

基于绿色再制造的多层激光送丝堆焊*

姚建华 刘新文 张群莉 叶良武

(浙江工业大学机电学院 杭州 310014)

摘要 作为再制造工程的关键技术之一的激光送丝堆焊技术,在重要零件的修复中起到独特的作用,本文通过在45号钢上用大功率CO₂激光束和自动送丝机构进行激光堆焊工艺试验研究,就这一技术的特点、工艺控制方法以及组织性能等方面做了考察,结果显示:优化的工艺范围为比能量 $E_s = 100 - 130 \text{ J/mm}^2$ 、送丝速度应高于激光扫描速度 ($\Delta V = 1.5 \sim 2.5 \text{ mm/s}$);与氩弧堆焊相比激光堆焊层组织明显细化,硬度提高70%,过渡区狭小,激光堆焊层显微组织随 E_s 增加而逐渐粗大,同时,热影响区易出现过热组织;激光堆焊层体现出良好的抗磨性能,比高速钢的耐磨性提高42.6%。

关键词 再制造 激光送丝堆焊 大面积修复 组织性能

The Automatic Laser Wire-Feeding Build-Up Welding Technology based on Green Remanufacture Engineering

Yao Jianhua Liu Xinwen Zhang Qunli Ye Liangwu

(College of Mechanic Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014)

Abstract laser wire-feed overlaying welding is one of key technique of remanufacture engineering. It acts as particular role in repairing important parts. In this paper, using big power CO₂ laser beam and automatic wire feed institution, we researched the technique and application of laser overlaying welding on the surface of 45 steel and expatiated the influence of welding technique to structure and performance of weld layer. This experiment showed that the optimized technique were as follows: laser compared energy (E_s) were $100 - 130 \text{ J/mm}^2$ and wire feed rate should be faster than laser scanning speed ($\Delta V = 1.5 \sim 2.5 \text{ mm/s}$). Compared with argon arc welding, the structure of laser build-up welding layer was clearly refined and its hardness increased by 70%, transition zone was narrower. The experiment also proved that the microstructure of laser build-up welding layer got coarse as the increase of E_s . At same time, overheated structure easily appeared at heat affected zone. Laser build-up welding had shown good wear resistance, increased by 42.6% than that of high-speed steel.

Key words remanufacture, laser wire-feed overlaying welding, large area repair, microstructure and performance

绿色再制造工程(Green Remanufacture Engineering)是以产品全寿命周期设计和管理为指导,以优质、高效、节能、节材、环保为目标,以先进技术和产业化生产为手段,对废旧装备进行修复和改造的一系列技术措施和工程活动的总称,是先进制造技术的重要补充和发展。

激光堆焊是应用激光作为热源的进行堆焊处理的一种表面改性技术,是传统表面改性技术的补充和发展,而且具有传统的表面改性技术所无法比拟优点。虽然在现在表面改性技术中,激光堆焊的应用所占用的比例不大,但其能获得优越的性能一直倍受人们的关注,应用前景光明。激光堆焊可以获

得优于传统的热处理技术的性能,达到普通表面改性难以达到的技术目标。到现在为止,已经在活塞环、缸套、刀具、模具、阀体等应用上取得了一定的成果,受到机械制造与维修、汽车制造、纺织机械、航海、航天和石油化工领域的普遍关注^[1]。

作为再制造工程的关键技术之一的激光送丝堆焊技术,与送粉熔覆相比具有以下特点:1)生产效率高,一次可以达到2mm厚度,易实现大面积厚熔敷层修复或制造金属零件;2)材料利用率高,易实现选区堆焊,节省堆焊材料;3)易实现铁基材料的堆焊,降低成本;4)可实现侧壁、内壁的堆焊,并可实现自动化。在实现零件修复中发挥不可替代的作用。

* 浙江省自然科学基金项目(编号:500095)

