



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105088012 B

(45)授权公告日 2017.12.22

(21)申请号 201510582725.0

B23P 15/00(2006.01)

(22)申请日 2015.09.14

审查员 吴静

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105088012 A

(43)申请公布日 2015.11.25

(73)专利权人 沈阳泰恒通用技术有限公司

地址 110179 辽宁省沈阳市浑南新区世纪  
路5-2号,同方世纪大厦B座1703-1704

(72)发明人 单宇航 周杰 王永伟 高岭昕

(74)专利代理机构 沈阳优普达知识产权代理事  
务所(特殊普通合伙) 21234

代理人 俞鲁江

(51)Int.Cl.

G22C 14/00(2006.01)

G22F 1/18(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

应用内燃机车上的钛合金活塞连杆组及工  
艺方法

(57)摘要

本发明公开一种钛合金,按质量百分比为:  
Al含量为5.5-6.5%,Mo含量为0.5-1.5%,V含量  
为3.5-4.5%,Fe含量为小于0.25%,O含量为小  
于0.15%,余量为Ti。用钛合金制造活塞连杆组  
的工艺方法,第一步、熔炼铸锭;第二步、锻造;第  
三步、热处理;第四步、机加工;第五步、超声波探  
伤;第六步、成品。钛合金活塞顶采用精加工之后  
粗加工;钛合金活塞环采用表面磨光;钛合金活  
塞销采用表面磨光;钛合金连杆采用车光;钛合  
金连杆螺栓采用车光棒之后墩制螺栓毛件,再精  
加工。本发明减轻内燃机车柴油机活塞系统重量  
35~50%,强度比钢活塞销更高,使用寿命比钢  
活塞销长,防腐蚀性能远优于钢活塞销。

1. 一种用于制造活塞连杆组的钛合金,其特征在于:

为了防止异种金属间摩擦磨损,所述活塞连杆组零部件采用同一种钛合金原材料;

钛合金按质量百分比为:

Al含量为5.5-6.5%,Mo含量为0.5-1.5%,V含量为3.5-4.5%,Fe含量为小于0.25%,O含量为小于0.15%,余量为Ti;

用钛合金制造活塞连杆组的工艺方法:

第一步、熔炼铸锭;

第二步、锻造;

第三步、热处理;

第四步、机加工;

第五步、超声波探伤;

第六步、成品;

第二步中锻造具体工艺方法:

钛合金活塞顶锻造具体为:开坯锻造,初始温度在 $1350^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度在 $1100^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,每次的压下量在10-25mm之间;

钛合金活塞环锻造具体为:开坯锻造,初始温度在 $1140^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度在 $1000^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,每次的压下量在10-25mm之间;

钛合金活塞销锻造具体为:开坯锻造,初始温度在 $1250^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度在 $1000^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,每次的压下量在10-25mm之间;

钛合金连杆锻造具体为:开坯锻造,初始温度在 $1140^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度在 $900^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,每次的压下量在10-25mm之间,然后修磨再进行墩拔锻造,一次三墩三拔,锻造时压下量不能超过长度的30%,先进行高温墩拔锻造,初始温度在 $1040^{\circ}\text{C}$ - $1090^{\circ}\text{C}$ 之间,终锻温度在 $850^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,再进行成品锻造,初始温度是 $940^{\circ}\text{C}$ - $950^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度在 $850^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ;

钛合金连杆螺栓销锻造具体为:开坯锻造,初始温度在 $1250^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度在 $1000^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,每次的压下量在10-25mm之间,然后修磨后再进行成品锻造,初始温度是 $990^{\circ}\text{C}$ - $1000^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度在 $740^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种用于制造活塞连杆组的钛合金,其特征在于:

钛合金按质量百分比为:

Al含量为5.8-6.2%,Mo含量为0.8-1.2%,V含量为3.8-4.2%,Fe含量为小于0.25%,O含量为小于0.15%,余量为Ti。

3. 根据权利要求1所述的一种用于制造活塞连杆组的钛合金,其特征在于:

钛合金按质量百分比为:

