

文章编号: 1001-3806(2002)06-0474-04

HT300 摩托车凸轮轴激光表面强化处理研究

王大承

(五邑大学, 江门, 529020)

摘要: 用 (L_93^4) 正交试验法研究 HT300 摩托车凸轮轴激光处理时工艺参数优化组合, 分析了 HT300 摩托车凸轮轴激光处理方法, 结果表明, 对 HT300 摩托车凸轮轴进行激光相变硬化处理和激光熔凝各有其特点, 可视具体情况选取, 以满足不同零件工作表面的要求。硬度测试及耐磨性能试验表明, 激光相变处理和激光熔凝处理后摩托车凸轮轴工作表面较激冷处理后硬度分别提高 31% 和 76% 及绝对磨损体积分别下降了 70% 和 110%, 可满足凸轮轴工作要求, 试验结果为改进零件表面处理方法提供了依据。

关键词: 激光强化处理; 摩托车凸轮轴; HT300

中图分类号: TN249; TH132.47 **文献标识码:** A

Research of laser surface strengthening technique for HT300 camshaft of motorcycle

Wang Dacheng

(Wuyi University, Jiangmen, 529020)

Abstract: The paper deals with the results on processing parameters of laser transformation hardening and laser surface melting for HT300 camshaft of motorcycle by using (L_93^4) orthogonal experiment. The results show that the two processing methods provide different characteristics respectively, which adopt to different practical technology requirement of camshaft surface. The analysis of structure with/without laser strength treatment and comparative tests of abrasive resistance measurement for sample HT300 prove that the surface hardness and wearability by laser strength treatment are better than chilling treatment. The experimental results provide a basis to improve the surface properties of components.

Key words: laser strengthening treatment; camshaft of motorcycle; HT300

引言

凸轮轴是摩托车发动机上负荷最大的磨擦件, 在发动机中运行速度较高、接触应力大、润滑困难、特别是轴部位在磨擦状态下工作, 由于磨擦点温度高, 易出现刮伤、撕裂、剥落及早期磨损等, 严重时几十小时就损坏报废^[1]。因此, 要求轴部位应有足够的硬度和耐磨性, 以保证其寿命。目前, 国内凸轮轴选用的材料大致有^[2]: (1) 20# 或 45# 钢经锻压, 切削加工成型后, 进行渗碳、淬火、回火处理, 或经高频淬火处理。淬硬层显微组织为针状马氏体, 硬化层深度一般为 1mm ~ 1.5mm, 硬度为 55HRC ~ 63HRC。这种工艺过程较为复杂、工序多、周期长、成本高。虽马氏体具有足够的高温耐磨性, 但在工作中温度升高, 停机温度下降, 周而复始则在表面形

成组织应力, 导致晶界处易发生拉裂, 严重时形成网状裂纹。此外, 马氏体组织中无低硬度组织形成储油凹谷。当润滑条件恶劣时, 表面温度升高而形成裂纹部位发生撕裂。(2) 铸铁凸轮使用的多为高强度的孕育铸铁或合金铸铁, 合金元素主要为 Cu, Ni, Cr, Mo, W, V, Nb 等, 总加入量一般低于 3%。合金化的主要作用为: (1) 细化石墨和共晶团, 增加基体珠光体的含量, 使珠光体的片间距细化; (2) 生成碳化物; (3) 提高机体的淬透性。

强化处理方法有: (1) 激冷法, 即使铸型内形成的凸轮型腔周边需要耐磨损的部位放置成型冷铁, 当高温铁水浇注入型腔后, 利用成型冷铁对高温铁水的激冷作用, 使凸轮表面获得莱氏体(即白口铁)的耐磨层, 其厚度一般大于 2mm 左右, 硬度通常为 45HRC ~ 52HRC; (2) 感应淬火, 即利用感应电流的集肤效应加热后凸轮, 然后快速冷却。以获得 1mm ~ 5mm 淬硬层, 硬度达到 48HRC ~ 58HRC, 但淬火后变形大、需校直、甚至产生裂纹, 对凸轮铸态原始

