

某型柴油机连杆工艺改进研究

侯政良¹, 白 龙², 王东军¹

(1. 海军装备部, 山西 大同 037036; 2. 北方通用动力集团, 山西 大同 037036)

摘 要: 针对某型柴油机连杆断裂故障, 对连杆小端油孔抗疲劳加工和表面喷丸强化残余应力控制技术进行了研究, 并根据研究结果对传统加工工艺进行了改进。工艺改进后的现场试验和小批量试制验证表明: 采用新工艺加工的连杆其残余应力控制在合理范围。

关键词: 连杆; 加工工艺; 残余应力; 小端油孔

中图分类号: TK423.3⁺2; TK426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)04-0047-03

Machining Technic Improvement of a Certain Diesel Engine's Connecting Rod

Hou Zhengliang¹, Bai Long², Wang Dongjun¹

(1. Naval Equipment Department, Shanxi Datong 037036;
2. North General Power Group Co., Ltd., Shanxi Datong 037036)

Abstract: Aimed at the fracture of a certain diesel's connecting rod, research was carried out on the fatigue machining of small-end lubricating holes and residual stress controlling technology of surface shot-blast treatment. Based on the research results, the traditional machining technic was improved. The field test and small batch trial production verified that the residual stress of the connecting rod produced with new machining technic was controlled within the reasonable range.

Keywords: connecting rod; machining technic; residual stress; small-end lubricating hole

0 引 言

某型柴油机在半年内发生两起连杆断裂事故, 断裂处均在连杆小端。经排查发现: 该型柴油机连杆(图 1)主要存在两个问题: 一是连杆小端油孔锥面表面粗糙度差, 应力存在缺陷; 二是连杆喷丸表面检测虽然符合 Almen 试片弧高值要求, 但表面形貌较为粗糙, 表面残余应力数值较为分散。这暴露出该型柴油机在国产化引进过程中对工艺理解不够深入, 产品未能满足引进产品图样和技术标准要求。

新国产化连杆工艺改进方案是在参考借鉴原工艺及国外工艺方案基础上, 通过开展连杆小端油孔抗疲劳加工和表面喷丸强化残余应力控制技术研

究, 并进行充分的现场试验和小批量试制验证的前提下设计完成的。

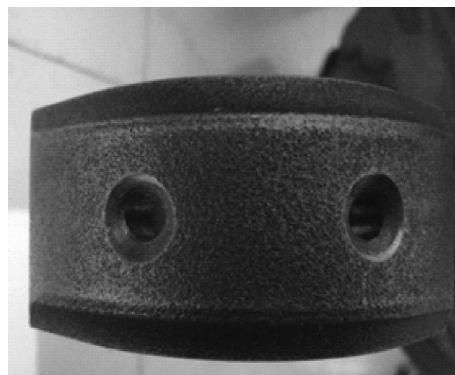


图 1 旧工艺生产出的连杆

收稿日期: 2013-12-12

作者简介: 侯政良(1987-), 男, 助理工程师, 主要研究方向为柴油机制造技术, E-mail: hzlspring@163.com。

1 油孔加工工艺技术研究

1.1 油孔锥面残余应力数值确定

国外连杆产品图样和技术标准并未规定油孔锥面残余应力，因此从进口连杆中随机抽取了 10 件连杆，经油孔锥面径向残余应力检验，油孔锥面径向残余应力在-157 ~ -439 MPa 范围。为严格控制连杆油孔质量，将油孔径向/环向残余应力数值确定在-160 ~ -430 MPa 较严格的范围内。