Al含量为6%,Mo含量为1%,V含量为4%,Fe含量为0.2%,O含量为0.1%,余量为Ti。

4. 根据权利要求1所述的一种用于制造活塞连杆组的钛合金,其特征在于:

第一步中熔炼铸锭采用真空自耗电弧熔炼三次。

5. 根据权利要求1所述的一种用于制造活塞连杆组的钛合金,其特征在于:

第三步中热处理具体工艺方法:

所有零部件都采用退火制度,加热温度在 $700^{\circ}\text{C}$ - $850^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为60-120min,冷却方式为空冷;

钛合金活塞环与钛合金活塞销还需要做渗氮处理,氮化后表面硬度达到56-62HRC,硬化层厚度 $\geq 1.8\text{mm}$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种用于制造活塞连杆组的钛合金,其特征在于:

第四步机加工具体工艺方法:

钛合金活塞顶采用精加工之后粗加工;

钛合金活塞环采用表面磨光;

钛合金活塞销采用表面磨光;

钛合金连杆采用车光;

钛合金连杆螺栓采用车光棒之后墩制螺栓毛件,再精加工。

## 应用内燃机车上的钛合金活塞连杆组及工艺方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于轨道交通技术领域,目前钛合金应用轨道交通领域为零,涉及到柴油机活塞连杆组减轻重量、抗疲劳和防腐蚀,特别涉及到钛合金活塞连杆组的新结构、新材料、新工艺。

### 背景技术

[0002] 钛合金具有高强度,低密度,低弹性模量,极好的抗疲劳性和耐腐蚀性。钛材料不会发生断裂,不会生锈,在任何大气环境下都不会腐蚀。钛合金是如此抗拒腐蚀,甚至不需要任何喷漆处理。具有这么多优点的钛合金材料却没有被应用在轨道交通设备中。

[0003] 钛合金密度为 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ ,是钢密度的57%,强度与钢相当,替换钢材减重43%。美军CH53型重型运输直升机采用钛合金640kg(约结构质量的10%),代替1.02t钢材,减重380kg。钛合金还是比强度最高的金属材料,等强度替换铝合金减重20-30%。而且可以减小高速运动部件的运动惯量。意大利的法拉利2003En20型超级汽车V12发动机采用钛合金连杆后,机动性能增强助推速度3.9s内可达62km/h。钛合金屈强比为0.68-0.96,碳素钢为0.6-0.65,合金结构钢为0.65-0.86,屈强比高提高可靠性。钛合金与钢相比,具有较低的剪切模量。大众2001LupoFSI型汽车采用TimetalLCB制造的钛合金弹簧,与钢制弹簧比,质量减少60%,体积缩小25%,而且更加安全可靠,寿命长。钛合金的高低温力学性能优越,在-253-550℃温度范围,具有较高的强韧性,如表2。

[0004] 表2

[0005]

钛合金材料	-253℃	-196℃	20℃	500℃
TC4	$R_m \geq 1400\text{MPa}$	$R_m \geq 1300\text{MPa}$	$R_m \geq 895\text{MPa}$	$R_m \geq 440\text{MP}$
	$R_{p0.2}$	$R_{p0.2}$	$R_{p0.2}$	a
	$\geq 1200\text{Mpa}$	$\geq 1100\text{Mpa}$	$\geq 825\text{Mpa}$	$R_{p0.2}$
	$A \geq 10\%$	$A \geq 8\%$	$A \geq 10\%$	$\geq 195\text{Mpa}$

[0006] 而钢具有低温脆性,在低温环境下塑性、韧性、延伸率降低,易发生脆性断裂。钛合金最重要的特性是耐腐蚀好,如表3。

[0007] 表3

[0008]

腐蚀介质	浓度%	温度℃	腐蚀速率 mm/年	
			钛合金	不锈钢
王水	HCl-HNO <sub>3</sub>	24	≤0.051	≥1.27
海水	高速流动状态	24	≤0.051	0.1-0.5
盐酸	10	24	≤0.127-0.508	≥1.27

