

装甲装备发动机气缸套/活塞环摩擦副再制造技术研究

张 平, 梁志杰, 王海军, 谭 俊, 蔡志海

(装甲兵工程学院 装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 在装甲装备发动机中, 气缸套/活塞环摩擦副的工况非常恶劣, 腐蚀磨损情况严重。论文首先对发动机气缸套/活塞环摩擦副进行了失效分析, 然后对气缸套/活塞环摩擦副的再制造技术进行了系统调研研究, 在此基础上, 提出发动机气缸套/活塞环摩擦副再制造关键技术方案, 并对发动机气缸套/活塞环摩擦副再制造进行了方案设计与试验探索。

关键词: 装甲装备; 发动机; 气缸套/活塞环; 再制造技术

中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289-(2006)05⁺-0092-04

Study on Remanufacturing technology of Cylinder Liner/Piston Ring for Armored Equipment Engine

ZHANG Ping, LIANG Zhi-jie, WANG Hai-jun, TAN Jun, CAI Zhi-hai

(Academy of Armored Force Engineering, National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing, 100072)

Abstract: The running condition of armored equipment engine's cylinder liner/piston ring was very bad. And the corrosion wear was also very serious. Firstly, the failure analysis to the cylinder liner/piston ring was done. Then the technologies of remanufacturing the cylinder liner/piston ring were systematically studied and the possibility of applying advanced surface engineering to remanufacture the friction pairs. And the remanufacturing technology of the cylinder liner/piston ring was discussed. Finally, the experimental search about the remanufacturing technology of the cylinder liner/piston ring was made preliminary.

Key word: armored equipment, engine, cylinder liner/piston ring, remanufacturing technology

0 引 言

再制造工程是正在发展中的一个新兴研究领域和新兴产业, 它是解决资源浪费、环境污染和废旧产品翻新改造的最佳方法和途径之一。再制造工程运用先进表面技术、复合表面技术等多种高新技术, 使废旧产品得以高质量的再生, 创造新的价值, 是符合国家可持续发展的一项系统工程。

发动机再制造在国外已经有 50 多年的历史, 从技术标准、生产工艺、加工设备、配件供应至销售和售后服务, 已形成一套完整的体系和规模。我国发动机再制造目前处于起步发展阶段, 很多项目主要集中在再制造单项技术的研究和理论研究上, 很少将先进表面工程技术应用于发动机再制造来提升再制造的产品质量。表面工程是再制造工程主要的基础技术, 先进的表面工程技术因具有优质、高效、低成本、少污染等优点, 在再制造工程中发

挥着重要作用。

目前我军在军用装甲装备发动机零部件上采用先进的表面强化技术对发动机进行再制造还处于空白状态, 如何将先进的表面工程技术引入到军用装甲装备发动机再制造领域, 提升发动机零部件的服役性能, 将能大大提高装甲装备发动机的使用寿命, 具有重要的军事意义和经济意义。

1 发动机气缸套/活塞环摩擦副服役状况

坦克发动机作为坦克的动力源泉, 对坦克的机动性起着关键作用。发动机的可靠性, 直接关系到坦克的战斗力。但是, 由于发动机一些关键零部件工作环境严酷, 造成发动机零部件过早失效报废, 严重影响了发动机的正常使用寿命。如坦克发动机中的气缸套与活塞环摩擦副, 工作磨损极为严重, 条件较为苛刻; 在工作过程中, 燃气直接作用在缸套和活塞环上; 由于燃气温度高并有一定的腐蚀性, 造成缸套内侧磨成上大下小的漏斗状; 活塞环(包括气环和油环)与缸套接触面的尖角被磨圆,

收稿日期: 2006-08-10 修回日期: 2006-09-20

作者简介: 张平 (1958-), 男 (汉), 北京人, 教授, 博士

外径变小。二者的磨损使缸套与活塞环之间不再具有气密性,造成活塞漏气、烧机油等症状。实际应用结果表明,高温腐蚀磨损使缸套/活塞环失效的主要原因。

同时在工作过程中,缸壁表面的硬微凸体在摩擦作用下还会发生断裂,形成内源磨粒。内源磨粒在摩擦副高速运动中对缸壁造成划伤,俗称“拉毛”,同时产生大量摩擦热,使金属表面软化。在正压力作用下,摩擦副会发生大面积粘连,导致成片地撕下缸套内壁的金属,并粘附到活塞环表面,造成“拉缸”。此时,发动机耗油量突增,气缸密封不严,排气量上升,发动机声音沉闷,从而严重影响发动机的动力性能和传递效率。“拉缸”是柴油机的主要故障之一,进一步发展会导致“咬死”。这种事故一旦发生,气缸套和活塞环就要报废。使得气缸套/活塞环摩擦副成为影响发动机性能最致命的一个因素;同时缸套外壁由于受到冷却水的缝隙腐蚀,到大修期后,外壁出现很多的腐蚀坑和孔洞,有的腐蚀孔洞甚至有1~2mm深,根本无法满足下一次大修期使用要求的。

