鍛造型、鑄造型或兩種的混合型高爾夫球桿頭之研製，其所研製完成之桿頭之機械性質為密度 6.6~6.9 g/cm<sup>3</sup>、抗拉強度可達 100~190ksi、延伸率為 25%~70%。而且因該合金材料中未添加習知技術中所使用之鉻元素，故

其桿頭經過電鍍後，其孔蝕孔洞發生的現象有相當明顯且大幅的降低。

此外，利用本發明之合金材料所製成之高爾夫球桿頭，較習知技術所製成合金材料之機械性質更為優異，如第 2 圖所示，並具有以下特性：

1. 低密度的特性，使得高爾夫球桿頭在設計上比習知的 17-4PH 不銹鋼桿頭多出 15%~23% 的設計空間，可使桿頭朝向大型化的設計，增大球桿甜蜜區，有效提高擊球的成功機率，並且可降低重心，增加穩定的揮擊與擊球點，並增加扭轉慣性、提高擊球距離等效果。
2. 阻尼比高（制振能高），依據本發明之測試結果顯示，本發明合金之阻尼比與習知之 Ti-6Al-4V 鈦合金與 17-4PH 不銹鋼相比，本發明之合金材料吸振能力遠高於習知之合金材料 1.5~3 倍，可使桿頭的控球性更佳，並且降低打擊者的手部震動，打感更舒適。
3. 楊氏係數高（反彈位能大），依據本發明之測試結果顯示，本發明之合金材料之楊氏係數高均較 Ti-6Al-4V 鈦合金與 17-4PH 不銹鋼高，因此可提昇擊球的距離。
4. 降低製造成本，依據本發明之實際生產線上量產，由於本發明之合金材料未添加鉻元素，大幅降低在桿頭電鍍過程中極易產生的孔洞孔蝕，因此可顯著地提升產品良率，降低生產成本。

綜上所述，本發明之低密度高強度高韌性合金材料，以特定的金屬元素組成，發明出一種電鍍表面處理良率高且能

同時兼具低密度、高強度、高韌性及高制振等多功能鐵錳鋁合金材料，而應用在高爾夫球桿頭上更可以將揮桿的擊球力道與控球能力發揮至極致，實為製作高爾夫球桿頭之最佳合金材料，應符合發明專利要件。

惟以上所述者，僅為本發明之較佳實施例，當無法據此限定本發明之實施範圍，而所屬技術領域中具有通常知識者依據本發明申請專利範圍及發明說明書內容所作之修飾與變化，皆應屬於本發明專利涵蓋之範圍。

**【圖式簡單說明】**

第1圖 本發明與習知技術所製成之合金材料組成成分比較圖

第2圖 本發明與習知技術所製成之合金材料機械性質比較圖

**【主要元件符號說明】**

無。

## 十、申請專利範圍：

1. 一種鐵基之合金材料，其包含 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之碳、0.1~1.0 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材所組合而成。
2. 如申請專利範圍第 1 項所述之合金材料，其可進一步包含至多 1.5 重量百分比之鉬。
3. 如申請專利範圍第 1 項或第 2 項所述之合金材料，其中該合金材料具有 6.6~6.9 g/cm<sup>3</sup> 的密度、25~70% 的延伸性或 100~190ksi 的抗拉強度。
4. 如申請專利範圍第 1 項或第 2 項之合金材料，其中該合金材料係具有降低電鍍過程中孔蝕孔洞的產生之特性。
5. 一種鐵基合金材料之製造方法，其包含將 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之碳、0.1~1.0 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之材料經一熔煉程序而形成。
6. 如申請專利範圍第 5 項所述之製造方法，其可進一步包含將至多 1.5 重量百分比之鉬經一熔煉程序形成。
7. 如申請專利範圍第 5 項或第 6 項所述之製造方法，其中該熔煉程序為大氣熔煉、真空熔煉或還原熔煉。
8. 如申請專利範圍第 5 項或第 6 項所述之製造方法，其中該合金材料具有 6.6~6.9 g/cm<sup>3</sup> 的密度、25~70% 的延伸性或 100~190ksi 的抗拉強度。
9. 一種高爾夫球桿頭之合金材料，其包含 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之



