

低碳钢表面激光熔覆层与热喷涂层组织与性能对比

冯旭东,袁庆龙,曹晶晶,苏志俊
(河南理工大学,焦作 454000)

[摘要] 利用 CO₂ 激光器在 Q235 低碳钢表面激光熔覆了 Ni25 合金涂层。用扫描电镜、显微硬度计对熔覆层的微观组织、显微硬度进行了测定与分析。结果表明:激光熔覆层质量良好,基本无裂纹、气孔等缺陷,覆层中存在着大量的树枝晶,与基体之间为冶金结合,结合强度高;而热喷涂层质量不好,存在明显的孔洞和间隙,与基体之间为机械结合,结合力微弱;经过激光重熔之后覆层的硬度明显高于喷涂层的硬度,且 2 种覆层的硬度均比基体的硬度要高。

[关键词] 激光熔覆;热喷涂;显微组织

[中图分类号] TG665; TU512.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2010)02-0019-02

Research on the Microstructure and Properties of Laser Cladding Layer and Thermal Spray Coating on the Surface of Soft Steel

FENG Xu-dong, YUAN Qing-long, CAO Jing-jing, SU Zhi-jun

(Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

[Abstract] Ni25 alloy coatings have been prepared by a CO₂ laser on the soft steel (Q235) surface. Cross-section microstructure characteristics of the coating were studied by scanning electronic microscope and micro-hardness analysis. The results show that laser cladding layers, which have no defects of cracks and holes, contain a large number of dendrites. That is metallurgical bonding between the cladding layer and the substrate, which makes high bonding strength. But thermal spray coatings exist obvious holes and gaps. The combination is mechanical binding between the coating and the matrix. There is weak binding force. The average micro-hardness of laser cladding layer is higher than that of thermal spray coating, and the hardness of two coatings is much higher than that of the substrate.

[Key words] Laser cladding; Thermal spray; Microstructure

激光表面改性技术是将激光作为热源用于表面处理的新工艺方法,其中激光重熔可以利用高能量密度的激光束的快速熔覆效应,可以根据不同的表面特殊性能要求,在一些物理性能较差、成本低的材料上熔覆耐磨、耐蚀、抗氧化等具有优良性能的合金^[1]。由于其具有熔覆速度快,热影响区小,表面成形性好,结合强度高等优点,目前已成为提高金属表面各种性能的重要手段。

利用热喷涂法在低碳钢表面预置涂层,然后采用激光重熔涂层,可以获得晶粒细小、组织致密、无孔隙、无缺陷的 Ni25 合金涂层,并对涂层截面的微观组织及显微硬度进行了深入的分析与探讨。

1 试验

基体材料为 Q235 钢,规格为 50 mm×40 mm×8

mm。在其表面用火焰喷涂方法喷涂 1 层镍基自熔合金粉末 Ni25,其成分(质量分数)为:3.0%~5.0%Cr, 0.3%~0.8%B, 2.0%~3.0%Si, 0.1%~0.2%C, $\omega(\text{Fe}) \leq 5\%$, Ni 余量,涂层厚度为 500 μm 左右;喷涂前需将基体表面打磨平整并进行粗化处理,以增强熔覆层材料与基体的结合强度。

重熔涂层采用激光熔覆设备为 HUST-JKR5170 型 CO₂ 气体激光器,多道搭接熔覆,其工艺参数如下:激光功率 2.5 kW,扫描速度 240 mm/min,光斑直径 3 mm,搭接率 33%,使用氩气作为保护气,流量 15 L/h。

利用线切割将熔覆好的试样沿横截面切开制成金相试样,腐蚀液为王水。采用 JSM-6390/LV 型扫描电子显微镜对涂层的显微组织进行观察和分析;采用 401MVD 型维氏显微硬度计测定硬度,试验加载力为 200 g,保压时间为 10 s。

2 试验结果与讨论

2.1 显微组织

图1为激光熔覆层沿垂直于激光扫描方向的扫描电镜照片,上边为熔覆层组织,下边为基体组织。从图1中可以看出,熔覆层质量良好,基本无裂纹、气孔,覆层与基体形成了良好的冶金结合,它们之间的结合力很强。在激光熔覆过程中,熔覆层合金材料经过高温、快速熔化、混合,温度梯度 G 极高,在过冷度较大的条件下发生快速冷却和凝固,得到的凝固组织为以亚共晶方式结晶的非平衡结晶组织。熔覆层底部与基体结合处有一条平直、连续的白亮带(熔合区)见图1c,这也显示出覆层与基体之间具有良好的冶金结合。这是由于在激光熔覆凝固初期,界面结合处温度梯度 G 较大,而结晶速率 R 极小,使得 G/R 很大,由凝固理论可知,在此处以无晶核的方式通过晶体外延附生的方式直接形成平面晶。熔覆层中存在着大量的树枝晶,且枝干发达,并具有一定的方向性,见图1b。这是由于在熔覆过程中,涂层的散热方式主要是热传导,当晶体生长速率降至胞枝转变临界速率时^[2-3],晶粒就以树枝状生长,又由于在垂直于基体的面上温度梯度最大,从而生长成具有明显方向性的树枝晶。

