

大功率柴油机活塞销材料技术要求及加工工艺优化分析

蓝天

(海军装备部 山西 太原 030027)

摘要: 大功率柴油机一般需要应用空心圆柱体全浮式结构的活塞销。活塞销是柴油机的重要组成部分,能够起到连接活塞和连杆、传递动力的作用。在长期的高温和应力作用下,活塞销很容易发生体积变化,进而引发故障问题。本文以大功率柴油机的活塞销为主要研究对象,着重对大功率柴油机应用的活塞销材料及加工工艺优化途径进行了研究和分析。

关键词: 柴油机; 活塞销; 材料; 加工工艺; 优化

0 引言

基于活塞销在柴油机中的应用要求,用于制作活塞销的材料需要具备强度、韧性、耐磨性以及体积稳定性等方面的性能。而考虑到活塞销应用中可能导致的故障问题,需要避免活塞销由于摩擦条件恶劣而导致的表面磨损情况,不仅需要注重活塞销原材料的质量,还需要确保活塞销实际应用的可靠性。对大功率柴油机中的活塞销材料及加工工艺优化进行分析,能够为当前柴油机结构的优化设计提供一定的经验。

1 现有的大功率柴油机活塞销材料及加工工艺

1.1 原材料对活塞销性能的影响

大功率柴油机中的活塞销通常应用低碳合金钢材料,在经过表面整体渗碳淬火之后,活塞销的心部和表面强度都能够达到固定的强度标准,再对其进行精加工,让活塞销能够满足表面粗糙度以及形位精度的要求。不同的材料在淬火条件下呈现出的淬硬深度不同,因而淬透性方面有着很大的差别。低碳合金钢中的Cr、Mn、Ni、Mo等合金都具有较强的淬透性。将这种材料淬火后,能够让材料整体具有最高的强度。下表列举了几种常用于大功率柴油机活塞销的材料化学成分。从表中可表 大功率柴油机活塞销常用材料的化学成分 /%

材料牌号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W
6MnCr5 (EN 10084)	0.14 ~ 0.19	≤ 0.40	1.00 ~ 1.30	0.80 ~ 1.10	—	—	—
18CrNiMoS7-6 (EN 10084)	0.15 ~ 0.21	≤ 0.40	0.50 ~ 0.90	1.50 ~ 1.80	1.40 ~ 1.70	0.25 ~ 0.35	—
18Cr2Ni4WA (GB/T 3077)	0.13 ~ 0.19	0.17 ~ 0.37	0.30-0.60	1.35 ~ 1.65	4.00 ~ 4.50	—	0.80 ~ 1.20

以发现,低碳合金钢之所以能够满足大功率柴油机活塞销在强度方面的要求,就是因为应用了这些本身淬透性较高的材料。依据不同大功率柴油机结构的不同,用于活塞销的低碳合金钢材料也有所区别。一般情况下,18CrNiMoS7-6主要被应用到单缸功率较高的柴油机活塞销当中,能够呈现出较好的淬透性,18Cr2Ni4WA能够被应用到轻型大功率高速柴油机中,减少往复惯性力对活塞销磨损情况产生的影响。

1.2 渗碳淬火组织对活塞销性能的影响

基于大功率柴油机对活塞销质量的应用要求,为了能够提高材料的淬透性,低碳合金钢中合金元素的含量需要不断增加。但低碳合金钢在淬火后生成的深层组织中含有少量的残留奥氏体,在材料整体淬透性不断提高的情况下,融入奥氏体中的Cr、Mn、Ni等元素的含量也会不断提高,奥氏体的稳定性也相应增加,最终导致残余奥氏体增多。奥氏体本身存在于高硬度的马氏体之间,如果残留的奥氏体过多,在受到外力作用的情况下,这些奥氏体很难发生弹性滑移,伴随着马氏体针状组织粗大,会通过表面硬度影响活塞销整体的耐磨性。且奥氏体本身是非稳定组织,在活塞销工作中,很容易因为应力、摩擦以及温度等方面的变化而转化为马氏体,增大活塞销的表层体积,在恶化摩擦条件的同时,也会加

刷活塞销的磨损情况。

2 原材料技术要求及加工工艺的优化

2.1 提高原材料质量的方法

2.1.1 电渣重熔冶炼

应用电渣重熔冶炼的方法,主要是为了从纯净度和致密性的角度提高活塞销原材料的质量。应用于活塞销的低碳合金钢材料由于含碳量较低,仅仅依靠电炉熔炼很难满足材料脱氧的需求,应用电炉加电渣重熔的冶炼方法,能够以减轻偏析的原理,让经过电渣重熔后的材料晶体更加细小均匀,从而提高材料的纯净度和致密性。与电炉熔炼方式相比,电渣熔炼方式中的熔渣具有更强的吸附非金属的能力,电渣熔炼中应用的渣层还能够通过重新分配杂质而起到渣洗的作用,在降低熔炼后的钢液杂质浓度的同时,也能够达到脱氧脱硫的效果。依据对钢中非金属夹杂物测定的相关标准,应用了电渣重熔的低合金渗碳钢中,硫化物不超过2.0级,氧化铝不超过2.0级,硅酸盐类氧化物不超过1.0级,因而能够达到大功率柴油机对活塞销材料提出的高纯净度要求。

