

文章编号 : 1003 - 7837(2005) 01 - 0030 - 03

等离子喷涂制备的 $ZrSiO_4$ 陶瓷涂层性能的研究

朱晖朝 , 李福海 , 王 枫

(广州有色金属研究院材料表面中心 , 广东 广州 510651)

摘 要 : 采用等离子喷涂工艺制备的 $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层与基材结合良好 , 涂层致密 ; $ZrSiO_4$ 涂层主要由 ZrO_2 基体相和 SiO_2 相组成 , SiO_2 组元比较均匀地分布在 ZrO_2 基体相中 . $ZrSiO_4$ 涂层的硬度为 HRC50 ~ 55 . $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层的抗热震性能优于 $ZrSiO_4/Ni - Al$ 涂层及 $ZrSiO_4$ 涂层 , $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层能够承受热冲击作用而不发生涂层自基体表面剥落 . $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层具有很好的抗熔融金属(锌与铝) 热腐蚀的性能 .

关键词 : $ZrSiO_4$ 陶瓷 ; 等离子喷涂 ; 涂层

中图分类号 : TG174.442 文献标识码 : A

$ZrSiO_4$ (通常称为锆英石) 是一种陶瓷材料 , 其许多物理和化学性质与 ZrO_2 相似 , 如熔点约 2550℃ , 耐热温度可达 1200℃ , 能耐大多数酸(HF 酸除外) 和碱(热碱除外) 的腐蚀 , 并且能够耐熔融金属如 Zn , Cu , Al 等的热腐蚀 . 但是 , 与 ZrO_2 相比 , $ZrSiO_4$ 的价格要便宜得多 , 因此 , 研制和开发 $ZrSiO_4$ 涂层具有重要的实际意义 . 本文对等离子喷涂制备的 $ZrSiO_4$ 涂层的性能进行了研究 .

1 试验方法

1.1 试 料

选用进口的 $ZrSiO_4$ 矿砂作为热喷涂原料 , 经研磨、过筛 , 取粒度为 5 ~ 40 μm 的 $ZrSiO_4$ 矿砂作为热喷涂粉末 , 其成分列于表 1 . 分别采用 Ni - Al 粉与 NiCr 粉(表 2) 作为粘结底层 , 制备 $ZrSiO_4/Ni - Al$ 涂层与 $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层 .

表 1 $ZrSiO_4$ 矿砂的化学成分

Table 1 Chemical composition of $ZrSiO_4$ ore sand				
成分	ZrO_2	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3
含量(w) %	>65	<33	<0.2	<0.08

表 2 Ni - Al 粉和 NiCr 粉末的化学成分

Table 2 Chemical composition of Ni - Al powder and NiCr powder

粉末种类	元素含量 w / %			
	Ni	Cr	Al	其他
Ni - Al 粉	95	<0.1	5	<0.2
NiCr 粉	80	20	<0.1	<0.2

1.2 试验设备及工艺参数

采用美国的 7MB 等离子喷涂枪和 GE - 1 喷嘴制备涂层 , 采用九江等离子喷涂厂生产的微细送粉器送粉 . 碳钢基材表面经除锈、除氧化皮和除油等清洁化处理及喷砂粗化活化处理后用于喷涂 , 喷涂工艺参数列于表 3 .

表 3 $ZrSiO_4$ 涂层的喷涂工艺参数

Table 3 Process parameters for $ZrSiO_4$ coatings

工艺参数	Ni - Al 与 NiCr 粉末	$ZrSiO_4$ 粉末
电弧电流/A	500	500
电弧电压/V	60	60 ~ 65
工作气体	Ar + H_2	Ar + H_2
Ar 流量/($L \cdot min^{-1}$)	45	45
H_2 流量/($L \cdot min^{-1}$)	8	8
送粉速率/($g \cdot min^{-1}$)	22.8	22.8
喷涂距离/mm	120	70
涂层厚度/mm	0.05	0.25

收稿日期 : 2003 - 12 - 01

作者简介 : 朱晖朝 (1973 -) , 男 , 湖南双峰人 , 工程师 , 学士 .

