

高能脉冲精密冷补技术用于修复零件表面局部缺损*

张庆^a, 孟令东^b, 杨军伟^a, 原津萍^b

(装甲兵工程学院 a. 装备再制造工程系 b. 全军装备表面工程重点实验室, 北京 100072)

摘要: 高能脉冲精密冷补技术由于其独特的能量输出方式, 在实现金属零件表面修复时具有修复速度快、热量输入小和结合强度高的特点。通过对液压柱塞杆划伤表面的实际修复和修复区域的性能测试, 结果表明: 修复层与基体无明显气孔, 结合紧密, HAZ 宽度为 130 μm , 修复层平均显微硬度为 520 HV, 耐磨性能较基体提高 36.4 %。说明高能脉冲精密冷补技术是一种操作简单, 性能可靠的新型修复技术。

关键词: 高能脉冲; 表面缺损; 精密冷补

中图分类号: TH17

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2011)01-0079-05

High Energy Pulse Precision Cold-welding Technology for Repairing Local Surface Default of Metal Parts

ZHANG Qing^a, MENG Ling-dong^b, YANG Jun-wei^a, YUAN Jin-ping^b

(a. Department of Equipment Remanufacture Engineering b. Key Laboratory for Surface Engineering of PLA, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072)

Abstract: Due to the unique energy output mode, high energy pulse precision cold-welding technology with many characteristics, such as fast repair, small heat input and high bonding strength was adopted to repair the metal parts. Through repairing scratch surface of hydraulic piston rod and testing the repaired surface, the results showed that the bonding between the repaired layer and the substrate was strong and there was no significant micro-pore. The width of HAZ was 130 μm . The average hardness of repaired layer was 520 HV. The abrasion resistance improved about 36.4 % compared with the substrate. The high energy pulse precision cold-welding technology is a simple, reliable new repair technique.

Key words: high-energy pulses; surface defect; precision cold-welding

0 引言

大型设备的关键零部件, 如: 液压柱塞杆、液压缸、发动机曲轴、凸轮、齿轮等。其在使用过程中由于受到工作环境和受力状况的影响, 不可避免的要产生腐蚀、磨损和划伤等表面缺损, 导致技术性能降低影响设备的整体使用, 如果采用更换零件的办法成本较高^[1]。目前针对此类关键零部件的修复办法大致可分为两类, 第一类是传统的修复工艺, 如: 电弧焊、气焊等, 这类修复方法的特点是工艺简单、修复速度快, 缺点是修复精度低, 修复过程中热输入量大, 容易造成零部件的热变形。第二类是现代表面修复技术, 如: 电刷镀^[2]、激光焊

等, 此类修复方法的特点是修复精度高, 热量输入小, 但是电刷镀技术存在修复效率低, 修复层厚度有限的问题, 难以实现金属零部件的有效修复, 而激光焊存在设备成本高的不足^[3,4]。因此研究一种修复效果好、成本低、操作简单的修复方法十分必要, 而高能脉冲精密冷补技术则满足以上要求, 比较适合金属零部件的修复。

1 高能脉冲精密冷补技术的特点

高能脉冲精密冷补技术是一种新型金属零件表面修复技术, 其原理是采用断续的高能电脉冲, 在电极和工件之间形成瞬时电弧, 使修补材料和工件迅速熔结在一起, 达到冶金结合, 从而实现工件表面尺寸的恢复^[4]。图 1 为冷补设备外形, 图 2 为其工作示意图。

收稿日期: 2010-12-31; 修回日期: 2011-01-04

基金项目: *再制造技术重点实验室基金项目(9140C850302100C8504)