作者简介: 王大承, 男, 1949 年出生。副教授, 硕士。现从事激光加工方面的研究工作。

收稿日期: 2002-01-28; **收到修改稿日期:** 2002-03-25

组织化学成分等要求较高;(3)激光强化处理^[3~5]主要可分为激光相变硬化处理和激光熔凝处理。相变硬化处理是利用高能束激光将凸轮表面加热到材料相变温度以上,然后迅速冷却,达到硬化的目的。熔凝处理是将凸轮表面加热、熔化,然后迅速凝固。两种方法各有优缺点,根据凸轮材料及具体要求可选用相变硬化处理或熔凝处理。目前,对凸轮的处理多为激光宽带扫描,但这种处理方法要求激光器前增加一套激光宽带扫描转镜。作者对大长江摩托车公司提供发动机凸轮轴进行研究,凸轮轴材料为 HT300,要求激光冷处理硬度要求为 48HRC ~ 52HRC。下面探讨用圆形光斑激光束对凸轮处理,并对强化处理后的金相组织和耐磨性等进行分析和研究。

1 试验装置及试件的制备

试验采用 NEL-2500A 轴向快速流动工业 CO₂ 激光器以及 LCM-12 ×20 四轴联动数控工作台和自制工装夹具。激光器输出模式为 TEM₀₁。

试样是铸造后作了退火处理的 HT300 材料。

尺寸为 Ø40mm ×8mm,表面粗糙度为 Ra0.63μm,硬度为 HB217。激光处理前试件表面涂有涂料(由清华大学提供)以增加材料对 CO₂ 激光吸收率。试样化学成分(wt %)为:C=2.9~3.2, Si=2.9~3.2, Mn=0.9~1.2, P<0.15, S<0.12, 炉料配比(wt %)为:新生铁=25~30、回炉铁=30~35、废铁=35~40,孕育剂(FeSi 75)加入量(wt %)为0.4~0.6。

试验选取的激光功率 P 为 0.8kW ~ 1.2kW,光斑直径 D 为 4mm ~ 6mm,激光扫描速度 v 为 6mm/s ~ 12mm/s。

2 试验安排及分析

2.1 激光工作参数选择试验

为寻求理想的激光强化工艺参数,在对试件作初步试验观察处理后,根据正交表选用原则^[6],选取激光功率 P 、光斑直径 D 、扫描速度 v 为主要元素安排 $L_9(3^4)$ 正交试验,其中一列参数赋闲,因素水平的确定、试验安排及试验结果见表 1。

Table 1 The arrangement and results of $L_9(3^4)$ orthogonal experiments

No.	laser processing parameter			result of experiment					
	laser power P/W	diameter of laser specker D/mm	scanning velocity $v/(mm \cdot s^{-1})$	hardness of surface/ $HV_{0.1}$	* depth of hardened layer/mm	appearance			
1	1 (800)	1 (4)	3 (12)	269	0.56	blue			
2	2 (1000)	1 (4)	1 (6)	959	1.15	remelted, rough and microfissure			
3	3 (1200)	1 (4)	2 (9)	825	0.87	micro-remelted in surface			
4	1 (800)	2 (5)	2 (9)	304	0.54	white and bright			
5	2 (1000)	2 (5)	3 (12)	300	0.50	white and bright			
6	3 (1200)	2 (5)	1 (6)	978	1.06	remelted and rough			
7	1 (800)	3 (6)	1 (6)	338	0.82	white and bright			
8	2 (1000)	3 (6)	2 (9)	308	0.52	white and bright			
9	2 (1200)	3 (6)	3 (12)	298	0.50	blue			
	hardness / $HV_{0.1}$	depth of hardened layer/mm	hardness / $HV_{0.1}$	depth of hardened layer/mm	hardness ($HV_{0.1}$)	depth of hardened layer/mm	plan of parameter combination		
P_1	313	0.64	D_1	693	0.86	v_1	758	1.01	(1) $P_3-D_1-v_1$
P_2	522	0.59	D_2	527	0.70	v_2	479	0.64	(2) $P_3-D_2-v_1$
P_3	697	0.81	D_3	312	0.62	v_3	295	0.52	(3) $P_3-D_1-v_2$
range	384	0.17		381	0.24		463	0.49	

* 测定硬度大于 240HV_{0.1} 硬化层深度。

由极差分析可以看出,激光工作参数 P, D, v 对材料表面硬度及硬化层深度都有影响,根据影响程度凸轮对表面硬度要求(大于 631HV_{0.1}),可选的激光工作参数组合方案列入表 1。虽然 $P_3-D_1-v_1$,

$P_3-D_2-v_1$,两种激光参化层深度均达到图纸要求,但处理后表面粗糙,且 $P_3-D_1-v_1$ 方案表面还出现裂纹,故根据实际要求可选择 $P_3-D_2-v_1$ 参数组合方案,即激光熔凝处理。处理后需仅需精加工,去除

