

[文章编号] 1004- 0609(2002)04- 0673- 04

WC/Ni 和 WC/Cu 基复合覆层的耐气蚀性能^①

康进兴¹, 徐英鸽², 赵文轸³

(1. 空军工程大学 工程学院, 西安 710038; 2. 西安建筑科技大学 机电学院, 西安 710055;

3. 西安交通大学 金属材料强度国家重点实验室, 西安 710049)

[摘 要] 分别在 NiCrSiB 和 CuNiSiB 自熔合金粉末中添加 WC 颗粒, 利用氧乙炔焰粉末喷焊工艺制备覆层。用超声波振动气蚀仪研究覆层的耐气蚀性能, 用扫描电镜观察覆层表面气蚀破坏形貌。结果表明: 复合覆层的耐气蚀能力比基体材料强。探讨了覆层的气蚀破坏机理。

[关键词] 气蚀; 喷焊; 复合材料; 表面防护

[中图分类号] TK 730.5

[文献标识码] A

由于泥沙的存在, 水轮机等水力机械过流部件遭受浆体冲蚀和气蚀的联合破坏, 严重制约着水利水电事业的发展^[1]。选择既抗浆体冲蚀又耐气蚀材料的途径之一就是采用复合材料, 即选择塑性韧性好、耐气蚀性能优的基体, 加入陶瓷颗粒, 阻止沙粒的冲蚀, 使复合材料达到既抗浆体冲蚀又耐气蚀的目的^[2]。氧乙炔焰粉末喷焊工艺是适合水轮机等水力机械过流部件现场施工的简便、经济、有效的覆层法。在 NiCrSiB 中加入 35% 的 WC 形成的复合覆层, 抗浆体冲蚀能力比 NiCrSiB 基体提高 5.4~7 倍^[2~4], 但对气蚀性能的研究还未见报道。为此, 作者对未加入与加入 WC 颗粒的 Ni 基、Cu 基喷焊覆层的耐气蚀性能进行了对比研究, 分析了喷焊覆层的气蚀剥落机理。

1 实验

1.1 制备覆层

喷焊基体选用 A3 钢, 其形状尺寸符合振动空蚀试验方法^[5]要求。覆层选用耐腐蚀、耐气蚀能力强的 NiCrSiB 和 CuNiSiB 合金及其加入 WC 颗粒的复合材料^[6~9]。4 种喷焊粉末的化学成分、粒度及所获喷焊覆层的名义硬度如表 1 所示。

制备覆层步骤: 首先将 A3 钢加工成气蚀试样基体, 其次对待喷焊表面进行预处理, 再次按氧乙炔焰粉末喷焊二步法要求对试样进行喷焊, 喷焊覆层厚度为 1.5 mm, 自然冷却后, 按尺寸要求进行整形, 最后, 将喷焊覆层表面在砂纸及绒布上进行打

磨、抛光。

1.2 空蚀过程

采用 H66025 磁致伸缩超声波振动气蚀仪进行空蚀试验。溶液为自来水, 水温控制在 11~15℃, 振幅 60 μm , 其余参数按振动空蚀试验方法要求。试验过程中, 用 TG328A 光电分析天平(精确度 0.1 mg), 间隔 2 h 测量一次试样质量, 并用扫描电子显微镜观察覆层表面气蚀破坏形貌, 直至瞬间失质率达到稳态为止。

2 结果与讨论

2.1 覆层的相对耐气蚀性

覆层的耐气蚀能力用相对耐气蚀性来表示。

根据覆层气蚀失质量, 计算各覆层的瞬间失质率和累计失质率。按稳态时的累计失质率, 计算其相对耐气蚀性, 公式为

相对耐气蚀性(ϵ) = 标准试样累计失质率/试样累计失质率

以 NiCrSiB 覆层作为对比标准材料, 覆层的相对耐气蚀性如下: NiCrSiB, $\epsilon=1$; NiCrSiB+35% WC, $\epsilon=1.23$; CuNiSiB, $\epsilon=1.18$; CuNiSiB+30% WC, $\epsilon=1.27$ 。

2.2 NiCrSiB 覆层的气蚀机理

气蚀初期, NiCrSiB 覆层表面气蚀破坏 SEM 形貌如图 1(a) 所示, 沿相界出现裂纹。这是由于覆

① [基金项目] 国家自然科学基金资助项目(59831030); 国家重点基础研究专项经费资助项目(G19990650)