作者简介: 张庆 (1984—), 男(汉), 河南南阳人, 硕士生。



图 1 高能脉冲精密冷补机外形图

Fig.1 High energy pulse precision cold-welding equipment drawings

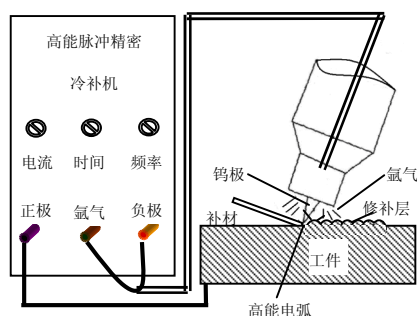


图 2 高能脉冲精密冷补机工作示意图

Fig.2 Sketch map of high energy pulse precision cold-welding equipment

高能脉冲精密冷补技术在工作过程中采用的脉冲电弧能量输入方式与一般的脉冲氩弧焊有很大不同,其脉冲电源的工作过程如图 3 所示,一般脉冲氩弧焊采用持续电弧,即在脉冲的间隙以小电流维持电弧的燃烧,其脉冲时间在几秒以上。高能脉冲精密冷补技术的脉冲电弧采用的是断续电弧,即每次脉冲的产生都由起弧、维弧、熄弧三个过程组成,每个脉冲的时间为几十毫秒,两个脉冲电弧间有几秒到十几秒的间隔时间,使被修复工件有充分的冷却时间。

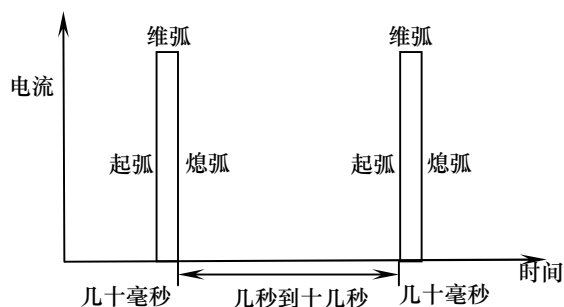


图 3 脉冲电源工作示意图

Fig.3 Sketch map of pulse power source's working

该技术具有以下特点:①焊补精度高,通过脉冲电流和脉冲时间的精确控制,最小修复宽度为 0.2 mm。②焊补冲击小,由于脉冲作用时间极短,能量集中,其焊补应力和焊后变形都较小。③热影响区小,对基体的热输入小,基体基本无宏观热变形。④结合强度高,基体与补材属于冶金结合,适合各种加工方式,不会出现结合不牢固、脱落现象。⑤操作工艺简单,可实现手工操作及自动化控制。⑥应用范围广,可实现磨损、划痕、裂纹及缺陷的焊补,特形表面修复,精密修复,局部不解体现场修复。

某液压泵在使用过程中由于液压缸体橡皮衬垫老化,对液压柱塞杆表面造成了划伤,要求采用热输入量较小的修复方法。根据要求采用高能脉冲精密冷补技术对其进行了修复。

2 基体及修复层材料

液压柱塞杆的基体材料是 45 钢,表层镀铬,其镀铬层已被划伤,根据其材料的可焊性,以及所选材料应满足耐磨并且与液压杆具有良好冶金结合的特点,选择牌号为 ER50-6 (Φ 0.8 mm) 焊丝进行修复。基体和焊丝化学成分见表 1。

表 1 45 钢基体和 ER50-6 焊丝的化学成分(质量分数 / %)
Table 1 Chemical compositions of 45 steel substrate and ER50-6 welding wire (w / %)

元 素	C	Mn	Cr	Si	S
焊 丝	0.06~0.15	1.40~1.85		0.80~1.15	≤ 0.035
基 体	0.42~0.49	0.5~0.8	≤ 0.25	0.17~0.37	
元 素	P	Cu	Mo	Ni	Fe
焊 丝	≤ 0.025	≤ 0.50			余 量
基 体	0.035	0.25	0.50~0.80	0.25	余 量

3 修复工艺过程

3.1 工件表面预处理

液压柱塞杆的表面划伤处表面有氧化物,且凹凸不平,划痕最深处为 0.5 mm,宽度 0.7 mm,最长的划痕长 130 mm (如图 4 所示)。对拉伤的沟槽用手工的方法除去其尖锐边缘,然后用砂纸去除损伤部位表面疲劳层和氧化层,使用铜丝刷将铁屑清理干净并用丙酮清洁表面。



图 4 液压柱塞杆划伤形貌

Fig.4 Morphology of the hydraulic piston rod scratch

3.2 修复工艺

为确保修复精度，采用自动控制修复的方法，将焊枪固定于数控铣床上，先将焊丝预置于划伤处，通过控制数控铣床的运行速度和脉冲间隔使其达到较好的焊缝成形。铣床运行速度为 30 mm/min，脉冲间隔为 2 s。修复采用的高能脉冲工艺参数见表 2，图 5 为修复现场照片。

