

工艺参数对 Ni 包 WC 爆炸喷涂涂层组织与耐磨性能的影响

Effect of Processes Parameter on the Microstructure and Wear Resistance of WC-Ni Ceramic Coating Prepared by Detonation Gun Spraying

揭晓华, 潘振鹏, 卢国辉, 谢光荣, 曾 鹏, 黄拿灿
(广东工业大学材料与能源学院, 广州 510631)

JIE Xiao-hua, PAN Zhen-peng, LU Guo-hui,
XIE Guang-rong, ZENG Peng, HUANG Na-can
(Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology,
Guangzhou 510631, China)

摘要: 采用不同的爆炸喷涂工艺参数制备了 Ni 包 WC 涂层, 用扫描电镜观察了不同工艺参数下的涂层组织与磨损面形貌, 分析了工艺参数对涂层组织形貌及耐磨性的影响, 结果表明, 当比值 $O_2/C_2H_2 = 2$ 时, 可获得致密的涂层, 涂层的耐磨性能较高, 其它条件下的涂层由于组织较疏松, WC 颗粒在滑动摩擦时容易脱落而造成较大的磨损量。

关键词: 爆炸喷涂; 工艺参数; 组织形貌; 耐磨性

中图分类号: TG174 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2003) 11-0007-04

Abstract: The WC-Ni ceramic coatings were prepared by detonation gun spraying with different parameters, the microstructure and worn surface of the coatings was examined by means of SEM in order to investigate the effect of parameters on the wear mechanism of the coatings, it was found that a compact texture coating with high wear resistance can be obtained when the value of O_2/C_2H_2 mol ratio is about 2.1 In other conditions the wear resistance of the coating decrease obviously due to the spalling of WC partical from the coating.

Key words: detonation gun spraying; parameter; microstructure; wear resistance

热喷涂技术以其取材范围广、功效高、基材局限小等优点, 被广泛应用于工业生产中, 而其中的爆炸喷涂技术以其涂层性能高越来越受到人们的重视^[1-3]。该技术以前主要用于航空、航天和军事等尖端领域, 近年来开始用于民用工业。在各种喷涂用粉中, Ni 包 WC 复合粉末由于具备优良的性能特点, 尤其是它的高硬度、高耐磨性, 使其展现出广泛的应用前景。这种粉末的应用领域已不仅局限在航空航天、冶金、化工、石油轻工等行业, 还在广泛的机械行业中发挥了优势^[4]。但目前该类粉末基本上采用等离子喷涂和电弧喷涂法制备, 而应用爆炸喷涂来制备这种涂层以及爆炸喷涂工艺参数对涂层组织与性能的影响的研究还不多见, 为了促进爆炸喷涂技术在国内的应用。本课题采用不同工艺制备的 Ni 包 WC 爆炸喷涂涂层, 研究了工艺参数对涂层质量和耐磨性能的影响。

1 实验方案

1.1 涂层制备

基体材料为 Q352 钢板, 底层材料为镍包铝粉, 粉末粒度为 -150—+320 目, 镍包碳化钨粉的粉末粒度为 -200—+400 目, 化学成分为 Ni: 12%~20%, 余为 WC。

1.2 喷涂工艺

爆炸喷涂所用设备为乌克兰技术制造的第聂伯气体爆炸喷涂系统, 采用氧气和乙炔混合气为爆炸气体, 压缩 N_2 气为送粉气。喷涂工艺如表 1 所示的, 1—3 号试样的工艺设计是为了考察送粉气 N_2 对涂层结合状况的影响, 4—6 号试样保持送粉气流量不变, O_2/C_2H_2 值分别采用 2.5, 2.11, 1.77, 考察不同 O_2/C_2H_2 比值对涂层结合状况的影响。喷涂前基体经喷砂材料。喷涂距离定为 180mm。因为当喷涂距离过小时, 粉末在焰流中停留的时间过短而未能受到充分的加热和加速, 而且基体表面容易过热。当喷枪距离过大时, 由于粉末的温度和速度在到达基材时均会降低,

因此,不能产生足够的变形,降低涂层的结合强度。喷涂效率也随之降低。本试验中炮的横向移动速度为 $V = 250\text{mm/m}\cdot\text{min}$ 。平均涂层厚度 0.35mm 。

表 1 喷涂工艺参数

Table 1 Processes parameter of the detonation gun spraying

Atmosphere	1	2	3	4	5	6
C ₂ H ₂ (L/h)	36	36	36	36	26	43
O ₂ (L/h)	76	76	76	90	55	76
N ₂ (L/h)	45	25	17	25	25	25