2.1.2 提高锻造比

原材料带状组织的存在,会对活塞销的性能和质量产生一定的影响。以减轻带状组织并细化晶粒为主要目标,采用提高锻造比的方式,能够将改变作用于活塞销的热轧阶段,让材料的溶质元素偏聚带被拉长,从而缩小溶质富集区以及贫化区的间距,让材料奥氏体的分布区域也能够均匀化。在这种情况下,由于间隙减小导致的两个区间浓度差减小,出现带状组织的概率也会相应降低。同时,在轧制阶段,还能够通过细化晶粒来提高组织整体的致密度,让材料保持在较高的锻造比前提下,消除材料出现的带状组织。锻造比与材料的力学性能能够呈现出正相关的关系,但在锻造比达到8之后,材料的力学性能就会维持在一个较高的水平。依据大功率柴油机中活塞销的应用要求,应用于活塞销电渣棒轧制的锻造比要大于6,在保证轧制温度和轧后的冷却速度始终保持稳定状态的前提下,热轧后材料产生的带状组织不会超过2级。因而如果材料本身的晶粒度能够超过6级,有效满足活塞销材料制作的技术要求。

2.2 对渗碳淬火工艺的优化

由于活塞销材料在渗碳淬火的过程中会发生形状和晶粒等方面的改变,为了能够达到理想的材料性能要求,在确保原材料制作过程的技术符合质量要求的同时,也需要对材料的加工工艺进行优化,避免因渗碳淬火生成较高的残留奥氏体和大块的碳化物,影响到活塞销材料的性能和质量。结合活塞销在大功率柴油机中的实际应用要求,需要以得到理想的渗层组织为主要目标,结合实际应用的低碳合金钢材料特性,对渗碳淬火工艺的方

法和参数进行优化。

2.2.1 渗碳后重新加热淬火和增加高温回火工序

碳化物和奥氏体含量的增加,会对活塞销的材料性能产生一定的影响。因而渗碳后重新加热淬火的方式,能够以细化晶粒的原理来消除大块的碳化物,并降低材料渗层组织中残留的奥氏体含量。但由于这种方法对高合金元素具有一定的限制,结合高合金材料的性能和特点,可以选择在渗碳重新加热淬火后,再增加一道高温回火的工序,将高温回火的温度控制在650℃左右。在这个回火加热的过程中,高合金材料渗层中的残留奥氏体虽然会分解出碳化物,但在温度下降冷却之后,又可以将这些碳化物转变为马氏体,因而能够达到降低材料中残留奥氏体的作用,也不会产生增加碳化物的问题。在对高合金材料进行加工的过程中,可以通过多次应用高温回火工序的方式,将残留奥氏体转化为马氏体,以此来满足材料的加工要求。例如,6MnCr5钢的合金含量较低,一般采用渗碳空冷后重新加热淬火的方法就可以满足加工的需要;18CrNiMoS7钢需要在渗碳空冷后增加一次高温回火;18Cr2Ni4WA钢由于合金元素的含量较高,一般需要在渗碳空冷之后增加三次高温回火。

2.2.2 合理选择渗碳淬火工艺参数

渗碳淬火工艺参数的大小,会通过渗碳加工过程中温度和环境的改变而影响到渗碳淬火的加工效果。合理选择渗碳淬火工艺参数,一般包括以下几个方面的内容。首先,渗碳温度和气氛碳势会对加工过程产生一定的影响。渗碳温度的变化情况与融入奥氏体含量中的碳量大小有着重要的联系。当温度或碳势过高时,大量的残留奥氏体很可能会形成大块的碳化物,进而影响到活塞销材料的性能和质量。因而在实际加工中,需要依据材料来选择合适的渗碳温度,并通过对气氛碳势的合理控制,将材料渗层的含碳量控制在合理的范围之内。基于活塞销材料的使用要求,一般情况下,6MnCr5和18CrNiMoS7钢的温度在920℃以下,18Cr2Ni4WA钢的温度在930℃以下,在完成加工后,材料的渗层含碳量要小于0.85%。其次,通过降低淬火温度的方式,能够对奥氏体中的合金元素含量进行有效的控制,从而达到降低材料渗层中残留奥氏体含量的目的。再次,在对渗碳淬火工艺参数进行选择时,还需要能够确保淬火液的冷却能力能够达到标准。在渗碳淬火过程中,如果淬火液的温度较高,材料渗层中的奥氏体很难满足转化为马氏体的条件,就会提高材料渗层中残留奥氏体的含量。因而在实际加工中需要对淬火液的冷却能力进行合理的控制。