2 坦克发动机气缸套/活塞环摩擦副维修现状

坦克发动机达到大修期后,发动机缸套与活塞环摩擦副磨损非常严重,特别在缸套的上止点部位,由于剧烈磨损出现非常明显的深坑,必须进行镗缸才能将磨损深坑消除。所以,一直以来坦克发动机缸套/活塞环摩擦副的修复方法是镗缸后更换更大的新活塞和新活塞环。缸套的材料为38CrMoAl,表面渗氮0.3-0.6mm。这种修复方法带来的不利是,镗缸将渗氮层切削掉,缸套的耐磨性下降,随后的磨损速率将迅速提高。也就意味着,此摩擦副的使用寿命将随着镗缸次数的增加而逐渐缩短。这使得缸套/活塞环摩擦副的使用寿命大大下降;正是由于这类局部关键零部件与发动机整体大修期的不同步,大大降低了发动机的使用寿命。而且这种修理方式,浪费极大,发动机活塞磨损不严重,但由于缸套在镗缸之后尺寸加大,使得发动机的活塞全部报废,造成了极大的浪费。

从上面分析可知,目前气缸套/活塞环大修模式存在的两大主要弊端在于:①气缸套/活塞环采用常规大修技术修理,不能充分发挥其使用潜力,限制

了气缸套/活塞环的使用寿命。②旧发动机部件未能充分利用,浪费严重。因此,解决发动机缸套/活塞环摩擦副的维修问题,延长发动机使用寿命,成为装甲兵保障、维修的一个迫切问题。

3 装甲装备发动机气缸套/活塞环摩擦副再制造技术研究

通过对坦克发动机气缸套/活塞环摩擦副服役工况与维修状况的充分调研,在发动机气缸套/活塞环摩擦副的维修中引入再制造理念,充分发挥先进表面工程技术的优势,使再制造后的气缸套/活塞环摩擦副的性能得到极大提升。通过系统地考虑发动机气缸套/活塞环摩擦副失效特点,气缸套/活塞环摩擦副的再制造形式可以分为两种:一是完全按标准尺寸恢复气缸套/活塞环摩擦副,再制造后完全达到新品的尺寸要求。二是将气缸套尺寸加大,配加大的活塞和活塞环,采用表面工程技术对气缸套和活塞环表面进行强化处理,提高其使用寿命。下面以59坦克发动机缸套/活塞环摩擦副为例,按照这两种形式分别进行了再制造方案设计以及初步的试验探索。

3.1 标准尺寸气缸套/活塞环摩擦副的再制造设计

(1) 缸套等离子内孔喷涂技术

等离子内孔喷涂技术是近年来发展的一项新技术,它吸取了超音速等离子喷涂的优点,在喷涂过程中,喷涂粉末速度快,涂层结合力强,可满足缸套内壁磨损修复的需求。

等离子内孔喷涂技术可以很方便的实现发动机缸套内壁磨损尺寸的修复问题,采用内孔喷涂的优点有:①恢复零件尺寸,实现对多次修复;②强化气缸套内壁;③在涂层中添加自润滑相,减小摩擦系数;这种技术使缸套内壁磨损的尺寸恢复方法得到了很好的解决。由于喷涂材料的飞速发展,可供选择的喷涂材料有:加钼的镍铬/碳化铬涂层或氧化铬涂层、碳化钨涂层、加钼的镍铬硼硅涂层等,给发动机缸套内壁强化提供了可能。目前,等离子内孔喷涂技术主要需要克服的技术难题是解决涂层的结合力问题,同时还需要进一步提高涂层的抗高温腐蚀、高温氧化性能。

(2) 旧缸套外壁等离子喷涂恢复尺寸

坦克发动机工作到大修期限后,缸套外壁腐蚀非常严重,出现很多的腐蚀坑和孔洞,如图1所示,

这些腐蚀深坑若不进行处理,是不可能满足下一次大修期使用要求的;否则,缸套外壁的这些腐蚀孔洞在冷却水穴蚀的作用下,将很快将缸套腐蚀孔洞扩大,最后使缸套失效。在各项表面工程技术筛选的基础上,采用超音速等离子喷涂技术在缸套外壁