2004年11月6日收稿

目前,国内外集中在采用预置或送粉堆焊较为活跃^[2,3],相对自动送丝激光堆焊研究较少,本文就激光自动送丝堆焊的基本工艺过程进行试验研究,比较在不同参量以及不同堆焊条件下的组织性能,探索激光堆焊的工艺技术特性。

试验材料和方法

试验以 102mm × 28mm × 12mm 的 45 钢试样块为基体,铁基堆焊丝材料直径 $\phi 2.8$ mm,采用数控自动送丝机构和 7KW 横流 CO₂ 激光器进行堆焊。分别在不同工艺参数下进行试验。主要工艺参数为:光斑直径为 5mm,激光输出功率 P 为 2 ~ 5kW,扫描速度 V_s 为 3 ~ 10mm/s。沿堆焊层横截面测量维氏硬度,测量条件 200g、15s,装置简易图和堆焊层尺寸如图所示。

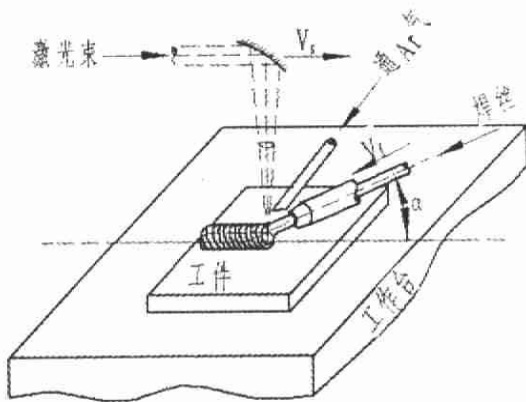


Fig. 1 the sketch map of laser build-up welding

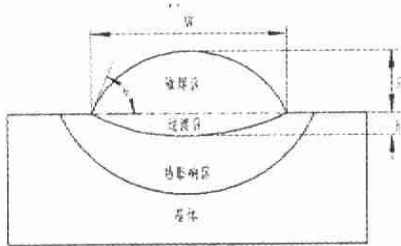


Fig. 2 the structure of build-up welding layer

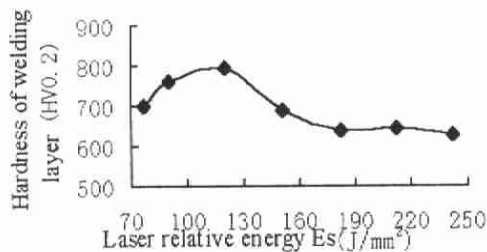


Fig. 3 the relation between laser relative energy and hardness layer

工艺参数对组织和性能的影响

1. 激光参数的影响

激光参量主要有:输出功率 p 、扫描速度 V_s 、光斑大小等,激光扫描速度与激光功率有相反的作用,将它们综合于比能量 E_s ($E_s = P/\Phi V_s$) 即单位面积的辐照能量,共同决定熔池中的温度场^[4]。因此,它的作用所引起的表面形貌变化与激光功率作用相反,当速度较低时,相当于高功率的激光作用于熔池,熔池温度很高,直接导致热影响区的增大,稀释率大幅度提高,此外在引起晶粒粗大(如同氩弧焊所获得的组织)的同时,还会烧损在堆焊层中起强化作用的金属碳化物,使堆焊层的性能下降;而当速度较高时,相当于低功率的激光作用于焊丝的表面,显著的表现就是浸润角增大,严重的可能引起焊丝的不熔化。因此,本实验所用参量经过优化选择为:激光输出功率 P : 2 ~ 5kW、扫描速度 V_s : 3 ~ 10mm/s,保证焊丝熔化和堆焊表层的均匀。如图 3 显示,堆焊层的显微硬度随激光作用比能量的提高有先扬后抑的特征,在 $E_s = 100 \sim 130$ J/mm² 时,出现峰值。表现在组织方面,此时为比较均匀的细化组织(如图 5),弥散的金属化合物是强化的主要原因,当 E_s 较小时体现出组织和性能的不均匀,如图 6 所示,有金属化合物聚集现象,此为激光能量过低或扫描速度过快造成,而当 E_s 提高时,体现为金属化合物的溶解和基体晶粒的长大,硬度逐渐下降。

