

# 486Q 汽油机凸轮轴激光表面硬化均匀性和耐磨性试验研究

才庆魁 战效文 傅淑云 王维国  
(东北工学院)

郑鲁 王友民  
(沈阳拖拉机制造厂)

## Surface hardening uniformity and wear resistance studies on cam shaft of 486Q gasoline engine by laser irradiation

Cai Qingkui, Zhan Xiaowen, Fu Shuyun, Wang Weiguo  
(Institute of Materials, Northeast University of Technology, Shenyang)

Zheng Lu, Wang Youmin  
(Shenyang Tractor Factory, Shenyang)

**提要:** 实验研究了利用大功率 CO<sub>2</sub> 激光器对 486Q 汽油机凸轮轴表面实行硬化处理的可行性。试验的结果表明, 凸轮轴表面硬化均匀, 变形极小, 并且具有良好的耐磨性, 有广泛的实用价值。

**关键词:** 表面硬化, CO<sub>2</sub> 激光

### 一、引言

利用 CO<sub>2</sub> 激光把构件表面快速熔化, 并且同时实现相变硬化, 从而达到构件局部表面硬化均匀, 提高耐磨性<sup>[1-3]</sup>, 这在工业应用上具有十分重要意义。

本试验中所选用的凸轮轴是 486Q 汽油机的重要部件之一。其研究目的在于探讨激光表面处理凸轮轴的可行性。

### 二、试验方法

实验中使用 JK-13 型、横流电激励连续 CO<sub>2</sub> 激光加工机, 多模连续输出, 额定功率为 2 kW。激光处理时, 光束不动, 凸轮轴在带动它做直线运动的工作台上连续旋转。工作时由 GJXK-1 功率反馈仪自动监控。

激光处理的凸轮轴总长度为 468 mm, 重 3.5 公斤, 它由五个轴颈和八个凸轮构成(其中有四个进气凸轮和四个排气凸轮), 见图 1。凸轮轴的材质为低 CrNiMo 合金铸铁, 其成分见表 1。激光处理之前进行了黑化处理, 以形成均匀致密的增吸层。

对处理后的凸轮轴进行了显微组织观察, 测量了其硬化层深、硬度和变形程度。并且还将处理过

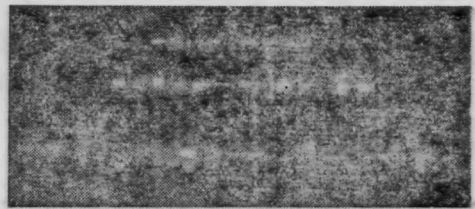


图 1 凸轮轴的实物照片

表 1 凸轮轴材质的化学成分(Wt%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
3.20	1.00	0.65			0.90	0.40	0.40
?	?	?			?	?	?
3.40	2.20	0.85	<0.15	<0.10	1.10	0.51	0.55

的凸轮轴装入 486Q 汽油机内, 进行全速全负荷耐久试验, 以考查其变形程度和耐磨性。

### 三、试验结果与分析

#### 3.1 激光辐照工艺参数与硬化效果关系

由于激光辐照的工艺参数不同, 其硬化效果也不一样。因此, 我们首先进行了同材质试样工艺参数与硬化效果的试验研究。在试验中选择了 600~1000 W 范围内的五个不同功率, 每个功率下又选五

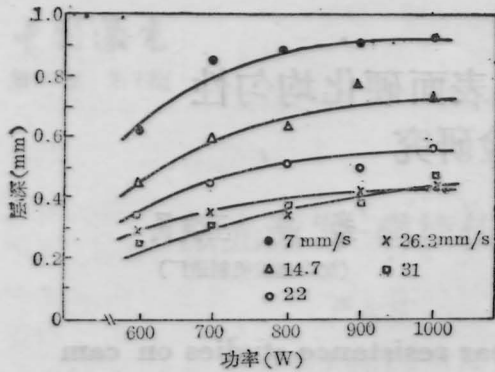


图2 功率、扫描速度与硬化层深关系曲线

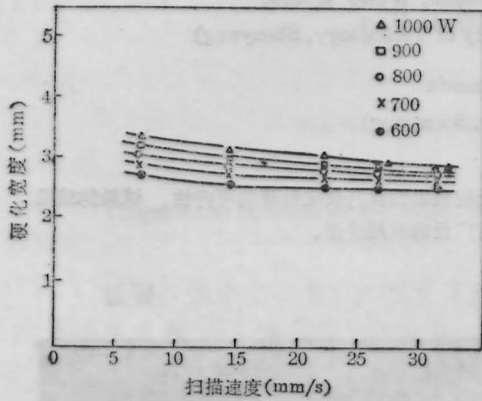


图3 功率、扫描速度与硬化带宽度曲线

表2 扫描速度与硬度关系(激光功率为700W,光斑直径为3.0mm)

