

35CrMo 钢表面电火花沉积 NiCr 合金强化层特性的研究

于华^{1,2}, 林耀华^{1,2}, 陈春梅^{1,2}, 聂书才^{1,2}, 彭荣刚^{1,2}, 杨豫川^{1,2}, 杨姗姗^{1,2}

(1. 河南科技大学 材料科学与工程学院, 洛阳 471003;

2. 河南省先进有色金属材料加工技术重点实验室, 洛阳 471003)

[摘 要] 采用电火花沉积技术, 以 NiCr 合金为堆焊电极, 在 35CrMo 钢表面沉积 NiCr 合金强化涂层。用显微硬度计测试了涂层的显微硬度, 用 SEM, EDX, XRD 等方法表征了涂层的微观结构、化学成分分布及相组成。结果表明: 涂层的表面显微硬度约为基体的 2 倍; 涂层与基体的主要元素发生了相互扩散, 涂层是由基体与 NiCr 合金电极发生反应形成的冶金结合层, 主要成分为 NiCrFe 和 FeNi。

[关键词] 电火花沉积; NiCr 涂层; 性能; 机理

[中图分类号] TG174.44

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2010)04-0005-03

Research on the Character of NiCr Coating Deposited on 35CrMo Steel by the Electro-spark Deposition

YU Hua^{1,2}, LIN Yao-hua^{1,2}, CHEN Chun-mei^{1,2}, NIE Shu-cai^{1,2},

PENG Rong-gang^{1,2}, YANG Yu-chuan^{1,2}, YANG Shan-shan^{1,2}

(1. Material Science & Engineering Colloge, Henan University of Science Technology, Luoyang 471003, China;

2. Henan Key Lab. of Advanced Non-Ferrous of Metals, Luoyang 471003, China)

[Abstract] NiCr alloy coating was produced on the surface of 35CrMo steel with NiCr electrode by electro-spark deposition. The micro-hardness was obtained with hardness meter, the microstructure and chemical composition distribution and phase composition of the coating were investigated with scanning electron microscopy(SEM), energy dispersion spectrum(EDX) and X-ray diffraction (XRD) respectively. The results show that the micro-hardness of the coating is about 2 times as that of the substrate. Inter-diffusion takes place and metallurgy combination layer forms between the coating and the substrate, the main phase composition of the coating consists of NiCrFe and FeNi.

[Key words] electro-spark deposition; NiCr coating; character; mechanism

电火花沉积是一种低应力、低变形的表面强化工艺, 采用电火花沉积技术对工件表面进行强化处理, 可延长设备的使用寿命, 减少资源消耗, 在节能环保方面具有很重要的意义。与其它涂层技术相比, 该技术具有结合强度高、涂层厚度小、修复成本低、对基体热输入量小、工件变形量小、操作灵活性强、应用范围广等优点^[1-4], 近年来在工程领域得到了越来越多的应用, 已经由最初用于刀模具的强化与修复, 扩展到能源、航空、航天、军事、医疗等诸多领域, 是再制造技术中的重要技术之一^[5]。其应用主要集中在 2 个方面: 1) 用于在工件表面形成具有高硬度、高强度、耐磨、耐腐蚀的沉积层; 2) 用于被磨损工件的表面修复, 主要是高硬度、高强度模具或耐磨轴类等的表面修复^[6-8]。文中

研究了用电火花沉积技术在 35CrMo 钢表面堆焊的 NiCr 合金涂层的性能及微观特征。

1 试样制备及测试方法

涂层制备采用 DZS-1400 型电火花堆焊机, 输出能量 8 档可调, 放电脉冲频率 400~1 600 Hz 连续可调。所用电极为 $\phi 3$ mm 的圆棒状电极, 材料为镍基合金(主要成分有 Ni, Cr, Si 等), 制备涂层时, 将电极夹持在堆焊枪上, 绕自身轴线旋转, 转速为 1 400 r/min。用于微观分析的试样尺寸为 20 mm×20 mm×10 mm; 用于弯曲试验的试样尺寸为 200 mm×20 mm×8 mm。制样时, 先用砂纸打磨待沉积表面, 再用丙酮

[收稿日期] 2010-02-19; **[修回日期]** 2010-05-24

[基金项目] 国家自然科学基金(50774029); 河南省杰出青年科学基金(074100510011); 河南科技大学青年基金项目(2006QN049)

[作者简介] 于华(1972—), 女, 副教授, 国际焊接工程师, 主要研究方向为异种材料先进连接及材料的表面改性等。

清洗, 风干后按表 1 中的工艺规范沉积涂层, 沉积层厚度约为 30~50 μm 。

表 1 电火花沉积工艺规范

Tab.1 Process standard of electro-spark deposition

沉积层	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	沉积时间 /min	保护气
底层	2(0 档)	60	850	15	Ar 气
表层	3~5(1 档)	130	1 400	30	

涂层试样制备完成之后, 采用 HV-1000 型显微硬度计测试涂层、过渡层、基体的显微硬度, 用日本电子 JSM-560LV 型扫描电镜分析涂层表面与截面的形貌, 用美国 EDAX 型能谱分析仪分析涂层元素的分布情况, 用德国 BrukerD8 型 X 射线衍射仪分析涂层的相结构组成。

