

文章编号: 0258-7025(2001)11-1045-04

碳钢件表面裂纹缺陷激光修复研究*

叶和清¹ 王忠柯¹ 许德胜¹ 左都罗¹ 黄素逸² 苏雪峰²

(华中科技大学¹ 激光技术国家重点实验室,² 动力系 武汉 430074)

摘要 采用双光束激光修复碳钢零件的表面裂纹。裂纹修复区堆焊层与零件基体间存在一明显的白色熔合结合带,组织结构中存在联生的胞晶组织及树枝状、针状组织。枝晶为先析出相 γ -Ni,固溶有大量的Cu和Fe;枝晶间隙除低熔点金属外,含有 γ -Ni, NiSi₂, Cr₃Ni₂, CrSi。修复区送料堆焊层的硬度明显高于碳钢基体的硬度,约在HV_{0.2}400~HV_{0.2}450,随后由堆焊层到过渡区逐渐降低。

关键词 碳钢零件,表面裂纹,激光修复,组织结构

中图分类号 TN 249 **文献标识码** A

Study on the Laser Repairing Surface Crack of Steel Components

YE He-qing¹ WANG Zhong-ke¹ XU De-sheng¹ ZUO Dou-luo¹
HUANG Su-yi² SU Xue-feng²

(¹ State Key Laboratory of Laser Technology, ² Department of Power Engineering, HUST, Wuhan 430074)

Abstract Surface crack of steel components was repaired with two bundle of laser. There was an obvious joined band between filled region and substrate of component. The microstructures of repaired region were adnate cellular crystal, dendrite crystal, and needleshaped crystal. The phases of dendrite crystal in repaired region were consisted of γ -Ni which contained plenty of Cu, Fe. The phases in the gaps among dendrite crystals were γ -Ni, NiSi₂, Cr₃Ni₂, CrSi. The hardness of filled layer in repaired region were HV_{0.2}400~HV_{0.2}450, then the hardness values decreased from the surface to transition region.

Key words steel components, surface crack, laser repairing, microstructure

1 引言

在钢铁冶金、机械、电力等行业,材料的疲劳磨损,应力开裂致使大量的机械零件失效报废,如铸件表面凝固裂纹,大型柴油机曲轴、热电厂发电机转轴、汽轮机转轴等的疲劳断裂等。多年来人们停留在裂纹形成、扩展、阻止的研究上,尚无良好的修复手段。当今,随着激光技术的发展,有关激光焊接、熔覆、切割等加工技术及其相关理论日趋成熟^[1-4],为零件表面缺陷修复提供了可能。本文对使用广泛的普通碳钢(45#)零件表面裂纹激光修复技术及其组织性能进行探索研究。

2 实验方法

针对普通碳钢零件表面裂纹缺陷,采用两束光处理,裂纹区基材激光重熔(一束光)和送料激光堆焊填充(另一束光)复合技术,即零件裂纹区激光局部重熔使基材本身自弥合,接着送料(同质或异质丝材或粉料,本实验采用Ni30合金粉(wt-%, Cu:18, B:1.3, Si:1.5, Cr:<2, Fe:<5, C:<0.2, Ni:余, 60~120目)堆焊填充,达到修复零件表面裂纹的目的,如图1所示。

实验采用5 kW CO₂激光器,激光功率1200~4500 W,光斑直径2~5 mm,焦距280 mm,扫描速度4~8 mm/s, Ar气同轴保护。根据裂纹走向、深宽等特征,调整激光修复工艺参数。

普通金相显微镜观测分析修复区组织, Rigaku Geigerflex型 X-射线衍射仪检测分析修复区相组

* 国家自然科学基金(59906004)和激光技术国家重点实验室对外开放基金资助项目。

收稿日期:2000-07-26; 收到修改稿日期:2000-11-13

成, JXA-8800R 型电子探针测试分析修复区的成分。

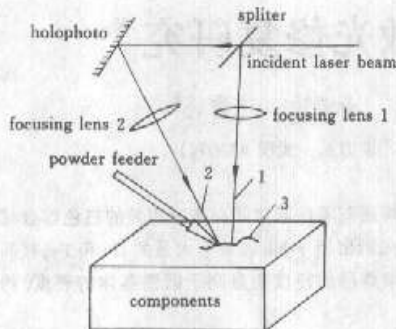


图1 零件表面裂纹激光修复

1: 熔化裂纹区时的激光束; 2: 送料填充堆焊时的激光束; 3: 表面裂纹

Fig. 1 Schematic diagram of laser repairing surface crack of components

1: laser beam used for melting crack region; 2: laser beam used for filling powder to build-up welding crack; 3: surface crack

