

FeCrAlW 电弧喷涂层组织的致密化研究

刘兴, 赵霞

(黑龙江科技学院材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027)

[摘要] 采用激光辐照对 FeCrAlW 电弧喷涂层的组织进行致密化处理, 借助扫描电镜和 X 衍射对涂层的组织进行了分析, 测试了涂层的显微硬度。结果表明: 涂层组织致密度提高, 孔隙率明显降低。随着激光扫描速度的增加, 涂层的显微硬度降低。在较低的扫描速度下, 涂层与基体之间形成互熔区, 涂层与基体之间产生良好的冶金结合。

[关键词] 电弧涂层; 致密化; 硬度; 激光辐射

[中图分类号] TG174

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2008)01-0037-03

Compact Process of Microstructure of Arc-spraying-coating of FeCrAlW

LIU Xing, ZHAO Xia

(Institute of Materials Science and Engineering, Heilongjiang Institute of Science & Technology, Harbin 150027, China)

[Abstract] Laser heating compact process of FeCrAlW was carried out, and the microstructure was analyzed and micro-hardness profile in the coating was examined by XRD and SEM. The results show that compact microstructure of the coating is obtained, pore and inclusion decrease. With increasing specific scanning speed, the micro-hardness of compact layers descends. When the scanning speed is lower, metallurgy combine between compact layers and substrate is obtained.

[Key words] Arc-spraying-coating; Compact process; Hardness; Laser radiation

0 引言

近 10 年来, 随着喷涂技术不断完善及其在国内工业领域中的广泛应用, 已引起国内众多学者的重视^[1-4]。电弧喷涂技术于 20 世纪 90 年代后期获得了较为广泛的应用, 其主要特点是: 在喷涂时, 工件表面的温度低 (一般低于 100℃), 氧化倾向小, 喷涂材料熔化充分, 涂层与基体间有较高的结合强度。但由于工艺特点, 喷涂层具有多孔性。本文对电弧喷涂层在激光辐照下的组织进行了研究, 以期消除或减少涂层的孔隙率, 提高涂层与基体的结合强度, 为获得高性能的涂层提供有效的方法。

1 试验方法

采用俄罗斯进口 BHy-506-y3 型电弧喷涂设备, 工作参数为: 电压 34~36V, 电流 100~120A, 空气压力 0.6MPa。试件为 $\phi 30\text{mm} \times 10\text{mm}$ 钛合金, 表面经喷砂后进行电弧喷涂, 涂层厚度约为 0.6mm。喷涂材料为 FeCrAlW 电弧喷涂丝, 其主要化学成分 (质量分数) 为: 76% Fe, 14% Cr, 8% Al, 2% W。激光辐照试验采用 GJ-II 型 CO₂ 连续激光器, 工艺参数为: 输出功率 $P = 600\text{W}$, 扫描速度 $V = 2, 4, 8, 12\text{mm/s}$, 光斑直径约为 3mm。

将激光辐照前后的试样沿垂直熔道的方向切开, 用德国莱斯光学显微镜和 S-530 型扫描电镜观察组织形貌。用 D/max-Rb 型 X 射线衍射仪对涂层进行物相分析。用俄罗斯 MM-13 型显微硬度计测量涂层的显微硬度 (3 点平均值), 载荷为 200g。

