

宽带电弧熔覆层的缺陷控制

张 昕, 姜 海, 程 华, 孔德新

(中国人民解放军装甲兵技术学院 机械系, 长春 130117)

摘 要: 宽带电弧熔覆技术修复零部件, 不可避免会产生裂纹, 使修复部位的承载能力下降。为避免修复缺陷的产生, 文中分析了熔覆裂纹产生的原因, 采用 38CrSi 为基体材料, 在熔覆材料 Ni-Cr-B-WC 中添加 5%~8% 的稀土元素 Re, 进行单道送粉熔覆。利用扫描电子显微镜(SEM)、硬度仪和显微硬度测试仪分别对获得的熔覆层进行显微组织观察、硬度及耐磨性等进行分析研究。结果表明, 加入稀土元素后, 可以细化熔覆层晶粒, 柱状晶的产生范围减小, 硬度增大, 耐磨性提高近 1 倍。稀土元素的加入可以使熔覆层强韧性提高, 脆性下降, 减少裂纹倾向。

关键词: 宽带电弧熔覆; 熔覆裂纹; 稀土元素

中图分类号: TG174.4

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2012)01-0056-04

Defects Controlling of the Lays Prepared with Broad-beam Arc Cladding Technology

ZNANG Xin, JIANG Hai, CHENG Hua, KONG De-xin

(Mechanical Department of Armored Technique Institute of People's Liberation Army, Changchun 130117)

Abstract: It is inevitable that the cracks would exist in the parts repaired with broad-beam arc cladding technology, which would make the cladding layers enduring ability decreased. In this paper, the terms attributing to the cracks were analyzed to avoid defects. Single pass powder feeding cladding was carried out, in which the substrate was 38CrSi and 5%~8% Re was added to the cladding material Ni-Cr-B-WC. In order to study the microstructure, hardness, and wear resistance of the cladding layers, scanning electron microscope (SEM), hardness instrument, and microhardness tester were utilized. The results indicate that, with the addition of the rare earth elements, the grains could be refined and the range of the columnar crystal would be obviously decreased. Consequently, the hardness of the layers could be improved and the wear resistance increase about 1 time. Furthermore, the layers' strength-toughness would be improved, in contrast to a decreased brittleness, thus the cracking tendency of the layers would be decreased effectively.

Key words: broad-beam arc; cladding cracks; rare earth elements

0 引 言

宽带电弧熔覆是指利用具有一定宽度的高能密度的压缩电弧束将具有不同成分、性能的合金与基体表面快速熔化, 在基体表面形成与基体具有完全不同成分和性能的合金层(修复层)的快速凝固过程。采用宽带电弧熔覆技术修复零部件, 能够实现熔覆—淬火一次性完成, 单道熔覆宽度达到 40~60 mm。此方法不但能够较好

地满足零部件修复要求, 而且熔覆效率高, 热影响区小, 存在裂纹、气孔和夹渣等缺陷倾向比较小, 大大地提高了零部件的修复质量。但是由于电弧熔覆温度可达到 9 000~10 000 K, 热量比较集中, 温差应力大^[1], 所以在熔覆层及热影响区或多或少会造成熔覆裂纹, 使修复部位的承载能力下降, 因此必须对修复缺陷产生的原因进行分析, 进一步采取适当的工艺措施, 避免修复缺陷

收稿日期: 2011-09-21; 修回日期: 2011-12-18

作者简介: 张昕(1973—), 女(汉), 吉林德惠人, 讲师, 硕士; 研究方向: 表面工程材料加工

引文格式: 张昕, 姜海, 程华, 等. 宽带电弧熔覆层的缺陷控制 [J]. 中国表面工程, 2012, 25(1): 56-59.

的产生。

目前人们对造成熔覆裂纹的原因在理论上已经有较深刻的认识,但对解决实际问题始终没有提出良好的方法,尤其是对一些具体的工件,更是靠经验来减少或避免出现问题。为解决这个问题,目前常采用将待修零件或坯料进行熔覆前的预热和熔覆后的缓冷,对熔覆材料进行熔覆前的烘干等方法。虽然取得一定效果,但可以说都没有从根本上解决问题。文中在对熔覆裂纹原因进行详细研究的基础上,提出了自己的一整套设想并在实际当中得以验证,较好的解决了熔覆层的开裂问题。

1 试验

采用装甲兵技术学院自行开发设计的宽带电弧熔覆设备制备熔覆层。在熔覆材料 Ni-Cr-B-WC 中加入 5%~8% 的稀土元素 Re 并充分混匀作为送粉熔覆材料,采用 38CrSi 为基体材料,进行单道送粉熔覆。熔覆材料粉经 200 °C 烘干 4 h 后在电弧热源下烧熔,电流 125 A,送粉量 350~400 mg/s,工件移动速度 8.3~13.3 mm/s,氩气流量 10 L/min,采用搭接熔覆。