[收稿日期] 2001-08-17; [修订日期] 2001-11-26

[作者简介] 康进兴(1964-), 男, 讲师, 硕士。

表 1 合金粉末的化学成分、粒度及覆层的名义硬度

Table 1 Chemical composition and particle size of alloy powder and coatings hardness

Powder	Chemical composition/ %							Particle size/ μm	Coatings hardness
	Ni	Cr	Si	B	Fe	C	Cu		
NiCrSiB	Bal.	16	4.5	3.5	15	0.8		45~ 106	HRC60
NiCrSiB+ 35% WC			NiCrSiB+ 35% WC					45~ 106	
CuNiSiB	13		2	1			Bal.	45~ 106	HB200
CuNiSiB+ 30% WC			CuNiSiB+ 30% WC					45~ 106	

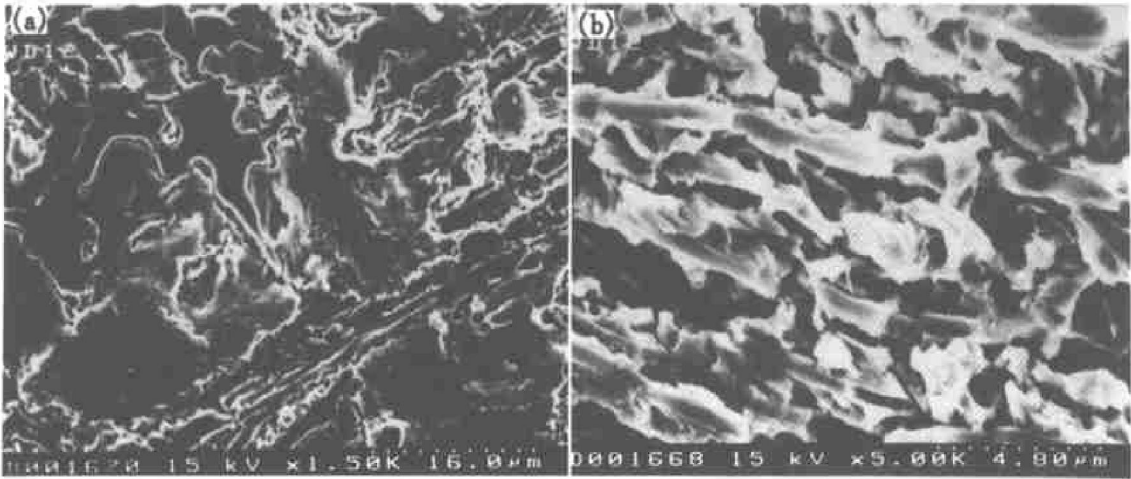


图 1 NiCrSiB 覆层气蚀形貌

Fig. 1 Morphologies of NiCrSiB coating after cavitation erosion

(a) —At prime stage; (b) —At stable stage

层在微射流冲击作用下^[10]，发生弹性和塑性变形，固溶体基体与硬质相的晶体结构不同，造成塑性变形不协调，相界附近造成位错塞积，局部形成高应力场，当位错塞积达到一定程度，在相界上萌生裂纹。随着时间的推移，当气蚀达到稳态时，覆层气蚀 SEM 形貌如图 1(b) 所示，基体被优先气蚀，硬质强化相暴露在外。由于富镍的固溶体基体塑韧性好，硬度低，在微射流冲击作用下，发生塑性变形，出现气蚀凹坑，产生加工硬化，经反复塑性变形直至断裂，优先被气蚀而剥落。强化相硬度高，对微射流冲击抗力大，但失去基体的固定和保护，以脆性断裂形式流失。因此 NiCrSiB 覆层的耐气蚀能力不高。

2.3 CuNiSiB 覆层的气蚀机理

气蚀初期，CuNiSiB 覆层表面气蚀 SEM 形貌如图 2(a) 所示，裂纹萌生在晶界处。由于 CuNiSiB 覆层硬度低，塑韧性好，在微射流冲击作用下，发生塑性变形，出现加工硬化直至断裂。当达到稳态时，覆层气蚀 SEM 形貌如图 2(b) 所示，覆层表面有气蚀凹坑，且出现沿晶断裂。在微射流冲击作用