1.2 切削刀具选择及试验验证

该型柴油机连杆油孔由于材料、结构和精度的特殊要求，导致切削性能较差。材料方面：该连杆所选材料牌号为 34CrNiMo6，淬火硬度为 32-41HRC，属于高强中硬高粘性难加工材料；结构方面：油孔锥面与小端圆弧相贯，并与直油孔通过 R2 圆弧过渡，属于断屑难排屑切削结构；精度方面：油孔锥面及 R2 圆弧要求无痕过渡，表面粗糙度为 Ra1.6，属于复合高精度加工。因此，针对连杆油孔材料、结构和精度的要求，以保证实现产品图样要求为前提，在尽可能考虑经济性的基础上，选择了 120°/R2 高速钢铤钻(旧工艺刀具)、120°/R2 普通硬质合金钢铤钻、120°/R2 超细晶粒硬质合金复合铤钻三种刀具，用于切削试验。

在喷丸后的 10 件试验用连杆上，分别对上述三种刀具进行刀具切削试验，验证三种刀具加工的油孔的尺寸和表面精度，见表 1。

从刀具切削试验结果可以看出，120°/R2 超细晶粒硬质合金复合铤钻能稳定地保证油孔锥面及圆弧 R2 质量，并具有很好的耐磨性。因此，将 120°/R2 超细晶粒硬质合金复合铤钻作为油孔锥面加工的首选刀具。

表 1 刀具切削试验结果

刀具	高速钢铤钻 (旧工艺刀具)	普通硬质 合金铤钻	超细晶粒硬质 合金复合铤钻
表面 粗糙度	表面有棱度	油孔锥面 有环状刀痕	较好
圆弧R2 ₀ ⁺¹	R2.2 ~ R4	R2.2 ~ R2.6	R2.2 ~ 2.3
刀具状态	磨损和崩刃	有轻微磨损	完好，无任何磨损

1.3 油孔锥面抗疲劳加工技术研究

油孔锥面表面加工质量、加工形变层深度及残余应力等因素都会影响连杆油孔表面疲劳性能，在保证表面加工质量的前提下，加工形变层直接影响锥面残余应力。通常形变层可通过滚压、喷丸等方式形成，但由于受油孔锥面与 R2 的半封闭特殊结构所限，滚压及喷丸方式难以形成均匀的形变层和稳定的压应力。为此，根据修光切削原理，通过对刀具切削刃进行特殊处理的方法，设计了采用 120°/R2 超细晶粒硬质合金复合铤钻进行锥面成形与形变强化复合切削三种试验方案。检验位置及检验数据见图 2 及表 2。

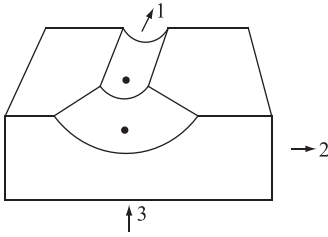


图 2 检验位置图

从表中可以看出，方案一油孔锥面多呈拉应力；方案二均呈压应力，数值不稳定；方案三均呈压应力，数值稳定在中限范围。最终确定试验方案三为油孔抗疲劳加工工艺改进方案。

表 2 检验数据表

方案编号	试验方案	检验位置	应力值/MPa	
			锥面径向	锥面环向
一	刀具正转 S2000、F80	直线孔 1	+405	+131
		直线孔 2	+204	-70
二	刀具正转 S2000、F0.1，向下切 0.5，停顿 2 s 起刀	直线孔 1	-307	-126
		直线孔 2	-413	-126
		直线孔 3	-316	-332
三	刀具正转 S2000、F80，停顿 2 s 起刀 1 mm，向下切削 0.4，停顿 2s 起刀	直线孔 1	-297	-359
		直线孔 2	-351	-310
		直线孔 3	-366	-309

