



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105648326 A

(43) 申请公布日 2016.06.08

(21) 申请号 201610054373.6

(22) 申请日 2016.01.27

(71) 申请人 双立恒通新材料科技(淮安)有限公司

地址 223300 江苏省淮安市淮阴区淮河路
228号

(72) 发明人 杨忠民 韩建淮

(51) Int. Cl.

G22C 38/12(2006.01)

G22C 38/14(2006.01)

G22C 38/04(2006.01)

G22C 38/02(2006.01)

G21D 8/10(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页

(54) 发明名称

一种柴油机高压喷油管用钢、高压喷油管及其制造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种柴油机高压喷油管用钢,其化学元素质量百分比含量为:C: 0.18~0.20%;Si : 0.20~0.30%;Mn :1.40~1.60%;S ≤ 0.003%;P ≤ 0.010%;Nb :0.015~0.025%;V : 0.02~0.04%;Al:0.02~0.03%;Ti:0.02~0.03%;Ca ≤ 0.002%;N<0.003%;H<0.0002%;O<0.0005%;余量为Fe和其他不可避免的杂质;相应的,本发明还公开了一种有该种钢制成的高压喷油管及制造方法。本发明公开的高压喷油管,可用于160MP以上工作压力。

1. 一种柴油机高压喷油管用钢,其特征在于:其化学元素质量百分比含量为:
C: 0.18 ~0.20%;
Si : 0.20 ~0.30%;
Mn:1.40~1.60%;
S ≤ 0.003%;
P ≤ 0.010%;
Nb:0.015~0.025%;
V:0.02~0.04%;
Al:0.02~0.03%;
Ti:0.02~0.03%;
Ca ≤ 0.002%;
N < 0.003%;
H < 0.0002%;
O < 0.0005%;
余量为Fe和其他不可避免的杂质。
2. 根据权利要求1所述的一种柴油机高压喷油管用钢,其特征在于:其内部包含位错组织。
3. 一种高压喷油管,其特征在于:其采用如权利要求1~2任一权利要求所述的柴油机高压喷油管用钢制成。
4. 根据权利要求3所述的一种高压喷油管,其特征在于:所述喷油管内表面凹陷/划痕/杂质的缺陷深度在0.02mm~0.05mm的范围内,缺陷总个数小于等于5个。
5. 如权利要求3所述的高压喷油管的制造方法,其特征在于:包括如下步骤:
 - (1)制造管坯;
 - (2)进行若干道次冷拉拔;
 - (3)应力退火;其中,步骤(2)的冷拉拔的道次由工作压力确定,屈服强度与工作压力的关系满足公式:
屈服强度/工作压力 ≥ 3.65
屈服强度的增量值与冷拉拔的关系满足公式:
$$\Delta R_{eH} = 79 + (170 + K)R$$
其中 ΔR_{eH} 为屈服强度增量值;R为冷拉拔的总延伸率,即冷拉拔前后的截面面积比;K为冷拉拔速度影响参数,取值范围是10~40。
6. 根据权利要求5所述的高压喷油管的制造方法,其特征在于:步骤(2)中的冷拉拔道次小于等于3次。
7. 根据权利要求5所述的高压喷油管的制造方法,其特征在于:步骤(2)中冷拉拔道次间进行高温正火/高温退火处理。
8. 根据权利要求5所述的高压喷油管的制造方法,其特征在于:步骤(2)中冷拉拔的速度小于等于6M/min。
9. 根据权利要求5所述的高压喷油管的制造方法,其特征在于:步骤(3)中去应力退火

的温度为500℃~700℃,时间为30~60分钟。

一种柴油机高压喷油管用钢、高压喷油管及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种钢,具体涉及一种一种柴油机高压喷油管用钢、高压喷油管及其制造方法。