渗碳淬火是活塞销材料加工应用的主要工艺,结合活塞销材料在大功率柴油机中的实际应用情况,在合理选择渗碳淬火工艺参数的过程中,可以通过活塞换热的

分析计算来为工艺以及活塞销材料的优化提供更加科学的依据。

从活塞销材料的结构来看,在活塞销工作的过程中,活塞顶需要在气缸内直接与高温燃气进行接触,才能够将温度传递到整个活塞头部。活塞顶作为燃烧室的重要组成部分,同时也能够起到评定活塞热负荷的重要作用。对活塞的热负荷进行评价,一般需要依靠活塞的温度场来实现。应用活塞热边界修正方法,能够通过对比活塞温度场与机械载荷耦合的计算,来对活塞在实际工作中的疲劳强度进行判断,进而为活塞自身和加工的优化提供更为科学的依据。

在应用活塞热边界修正方法时,需要事先结合活塞销的实际加工过程,构建一个有限元计算模型。考虑到有限元计算模型得到的结果温度与实测温度必然会存在一定的差异,因而需要在得到结果温度之后,标定有限元计算模型中的温度场,并对相关的传热系数进行优化,以便能够为实际的活塞销加工流程优化提供一定的建议。考虑到实际情况下活塞销材料应用的复杂性,在标定模型温度场的过程中,需要以了解活塞工作过程中的对流变化规律为主要目标,保证最后结果的准确性和可靠性。由于模型不同位置的传热系数是变化的,因而难以对模型中的所有传热系数进行优化。基于这一前提,在对活塞销的传热系数进行分析和优化时,可以选择活塞顶、内冷却腔、外冷却腔以及冷却管等部位的对流换热系数作为主要的优化对象,并依据传热系数的优化流程来对模型中相关的数值信息进行计算,如图所示。

从图中可以看出,在实际对传热系数进行优化的过程中,最为重要的流程就是测点坐标的温度计算值提取。在依据活塞销材料结构和优化方案来划分网格后,将测点位置投影到平面上,在将投影点连接之后可以形成一个三角形。在确定投影点到平面投影点的距离之后,以函数的方式计算出投影点的温度,能够得到该部位最佳的传热系数值。

该计算过程中应用的函数为:

$$Err = \sum_i T_{test}^i \left(\frac{T_{test}^i - T_{cal}^i}{T_{test}^i} \right)^2$$

其中, T_{test}^i 为实测点温度, T_{cal}^i 为计算温度。

在得到计算结果之后,就可以选择合适的方法对活塞热边界进行优化。结合以往对活塞销材料的生产加

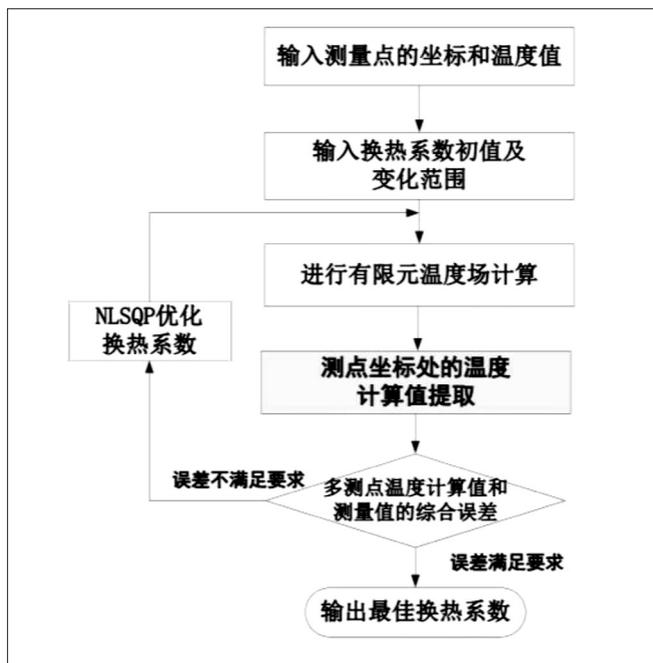


图 传热系数优化流程图

工经验来看,在活塞温度场的测试中,能够应用的方法包括易熔合金测温法、硬度塞测温法、示温涂料测温法以及热电偶测温法,不同的测温法应用原理不同,实际的应用优势和弊端也不同。

3 结语

综上所述,活塞销原材料质量的选择以及加工工艺的优化,都会对活塞销在大功率柴油机中的应用性能产生一定的影响。要想减少活塞销在实际应用中存在的损耗问题,不仅需要对比活塞销的原材料质量进行优化控制,还需要以保证整个加工过程的稳定性为主要目标,让活塞销能够达到更优质的性能标准,不断提高活塞销性能的稳定性和应用需求。

参考文献:

[1] 龚军振,李世永,等. 柴油机气缸盖阀座圈加工工艺优化研究[J]. 机电信息,2022(07):79-82.
 [2] 张银生,余浩,等. 排气歧管连接颈外圆及内孔加工刀具优化及工艺改进[J]. 金属加工(冷加工),2022(01):63-65.
 [3] 龙国勇. 试论中速柴油机气缸盖加工工艺的制定及优化[J]. 中国设备工程,2021(13):158-159.