

电弧喷涂 Fe 基非晶硬质涂层的组织及性能研究*

郭金花^{1,3}, 陆曹卫^{2,3}, 倪晓俊^{2,3}, 吴嘉伟³, 卢志超^{2,3}, 连法增¹

(1.东北大学 材料与冶金学院, 辽宁 沈阳 110004; 2.钢铁研究总院, 北京 100081; 3.安泰科技股份有限公司, 北京 100081)

摘要: 利用电弧喷涂方法制备了两种铁基非晶涂层。对涂层的微观组织形貌进行了扫描电镜观察, 发现 FeCrMoMnBCSi 涂层组织更致密; 涂层主要由晶化相和非晶相共同组成, 其中涂层中非晶相的相对含量可以通过对 XRD 衍射结果进行 Pseudo-Voigt 拟合计算而得; 涂层的维氏显微硬度(HV)超过了 1000, 属于超硬涂层。涂层成分及组织结构的差异直接影响了涂层的力学性能。

关键词: 电弧喷涂; 涂层; 非晶

中图分类号: TG174.442

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05-0045-04

Microstructure and Properties of Fe-based Amorphous Hard Coatings Prepared by Electric Arc Spraying

GUO Jin-hua^{1,3}, LU Cao-wei^{2,3}, NI Xiao-jun^{2,3}, WU Jia-wei³, LU Zhi-chao^{2,3}, LIAN Fa-zeng¹

(1.School of Materials Science and Metallurgy, Northeastern university, Shenyang 110004; 2.Central Iron & Steel Research Institute, Beijing 100081; 3.Advanced Technology and Materials Co. Ltd, Beijing 100081)

Abstract: Electric arc spraying technique was used to prepare the iron-based coatings. The microstructure and morphologies of the coatings were observed by the scanning electron microscope. The results showed that the FeCrMoMnBCSi coating was denser. It was composed of a mixed structure of amorphous and crystalline phases. The fraction of amorphous phase was calculated by fitting Pseudo-Voigt function to each diffraction peak of XRD analysis. The Vickers hardness (HV) of the superhard coating was above 1000. The mechanical properties of the coating were directly affected by its composition and structure.

Key words: electric arc spraying; coating; amorphous

0 引言

近年来, 利用热喷涂技术制备非晶涂层的方法已经成为大家研究讨论的热点问题^[1,2]。电弧喷涂技术是热喷涂的重要工艺之一, 其利用电弧作为热源熔化丝材, 用压缩空气将熔化的丝材雾化成细小颗粒后加速, 沉积在基体表面形成涂层。由于在基体上沉积瞬间可以达到 10^6 K/s 的冷却速率, 熔滴颗粒很容易在基体上形成非晶层。通过电弧喷涂制备优质涂层的这种工艺, 因为它的高效、低成本的特点, 近年来已经得到了迅速的发展, 在国际上已经部分取代了火焰喷涂和等离子喷涂技术^[3]。

因为非晶合金没有晶界, 与其相同成分的多

晶合金相比, 具有更好的耐蚀性和耐磨性, 力学性能也更优异。利用热喷涂技术, 非晶涂层是层层叠加在基体上, 所以非晶涂层厚度很容易达到毫米级尺寸, 而通常制备非晶态合金的工艺只能制成几十微米厚的薄带或尺寸大小有限的材料。所以, 这种结合非晶合金的优点, 用电弧喷涂技术实现涂层非晶化的方法是一个有前景的应用领域, 它将会成为材料防腐、耐磨领域研究和应用的一种具有发展潜力的方向。用不同的热喷涂方法可以制备不同成分的非晶态涂层。现在国际上主要集中在采用等离子喷涂和高速火焰喷涂(HVOF)两种方法制备非晶涂层^[4,5], 目前采用电弧喷涂技术制备非晶态涂层方面的工作在国内外只有很少的报道。A. I. Borisova^[6]等人利用电弧喷涂工艺在 Fe-B 中加入稀土元素, 成功制备了 Fe-B-REM 非晶涂层。P. Rohan^[7]等人对电弧喷涂和等离子喷涂

收稿日期: 2006-06-18; 修回日期: 2006-09-00

基金项目: *北京市重大项目基金资助(0405003000021)

作者简介: 郭金花(1978-), 女(汉), 天津人, 博士研究生。

制备的Fe基非晶涂层做了对比试验,探讨喷涂工艺对涂层非晶相的影响。

文中利用电弧喷涂方法对两种成分的Fe-基粉芯丝材在钢的基体上进行喷涂,成功制备了这两种成分的超硬非晶涂层,利用电镜等试验手段,直接观察了涂层的组织结构,同时结合X射线结果,利用Pseudo-Voigt函数,计算了涂层中非晶相的比例,并对力学性能做了测试和分析,得到了满意的试验结果,对以后的试验和产业化生产具有很好的指导作用。