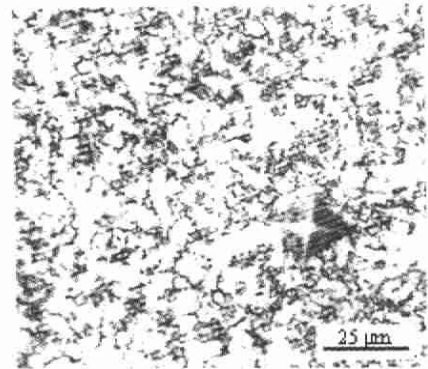


Fig. 4 the structure of welding layer $E_s = 151.5$ J/mm²

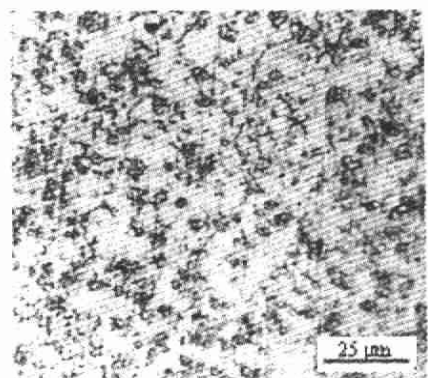


Fig. 5 the structure of build-up welding layer

2. 送丝速度影响

从图 7 可见,随着送丝速度的增加,硬度总体变化先增大,增大到一定程度后略微下降,这种现象的产生是由于随着送丝速度的加大,熔池过冷度增加,冷却速度提高,硬度提高,但当送丝速度的过大时,导致熔池熔化不均匀,硬度反而有所下降。对比图中不同激光能量下的曲线可知,最大值的出现与 E_s 有关,随着 E_s 的增大,最大值点相应地右移。

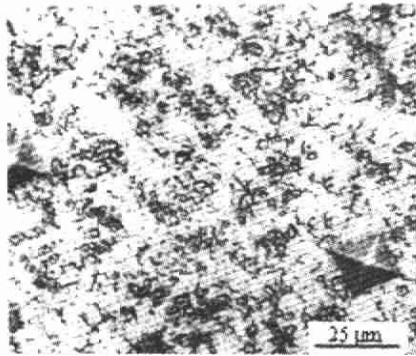


Fig. 6 the structure of welding layer $E_s = 72 \text{ J/mm}^2$

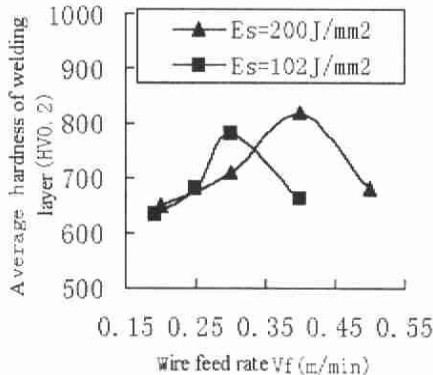


Fig. 7 the effect of automatic wire feed rate on

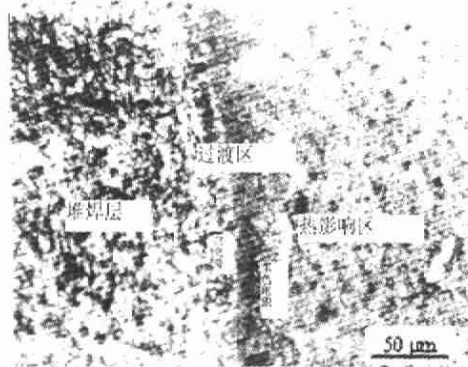


Fig. 8 the microstructure of laser build-up welding

激光堆焊过程中,激光扫描速度对堆焊层性能的影响较自动送丝速度的影响大,存在一个参考的速度差 ΔV ($\Delta V = (V_f \cos \alpha - V_s)$),在激光扫描速度与送丝速度完全同步时, $\Delta V = 0$,试验证明其硬度峰值出现在 $\Delta V = 1.5 \sim 2.5 \text{ mm/s}$,并随 E_s 值的提高 ΔV 逐渐取上限。