1.3 组织观察与孔隙率测定

利用肉眼观察涂层的外观形貌包括颜色、有无隆起、颗粒大小、有无裂纹等。采用扫描电镜观察涂层表面未经磨平加工的自然形态,主要观察涂层中颗粒的变形程度。孔隙率从另一侧面反映喷涂工艺的好坏,本试验采用比重法^[5]测定涂层的孔隙率。

1.4 耐磨性能实验

在 M-2000 型磨损试验机上进行滑动磨损试验,试样采用块-环接触方式,块试样在上述喷涂试样条上裁剪,面积为 $8\text{mm} \times 22\text{mm}$,抛光至试验标准要求,用强力胶粘于标准试样上,试验时块试样固定不动,

试样环的尺寸为 40mm ,材料为淬火并经低温回火的 45 钢,硬度为 HRC46,转速为 200r/min ,为了尽可能模拟实际工况,载荷选用 600N ,采用 10 号机油作为润滑剂,添加量为每分钟 20 滴,用精度为万分之一的 TG328B 型天平称磨损质量损失重。在 XL30-FEQ 型扫描电镜上观察试样磨损面的形貌。用能谱仪分析磨损面的成分变化。

2 试验结果与分析

2.1 涂层的结合形貌

不同工艺条件下制备的涂层的外观形貌如表 2 所示,涂层表面的自然形貌如图 1 所示,孔隙率测定结果见表 3,综合评判可知,2 号试样的涂层质量最好,4 号最差,其他工艺条件下的涂层质量介于两者之间,可见,要获得好的喷涂效果,燃烧气体中 O_2 和 C_2H_2 以及送粉气 N_2 的流量是关键因素。我们知道,爆炸喷涂过程为^[6]:喷涂材料被加热熔化,熔融或软化的颗粒向前喷射飞行,具有一定温度和速度的颗粒以一定的动能强烈冲击基体表面,在碰撞瞬间产生变形,变形颗粒与基材表面之间,以及颗粒与颗粒之间互相交错并呈扁平状地粘结在一起,从而形成涂层。由此可知:在 C_2H_2 和 O_2 流量恒定的情况下,送粉量

