

文章编号:1673-9981(2008)03-0211-04

激光熔覆层裂纹的影响因素

丁阳喜, 欧阳志明

(华东交通大学机电工程学院, 江西 南昌 330013)

摘 要:对激光熔覆层裂纹形成的影响因素进行了研究,激光熔覆试验结果表明:熔层组织中共晶组织和熔覆层底部粗大的树枝晶是熔覆层的薄弱区,易于产生裂纹;在熔覆前后或进行过程中,对基材进行预热处理,可有效消除或减少熔覆层中的裂纹;增大激光功率、减少送粉量,激光熔覆熔层开裂倾向降低;增大熔覆速率,熔覆层的开裂倾向将增大。

关键词:激光熔覆;裂纹;影响因素

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A

激光表面熔覆技术具有涂层与基底结合牢固、涂层稀释率低、工件变形小等其他表面技术难以实现的特点,在工业生产和科学研究领域中引起了普遍重视,应用前景广阔^[1]。激光熔覆具有急热急冷的特性,在熔覆过程中经激光加热,熔覆层和基体材料表面由固态金属转变为液态金属,再由液态金属结晶转变为固态金属,并迅速冷却至室温,这个物态和相的变化过程中伴随着金属体积的变化,从而引起组织的形变并产生内应力。这种内应力一般为拉应力,当此内应力大于材料的抗形变能力时,熔覆层将产生裂纹。由于熔覆层的裂纹等问题是激光熔覆技术工业化应用的一大障碍^[2],因此不少研究者进行了有益的探索,并取得了一些进展。本文对裂纹形成的影响因素进行了细致地研究。

1 试验部分

熔覆材料为熔覆高速线材轧辊的钴基合金,试板材料为A3钢,A3钢的尺寸为100 mm×80 mm×10 mm,表面经热轧处理,再铣削加工、金相砂纸打磨及丙酮清洗吹干,待用。

采用功率为5 kW的TJ-HL-T5000型横流CO₂激光器,在试板上进行单道激光熔覆,送粉气体和保护气体均为氩气,熔覆长度为60 mm。采用Olympas-Pme 3型金相显微镜分析熔覆层的组织形貌,在体视镜下观察裂纹的宏观形貌,在MSF-2MX型射线应力测定仪上测试熔层表层残余应力。

2 结果及讨论

2.1 显微组织

图1为熔覆层内微观裂纹。从图1可见,熔覆层中的组织为共晶组织,而熔层底部为粗大的树枝晶组织。裂纹往往是在共晶组织中产生、扩展,这与熔覆层结晶过程中枝晶的偏析及快速结晶中产生的共晶组织的显微缺陷有关。

熔覆试验中发现,大部分裂纹是在熔覆过程中产生的,少部分裂纹延迟一段时间出现在熔覆过程后。在体视镜下观察,裂纹多为垂直于激光光束扫描方向的横向贯穿裂纹和出现在熔覆层尾部的弧坑裂纹(图2)。

收稿日期:2008-04-11

作者简介:丁阳喜(1962—),男,江苏句容人,教授。

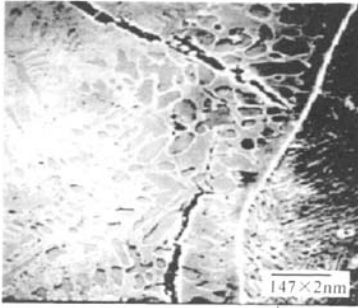


图1 激光熔覆层内微观裂纹

Fig. 1 Microcracks in the cladding layer

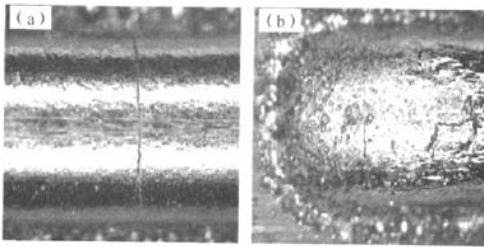


图2 激光熔覆层裂纹的宏观形貌, 10×

(a)横向贯穿裂纹; (b)弧坑裂纹

Fig. 2 The macro-morphologies of the cracks in the layer

(a)transversal crack; (b)crater crack

激光熔覆时熔覆层的冷却速度极快,熔池的凝固结晶属于非平衡结晶,对于多成分合金的快速不平衡结晶,各晶粒内成分不均匀.这是因为快速冷却,造成固相平均成分线偏离平衡结晶时的固相线,冷却速度越快,偏离程度越大,使得前后从液相中结晶出的固相成分不同.再由于冷却速度快,不能使成分扩散均匀,结果使得每个晶粒内部的化学成分不均匀,造成先结晶的部分含有高熔点组元相对较多,后结晶部分含有低熔点组元较多.低熔点组元聚集在晶界处,此时在凝固过程中产生的热应力作用下,晶界处是材料内部组织的弱化处,裂纹在晶界处产生且扩展.裂纹的扩展一般遵循最大应力的方向或是内部组织最薄弱的地方.由于杂质、低熔共晶物都在晶界处聚集,因此,裂纹开裂往往是沿晶开裂.