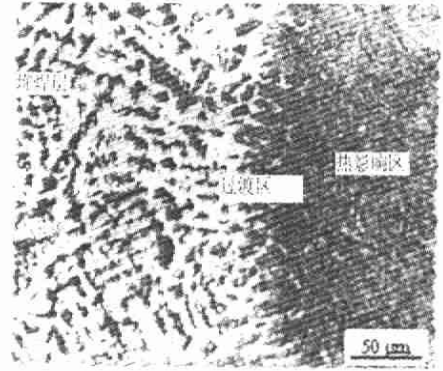


Fig. 9 the microstructure of argon arc welding

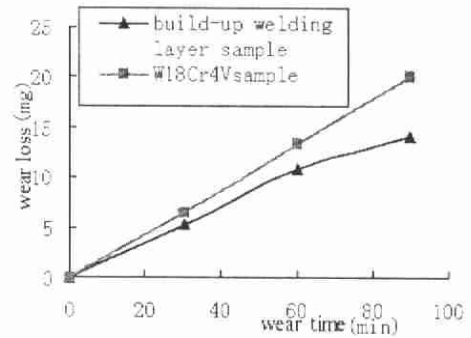


Fig. 10 the wear comparison between laser build-up welding and W18Cr4V sample

激光堆焊与氩弧堆焊性能对比分析

在相同的基体材料和焊接材料下,分别采用优化的激光堆焊工艺与氩弧堆焊进行对比研究。

试验结果表明,激光堆焊层平均显微硬度为 HV800,而相同情况下,氩弧堆焊层平均显微硬度只有 HV450。可见激光堆焊层硬度值大大增加,其覆层平均硬度值提高了 70%。这是由于激光堆焊加热和冷却的速度快,产生过饱和固溶强化,激光堆焊层(图 8)形成的显微组织高度细化,氩弧焊的加热和冷却速度相对较慢,凝固时形成的显微金相组织(图 9)的晶粒粗大,可以看出硬度分布与金相组织符合的很好。激光堆焊层和基体的硬度差别较大,从金相组织(图 8)中可以看出中间有一薄的过渡层,是堆焊层的热影响区,是碳和合金元素渗入所致。图 8、9 相比,氩弧焊比激光堆焊的过渡区域带较大,过渡区的硬度梯度小这也是使激光堆焊有较大开裂倾向的原因之一。

激光堆焊试样磨损性能对比

依据优化的工艺方法,对激光堆焊层样品制成磨损试样 HV760,下试样用相同材料,上试样分别为:激光堆焊试样与高速钢(W18Cr4V, HRC61),进行对比磨损试验,

