

抛丸后工件表面残留水印问题的解决

张政¹, 张弛²

1. 柳州五菱汽车工业有限公司 广西柳州 545007

2. 上汽通用五菱汽车股份有限公司 广西柳州 545007

摘要: 在对CVT无级变速器带轮及带轮轴产品进行表面抛丸清理后,发现一些工件表面残留有少量水印痕,经采取改善抛丸前工件表面质量,修改工艺参数,更改工装,以及更换丸粒等措施后,状态有所改善,但未能彻底解决,通过延长抛丸时间可以去除表面水印,但生产节拍不能满足要求,最后通过更换抛头电动机方式解决。

关键词: 带轮及轴;抛丸清理;残留水印;原因分析;工艺验证

目前,吊钩抛丸清理技术是最常用的经济、可靠的表面处理方法。柳州五菱汽车工业有限公司为对某CVT无级变速器带轮及带轮轴产品进行表面抛丸清理,新购入一台吊钩式抛丸清理机用于该工序。

1 产品状态及抛丸要求

用于抛丸的产品是CVT无级变速器主动、从动带轮及带轮轴,工件材料为20CrMoH钢(GB/T 5216—2014),工件硬度为58~64HRC。上机前状态已经渗碳淬火、回火,带轮轴中心孔残留少量淬火油。

抛丸后要求:表面洁净、色泽均匀一致、无损

伤,不允许有油斑、水迹和氧化皮,中心孔无钢丸残留,抛丸表面覆盖率 $\geq 98\%$ 。节拍要求:35s/件(两班制,10.5h/班,300天/年)。

2 抛丸设备信息

设备型号为吊钩式抛丸清理机SHBX-III-AL,设备技术参数见表1。

3 设备主要特点

1) 吊钩公转、自转装置为摩擦盘式,两工位180°回转,带3点停止功能,最大吊重100kg/钩。

2) 抛丸清理机上料区敞开,其中一个工位在进行抛丸清理时,另一工位可人工进行工件装卸。

5 结束语

通过工艺试验和产品验证试验,采用气体渗氮的方式,不锈钢渗氮裂纹是可以避免的。通过采用缩短强渗时间的方式,适当降低表面氮浓度,可降低裂纹产生的风险。对于存在齿面、尖边、曲率半径小的渗氮零件,需要特别注意渗氮裂纹的风险。对渗氮层深度要求很浅(如深度要求0.1mm左右)的零件,强渗时间缩短是较好的选择。

参考文献:

- [1] 《航空制造工程手册》总编委会.航空制造工程手册[M].北京:航空工业出版社,1993.

产生裂纹的主要原因是由于Cr含量高,渗氮后高含量的CrN组织增加了渗层脆性,同时增加了畸变应力。强渗导致零件表面氮浓度高,过饱和的合金渗氮物明显增加了渗层的脆性,当零件渗氮面曲率半径小,或存在齿边、尖边时,脆性大的渗氮层会出现明显的脱落和裂纹。强渗阶段是N原子快速与合金元素结合的过程,强渗时间太长,会明显提高零件脆性。试验3表明,适当缩短强渗时间可降低氮浓度,降低渗氮层脆性,渗氮层的脱落和裂纹倾向将大大减弱。

表1 设备主要技术参数

项目	项目内容	设备参数	备注
主要规格	抛丸器Y-30	2×7.5kW×4P	变频电动机
	制品处理范围/mm	φ700×1000	
	钢丸	φ0.6mm 不锈钢丸	45~52HRC
	吊钩最大吊重/kg	100	含工装
	功率/kW	22	
工作台	吊钩公转转速/r·min ⁻¹	约3.2	
	吊钩公转转台电动机	0.4kW×4P	带3点停止功能
	吊钩自转转速/r·min ⁻¹	约14	
	吊钩自转转台电动机	0.2kW×4P	减速机

3) 抛丸室内采用高耐磨性硬保护：弹丸直射部位采用高锰钢耐磨护板（SMn80）及铸Cr15，内侧采用耐磨橡胶护板，可有效地防止弹丸对室壳的磨损。

4) 结构紧凑，密封性好，运行噪声低，适用于批量生产。

4 设备存在问题描述

工件在经过抛丸清理后，从动带轮内腔外壁及锥面无锈迹、水印，但每挂处于上层的工件有3~4件液压缸壁底侧存在1~4处浅色水印；另有部分主动带轮轴大端深孔内，用灯光照射检查发现有水印痕。延长抛丸时间至1800s，能去除水印，但延长抛丸时间后，生产节拍不能满足原设定的要求。

抛丸清理后有水印的工件如图1、图2所示。



图1 从动轮产品残留水印



图2 主轴产品深孔内有印痕

目前，客户对产品表面质量的要求越来越严格，产品出现肉眼可见的外观质量缺陷将被拒收，并会给客户留下不好的印象，可能对产品配套份额产生影响，因此必须认真对待、妥善解决。

