

工艺参数对等离子熔覆 Ni-Cr 合金涂层组织及成形质量的影响

毕晓勤¹, 胡小丽², 王洁³

(1. 河南工业大学 材料科学与工程学院, 郑州 450007; 2 北京机电研究所, 北京 100083; 3 郑州铁路局 郑州供电段, 郑州 450052)

摘要: 在 40Cr 合金钢表面等离子熔覆 Ni-Cr 合金涂层, 研究熔覆功率和扫描速度对熔覆层组织及成形质量的影响规律。研究表明: 熔覆层的组织从表层到与基体的结合面处依次为细晶、粗枝晶和柱状枝晶, 熔覆层与基体呈现良好的冶金结合状态。当扫描速度一定时, 随着熔覆功率的增大, 熔覆层组织得到细化。较低功率、较大扫描速度时, 熔覆层与基体的结合处存在熔合不良现象; 较高功率、较小扫描速度时, 熔覆层产生裂纹。能谱分析表明 Ni-Cr 含量在熔覆层与基体的结合面处发生显著变化, 在 2.0kW 熔覆功率和 12.0mm/s 扫描速度的试验条件下得到了稀释率较低的熔覆层。

关键词: 等离子束; Ni-Cr 显微组织; 工艺参数

中图分类号: TG174.44

文献标识码: A

文章编号: 1005-5053(2009)03-0045-05

在轴类零件失效中, 轴表面磨损失效占大部分^[1]。对于表面局部磨损的轴类零件进行修复而降低报废率, 无疑具有现实的经济价值。随着表面处理新技术的不断涌现, 等离子表面技术(等离子淬火、等离子熔覆等)用于材料表面改性得到了研究与应用^[2]。等离子熔覆技术是以等离子束为热源, 在金属表面获得优异的耐磨、耐蚀等性能的表面复合层技术^[3], 因等离子能量密度大、效率高, 在瞬间将零件表面微熔, 可使损伤表面预置的涂层材料快速凝固后与基体材料呈冶金结合状态, 获得致密熔覆层组织, 熔覆层结合牢固不易脱落剥离, 从而达到恢复工件原设计尺寸, 提高重建区域性能的目的。等离子熔覆技术本质上是一种快速冶金反应过程, 原则上可利用任意粉末的任意配比, 获得通常冶金方法不能得到的成分和组织, 使冶金层与基体达到良好的冶金结合状态^[4], 从而结合强度高; 而材料的迅速熔化和快速凝固也使得在基体上的热影响区范围小; 等离子熔覆设备操作灵活, 可以修复磨损部位的深划痕和凹坑; 此外在等离子熔覆的快速非平衡凝固过程中, 容易得到细晶组织或产生平衡态所无法得到的新相^[5]。因此, 与激光熔覆、电子束熔

覆相比, 等离子束熔覆是一种能兼容各种合金粉末材料并得到致密的涂层、合金材料消耗少、效率高、成本低的表面熔覆技术^[6], 可以作为一种新型的修复技术在机械制造领域进行应用。

等离子熔覆是个复杂的冶金过程, 工艺参数比较多(如: 等离子功率、扫描速度、等离子弧光斑直径、等离子弧枪离工件表面的距离等), 因此, 工艺特性的研究是保证熔覆层质量的基础。评价等离子熔覆层的质量优劣主要从宏观(表面形态)和微观(组织形貌、缺陷以及稀释率)等两个方面考虑。在材料选定的情况下, 等离子熔覆层的质量主要受工艺参数的影响。基于此, 本文以调质态 40Cr 合金钢为研究对象, 在其表面涂覆 Ni-Cr 系合金粉末进行等离子熔覆试验, 形成冶金结合的合金化涂层表面。研究熔覆功率和扫描速度对组织以及成形质量的影响规律, 以期在轴类零件的表面修复技术方面提供一定的试验研究成果。

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

基体材料选用 40Cr 合金钢。通常用于钢表面熔覆和修复的涂层合金粉末主要有 Ni 基、Co 基和 Fe 基三类, 不同的粉末熔覆后的组织和性能有很大差异。由于在普通钢上熔覆镍基合金, 镍可起到强

收稿日期: 2008-12-10; 修订日期: 2009-03-16

作者简介: 毕晓勤(1967—), 女, 博士, 副教授, (E-mail) xiaoqin_b@haut.edu.cn; bixq@163.com.

