

文章编号:1001-5078(2007)08-0712-03

45 钢表面激光熔覆 316L 涂层显微组织与性能

赵方方¹, 孙会来¹, 孙 宽²

(1. 天津工业大学机电学院, 天津 300160; 2. 天津工程机械研究院, 天津 300130)

摘 要:采用激光熔覆技术在 45 钢表面制备 316L 合金涂层, 分析了激光熔覆层的微观组织, 测试了激光熔覆层的显微硬度。结果表明:激光熔覆区显微组织为细小树枝状结晶组织, 熔覆区微观组织均匀致密以及存在着硬质点弥散分布, 使得表面耐蚀性、硬度和耐磨性大幅度提高。熔覆层中残余应力一般是拉应力, 随着熔覆层厚度的增加, 应力回落并逐渐稳定下来, 且基体残余应力较熔覆层小。

关键词:激光熔覆; 微观组织; 显微硬度; 耐磨性能; 残余应力; 拉应力

中图分类号: TN209

文献标识码: A

Microstructure & Performance of 316L Laser Cladding on 45 Steel Substrate

ZHAO Fang-fang¹, SUN Hui-lai¹, SUN Kuan²

(1. School of Mechanical and Electronic Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China;

2. Tianjin Research Institute of Construction Machinery, Tianjin 300131, China)

Abstract: Laser cladding of 316L steel powders on 45 Steel Substrate was conducted, and microstructure of laser cladding coating was analyzed. The micro-hardness of laser cladding layer was examined. The results showed that microstructure of laser cladding zone was exiguous dendrite, and there were dispersion of hard spots in the laser cladding zone. Performances of erode-resistant, surface hardness and wear-resistant were improved obviously. The residual stress in cladding coating was usually tensile stress, with the further increasing depth of coating, the residual stress began to fall and stabilized gradually, and the residual stress values in substrate was smaller than in cladding coating.

Key words: laser cladding; microstructure; micro-hardness; wear-resistant; residual stress; tensile stress

1 前 言

激光熔覆技术是近年来新兴的表面改性方法, 它是通过在基底材料表面添加熔覆材料, 利用高能密度激光束快速加热, 使熔覆材料和基底材料表层发生熔化, 并通过基底的激冷作用实现快速凝固, 从而形成与基底冶金结合且稀释率极低的表面涂层^[1]。目前, 激光熔覆的涂层材料主要有 Ni 基合金、Co 基合金和 Fe 基合金, 涂层显微硬度、耐磨和

耐蚀性能均显著提高。我们选择了 45 钢为基底材料进行了激光表面熔覆 316L 不锈钢粉末涂层工艺的研究, 实验显示的激光熔覆层与基体具有良好的冶金结合、组织细密、均匀以及具有较高的硬度、耐磨性和耐蚀性^[2-3]。

基金项目: 天津工业大学博士基金(No. 029459)资助。

作者简介: 赵方方(1979-), 女, 博士生, 讲师, 主要从事激光应用技术、质量控制及分析等方面的研究。E-mail: zhaoff@tjpu.edu.cn

收稿日期: 2007-02-05

2 实验材料和方法

实验用材料为 45 钢,熔覆材料选用球形 316L 颗粒不锈钢粉末,粒度为 $80 \sim 100 \mu\text{m}$,其化学成分(质量分数/%)为:16 ~ 18Cr,12 ~ 14Ni,2 ~ 3Co,0.8Si,0.2Mn,余量为 Fe。采用预置粉末,逐行扫描的选择性激光熔覆修复工艺,熔覆时连续 CO_2 激光功率 700W(电压 300V),光斑直径为 0.3mm,扫描速度 220mm/min,预置粉末厚度 0.5mm,搭接系数 50%。熔覆后使用金相切割机把试块切开,进行打磨,并在金相抛光机上进行抛光。抛光后,立即用无水乙醇清洗并用吹风机吹干,在显微硬度计下测量其硬度;然后用 5% 的硝酸溶液进行腐蚀,在金相显微镜下观测其显微组织。