层需在 0.2mm。采用 $P_3-D_1-v_1$ 组合方案,即激光表面为微熔处理,精加工余量在 0.1mm 以内。

2.2 凸轮轴激光强化方法

试验采用沿凸轮轴线方向多次扫描。具体方法是将轴装夹在四轴联动的旋转夹头上,根据凸轮轴表面形状,

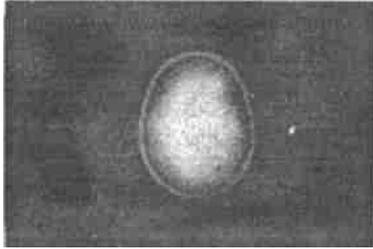


Fig.1 Hardened layer of camshaft section

数控编程后,可实现激光束按要求沿凸轮轴轴向、径向相对位移,以确保凸轮轴旋转时,激光束基本与凸轮作用点的切线垂直。处理后的凸轮截面硬化层见图 1。

3 金相组织及耐磨性能分析

3.1 金相组织及其分析

孕育铸铁 HT300 由于含碳、硅较低,而锰较高,

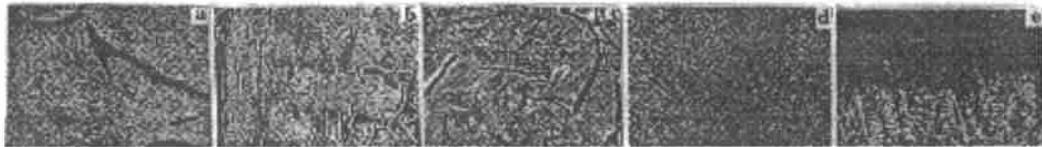


Fig.2 The structure of HT300 unprocessed and processed by laser strength treatment

a - original structure 2000 × b - structure by chilling processing 2000 × c - structure of phase transformation hardened layer 2000 ×
d - structure of melting layer 1500 × e - structure of laser melting layer processed on chilling processed based of HT300 200 ×

3.2 耐磨性能分析

磨损试验是在 MM200 磨损试验机上进行,试验时主动轮转速为 200r/min,用 N30 机油润滑,试验时间 4h。试件分为 3 组:激冷处理、激光相变硬化处理、激光熔凝处理。表面硬度 ($HV_{0.1}$) 分别为: 543, 713, 959, 绝对磨损体积 (mm^3) 分别为: 1.346, 0.795, 0.617。可见激光相变处理和激光溶凝处理后材料表面硬度比激冷处理分别提高 31% 和 76%, 绝对磨损体积分别下降了 70% 和 110%。硬度和耐磨性能均有较大的提高。

耐磨性能分析如下^[9]:

(1) 激冷处理 激冷处理是在铸造砂型中,对铸件需硬化的部分加上冷铁再会浇铸,使这些部位迅速冷却形成白口区,其金相组织为粗枝晶莱氏体 + 珠光体 + 片状石墨。硬度达 534 $HV_{0.1}$,硬化层深度可达 3mm ~ 4mm。虽然粗枝晶莱氏体中二次渗碳体和过共晶渗碳体都有较高硬度,片状石墨脱落后可贮油润滑,但片状石墨较下面处理的方法粗大,珠光体数量也比较多。加之表面硬度不高,所以耐磨

因此,基体组织中除较少铁素体外,几乎全部都是弥散度较高的珠光体,经孕育处理后,石墨也呈明显细小均匀分布的 A 型石墨^[7,8](见图 2a),且具有较好的抗拉强度 (300MPa),但表面强度仅为 HB217 左右。激冷法是利用成型冷铁对高温铁水的激冷作用,使凸轮表面获得粗枝晶莱氏体(见图 2b)。经激光相变硬化处理后,其金相组织主要为针状马氏体、残余奥氏体和未熔的片状石墨组成,但已明显变细变短(见图 2c),其硬度范围为 620 $HV_{0.1}$ ~ 766 $HV_{0.1}$ 。激光熔凝处理后,熔化层的金相组织为细枝晶莱氏体。莱氏体包围的细小白色块状为残余奥氏体,枝晶内有位错及孪晶结构的马氏体,在熔凝层内几乎看不到片状石墨的痕迹(见图 2d)。硬度明显提高,为 750 $HV_{0.1}$ ~ 1000 $HV_{0.1}$ 。由上述可知,HT300 孕育铸铁经激冷处理后,金相组织为粗枝晶莱氏体,本文中对激冷处理后表面进行激光熔凝处理(见图 2e 所示),下层为粗枝晶莱氏体,上层为细枝晶莱氏体。