将上述熔覆获得的熔覆层分别在 SJM-5800 型扫描电子显微镜下进行显微组织分析;在 HX-1000 显微硬度计下进行熔覆层硬度及熔覆层与基体结合界面附近硬度梯度检测;在 SKODA 快速磨损试验机上进行熔覆层快速磨损实验,比较其耐磨性。试验材料的化学成分见表 1,熔覆工艺参数见表 2。

表 1 熔覆材料的化学成分(质量分数/%)

Table 1 Chemical compositions of the cladding materials ($w/\%$)

Element	Cr	B	Si	Re	WC	Ni
Mass Fraction	16	4	4	5	25	Bal.

表 2 电弧熔覆工艺参数

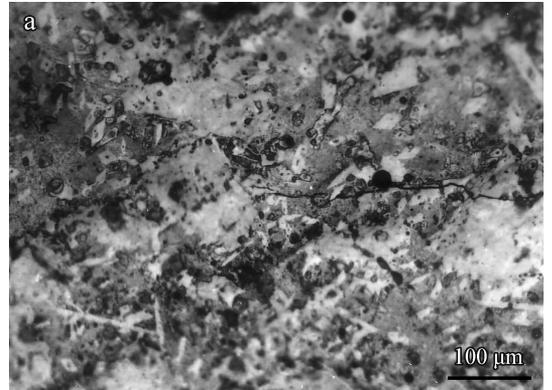
Table 2 Technological parameters of the arc cladding

Output current I/A	Cladding speed $V_s/(\text{mm} \cdot \text{s}^{-1})$	Powder flow rate $V_f/(\text{mg} \cdot \text{s}^{-1})$
150	0.4	450

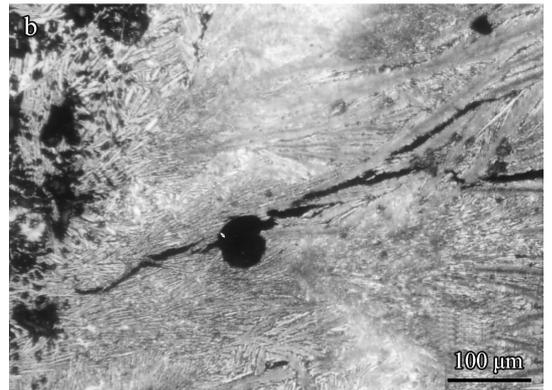
2 裂纹产生的原因

试验过程中未加 Re 遇到的熔覆层开裂的记录结果如图 1 所示。

产生熔覆层开裂的原因很多,有如下几个方面:①熔覆加热和冷却过程中产生的应力超过所对应材料的强度极限产生的裂纹,应力来源于热应力和相变应力^[2]。用于电弧熔覆的材料大多是高强度、硬度、脆性的材料,这些材料在性能上、性质上都与基体材料有很大的差别,主要是线膨胀系数差别较大、结晶过程中的固态相变倾向和幅度差别较大且固态相变不同步,当产生的应力超过届时的强度极限便发生开裂,开裂的位置和方向受应力的方向性和材料的各向异性控制。②熔覆材料、基体材料本身的性质及工艺之间匹配不当是熔覆层开裂的重要原因之一^[3]。对



(a) Cracks existing in columnar grain boundary adjacent to the bond interface



(b) Horizontal cracks existing in cladding layer

图 1 试验研究过程中单道熔覆层中发现的两种裂纹
Fig. 1 Cracks founded in the cladding layer of a single trace

采用的 Fe 基自熔合金、Ni 基自熔合金和 Co 基自熔合金而言,后两者在熔覆层结晶过程中,几乎不发生固态相变^[4]。当与此材料相匹配的基体材料的淬火能力很强时,由于基体发生马氏体相变对熔覆层产生的拉应力就会相应增大,从而增大开裂倾向。相反,对 Fe 基自熔合金而言,其淬火倾向很高,一般都超过相应的基体材料,马氏体点较高,相变超前与基体发生,也会对熔覆层产生拉应力,加之由于熔覆层与基体表面加热温度的差别和冷却结晶具有先后次序,增大了熔覆层的拉应力,使其开裂倾向增大。③熔覆层结晶时,在结合界面沿热流方向生长的柱状晶使熔覆层的性能出现了显著的各向异性,在各相邻的柱状晶间界面处的杂质和低熔点物质聚集并产生强度薄弱区,增大了开裂倾向^[5]。柱状晶越发达,熔覆层的开裂倾向越大。④熔覆层的结晶速度很快,结晶具有先后次序且有时不连续,在熔覆层内部后结晶的区域会因液体补充不充分而产生拉应力增大开裂倾向并产生裂纹,如图 2 所示。⑤当进行搭接熔覆时,先熔覆的部分会因多次加热而产生裂纹,这种裂纹的产生原因更加复杂^[6]。经验表明,这种裂纹产生的主要原因是由于前一道熔覆层熔覆后,下一道熔覆层将以一定的搭接率对前一层的表面进行部分覆盖,这样就使得这道熔覆层的结晶过程相当于在两种基体材料上进行,且这两种材料又不在同一平面上,因此搭接区域内产生更复杂的应力应变形式,更易产生横向裂纹。同时对被覆盖的前一道的部分熔覆层而言,在其与基体结合界面附近形成了一些沿热流方向生长的柱状晶,而下一道

