

激光熔覆硬质合金涂层的组织结构与性能*

王忠柯 叶和清 许德胜 郑启光 王 涛 辜建辉
(华中科技大学激光技术国家重点实验室,武汉,430074)

摘要: 试验研究了 Co 基硬质合金涂层的激光熔覆。低熔点 Al 的加入增加了熔池的流动性,抑制了熔覆层气孔的产生;金属 Ni 的加入明显改善了 TiC 的润湿性,提高了硬质合金涂层的熔覆性。WC-Co 基硬质合金熔覆层硬度可达 HV_{0.2}1100。涂层中 TiC 的加入显著提高了熔覆层的硬度,平均达 HV_{0.2}1200~HV_{0.2}1300。

关键词: 激光熔覆 Co 基硬质合金 气孔 润湿性

Microstructure and properties of hard alloy coating of laser cladding

Wang Zhongke, Ye Heqing, Xu Desheng, Zheng Qiguang, Wang Tao, Gu Jianhui
(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: Investigation has been carried out into the laser cladding of several Co-base hard alloy. It shows that the flowability of the molten bath improves and the emerging of gas holes in cladding coating can be eliminated when Al material with low melting point is added and that the wettability of TiC obviously improves and the claddability of hard alloy coating increases when Ni material is added. The hardness of WC-Co cladding coating can reach up to HV_{0.2} 1100. Adding TiC to coating obviously enhances the hardness of cladding coating. The hardness values range from HV_{0.2} 1200 to HV_{0.2} 1300.

Key words: laser cladding Co-base hard alloy gas holes wettability

引 言

硬质合金材料激光熔覆的研究具有广阔的应用前景和现实意义,是激光熔覆技术发展的热点之一。国内外学者对硬质合金的激光熔覆进行了多年研究^[1~3],但因熔覆层中的气孔倾向、裂纹或熔覆层未熔合、过度稀释等缺陷,而未能取得实质上的突破,因此,继续努力探索这方面的问题,具有明显的价值。

1 试验条件

激光熔覆的基材是普通碳钢,预置粉前进行去污处理。硬质合金粉末组成如表 1,预置粉厚度 0.8~1.0mm。激光熔覆采用华中科技大学生产的 HGL-895 型 5kW 横流 CO₂ 激光器,少量 Ar 气保护。工艺参数:激光功率 2~3.5kW,光斑直径 2~4mm,扫描速度 5~8mm/s。显露合金中的 WC 及 WC-TiC 固溶体晶粒用 20%NaOH (KOH)和 20%K₃Fe(CN)₆ 体积比的混合水溶液腐蚀剂。腐蚀 Co 相用 FeCl₃ 和浓盐酸的饱和溶液。

Table 1 Powder components for experiments

powder number	components(wt %)				
	WC	Co	TiC	Ni	Al
1	80	20	—	—	—
2	75	22	—	—	3
3	55	15	30	—	—
4	57.5	20	20	—	2.5
5	55	15	20	8	2

* 激光技术国家重点实验室对外开放研究基金资助。

激光熔覆过程中,激光功率密度与激光扫描速度对能否形成较高质量及冶金结合良好的硬质合金熔覆层极为重要。对于固定厚度的粉末层,粉末熔化并与基体结合需要一定的能量,如果功率密度较低,就需要以降低激光的扫描速度来保证粉末涂层能够得到足够的能量。但是,激光的功率密度不能低于某一限定值,以保证在限定时间内使粉末吸收到足够的热量,并通过熔覆层的传热使基体微量熔化及与过渡区良好的结合。如果激光功率不够,虽然大大降低激光扫描速度能够形成熔池,得到熔覆层,但是,试样分析发现,熔覆层很少有 WC 与 TiC 的固溶体,这就是因为慢的扫描速度导致熔覆层受热时间较长,而使 WC 和 TiC 颗粒溶解或分解烧损的缘故,这样,熔覆层中的硬化相质点就相应减少,并且金相组织结构也相应变坏。另一方面,在对应于高的功率密度,扫描速度必须加快,这时熔覆层的传热速度可能跟不上,基体组织不能得到足够的热量熔化,使基体不能形成良好的冶金结合。试验发现,不同的材料,所要求的激光功率不同,硬质合金熔覆所需要的功率密度要比一般金属自熔粉末所需功率密度高,同时激光功率密度和扫描速度的选择范围也较窄。

2 试验结果及分析

2.1 熔覆层的组织特点

结果表明,硬质合金熔覆层组织结构由硬质合金区、过渡区和基体 3 部分组成。在金相图上硬质合金区呈白

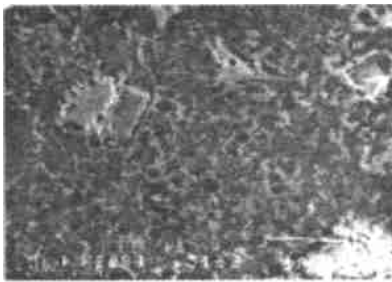


Fig. 2 Circular structure of WC-TiC solid solution 2000 ×

亮色,由弥散分布的 WC 和 WC-TiC 固溶体和粘结相 Co 组成,WC 是不规则的多边形棱角状晶粒。当熔覆层中是纯粹的 WC-Co 合金时,WC 块的尺寸较大(见图 1)。而 WC-TiC 固溶体通常是具有所谓“环状结构”的晶粒(见图 2),这种环状结构是因固溶体晶粒均匀化过程不充分而形成的特殊结构^[4],其中心部分是 TiC 或 WC 在 TiC 中的不饱和固溶体,外层是饱和固溶体。熔覆层的过渡区较薄,扫描电镜(SEM)观测其厚度约 50~100μm,在过渡区中,硬质相离基体越近,受到的稀释作用越强,