3 实验结果及分析

3.1 激光熔覆层显微组织

图 1 为 45 钢表面激光熔覆 316L 激光熔覆结合界面形貌。激光熔覆层主要由熔覆区、结合区和基底热影响区三个部分组成。激光熔覆区显微组织为细小树枝状结晶组织,组织均匀、致密、无气孔和裂纹等缺陷。结合区为熔覆区和基底热影响区过渡区,无明显界限,如图白亮带,经测定主要含有 Fe, Ni, Cr, Si 等元素,它与熔覆层及基体为锯齿型界面结合,这种锯齿型的组织就象楔子一样钉入熔覆层中,有利于提高熔覆层与基体之间的界面结合强度,缓解应力集中,避免裂纹形成,实现了基体与熔覆层良好的冶金结合。基底热影响区为针状马氏体组织。

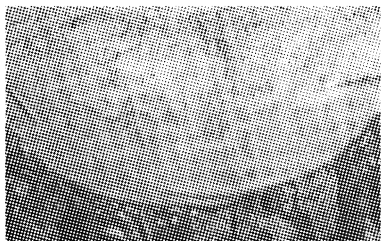


图 1 结合区显微组织

Fig. 1 microstructure of laser cladding combo

图 2 所示为激光熔覆区显微组织,可见,熔覆区的组织是在 45 钢 Fe 基表面上分布着形状不规则的颗粒和细小的树枝晶,波谱成分分析表明,涂层主要由 α 马氏体和极少量的残余奥氏体相组成,树枝晶为 Cr 相,成分质量数为:0.80Si,1.29Mo,9.87Cr,6.86Ni,81.18Fe。显然,在激光熔覆过程中,熔覆层成分发生了稀释,含量均降低。

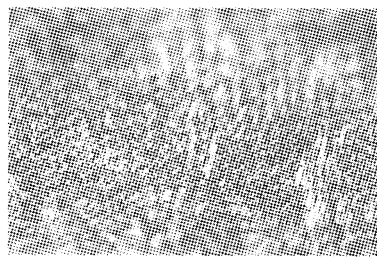


图 2 熔覆层显微组织

Fig. 2 microstructure of laser cladding layer

3.2 激光熔覆层具有良好的耐蚀性能

从腐蚀试样的过程中发现,试样熔覆层的耐蚀程度明显高于基体,从而提高了工件的耐蚀性能,从测试结果可分析如下:

(1)激光熔覆层组织细密、均匀,热影响区窄。由于激光功率高,扫描作用时间短,熔覆层和基体表层加热后熔化速度快,急速冷却时过冷度大,熔池中的合金元素能迅速形成多种化合物而增加非自发晶核的数量,使形核率大为提高,形成细小均匀的显微组织。组织致密可提高晶界结合力,增强材料强度和韧性,组织细密不但减少了单位晶界上的杂质含量,而且在快速冷却过程中成分偏析程度减少,从而减少了因形成原电池效应而加速腐蚀的影响。

(2)铬能显著提高钢的抗腐蚀能力,但碳与铬的亲合作用很容易生成碳化铬,钢中含碳量愈高,熔覆层中含铬量就要降低,则熔覆层耐腐蚀性就会降低。但是,一般工件表面需要一定的硬度与强度,而含碳量愈多,熔覆层的强度与硬度就越高。因此,要综合考虑铬和碳元素对耐蚀性的影响。

(3)激光束作用时产生的熔池中的对流传质作用,能充分搅拌熔池,使熔池中气体、夹杂物等上浮析出,形成较为致密的熔覆层,保证了熔覆层的质量。减少了由于熔覆层被稀释等原因造成的化学成分不均匀和金属组织的不均匀引起的熔覆层的耐腐蚀性能降低。

3.3 激光熔覆层具有良好的耐磨性能

本文实验使用的显微硬度计为 II MT-3XT 型显微硬度计,测量时,一般选同一深度不同部位至少测三个硬度值,取平均值作为测量深度的硬度值;显微硬度值采用克努普显微硬度值 HK。

由图 3 沿深度变化的激光熔覆层显微硬度分布,经过测量结合区附近不同区域的显微硬度 HK 值可知,从熔覆区—结合区—基体的显微硬度呈梯

度分布,激光熔覆层及过度区域硬度值较基体显著提高。这是因为在熔覆层不锈钢粉末材料中添加了Cr、Ni、Mo、Si、Mn等合金化元素,经过激光加热,这些元素在熔池中迅速扩散,同时迅速凝固在熔覆层中,形成硬质点的弥散分布,造成硬度大幅度提高。熔覆层具有较高的硬度及熔覆层硬度分布特征保证了熔覆层组织具有较高的耐磨性。