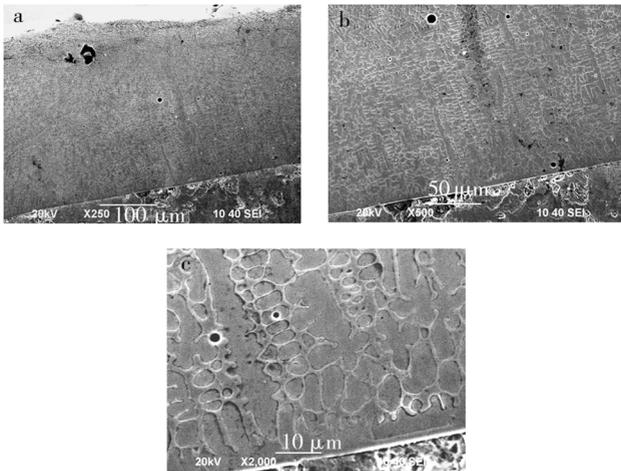


图1 激光熔覆层显微组织

Fig. 1 Microstructure of laser cladding layer

图2为热喷涂层剖面的扫描电镜照片。从图中可以很直观地看出,喷涂层是由众多变形粒子堆积而成的,呈现出典型的涂层交错叠加结构,层间疏松,存在明显的孔洞,涂层质量不好;且喷涂层与基体间存在孔隙,二者间的界面非常分明,没有形成冶金结合,结合界面质量差,基体与涂层、涂层的层与层之间的结合力主要是机械力,它们之间的结合力很微弱。

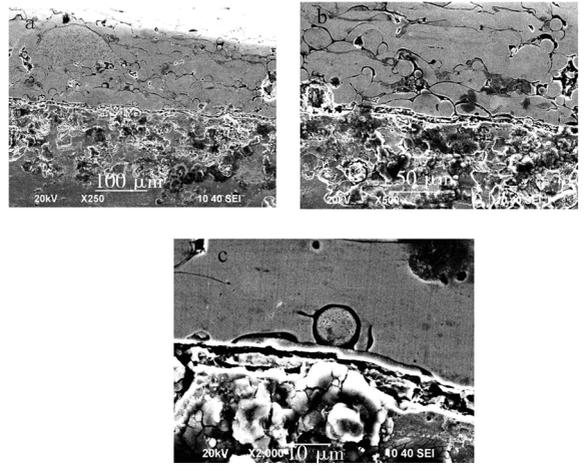


图2 热喷涂层显微组织

Fig. 2 Microstructure of thermal spray coating

2.2 显微硬度

图3为激光熔覆层与热喷涂层的硬度分布曲线。由图3中可见,激光熔覆层的硬度($HV_{0.2}$ 282~349)比热喷涂层硬度($HV_{0.2}$ 270~309)高,这2种涂层的硬度均高于基体硬度($HV_{0.2}$ 162)且硬度分布趋势基本一致,均呈阶梯状分布,这主要是由于不同的涂层制备工艺得到的涂层显微组织存在差异造成的。热喷涂层是靠高速粉末粒子流冲击挤压作用堆积而成的,合金粉末并没有发生熔化再结晶过程,致使涂层组织疏松,存在大量的孔隙;而涂层经过激光重熔之后,由于涂层合金粉末在基体表面发生了冶金反应,经历了快速加热和快速冷却过程,形成了典型的快速凝固组织,涂层组织更加致密、晶粒更加细小,细化晶粒可以提高滑移形变抗力,抑制循环滑移带的形成和开裂,增加裂纹扩展的晶界阻力,这也是激光熔覆层的硬度高于喷涂层的原因^[4];另外,Ni能与 γ -Fe,Cr形成 γ -Ni,Ni-Cr固溶体相,起到固溶强化作用,在覆层组织中也形成了碳化物和铬化物等硬质相,它们的硬度都很高,也不同程度地提高了涂层的强度和硬度;还有激光熔覆快速凝固过程中不均匀收缩所产生的位错与位错之间的相互交