表 2 修复工艺参数

Table 2 Parameters of the repairing process

电 流 / A	脉冲时间 / s	气体流量 / (L/min)	钨极距离 / mm
192	0.05	6	1



图 5 液压柱塞杆的自动修复现场

Fig.5 Auto repair scene of the hydraulic piston rod

修复过程中采用的高能脉冲能量集中、作用时间短，产生的瞬时电弧使得热影响区金属过热比较小，同时在修补过程中有氩气在电弧周围形成气体保护层，防止了空气对钨极、熔池及邻近热影响区的有害影响。图 6 为修复后的液压柱塞杆。



图 6 液压柱塞杆修复层表面形貌

Fig.6 Morphology of repaired layer of hydraulic piston rod

4 修复层显微组织及性能

4.1 显微组织

由于液压柱塞杆的镀铬层划伤脱落，为测试修复效果，选取与液压柱塞杆基体相同的 45 钢作为测试样本，采用相同的工艺参数和修复材料在其表面进行堆焊，利用线切割机沿垂直焊缝方向截取金相试样，经过打磨、抛光，通过 4 % 的硝酸酒精溶液腐蚀，在 Quanta 200 型扫描电镜下观察。显微组织形貌如图 7 和图 8 所示。

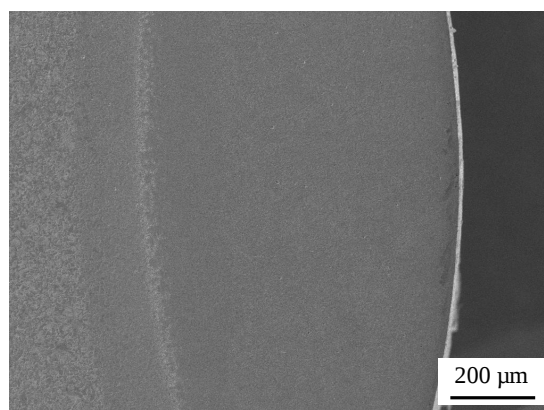


图 7 修复层与基体熔合区形貌

Fig.7 Morphology of the bonding zone

从金相照片 7、8 可以看出修复层为细小的柱状马氏体组织，基体和修复层结合良好^[5-7]，基本不存在气孔和裂纹等缺陷，HAZ 的大小为 130 μm 左右，修复层高度为 700 μm。

4.2 修复层硬度

采用 Leica VMHT 30M 型显微硬度计进行显微硬度测试，载荷为 0.3 kg，加载时间为 15 s。沿修复

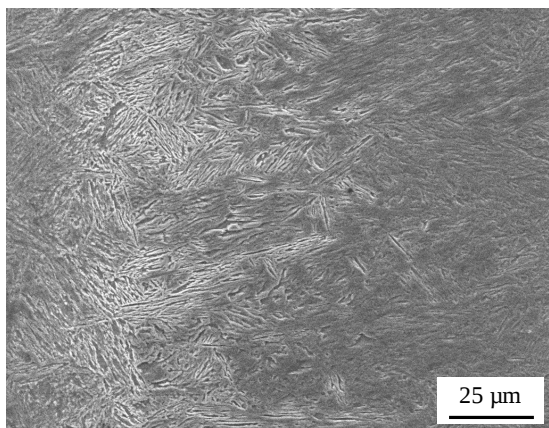


图8 修复层显微组织形貌

Fig.8 Microstructure of the repaired layer

层结合面垂直方向由焊材向母材每隔0.05 mm选择一个测试区,每个区上测3个点取其平均值作为该区的硬度值。得到如图9所示的硬度分布曲线。从图9中可以看出修复层的硬度明显高于基体,主要是修复过程中修复区得到了柱状细晶组织,由于晶粒较母材细小。通过硬度变曲线可以看出,热影响区的范围在0.125 mm左右,与金相照片的热影响区的范围相吻合^[8]。