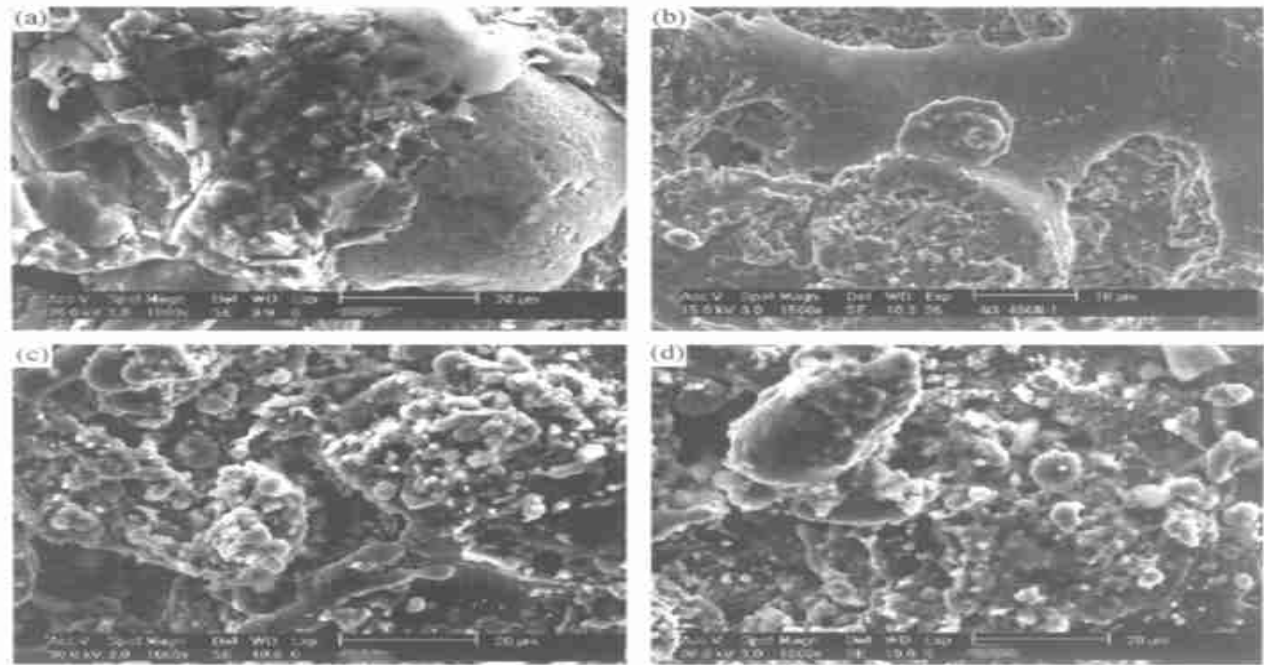


图 1 不同工艺下涂层表面的自然形貌的 SEM 照片

(a) 工艺 1; (b) 工艺 2; (c) 工艺 6; (d) 工艺 4

Fig.1 SEM morphology of surface of the coatings prepared with different parameter

(a) No. 1; (b) No. 2; (c) No. 6; (d) No. 4

对涂层质量的影响较大,显然,若送粉量过大(如工 艺 1),则涂层颗粒未能充分熔化,外观上表现出颗粒

较粗大 (如图 1a), 若送粉量太小, 则粉末的沉积效率低。试验表明合适的送粉气流量为 25L/min (工艺 2)。此时的组织如图 1b 所示, 可见颗粒融化程度很高, 变形充分, 故孔隙率也较低 (见表 3)。文献 [1] 认为制定爆炸喷涂工艺时, O_2/C_2H_2 存在一最佳比例, 本试验表明, 爆炸喷涂 Ni 包 WC 时最佳比例约为 2.0, 大于或小于该比例涂层结合质量都将下降。这是因为在 N_2 流量恒定的情况下, 改变 O_2 的流量, 将影响 C_2H_2 的燃烧程度, 从而影响燃烧时产生的冲击波, 一般情况下 O_2 流量越大, 在单位时间内的燃烧越完全, 产生的热量和冲击波越大, 喷涂材料的颗粒获得的动能越大, 形成涂层时颗粒变形充分, 结合力高, 但 O_2 含量过高, 则混合气氛中 C_2H_2 含量将降低, C_2H_2 流量对涂层的影响与 O_2 流量类似, 因此, O_2/C_2H_2 必然存在一最佳值, 该值偏低时 (工艺 6), 爆炸产生的热焓不够, 冲击波偏小, 此时颗粒与颗粒之间的结合比工艺 1 好, 比工艺 2 差, 也达不到最佳状态 (如图 1c) 所示。但 O_2/C_2H_2 值过高时 (工艺 4), 氧化性气氛增加, Ni 包 WC 分解加速, 氧化夹杂增多, 颗粒熔化状况反而变差, 同时将产生较多的碳黑使涂层颜色变黑 (如图 1d 及表 2 所示)。

表 2 涂层宏观形貌观察结果

Table 2 Metallograph of the coatings					
	U niformity	Pore	Apophysis	Half-cooked	Color
No. 1	Rough, coarse particle	Small	Slight	Little	Black
No. 2	Smooth, coarse particle	Small	Without	Without	Black
No. 3	Every smooth, fine particle	Small	Without	Without	Black
No. 4	Routh, finer particle	Small	Without	A little	Gray
No. 5	Smooth, fine particle	Small	Without	Without	Black
No. 6	Smooth, fine particle	Small	Without	Without	Gray

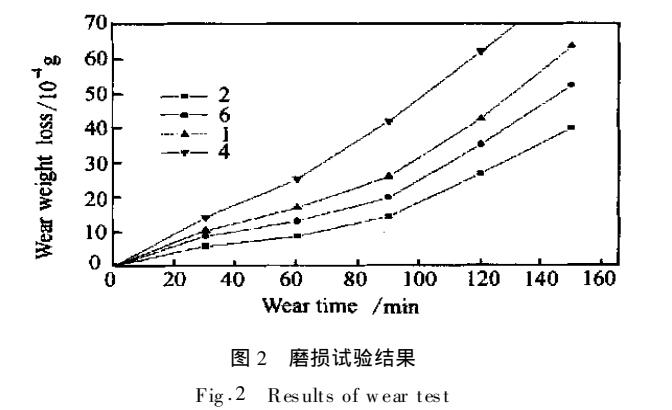
表 3 不同工艺下涂层的孔隙率

Table 1 Porosity of the coatings prepared with different parameter						
	1	2	3	4	5	6
Porosity/ %	2.20	0.92	2.74	2.9	2.60	1.36