2 试验结果

2.1 涂层组织形貌

图 1 为喷涂层的表面组织形貌, 喷涂材料的熔化良好, 涂层可见细小熔滴及凝固后的搭接孔洞。采用不同的扫描速度对该涂层进行激光辐照 (辐照能量 600W, 光斑尺寸 3mm) 后的截面形貌如图 2 所示。可见, 扫描速度为 2mm/s 时, 涂层与基体间已发生明显可见的裂纹 (图 2a), 说明涂层在激光辐照时已完全熔化, 并在快速凝固后因应力过大而产生裂纹。扫描速度为 4mm/s 时, 涂层与基体的结合状况良好 (图 2b), 涂层与基体已完全熔合, 涂层内的组织致密、无气孔和裂纹。扫描速度为 8mm/s 时, 涂层组织也与基体结合较好, 但在涂层的内部和与基体的结合区域内有明显的夹杂 (图 2c), 说明其熔化不够充分。在高速度扫描 ($V = 12\text{mm/s}$) 的情况下, 整个涂层组织的变化有很大的差别, 见图 3。从图 3 可看出: 由于扫描速度较快, 激光的能量较小, 在涂层的上部 A 区 (大约 0.15mm 厚度) 的涂层内已基本消除了喷涂组织的“带状”特征; 在 B 区 (大约 0.3mm 厚度), 涂层组织的致密化也很明显, 大部分的喷涂层内粒子的界面已经消除; 和基体相连的 C 区域内, 涂层组织仍然保持了喷涂的带状组织形貌。

[收稿日期] 2007-10-12

[基金项目] 黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (11511351); 黑龙江科技学院科技基金项目 (05-11)

[作者简介] 刘兴 (1973-), 男, 黑龙江鸡西人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 表面涂层技术及铸造数值模拟。

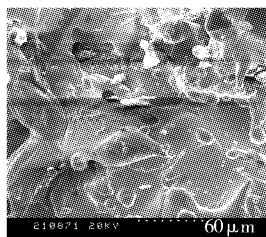


图1 涂层组织 SEM 形貌

Figure 1 Surface morphology of electric-arc spraying layer

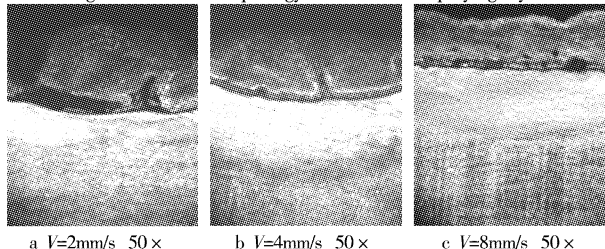


图2 熔道的横截面图

Figure 2 Section morphology of the laser cladding track

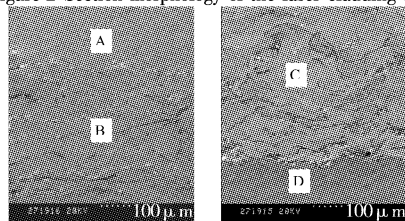


图3 涂层横截面 SEM 形貌

(V=12mm/s、激光功率 P=600W、光斑尺寸 D=3mm)

Figure 3 Section morphology of the laser cladding track

2.2 界面组织及涂层硬度与相组成

在不同激光扫描速度的条件下,涂层的致密化有很大的不同。图4是扫描速度为4mm/s时,涂层与基体的界面形貌,基体表面已经熔化,并与涂层形成了良好的结合。能谱分析表明,在基体与涂层之间形成了互熔(见表1)。

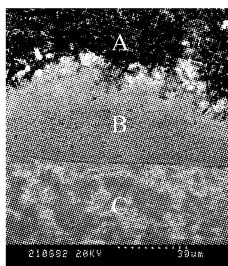


图4 结合区域形貌(扫描速度 V=4mm/s, 激光功率 P=600W, 光斑尺寸 D=3mm)

Figure 4 Section morphology of the combine

表1 互熔区、涂层和基体成分扫描分析结果

Table 1 Composition of the layer, combine zone and matrix constituents in electric-arc spraying layer

区域	元素的质量分数/%					
	Al	Ti	V	Cr	Fe	W
涂层 A	4.282	0.162	0.000	5.472	85.523	4.556
互熔区 B	3.474	77.357	4.568	—	14.598	0.000
基体 C	3.649	89.371	3.973	—	0.000	0.000

图5是喷涂层的 XRD 衍射图谱,经标定涂层的组织是 Fe 基的固溶体,其中固溶了大量的 Cr、Al、W 等合金元素,并标记为 Fe(Cr,Al,W),涂层硬度高达 HV1000 以上。经激光扫描后,涂层硬度发生明显变化(见图6),喷涂层的硬度由表层到内层逐渐下降。当激光扫描速度为4mm/s时,涂层的硬度达到 HV1100 左右,与喷涂层的硬度相差不多。随着扫描速度的提高,激光扫描速度为8mm/s时,涂层硬度为 HV900 左右;扫描速度为12mm/s时,硬度降到 HV500 左右。

