

钢质薄壁气缸套超声珩磨的研究

张云电 喻家英

(杭州电子工业学院机械工程系 杭州 310037)

1994 年 10 月 12 日收到

摘要 作者使用自行研制的立式超声珩磨装置对钢质薄壁气缸套本体进行了超声珩磨试验。分别以表面粗糙度和珩磨效率为指标对超声珩磨油石进行了正交试验,确定了超硬磨料、粒度和结合剂对表面粗糙度和珩磨效率的影响顺序。试验结果表明,超声珩磨钢质薄壁气缸套可提高珩磨效率 1—3 倍,表面粗糙度 Ra 可达 $0.5—2.1\ \mu\text{m}$ 。超声珩磨解决了钢质薄壁气缸套的加工难题,开辟了一条高效率珩磨加工软钢的途径。

关键词 超声珩磨,油石,钢质气缸套

Investigation of Ultrasonic Honing of Thin Wall Steel Liner

Zhang Yundian Yu Jiaying

(Hangzhou Institute of Electronic Engineering, Hangzhou 310037)

Abstract Thin wall steel liner was machined by a vertical ultrasonic honing device designed by us. Surface roughness and honing efficiency are criteria in our orthogonal test. Influences of superhard abrasive, grain size and binder upon surface roughness and efficiency are in turn investigated. Test results show that honing efficiency increases by 2 to 4 times and surface roughness Ra is reduced to 0.5 to $2.1\ \mu\text{m}$. Ultrasonic honing solves the machining problem of thin wall steel liner, and it opens up a way of efficiently honing soft steel.

Key words ultrasonic honing, abrasive stick, steel liner

1 引言

日本、中国、前苏联等国已经有了超声珩磨装置^[1-4],近年来在铸铁气缸套珩磨加工中得到应用^[5]。但是,国内外对在珩磨头体转动的条件下如何给超声珩磨油石加压、如何对钢质薄壁气缸套进行超声珩磨的报道还未见到。

钢质薄壁气缸套是现代汽车发动机气缸

套的新产品。它的本体为低碳钢(通常为 20 号钢),内圆表面镀有铬金属覆盖层,且外圆表面不直接与发动机冷却水接触。由于它壁薄(直径小于 100 mm 的气缸套,壁厚只有 1 mm),力刚度和热刚度极差,又是采用退火状态 20 号钢作为本体材料,因而使得对它的珩磨加工难度很大,主要表现在加工精度和表面质量难保证,加工效率低,油石消耗量大,珩磨噪声高达 100 dB 以上。

作者使用自行研制的 $\varphi 86\text{ mm}$ 立式超声珩磨装置, 对钢质薄壁气缸套本体进行了三因素、四水平、正交试验(有关铬金属覆盖层的超声珩磨试验将另文发表), 研究了超声珩磨油石的特性对表面粗糙度和珩磨效率的影响及其影响程度. 试验结果表明, 超声珩磨可以有效地解决钢质薄壁气缸套的珩磨加工难题, 开辟了一条高效率珩磨加工软钢的新途径.

2 试件及试验条件

钢质薄壁气缸套试件如图 1 所示.

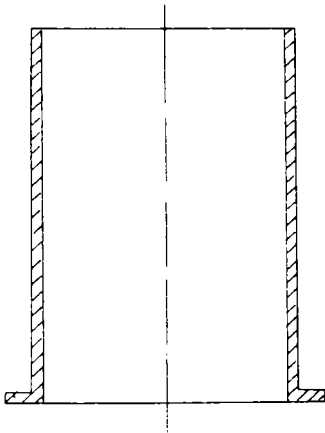


图 1 钢质薄壁气缸套示意图

钢质薄壁气缸套试件内径 $\varphi 86\text{ mm}$, 壁厚 1 mm , 长度 178 mm . 气缸套本体材料为 20 号钢, 退火状态, 其硬度为 $\text{HV}160\text{--}170$.

作者已经研制成功了立式超声珩磨装置^[6]. 图 2 为试验使用的 CZH-2 型立式超声珩磨装置照片(图中无超声波发生器). 它采用 H66025T 晶体管超声波发生器作为超声源, 输出功率 $\geq 250\text{ W}$, 工作频率 $19\text{--}21\text{ kHz}$. 由于采用了中间有圆柱孔的夹芯式压电换能器和圆锥形变幅杆, 所以可以在机床不停机的情况下给珩磨油石施加胀开运动或珩磨压力, 操作与普遍珩磨一样简单, 便于使用和维修. 夹芯式压电换能器的电声转换效率高达 80% 以上, 而且具有体积小、不需水冷、应用声学

重量轻、价格低的特点. 夹芯式压电换能器和变幅杆通过变幅杆节点位置的法兰盘固定在换能器罩上. 超声珩磨油石主要使用人造金刚石和立方氮化硼磨料. 油石与油石座采用粘接法、锡焊法、热压成型法联接成一体, 使得油石在超声振动的作用下, 不会从油石座上脱落下来, 保证了声能可靠、高效的传输.