下，气蚀凹坑逐渐加深，最终使两相邻凹坑的凸边出现挤压性断裂而流失。滑移面上的领先位错在晶界上受阻，形成位错塞积，造成应力集中，当应力峰值达到某临界值时，引起晶界开裂。由于气蚀凹坑的凸边在断裂的晶界边沿容易断裂，从而加剧了材料的流失，因此，CuNiSiB 覆层的耐气蚀能力还不高。与 NiCrSiB 覆层相比，其相对耐气蚀性为 1.18。从出现沿晶断裂加剧气蚀剥落的过程中可以推断，强化晶界可能是提高 CuNiSiB 覆层耐气蚀能力的重要途径。

2.4 复合覆层的气蚀机理

WC 颗粒的气蚀破坏为沿解理面断裂方式的流失，如图 3 所示。由于微射流冲击到 WC 颗粒时，部分力还可传到基体中，使 WC 的受力得到部分缓解。同时，WC 颗粒的耐气蚀浸蚀性能较好，与基体结合紧密，在抵抗气蚀微射流冲击时，WC 颗粒和基体相互起到保护作用。因此两种复合覆层的耐气蚀能力均得到一定的提高。NiCrSiB+ 35% WC 复合覆层的相对耐气蚀性为 1.23，CuNiSiB+ 30% WC 复合覆层的相对耐气蚀性为 1.27。