碳、0.1~1.0 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材所組合而成。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述之合金材料，其進一步包含至多 1.5 重量百分比的鉬。
11. 如申請專利範圍第 9 項或第 10 項所述之高爾夫球桿頭合金材料，其中該合金材料具有  $6.6 \sim 6.9 \text{ g/cm}^3$  的密度、25~70% 的延伸性或 100~190ksi 的抗拉強度。
12. 如申請專利範圍第 9 項或第 10 項之合金材料，其中該合金材料係具有可降低在高爾夫球桿頭電鍍過程中孔蝕孔洞的產生之特性。
13. 一種高爾夫球桿頭合金材料之製造方法，其包含將 15~33 重量百分比之錳、6~10 重量百分比之鋁、0.6~1.2 重量百分比之碳、0.1~1.0 重量百分比之矽及其餘比例以鐵為基材之材料經一熔煉程序形成一高爾夫球桿頭用之合金材料。
14. 如申請專利範圍第 13 項所述之高爾夫球桿頭合金材料製造方法，其可進一步包含將至多 1.5 重量百分比之鉬經一熔煉程序而形成。
15. 如申請專利範圍第 13 項或第 14 項所述之高爾夫球桿頭合金材料製造方法，其中該熔煉程序為大氣熔煉、真空熔煉或還原熔煉。
16. 如申請專利範圍第 13 項或第 14 項所述之高爾夫球桿頭合金材料製造方法，其中該高爾夫球桿頭合金材料具有  $6.6 \sim 6.9 \text{ g/cm}^3$  的密度、25~70% 的延伸性或 100~190ksi 的抗拉強度。

## 十一、圖式：

合金編號	成分範圍 (重量百分比)										
	Fe	Mn	Al	Cr	C	Si	Mo	Ti	其他		
1	Bal.	27.8	8.8		0.95	0.28					
2	Bal.	30.3	8.8		1.15	0.16	1.05				
3	Bal.	17.5	6.2		1.08	0.15					
4	Bal.	24.9	7.3		1.05	0.17					
5	Bal.	29.1	8.5		0.62	0.26					
6	Bal.	32.1	9.0		0.78	0.31					
7	Bal.	31.6	8.7		1.10	0.56					
8	Bal.	22~36	6~8		1.5~2.0		1.0~1.5				
9	Bal.	26~28	6.5~8	5~6	0.9~1.1	0.2~1.5	1.0~1.2			0.9~1.1 Cu 0.02~0.04 Nb	
10	Bal.	25~31	6.3~7.8	5.5~9	0.65~0.85	*0.8~1.5	*0.5~1.0	*2~5			
11	Bal.	28~31.5	7.8~10	5~7	0.9~1.1	*0.8~1.5		0.35~2.5			
12	Bal.	25~31	7~10	5~7	0.9~1.1	*0.8~1.5	*0.5~1.0				
13	Bal.	23~30	6.3~10	5~9	0.8~1.05	*0.6~1.0				0.2~10 Co *0.2~0.4 N	

\*代表此合金成分中可選擇性添加之元素含量

第 1 圖

合金編號	機械性質			備註
	抗拉強度 (ksi)	延伸率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	
1	122.5	38.6	6.70	
2	130.7	35.1	6.79	
3	116.8	45.4	6.73	
4	120.1	64.5	6.73	
5	148.7	36.9	6.70	
6	189.5	36.1	6.67	
7	178.2	30.8	6.65	
8	124.4	24	6.8	
9	-	-	-	說明書中未有記載
10	105~118	65~68	6.78~7.05	
11	134~173	11~42	6.12~6.5	
12	134~173	11~42	6.12~6.5	
13	110~120	65.9~70	6.78~7.05	

第 2 圖