1.3 测 试

沿涂层厚度方向切开,将其截面磨光制成金相试样,经硝酸和酒精腐蚀后用光学显微镜观察涂层的组织形貌.将试样的测试表面抛光成镜面,用 HD9-45 光学表面洛氏硬度计和显微硬度计测定涂层试样的硬度.试样采用整体加热、冷却的热循环方式进行热震试验,以考察涂层的抗热震性能,试样加热至 1000℃ 保温 10 min 后取出淬水,如此反复循环直至涂层剥落或产生裂纹,并记录热循环次数.

2 试验结果与分析

2.1 涂层的金相组织

图 1 为 $\text{ZrSiO}_4/\text{NiCr}$ 涂层的金相组织形貌,下部为基材,中部白亮层为 NiCr 底层,上部为 ZrSiO_4 表面层.由图 1 可见,NiCr 底层与基材、 ZrSiO_4 表面层与 NiCr 底层均结合良好,涂层致密.在 ZrSiO_4 (表面层)中可见到灰色和黑色两相组织,经测试证实灰色和黑色组织分别为 ZrO_2 和 SiO_2 ,其中 SiO_2 组元比较均匀地分布在 ZrO_2 基体相中.

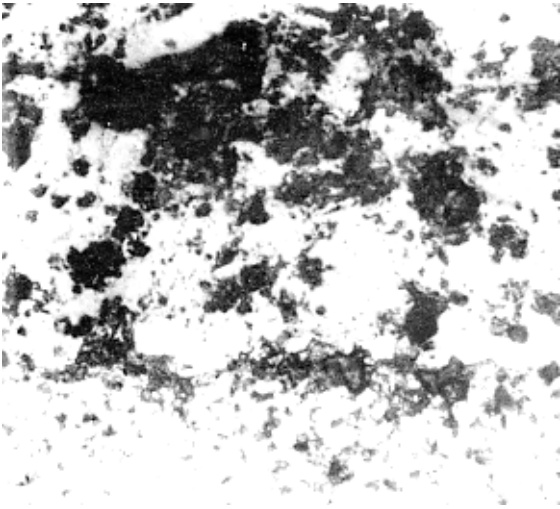


图 1 $\text{ZrSiO}_4/\text{NiCr}$ 涂层的金相组织形貌 400×
Fig.1 Microstructure of $\text{ZrSiO}_4/\text{NiCr}$ coating

2.2 涂层的硬度

ZrSiO_4 涂层的表面硬度测试值 $\text{HR}_{15\text{N}}$ 和换算值 HRC 均列于表 4.由表 4 可知, ZrSiO_4 涂层的表面宏观硬度平均为 53HRC.测定 ZrSiO_4 涂层显微硬度的平均值为 515.8 $\text{HV}_{0.2}$,约 50.5HRC.这表明, ZrSiO_4 涂层的硬度较高,为 50~55HRC,可作耐磨陶瓷涂层使用.

万方数据

表 4 ZrSiO_4 涂层的表面硬度

Table 4 Surface hardness of ZrSiO_4 coatings					
$\text{HR}_{15\text{N}}$ (测试值)	87	88.5	87	87	87
HRC(换算值)	52.5	55	52.5	52.5	52.5

2.3 涂层的抗热震性能

ZrSiO_4 涂层的热震试验结果列于表 5.由表 5 可知,无底层的 ZrSiO_4 涂层的抗热震性能最差, $\text{ZrSiO}_4/\text{Ni-Al}$ 涂层的抗热震性能次之, $\text{ZrSiO}_4/\text{NiCr}$ 涂层的抗热震性能最好.由于 ZrSiO_4 陶瓷涂层材料的物理性质(主要是热膨胀系数和弹性模量)与碳钢基材相差太大,在热震试验过程中, ZrSiO_4 涂层受到瞬时热冲击作用和循环热疲劳作用,必然在涂层与基材界面和 ZrSiO_4 陶瓷涂层中形成较大的热应力.若无金属合金作为陶瓷涂层与金属基材之间的过渡层,一方面陶瓷涂层与金属基材的结合较弱,另一方面,热震时在涂层中形成很大的热应力集中,会导致陶瓷涂层在热冲击的作用下快速开裂并自金属基材表面剥落.金属合金过渡层可使陶瓷涂层与金属基材的结合强度大幅度提高,并能够有效地缓解在热震过程中产生的热应力集中,使陶瓷涂层承受热冲击作用的能力显著提高.作为过渡层,NiCr 合金具有比 Ni-Al 合金更好的高温性能(如高温抗氧化性能、高温强度等)^[1].试验证明 $\text{ZrSiO}_4/\text{NiCr}$ 涂层的抗热震性能更好.