试验在国产 M4215 型立式珩磨机上进行, 主轴转速 112 r/min , 主轴往复运动速度 $3\text{--}18\text{ m/min}$, 网纹在气缸套中心线方向夹角 $\theta=140\pm 10^\circ$. 钢质薄壁气缸套安装在镗珩内孔夹具中.

采用的测试仪器有: FC-845 数字频率计; 33JA-1 μ 读数显微镜; 放大倍数 $62.5\times$; 测量范围 1 mm ; 2222 型轮廓检测仪; Talor 圆度仪; 内径千分表; 气动量仪.

3 试验方法及结果

本文采用三因素、四水平、正交试验来研究钢质薄壁气缸套超声珩磨. 考察指标有两个: 表面粗糙度 R_a 、珩磨效率.

超硬磨料油石是超声珩磨装置的工具, 它是用超硬磨料加结合剂制成的. 超硬磨料油石的特性由磨料、粒度、结合剂、浓度和硬度等因素来描述. 由于气缸套内表面要求平台网纹贮油结构, 磨料浓度是根据平台网纹要求自然而然定; 油石硬度则根据气缸套本体材料的硬度等因素确定. 因此, 本正交试验只考虑超硬磨料、粒度和结合剂三个因素.

超硬磨料主要有人造金刚石和立方氮化硼, 它们本身又可分为多种型号, 本试验中, 每种超硬磨料取两个型号, 计有四个水平. 根据气缸套内表面的表面粗糙度和珩磨效率要

表 1 试验因素水平

因素 水平	起硬磨料	粒 度	结合剂
1	人造金刚石 I 型	80/100	青铜结合剂 I 号
2	人造金刚石 II 型	100/120	树脂结合剂 I 号
3	立方氮化硼 I 型	120/140	青铜结合剂 II 号
4	立方氮化硼 II 型	140/170	树脂结合剂 II 号



图2 $\phi 86$ mmCZH-2 型立式超声珩磨装置照片

求, 磨料粒度选了四个水平, 即 80/100、100/120、120/140 和 140/170。结合剂有陶瓷、树脂、橡胶和金属结合剂(常用的是青铜结合剂)之分, 这里选用了树脂和青铜结合剂, 并各取两种配方, 计有四个水平。这样, 便构成了钢铁质薄壁气缸套超声珩磨三因素、四水平、正交试验表, 见表 1。

表 2 是以表面粗糙度 Ra 为指标的正交试验表。

表 2 正交试验表

实验号	A	B	C	$Ra(\mu m)$
	超硬磨料	粒度	结合剂	
1	1	1	1	2.1
2	1	2	2	1.4
3	1	3	3	1.3
4	1	4	4	0.9
5	2	1	2	2.2
6	2	2	1	1.6
7	2	3	4	1.3
8	2	4	3	1.0
9	3	1	3	1.9
10	3	2	4	1.4
11	3	3	1	1.2
12	3	4	2	0.5
13	4	1	4	1.9
14	4	2	3	1.7
15	4	3	2	1.1
16	4	4	1	1.0
$\Sigma 1$	5.7	8.1	5.9	$T=22.5$ $n=1.41$
$\Sigma 2$	6.1	6.1	5.2	
$\Sigma 3$	4.8	4.9	5.9	
$\Sigma 4$	5.7	3.4	5.5	
R	1.3	4.7	0.7	
较优水平	3	4	2	
因素主次	粒度 B_1	磨料 A_3	结合剂 C_2	

注: 加工余量 0.06 mm, 每副油石数量 5 条, 冷却液: 煤油 80%, 机油 20%。

表 3 是以珩磨时间为指标的正交试验表。

表面粗糙度正交试验结果表明, 在所试验的超声珩磨油石三个因素中, 粒度对表面粗糙度的影响最大, 磨料影响次之, 结合剂影响最小。在普通珩磨(不加超声振动)中, 人造金刚石通常是不能珩磨钢的, 尤其是软钢, 这是因为金刚石是碳的同素异形体, 在较高温度下易与钢中的铁族金属产生化学反应, 形成碳

表 3 正交试验表

实验号	A	B	C	珩磨时间 (s)
	超硬磨料	粒度	结合剂	
1	1	1	1	75
2	1	2	2	76
3	1	3	3	82
4	1	4	4	84
5	2	1	2	52
6	2	2	1	56
7	2	3	4	70
8	2	4	3	78
9	3	1	3	80
10	3	2	4	50
11	3	3	1	85
12	3	4	2	58
13	4	1	4	54
14	4	2	3	60
15	4	3	2	62
16	4	4	1	65
$\Sigma 1$	317	261	281	$T=1087$ $n=67.9$
$\Sigma 2$	256	242	248	
$\Sigma 3$	273	299	300	
$\Sigma 4$	241	285	258	
R	76	57	52	
较优水平	4	2	2	
因素主次	磨料 A_4	粒度 B_2	结合剂 C_2	