3 结果与讨论

3.1 修复区的组织

由于激光加热速度快, 温度高, 合金的熔化与凝固在较短时间内完成, 激光重熔区与填充堆焊层组织具有快速凝固组织的特点。由图 2(d) 可看出在堆焊填充层与零件基体的交接处明显存在一白色熔合带, 表明填充层与基体已呈良好的冶金结合。在明亮区的上部存在联生的胞状晶, 这就是平面晶与胞状晶的过渡形态。向上随着温度梯度 G 和凝固速率 R 的变化, 晶粒就由平面晶过渡到胞状晶再到枝晶最后发展形成等轴晶, 随着温度的不断降低, 晶粒长大速度不断降低, 同时凝固速度的不断增大使成分梯度越来越大, 造成过冷度增大, 因而形核率增大, 所以晶粒也便越来越细小。在凝固过程中, 枝晶的生长和组织的形成受冷速、形核、结晶取向等因素的影响, 组织形貌中有针状、羽毛状析出物分布在枝晶基体上(图 2(a))。枝晶的生长排列具有较强的规则性(图 2(b))。

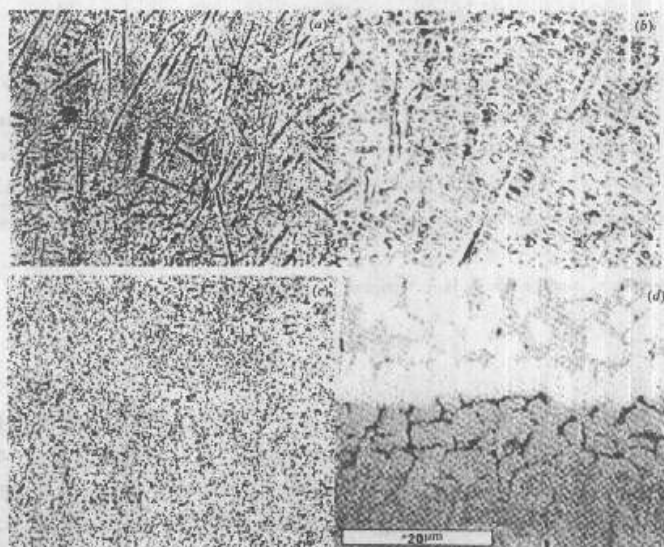


图2 碳钢零件激光修复区的显微组织

(a) 修复区堆焊填充层(100×); (b) 堆焊填充层局部放大(630×); (c) 碳钢零件基体组织(400×); (d) 堆焊层与基体的过渡区 SEM

Fig. 2 Repaired region microstructure of steel components

(a) the build-up layer of repaired region; (b) amplification of part build-up layer;

(c) matrix microstructure of steel parts (400×); (d) join zone of build-up layer and matrix

3.2 修复区堆焊层的成分与相结构

由图 3 可看出修复区堆焊层的组织主要由枝晶骨架 1, 黑色网状固溶体间 2 和分布在固溶体上的深黑色颗粒组成。由表 1 成分知, 枝晶骨架 1 主要

含 Ni, 并有大量 Cu, Fe 溶于其中, 而固溶体 2 主要含 Ni, Cu 和 Fe 少于枝晶骨架, Si 含量大于枝晶骨架。

电子探针面扫描结果(图 4)表明, Fe 和 Cu 主

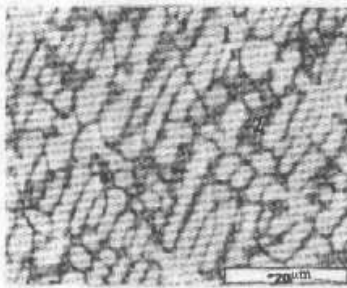


图3 修复区堆焊层成分的电子探针点分析

Fig.3 Compositions of the phases presented in the filled region revealed by electronprobe microanalyzer

要分布于枝晶骨架中,而 Si, Cr 则主要分布于固溶体中,固溶体及晶界上的黑色颗粒是 Cr 的富集点,而 Ni 在固溶体和枝晶骨架中都占有绝对的地位,但

它更富集于固溶体中。

表1 电子探针测得的修复区堆焊层的成分(wt.-%)

Table 1 Compositions of filled layer in repaired region of vane (wt.-%)

Element Location	Si	Cr	Fe	Ni	Cu
1	1.73	3.16	12.23	61.52	21.39
2	4.34	3.71	9.14	74.12	8.69

X-射线衍射测试分析,枝晶骨架为先析出相 γ -Ni, 其中固溶有大量的 Cu 和 Fe, 它们不仅起到固溶强化的作用,而且 Cu 具有减磨和耐蚀的作用,而枝晶骨架间隙主要含有 γ -Ni, NiSi₂, Cr₃Ni₂, CrSi, 黑色颗粒可能是 Cr₂₃C₆。