5 水印出现的原因分析

影响抛丸清理表面质量的因素众多，我们从工件抛前表面质量、工艺参数、工装及抛丸机本身等因素着手，分析影响抛丸工件表面质量的可能原因，提出对策并进行工艺试验验证。

5.1 抛丸清理前工件表面质量

(1) 工件抛丸清理前有锈蚀 经观察分析，2020年因受疫情影响，工厂春节后停产，工件库存时间过长，加上空气湿度大，使工件产生锈蚀，如图3、图4所示。

为改善工件锈蚀状况，除严控生产计划、尽可能缩短库存时间外，对库存的工件采取了防锈、包装遮蔽处理。



图3 带轮抛丸清理前锈迹



图4 带轮轴抛丸清理前锈迹

(2) 工件在抛丸清理前，银灰色基体表面呈现无规则黄色花斑。经观察，黄斑主要在回火后出现（见图5），分析可能是清洗液存留物引起的。淬火后的清洗工序为：排油→脱脂（含浸泡+喷淋）→清洗（喷淋）→高温烘干。因工序中只有一道清洗工序，很容易将脱脂液混入清洗槽，导致清洗槽污染，污染的清洗槽液在工件烘干前未排净可能会产生水印。



图5 清洗后表面黄斑

为测试清洗剂浓度对工件表面产生黄斑的影响，我们采用2.5%、2.0%、1.5%不同清洗剂浓度的清洗液进行试验验证，发现改变浓度无法消除黄斑。改用甲醇清洗进行验证，黄斑可明显消除，如图6所示。因生产线没有位置增加清洗工位，为尽可能消除脱脂清洗液对工件表面的影响，拟在清洗后增加吹水工序，更换清洗剂型号，选用无残留类清洗剂，以消除此表面质量隐患。

(3) 回火处理后工件表面残留有油污，抛丸难以去除。经分析，因回火炉排气管道垂直于炉子上方，拆开管路检查发现接口处残留油污，当油污直



图6 用甲醇清洗表面无黄斑

接流回回火炉时，经过风扇搅拌后掉落至工件表面形成油污点，如图7、图8所示。



图7 回火后表面残留油斑



图8 排气管道残留油污

改进措施：对原有管道进行改造，在管道底部增加接油、排油装置，避免油污进入回火炉，烟道接排油装置如图9、图10所示。

5.2 工艺参数对抛丸清理表面质量影响分析

工艺参数包括钢丸材料、直径、速度、流量、抛射角度、距离、时间和覆盖率等，其中任何一个参数的变化都会不同程度地影响抛丸清理效果。

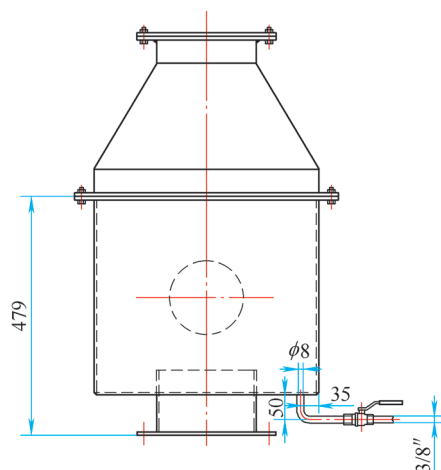


图9 接排油装置示意



图10 烟道接排油装置

将工装挂满工件，按照正常加工条件，通过调整钢丸的流量、硬度、大小以及不同的抛射角度、时间，调整工件位置、朝向、数量等进行工艺试验，对比各工况下工件清理效果的差异，寻找抛丸清理合格需要的参数及时间，为进一步提出整改方案、改善工件表面质量提供依据。

根据试机现场验证情况，经讨论研究后重新确定了工艺条件：主动、从动带轮轴由9个/挂改为15个/挂，主动、从动带轮由20个/挂改为28个/挂，钢丸由 $\phi 0.6\text{mm}$ 换成 $\phi 0.8\text{mm}$ ，硬度由45~52HRC提高至58~63HRC，再次工艺验证的结果见表2，清理合格时间为1260~1500s。

表2 工艺参数对抛丸表面质量的影响

工艺参数	预测原因	验证方案	验证效果
钢丸流量	供丸量不足，抛射的钢丸力度不够	抛丸速度设置为高速，抛头电流调至15~16A，对比不同钢丸流量对工件清理效果的差异，寻找抛丸器最佳负载电流	表面质量无明显改善，通过不同抛丸器频率55Hz、65Hz、75Hz、85Hz进行验证，抛丸验证结果表明高频率并不比低频率效果好
抛射角度、距离	抛射区不正对被抛打工件	通过调整两抛头角度，更改工装挂具，改变装挂方式，增大斜放角度，以及调整工件装挂高度、开口朝向及角度等方式，尽量使钢丸正击工件内腔、锥面	通过对不同抛丸角度、不同装料方式进行试验对比，带轮轴表面质量有一定程度的改善，而带轮无明显改善，各层工件内腔、锥面仍有较明显的水印
钢丸硬度	钢丸硬度不合适	用硬度58~63HRC的钢丸替换45~52HRC的钢丸，对比不同硬度的钢丸对工件清理效果的差异，寻找与工件硬度（58~64HRC）相近的钢丸，以及抛丸清理合格的时间	1) 在节拍时间内，带轮抛丸效果因液压缸内壁被遮挡，水印无法去除 2) 在节拍时间内，带轮轴的抛丸效果也没有明显提升，同样需加长抛丸时间才能去除水印
钢丸直径	钢丸粒度不合适	用 $\phi 0.8\text{mm}$ 钢丸替换 $\phi 0.6\text{mm}$ 钢丸，单个钢丸质量、大小约为原来的2.3倍，对比不同大小的钢丸对工件清理效果的差异	$\phi 0.8\text{mm}$ 钢丸比 $\phi 0.6\text{mm}$ 钢丸的抛射强度大，但在电流不变的情况下，单次抛射出来的颗粒数少，覆盖率受影响，抛丸效果没有明显提升
抛射时间	抛射时间不合适	不断调整抛射时间，增加覆盖率，直至表面清理质量符合要求	延长抛射时间至1500s时，可以达到清理效果，但节拍仍超过要求，不能满足生产需要