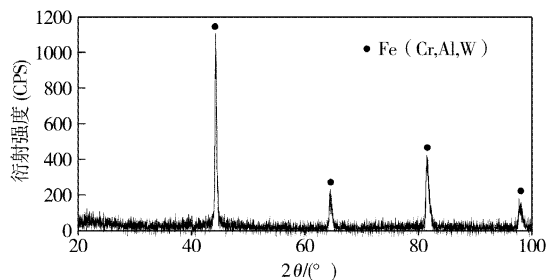


图5 喷涂层的 XRD 衍射图谱

Figure 5 XRD patterns of electric-arc spraying layer

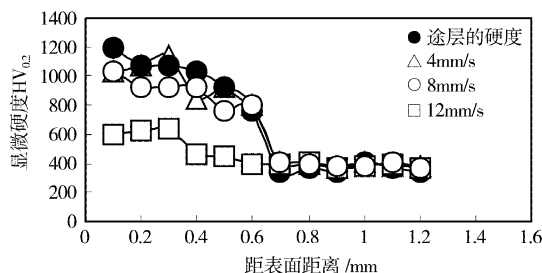


图6 电弧喷涂层在不同激光扫描速度下的硬度变化

Figure 6 Distribution profile of micro-hardness across electric-arc spraying layer

3 分析与讨论

3.1 激光加热过程

预置涂层的激光扫描加热过程是依赖于涂层的导热完成的,激光工艺参数主要包括激光功率 P、光斑尺寸(直径 D 或面积 S)、激光扫描速度 V、多道搭接系数及预置涂层的厚度等。在激光加热的过程中,光斑尺寸和扫描速度强烈地影响熔池的存在时间,其所起的作用几乎为激光功率的 2 倍,增加交互时间也就增加了熔池的存在时间,有利于成分的均匀化。激光扫描过程是在一定的功率和光斑直径的条件下进行的,激光扫描速度决定了预置涂层表面受辐照的时间,也就是能量的大小。在其它因素不变的条件下,扫描速度的提高将有利于激光束对涂层加热时间的均匀化,可见,涂层成分的均匀化和加热时间的均匀化(即:涂层温度的均匀化)相矛盾。在激光扫过涂层的表面时,首先发生材料的固态加热现象,对于具有固态相变的金属和合金而言,加热温度超过相变点,则发生固态相变,并通过基体的自冷效应而获得组织的改变。在激光加热扫描的过程中,除涂层受热外,基体也受到加热,其受热程度与涂层和基体的导热能力、材料的性质及界面结合行为有很大的关系^[5-6]。这样,激

光扫过区域的冷却速度就受到基体导热能力的影响,对比喷涂过程中高温熔滴的冷却而言,激光加热后的冷却就会因为基体温度提高而受到制约。所以经过激光扫描后,厚的涂层的硬度会有不同程度的降低,在高速度的扫描条件下,涂层因为受热而导致高温回火,其硬度大大降低。在低速扫描时,由于激光能量较大,涂层温度已超过相变点,快冷后获得了较大的过饱和度和,涂层的硬度较高。

3.2 互熔区成因

在4mm/s扫描时,基体的表面已经熔化,并与涂层形成了互熔。其熔化过程可描述如下:激光加热时,在涂层的表面形成熔池并迅速地长大,当熔池的底部与基体合金接触后,基体合金的表面也开始熔化,并融入熔池中,熔池中的熔体在表面张力梯度作用下发生激烈的搅拌,而实现成分的均匀^[6]。由流体力学的黏性流体的性质和边界层的理论可知,在熔池的底部,由于黏性的影响,相对于熔池的底部将有一薄层,该薄层在熔池壁面的流速为零;另一方面由于激光加热时的温度场也具有边界层的特征^[7-8]。这样一来,在流体边界层内的流体温度即该材料的熔点(约为1400~1500℃),不难理解将会有1层稳定的、厚度为 δ 的边界层依附于熔池的底部,在激光热源扫过后的快速凝固中而保存下来^[9-10],即图4中的B区域。

