

几种钢材表面激光涂复与合金化的实验研究

苏宝熔 黄德群 王浩炳 陈兰英 王金钟*

(中国科学院上海光机所)

提要: 介绍用千瓦横流二氧化碳激光器对灰铸铁、10# 钢和 20# 钢表面涂层进行热处理所得到的实验结果。给出了在不同基体上形成性能良好的激光涂复层与合金化所需的条件。

Study of laser coating and alloying on surface of some steels

Su Baorong, Huang Dequn, Wang Haobing, Chen Lanqing, Wang Jinzhong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: In this paper we report some experimental results of laser heat treatment on surface coatings of grey cast iron, 10# and 20# steel using a transversely-excited flowing kW CO₂ laser. Suitable conditions for forming coating and alloying layers with laser light on various substrates are given.

一、引言

用激光束把工件表面的熔化控制在要求的温度,同时外加粉状合金元素,就能够实现局部合金合成^[1,2]。此外激光束能把高熔点涂复金属敷在低熔点工件上^[3]。

我们选用价格低廉、不易强化的 10# 钢、20# 钢灰铸铁做基体材料,在其表面进行激光涂复镍基粉以提高抗蚀性;涂复钴基粉以提高赤硬性;涂复铁基合金以提高抗磨性。研究了在不同基体上形成性能良好的激光涂复与合金化的处理条件。

二、试样制备及激光热处理条件

在灰口铸铁、10# 钢和 20# 钢三种材料上分别喷涂铁基粉、镍基粉、钴基粉和氧化铝粉,然后用 JG-3 型长寿命横流 CO₂ 激光器进行表面热处理。激光器额定输出功率 1200~1500 W,处理样品时使用的功率为 900~1100 W。激光束在试样上的扫描速率为 3~33 mm/s。表 1 列出了各试样的制备条件。

收稿日期: 1985 年 8 月 26 日。

* 天津大学冶金分校八五届毕业生。

表 1 各试样制备条件

材料基底	涂层材料	激光功率(W)	激光扫描速度(mm/s)
灰口铸铁	铁基粉	1100	8, 11, 14.3
10 号钢	镍基粉	1100	8, 11, 14.3, 20, 22, 26, 28.6, 33
		1100	3, 6
20 号钢	钴基粉	1000	3, 6
		900	3

三、实验结果与分析

1. 灰口铸铁表面合金化的形成

在灰口铸铁表面涂上一层铁基粉末, 激光处理后在扫描电镜下观察沿垂直于激光束移动方向的试样截面上的组织形貌。结果表明, 在表 1 所列的处理参数下, 铸铁表面形成了合金化层, 如图 1 所示, 其熔化区和热影响区间看不到明显的界线。另外, 在处理区附近, 由 X 射线能谱仪所作的分析结果表明, 涂层元素(Al、Si、Cr、Ni)在距表面 0.55 mm 以内, 均有一定量的分布(用金相显微镜测出的熔化区厚度为 0.33 mm 左右)。



(a) 灰铸铁涂铁基粉试样横截面上组织结构的电子显微象 3000×

1-激光熔复区, 2-基材热影响区

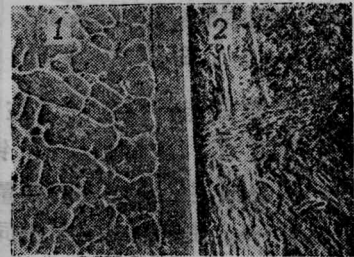


(b) 灰铸铁基材组织结构的电子显微象 1000×

图 1

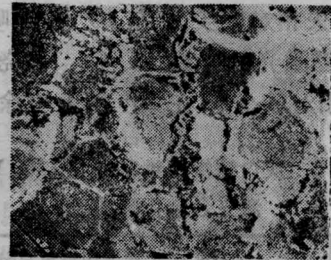
2. 10# 钢和 20# 钢表面激光涂复的形成

在 10# 钢表面涂镍基粉, 在 20# 钢表面涂钴基粉, 然后用激光进行热处理。在垂直于激光束移动方向的试样截面上, 用扫描电镜观察其组织形态, 结果表明, 20# 钢基体上的钴基涂层经激光处理后所形成的熔化区和热影响区界线分明(如图 2)。X 射线能谱仪分析结果表明涂钴基粉的 20# 钢在热影响区没有检测到涂层中的主要元素钴; 同样在 10# 钢上喷涂镍基粉经激光处理后, 在熔化区与热影响区也有明显界线(如图 3)。X 射线能谱分析结果指出, 在两区交界线上的元素成分为 Al-0.3%、Si-0.59%、Cr-0.02%、Fe-89.7%、Ni-9.34%。作为涂层主要成分的 Ni、Cr、Al 三种元素, 在分界线上的含量显著降低。所以 10# 钢和 20# 钢经表 1 所示的条件处理后形成的表面属于激光涂复层。