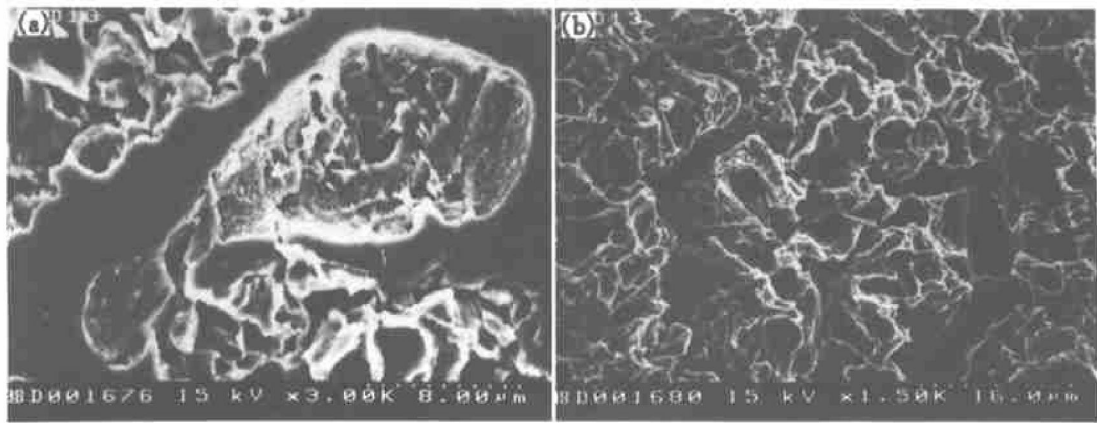


图 2 CuNiSiB 覆层气蚀形貌

Fig.2 Morphologies of CuNiSiB coating after cavitation erosion

(a)—At prime stage; (b)—At stable stage

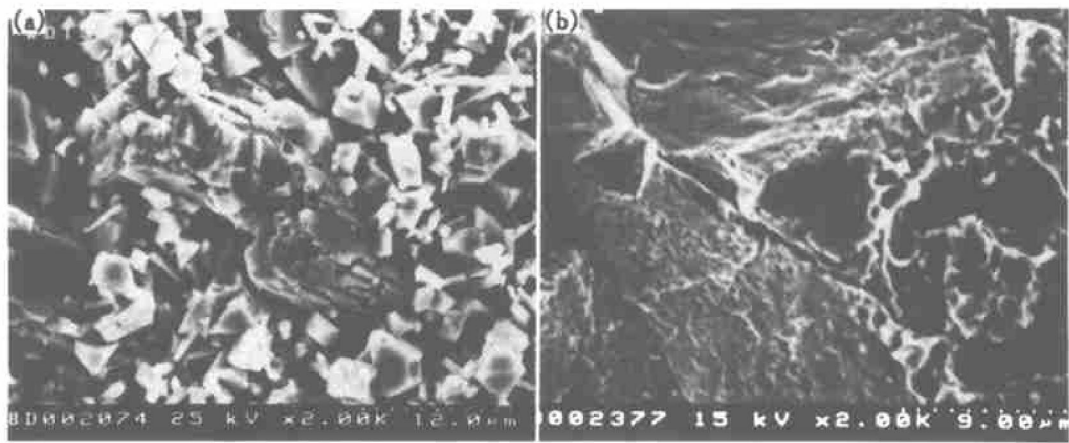


图 3 复合覆层气蚀形貌

Fig.3 Morphologies of composite coatings after cavitation erosion

(a) —NiCrSiB+ 35% WC; (b) —CuNiSiB+ 30% WC

3 结论

NiCrSiB 覆层的气蚀破坏是由于富镍固溶体基体与硬质强化相先后被气蚀剥落，相互起不到保护作用，因此耐气蚀能力较低。CuNiSiB 覆层的气蚀破坏是由于塑性变形产生加工硬化以致断裂，并且沿晶界出现裂纹，其耐气蚀能力比 NiCrSiB 覆层稍高，相对耐气蚀性为 1.18。强化晶界可能是提高其耐气蚀能力的一条重要途经。NiCrSiB+ 35% WC 和 CuNiSiB+ 30% WC 复合覆层的耐气蚀能力比基体材料强。与 NiCrSiB 覆层比较，相对耐气蚀性分别为 1.23 和 1.27。

[REFERENCES]

[1] 段昌国. 水轮机沙粒磨损 [M]. 北京: 清华大学出版

社, 1981.

DUAN Chang-guo. Sand Erosion Wear of Hydraulic Turbine [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1981.

[2] 康进兴. 用表面覆层法提高材料耐冲蚀气蚀性 [D]. 西安: 西安交通大学, 2001.

KANG Jin-xing. Improvement of Erosion and Cavitation Erosion Resistance of Materials by Coating [D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2001.

[3] SANG Ke-zheng, LI Yur-gang. Cavitation erosion of flame spray weld coating of nickel base alloy powder [J]. Wear, 1995, 189: 20- 24.

[4] Kwok C T, Cheng F T, Man H C, et al. Laser surface modification of UNS S31603 stainless steel using NiCrSiB alloy for enhancing cavitation erosion resistance [J]. Surface and Coatings Technology, 1998, 107: 31- 40.

[5] GB6383-86. 振动空蚀试验方法 [S]. 1986.

GB6383-86. The Method of Vibration Cavitation Erosion

- Test [S]. 1986.
- [6] Szkodo M, Giren B G, Steller J, et al. Cavitation resistance of new chromium-manganese and chromium-cobalt electrodes and their metallographic structures [J]. Wear, 1999, 233– 235: 111– 119.
- [7] Pugsley V A, Allen C. Microstructure/property relationships in the cavitation erosion of tungsten carbide-cobalt [J]. Wear, 1999, 233– 235: 93– 103.
- [8] JIANG G B, ZHENG Y K, YANG Y Y, et al. Cavitation erosion of bainitic steel [J]. Wear, 1998, 215: 46– 53.
- [9] Di Vernieri Cuppari N G, Wischnowski F, Tanaka D K, et al. Correlation between microstructure and cavitation erosion resistance of high-chromium cast steel preliminary results [J]. Wear, 1999, 225– 229: 517– 522.
- [10] 孙 寿. 水泵气蚀研究的现状 [J]. 水泵技术, 1995, 3: 39– 47.
- SUN Shou. Present situation of study on pump cavitation erosion [J]. Pump Technology, 1995, 3: 39– 47.

Cavitation erosion resistance of WC/ nickel-based and WC/ copper-based composite coatings

KANG Jin-xing¹, XU Ying-ge², ZHAO Wen-zhen³

(1. School of Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. School of Mechanics and Electronics Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

3. State Key Laboratory for Mechanical Behavior of Material, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

[Abstract] The coatings were made by flame spray welding with self-fluxing alloy powder, NiCrSiB and CuNiSiB, in which WC particle was added. The coating's cavitation erosion was investigated with ultrasonic vibration cavitation instrument. The coating's cavitation erosion morphology was observed with SEM. Results show that the cavitation erosion resistance of composite coatings is better than that of base alloy. Cavitation erosion mechanism of the test coatings was also discussed.

[Key words] cavitation erosion; spray welding; composite; surface protection

(编辑 何学锋)