

活塞环槽镀铬层次裂纹产生原因及解决措施

曲伟东, 马 帅, 郑 炜, 冯忠杰

(玉柴船舶动力股份有限公司, 广东 珠海 519175)

摘 要: 针对活塞环槽镀铬后产生次裂纹现象, 对可能的因素如: 镀铬层厚度、磨削速度、冷却环境、磨削量、磨削工具等进行了分析。分析结果表明: 以上因素均对次裂纹的产生有影响。通过改进镀铬层厚度设计及改进工艺方案, 活塞环槽镀铬次裂纹问题得到解决。

关键词: 活塞环槽; 镀铬; 次裂纹

中图分类号: TK423.3⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2013)02-0043-03

The Reasons and Solutions for Secondary Crack of Ring Groove After Chromium Plating

Qu Weidong, Ma Shuai, Zheng Wei, Feng Zhongjie

(Yuchai Marine Power Co., Ltd., Guangdong Zhuhai 519175)

Abstract: Concerning with the secondary crack of ring groove after chromium plating, its likely causes are studied, including the thickness of chromium plating, grinding speed, cooling environment, grinding capacity and grinding instrument. The analysis results show that the above reasons all have influence on the secondary crack. Through improvement on thickness and processing technology, the crack problem has been resolved.

Keywords: ring groove; chromium plating; secondary crack

0 引 言

活塞是船舶柴油机运动件的重要组成部分, 其质量的好坏直接影响着船舶柴油机的动力性能、经济性能和排放性能。之前的柴油机由于最高燃烧压力、平均有效压力等性能指标较低, 对活塞的要求不高, 环槽不进行镀铬也可以满足使用要求。随着柴油机单缸功率的提高, 最高燃烧压力、平均有效压力等性能指标的要求逐步提高, 由此对活塞的要求越来越高, 镀铬工艺便开始逐渐应用。目前, 船用低速柴油机的活塞环槽表面基本采用镀铬, 使环槽具有较好的光滑性和耐磨性, 利于活塞环的转动, 避免咬死; 同时镀铬还可以有效防锈, 同样可

以达到避免活塞环咬死的目的^[1-2]。在生产过程中, 为保证环槽的尺寸精度和表面粗糙度, 需要对镀铬后的环槽进行磨削, 但磨削过程中镀铬层表面会出现次裂纹现象, 次裂纹会在产品后续的使用过程中变成宏观裂纹, 导致镀铬层剥落, 从而导致活塞不能正常使用, 甚至会破坏气缸套, 引起巨大损失。本文以某机型实际出现的活塞环槽次裂纹现象为例, 对镀铬层设计和磨削工艺进行研究, 分析次裂纹现象的影响因素, 制定解决措施, 以避免在磨削加工过程中出现的次裂纹现象。

1 镀硬铬的原因

镀铬的应用不仅限于活塞环槽, 在工业的方方

面面都已有应用。镀铬可大致分为六个方向^[3]：(1)防护装饰性镀铬；(2)滚镀铬；(3)镀硬铬；(4)镀松孔铬；(5)镀黑铬；(6)镀乳白铬。其中，镀硬铬又称耐磨铬，硬铬层不仅要有一定的光泽，而且要求底层的硬度高、耐磨性好并与基体结合牢固。镀硬铬是比较好的一种增加表面硬度和耐磨性的方法，其具有以下优点：表面光洁度好；不会生锈；镀铬过程中零件变形小；可对尺寸不到位的零件进行补偿，使之满足要求尺寸；表面美观。同时，镀硬铬经常用于高温条件下使用的机械和零部件。

目前，船用柴油机活塞环槽的镀铬为镀硬铬，之所以选择镀硬铬的方式，就是基于以上优点，符合活塞环槽工作的环境和性能要求。

2 镀硬铬的注意事项

硬铬镀层的厚度影响着镀铬层的硬度，所以应根据使用场合不同而异。在机械载荷较轻和一般性防护时，厚度为 10 ~ 20 μm ；在滑动载荷且压力不太大时，厚度为 20 ~ 25 μm ；在机械应力较大和抗强腐蚀作用时，厚度高达 150 ~ 300 μm ；修复零件尺寸时厚度可达 800 ~ 1 000 μm 。镀硬铬的过程中要注意以下几个方面：