分布变得越来越疏,最后完全是基体组织(见图 3)。

2.2 熔覆层的气孔

熔覆层常规金相检验发现,1# 粉末因 WC 的燃烧和分解,熔覆层内有较多的蜂窝状气孔或离散性气孔的产生,在一定条件下气孔、缩松可能是激光熔覆这类粉末的固有特征^[5]。故气孔的解决在很大程度上取决于粉末的组成本身,试验时在硬质合金中加入了粒度匹配的 Al 粉;由于 Al 是较高活性的低熔点物质,故其增加了熔池的流动性,同时 Al 和 C 比较起来又能更好地和 O 结合,形成具有高化学稳定性的 Al₂O₃,这两方面因素从而有效地抑制了硬质合金气孔的产生。图 4 表明,加有 Al 粉的熔覆层中硬质合金的 WC 晶粒和 WC-TiC 固溶体均匀分布于 Co 的粘结剂



Fig. 1 WC grain shape in WC-Co alloy 500 ×

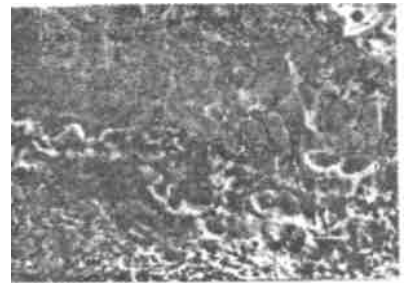


Fig. 3 Microstructure of transition region for cladding layer 1000 ×

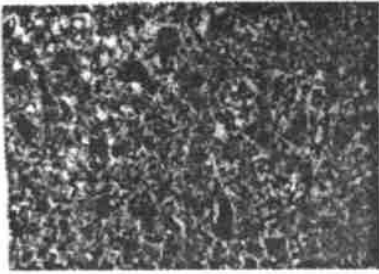


Fig. 4 Gas-hole restraining in cladding layer 800 ×

中,组织致密,没有孔洞缺陷。而没有加 Al 的粉末中,C 的氧化产生的 CO 和 CO₂ 气体在熔覆层快速凝固时来不及逸出,产生了不同孔径的气孔。

但是,熔覆层中 Al 粉的加入和 WC 含量的减少,以及 WC 的烧损都不同程度地降低了熔覆层的硬度,为此,熔覆层中加入了硬度和碳化分解温度都比 WC 还高的硬质相 TiC。由于 TiC 较 WC 有较差的激光熔覆性能,TiC 的加入,相对降低了合金粉末中粘结金属 Co 的比例,增大了合金粉末与 Fe 的润湿角,降低了合金粉末的可熔覆性,在熔覆层中加入低熔点的粘结金属 Ni,一方面保证涂层中液相与陶瓷相 TiC,WC 的比例,使液相不致于过少,另一方面 Ni,Al 等可改善陶瓷相 TiC 的润湿性,从而增加了熔池的流动性和硬质合金的熔覆性,大大减少了熔覆层的气孔、裂纹等缺陷。试验表明,采取上述各个措施之后,可获得硬度较高的良好熔覆层。

2.3 硬质合金熔覆层的硬度

WC-Co 基硬质合金 YG20 的熔覆层组织中 WC 呈不规则多边形的块状,WC 块的显微硬度虽距表面的距离而不同,一般离基体越近显微硬度越低。WC 粒子本身硬度高 HV_{0.2}1800,但在激光熔覆条件下已经熔化,由于失碳不会再生成 WC,而生成 WC 和 相的共晶,其硬度大为降低,约为 HV_{0.2}1100。为提高熔覆层的硬度,进一步在熔覆粉末中加入了具有更高硬度的 TiC,测得熔覆层硬度平均值为 HV_{0.2}1200 ~ 1300,并且随 TiC 含量的增加熔覆层硬度增加。在激光熔覆过程中,由于快速加热和快速冷却的特点,处于液相中的硬质合金不同于烧结方法制备硬质合金时,WC-TiC-Co 中将形成 Co + (TiC-WC) 的二元共晶或者是 Co + (TiC-WC) + C 的三元共晶,TiC 和 WC 大多以分离的状态为粘结金属所包裹,特别是 WC 在高温下的热分解和相变分解生成的 相,故熔覆层的硬度值与烧结硬质合金有较大差别。

3 结 论

(1)合适的工艺参数下激光熔覆 WC-Co 基硬质合金,可获得 HV_{0.2}1100 熔覆层。熔覆层中加入适量的 TiC 可明显提高熔覆层的硬度,平均为 HV_{0.2}1300,且随 TiC 含量的增加而增加。(2)熔覆层中低熔点 Al 的加入,可明显抑制熔覆层气孔的产生。金属 Ni 的加入则可明显改善 TiC 的润湿性,增强硬质合金层的熔覆性,并与 Al 一道抑制涂层气孔、裂纹倾向的产生。

参 考 文 献

- 1 曾晓雁. 激光熔覆金属陶瓷复合涂层中陶瓷相行为的研究. 华中理工大学博士学位论文,1994
- 2 武晓雷,陈光南. 金属学报,1998;10:1033 ~ 1038
- 3 Hu C, Barnard L, Mridha S *et al.* J Mater Processing Tech, 1996;58:87
- 4 硬质合金的生产. 北京:冶金工业出版社,1974:409
- 5 闫毓禾,钟敏霖. 高功率激光加工及其应用. 天津:天津科学技术出版社,1994

作者简介:王忠柯,男,1968 年出生。副教授,博士。主要从事激光先进制造技术和激光与材料相互作用理论研究。

收稿日期:2000-05-08