[0009] 钛合金线性膨胀系数小,纯钛为 $8.2 \times 10^{-6}/K$ ,约为碳钢的2/3,不锈钢的1/2。

[0010] 以往,人们通常认为钛合金是稀有金属,其储量少,若将其应用到轨道交通设备中,其产量无法满足需求,其实钛合金储量完全能够满足工业中大规模应用,钛在地壳中的含量为0.61%,比铜、镍、锡、铅、锌等一般有色金属总和还多十几倍,蕴藏量是铜的十倍,而且在全世界中国的钛储量居世界第一,如表4:

[0011] 表4

[0012]

国别	钛铁矿(万吨)	金红石(万吨)	合计(万吨)	占比(%)
中国	20000	——	20000	28.90
澳大利亚	10000	1800	11800	17.05

[0013]

印度	8500	740	9240	13.35
南非	6300	830	7130	10.30
巴西	4300	120	4420	6.39
世界总计	65000	4200	69200	100

[0014] 人们普遍认为钛合金价钱很贵,随着钛合金的飞速发展,海绵钛价格的降低,钛合金的价钱已有大幅度的下降,2007年海绵钛的价格为9.5万/吨,到2014年即最近的价格报价为5万/吨左右。未来几年随着电解法制备海绵钛将实现工业化,海绵钛的价格会降低到3万/吨左右。

[0015] 近年来,钛合金因其高的屈强比和耐蚀性,成为内燃机车用柴油机零部件材料的一种新选择。

[0016] 钛合金已经在航空、汽车和化工有应用。钛合金活塞销具有重量轻、耐腐蚀性优良和抗疲劳等优点。

[0017] 随着铁路快速发展,内燃机车的轻量化设计要求,钛合金柴油机活塞连杆组替代钢制活塞连杆组成为发展需求。

[0018] 现在轨道交通上内燃机车用柴油机钢活塞连杆组主要包括活塞顶、活塞环、活塞销、连杆、连杆螺栓。

[0019] 目前活塞顶材料主要是42CrMo。

[0020] 活塞环材料主要是合金铸铁、球墨铸铁。

- [0021] 活塞销材料主要是合金渗碳钢12CrNi3A、18Cr2Ni4WA、20CrMnTi。  
 [0022] 连杆材料主要是42CrMo。  
 [0023] 连杆螺栓材料主要是42CrMo。  
 [0024] 钢制零部件存在太重、防腐性能不好、断裂影响寿命等问题。  
 [0025] 铝制零部件存在弹性模量和屈服强度较低的问题。  
 [0026] 此活塞连杆组主要应用于180型、240型、280型、ND2型、ND5型机车柴油机。

### 发明内容

[0027] 提供一种应用轨道交通内燃机车上的钛合金活塞连杆组及工艺方法。本发明要解决的技术问题是减轻重量,提高抗腐蚀性能,提高使用寿命,达到内燃机车的轻量化设计要求和提高活塞往复运动的动力性能。

[0028] 本发明的技术方案是:

[0029] 一种用于制造活塞连杆组的钛合金,为了防止异种金属间摩擦磨损,所述活塞连杆组零部件采用同一种钛合金原材料,钛合金材料性能指标如表4:

[0030]	抗拉强度 R <sub>m</sub> /MPa	屈服强度 R <sub>p0.2</sub> /MPa a	伸长率 A/%	断面收缩 率 Z/%	冲击韧性 KV/J/cm <sup>2</sup>
	≥930	≥855	≥10	≥27	≥40

[0031] 表4

[0032] 钛合金按质量百分比为:

[0033] Al含量为5.5-6.5%,Mo含量为0.5-1.5%,V含量为3.5-4.5%,Fe含量为小于0.25%,O含量为小于0.15%,余量为Ti。

[0034] 钛合金按质量百分比为:

[0035] Al含量为5.8-6.2%,Mo含量为0.8-1.2%,V含量为3.8-4.2%,Fe含量为小于0.25%,O含量为小于0.15%,余量为Ti。

[0036] 钛合金按质量百分比为:

[0037] 本发明较佳实施例为:

[0038] Al含量为6%,Mo含量为1%,V含量为4%,Fe含量为0.2%,O含量为0.1%,余量为Ti。

[0039] 本发明的优点是:本发明减轻内燃机车柴油机活塞系统重量35~50%,强度比钢活塞销更高,使用寿命比钢活塞销长,防腐性能远优于钢活塞销。钛合金活塞销内孔采用圆柱形代替原截锥形和组合形,使受力更加均匀,不至于局部过度破损。

### 附图说明

[0040] 图1为本发明的钛合金活塞销剖面图。

[0041] 图2为本发明的钛合金活塞顶示意图。

[0042] 图3为本发明的钛合金活塞环示意图。

[0043] 图4为本发明的钛合金连杆螺栓示意图。

[0044] 图5为本发明的钛合金连杆示意图。

### 具体实施方式

[0045] 下面结合说明书附图及实施例对本发明进一步详细说明。

[0046] 一种用于制造活塞连杆组的钛合金,为了防止异种金属间摩擦磨损,所述活塞连杆组零部件采用同一种钛合金原材料,钛合金材料性能指标如表4:

抗拉强度 $R_m$ /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa a	伸长率 A/%	断面收缩 率 Z/%	冲击韧性 KV/J/cm <sup>2</sup>
≥930	≥855	≥10	≥27	≥40

[0047] 表4

[0048] 钛合金按质量百分比为:

[0049] Al含量为5.5-6.5%,Mo含量为0.5-1.5%,V含量为3.5-4.5%,Fe含量为小于0.25%,O含量为小于0.15%,余量为Ti。

[0050] 钛合金按质量百分比为:

[0051] Al含量为5.8-6.2%,Mo含量为0.8-1.2%,V含量为3.8-4.2%,Fe含量为小于0.25%,O含量为小于0.15%,余量为Ti。

[0052] 钛合金按质量百分比为:

[0053] 本发明较佳实施例为:

[0054] Al含量为6%,Mo含量为1%,V含量为4%,Fe含量为0.2%,O含量为0.1%,余量为Ti。

[0055] 一种用钛合金制造活塞连杆组的工艺方法,

[0056] 第一步、熔炼铸锭;

[0057] 第二步、锻造;

[0058] 第三步、热处理;

[0059] 第四步、机加工;

[0060] 第五步、超声波探伤;

[0061] 第六步、成品。

[0062] 该工艺方法;

[0063] 第一步中熔炼铸锭采用真空自耗电弧熔炼三次。

[0064] 第二步中锻造具体工艺方法:

[0065] 钛合金活塞顶锻造具体为:开坯锻造,初始温度在 $1350^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,终锻温度在 $1100^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ,每次的压下量在10-25mm之间;

[0066] 钛合金活塞环锻造具体为:开坯锻造,初始温度在 $1140^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 左右,终锻温度在

1000℃±20℃,每次的压下量在10-25mm之间;

[0068] 钛合金活塞销锻造具体为:开坯锻造,初始温度在1250℃±20℃,终锻温度在1000℃±20℃,每次的压下量在10-25mm之间;

[0069] 钛合金连杆锻造具体为:开坯锻造,初始温度在1140℃±20℃,终锻温度在900℃±20℃,每次的压下量在10-25mm之间,然后修磨再进行镦拔锻造,一次三墩三拔,锻造时压下量不能超过长度的30%,先进行高温镦拔锻造,初始温度在1040℃-1090℃之间,终锻温度在850℃±20℃,再进行成品锻造,初始温度是940℃-950℃,终锻温度在850℃±20℃;

[0070] 钛合金连杆螺栓销锻造具体为:开坯锻造,初始温度在1250℃±20℃,终锻温度在1000℃±20℃,每次的压下量在10-25mm之间,然后修磨后再进行成品锻造,初始温度是990℃-1000℃,终锻温度在740℃±20℃。

[0071] 第三步中热处理具体工艺方法:

[0072] 权利中所有零部件都采用退火制度,加热温度在700℃-850℃,保温时间为60-120min,冷却方式为空冷。

[0073] 钛合金活塞环与钛合金活塞销还需要做渗氮处理,氮化后表面硬度达到56-62HRC,硬化层厚度≥1.8mm。

[0074] 第四步机加工具体工艺方法:参见图1-5所示。

[0075] 钛合金活塞顶采用精加工之后粗加工;

[0076] 钛合金活塞环采用表面磨光;

[0077] 钛合金活塞销采用表面磨光;

[0078] 钛合金连杆采用车光;

[0079] 钛合金连杆螺栓采用车光棒之后墩制螺栓毛件,再精加工。

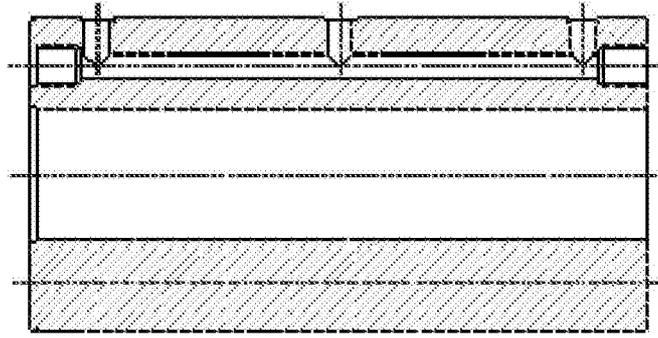


图1

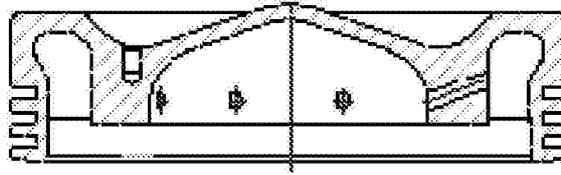


图2

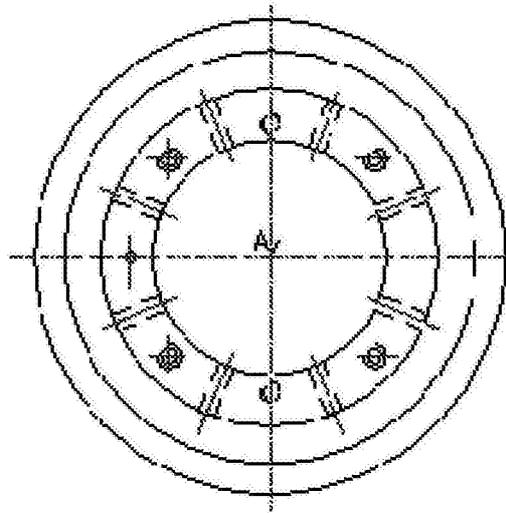


图3

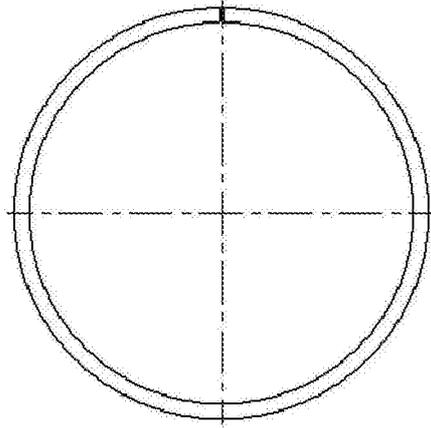


图4

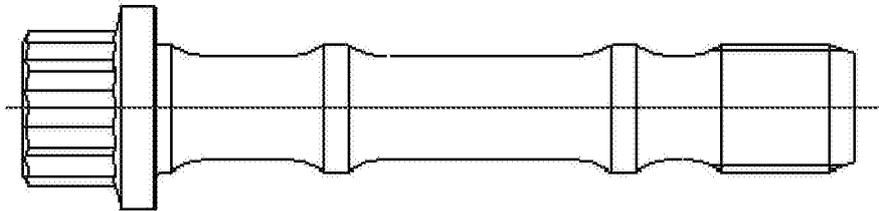


图5