(1) 欲镀零件无论材质如何，只要工件较大，均需预热处理。因为镀硬铬时间较长，镀层较厚，内应力大且硬度高，而基体金属与铬的热膨胀系数差别较大，如不预热就施镀，基体金属容易受热膨胀而产生“暴皮”现象。预热时间根据工件大小而定。

(2) 挂具用材料必须在热的铬酸溶液中不溶解，也不发生其他化学作用。夹具还应有足够的截面积，且与导电部件接触良好，否则因电流大，槽电压升高，局部过热。应按照各种材料的导电率选择夹具的截面积，常见的几种材料允许使用电流为：紫铜 3 ($\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$)，黄铜 2.53 ($\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$)，钢铁 2 ($\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$)。夹具结构应尽量采用焊接形式连接；夹具非工作部分应用聚氯乙烯塑料布或涂布耐酸胶绝缘。

(3) 装挂时应考虑便于气体的逸出，防止“气袋”形成，造成局部无镀层或镀层厚度不均。

(4) 复杂零件镀铬应采用象形阳极；圆柱形零件两端应加阴极保护，避免两端烧焦及中间镀层薄的现象；带有棱角、尖端的零件可用金属丝屏蔽。

(5) 为提高镀层的结合力，可进行反电、大电流冲击及阶梯式给电。反电时间为 0.5 ~ 3 min，阴

极电流密度为 30 ~ 40 ($\text{A} \cdot \text{dm}^{-2}$)。大电流冲击为 80 ~ 120 ($\text{A} \cdot \text{dm}^{-2}$)，时间为 1 ~ 3 min。

(6) 对于易析氢的钢铁部件，应在镀后进行除氢处理^[3]。

3 裂纹

镀铬完成后，为保证活塞环槽的完工尺寸，需对镀铬层进行磨削以保证环槽最终尺寸。在加工过程中，如果磨削工艺不当，镀铬层就会出现裂纹。出现裂纹现象，并不完全代表加工失败，需要对裂纹进行分析，再进行结果的判定。裂纹主要分为两种：一种是发丝裂纹 (hairline crack)，另一种是次裂纹 (secondary crack)^[4]。

发丝裂纹是一种杂乱无章，无序出现的裂纹。此种裂纹是允许存在的，对镀铬层的润滑，提高耐磨性具有很大的好处。但裂纹的条数应在规定的范围内，一般情况下，质量好的镀铬层每毫米有 20 ~ 25 条裂纹，每毫米 15 条或少于 15 条的铬层是不可接受的^[4]。图 1 为发丝裂纹的示意图^[4]。

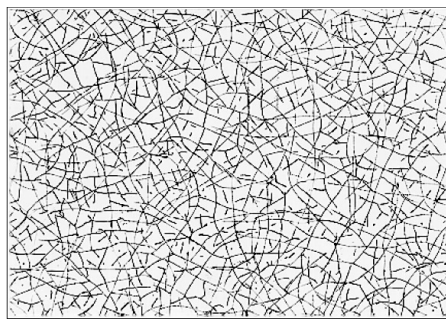


图 1 发丝裂纹示意图 (放大 200 倍)

次裂纹是一种有规则的裂纹，显示的是一个不规则的镀铬过程。此种裂纹严重影响镀铬层的质量，不允许在生产中出现。在活塞环槽使用一段时间后，次裂纹逐渐发展，直至剥落，使活塞环槽失效，造成较为严重的后果。次裂纹的示意图^[4]见图 2，次裂纹实图见图 3。

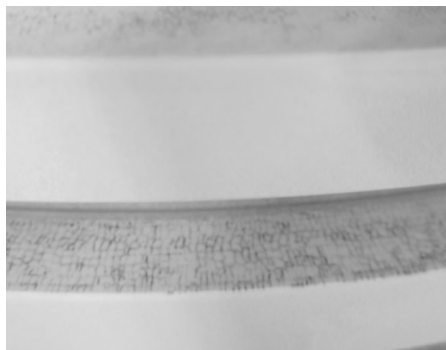


图 2 次裂纹示意图 (放大 100 倍)