(a) 20# 钢涂钴基粉试样横截面上组织结构的电子显微象 500×

1-激光熔复区 2-基材热影响区

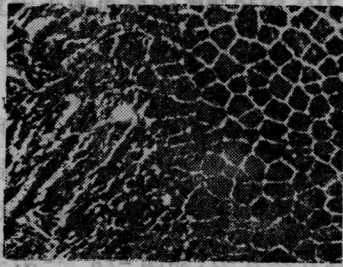


(b) 20# 钢基材组织结构的电子显微象 1000×

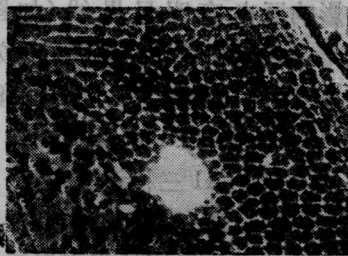
图 2

3. 激光处理工艺参数对试样表层组分的影响

(1) 激光束扫描速率的影响



(a) 10# 钢涂镍基粉试样横截面上组织结构的电子显微象 1000 ×
激光处理功率: 1100 W
光束扫描速率: 11 mm/s



(b) 10# 钢涂镍基粉试样横截面上组织结构的电子显微象 1500 ×
激光处理功率: 1100 W
光束扫描速率: 26 mm/s

图 3

我们用 X 射线能谱仪分析了在激光束不同的扫描速率 v 下, 灰铸铁、10# 钢和 20# 钢涂料熔化后表面层上各元素的含量。结果分别列于表 2~4。由表可知, 在相同激光功率作用下, 涂层中各元素(除基体元素 Fe 外)的烧失量有较大差别。在灰铸铁表面喷涂的铁基粉中, 经激光处理后 Al、Cr 烧失较多, Si、Ni 烧失相对较少。在 10# 钢上喷涂的镍基粉中, 经激光处理后 Al、Cr、Si 烧失较多, Ni 烧失相对较少。在 20# 钢上喷涂的钴基

表 2 灰口铸铁喷铁基粉在 1100 W 激光合金化区成份

扫描速度 (mm/s)	合金化区元素平均重量百分数				
	Fe	Si	Ni	Al	Cr
8	79.37	2.34	14.82	1.68	1.79
11	79.33	2.23	15.00	1.30	2.14
14.3	79.18	2.16	14.87	1.41	2.37

表 3 10 号钢喷镍基粉在 1100 W 下激光涂复区元素成份

扫描速度 (mm/s)	激光涂复区元素平均重量百分数				
	Fe	Si	Ni	Cr	Al
8	67.04		30.63	1.45	0.97
11	57.66	0.05	36.27	2.28	1.21
26	46.96	0.41	47.05	2.18	3.40

表 4 20 号钢激光喷 Co 基粉涂复区成份

激光功率 (W)		1100		1000		900
扫描速度 (mm/s)		3	6	3	6	3
涂复区 元素重 量百分 数	W	11.57	14.53	11.71	14.73	11.11
	Cr	10.57	12.49	10.17	15.49	11.13
	Fe	55.15	37.70	51.54	32.06	49.86
	Co	23.26	35.29	24.90	37.79	27.90

粉中, 经激光处理后 Co、Cr 烧失较多, W 烧失少。对于 10#、20# 钢, 在相同激光处理功率下涂层中各元素 (Fe 除外) 的烧失量都随激光束的扫描速率加快而减小。这是因为激光束扫描速率增加时, 试样表面单位面积上吸收的辐射能量减少, 熔化层温升降低, 从而使元素挥发量减少。对于灰口铁表面涂铁基粉的情况, 当 v 由大到小变化时, 涂层中各元素(包括 Fe)的烧失量基本上按比例增加, 因而合金化层中各元素的相对重量百分浓度变化是很小的。

