

文章编号: 1001-3806(2002)04-0252-03

激光表面硬化预涂层用 89-1 涂料的研究

国玉军 刘常升 贺春林 才庆魁 战效文
(东北大学材料与冶金学院, 沈阳, 110004)

摘要: 研究了一种 CO₂ 激光表面硬化预涂层用的涂料, 并将之用于凸轮轴等金属材料的激光表面硬化处理, 检测了硬化层的热穿透深度、硬度、表面粗糙度等。实验表明, 这种涂料具有吸收效率高、导热速度快、热化学稳定性好、表面涂层无烧蚀、无溅射、易去除以及其价格低廉、无毒、无害、无污染等优点, 完全满足激光表面硬化要求。

关键词: CO₂ 激光器; 表面硬化; 涂料

中图分类号: TG156.99 文献标识码: A

89-1 coating for laser surface hardening

Guo Yujun, Liu Changsheng, He Chunlin, Cai Qingkui, Zhan Xiaowen
(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang, 110004)

Abstract: A kind of coating used in the pretreatment coating of CO₂ laser surface modification is studied. The thermal penetration depth, hardness and surface coarseness of the hardened layer have been examined with the coating used in laser surface hardening treatment. The experiment results indicate that the coating is of merits because it has high absorption rate, high conductivity and good thermochemical stability. The coating has no erosion, poison, pollution and sputtering. It is low cost, harmless, and easy to remove. It completely meets the demand of laser hardening.

Key words: CO₂ laser; surface hardening; coating

引言

由于大多数金属都是良导体, 尤其光亮的金属表面对波长 10.6 μm 的 CO₂ 激光反射率都很高, 一般可达 80% ~ 90%^[1], 这是利用高能量密度激光作为热源, 对金属材料进行激光表面改性处理的一大障碍。故在激光硬化处理前, 必须对零部件进行表面预涂层处理, 以提高对 CO₂ 激光的吸收能力。国内外工程技术人员最常用的化学方法是高温锰盐磷化涂层工艺。对于金属零部件, 这种方法对激光的吸收率可达 96%, 激光吸收能力较强, 完全可以达到零部件激光硬化指标要求。但在使用过程中发现, 一个突出的质量问题是, 激光处理后表面较粗糙, 呈波纹状凹凸不平状态, 有时还出现微气孔缺陷。另一方面, 高温锰盐磷化涂层周期长、工艺复杂、操作麻烦; 需将整个零部件浸入磷化液中, 极易污染磷化液导致涂层失效, 浪费大量磷化液。另外, 对零部件表面清洗脱脂的要求亦十分苛刻, 占用大

量时间, 工效低、成本高。

为克服上述弊端, 可采用在金属表面涂布粉末方法, 其激光吸收率几乎可达 100%^[2], 这种工艺简单、操作方便、工效高、成本低。

结合凸轮轴(材质为 CrNiMo 合金铸铁)激光硬化工艺特点, 研制了一种吸收率高、使用方便且能够满足使用要求的新型涂料。以激光热穿透深度为依据, 验证涂料的激光吸收能力, 通过优化涂料组分与含量, 获得了一种新型涂料, 命名为 89-1 涂料。该涂料对激光的吸收能力强、导热性能好、激光硬化表面平整光滑, 涂层(冷喷涂)效率比磷化涂层提高 10 倍以上, 完全达到凸轮轴激光硬化要求, 获得了令人满意的使用效果。

1 涂料的组分选择原则

考虑到金属对波长为 10.6 μm CO₂ 激光的吸收率的影响^[3,4]和对凸轮轴实施激光表面硬化处理的工艺特点, 要求所研制的涂料的熔点高, 有良好的热稳定性和高导热性能, 能经受高功率密度激光辐照作用, 能向凸轮轴内部传输激光能量且快速导热, 而且涂料不能发生烧蚀飞溅现象。

在激光辐照的瞬间, 凸轮轴的表面会发生熔化,

作者简介: 国玉军, 男, 1959 年 1 月出生。工程师。从事激光应用与研究工作的。

收稿日期: 2001-06-19; 收到修改稿日期: 2001-11-12

由温度梯度引起了表面张力梯度,在熔池液面处的表面张力较大,故较热的中心处金属液体被拉向熔池较冷的边缘,则造成熔池中环流影响表面粗糙度^[5],即这种环流将导致熔池表面呈波纹状,当激光扫过后便快速被凝固(冻结)下来,这是造成凸轮轴激光硬化表面凹凸不平,呈粗糙状态的重要原因。故要求涂料具有表面活性物质功能,即能降低上述表面张力,以最大限度地避免熔池中环流,保证硬化表面质量。

涂料还应具有强附着性,与凸轮轴表面之间的亲和力要大;在喷涂或涂抹瞬间能极易均匀粘结并附着表面,激光处理后易去除。此外,涂料的原料应来源充足,价格便宜。根据上述要求,综合分析多种有关物质的性能,确定碳黑作为骨料,配合粘结剂、溶剂和活化剂等物质构成 89-1 涂料。