4 结 论

1) 利用激光加热电弧喷涂层可以实现涂层的致密化,视工艺条件获得不同的致密化特征。

2) 由于基体受热的影响,涂层在致密化中发生相变,涂层的硬度有所下降。随着扫描速度增加,涂层硬度降低。其主要

原因是涂层受热而导致的高温回火所致。

3) 在较低的扫描速度下,由于流体的黏性和边界层现象,涂层与基体之间形成互熔区,形成良好的冶金结合。

[参 考 文 献]

- [1] Leali P, Merolli A. Evaluation of different preparations of plasma-spray hydroxyapatite coating on titanium alloy and duplex stainless steel in rabbit[J]. J. Mater. Sci. : Mater Med., 1994, 5(4): 345-349
- [2] Chang B, Chang W K, Wang B C, et al. Plasma spraying of zirconia-reinforced hydroxyapatite composite coatings on titanium: Part I phase, microstructure and bonding strength[J]. J Mater. Sci. : Mater Med., 1997, 8(7): 193-200
- [3] 向兴华, 全成军, 朱景川, 等. 钛合金表面等离子喷涂 ZrO_2 -Ni Co CrAlY 梯度涂层的抗热震行为[J]. 宇航学报, 1998, 19(2): 61-65
- [4] 尹钟大, 向兴华, 朱景川, 等. 钛合金等离子喷涂制备 ZrO_2 -Ti 系功能梯度涂层[J]. 中国有色金属学报, 1996, 6(3): 63-66
- [5] 孙成伟, 范正修, 陈裕泽, 等. 激光辐照效应[M]. 1. 北京: 国防工业出版社, 2002. 44-47
- [6] 刘江龙, 邹至荣. 高能束热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998. 53-54
- [7] Merle C Potter, David C Wiggert. Mechanics of Fluids[M]. Beijing: China Machine Press, 2003. 385-387
- [8] 杨世铭. 传热学[M]. 2. 北京: 高等教育出版社, 1987. 158-162
- [9] 胡汉起. 金属凝固原理[M]. 2. 北京: 机械工业出版社, 2001. 255
- [10] 常国威, 王建中. 金属凝固过程中的生长与控制[M]. 1. 北京: 冶金工业出版社, 2002. 50

2008 年《表面技术》杂志征订启事

《表面技术》杂志由中国兵器工业第五九研究所、中国兵工学会防腐包装分会和兵器工业防腐包装情报网主办。创刊于1972年,是全面介绍金属和非金属表面处理技术的中、高级专业技术刊物。本刊为中国中文核心期刊,中国科技论文统计源刊(中国科技核心期刊),中国科技引文数据库统计源刊,中国期刊全文数据库全文收录期刊,《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊,中国期刊网全文收录期刊,中国学术期刊(光盘版)入编期刊,《CA》(美国)收录用刊,《CSA:MI》收录用刊。本刊主要报道电镀技术、涂料与涂装技术、化学转化膜技术、真空镀膜、三废治理及环保方面的科学研究、新技术、新工艺等方面的内容。

《表面技术》杂志主要栏目有:综述与专论、试验研究、应用技术、工艺研究、经验交流及生产实践等。本刊为双月刊,逢双月10日出版。定价8.00元/期,全年定价48.00元。如到编辑部联系补订,平寄另加邮资12.00元,共计60.00元。欢迎广大读者订阅。

连续出版物号: ISSN 1001-3660
CN 50-1083/TG

邮发代号: 78-31

订阅处: 全国各地邮局

地址: 重庆市九龙坡区石桥铺渝州路33号《表面技术》编辑部

邮编: 400039

电话/传真: 023-68793154

联系人: 唐瑶瑶

http://www.bmjs2007.com 或 bmjs.chinajournal.net.cn

E-mail: wjqkbm@vip.163.com