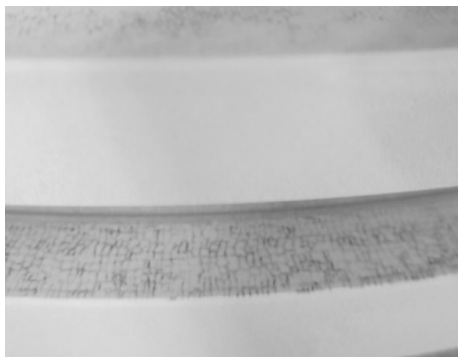


图3 次裂纹实图

图3为某机型活塞环槽在实际生产中出现的次裂纹现象,通过PT探伤后肉眼可以看出,活塞环槽的次裂纹非常清晰且有规则,生产中的产品如果出现此情况,必须进行返修,重新镀铬和磨削,直到次裂纹消除。

4 影响因素分析及解决措施

镀铬层磨削后的表面质量主要受几个方面因素影响:一是镀铬层厚度;二是磨削速度 V_s ;三是冷却环境;四是磨削量;五是磨削工具。为更好地分析各因素对产生次裂纹的影响,下面对各个因素逐一进行分析。

(1) 镀铬层厚度:镀铬层的厚度对磨削后的镀铬层表面质量具有较大影响。镀铬层厚度较大时,需要磨削掉更多的材料,使得磨削过程中产生的热量加大,不利于冷却和湿润,进而影响磨削后的表面质量。因此在活塞环槽的设计中,在保证性能的前提下,减小了镀铬层厚度值。

(2) 磨削速度 V_s :磨削加工中,磨削工具的线速度大小直接影响着加工零件的表面质量。线速度高时,既可提高加工效率,又可提高工件表面质量。线速度低时,会使磨削工具振动加剧,影响表面加工质量。

(3) 冷却环境:冷却是机加工中重要的环节,冷却不佳不仅使加工表面的质量得不到保证,而且对刀具、磨具也会产生不利影响,甚至破坏加工工具。但过快的冷却使得铬层表面瞬时温度变化过大,也会引起次级裂纹的产生,因此良好的冷却环境对加工至关重要^[6]。针对出现次裂纹的情况,在原冷却液流量的基础上,稍加大流量,并调整冷却液的喷射角度,使冷却液与铬层磨削面充分接触。

(4) 磨削量:磨削量对磨削温度影响极大。加大横向进给量对减轻烧伤有利,但增大横向进给量会导致工件表面粗糙度值变大,可采用较宽的砂轮

来弥补;加大工件的回转速度,磨削表面的温度升高,但其增长速度与磨削量的影响相比小得多^[5]。从减轻烧伤但同时又尽可能地保持较高的生产率考虑,在选择磨削量时,应选用较大的工件回转速度和较小的磨削深度。磨削量大时,会在表面短时间内积聚较多热量,使冷却液效果不佳,且使表面粗糙度加大,光洁度不好,因此在出现次裂纹的情况下,需改进磨削工艺,减小磨削量。

(5) 磨削工具:在磨削过程中,磨削工具对铬层的质量起至关重要的作用,为了解决在磨削过程中产生大量热量导致铬层冷却不充分而产生次级裂纹的问题,需对磨削工具进行改进。砂轮的特性受到磨料、粒度、粘合剂和形状尺寸等影响^[5-6],从形状设计上,可采用带冷却槽的砂轮进行磨削,可使冷却液更好地与铬层接触,使冷却效果更佳,有利于防止次级裂纹的产生。对于粘合剂的选择,则采用新型粘合剂,降低粘合剂的附着力,当磨削产生的切削力大于铬层硬度所能承受的力,同时也超出粘合剂的附着力时,工具上的磨粒脱落,对铬层起到保护作用。磨料和粒度大小对磨削质量的影响也很大,硬铬层属于硬材料,因此选择磨料粒度时应尽可能小,这样才可以保证加工时有较好的工件表面质量。

除以上几个方面,砂轮的修整也至关重要。砂轮使用过程中会出现磨损,自锐性有限,如不及时修整,就会引起振动,导致工件粗糙度增大,产生裂纹。常用的修整工具为单颗粒金刚石。

通过以上诸多影响因素的分析表明,为解决磨削加工过程中出现的次裂纹现象,需要改进设计和加工工艺,即减小镀铬层厚度、提高线速度、减小磨削量、加压以增加冷却液流量、使用开式砂轮、减小磨料颗粒。按照新的磨削工艺和厚度设计,生产的活塞环槽如图4所示。