背景技术

[0002] 高压精密钢管主要用于高功率密度发动机,通过开发喷射压力不断提高的高压燃油喷射系统,不仅提高了柴油机的性能,同时减少了有害物的排放,满足了不断严格的环境法规要求。满足欧Ⅲ、Ⅳ排放标准的高压油管的工作压力分别达到160MPa和180MPa。2015年为我国柴油发动机开始执行国Ⅳ标准(相当于欧Ⅳ排放标准),柴油发动机排放标准由国Ⅲ提高到国Ⅳ标准,其颗粒排放物下降80%,NO_x排放下降30%;提高喷油压力大幅提高柴油机燃烧效率,节油3-5%。高压喷油管产品是符合绿色发展战略的高技术产品。

[0003] 近年来,柴油发动机的直接喷射技术在柴油机技术的发展中得到快速推广。目前,欧洲各国普遍引用的ISO8535-2011《柴油发动机高压燃油喷射管用钢管,第一部分:冷拔无缝单壁钢管要求》标准中规定了4个强度等级的高压油管材料,我国机械行业标准JB/T 8120.1—2011《压燃式发动机 高压油管用钢管第1部分:单壁冷拉无缝钢管技术条件》等效于ISO8535-2006版标准,给出高压油管的钢材可选用德国牌号St52.4的钢材,接近国内牌号16Mn、16MnV等,但是这种材料可用于制造160MPa以下的工作压力的冷拔高压油管。160MPa以上工作压力的喷油管材料需要新开发。由于钢管的高频振动压力负荷,动态应力很高,喷油管要承受很高的脉动内压,对喷射油管的材料性能和管子内表面的微观形态要求很高。材料性能指标上需要通过优化制造工艺过程,同时收紧合金成份的限值范围,提高材料的强度和延伸率。通过采用复合添加微合金元素使金相组织细化,既提高强度又增大延伸率。为了提高管路的寿命尽可能降低早期失效的可能性,不仅要考虑试验得出的平均疲劳强度,还必须顾及试验结果的分散带宽。160MPa级工作压力以上高压喷油管通常需要采用冷拔去应力退火工艺。为满足高压油管油量允差一般控制在0.5%以内,钢管内径尺寸公差控制在±0.025mm范围内。内表面质量需要达到ISO8535-2011标准中的Q级以上指标,即考察钢管横截面内表面凹陷、杂质、划痕等缺陷深度0.02mm~0.05mm,数量不超过5个,。为满足的柴油机高压油管的工作脉冲油压疲劳性能和稳定性,需要测定该工作压力下,脉冲疲劳循环次数超过1000万次。因此理论上,喷油管的工作压力需要设计在疲劳极限以下,同时钢管的强度设计开发需要在工作压力基础上加上安全系数。

[0004] 材料的屈服强度和疲劳极限之间有一定的关系,一般来说,材料的屈服强度越高,疲劳强度也越高。国内现有经验一般要求高压油管的名义工作压力为材料屈服强度的0.3~0.5倍,即屈服强度/工作压力=2~3.3;而国外的经验则是要求高压油管的名义工作压力为材料爆破压力的0.25~0.4倍,转换成国内要求是屈服强度/工作压力=1.5~2.4。

[0005] 材料表面粗糙度愈小,应力集中愈小,疲劳强度也愈高。钢管冷拔加工坯料尺寸过大、内表面出现的褶皱越多,产生表面缺陷的可能性也越大,这些原因都会导致疲劳性能下降。冶金缺陷是指材料中的非金属夹杂物、气泡、元素的偏析等等。存在于表面的夹杂物是

应力集中源,会导致夹杂物与基体界面之间过早地产生疲劳裂纹,使钢管失效。

[0006] 基于上述需要对钢管的以下指标加以限制,才能满足高压钢管的疲劳寿命指标要求:(1)钢中含有的杂质控制严格,成分范围控制窄,并严格控制材料的夹杂物水平;(2)喷油工作压力提高钢管的屈服强度需要提高,并对屈服强度加以控制在一定值以上的有限范围内,同时塑性指标和冲击韧性指标保证一定范围内;(3)高产品表面质量控制和钢管的内表面出现凹陷、杂质、划痕等严格的数量,ISO8535标准中的Q级以上。(4)产品的内径尺寸精度控制高,±0.025mm范围内。