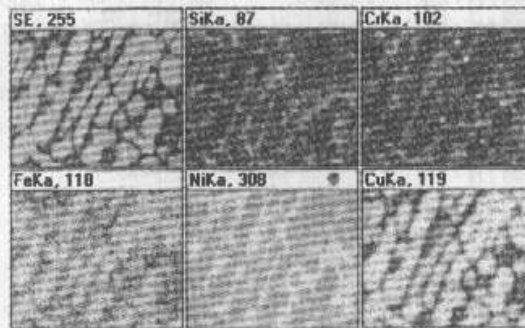


图4 修复区堆焊层成分电子探针面扫描

Fig.4 Map of the filled region in the repaired region by electronprobe microanalyzer

3.3 修复区中过渡区的成分与相结构

图5和表2表明,修复区的填充层到过渡区,

表2 电子探针测得的修复区过渡区的成分(wt.-%)

Table 2 Compositions of transition section in repaired region of vane (wt.-%)

Element Location	Si	Cr	Fe	Ni	Cu
1	1.32	4.98	14.58	69.43	9.68
2	1.35	2.73	26.36	54.09	15.47
3	0.55	1.96	76.42	18.04	3.04
4	0.28	1.01	98.29	0.33	0.09

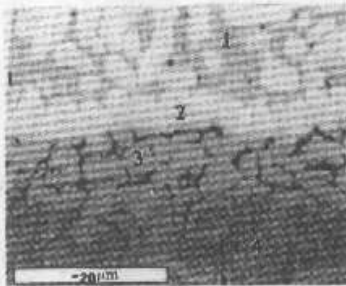


图5 修复区过渡区的成分电子探针点分析

Fig.5 Compositions of the phases presented in the transition section revealed by electronprobe microanalyzer

Si, Cr, Ni, Cu 含量降低,而 Fe 含量增加。基体的熔化使填充层和基体实现了冶金结合,在一定范围内存在元素的互扩散现象,可以看出 Si, Ni, Cu 主要分布于过渡区靠填充层一侧,只有少量扩散到基体中,而 Fe 则相反,以上元素的分布在填充层与基体的交

界处都有明显的界限,这正是激光能量密度集中,加热、冷却迅速没有足够时间让元素进行扩散均匀的体现,而 Cr 由于扩散能力较强,所以在过渡区的过渡较平缓。基体的熔化引起过渡区中的 C 的含量增加,C 对 Si 具有一定的排斥作用,C 对 Cr 具有固定作用,形成铬的碳化物从而使 Cr 的含量增加。

3.4 修复区的硬度

测试结果表明,修复区送料堆焊层的硬度明显高于碳钢基体的硬度,约在 HV_{0.2}400~HV_{0.2}450,随后硬度值由堆焊层到过渡区逐渐降低,至零件基体趋于恒定。零件热影响区由于淬火作用产生马氏体,其硬度高于基体心部。修复区的硬度受其成分、组织、相结构等因素的影响,组织和成分分布的不均匀性决定了硬度值分布的波动性。

4 结 论

1) 采用双光束激光实现裂纹区重熔及送料堆焊,修复碳钢零件表面裂纹是可行的。但从表层的微裂纹到大深度裂纹的修复还有待于系统研究。

2) 裂纹修复区堆焊层与零件基体间存在一明显的白色熔合结合带,组织结构中存在联生的胞晶

组织及针状组织。枝晶为先析出相 γ -Ni, 固溶有大量的 Cu 和 Fe; 枝晶间隙除低熔点金属外,含有 γ -Ni, NiSi₂, Cr₃Ni₂, CrSi。

3) 修复区送料堆焊层的硬度明显高于碳钢基体的硬度,约在 HV_{0.2}400~HV_{0.2}450,随后由堆焊层到过渡区逐渐降低。

参 考 文 献

- 1 Li Qiang, Lei Tingquan, Wang Fuchi *et al.*. Microstructural evolution and phase identification of the laser surface clad SiCp/Ni-Cr-B-Si-C Coating. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, A26(1):80~84 (in Chinese)
- 2 X. Y. Zeng, X. W. Wu, Z. Y. Tao *et al.*. Heat damage of laser clad Ni-based WC coating. *Acta Metallurgica Sinica* (冶金学报), 1997, 33(12):1281~1288 (in Chinese)
- 3 Wang Huaming, Guo Shuping, Shi Gang. Surface modification of TiAl intermetallics alloys by laser gas alloying. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, A24(11):1049~1052 (in Chinese)
- 4 X. H. Tang, H. H. Zhu, G. F. Zhu *et al.*. Study on aerodynamic nozzle specialized for laser welding. *Laser Technology* (激光技术), 2000, 24(2):95~98 (in Chinese)