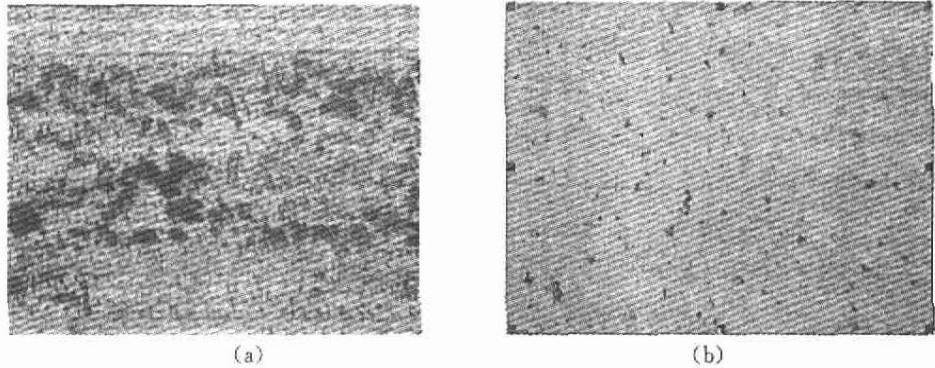


Fig. 5 Wear patterns of the clad layers of (a) Ni60 and (b) Ni60+2.5wt% Mo

性,细化和均匀了显微组织,细小硬质相的均匀弥散分布,虽然涂层的硬度略有降低,但其耐磨性却得到提高。

结 论

(1)、在高硬度镍基合金粉末中添加适量的Mo,合理选取工艺参数,可获得成形良好、无裂纹、组织致密细化、耐磨性能好的高质量激光熔覆层。

(2)、Mo对Ni60镍基合金激光熔覆层性能的改善归因于Mo对熔覆层组织的均匀细化、对粗大针状脆性硬质相的抑制以及对韧性相成分的提高。

(3)、加入Mo虽然使熔覆层的硬度略降低,但由于熔覆层韧性的提高、组织的细化和涂层裂纹敏感性的降低,熔覆层的耐磨性不但不降低,反而有较大的提高。

参 考 文 献

- [1] R. Vilar, J. Powder Metallurgy, 2001, 37(2): 31
- [2] Qian Ming et al, Surface and Coatings Technology, 1998, 106(2-3): 174
- [3] Y. P. Kathuria, Surface and Coatings Technology, 2000, 132(2-3): 262
- [4] 赵海鸥等, 金属热处理, 2001, 26(1): 18
- [5] 邓琦林等, 机械工程学报, 2002, 38(S1): 117
- [6] 晁明举等, 焊接学报, 2003, 24(4): 28
- [7] 李安敏等, 钢铁研究学报, 2003, 15(1): 51
- [8] 杜利平等, 激光技术, 2002, 26(5): 334
- [9] 梁二军等, 中国实用新型专利, 02290424.7(2002)
- [10] 赵品, 材料科学基础, 哈尔滨工业大学出版社, 1999, 231
- [11] 机械制造工艺材料技术手册, 机械工业出版社, 1993, 545
- [12] 崔忠圻, 金属学与热处理, 机械工业出版社, 1999, 324

(上接第85页)

采用MPX-2000盘销式干磨法,用TG729C型单盘电光分析天平称重,先进行磨合(试样为销),正式磨损试验分三个阶段,每个阶段时间为30分钟,载荷1000N。每次磨损后清洗再称重,比较磨损前后的重量。试验结果如图10所示。

通过以上对比试验结果表明,激光堆焊层试样与W18Cr4V高速钢相比,激光堆焊后失重明显减少,试样磨损后总失重14.1mg,而高速钢试样总失重为20.1mg,激光堆焊试样耐磨性提高了42.6%。根据图8所示的堆焊层组织,高密度细化的金属化合物是耐磨性相对提高的主要原因。

结 论

1. 激光送丝堆焊时堆焊层显维硬度与激光作用比能量 E_s 、送丝速度的增加先增加后减小,本试样

条件下,其峰值出现在 $E_s=100-130\text{J}/\text{mm}^2$ 、 $\Delta V=1.5\sim 2.5\text{mm}/\text{s}$,送丝速度应高于激光扫描速度;

2. 与氩弧堆焊相比激光堆焊层组织明显细化,硬度提高70%,过渡区狭小,激光堆焊层显维组织随 E_s 增加而逐渐粗大,同时,热影响区易出现过热组织;

3. 激光堆焊层体现出良好的抗磨性能,比高速钢的耐磨性提高42.6%。

参 考 文 献

- [1] 徐滨士等编, 表面工程, 机械工业出版社, 2001, 7, 61
- [2] Y. Liu, et al, Metallurgical and Materials Transactions A, 1995, 26A, 1519
- [3] Wu Xinwei, et al, Chinese J. Laser, 1997, A24(6), 570
- [4] 关振中, 激光加工工艺手册, 中国计量出版社