2 涂层性能测试及结果分析

2.1 涂层断面显微硬度

涂层显微硬度的分布曲线见图 1。涂层表面的硬度值较高, 可达 580HV0.025 以上, 越靠近基体, 显微硬度值越低, 在过渡区即下降至 390HV0.025 以下。涂层表层的显微硬度约为基体的 2 倍, 表明电火花沉积涂层已经对基体材料表面成功改性。

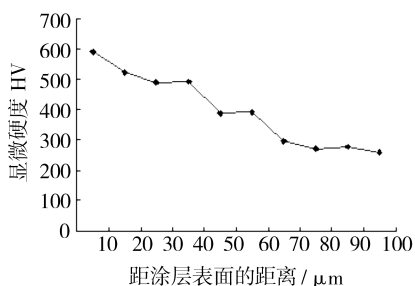


图 1 涂层的显微硬度分布

Fig. 1 The distribution of micro-hardness of coating

2.2 涂层的抗剥离性能

对 4 个试样分别进行面弯试验, 在绕 $\phi 20$ mm 的圆棒弯曲 180° 时, 均无可见的涂层损坏或剥离, 说明电火花沉积/堆焊层具有良好的抗剥离性能。

3 涂层微观形貌及机理分析

3.1 涂层断面及表面形貌

图 2a、图 2b 分别为镍基合金涂层的断面组织及表面电镜扫描图。图 2a 中, 涂层和基体之间有一条不均匀的熔合线。微弧放电理论认为, 在电火花沉积过程中, 电流脉冲产生一个短时间(一般 1~10 μs)、温度高达 5 000~25 000 K 的等离子弧, 等离子弧将电极材

料熔化, 熔化的金属在等离子流的作用下过渡到基体上, 并与基体结合形成沉积层, 由于手持沉积枪移动的不均匀性, 使各个区域熔合得不均匀。涂层截面上出现空洞(A 处), 这可能是在强化过程中, 由于氩气流量过大形成紊流, 使空气卷入形成的气孔, 这种缺陷在使用过程中会造成涂层成片剥落, 将会严重影响涂层的使用性能, 因此, 在沉积过程中氩气流量不宜过大。

由图 2b 可见, 沉积过程中, 由于脉冲放电时产生的力使合金化的熔滴飞溅在涂层表面, 形成很多小坑(图中 B、C、D 处); 涂层表面有显微裂纹, 这是由于沉积过程中涂层的表面存在不同程度的热应力和组织应力而导致的。

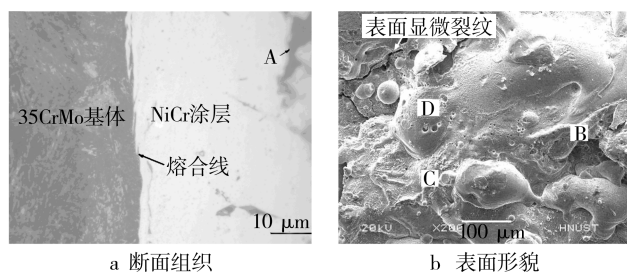


图 2 涂层断面及表面形貌

Fig. 2 The morphology of cross-section and surface of coating

3.2 涂层成分分析

图 3 为涂层与基体中 Ni、Cr、Fe 元素的线扫描曲线。分析图 3 可知: Ni、Cr 元素在涂层中的含量较高, 从涂层到基体迅速减少, 这是因为 Ni 和 Cr 元素是从涂层向基体扩散的, 由于电火花沉积时间比较短, 使得其扩散不充分; Fe 元素在涂层表层的含量很低, 靠近基体的地方, 其含量明显升高; 在涂层与基体的结合区, 形成了 Ni、Cr、Fe 元素的熔渗扩散区。

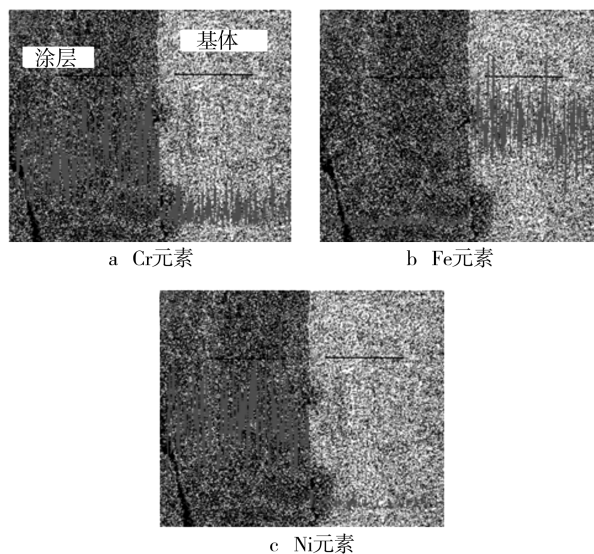
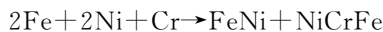