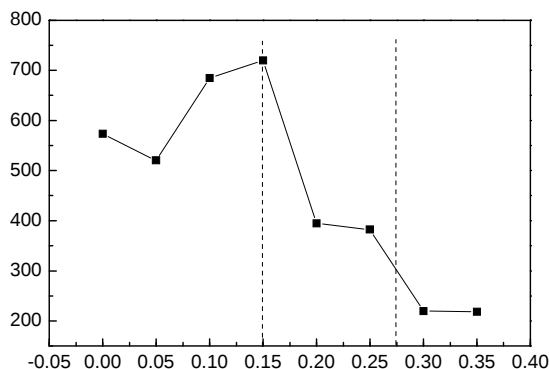


图9 由修复层到基体的硬度分布

Fig.9 Hardness distribution from repaired layer to substrate

4.3 修复层的摩擦性能

摩擦测试在 MFT-R4000 往复摩擦磨损试验仪上进行,摩擦对偶件为 GCr15 钢球,直径为 $\Phi 6$ mm,试验载荷 10 N,行程 5 mm,时间 30 min。图 10、11 分别为基体和修复层的摩擦因数。

测试数据显示基体平均摩擦因数为 0.516,修复层平均摩擦因数为 0.578,修复层和基体摩擦因数接近,可以保证修复后的液压柱塞杆在使用过程中不会对液压缸体造成磨损,满足修复要求。

图 12 为基体和修复层在相同磨损条件下的磨损失重柱状图。由图可见修复层的磨损量为 0.0007 g,45 钢基体的磨损量为 0.0011 g,修复层的磨损量减少约 36.4%。

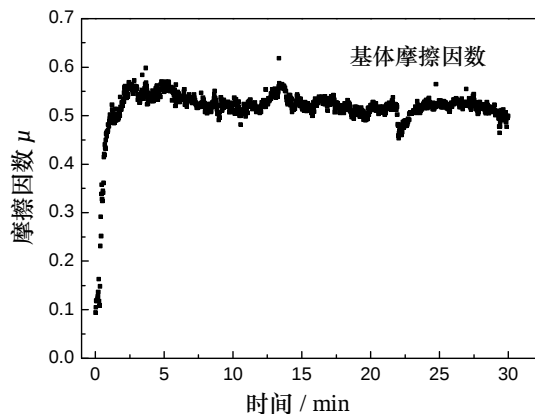


图10 45 钢基体摩擦因数

Fig.10 Friction coefficient of 45 steel substrate

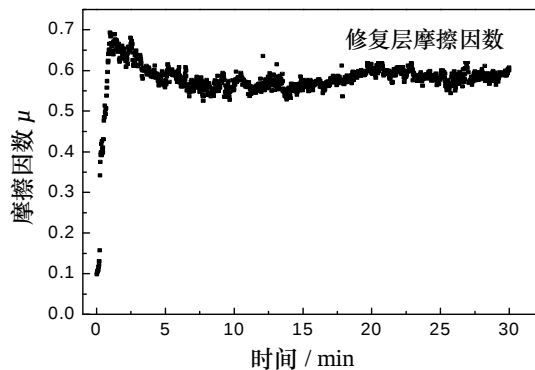


图11 修复层摩擦因数

Fig.11 Friction coefficient of the repaired layer

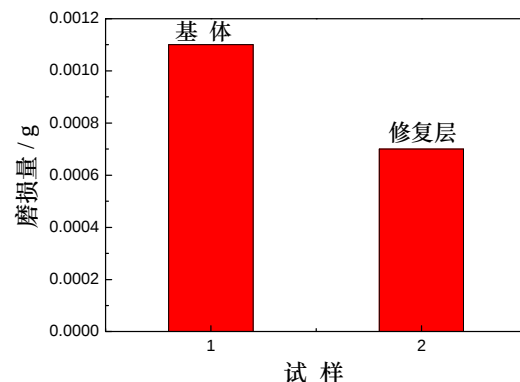


图12 基体和修复层的磨损量

Fig.12 Wear weight of repaired layer and substrate

5 结论

(1) 用 ER50-6 焊丝修复液压柱塞表面划伤,

能够满足零件尺寸修复的要求。

(2) 修复层的微观组织分析表明, 熔合区窄且修复层和熔合区没有任何缺陷, 修复层组织呈马氏体结构。

(3) 修复层的硬度 (520 HV) 高于基体的硬度 (230 HV), 通过摩擦磨损试验修复层的耐磨性能较基体提高。

参考文献:

- [1] 顾迅. 现代表面技术的应用 [J]. 金属热处理, 1994(4): 1-6.
- [2] 叶宏, 詹捷, 孙智富. 塑料模具电刷镀修复研究 [J]. 表面技术, 2004, 33(3): 25-26.
- [3] 李会山, 杨洗琛, 王云山, 等. 模具的激光修复 [J]. 金属热处理, 2004, 29(2): 39-42.
- [4] 郭晓霞. 几种常用表面强化技术的比较 [J]. 现代制造工程, 2008(3): 84-86.
- [5] 斯重遥. 焊接金相图谱 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [6] 上海市机械制造工艺研究所. 金相分析技术 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1987.
- [7] 刘海滨, 孟凡军, 巴德玛. 45CrNiMoVA 钢 MIG 堆焊层组织及性能研究 [J]. 中国表面工程, 2009(3): 43-48.
- [8] 胡仲翔, 杨军伟, 李强. 微区脉冲点焊技术用于模具修复 [J]. 中国表面工程, 2002(1): 21-23.

作者地址: 北京市丰台区区长辛店杜家坎 21 号 100072
装甲兵工程学院 装备再制造工程系

Tel: 150 1019 9984

E-mail: 15010199984@139.com

• 学术动态 •

2011 年全国青年摩擦学及表面工程 学术会议将于 4 月在北京召开

由中国机械工程学会摩擦学分会青年工作委员会主办, 装甲兵工程学院装备再制造技术国防科技重点实验室承办的“2011 年全国青年摩擦学及表面工程学术会议”暨摩擦学分会第九届青年工作委员会第二次会议将于 2011 年 4 月 22~24 日在北京召开, 主题为“青年摩擦学者与国家“十二五”发展”。本届会议由装甲兵工程学院徐滨士院士担任主席, 清华大学摩擦学国家重点实验室主任雒建斌教授担任学委会主任, 装甲兵工程学院王海

斗教授担任组委会主任。

会议包括大会报告、分会报告、展览交流以及现场参观等形式。热诚欢迎国内外从事摩擦学及表面工程基础研究和工业应用的高校、科研机构、企事业单位参加会议, 展示交流研究成果。尤其是结合军事装备以及苛刻服役工况装备的摩擦学与表面工程的研究成果。

会议由中科院兰州化学物理研究所固体润滑国家重点实验室、清华大学摩擦学国家重点实验室、武汉材料保护研究所、哈尔滨工业大学等十余家单位共同协办。

联系人: 王海斗: (010) 66718541

李恩重: (010) 66718540

邮 箱: tribology@263.net

• 学术动态 •

第十二次全国机械维修学术会议征文通知

为了交流近几年机械维修和再制造方面的研究成果和经验, 进一步推进机械维修事业的发展, 响应国家节能减排、建立节约型社会的号召, 由中国工程机械学会维修工程分会、中国设备管理协会工程机械维修委员会、中国中铁股份有限公司及装备再制造技术国防科技重点实验室主办的第十二次全国机械维修学术会议拟于 2011 年第 4 季度在广西桂林召开。

会议以“创新绿色维修与再制造, 提高节能减排效益, 支持企业转变经济发展方式”为主题, 征文的主要内容包含: ①维修工程应用基础研究; ②再制造工程应用基础研究; ③节能、节材、节资、环保的绿色维修与再制造新技术、新材料研究; ④机械装备应急维修技术; ⑤机械装备健康管理及故障诊断、检测、监控技术; ⑥智能化、信息化维修与再制造技术; ⑦机械装备全寿命周期与再制造多寿命周期费用研究; ⑧维修技术与再制造技术在重大工程中的应用案例及效益分析; ⑨其他有关维修新理念、新技术等。会议期间还将召开维修工程分会的全体理事大会。

会议将邀请国内机械维修领域的知名院士、专家参加并做特邀报告。欢迎广大院校、科研机构、机械设备使用单位等从事机械维修研究、管理和实践的同仁踊跃投稿并参加会议。

会议将出版论文集, 并评选优秀论文。全文递交截止时间 2011 年 5 月 30 日。

联 系 人: 路凤芝 (010) 66718873; 136 8151 8005

网 址: www.meic.org.cn 电子邮箱: lufz@sina.cn