(2) 激光功率的影响

当 v 保持不变而激光功率增加时, 有些合金元素的烧失量将增加。如 20# 钢涂钴基粉中的 Co、Cr 烧失量增加, 但难熔元素 W 的烧失量无明显的变化, 见表 4 所列数据。

4. 激光处理工艺参数与试样表面组织形态及硬度的关系

(1) 熔化带的深度和宽度

在相同激光处理功率下, 激光束移动的速度 v 对熔化带的深度和宽度有较明显的影响。熔化带的深度和宽度随 v 的减小而增

表5 激光处理后熔化区的深度和宽度

材料名称	涂层材料	激光功率(W)	扫描速度(mm/s)	熔化区		深度×宽度	
				深度(mm)	宽度(mm)		
灰口铸铁	铁基粉	1100	8	0.33	2.02	0.67	
			11	0.27	1.98	0.62	
			14.3	0.25	1.93	0.48	
10号钢	镍基粉	1100	8	0.19	2.06	0.39	
			11	0.16	1.91	0.31	
			26	0.08	1.11	0.09	
20号钢	钴基粉	1100	3	0.45	2.75	1.24	
			6	0.34	2.35	0.80	
			3	0.45	2.46	1.11	
		1000	6	0.23	2.24	0.52	
			900	3	0.38	2.33	0.89

大。表5列出了熔化区尺寸与激光束功率和扫描速率之间的数值关系。这种关系的实质是熔化区的熔体体积同入射激光束的能量成正比。

(2) 激光处理区材料硬度变化规律

图4是10#钢喷镍基粉在相同激光功率(1100W)不同扫描速率下涂层的平均显微硬度。由图可以看出,激光束扫描速率有一个较佳范围,对应的材料表面硬度较高。这可以从材料内部细结晶强化和合金元素弥散强化作用这两个方面来解释。

图5是10#钢喷涂镍基粉后在1100W

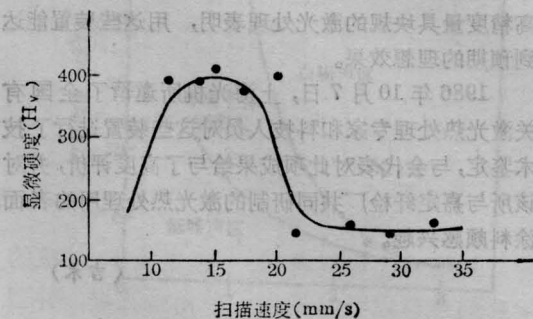


图4 10#钢激光涂镍基粉试样显微硬度与激光束扫描速度的关系(功率1100W)

功率下扫描速率分别为11和20mm/s时从涂层表面到基体的显微硬度变化规律,硬度三阶梯式变化。在 v 较低时(11mm/s),熔融区和热影响区的硬度值均比 v 较高时(20mm/s)的硬度低,但作用区的深度和宽度比较大。所以 v 的选取视材料表面性能的具体要求而定。