2 研究方法

将所选定的 4 元系物质组分,先后按不同混合比调剂成 25 个配方配制涂料。从中筛选出混合比最佳的涂料。编号后分别对凸轮轴进行表面预涂层和激光表面硬化处理。

采用 XJG-04 大型光镜、IM T-3 型显微硬度计、YCL-1 型表面形貌仪,分别测定激光热穿透深度、硬度、表面粗糙度。由测定结果进行对比分析,从中筛选出硬化效果较好者,进一步调整混合比,再进行表面预涂层和硬化处理,检验,测定,以此类推,直到测定结果超过凸轮轴激光硬化指标,最终筛选出最佳混合比,确定 89-1 涂料配方。

3 研究结果

用筛选出混合比为 A_1 的 89-1 涂料,对凸轮轴进行表面预涂层和激光硬化处理试验结果见表 1。

Table 1 Results of laser surface hardening on cam shaft

No.	canr 1	canr 5	canr 8
total depth/mm	0.60~0.65	0.50~0.60	0.50~0.55
molten depth/mm	0.22~0.30	0.10~0.30	0.20~0.25
hardness/HRc	63.8~65.0	60.5~64.0	62.0~63.0
surface state	flat & smooth	flat & smooth	flat & smooth
conditions	power: 800~840W; velocity: 22mm/s		

凸轮轴由 5 个轴颈和 8 个凸轮构成。其中“桃形”凸轮工作条件最苛刻,其尖部受力最大,系易磨损工作面。故表 1 中,有选择性间隔剖析序号 1, 5, 8 等 3 个凸轮的尖部,其测定结果最有代表性,能

真实地反映出用 89-1 涂料预涂层的激光吸收能力、硬化效果、表面状态。

凸轮激光硬化表面形貌,见图 1,图中凸轮序号与表 1 相对应。《激光表面硬化处理汽油机凸轮轴推广应用课题研制攻关协议书》规定:表面硬度 HRc55~HRc62、硬化层深度 $\geq 0.3\text{mm}$ 。而表 1 所测结果均超过协议书规定指标,表面平整光滑。在混合比 A_1 基础上,又适当调整了粘合剂和活化剂的比,获得混合比 A_2 。

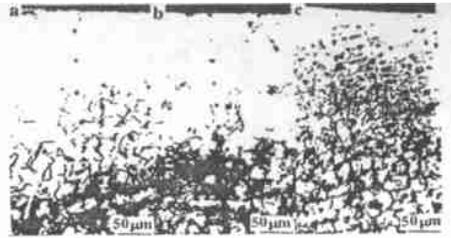


Fig 1 Surface morphology of laser hardening coating on cam shaft
a—canr 1 b—canr 5 c—canr 8

用混合比 A_2 的 89-1 涂料,对凸轮轴进行表面预涂层和激光硬化处理的试验结果,见表 2。为了比较,将磷化涂层激光硬化处理的凸轮轴的表面粗糙度 R_a 测定结果也列入表 2,与其相应的硬化层形貌,见图 2。

Table 2 Coarseness of laser surface hardening coating on the cam shaft

No.	$R_a/\mu\text{m}$	pretreatment	conditions
cam shaft 1	1.6~2.8	cold spray 89-1	power: 800~840W
cam shaft 2	2.0~2.4	cold spray 89-1	velocity: 22mm/s
cam shaft 3	4.0~5.8	phosphide treatment	



Fig 2 Surface morphology of laser hardening coating on cam shaft
a— A_2 89-1 pretreatment coating $50\times$ b—phosphide treated $50\times$

由表 2 可知,喷涂 A_2 的凸轮轴,其硬化表面粗糙度为 $\frac{3.2}{\sqrt{V}} - \frac{1.6}{\sqrt{V}}$,而高温磷化涂层为 $\frac{6.3}{\sqrt{V}}$ 。明显看出,前者硬化层表面更加平整光滑(见图 2a),这充分说明,混合比 A_2 要比混合比 A_1 硬化层表面质量(见图 1)好得多;而后者硬化层表面呈波纹状,凹凸不平(见图 2b),这是凸轮轴采用磷化涂层无法克服的一大缺点。与表 2 相对应的激光硬化效果,见表 3。

由表 3 可见,表面硬度、硬化层深度,均超过协议书规定指标,其表面质量更理想,故确定混合比 A_2 为 89-1 涂料最佳混合比。

Table 3 Results of coating 89-1 used in cam shaft

No.	width /mm	width of gap /mm	surface hardness/HRc	depth of coating/mm
cam shaft-1	3.7~4.2	0.16~0.30	63~65	0.43~0.54
cam shaft-2	3.9~4.1	0.45~0.59	64~65	0.51~0.62

