

# 多层熔敷堆焊各区域组织及性能研究

肖新华<sup>1</sup>, 行志刚<sup>2</sup>

(1.湖北理工学院机电工程学院,湖北黄石 435003;2.河南理工大学工程训练中心,河南焦作 454000)

**摘要:**利用 Fe 基药芯焊丝对失效的 5CrNiMo 模具进行多层堆焊修复,之后对堆焊试样进行空冷处理。利用显微观察及硬度分析方法研究了各层堆焊合金的显微组织形貌及显微硬度分布。结果表明:焊后空冷处理条件下各层显微组织形貌及硬度分布差异较大,堆焊合金由第一层到第三层细小的板条回火马氏体逐渐减少,粗大的板条回火马氏体逐渐增多,最外层堆焊合金组织主要为粗大的片状马氏体,同时堆焊合金的显微硬度由第一层到外层逐渐升高,出现梯度分布,最外层堆焊合金显微硬度平均值达到了 540 HV。堆焊时后层堆焊对前层进行了高温回火是各层显微组织及硬度分布出现差异的主要原因。

**关键词:**多层堆焊;Fe 基堆焊合金;显微组织;硬度分布

**DOI:** 10.14158/j.cnki.1001-3814.2015.11.071

**中图分类号:** TG455

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-3814(2015)11-0233-03

## Study on Microstructure and Property of Each Region of Multi-layer Surfacing

XIAO Xinhuan<sup>1</sup>, XING Zhigang<sup>2</sup>

(1. Department of Electromechanical Engineering, Hubei Polytechnic University, Huangshi 435003, China; 2. Engineering Training Center, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Multilayer welding repair was carried out on the failure of 5CrNiMo die steel by using Fe base flux-cored wire, and then air-cold treatment was carried on the welding specimen. The microstructure and microhardness distribution of each cladding layer were studied by microscopic observation and hardness analysis method. The results show that the difference of each layer of microstructure morphology and hardness distribution is large under the condition of air cooling after welding. The content of small lath tempered martensite of the surfacing welding alloy from the layer 1 to layer 3 reduces gradually, and the content of thick lath tempered martensite increases gradually. The microstructure of outermost layer of surfacing welding alloy is main thick plate martensite. At the same time, the microhardness of the alloy surfacing increases from the first layer to the outer surface, and the gradient distribution appears; the microhardness of the outermost layer surfacing welding alloy achieves 540 HV. The reason why each layer microstructure and hardness distribution is different is that the later surfacing layer takes high temperature tempering on the former surfacing layer.

**Key words:** multi-layer surfacing; Fe based hardfacing alloy; microstructure; microhardness distribution

堆焊技术是焊接领域衍生出的一种新的表面强化工艺,通过堆焊技术能够较好地修复轧辊、模具以及齿轮等易发生磨损失效的零件,同时能很大程度上提高其使用寿命;堆焊工艺成本低,操作简单,在工业生产中已取得了明显的经济效益<sup>[1-2]</sup>。随着堆焊技术的广泛应用,对堆焊工艺、堆焊材料及焊后热处理等方面进行了深入的研究。汪中玮等<sup>[3]</sup>针对镍基

合金具有优良的高温综合性能,研制了一种抗高温耐磨损的镍基无渣堆焊焊条。赵晖等<sup>[4]</sup>在分析 60CrMnMo 钢轧辊堆焊修复和热处理工艺的基础上,研制了局部堆焊修复的焊接材料。樊平等<sup>[5]</sup>通过对多元合金铁基堆焊层的组织、性能和热处理制度之间的关系进行分析,研究了多元合金铁基堆焊层的热处理工艺。由于堆焊修复及堆焊制造一般为堆焊多层合金,各区域的组织及性能对堆焊样件的整体性能具有较大的影响,因此有必要对各层区域的显微组织及性能进行有效地分析研究。本文采用手工电弧堆焊方法在失效的 5CrNiMo 模具表层进行多层堆焊,分析了焊后各层堆焊合金的显微组织及显微硬度分布,为堆焊技术的进一步研究提供理论依据。

收稿日期:2014-12-24

基金项目:湖北理工学院湖北省重点学科“机械工程”资助项目(T201408)

作者简介:肖新华(1979-),男,湖北阳新人,讲师,硕士研究生,研究方向:机械设计与制造;电话:15871200544; E-mail:xiaoxinhua12@126.com.