经激光熔覆后的组织属于快速不平衡组织,共晶组织是最后凝固结晶的,快速结晶往往容易在最后结晶的部位产生缩孔等缺陷.同时,熔层中金属结晶方向除了受最大温度梯度方向控制外,还和晶体

最优生长方向有关,两种不同生长方向的共晶组织在快速凝固过程中会发生强烈的组织碰撞,碰撞的结果会在两种不同方向生长的共晶界面处产生较大的微观应力,乃至形成一些组织缺陷.这些在快速结晶中形成的微观缺陷,使晶体的完整性受到破坏,成为微观裂纹的裂纹源.

2.2 残余应力

由于激光熔覆层残余应力试验的测量系统会带来误差,为了让试验数据具有针对性,分别对不预热(1号和2号试样)、预热500℃(3号和4号试样)的试板上的熔覆层及熔覆好的轧辊进行测量,在试板上随机选取2点,在轧辊上选取4点,测量熔覆层表面沿熔覆方向的残余应力,测试结果列于表1.

表1 残余应力测试结果

Table 1 Residual stress test results		MPa		
试样	一号点	二号点	三号点	四号点
1号	75.2	760.5	—	—
2号	368.8	613.4	—	—
3号	-542.3	-700.6	—	—
4号	-612.8	-283.2	—	—
轧辊	-666.7	-551.2	-336.2	-277.6

由表1可见,从不预热到预热,熔层表面的应力状态由拉应力转变为压应力,预热后熔层表面的应力状态显著改善,从而使激光熔覆后材料开裂的敏感性降低.

激光熔覆钴基合金时在熔层内产生内应力,熔层受到的拉伸应力是造成裂纹的关键因素.在激光熔覆过程中,熔层主要受到构件受热不均引起的热应力的作用.如果不均匀温度场所造成的内应力达到材料的屈服极限,使局部区域产生塑性变形,当温度恢复到原始的状态后,就会产生新的内应力.金属在相变时其比容也有变化,即尺寸有所变化,伴随这种相变所出现的体积变化将产生新的内应力.当温度恢复原始状态后,如果相变的产物还保留下来,那么由此就会产生相变应力,即相变残余应力.在激光熔覆过程中,由于激光作用在熔覆工件表面,这就形成一个局部的、服从于时间的集中热输入,这是引起残余应力的根源.

固态金属的冷却过程中,主要存在两种应力状

态:热应力状态和由固态相变作用而引起的组织应力状态。熔覆层及过渡区开裂与否,主要取决于两者的综合作用结果。当综合作用力呈现拉应力状态时,可能导致裂纹的产生;而当呈现压应力状态时,熔覆层将不产生裂纹。

在熔覆前后或者进行过程中,对基材进行预热处理,可减少或消除熔覆层中的残余应力,有效消除或减少熔覆层中的裂纹。

2.3 激光熔覆工艺参数

从工艺参数对熔覆层性能的影响入手,研究激光熔覆层的开裂敏感性。考察激光功率 P 、熔覆速率 V_s 及送粉速率 V_f 等工艺参数对裂纹形成的影响。激光熔覆工艺参数中的激光功率 P 、激光束光斑直径 D 及熔覆速率 V_s 是决定合金材料熔覆层吸收能量大小的几个主要参数,其中激光比能量 $E = P/D \cdot V_s$, 它表示单位激光辐照面积上能量的大小。

图3为激光能量对裂纹率的影响。由图3可以看出,在送粉速率 V_f 的条件下,随着激光比能量的增大,熔层的裂纹率减少,开裂倾向降低。

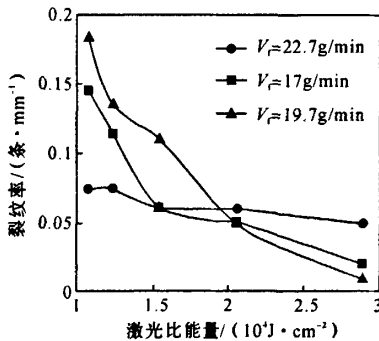


图3 激光比能量对裂纹率的影响

Fig.3 Effect of laser specific energy on the crack

图4为在比能量相同的条件下送粉速率和熔覆层裂纹率之间的关系。从图4可见,在激光功率和熔覆速率不变的情况下,随着送粉速率的增加,熔覆层裂纹率先呈上升趋势,但当送粉速率增加到一定值时,裂纹率又开始减少。