1 试验材料与方法

喷涂材料选用 $\phi 1.6$ mm粉芯丝材,材料成分要求既具有较强的非晶形成能力,又能满足涂层材料某方面特殊的性能,对FeCrWMnBCSi(FeCrW-涂层)、FeCrWMoMnBCSi(FeCrWMo-涂层)这两种Fe-基粉芯丝材进行了双丝电弧喷涂对比试验。

采用CMD-DB900箱式喷砂机对基板进行表面预处理,砂料为棕刚玉,基板材料为5 mm的钢板。用CMD-AS1620双丝电弧喷涂设备进行喷涂试验,喷涂参数如表1所示。FeCrW-涂层厚度为0.2~0.3 mm,FeCrWMo-涂层厚度为0.9~1 mm。

表1 电弧喷涂参数

Table 1 Processing parameters of arc spraying

喷涂参数	喷涂条件
喷涂电压/V	34
喷涂电流/A	200
气体压力/MPa	0.7
气体流量/(m ³ /min)	1.6
喷涂距离/mm	150

X射线衍射分析采用Philips APD-10XRD衍

射仪,涂层形貌观察在JEOL-6380LV扫描电镜上完成,用ZEISS图像分析仪进行涂层孔隙率分析。涂层的维氏显微硬度在HXS-1000AK显微硬度分析仪上进行,载荷为0.98 N,加载时间10 s。

2 试验结果与讨论

2.1 涂层组织形貌分析

图1(a)、(c)为电弧喷涂FeCrW-涂层和FeCrWMo-涂层截面的SEM背散射图。涂层由变形良好的带状粒子相互搭接堆积而成,具有比较典型的层状结构形貌,扁平颗粒之间存在氧化膜,涂层中夹杂着孔隙等缺陷。FeCrW-涂层厚度为0.2~0.3 mm,FeCrWMo-涂层厚度为0.9~1 mm。对两种涂层进行组织观察比较,可以看出扁平层与层之间结合致密,孔隙少,组织均匀,FeCrW-涂层只在少量区域存在未变形的球形颗粒和结合疏松区。通过图象分析仪测量到FeCrWMo-涂层的平均孔隙率为2.59%,FeCrW-涂层的平均孔隙率为3.84%。涂层与基体的结合方式主要以机械结合为主,但冶金结合也起着一定的作用。从图1看到FeCrWMo-涂层与基体的结合处孔隙明显减少,结合致密。因而涂层因成分差异在沉积成形过程中造成的组织结构差异直接影响涂层的力学性能。

涂层形成过程是层与层的叠加过程,雾化后的单个粒子被加速到基体表面后,迅速沉积固化,图1(b)、(d)中粒子呈放射状沉积在涂层的上一层,说明液滴熔融状态良好,并且达到了较高的冲击速度。如果液滴温度过热,液滴沉积时会被分散的溅射开;如果液滴温度过低,融体粘度就会增大,液滴没有足够的动能,就会呈粥状堆积在涂层上。从熔融粒子形成涂层的微观形貌观察,这两种成分的涂层在形成过程中液滴熔融状态以及粒子飞行速度都达到了满意程度。

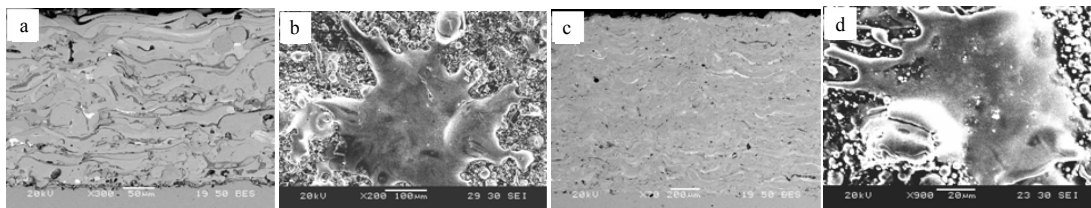


图1 涂层截面背散射像及单粒子形成涂层的微观形貌(a)、(b)—FeCrWMnBCSi; (c)、(d)—FeCrWMoMnBCSi
Fig.1 Cross-section SEM(BSE) morphologies and microstructure of the coatings (a)、(b)—FeCrWMnBCSi; (c)、(d)—FeCrWMoMnBCSi