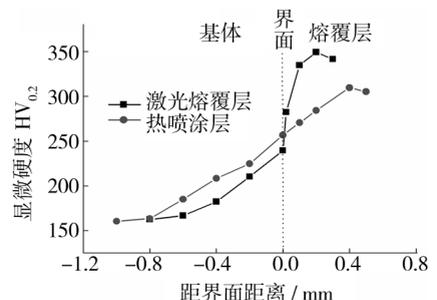


图3 硬度分布曲线

Fig. 3 Hardness profiles curve

能,从表 3 所示的 CH_3CSNH_2 在表面配合物膜中的高分辨 N_{1s} , S_{2p} , C_{1s} 和 O_{1s} 谱表明,其反应与 $\text{H}_2\text{NCSCSNH}_2$ 类似,它既可作为单齿配体,以巯基硫的形式与 Zn^{2+} 配位,也可以充当桥基配体,通过 N 和 S 与 Zn^{2+} 配位。无论是单齿配位还是桥基配位,在表面反应中均发生了去质子化。 $\text{Zn-H}_2\text{NCSNHNH}_2$ 配合物膜的高分辨 N_{1s} , S_{2p} , C_{1s} 和 O_{1s} 谱表明, $\text{H}_2\text{NCSNHNH}_2$ 在镀锌层表面配位化学反应中的配位方式与 $\text{H}_2\text{NCSCSNH}_2$ 和 CH_3CSNH_2 基本相似^[7-8]。

3 结论

从 $\text{H}_2\text{NCSCSNH}_2$, CH_3CSNH_2 和 $\text{H}_2\text{NCSNHNH}_2$ 在镀锌层表面的反应结果,可以得出,硫代酰胺类化合物的反应类似。 CH_3CSNH_2 , $\text{H}_2\text{NCSCSNH}_2$, $\text{H}_2\text{NCSNHNH}_2$ 等硫代酰胺化合物在镀锌层表面发生配位化学反应,获得了多种不溶性彩色配合物膜,膜层有良好的装饰性能,表面配合物膜的形成使得镀锌层表面具有各种鲜艳的颜色。多数硫代酰胺化合物分子中的硫代酰胺基团在参与配位反应时发生了去质子化,N,S 均发生了配位,另有部分硫代酰胺基团未去质子化,直接与 Zn^{2+} 配位。

致谢:感谢南京大学现代分析测试中心的分析测

试和支持!

[参 考 文 献]

- [1] Ye X R, Xin F B, Xin X Q. LSV, XPS and AES Investigations on Composite Films (1-phenyl-5-mercaptotetrazole) with Mo(W)-S-Cu Cluster Compounds[J]. Journal of Applied Electrochemistry, 1997, 27(6): 659-665.
- [2] Boskris J, Conway B E, Yrager E. Comprehensive Treatise, Vol(V) [M]. New York: NY, Plenum Press, 1981.
- [3] 王建祺, 吴文辉, 冯大明. 电子能谱学引论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992.
- [4] Briggs D, Seah M P. Practical Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy [M]. New York: John Wiley Sons Ltd, 1983.
- [5] 李道华. 光谱法研究钢铁表面彩色 Mo-S-Fe 簇合物膜 [J]. 化学研究与应用, 2004, 16(3): 350-352.
- [6] 李道华. 钢表面彩色 Mo-S-Fe 簇合物膜的研究 [J]. 无机化学学报, 1999, 15(2): 173-178.
- [7] 李道华. 锌表面 Mo(W)-S 彩色簇合物膜的结构和性能 [J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2004, 27(5): 516-519.
- [8] 李道华. 电镀层钼酸盐-磷酸盐阴极彩色配合物膜的光电子能谱表征 [J]. 表面技术, 2008, 37(2)4: 26-26.

(上接第 20 页)

织也对熔覆层有强化作用^[5]。硬度在很大程度上和耐磨性有一定的正比关系,所以激光熔覆镍基合金涂层高的显微硬度使得耐磨性比基体会较大的改善和提高^[6]。

3 结论

1) 热喷涂层质量不好,层间疏松,存在明显的孔洞,与基体之间为机械结合,结合力微弱;经过激光重熔之后,其覆层质量良好,基本无裂纹、气孔等缺陷,覆层中存在着大量的树枝晶,与基体之间为冶金结合,结合强度高。

2) 经过激光重熔之后,覆层的硬度明显高于喷涂层的硬度,且 2 种覆层的硬度均比基体的硬度要高。

[参 考 文 献]

- [1] 徐梅. Al 基材表面激光制备 Cu/Zn 熔覆层的实验研究 [J]. 杭州电子工业学院学报, 2003, 23(3): 91-94.
- [2] 费群星, 张雁, 谭永生, 等. 镍-青铜合金激光熔覆成形工艺研究 [J]. 材料热处理学报, 2008, 29(1): 141-145.
- [3] 徐建林, 杨波, 高威, 等. 铝青铜表面激光熔覆层组织与性能研究 [J]. 航空材料学报, 2009, 29(1): 63-67.
- [4] 徐春鹰, 石岩, 张宏. 纯 Cr 粉末激光熔覆层组织分析 [J]. 兵器材料科学与工程, 2008, 31(4): 51-54.
- [5] 张维平, 马海波. 激光熔覆原位析出增强颗粒热力学及显微组织研究 [J]. 表面技术, 2008, 37(6): 30-32.
- [6] 董江, 刘芳, 陈岁元, 等. 铜板上激光熔覆制备 Co-Ni-Cu 梯度涂层 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2008, 29(11): 1581-1584.