注: 加工余量 0.06 mm, 每副油石数量 5 条, 冷却液: 煤油 80%, 机油 20%。

化物。而在超声珩磨中,由于珩磨力和珩磨温度大幅度降低,人造金刚石可以顺利地珩磨软钢,开拓了人造金刚石的应用范围。

试验结果表明,超声珩磨后,钢质薄壁气缸套内表面,在专用检具内归圆后的圆度误差小于 0.003 mm。

采用第六副珩磨油石(人造金刚石Ⅱ型,粒度 100/120,青铜结合剂 I 号),连续对 80 只钢质薄壁气缸套进行超声珩磨后,油石只磨损 0.005 mm。若按油石磨料层厚度(2 mm)全部消耗掉来计算,假设油石均匀磨损的话,则第六副珩油石可能珩磨 32000 只钢质薄壁气缸套。

工厂使用碳化硅油石进行普通珩磨时,整个车间充满刺耳的珩磨噪声,噪声高达 100 dB 以上,当采用超声珩磨装置进行超声珩磨时,珩磨噪声降为 72 dB,珩磨噪声得到了有效的治理。

采用普通珩磨时,由于碳化硅油石磨损极快(通常,第副碳化硅油石可珩磨 20 只气缸套),所以在去除金属余量的同时,大量的磨粒和结合剂也随同 20 号钢磨屑一起流入冷却液箱,造成冷却液混浊,磨粒也常常被冷却液再次带入珩磨区,致使气缸套内表面经常划伤,并导致气动测量系统上的小孔堵塞,气动测量系统失灵。

采用超声珩磨时,超硬磨料油石磨损极为缓慢,进入冷却液的主要成份是磨屑,可以充分发挥磁性过滤器的作用,因而冷却液得到净化,气缸套内表面的划伤现象大大减少,同时使得气动测量系统能正常工作。

采用普通珩磨时,每分钟只能去除 0.02 mm 的加工余量,而超声珩磨可在每分钟去除 0.04—0.08 mm 的加工余量。所以,与普通珩磨相比,超声珩磨可提高珩磨效率 1—3 倍。

4 讨论

(1)在所试验的超声珩磨油石三个因素中,粒度对表面粗糙度的影响最大,磨料影响

次之,结合剂影响最小。本试验条件下,超声珩磨可获得表面粗糙度 Ra 值为 0.5—2.1 μm ,完全可以满足气缸套内表面质量的要求。若使用粒度更细的磨料,超声珩磨可获得 $Ra0.1\mu\text{m}$ 以下的表面粗糙度,这一点已被后来的试验所证实。

(2)在所试验的超声珩磨油石三个因素中,磨料对珩磨效率的影响最大,粒度影响次之,结合剂影响最小。与普通珩磨相比,超声珩磨可提高加工效率 1—3 倍。

(3)由于珩磨力小、珩磨温度低,所以可减小夹具的夹紧力、缸套的力变形和热变形。

(4)在超声珩磨条件下,人造金刚石和立方氮化硼都可用于珩磨钢质薄壁气缸套,且有极高的珩磨效率。采用人造金刚石油石超声珩磨的成功,突破了“人造金刚石油石不能珩磨钢”的传统观念,扩大了人造金刚石的应用范围。人造金刚石油石在超声珩磨条件下之所以能珩磨软钢,是因为人造金钢石颗粒和被加工材料的接触性质发生了根本变化,冷却液可直接进入珩磨加工区,消除了油石的堵塞现象,珩磨力和珩磨温度大幅度降低。

(5)超声珩磨不但解决了钢质薄壁气缸套的加工难题,开辟了一条高效率珩磨加工软钢(低碳钢, $HV<200$)的新途径,而且为消除珩磨薄壁零件的噪声找到了一种有效的办法。

参 考 文 献

- [1] [日]隈部淳一郎.精密加工振动切削基础和应用,北京:机械工业出版社,1985,440—441.
- [2] 张云电,王纯,喻家英.超声珩磨装置的研究.太原机械学院学报,1991,11(1): 1—5.
- [3] 前苏联专利.1125122.
- [4] 前苏联专利.779044.
- [5] Романых В Ф.缸套的超声波金刚石珩磨.国外内燃机,1992(4): 61—62.
- [6] 张云电,王纯,喻家英.立式超声珩磨设备的研制.应用声学,1994,13(5): 18—22.