图5为熔覆速率与裂纹率的关系。从图5可见,在其他工艺参数相同的条件下,随着熔覆速率的增大,熔池凝固时间缩短、凝固速率增加,裂纹率明显增加。

从激光熔覆工艺参数对熔层开裂倾向的试验中

发现,增大激光功率、减少送粉量,激光熔覆层开裂的倾向降低;而增大熔覆速率,激光熔覆熔层的开裂倾向增大。

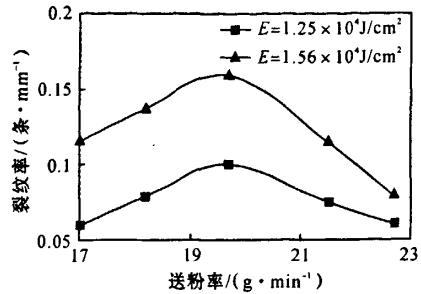


图4 送粉速率对裂纹率的影响

Fig.4 Effect of powder feeding rate on the crack

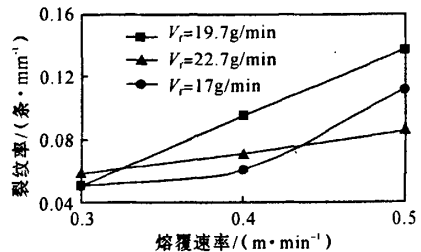


图5 熔覆速度对裂纹率的影响

Fig.5 Effect of the scan speed on the crack

3 结论

(1)激光熔覆熔层的组织为共晶态,而熔层底部为粗大的树枝晶,这样造成枝晶偏析、晶间弱化,覆熔层易产生裂纹,且裂纹往往是沿着晶界开裂、扩展。

(2)激光熔覆层产生裂纹主要是由于组织凝固不均匀引起的。在熔覆前后或者进行过程中,对基材进行预热处理,可有效消除或减少熔覆层中的裂纹。

(3)增大激光功率、减少送粉量,激光熔覆熔层开裂倾向降低;增大熔覆速率,熔覆层的开裂倾向增大。

参考文献:

[1] 李强,雷廷权. 激光熔覆 TiCp/Ni 基合金复合涂层中 TiCp 的行为[J]. 材料科学与工艺,1999,7(1):1-6.

- [2] 王燕华,涂德奎,崔立山. 激光制备金属/陶瓷复合涂层
总共的陶瓷相及作用机理[J]. 中国表面工程,1998(4):
29-33.
- [3] 刘江龙. 金属表面激光熔化后的表面开裂研究[J]. 中国
激光,1990,17(11):669-671.

Influencing factors of the cladding layer cracks after laser cladding

DING Yang-xi, OUYANG Zhi-ming

(School of Mechanical and Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Cobalt-based alloy coating was applied to the high-speed wire roller made of A3 steel by laser cladding process. Several influence factors of the cracks formation in the layer including process parameters, residual stress and microstructure were studied. The cracks tended to form specifically at the region of the eutectic structure of cladding layer and the coarse dendrite near the substrate area. The preheating of the substrate during the process was proved to effectively eliminate and/or reduce the formation of cracks in the cladding layer. Similarly, the increase of the laser power and the reduction of the feeding rate could reduce the cracking. However, the possibility of cracking increased with the increase of cladding rate.

Key words: laser cladding; crack; influencing factors

2009年《炭素技术》杂志征订启事

《炭素技术》杂志创刊于1982年,是经国家科委和新闻出版署批准的国内外公开发行的炭素专业科技期刊。国内统一刊号CN 22-1147-TQ,国际标准刊号ISSN 1001-3741,广告经营许可证号吉工商广字:220204400009。办刊宗旨是交流技术、传播信息,促进炭素工业及炭材料学科技术进步。主要介绍我国炭素工业及相关行业的生产技术、科学试验、理论研究、经营管理、市场信息,使用设备的开发与更新,产品质量监督、环境保护与综合利用、检测、计算机在炭素生产领域应用等方面的经验成果;报导炭材料学科包括钢铁冶金用炭材料、铝用炭材料、电炭材料、碳纤维及复合材料、活性炭、金刚石及石墨层间化合物、各种新型炭材料、特种炭材料等的新产品、新工艺以及炭材料应用技术研究、有关炭材料领域和炭素工业国外先进技术和发展动态。

《炭素技术》设有专家讲座、实验研究、经验交流、综合述评、计算机应用与控制、技术改造、节能环保、行业信息、消息报导、炭素文摘、专利等栏目。

《炭素技术》杂志目前已成为中国科技核心期刊,已加入《中国期刊网》、《中国学术期刊》(光盘版)全文数据库、万方数据系统数字化期刊群、中文科技期刊数据库、同时还被《美国化学文摘》、《俄罗斯化学文摘》等国外情报机构检索;是《CAJ-CD规范》执行优秀期刊。

《炭素技术》的发行面覆盖了全国的炭素厂家、有关的科研院所、大专院校及生产炭素用原料、机械设备等生产单位。

本刊为大16开版本,双月刊,单价15.00元,全年订价90.00元。国内邮发代号:12-308,全国各地邮局均可订阅,也可与编辑部联系补订。

本刊承接彩色、黑白广告业务,热忱地为国内外企业服务,宣传产品,推广技术,树立企业形象。

地址:吉林市哈达湾和平街9号《炭素技术》编辑部 邮编:132002

开户行:工商银行吉林市分行哈达湾办事处

户名:中钢集团吉林炭素股份有限公司 帐号:080221060900000171

电话:0432-2749715(传真) E-mail:tsjsbjb@126.com