[0007] 公开号为CN104141097A,公开日为2014年11月12日,名称为“一种高压油管用热轧圆钢及其制造方法”的中国专利,文献公开了一种高压油管,其化学成分质量百分比(wt%)为:C:0.10-0.17%,Si:0.25-0.45%,Mn:1.30-1.60%,P<0.020%,S<0.010%,Cr:0.20-0.40%,V:0.05-0.10%,Al:0.025-0.050%,Cu<0.20%,Ni<0.20%,其余为铁和残余的微量杂质。该专利的合金体系范围显然过于宽泛,给出的夹杂物控制范围过于粗大:A、B、C、D、DS类粗系<1.5,应无法保证160MPa级工作喷油脉冲压力以上的1000万次的寿命要求。

[0008] 公开号为CN104862591A,公开日为2015年8月12日公开了“一种高强度高压油管用钢、高压油管及其制造方法”,其化学元素质量百分比含量为:C:0.11-0.17%; Si:0.1-0.5%; Mn:1.2-1.7%; Al:0.01-0.05%; Nb:0.01-0.06%; V:0.02-0.09%; Ti:0.001-0.03%; Ca:0.001-0.01%; 余量为Fe和其他不可避免的杂质,该发明还公开了该油管的制造方法。该专利的合金体系范围也同样过于宽泛,给出的实施例A1-A7的屈服强度的波动范围在628MPa-758MPa之间,该专利仅提出制造屈服强度大于600MPa的无缝钢管,但是并没有提出该发明产品用于哪个喷油工作压力级别条件,同时该发明忽略了夹杂物的控制和内表面质量控制方法,显然该发明的结果无法令人信服。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于:提供一种高强度的柴油机高压喷油嘴用钢,可用于制造160MP以上的高压喷油管。

[0010] 为实现上述的目的,本发明提出了一种柴油机高压喷油管用钢,其化学元素质量百分比含量为:

C: 0.18 ~0.20%;

Si : 0.20 ~0.30%;

Mn:1.40~1.60%;

S ≤ 0.003%;

P ≤ 0.010%;

Nb:0.015~0.025%;

V:0.02~0.04%;

Al:0.02~0.03%;

Ti:0.02-0.03%;

Ca ≤ 0.002%;

N<0.003%;

H<0.0002%;

$0 < 0.0005\%$;

余量为Fe和其他不可避免的杂质。

[0011] 本发明所述的高强度高压油管用钢中的各化学元素的设计原理为:

C:是提高钢的强度的主要元素之一,其通过碳化物的形成能够有效地提高钢的强度,但是不能过高和过低。随着碳含量的减少铁素体含量增加强度和加工硬化率降低,塑性升高,因而变形抗力降低,临界压缩比升高。在保证强度的基础上,降低碳含量有利于改善钢的强韧性和冷加工性能。钢管冷拔加工存在临界拉拔延伸率,延伸率达到临界值之后会发生包申格效应(Bauschinger)。既拉拔力下降。随着碳含量的降低,拉拔力降低的幅度变大,且开始下降所需的临界拉拔延伸率降低。超过临界拉拔延伸率,由于加工硬化率增大,拉拔力又重新上升。因此,最佳拉拔延伸率受碳含量的影响,应该在保证强度的条件下选取鲍辛格效应较大,而加工硬化率没有明显上升的阶段。

[0012] 包申格效应:金属材料经过预先加载产生少量塑性变形(残余应变为1%~2%),卸载后再同向加载,规定残余应力(弹性极限或屈服强度)增加;反向加载,规定残余应力降低(特别是弹性极限在反向加载时几乎降低到零)的现象,称为包申格效应。

[0013] 为了保证最终拉拔钢管的成品拉伸性能的一致性和窄波动范围,需要将C含量限定在0.18~0.20 wt%范围内。保证无缝钢管屈服强度大于640MPa,并且强度波动范围在±50MPa以内。

[0014] Si:在炼钢过程中加硅作为还原剂和脱氧剂,尤其是在镇静钢需要添加0.15~0.30wt%范围的Si含量,但是冷拔精密钢管Si含量较低时影响不明显,高会引起韧性-脆性转化温度升高,同时影响冷拔加工性能,所以本发明钢含有0.20~0.30wt%较低的硅含量。