图 1 发动机工作 500 h 后缸套外壁腐蚀状态

Fig.1 Corruption condition of cylinder liner after fifty hours

喷涂具有防腐性能的涂层,技术要求达到以下两点:①喷涂修复尺寸达到标准缸套外径的尺寸要求;②外围涂层具有良好防腐效果。喷涂后的缸套外壁表面状态如图 2 所示。



图 2 喷涂后的缸套外壁表面状态

Fig.2 The surface condition of cylinder liner after thermal spraying

(3) 气缸套/活塞环摩擦副整体选配

由于活塞磨损不是很严重,其尺寸在标准尺寸范围内,可选配合适的旧活塞与缸套相匹配;再配标准的新活塞环,这样,缸套/活塞组的再制造就全部完成了,最大限度地利用了旧的发动机部件,而且通过控制调节喷涂粉末,可以获得自润滑耐磨效果的修复层,还有利于缸套/活塞环使用寿命的提高。

3.2 加大尺寸气缸套/活塞环摩擦副的再制造设计

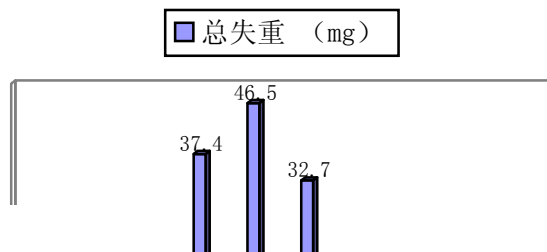
我们知道气缸套镗缸后会把缸套渗氮层切削掉,缸套的耐磨性下降,随后的磨损速率将迅速提高。也就意味着,此摩擦副的使用寿命将随着镗缸次数的增加而逐渐缩短。因此,如何在气缸套镗缸后渗氮层减薄的情况下,避免气缸套/活塞环使用寿命的降低,成为焦点难题。

(1) 气缸套/活塞环摩擦副的匹配性提升

我军坦克发动机气缸套/活塞环摩擦副的表面处理技术基本上沿用了 50 年代苏联的工艺技术,气缸套表面渗氮,活塞环采用镀 Cr 处理;事实上减轻摩擦副的摩擦磨损最有效的方法是提高摩擦副间的匹配性。在发动机摩擦副之间产生严重磨损的最主要原因是由于以往在设计发动机摩擦副时,摩擦副表面的处理工艺完全依据经验来确定,对于摩擦副之间的摩擦学性能匹配根本没有进行试验研究,这也成为影响气缸套/活塞环摩擦副使用寿命的一个关键问题。近年来随着表面处理技术的发

展,采用各种表面改性技术进行强化处理发动机缸套与活塞环的选择范围也大大拓宽,使缸套/活塞环摩擦副表面涂层材料之间的匹配性能有了很大的改善余地。我们以 59 坦克发动机缸套/活塞环为对象,59 坦克发动机缸套材料为 38CrMoAl 钢,活塞气环材料为 65Mn,对缸套和活塞环分别采用不同的表面处理工艺,其中缸套采用 10 种工艺强化,活塞环采用 8 种工艺强化,样品处理完毕后采用 M200 摩擦磨损试验机进行抗磨损试验,试验条件:实验时间 4 h,油润滑、载荷 600 N。然后测量摩擦副的总失重进行比较各不同工艺处理的摩擦副抗磨损性能,结果见图 4。从图可知,原始处理工艺(缸套渗氮/活塞环镀 Cr)的摩擦副样品总失重为 46.5 mg。缸套渗氮+激光淬火/气环渗硫摩擦副样品的失重是 8.0 mg,气环镀 CrTiAlN/激光淬火+渗硫摩擦副样品的失重是 6.5 mg。可知气环镀 CrTiAlN/激光淬火+渗硫摩擦副抗磨损性能是原始处理工艺摩擦副的 6 倍左右。

从中可以发现,不同的表面处理工艺对摩擦副的匹配效果影响很大,摩擦副匹配性能好的能使摩擦副的抗磨损性能提高 6 倍以上,这表明通过改善气缸套/活塞环的表面处理工艺,将能大大提高摩擦副的使用寿命;因此,气缸套镗缸后只有通过改善气缸套/活塞环表面处理工艺,提高摩擦副的匹配性能,才能满足坦克发动机使用的要求。