图 3 涂层截面元素线扫描分析

Fig. 3 Elements analysis of EDX on the section of the coating

图 4 为涂层的 X-射线衍射图谱,分析可知,NiCr 合金涂层与基体的过渡区除了基体相外,还有 FeNi, NiCrFe 等新相生成,NiCrFe 较多,FeNi 为少量,也可能有其它新生相(有些小的衍射峰未能确定为何种结构所形成)。这说明电火花沉积过程中发生了冶金反应,反应方程式如下:



由以上分析可知,电火花沉积不是简单的涂镀,而是电极和工件材料各组成元素原子在电火花沉积过程中发生剧烈的扩散和重新合金化的过程。

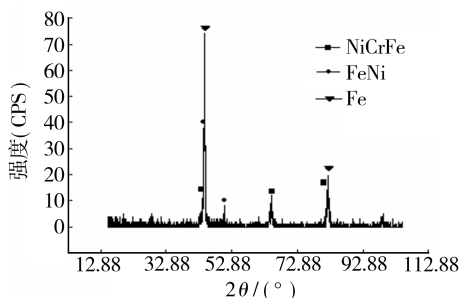


图 4 沉积涂层的 X 衍射图谱

Fig. 4 X-ray diffraction pattern of deposited

4 结论

1) 采用合适的电火花沉积工艺,在 35CrMo 钢表面获得了厚度 30~50 μm 的 NiCr 合金涂层,涂层表层具有较高的显微硬度值(580HV0.025 以上),约为

基体的 2 倍,表明材料表面已改性。

2) 沉积过程中,电极与基体材料在结合面处形成很窄的成分熔渗扩散区,此处二者的主要元素发生了相互扩散。

3) 所获涂层是一种反应涂层,涂层与基体过渡区的主要组成为 FeNi 和 NiCrFe,涂层与基体实现冶金结合。

[参 考 文 献]

- [1] 罗成,董仕节,熊翔,等. 电火花沉积表面处理技术的应用进展[J]. 表面技术,2009,38(4): 53—56.
- [2] 汪瑞军,钱乙余,黄晓鸥,等. TC1 合金表面电火花沉积 WC-8Co 涂层界面行为[J]. 焊接学报,2003,24(5): 89—96.
- [3] 汪瑞军,黄小鸥,刘军,等. 铝合金表面电火花堆焊的 NiCr 合金层[J]. 焊接,2003(11): 38—40.
- [4] 何鹏,吴承东,钱乙余,等. 钛合金表面电火花沉积 WC 电极的粘连行为分析[J]. 焊接学报,2006,27(4): 25—28.
- [5] Wang R J, Qian Y Y, Liu J. Structural and Interfacial Analysis of WC92-Co8 Coating Deposited on Titanium Alloy by Electro Spark Deposition [J]. Applied Surface Science, 2004(3): 405—409.
- [6] 汪瑞军,程家龙,黄小鸥,等. 电火花表面强化过程中的“阳极粘连”现象[J]. 焊接,2005(8): 37—40.
- [7] 王建升,王华昆,钟毅,等. 电火花沉积工艺对不锈钢沉积层组织结构的影响[J]. 热处理,2004,19(2): 37—41.
- [8] 王建升. 电火花沉积工艺及沉积层性能的研究[J]. 表面技术,2005,34(1): 27—30.

《表面技术》“隐身材料热点专题”栏目征稿启事

为促进广大隐身材料研究者之间的相互交流,推动国内隐身材料技术的发展,《表面技术》拟于 2010 年特辟 1 个专栏,对当前国内隐身材料(包括涂料涂层、多元材料、遮障材料等)领域研究的热点技术进行专题报道,欢迎广大大专院校、科研院所和企事业单位的科研工作者、技术人员等踊跃投稿,我刊将择优采用。

征稿内容:

- 1) 隐身机理及材料结构设计。
- 2) 吸收剂、黏结剂等新型功能填料的研制。
- 3) 隐身材料应用技术,包括迷彩图案设计、涂装工艺和成型工艺等。
- 4) 智能隐身材料技术。

征稿要求:

- 1) 来稿不宜太长,一般不超过 6000 字,综述不超过 8000 字。
- 2) 研究类文章应具备摘要、引言、试验方法、结果和讨论、结论。摘要用第 3 人称形式表达文章的核心内容,应包含本研究的目的、方法、结果和结论;引言只阐述本技术目前在国内外所处的地位、所用方法及所解决的问题,应言简意赅;试验部分包含设备、工艺、条件、参数及配方等;结论简明扼要,不重复正文中的内容。
- 3) 应用性文章应具备:问题的提出、方法的应用(含技术、设备、工艺条件、参数、配方等)、应用的效果。
- 4) 文题简洁,论点清楚(通常指用以说明论题的观点),论据确凿(指试验、测试数据、图、表等准确无误),论证充分(指讨论、结果分析和机理探讨详而不累),结论完整。

投稿方法:登陆我刊网站 www.bmjs2007.com,进入投稿系统后按要求提交稿件,投稿时“投稿分类”请选择为“隐身材料热点专题”。

编辑部电话:023—68792193 传真:023—68792396 联系人:奚愚生、李继红