6 缩短生产节拍对策

经过更换工装及各种工艺参数进行试验验证，在节拍时间内表面质量改善不明显，受设备制约，

电流及抛丸流量无法再调高，若延长抛丸时间，生产节拍又达不到设定要求，因此经分析研究，决定对设备进行改造。

1) 将抛丸器2个7.5kW的电动机更换为2个11kW的电动机, 更换2个变频器, 更换带轮、电器件等配件, 使抛丸清理时间可缩短到节拍要求范围内。

2) 根据工装挂具表面钢丸击打痕迹, 重新制作抛丸测试板, 验证抛头钢丸有效抛射区域。

3) 缩小挂具直径尺寸, 调整轴悬挂倾斜角度, 零件装挂时开口朝外, 使抛射出来的钢丸可以正击内腔、锥面。

4) 主动带轮、从动带轮工件数由28个/挂改为24个/挂, 每层减少一个, 以免工件互相遮挡, 影响抛丸清理效果。主动带轮轴、从动带轮轴工装由三层15个/挂, 改为四层16个/挂。

改造后设备技术参数见表3。

表3 设备改造后技术参数

项目内容	原设备参数	改造后参数
抛丸器Y-30 (变频电动机)	2×7.5kW×4P	2×11kW×4P
制品处理范围/mm	φ700×1000	不变
φ0.6mm不锈钢丸硬度 HRC	45~52	58~63
吊钩最大吊重 (含制品挂具)/kg	100	不变
功率/kW	22	29

7 最终工艺验证结果

设备改造完成后, 通过对抛头角度、频率、电流等工艺参数再次优化, 对4种工件进行了总计约1000件的小批量工艺验证, 结果见表4。

表4 最终工艺验证结果

工件	工艺参数	每挂件数及节拍	验证结果
主动带轮	1) 电流值: NO.1: 22A NO.2: 20A 2) 频率: 55Hz 3) 抛头角度: 上45°, 下55° 4) 三点停止: 前停止175s 中停止175s 后停止175s	24件/挂 抛丸525s, 节拍21.8s/件	1) 工件表面无锈迹、水印 2) 节拍符合要求 3) 验证合格
从动带轮		24件/挂 抛丸525s, 节拍21.8s/件	
从动带轮轴		16件/挂 抛丸525s, 节拍32.8s/件	
主动带轮轴		16件/挂 抛丸525s, 工件大端深孔内仍有少量印痕, 反方向再抛120s后去除, 节拍40.3s/件	1) 工件表面无锈迹、水印 2) 节拍超过设定要求, 可接受

主动带轮轴抛丸525s, 工件表面无锈迹、水印, 但一些工件大端深孔内仍有少量印痕。反方向再抛丸120s, 印痕基本清除, 但单件节拍40.3s/件, 超过了35s/件的设定要求。考虑到4种工件为1套, 每套工件总的节拍时间要求为140s, 现1套工件实际生产时间为116.875s, 总节拍时间在要求范围内。

8 结束语

抛丸工艺验证是个重要的工艺过程, 在不同的工艺参数、抛射强度和覆盖率下进行取样, 以确定哪一个因素组合能得到更好的表面质量。

通常抛丸电流直接反应抛丸量, 一般调校时会将上下抛丸器的电流值调成一致, 但实际上由于下抛丸器是将钢丸向上抛出, 在相同载荷下, 抛出的

钢丸比上抛丸器少, 因此为使上下工件的表面质量更趋一致, 我们初始时将下抛丸器的电流值调成比上抛丸器大了约5%。在实际工艺验证过程中, 发现上层的工件表面水印比下层更难去除, 为此反过来将上抛丸器的电流值调成比下抛丸器大了约10%, 使上下工件的表面质量趋于一致。

在工艺验证过程中, 发现通过调整工装和工艺参数, 将电流和抛丸流量调至最大, 工件表面质量、节拍也未全部达到要求, 最终进行设备改造, 更换了更大功率的电动机, 工艺验证表明, 设备可满足产品质量及节拍的要求, 解决了抛丸后工件表面残留水印的问题。设备改造后已投产4个月, 累计生产已超22万件, 效果良好。

MW 20210125