2.2 涂层的耐磨性

采用具有代表意义的 1, 2, 4, 6 号试样进行了滑动摩擦磨损试验, 不同工艺下涂层的磨损失重量与磨

损时间的关系如图 2 所示: 从磨损试验结果看 (图 2) 2 号试样的磨损率最低, 耐磨性最高, 4 号试样磨损失重最大, 耐磨性最差, 从磨损曲线还可看到, 2, 6, 1 号试样在试验期的前 1.5h 内, 磨损率相差不大, 即呈现一相对稳定期, 1.5h 以后开始拉大差距。而 4 号试样试验开始 0.5h 以后就进入了快速磨损期。电镜观



察表明 (图 3), Ni 包 WC 涂层的基本结构与混凝土极为相似, WC 与 Ni 的关系就像混凝土中鹅卵石与水泥的关系, WC 作为强化相被固定在金属镍中, 而金属镍则成为一种粘结剂。通过磨痕图片观察, 发现所有试样的磨损面都未观察到明显的犁沟, 说明磨损机理不是常见的磨粒磨损, 各试样的磨损面上有明显的 WC 颗粒脱落痕迹, 表明磨损是以 WC 颗粒脱落为主, 这是因为涂层结构为镍金属粘结着高硬度的 WC, 涂层的硬度高达 1400HV, 而对磨偶件为淬火回火态的 45 钢, 其表面上可作为硬磨粒粒子只有 Fe_3C 和被加工硬化了微凸体, 但其中最硬的微凸体的硬度远低于涂层的硬度, 因此难以在涂层表面造成犁沟, 试验初期材料的流失主要是粘结相镍金属与对偶件 45 钢的之间的粘着, 从与 4 号试样配对的圆环试样上取样进行观察, 其形貌如图 4 所示, 磨面上除犁沟外, 还存在大量脱落物与粘着物, 从能谱分析成分曲线中, 发现成分中含镍较高, 已经偏离 45 钢的正常成分, 说明涂层中的镍在滑动摩擦时, 由于发生粘着磨损, 而被转移到对偶件上, 由于从两摩擦副之间产生粘着到粘着点被撕裂造成材料之间的转移需要一定的时间, 故在磨损曲线上各种试样均呈现一定时间的相对稳定期, 稳定期的长短与涂层的致密度、颗粒与颗粒之间的结合牢固程度直接相关, 试验的后期主要是强化相 WC 颗粒的脱落, 由于粘结相的流失, 使得 WC 颗粒得到的支撑减弱, 在循环剪切力的作用下, 将发生松动, 直至脱落。各种试样在试验 2.5h 后 WC 颗粒脱落数量不同而造成磨损量的不同, 颗粒的脱落容易与否主要取决于涂层中颗粒与颗粒之间的粘结牢固程度及粘结相流失的快慢。