扫描速度(mm/s)		7	15	22	26	31
表面硬度	HV <sub>5</sub>	780	772	700	619	614
	HRC	64.3	63.8	60.8	56.8	56.3

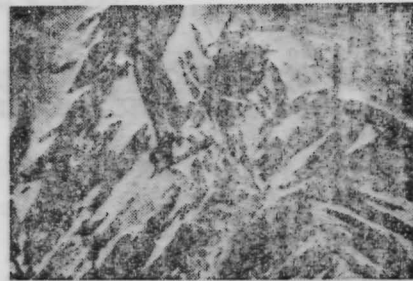
个不同的扫描速度进行工艺试验,其结果如图2、图3和表2所示。由图2、图3和表2看出,在给定扫描速度下,随着激光功率的增加,硬化层深、硬化带宽度相应增加;在给定功率下,随着扫描速度的增加,硬化层深相应变浅,硬化带宽度变化不大,硬度逐渐降低。对不同工艺下的熔化层、相变硬化层以及硬化效果进行了检验,最后选出最佳的工艺参数控制范围,即功率为700~800W,扫描速度为27~31mm/s,光斑直径为2.5~3.0mm。然后将选出的工艺参数过渡到凸轮轴上进行试验。

### 3.2 凸轮轴的激光表面处理

为了使凸轮轴表面不同部位硬化均匀,在同材



(a) ×250



(b) ×800

图4 激光处理凸轮轴硬化层金相组织

(a) 熔凝硬化层和相变硬化层组织

(b) 放大的相变硬化层马氏体组织

表3 凸轮轴经激光表面处理后的轴向变形

凸轮轴序号	处理前(mm)	处理后(mm)
1	0.010	0.050
2	0.010	0.050
3	0.025	0.040
4	0.010	0.030
5	0.005	0.050

质试样的工艺试验基础上,选择了合适的聚焦透镜,对凸轮轴进行了相应工艺参数的激光表面处理,并将工艺参数与硬化效果间进行优化处理,确定了凸轮轴激光处理工艺参数为功率800W,扫描速度为30mm/s,光斑直径为2.5mm。

此外,还观察了已处理过的凸轮轴的金相组织,如图4所示。由图中看出,激光处理的硬化层是由熔凝硬化层和相变硬化层所组成。熔凝层为细莱氏

体,相变硬化层为细针状马氏体、隐晶马氏体和片状石墨。还检验了处理后的凸轮轴变形情况,见表3。可见,其轴向变形非常小,均不大于0.045mm。凸轮轴的轻微变形、完全符合装机试验要求。对激光处理过的凸轮轴沿垂直于轴向剖开,取下任意一个小桃,测其不同曲率半径位置的硬化层深和表面硬度,观察了各位置硬化层的金相组织,经低倍放大后,测量了桃尖、桃尖两侧和桃尖底部的硬化层深分别为0.65mm、0.63mm、0.62mm和0.63mm,在小桃的曲面上获得了均匀的硬化层(见图5);其相应位置硬化层的表面硬度依次为:HV<sub>5</sub>=820、HV<sub>5</sub>=795、HV<sub>5</sub>=781和HV<sub>5</sub>=785;相应位置的金相组织如图4所示。同时,为了考查激光处理的凸轮轴的耐磨性,还测量了沿硬化层深方向硬度的分布,如图6所示。硬度沿层深变化的曲线上出现了两个平台。第一个平台对应的层深在0~0.35mm之间,它与激光处理的熔凝区相对应;第二个平台对应的层深在0.35~0.65mm之间,它与激光处理的相变硬化区相对应,当层深大于0.65mm后进入基体非硬化区。硬化层的硬度均大于HV<sub>5</sub>750。

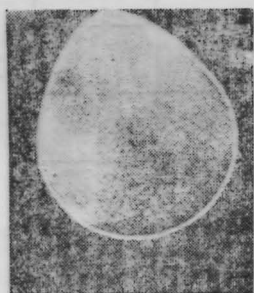


图5 凸轮轴上的小桃经激光处理的表面硬化层(原大)