表 5 ZrSiO_4 涂层的热震试验结果

Table 5 Result for heat shock test of ZrSiO_4 coatings		
试样	热震次数	结果
无底层的 ZrSiO_4 涂层	3	涂层开裂为 3 块,并剥落
$\text{ZrSiO}_4/\text{Ni-Al}$ 涂层	9	涂层整体剥落
$\text{ZrSiO}_4/\text{NiCr}$ 涂层	17	涂层表面出现裂纹,未剥落
$\text{ZrSiO}_4/\text{NiCr}$ 涂层	21	涂层表面龟裂,未剥落

2.4 涂层的抗熔融金属腐蚀

某工厂用普通碳钢制成锌液加热管,并要求加热管既具有良好的抗热锌液腐蚀性能,又具有良好的导热性能.在该加热管表面通过等离子喷涂制备了 $\text{ZrSiO}_4/\text{NiCr}$ 涂层,涂层厚度为 ZrSiO_4 表面层 0.2 mm,NiCr 底层 0.15 mm.喷涂完毕后用水玻璃进行表面封孔.使用结果表明,无表面涂层保护的普通碳钢制锌液加热管使用 3~5 天就必须更换,而表

面有 $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层保护的锌液加热管可使用 3 个月,使用寿命提高了 20 倍左右.某铝加工厂用碳钢制成的搅拌桨搅拌熔融铝液,搅拌桨腐蚀严重.后采用该工艺在搅拌桨表面喷涂了 $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层并进行封孔处理,使用效果非常好.这表明 $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层具有很好的抗熔融金属热腐蚀的性能.

3 结 论

(1) $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层与基材结合良好,涂层致密. $ZrSiO_4$ 涂层主要由 ZrO_2 基体相和 SiO_2 相组成,

SiO_2 组元比较均匀地分布在 ZrO_2 基体相中.

(2) $ZrSiO_4$ 涂层的硬度为 50~55HRC,可作耐磨陶瓷涂层使用.

(3) $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层的抗热震性能优于 $ZrSiO_4/Ni-Al$ 涂层及 $ZrSiO_4$ 涂层.

(4) $ZrSiO_4/NiCr$ 涂层具有很好的抗熔融金属(锌与铝)热腐蚀的性能.

参考文献:

[1] Thomas A T, David F B. Development of alloyed and dispersion-strengthened MCrAlY coatings[J]. Surface Coatings and Technology, 1996 (86-87): 9-14.

Study on properties of $ZrSiO_4$ ceramic coatings by plasma spray

ZHU Hui-chao, LI Fu-hai, WANG Feng

(R & D Centre for Material Surface Engineering Technology, Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

Abstract: $ZrSiO_4/NiCr$ coating, fabricated by plasma spraying technology, is dense and has excellent combination with steel substrate. $ZrSiO_4$ coatings mainly consist of ZrO_2 phase and SiO_2 phase, and SiO_2 component distributes uniformly in ZrO_2 matrix. The hardness of the $ZrSiO_4$ coating is about 50-55HRC, the thermal shock property of $ZrSiO_4/NiCr$ coatings is superior to that of $ZrSiO_4/Ni-Al$ coating and $ZrSiO_4$ coating. $ZrSiO_4/NiCr$ coating can endure thermal shocking and upspalls off from the substrate surface. The $ZrSiO_4/NiCr$ coating owns excellent heat corrosion resistance to molten metals.

Key words: $ZrSiO_4$ ceramics; plasma spraying; coatings