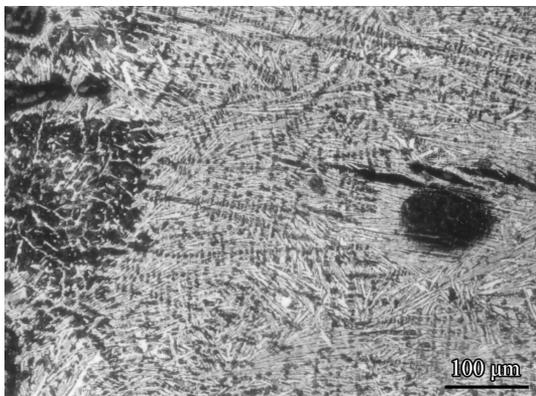


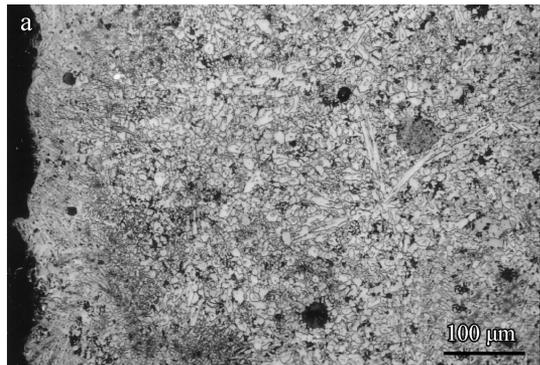
图 2 熔覆层结晶时液体补充不足产生的裂纹

Fig. 2 Cracks caused by liquid scarcity during the crystallization of the cladding layer

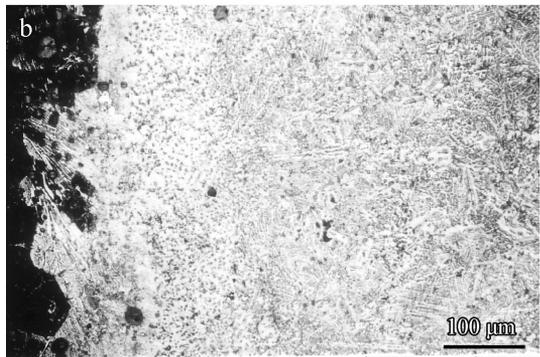
熔覆搭接上来以后,在搭接处又形成了一个新的结合界面,在这个界面附近又会产生新的一层沿热流方向生长的柱状晶体,这两处叠加或相连,此处就成为了易产生裂纹的显微组织薄弱区域,从而增大了此处的开裂倾向。

3 试验结果与讨论

通过在熔覆材料中加入稀土元素试验,所获得的熔覆层的显微组织见图 3,可以看出,在熔覆材料粉中加入了稀土元素后,熔覆层的显微组织得到了一定程度的细化,熔覆层晶粒细化程度由 $240\ \mu\text{m}$ 降至 $49\ \mu\text{m}$,柱状晶的产生范围有所减小,熔覆层的显微硬度相应的也获得提高(图 4)。图 5 为基体和熔覆层在相同磨损条件下的磨损失重柱状图,由图可见,未加稀土的熔覆层其磨损量大约为 $1.8 \times 10^{-2}\ \text{mm}^3$,加入稀土的熔覆层其磨损量大约为 $0.9 \times 10^{-2}\ \text{mm}^3$,熔覆层的耐磨性比未加稀土时提高将近 1 倍。说明稀土元素



(a) Microstructure image of the cladding layers without rare earth elements



(b) Microstructure image of the cladding layers with the rare earth elements

图 3 相同工艺条件下获得不同成分熔覆层的显微组织
Fig. 3 Microstructure images of the cladding layers with different composition prepared under the same conditions