从图4可以看出,相比于图3的活塞环槽,新工艺生产的活塞环槽的次裂纹现象已经消除,PT检查,产品完全合格,满足技术要求,从而证明该工艺和方法的改善对消除次裂纹现象是有效的。

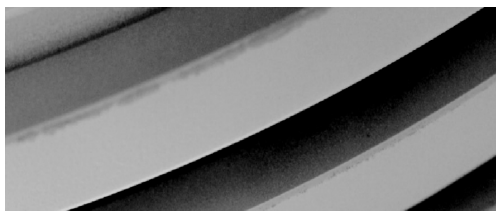


图4 改进后活塞环槽图

快毛坯升温速度、缩短毛坯加热时间。在 10 min 保温后快速出炉精锻，从而减少表面氧化皮，确保五个凹槽的表面质量。

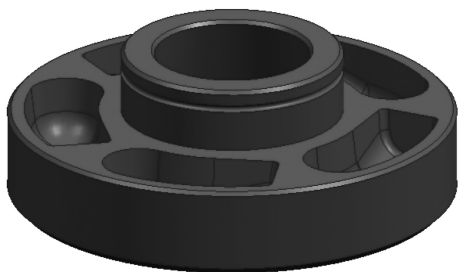


图 1

(2) 为了减少金属流动性阻力，在下模对应五个凹槽的上模处，开一个环槽(图 2)，使成形时参与变形的金属有将近 45% 流入环槽，减少成形阻力，并减少了下模的弯曲应力，延长了下模的使用寿命。

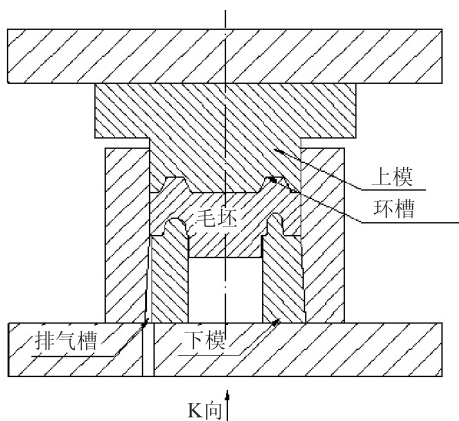


图 2

(3) 为了避免在精锻过程中，封闭的模腔内形成高温高压气体，采取在五个凹槽对应的下模上等分开五个排气槽(图 2、图 3)，进一步降低精锻时所需压机吨位，采用 300 t 摩擦压力机即可实现精锻所需锻造比，确保了精锻件的机械性能。

(4) 环槽处填充的金属及排气槽处流入的少量毛边，可通过稍后精锻件的简单车削加工予以去除。

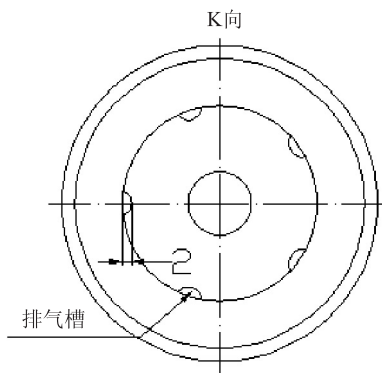


图 3

4 结 论

通过对 20/27 转阀体精锻件加工工艺及模具设计的改进，成功实现转阀体精锻件的试生产和批量生产。批量生产结果表明，产品质量稳定，模具寿命延长，生产成本大幅下降，从而解决了转阀体精锻件国产化批量生产的难题。

参考文献

[1] 中国机械工程学会塑性工程学会. 锻压手册. 第三版 [M]. 北京:机械工业出版社,2008.

(上接第 45 页)

5 结 论

通过改进工艺方案及镀铬层厚度设计，活塞环槽的质量全部合格，满足要求，成功解决了活塞环槽镀铬层生产不合格的问题。

参考文献

[1] 罗裕耀. 船用低速重型柴油机活塞头环槽镀硬铬工作

[J]. 上海电镀,1993(4).

[2] 罗时英. 内燃机的活塞头镀铬[J]. 材料保护,2001(8).

[3] 胡如南,陈松祺. 实用镀铬技术[M]. 北京:国防工业出版社,2005.

[4] Scherrer. Quality and test specification for chromium-plating of piston ring grooves[M]. 1997.

[5] 王先逵. 磨削加工[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

[6] 彭磊. 影响模具零件表面质量的因素及改善措施[R]. 重庆工业职业技术学院.