2 喷丸强化工艺技术研究

2.1 喷丸表面残余应力数值确定

进口连杆产品图样和技术标准未规定喷丸表面残

余应力，从采购的进口连杆中随机抽取了 10 件连杆，进行油孔喷丸表面残余应力检验，检验部位如图 3。

经检验，10 件连杆喷丸表面残余应力在-354 ~ -621 MPa 范围。为严格控制新国产化连杆喷丸

表面残余应力，将数值确定为-360 ~ -600 MPa 较严格的范围内。

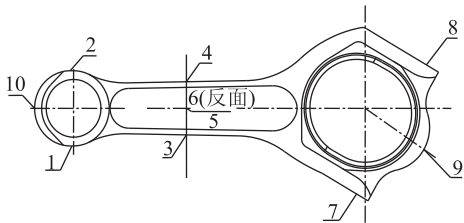


图 3 喷丸表面残余应力检验位置图

2.2 表面喷丸强化工艺技术研究

喷丸介质、喷丸流量、喷丸时间、喷射角度等是影响喷丸表面形貌和残余应力的主要因素，在喷丸介质确定的情况下，喷丸流量、喷丸时间直接影

响喷丸表面形貌和残余应力。为此，设计了三种利用 Alman 试片弧高值(0.5 ~ 0.6mm)、表面残余应力(-360 ~ -600 MPa)及表面形貌作为判据的喷丸流量、喷丸时间试验方案。试验设备选用现有连杆生产线喷丸机，喷丸介质选用 MTV5037 标准规定的直径为 1.0 mm 的铸钢丸，每种方案用 Alman 试片 4 片。试验情况见表 3。

从表 3 中可以看出，前两个试片弧高值不合格，因此未对上述两方案连杆检验应力；方案三试片弧高值和表面残余应力值都符合规定要求，且应力值与进口连杆非常接近，表面形貌细腻、均匀。因此，确定试验方案三为表面喷丸强化工艺更改方案。

表 3 喷丸试验结果

方案编号	试验方案	检验位置	应力值/MPa	弧高值/mm
一	喷丸流量 40 (kg·min ⁻¹)，时间 4 min	/	/	0.7
二	喷丸流量 30 (kg·min ⁻¹)，时间 4 min	/	/	0.48 ~ 0.56
三	喷丸流量 32 (kg·min ⁻¹)，时间 8 min	1	-512	0.51 ~ 0.53
		2	-493	
		3	-433	
		4	-533	
		5	-480	
		6	-515	
		7	-493	
		8	-457	
		9	-510	
		10	-460	

3 工艺改进方案试制

为了验证新连杆工艺的正确性和可行性，尤其是油孔锥面和喷丸表面残余应力按工艺更改后的加工控制效果，在连杆生产线设备上进行了工艺试验和小批量工艺试制。对加工至成品的 18 件连杆(如图 4)进行了与产品图样和技术标准要求的检验，除 4 件小端重量超重几克，2 件垂直度超差 0.01 ~ 0.02 外，其余 12 件全部合格；同时，对加工至成品的 18 件连杆进行了油孔和喷丸表面残余应力检验，油孔残余应力为-192 ~ -258 MPa，喷丸表面残余应力为-380 ~ -569 MPa，全部在合格范围内。

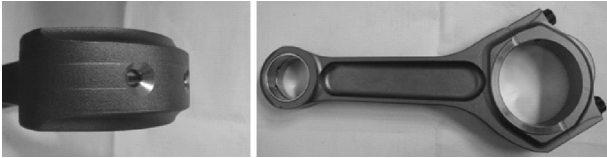


图 4 新工艺试制出的合格连杆

该型柴油机工艺改进的重点是油孔锥面和喷丸表面残余应力控制，国外柴油机行业均未规定连杆油孔及喷丸表面残余应力，在国内柴油机制造领域亦无成熟技术可以借鉴，因此，连杆油孔锥面及喷丸表面残余应力控制在理想的压应力数值范围内具有一定的工艺技术风险。为规避上述风险，除了小批量加工试验验证外，还进行了连杆疲劳试验和1 000 h可靠性台架考核试验，试验考核结果理想。

4 结束语

连杆作为柴油机的关键零部件之一，其工作条件非常恶劣，尤其在柴油机运转过程中承受高频的拉压交变应力，一旦发生故障后果极为严重。因此准确确定残余应力数值的范围，采取最佳的加工工艺方案，选择合适的加工设备，生产出高质量连杆值得深入研究。