## 1 试验材料及方法

基体试样选用失效 5CrNiMo 模具钢, 熔覆层选用 Fe 基耐磨药芯焊丝。基体和熔覆层焊材的主要化学成分经测定分别如表 1 所示。

表 1 5CrNiMo 钢及熔覆层焊材的化学成分(质量分数,%)  
Tab.1 Chemical composition of 5CrNiMo steel and welding rod(wt%)

材料	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Fe
5CrNiMo	0.51	0.82	0.63	0.92	1.50	0.15	0.02	0.02	余量
熔覆焊条	0.34	0.43	0.88	10.12	1.45	0.53	0.02	0.03	余量

以失效的 5CrNiMo 模具钢为基体, 以 Fe 基耐磨药芯焊丝作为熔覆层焊材, 对基体进行四层堆焊, 每层的有效堆焊厚度为 2~3 mm, 并保证堆焊过程中的焊接参数及焊接方法一致。堆焊前对基体进行 200℃ 预热处理。堆焊工艺参数为: 焊接电流 300 A, 焊接速度 160 mm/min, 以 CO<sub>2</sub>+Ar(1:4) 作为保护气体, 焊后进行空冷处理。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 显微组织

利用 3.5% 的硝酸酒精溶液对堆焊后各熔覆层进行腐蚀, 获得的各区域显微组织形貌如图 1 所示。由图可以看出: 熔覆层各层显微组织表现为不同的形貌且差异较大。靠近熔合区的第一层熔覆层组织主要表现为均匀的细小板条回火马氏体, 且在马氏体周围分布有一定量的残留奥氏体。细小的板条回火马氏体具有较好的强度及抗裂纹敏感性和回火稳

定性, 残留奥氏体具有较高的韧性, 这两种组织的均匀分布能够使第一层熔覆层具有较好的力学性能。第二层熔覆层焊材中出现了部分相对较粗的板条回火马氏体, 该板条状回火马氏体表现出一定的方向性, 主要表现为细小的板条回火马氏体与相对较粗的板条回火马氏体的混合组织。该混合组织具有较好的力学强度较高的抗冲击性能。熔覆层第三层组织中细小的板条回火马氏体几乎消失, 主要表现为方向性各异的粗大板条回火马氏体组织。该组织韧性较低, 脆性较大。熔覆层第四层(最外层)金相组织中细小的板条回火马氏体彻底消失, 主要表现为粗大的片状马氏体组织。该组织虽然具有较高的硬度, 较好的耐磨性, 但其具有较高的脆性和残余应力。同时, 粗大的片状马氏体自身组织内部存在大量的显微裂纹, 堆焊过程中的焊丝熔覆金属由于其具有较快的凝固速度, 导致其生成的片状马氏体未能进行较高的均匀化以及组织改变, 导致生成的片状马氏体自身的脆性很大, 且在焊后未进行相应的回火处理而难以使其应力松弛, 因此容易形成显微裂纹。片状马氏体越粗大, 所形成的显微裂纹越多, 显微裂纹的存在将导致熔覆层脆性较高, 在残余应力作用下, 自身存在的显微裂纹将会逐渐扩展成宏观裂纹, 使熔覆层发生开裂。因此, 第四层(最外层)熔覆层显微组织较差, 综合力学性能较低。各区域显微组织出现较大的差异性是由于在堆焊时后层熔覆层对前层熔覆层进行了高温回火, 在高温回火条件下前层的显微组织中

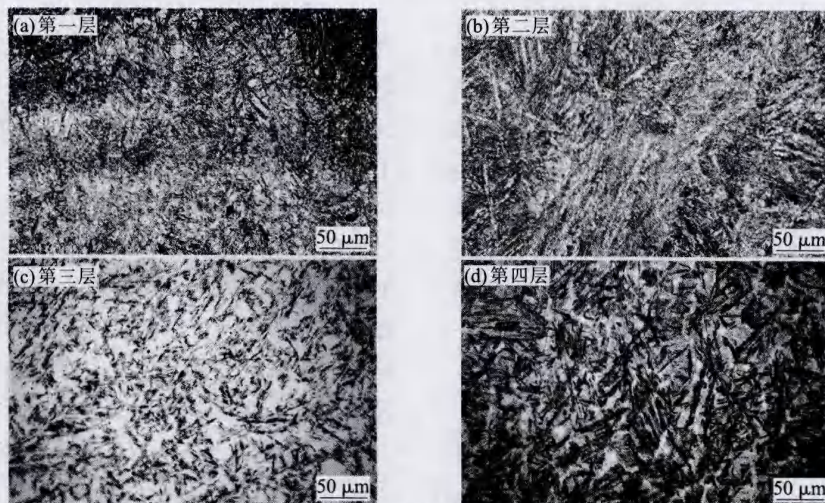


图 1 堆焊熔覆层各层显微组织  
Fig.1 Microstructure of each surfacing cladding layer

的粗大片状马氏体转变为细小的板条状回火马氏体,使其组织发生了转变,其中第一层熔覆层受到了三次高温回火,组织转变更为均匀,最外层熔覆层未受到任何回火处理,因此在凝固时生成的粗大片状马氏体在堆焊后保持下来,并未发生一定的组织转变,导致最外层熔覆层整体力学性能较差。