[0015] Mn:在炼钢过程中,锰是良好的脱氧剂和脱硫剂,并且提高钢的强度和硬度,提高钢的淬性,改善钢的热加工性能。此外,Mn含量由低到高增加,精密钢管韧性-脆性转化温度先降低后升高的变化趋势。本发明钢Mn含量控制在1.40~1.60wt%范围。

[0016] Al:在钢中具有强烈的脱氧作用,同时AlN析出粒子可以阻碍因Mn含量高引起的奥氏体晶粒长大现象,起到细化奥氏体作用,并且起到防止N的时效的负面作用,因而有助于提高钢的韧性和加工性,同时酸溶Al含量在0.02wt%左右时钢中的夹杂物含量处在最低的水平。由于酸不溶铝 Al_2O_3 类夹杂物对钢管的疲劳寿命危害较大,需要严格控制Al的含量。因此本发明例规定了0.02~0.03wt%含量范围,酸溶铝与酸不溶铝 Al_2O_3 的含量比值控制在 > 0.91 。

[0017] Ti:在钢中是强碳氮化物形成元素,其形成的TiN、TiC均可以细化奥氏体晶粒,从而提高坯料强度,但是TiN也会对钢管的抗疲劳性能产生重大影响,因此需要严格限制Ti:0.02~0.03 wt%。

[0018] Nb、V:为微合金元素,有固溶强化作用,析出粒子可以起到析出强化作用,同时阻碍晶粒长大起到细化晶粒,但是过多析出形成弥散分布的氮化物或碳氮化物,引起冷轧精密光亮钢管的韧性-脆性转化温度上升,需要控制含量范围有效利用真正达到细化晶粒作用。本发明例以下限含量控制达到析出强化和细化晶粒作用,Nb含量0.015~0.025wt%;V含量0.02~0.04wt%。

[0019] Ca:可以净化钢液,使夹杂物硫化物变性球化,有利于疲劳寿命的提高。但是由于高压喷油管承受高压脉冲疲劳,需要保证一定的疲劳寿命要求,而 Al_2O_3 -CaO类夹杂和单一

Al_2O_3 均对疲劳寿命产生负面影响的危害极大,因此Ca的含量控制 $\leq 0.002wt\%$;

P:磷升高韧性-脆性转化温度最强烈,因此需要严格控制,考虑到生产成本要求, $P \leq 0.010\%$ 。

[0020] S:低合金碳钢中的主要夹杂物,拉拔过程中夹杂物MnS随着拉拔流动金属纤维的方向变长,从而影响钢管的疲劳性能。需要严格控制 $S \leq 0.003wt\%$;

钢中的气体含量是影响钢管性能的重要有害元素,需要严格控制其中,O含量是最能反映夹杂物数量的重要指标,需要严格控制,H元素会引起冷拔钢管的氢脆现象,N元素有时效倾向,三种元素需要严格控制: $N < 0.003 wt \%$; $H < 0.0002 wt \%$; $O < 0.0005 wt \%$ 。

[0021] 本发明所述的高压喷油管用钢种元素,除了给出的合金元素外应尽量避免其他合金元素,虽然本发明人充分了解有可能给钢管性能带来好的正面影响,但是不利于钢管的加工成本的降低。此外也应避免Pb、Sn、As、Sb、Bi等有害元素在炼钢过程中的带入。

[0022] 进一步的,所述柴油机高压喷油管用钢内部包含位错组织。

[0023] 本发明的柴油机高压喷油管用钢,屈服强度335MPa、拉伸强度420MPa,延伸率20%。

[0024] 本发明的另一目的在于提供一种高压喷油管,采用上述的柴油机用高压喷油管用钢制成。

[0025] 进一步的,所述喷油管内表面凹陷/划痕/杂质的缺陷深度在0.02mm~0.05mm的范围内,缺陷总个数小于等于5个,甚至可以控制更高级别范围,即缺陷深度 $< 0.02mm$ 的表面质量控制。

[0026] 本发明的高压喷油管,油量允差可控制在0.5%以内。

[0027] 本发明的另一目的在于提供一种上述高压喷油管的制造方法,包括如下步骤:

- (1)制造管坯;
- (2)进行若干中间道次冷拉拔;
- (3)进行最终成品连续道次冷拉拔
- (4)应力退火;

其中,步骤(2)中间拉拔道次间需要进行高温正火/高温退火处理。

[0028] 步骤(3)的最终连续冷拉拔的道次由工作压力确定,屈服强度与工作压力的关系满足公式:

$$\text{屈服强度/工作压力} \geq 3.65$$

根据高压喷油管实际运行的寿命检测结果分析,本发明给出高压油管屈服强度的最小值为3.65倍的工作压力,即屈服强度/工作压力 ≥ 3.65 ,才能在力学角度上保证疲劳寿命寿命超过1000万次,对于钢管的抗拉强度应满足强屈比 > 1.15 的指标要求,同时均匀延伸率 $> 16\%$ 。具体见表1。

[0029] 表1 高压喷油管的屈服强度与工作压力

喷油工作压力/MPa	120	140	160	180	200
最小屈服强度/MPa	438	511	584	657	730
规范最小屈服强/MPa	440	510	580	650	730

表1中给出的钢管最小屈服强度的获得是通过多道次冷拔加工,使钢管内部微观组织的发生金属流变纤维化的结果,同时包含有大量的位错组织使钢管强度得到提高。

[0030] 屈服强度的增量值与冷拉拔的关系满足公式:

$$\Delta R_{eH} = 79 + (170 + K)R$$

其中 ΔR_{eH} 为屈服强度增量值;R为冷拉拔的总延伸率,即冷拉拔前后的截面面积比;K为冷拉拔速度影响参数,取值范围是10~40。

[0031] 进一步的,步骤(3)中的最终连续冷拉拔道次小于等于3次。

[0032] 进一步的,步骤(3)中冷拉拔的速度小于等于6M/min。

[0033] 进一步的,步骤(3)中最终连拔道次之前的冷拉拔道次间需进行高温正火/高温退火处理。

[0034] 进一步的,步骤(4)中去应力退火的温度为500℃~700℃,时间为30~60分钟。

具体实施方式

[0035] 按照下面的步骤制造6.35×3高压油管,具体步骤包括:

- (1)冶炼并制成管坯;
- (2)中间道次冷拉拔,由管坯进行冷拉拔道次之间进行高温正火或高温退火;
- (3)最终连续冷拔,工艺参数如表2,可根据延伸系数R选择拉拔道次;

表2 拉拔6.35×3冷拔高压油管关键工艺参数

序号	工作压力 MPa	屈服后 最小屈服 强度 MPa	最后累 计道次 延伸系 数 R	拉拔速 度影响 参数 K	公式计 算冷拔 屈服强 度 MPa	实际测试 冷拔屈服 强度 MPa	退火 温度 ℃	保温 时间 Min	退火后的钢管力学性能		
									屈服 强度 MPa	拉伸 强度 MPa	延伸率 %
1	120	440	1.1	10	612	620	650	30	455	530	24
2	140	510	1.3	20	661	670	580	40	530	610	21
3	160	580	1.4	20	680	685	550	40	595	690	20
4	180	650	1.6	30	780	785	500	30	665	770	18
5	200	730	2.0	30	814	850	500	30	740	860	17

(4)去应力退火,温度为500℃~700℃,时间为30~60分钟。

[0036] 本发明给出了不同喷油工作压力条件下,钢管的屈服强度需要的最小值为:屈服强度/工作压力≥3.65以及表1给出的不同工作压力条件下最小钢管屈服强度限制,同时给出了钢管冷拔加工屈服强度增量的计算公式,均只限于本发明钢成分控制范围内使用才具有实际应用价值。

[0037] 需要注意的是,以上列举的仅为本发明的具体实施例,显然本发明不限于以上实施例,随之有着许多的类似变化”本领域的技术人员如果从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形,如不同碳含量条件下对公式进行修正;以及不同合金成分和杂质元素含量条件下,对屈服强度/工作压力>3.65进行修正等均应属于本发明的保护范围。