4 讨论

4.1 激光吸收率

金属从激光辐射的作用区吸收到能量借助于不同的导热机理——电子的、声子的和辐射的机理,向内部传递^[6],这是一个很复杂的物理冶金过程。故要想直接测定激光吸收率 A ,是相当困难的,因此,一般采用间接测试办法。

但事实上,表面吸收率在辐照期间是变化的^[3,6];激光硬化处理所需最低激光输出功率一般起码也在 700W 以上,吸收率尚受激光功率密度、扫描速度影响^[7]。故上述所测吸收率 A 值,反映不出表面预涂层在实际激光硬化工艺参数下的吸收率,仅作参考。

研究材料表面对激光的吸收表明,在激光功率密度 P_0 一定时,激光照射金属表面的输入热量 q 与吸收率 A 成正比关系^[8];吸收率越高其输入热量越大,在一定扫描速度(控制照射时间)下,激光热穿透深度 D (硬化深度)越大^[9]。笔者采用的办法是:在凸轮轴激光硬化工艺参数下,直接测定激光热穿透深度 D ,能反映出 89-1 涂料表面的激光吸收率。其激光热穿透深度可达 0.45~0.65mm 范围(最深可达 0.7mm)。

同时,涂层涂敷质量如厚度、均匀性也对表面激光吸收率有较大影响,从而最终影响凸轮轴激光硬化效果。

4.2 表面吸收与激光参数

吸收率是控制激光表面改性处理特性的重要因素,但与激光参数有关。激光照射到经 89-1 涂料表面预涂层的凸轮轴上的能量,被表面吸收后才能通过热传导向内部传输。这是激光硬化处理的前提,但只有在激光硬化参数与之相匹配的情况下,才能达到凸轮轴激光表面硬化目的。否则,激光硬化参数选择不当或控制失误,89-1 涂料吸收率再高,涂层质量再好,也难以获得预期的激光硬化效果和良好的表面质量。

5 结论

(1) 89-1 涂料激光吸收能力强、导热性好,可获得较好的激光硬化层、良好的激光硬化效果,微熔硬化表面平整光滑,完全能够达到凸轮轴激光表面硬化要求。(2) 89-1 涂料熔点高、热化学稳定性好,能经受高功率密度激光辐照热作用,在激光扫描过程中,其表面涂层不烧蚀、不溅射。(3) 89-1 涂料使用安全、可靠、涂敷容易,喷涂瞬间即可快速自行干燥;激光处理后涂层极易去除,且不损伤硬化表面。

参 考 文 献

- [1] 林成富编译. 激光热处理译文集. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1989.
- [2] 荒田吉明, 宫本勇, 山田猛. 溶接学会志, 1971, 40(12): 67.
- [3] Ready J F. 激光科学与技术, 1983, 6: 68.
- [4] 丸尾大, 宫本勇, 荒田吉明. 机械と工具, 1981, 25(6): 25.
- [5] 李恒德, 肖纪美. 材料表面与界面. 北京: 清华大学出版社, 1990.
- [6] [俄]雷卡林著, 王绍水译. 材料的激光加工. 北京: 科学出版社, 1982.
- [7] 苏宝蓉, 王哲恩, 罗乃草. 激光, 1982, 9(8): 153.
- [8] 安永畅男. 机械の研究, 1983, 35(1): 150.
- [9] 菅原宏之. レーザ研究, 1979, 11(10): 52.

(上接第 251 页)

使其内部应力有所变化, 很容易在劈裂处掰断。

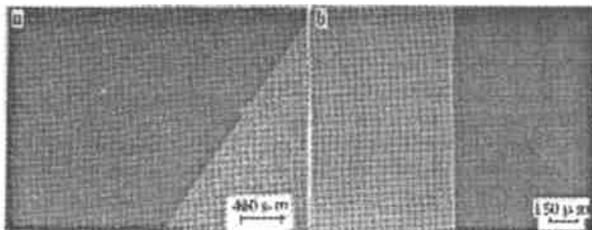


Fig. 4 a- cut slot micrograph of a Si wafer cut by 193nm excimer laser
b- cut brim micrograph after being broken off

图 4a 给出激光在硅片上切割出细槽的剖面图, 图 4b 为掰断后的显微图。可以发现, 切割细槽后掰

断的断面比直接切断的质量要好。这是一个可喜的结果。当然, 这一技术要配以质量良好的掰断设备, 但该方法不仅可以提高加工切割速度, 还可以提高断面质量, 是一个有待深入研究的方法。

在此特感谢上海光机所半导体激光室方祖捷研究员等人的大力支持。

参 考 文 献

- [1] Lou Q H, Wang R. Opt Laser Technol, 1987, 19(1): 33~ 36.
- [2] Gower M C. SPIE, 1999, 3618: 251~ 261.
- [3] Bloembergen N. Laser ablation mechanisms & applications II, AIP Conf Proceedings, 1994.
- [4] Auston D H. A P L, 1979, 34(10): 635~ 637.