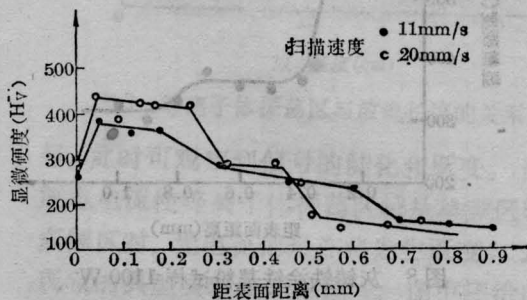


图5 10号钢涂镍基粉试样1100W激光处理后显微硬度纵向分布

图6示出了激光束扫描区水平方向的硬度分布。从图可知,当 v 比较大时,扫描带两

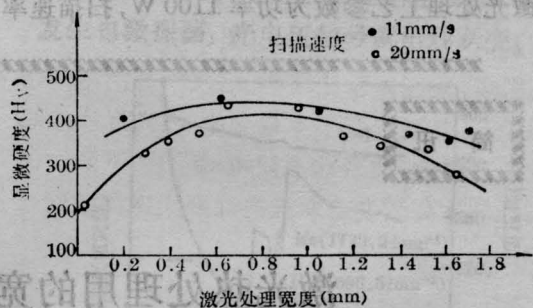


图6 10号钢喷镍基粉试样1100W激光处理后横向显微硬度分布

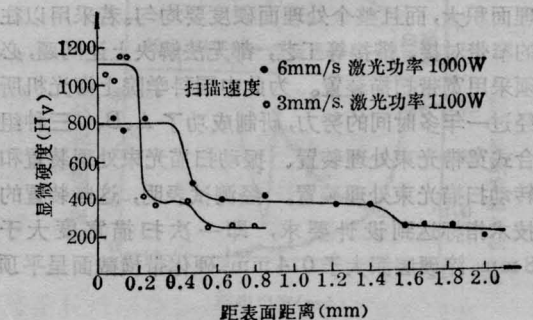


图7 20号钢涂钴基粉试样激光处理后纵向显微硬度变化

边缘的硬度相对中心部位明显降低。

20# 钢表面涂钴基粉, 灰铸铁表面涂铁基粉后, 经激光处理后的表面硬度变化都具有三阶梯的相似规律性, 见图 7、8。

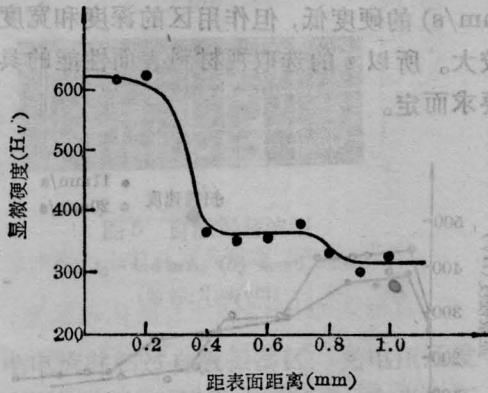


图 8 灰铸铁涂铁基粉试样 1100 W 激光合金化纵向显微硬度

四、小 结

1. 灰铸铁喷铁基粉, 形成合金化的较佳激光处理工艺参数为功率 1100 W, 扫描速率

8 mm/s。10# 钢上涂镍基粉后形成激光涂复层, 较佳的激光处理工艺参数为功率 1100 W, 扫描速率 11 mm/s。20# 钢涂钴基粉后形成激光涂复层, 较佳的激光处理工艺参数为功率 1000 W, 扫描速率 6 mm/s。

2. 经激光束熔化处理后的材料表面, 显微硬度成倍提高。10# 钢基体硬度为 Hv 140, 涂了镍基粉再经激光处理后的硬度高达 Hv 400; 20# 钢的基体硬度为 Hv 220, 涂了钴基粉再经激光处理后的硬度最高可达 Hv 1049; 灰铸铁的基体硬度为 Hv 200, 涂了铁基粉再经激光处理后的硬度可提高到 Hv 598。

参 考 文 献

- [1] 川澄博通; 《机械と工具》, 1979, 23, No. 2, 101~107.
- [2] Gary C. Irons; *Welding Journal*, 1978, No. 10, 29~32.
- [3] D.S. Gnanamuthn; *Opt. Engineering*, 1980, 19, No. 5, 783~792.

简 讯

激光热处理用的宽带激光光束处理装置

在用激光对表面进行热处理时, 有些工件要求处理面积大, 而且整个处理面硬度要均匀。若采用以往的窄带对接、搭接等工艺, 都无法解决上述问题, 必须采用宽带扫描装置。为此中国科学院上海光机所经过一年多时间的努力, 研制成功了 A、B、C 三种组合式宽带光束处理装置、振动扫描光束处理装置和转动扫描光束处理装置。经测试表明, 这些装置的技术指标达到设计要求, 即一次扫描宽度大于 8 mm, 淬硬层深大于 0.4 mm, 硬化带横截面呈平顶

月牙形, 淬硬层深波动小于 20%。对机车主簧片和高精度量具块规的激光处理表明, 用这些装置能达到预期的理想效果。

1986 年 10 月 7 日, 上海光机所邀请了全国有关激光热处理专家和科技人员对这些装置进行了技术鉴定, 与会代表对此项成果给予了高度评价, 并对该所与嘉定纤检厂共同研制的激光热处理用的表面涂料颇感兴趣。

(吉禾)