性虽然较不处理的 HT300 要好,但不及下面几种处理方法。

(2) 激光相变硬化处理 激光相变硬化处理后,材料表面组织中珠光体转化为针状马氏体,硬度增高,表面精度一般不会降低。同时,片状石墨块减小,在磨粒磨损或粘着磨损中,虽石墨脱落,但仍能起到贮油的作用,又由于表面不产生裂纹,所以耐磨性较感应淬火处理的表面要好,不仅可以满足凸轮轴要求,而且可以满足有一定硬度要求的齿轮、机床导轨工作面等的要求。

(3) 激光熔凝处理 激光熔凝处理后,材料表面组织为细枝晶莱氏体。硬度为 959 $HV_{0.1}$ 和硬化层深度明显增加,细小的碳化物所形成的硬质点的极好的耐磨性,硬化层深度可达 1mm(如图 2 熔凝区所示)但表面形貌呈波纹状,粗糙度增加,一般都要精加工后才能满足零件的要求。

(4) 激光微熔处理 激光参数组合方案 $P_3-D_1-v_2$ 时,材料表面呈微熔状。组织中有高硬度、高耐磨性磨损能力增加,即耐磨性增加。同时,石墨部分

溶解,端部钝化,由残余奥氏体包围。这种组织在磨损初期石墨脱落,起贮油润滑作用。形成的孔洞虽会产生应力集中,但程度减轻,周围奥氏体有较好塑性变形以缓解应力集中,因而延长了疲劳裂纹的产生和扩展,提高了疲劳寿命。微熔时表面粗糙度增加不大,其熔化层深度小于 0.1mm,是值得推荐的一种激光强化方法。

4 结 语

(1) HT300 孕育铸铁的激光表面强化方法主要有相变硬化处理及熔凝处理,各有其特点,可视具体情况选取,以满足不同的凸轮轴工作表面的要求。采用激光相变硬化处理,所得金相组织为马氏体,可以保证在其尺寸精度不变的条件下达到 600HV_{0.1}显微硬度。采用激光熔凝处理,所得金相组织为细枝晶莱氏体,硬度达到 959HV_{0.1}显微硬度。

(上接第 473 页)

在 DVD 纠错编码系统中通过对一维的纠错进行乘积操作将之扩展为多维纠错码^[2],而且无论是逐行发送还是逐列发送对原始码都是一种交错,大大提高了系统的纠错能力。经计算,这种 DVD 纠错编码约可以纠正 80 个码字的随机错误和 80 个码字的突发错误^[1]。

3 结 论

通过对 PGZ 算法和 BM 算法原理的分析、比较,得到了这两种算法各自的应用特点,说明了针对不同光存储方案的这两种算法各自适用的场合。PGZ 算法适合用于纠错个数小于 5 的系统中,BM 算法适合用于纠错个数较多的系统中。本文中设计

(2) 经激光处理后的凸轮轴的硬度和耐磨性都较激冷处理有大幅度的提高,完全可以用于实际工作,文中所述的激光工艺参数为工厂改进凸轮轴处理方法提供依据。

参 考 文 献

- [1] 王中宝. 摩托车技术,2000(8):10~14.
- [2] 杜 军,刘耀辉. 汽车工艺与材料,1999(3):1~4.
- [3] 关振中. 激光加工工艺手册. 北京:中国计量出版社,1998.
- [4] Mazumder J. Meltals,1983,35(5):18~26.
- [5] 赵 新,金 杰,丁 欣 *et al.* 天津大学学报,1999,32(6):754~757.
- [6] 茆诗松. 回归分析及试验设计. 上海:华东师范大学出版社,1981.
- [7] 王晓江. 铸造合金及其熔炼. 北京:机械工业出版社,1999.
- [8] 刘江龙,邹至荣,苏宝娣. 高能束加热处理. 北京:机械工业出版社,1997.
- [9] 王大承. 金属热处理,2001(11):23~25.

的 PGZ 算法的 VHDL 仿真验证了其设计的正确性。可看出,交错技术在一定条件下可将错误分散至多个帧,从而降低了每一帧中的错误个数,对纠错系统的设计具有重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 林 舒,科斯特洛. 差错控制编码基础和应用. 北京:人民邮电出版社,1986.
- [2] Blahut R E. 差错控制码的理论与实践. 广州:华南理工大学出版社,1990.
- [3] Perry D L. 电子设计硬件描述语言 VHDL. 北京:北京学苑出版社,1994.
- [4] Smith S, Taylor D, Benaissa M. Microelectronics Journal, 1998, 29: 977~982.
- [5] Chang H C, Shuang C. A Reed-Solomon Product-Code (RS-PC) Decoder for DVD Applications. ISSCC. Disk Drive Signal Processing. USA: ISSCC, 1998.