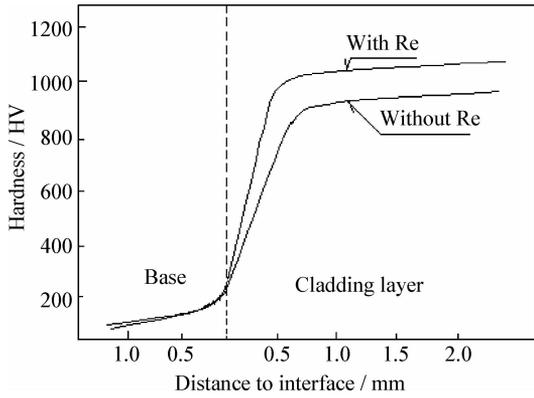


图 4 不同材料熔覆层的显微硬度检测结果

Fig. 4 Micro-hardness of the different cladding layers

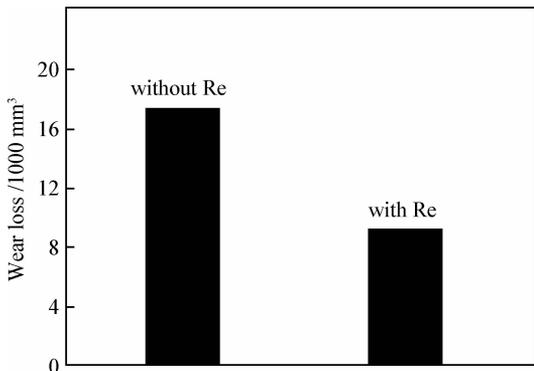


图 5 不同材料熔覆层的磨损实验结果

Fig. 5 Wear test results of the different cladding layers

在熔覆过程中进入熔覆层并对熔覆层的结晶过程产生影响,使熔覆层的强韧性同时得到提高。根据电子探针对熔覆层的成分进行面分析和线分析的试验结果可以看出,稀土元素 Re 在熔覆层中较均匀的分布。可以推断稀土元素 Re 的添加,增大了熔覆层结晶过程的形核率,显示了熔

覆层与基体结合界面沿热流方向生长的柱状晶,晶粒的细化使熔覆层强韧性提高,脆性下降,减少裂纹倾向。

4 结 论

(1)造成熔覆层开裂的原因是在熔覆层结晶过程中,产生沿热流方向生长的柱状晶,同时会产生大的组织应力和热应力。

(2)在熔覆材料中加入稀土元素细化了熔覆层晶粒,硬度、耐磨性提高,强韧性提高,控制了熔覆层的开裂倾向。

参考文献

- [1] 尚丽娟. 钨极气体保护电弧熔覆 F102Fe 及 204Co 合金涂层的研究 [D]. 东北大学, 2005: 5-6.
- [2] 徐滨士. 纳米表面工程 [M]. 化学工业出版社, 2003, 9: 123-125
- [3] 高永健, 张世堂, 邓智昌, 等. 激光熔覆高温自润滑覆层的裂纹成因与控制 [J]. 中国表面工程, 2011, 24(4): 13-17.
- [4] 戎磊, 黄坚, 李铸国, 等. 激光熔覆 WC 颗粒增强 Ni 基金合金图层的组织与性能 [J]. 中国表面工程, 2010, 23(6): 40-44.
- [5] Karpenko V M, Granovskii A V, Gavrish P A. Plasma-arc spray gun for surfacing parts of complex form [J]. Chemical and Petroleum Engineering, 1989(25): 474-475.
- [6] Mirlin G A, Denisov P V, Levin V I. Spot arc welding of body components in thin sheet steel [J]. Weld Prod, 1973, 20(6): 24-27.

作者地址: 长春市花园路 1 号 130117
 装甲兵技术学院 机械系
 Tel: (0431) 8698 0384
 E-mail: nanlandu@yahoo.com.cn

• 本刊理事介绍 •

黄卫东,教授,博士生导师,1956 年生。1989 年获西北工业大学工学博士学位,1991 年任西北工业大学教授,西北工业大学首批“英才培养计划”入选者。1998 年获国家杰出青年科学基金资助,1999 年任凝固技术国家重点实验室主任,2001 年被聘为教育部长江计划特聘教授。主要研究领域:凝固与晶体生长理论,高性能致密金属零件的激光快速成形技术,大型复杂薄壁铸件精密铸造技术。发表学术论文 283 篇,出版国防重点专著《激光立体成形》。授权中国发明专利 9 项,国防发明专利 1 项,实用新型专利 1 项。培养硕士生 30 人,博士生 41 人。获得省部级科技一等奖 2 项,二等奖 3 项,三等奖 1 项。获得的主要荣誉奖有:“做出突出贡献的中国博士学位获得者”、“航空航天部优秀青年教师”、“国务院政府特殊津贴”、中国高校自然科学二等奖、陕西省铸造基金一等奖、陕西省科学技术一等奖、“国防科技工业百名优秀博士”、“国家重点实验室计划 20 周年先进个人”、“西部开发突出贡献奖”、“陕西省优秀科技工作者”和“宝钢优秀教师”称号等。