2.2 涂层相组成分析

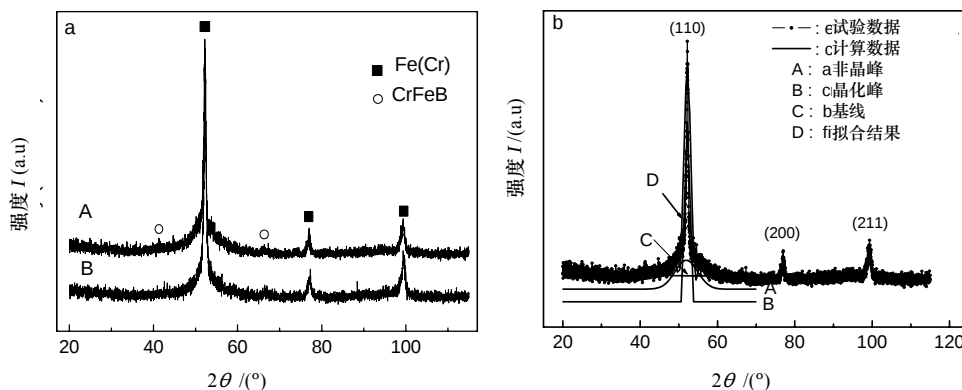


图2 涂层 XRD 衍射图(a)(A- FeCrW-Mn-BCSi, B- FeCrW-Mo-Mn-BCSi)和 XRD 衍射拟合图(b)

Fig.2 XRD diffraction patterns(a)(A- FeCrW-Mn-BCSi, B- FeCrW-Mo-Mn-BCSi) of the coating and the fitting curves of XRD(b)

涂层的材料为Fe基粉芯丝材,材料的成分选择了有较大非晶形成能力的体系,而由于电弧喷涂过程是在大气中进行,熔融液滴不可避免的发生氧化,影响了非晶的形成能力,制备的涂层是部分非晶相。图 2(a)是涂层X射线衍射结果,根据XRD衍射图可以看到,涂层由晶化相和非晶相共同组成。晶化相主要是初生相 α -Fe(Cr)和少量硬质结晶相Fe(Cr)的B化合物。目前可以通过Verdon方法^[8]对XRD衍射图进行Pseudo-Voigt函数拟合^[9], Pseudo-Voigt函数是Cauchy函数和Gauss函数之和^[10],具体表达如下:

$$pV(x) = I_p(\eta C(x) + (1 + \eta)G(x))$$

I_p 表示衍射峰的最大强度, η 表示峰值处Cauchy函数值所占的比例。以FeCrW-涂层分析为例,取 (110) 晶面的晶化峰进行拟合计算,如图 2(b)所示,对拟合曲线进行积分,计算喷涂涂层非晶含量的相对值。计算结果得出FeCrW-涂层的非晶相含量为 45.22 %, FeCrW-Mo-涂层的非晶相含量为 44.33 %。电弧喷涂过程中影响非晶形成的因素有很多。首先电弧喷涂丝材的成分必需具有足够强的非晶形成能力,试验中采用的两种涂层的成分都经过非晶形成能力试验,成功制备了非晶材料。其次,喷涂过程中熔滴温度、喷涂粒子大小、粒子飞行速度,沉积冷却速度等条件都会对非晶含量造成直接影响。根据相关文献报道^[11]氧化相是影响涂层非晶含量的一个重要因素,喷涂粒子在喷涂过程中尺寸越小,颗粒外表面被

氧化的几率就越大,氧化相含量越高,非晶相的含量就越少。熔滴在沉积的瞬间迅速冷却,粒子以足够大的动能撞击基板,有利于熔滴扁平化,热量迅速被传递,只有冷却速率达到了形成非晶的临界冷却速率,才能保障非晶相的形成。因此控制并优化喷涂的工艺参数,可以有效提高涂层的非晶含量。

2.3 涂层硬度分析

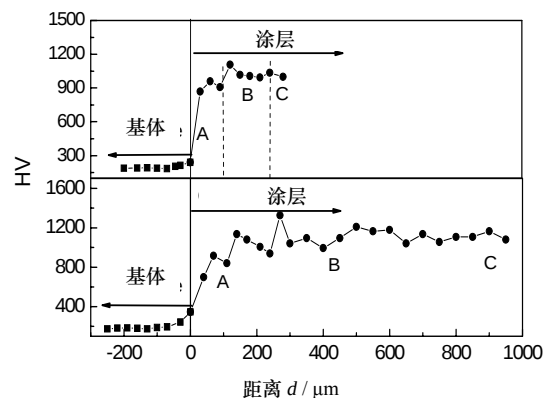


图3 涂层截面显微硬度

Fig. 3 Microhardness of the coating on cross-section

在平行于电弧喷涂方向截取截面,对FeCrW-涂层和FeCrW-Mo-涂层的显微硬度进行分析,两种涂层的维氏硬度都超过了1000,属于硬质涂层。这主要是因为涂层中含有非晶相和Fe(Cr)B硬质相,此外涂层在形成时高速撞击基板并激冷,部分晶粒细化以及晶格产生畸变使涂层得到强化。对接结合层的基体和涂层做微区分析,从图3中可以看到,