## 2.2 显微硬度分布

焊后对堆焊试样熔覆层进行显微硬度测试,检测堆焊熔覆层各层区域时按照垂直方向从第一层到最外层每隔 0.3mm 进行硬度测试,加载 1kg,加载时间 5s,所测的显微硬度分布结果如图 2 所示。可看出:由第一层到第四层(最外层)熔覆层的显微硬度分布呈现出明显梯度增大趋势,且各区域分布较为均匀,未出现较高的硬度波动。其中第一层熔覆层的显微硬度平均值较低,约为 420 HV;第二层熔覆层的显微硬度平均值约为 448 HV;第三层熔覆层的显微硬度平均值约为 480 HV;第四层熔覆层(最外层)的显微硬度明显高于其它三层,其显微硬度平均值达到了 540 HV。组织对硬度具有较大的影响,由于各区域熔覆层的显微组织具有明显的不同,因此使各区域的显微硬度差异化较为明显。第一层主

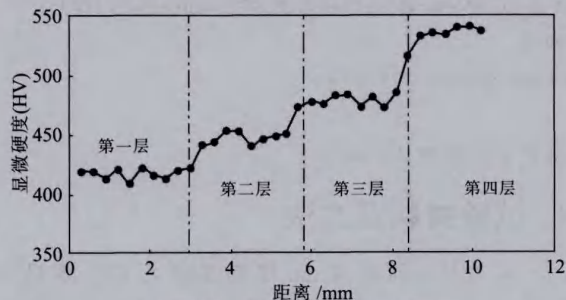


图2 熔覆层各层显微硬度分布

Fig.2 Microhardness distribution of each surfacing cladding layer

要为细小的板条回火马氏体,因此显微硬度较低,之后第二层熔覆层中由于出现了部分粗大的板条回火马氏体因此硬度提高,第四层(最外层)熔覆层显微组织主要表现为粗大的片状马氏体,因此显微硬度较高。

## 3 结论

(1) 堆焊熔覆层各层区域显微组织差异较大,第一层熔覆层主要表现为细小的板条状回火马氏体,第二层熔覆层中细小的板条马氏体减少,出现部分粗大的板条回火马氏体,第三层熔覆层中主要表现为粗大的板条回火马氏体,第四层熔覆层(最外层)为粗大的片状马氏体。各熔敷层显微组织出现差异化主要原因是堆焊过程中堆焊后层时对前层进行了高温回火。

(2) 焊后由第一层熔覆层到第四层(最外层)熔覆层的显微硬度分布呈现出明显的梯度,且显微硬度由第一层向最外层逐渐增大,显微硬度的梯度分布主要与各层的显微组织不同有关。

## 参考文献:

- [1] 魏琪,栗卓新,李世敏,等. 马氏体时效钢金属粉芯焊丝 TIG 堆焊模具制造技术研究[J]. 模具工业,2003,16(3):51-54.
- [2] 杨永国. 堆焊在零件修复中的具体应用[J]. 有色设备,1991,(3):64-65.
- [3] 汪中玮,张清辉,肖逸锋. 镍基高温耐磨无渣堆焊焊条及其热处理工艺[J]. 焊接学报,2006,27(1):109-113.
- [4] 赵晖,徐玲,付成刚. 60CrMnMo 钢轧辊堆焊修复及热处理工艺[J]. 金属热处理,2009,(4):82-84.
- [5] 樊平,穆云超. 多元合金铁基堆焊层热处理工艺的研究[J]. 热加工工艺,2008,37(3):19-21. [H]

(上接第232页)

合理选用焊接工艺参数,并进行中间消除应力热处理,最终耐蚀堆焊层完全能够满足设备图纸要求。

## 参考文献:

- [1] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册[M]. 北京:机械工业

出版社,2007.

- [2] 单利,韩光亮. 15CrMoR 钢板的焊接工艺[J]. 焊接技术,2007,(2):37-38.
- [3] 李树勋,张鹰,王海波,等. 加氢换热器堆焊试板表层裂纹的分析与处理[J]. 焊接,2004,(12):28-30. [H]