### 3.3 激光处理的凸轮轴装机运行磨损情况

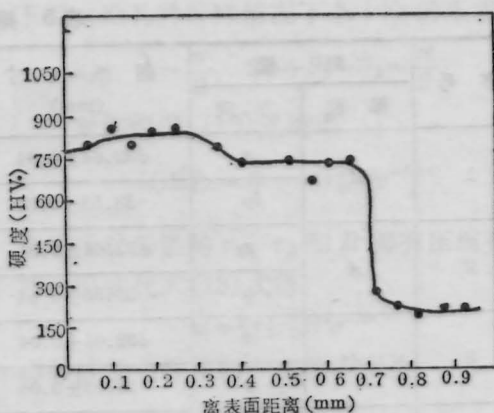


图6 硬度分布曲线

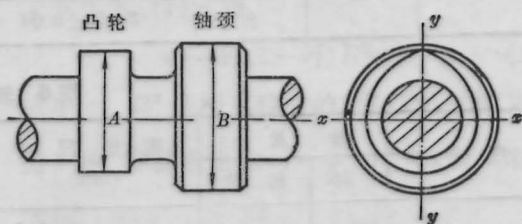


图7 凸轮与轴颈形状示意图

486Q 汽油机凸轮轴上的凸轮和轴颈示意图如图7所示。对激光处理过的凸轮轴装机运行进行耐久试验,经全速全负荷600小时运转后,拆机对凸轮轴的磨损情况进行测量,结果如表4、5、6所示。从磨损的结果看,进气凸轮的最大磨损值为0.015mm,平均磨损值为0.009mm;排气凸轮的最大磨损值为0.009mm,平均磨损值为0.007mm;轴颈的最大磨损值为0.004mm,平均磨损值为0.0015mm。由此可见,凸轮轴的主要磨损部位凸轮的平均磨损值为0.008mm,最大磨损值仅为0.015mm。说明凸轮

表4 进气凸轮磨损情况

序号	测量		图纸尺寸 (mm)	试验前 (mm)	试验后 (mm)	磨损值 (mm)	磨损平均值 (mm)
	部位	方向					
1	A	x	$\phi 32.64 \pm 0.04$	+0.01	+0.003	0.007	0.009
		y	$38.29 \pm 0.04$	+0.03	+0.015	0.015	
2	A	x	$\phi 32.64 \pm 0.04$	0	-0.001	0.001	
		y	$38.29 \pm 0.04$	-0.01	-0.012	0.002	
3	A	x	$\phi 32.64 \pm 0.04$	+0.006	-0.008	0.014	
		y	$38.29 \pm 0.04$	+0.018	+0.005	0.013	
4	A	x	$\phi 32.64 \pm 0.04$	0	-0.012	0.012	
		y	$38.29 \pm 0.04$	+0.015	+0.004	0.011	

表5 排气凸轮磨损情况

序号	测量		图纸尺寸 (mm)	试验前 (mm)	试验后 (mm)	磨损值 (mm)	磨损平均值 (mm)
	部位	方向					
1	A	x	$\phi 32.64 \pm 0.04$	+0.014	+0.006	0.008	0.007
		y	$38.53 \pm 0.04$	+0.045	+0.038	0.007	
2	A	x	$\phi 32.64 \pm 0.04$	+0.017	+0.008	0.009	
		y	$38.53 \pm 0.04$	+0.047	+0.038	0.009	
3	A	x	$\phi 32.64 \pm 0.04$	+0.012	+0.01	0.002	
		y	$38.53 \pm 0.04$	+0.053	+0.045	0.008	
4	A	x	$\phi 32.64 \pm 0.04$	+0.027	+0.02	0.007	
		y	$38.53 \pm 0.04$	+0.061	+0.055	0.006	

表6 轴颈的磨损情况

序号	测量		图纸尺寸 (mm)	试验前 (mm)	试验后 (mm)	磨损值 (mm)	磨损平均值 (mm)
	方向	部位					
1	B	x	$\phi 46.50 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.034	-0.036	0.002	0.0015
		y	$\phi 46.50 \begin{matrix} -0.075 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.035	-0.033	0.002	
2	B	x	$\phi 46.25 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.043	-0.044	0.001	
		y	$\phi 46.25 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.044	-0.048	0.004	
3	B	x	$\phi 46.00 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.039	-0.039	0	
		y	$\phi 46.00 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.039	-0.039	0	
4	B	x	$\phi 45.75 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.043	-0.048	0.002	
		y	$\phi 45.75 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.048	-0.049	0.001	
5	B	x	$\phi 45.50 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.042	-0.043	0.001	
		y	$\phi 45.50 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.041 \end{matrix}$	-0.042	-0.043	0.001	