这就解释了图 2 所示的磨损试验结果。另外还需指出, 涂层中的孔隙越多, WC 颗粒的结合就越不牢

固, 脱落速度就越快, 因此不同工艺下涂层的磨损率与孔隙率之间也有相当吻合的关系。

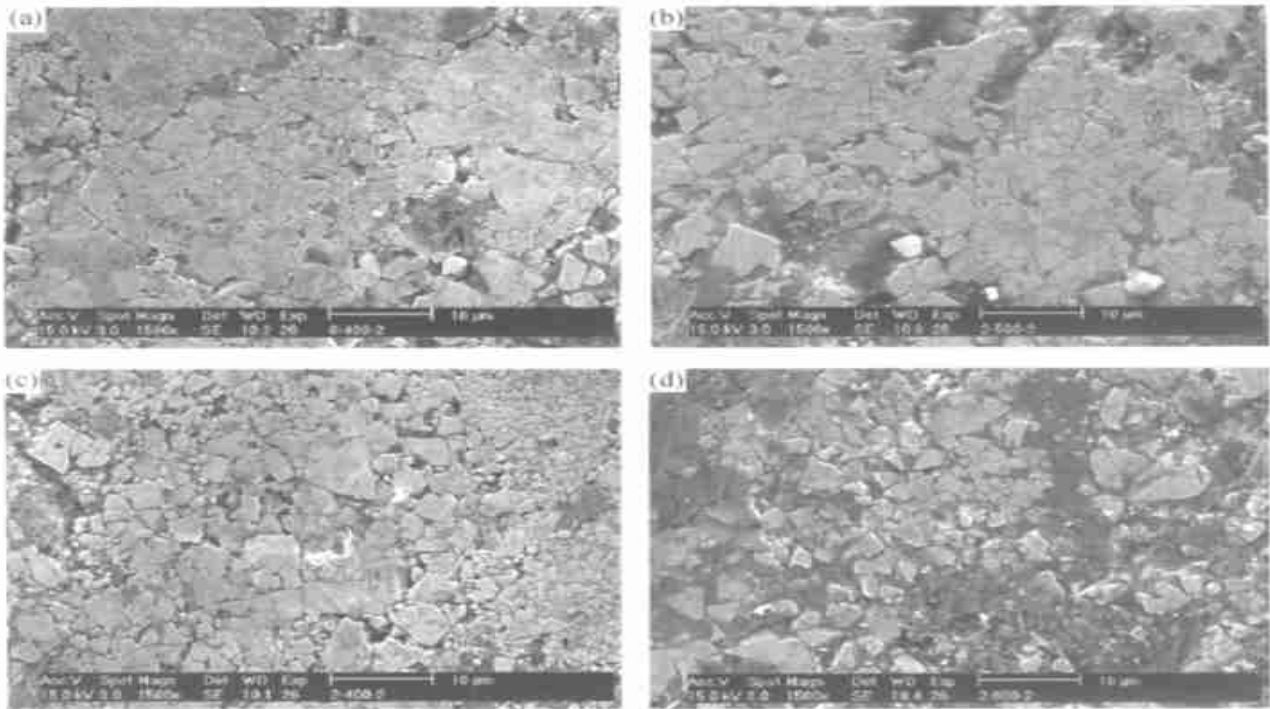


图 3 不同工艺下涂层磨损面形貌的 SEM 照片 (a) 工艺 2; (b) 工艺 6; (c) 工艺 1; (d) 工艺 4

Fig.3 SEM morphologies of the worn surface of the coatings
(a) No. 2; (b) No. 6; (c) No. 1; (d) No. 4

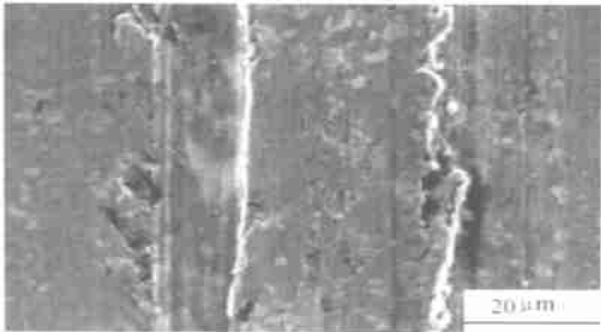


图 4 对磨件的磨损面形貌
Fig. 4 SEM morphology of worn surface of 45 steel specimen

3 结论

- (1) 在本实验条件下, Ni 包 WC 的最佳喷涂工艺: C₂H₂ 量: 36L/min, O₂ 量: 76L/min, 送粉气 N₂: 25L/min, 炮移速度: 250mm/min。O₂/C₂H₂ 为 2。
- (2) 用最佳工艺条件制备的涂层组织致密, 孔隙率低, 耐磨性能好, 磨损机理主要为粘结相金属 Ni 的流失。
- (3) 当工艺条件不合理时, 涂层孔隙率大, 组织

疏松, 滑动摩擦时由于 WC 颗粒脱落将造成较大的磨损量。

参考文献

[1] 唐新建, 米青田, 张爱斌, 等. 爆炸喷涂 WC-Co 涂层的结合力与涂层工艺研究 [J] . 材料工程, 2001, (4): 34.

[2] 陈析, 贾成厂, 赵军, 等. 机械活化复合粉末爆炸喷涂的涂层组织和性能 [J] . 表面工程, 1997, 37 (4): 40.

[3] 王俊, 张立, 李克, 等. 爆炸喷涂 CrC-NiCr 涂层在连铸辊上的应用 [J] . 上海交通大学学报, 2000, 34 (8): 1018.

[4] 陈传忠, 于慧君, 王曙光, 等. WC/Ni 金属陶瓷亚音速火焰喷涂层的微观机构 [J] . 陶瓷学报, 1999, 20 (3): 142.

[5] 涂江平. Ni-WC 火焰喷涂涂层的高温冲蚀磨损特性研究 [D] . 浙江大学硕士学位论文, 1991.

[6] 扬细瑛. 爆炸喷涂技术的现状与应用 [J] . 焊接技术, 2001, 30 (2) .

基金项目: 广东工业大学重点学科经费资助, 项目编号 202004
收稿日期: 2002-11-20; 修订日期: 2003-02-20
作者简介: 揭晓华 (1961-), 教授, 博士, 主要从事金属材料的表面强化工艺研究, 联系地址: 广东工业大学材料与能源学院 (510631) 。