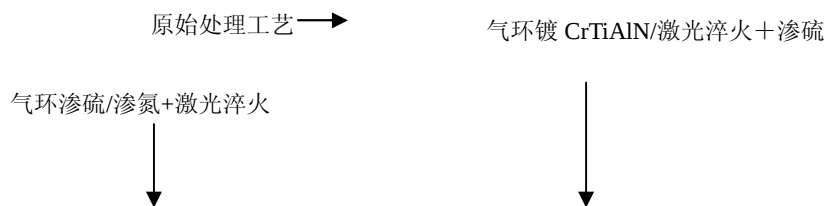


图4 不同工艺处理的59发动机缸套/活塞环摩擦副抗磨损性能比较图

Fig.4 Abrasion performance of cylinder liner/piston ring dealt with different technology

(2) 旧缸套内壁强化处理技术研究

旧缸套内壁再制造技术处理发动机工作一个大修期后缸套内壁磨损非常严重,由于燃气温度高并有一定的腐蚀性,造成缸套内侧磨成上大下小的漏斗状;因此,首先对缸套进行镗孔、珩磨,然后将经过实验室筛选后的再制造工艺加以应用,首先对缸套进行激光网格化硬化处理,然后对缸套进行真空低温渗硫技术处理,完成缸套内壁的再制造,再制造后的缸套内径加大20道,需配加大20道活塞。

(3) 旧活塞再制造技术研究

发动机工作一个大修期后活塞裙部有一定的磨损,拆解后的活塞明显有大片的磨痕出现,外围尺寸明显小于标准尺寸;采用等离子喷涂技术喷涂与铝基体结合效果良好的铝基合金粉末,活塞外涂层结合性能好,涂层质量高。喷涂后,活塞外表面加工成原来的双曲线形状。活塞的喷涂层加工完后,接着进行表面磷化处理,然后再进行喷超润滑石墨处理,最后再对活塞顶部进行阳极氧化处理。再制造后的的活塞尺寸加大20道,刚好与加大20道缸套配套。

(4) 活塞环再制造强化技术研究

发动机工作500h后,所有镀Cr活塞环磨损都非常严重,不能满足再次使用的要求。目前,最先进的活塞环表面处理技术主要集中在真空镀膜领域;在前面缸套/活塞环摩擦副匹配试验的基础上,筛选出优化的强化处理技术,对气环表面进行镀非晶碳膜、CrN薄膜、AlCrSiN薄膜与CrTiAlN多层复合膜等技术处理,兼顾强化与润滑。活塞环尺寸比标准加大20道,配加大20道的缸套。

通过上面分析和试验研究结果可以看出,加大尺寸气缸套/活塞环摩擦副的再制造以提高气缸套/活塞环摩擦副的匹配性为主线,设计气缸套/活塞环

摩擦副的再制造方案,最大限度地将缸套、活塞等价值高的部件充分利用,达到了节约资源和提高气缸套/活塞环摩擦副服役寿命的目的。

4 结 论

气缸套/活塞环摩擦副是坦克发动机最关键的摩擦副之一,气缸套/活塞环摩擦副的使用寿命将直接决定坦克发动机整体的使用寿命,对气缸套/活塞环摩擦副进行再制造技术研究,具有重要的军事意义。论文综合采用了等离子喷涂、摩擦副优化匹配试验、真空镀技术、表面润滑处理、激光硬化等先进的表面工程技术,对缸套/活塞环进行再制造关键技术的试验探索,取得了明显的效果;气缸套/活塞环摩擦副再制造关键技术的研究成功,将是坦克发动机再制造成功与否的关键。因此,采用综合先进的再制造技术对缸套/活塞环进行再制造,将具有很广阔的应用前景和重大的军事、经济意义。

参考文献:

- [1] 徐滨士,马世宁,刘世参,等. 21世纪的再制造工程[J]. 中国机械工程,2000(11) 1-2:36-38.
- [2] 周虹伟,谭杰,王德志. 机车柴油机气缸内摩擦副的匹配研究. 中国铁道科学,2004(25)3: 16-20.
- [3] 王元良,陈辉,周友龙,等. 汽车结构及零件的再制造工程. 电焊机,2004(24), No.6:16-21.
- [4] 12150 柴油机编写组, 12150 柴油机. 北京: 国防工业出版社, 1974.
- [5] 刘谦,戴庆荣. 汽车发动机再制造发展现状及其关键技术[J]. 设备管理与维修, 2003, 2: 9-12.
- [6] 张世荣. 表面加工工艺对气缸套使用寿命的影响[J]. 天津工业大学学报,2003(21)4:78-80.
- [7] 王恩鸿,张绍芸. 气缸套激光热处理实验研究. 热加工工艺, 2001, 5: 29-31.