轴经激光表面处理后,其耐磨性良好。

### 3.4 激光束的扫描方式、硬化间隙与耐磨性关系

凸轮轴经激光表面硬化处理后,它所形成的硬化带是沿轴向的直线形还是绕轴线方向的螺旋形,对于其耐磨性关系极大。如果是前者,则硬化带是沿轴线方向交替分布,硬化带方向垂直于轴的旋转

方向,这样就在轴颈和凸轮上出现硬化带和非硬化带软硬交替,在轴高速运转情况下,出现硬带的脆性脱落,出现磨损沟槽。因此,我们在对凸轮轴进行处理时,采用了光束沿轴的旋转方向,具有一定间隙的封闭的螺旋式扫描。这样,激光辐照所形成的硬化带与轴的旋转方向平行,避免了硬带的脆性脱落。硬化带与非硬化带依次交替间隔分布,非硬化带起储

油润滑减磨作用,硬化带起抗磨骨架作用。此外,硬化带宽与间隙要保持一定比例,才能起到既保证足够储油量又有充分大的硬化面积,使凸轮轴的使用寿命大大提高。

#### 四、结 论

1. 486Q 汽油机凸轮轴经激光表面硬化处理后,硬化层深均匀,硬化效果显著,经装机运行考核试验,凸轮的最大磨损值仅 0.015 mm,平均磨损值 0.008 mm,证明具有很高的耐磨性。

2. 凸轮轴经激光表面硬化处理后,同轴变形不大于 0.045 mm,完全符合装机要求。

#### 参 考 文 献

- 1 E. A. Shur, *Met. Sci. and Heat. Treat.*, **24** (5~6), 324~341 (1982)
- 2 K. Asam, *Proc. 4th Int. Conf. Rapidly Quenched Metals*, Vol. 1, 177~180 (1981)
- 3 J. Benedek, *Opt. and Laser Technol.*, **12** (5), 247~253 (1980)

(收稿日期:1988年7月4日)

## 激光电极导管的设计及动物实验研究\*

卢汉江 李庚山 胡佑伦

(湖北医学院第一附属医院)

王 君 健

(华中理工大学生物工程系)

### Design and experimental investigation of laser-electrode-catheters

*Lu Hanjiang, Li Gengshan, Hu Youlun*

(First Affiliated Hospital of the Hubei Medical College, Wuhan)

*Wang Junjian*

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan)

**提要:** 介绍一种自行设计的激光电极导管及其用于动物心内激光照射的实验结果。此导管较好地解决了光纤向后燃烧(burn-back)问题,不仅能用于激光心内消融术以治疗快速性心律失常,也能用于激光血管成形术。

**关键词:** 激光电极导管,心律失常

难治性快速性心律失常,特别是缺血性心脏病人的持续性反复发作的室性心动过速的治疗至今还很困难。大部分此类病人对常规抗心律失常药物治疗无效,以往多采取外科心内环切术、冷冻疗法和注射酒精治疗,不久前又出现了电极导管消融术,这些治疗方法的目的是阻断和隔离导致心律失常的折返通路和心内异常兴奋灶,从而纠正心律失常。但外科手术创伤性大,而电极导管消融术尚存在许多问题,于是激光心肌消融术便异军突起,这是因为由于其物理特性和能通过光导纤维传输到心脏内部而能选择性地消融心内异常传导组织。尽管激光在医学中的应用几乎涉及到医学里各个方面,可在心血管疾病的治疗中仍处于实验研究阶段,且大多集中于血管腔内成形术及导管技术上<sup>[1]</sup>,仅有国外少量的治疗心律失常的动物实验研究报告。Narular、

Obelienius 和 Saksena 等人都先后用不同类型的激光导管传输氩离子激光或 Nd<sup>3+</sup>:YAG 激光到犬的右心内进行激光心内消融术<sup>[2~4]</sup>,证明激光心内消融术较其它非药物治疗难治性心律失常的方法创伤性小,副作用少。1985年 Lee B. 等人将激光心内消融术与电极导管消融术进行了实验比较<sup>[5]</sup>,认为激光心内消融术较电击消融术能有控制地造成心内损伤且所需能量较少,几乎不影响血液动力学,极少引起心动过速。在动物实验中发现,光纤输出端芯子极易损坏,尤其在接触组织被污染时,常由此出现光纤向后燃烧(burn-back)现象,导致手术失败甚至损伤正常的心血管组织<sup>[4,6]</sup>,这是迄今尚未很好解决的一个棘手问题。激光导管输出端在心脏内如何精确定位

\* 全国第一届激光医学发展研讨会(武汉)入选论文。