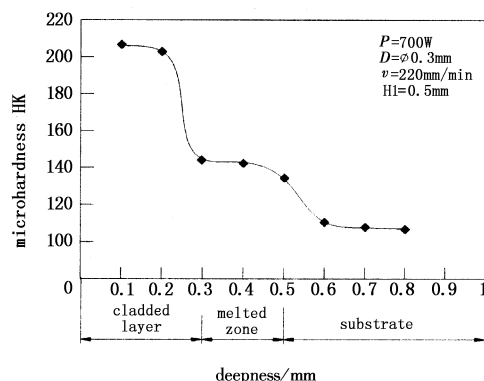


图3 激光熔覆层显微硬度分布

Fig.3 micro-hardness distribution of cladding coating

3.4 残余应力分析

残余应力的测定是利用显微硬度来进行测量,文献[4]和[5]中有详细地论述。测量从熔覆层表面开始,沿深度方向,每隔0.1mm测量一点,共测量8组,之后计算,得到数据如表1所示结果。

表1 基于显微硬度实验的残余应力测量计算数据
Tab.1 data of measure & calculating residual stress

压痕编号	1	2	3	4
σ_{res}/MPa	-23.95	-8.90	-25.08	-17.23
压痕编号	5	6	7	8
σ_{res}/MPa	-9.42	-5.41	-4.41	-5.43

如果要确定是拉应力还是压应力,还必须根据其他的条件来判断,所以只考虑其绝对值。将计算出的残余应力的结果(绝对值)绘制成曲线图,如图4所示。

从以上数据可得出,熔覆层中残余应力一般是拉应力,并且在覆层靠近基体表面处达到极值,随着熔覆层的进一步增加,开始有所回落,并逐渐稳定下来,拉应力数值逐渐减小,保持较低的拉应力状态。熔覆层与基体结合界面附近一般会有残余应力的突变,基体残余应力的数值较熔覆层小。

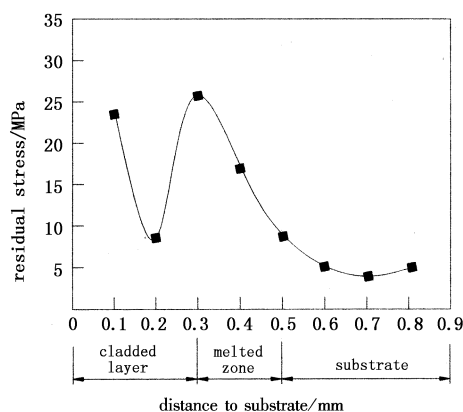


图4 激光熔覆层残余应力分布图

Fig.4 residual stress distribution of cladding coating

4 结论

(1)45钢表面316L激光熔覆层由熔覆区、结合区和基底热影响区三个区组成熔覆区的组织是细树枝状结晶组织,结合区是基底材料和熔覆材料的混熔区,基底热影响区为针状马氏体组织。

(2)激光熔覆层的显微硬度、耐磨性和耐蚀性得到显著提高。

(3)熔覆层中残余应力一般是拉应力,随着熔覆层的进一步增加,开始有所回落,并逐步稳定下来,保持较低的拉应力状态。

参考文献:

- [1] Liu Jichang, Li Lijun. In-time motion adjustment in laser cladding manufacturing process for improving dimensional accuracy and surface finish of the formed part[J]. Optics and Laser Technology, 2004, 36(6): 477-483.
- [2] SUN Huilai, LIN Shuzhong, WANG Tao. Research on OEF geometry control algorithm in dual-galvanometric laser scanning manufacturing[J]. Chinese Optics Letter, 2005, 3(5): 302-304.
- [3] Yakovlev A, Bertrand P, Smurov I. Wear-resistant coatings with engineered structure by laser cladding[J]. Tribology Letters, 2004, 17(4): 705-708.
- [4] Tsui T Y, Oliver W C, Pharr G M. Influences of stress on the measurement of mechanical properties using nanoindentation: Part 1. Experimental studies in an aluminum alloy[J]. Journal of Materials Research, 1996, 11(3): 752-759.
- [5] Bolshakov A, Oliver W C, Pharr G M. Influences of stress on the measurement of mechanical properties using nanoindentation: Part II. Finite element simulations[J]. Journal of Materials Research, 1996, 11(3): 760-768.