化基体、提高熔覆层表面的抗蚀性和耐磨性以及增加合金硬度和强度等的作用^[7],因此,本工作研究配制了质量分数为 60%~70% Ni 10%~15% Cr 和 8%~20% Fe 混合的合金涂层粉末。

1.2 试验方法

在 400mm×200mm×10mm 的基体材料上先进行表面预处理,除掉基体熔覆部位的油污和锈蚀,打磨去除加工印痕及棱角获得一定的表面光洁度,使其表面状态满足后续的预置熔覆材料时的要求,避免因预处理不严格而导致熔覆层产生裂纹、气泡或剥落等缺陷^[8]。采用手涂预置粉末法,用水玻璃将 NiCr 合金粉末调成糊状而均匀预涂敷在预处理后的基体材料表面,预涂层厚为 0.5~2.5 mm,在 100℃ 下烘干。

等离子熔覆试验在自行设计的等离子熔覆设备上,采用离子气流量 0.1~5L/min 保护气氩气流量 3~9L/min 电流 5~160A。调整等离子喷枪使其距基体工件表面一定高度。由于转移型等离子弧具有弧柱能量密度高、工件热利用率高和适用于各种金属的焊接和切割等特点,本试验选用转移型等离子弧,采用 1.8~2.4kW 的熔覆功率和 8.8~15.5mm/s 的扫描速度沿工件表面进行平面单道直线扫描,得到一定宽度的熔覆带。

利用线切割的方法将熔覆后的工件沿垂直于熔覆层的方向截取,获得熔覆层沿层深方向的剖面,并制备金相试样。在 JSM-6360LV 型扫描电镜上进行微观组直观察和成分测定。

2 实验结果与分析

2.1 熔覆层宏观形貌

等离子熔覆过程中,不同的工艺参数以及工艺参数之间的相互耦合都会对熔覆层表面质量造成影响。图 1 为熔覆层的表面宏观形貌,可以看出:太高的功率和太低的扫描速度会造成熔覆层表层出现弧坑(图 1a);太低的功率和太高的扫描速度又会造成熔覆层表层出现裂纹,见图 1b;而选择合适的工艺参数就可以获得宏观表面形态平整均匀的熔覆层(图 1c)。因此,在大量探索性试验的基础上,通过调整功率和等离子喷枪扫描速度等参数,确定了其取值范围,进行工艺参数的优化组合,并完善熔覆工艺,得到了合适的熔深以及宏观形貌较好的熔覆层。

2.2 熔覆层微观组织

熔覆层微观组织见图 2。从图 2a 可以看到熔覆后的工件沿垂直于熔覆层的剖面上存在等离子熔

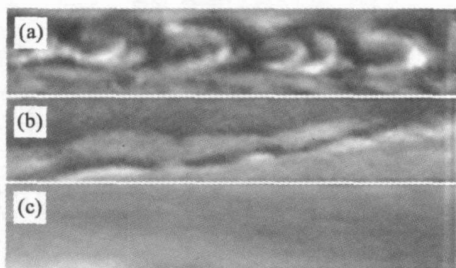


图 1 熔覆层宏观形貌

Fig 1 Macro-morphology of the cladding (a) 2.4kW, 8.8mm/s (b) 1.8kW, 15.5mm/s (c) 2.0kW, 12.0mm/s

覆层和基体层两个不同区域,熔覆层内组织细小均匀、致密、无气孔和夹杂,基体与熔覆层的结合处清晰,而两者的结合为完全的冶金结合状态。熔覆层从表层、中部到靠近基体结合面处的显微组织依次为:细晶、粗枝晶以及柱状枝晶(图 2h,c,d)。熔覆层的表层区域晶粒细小,组织比较致密;熔覆层的中部的粗枝晶逆热流方向生长,组织排列较规则;熔覆层与基体结合处分布着柱状枝晶,结合处两侧的组织结合状态良好。

等离子熔覆层显微组织的形成是受熔池内液相成分和形状因子的影响^[9]。在成分相对稳定的情况下,形状因子 G/R (温度梯度 G 与凝固速度 R 之比)决定凝固组织生长形态的选择。在凝固初期,由于熔池中的液态金属处于很高的温度,基体本身又具有良好的导热性,熔池底部(熔池和基体界面)温度梯度 G 较大, G/R 也很大,产生小的成分过冷区,因此,液固界面上产生凸起,形成柱状晶,初生枝晶也比较粗大;随着凝固的进行, G/R 逐渐减小,由于导热方向仍以基体为主,这时熔池中部仍能形成逆热流方向的树枝晶;当熔池内的液态金属凝固到了最表层,这时通过空气对流散热以及受保护气体的冷却作用,使得热流方向不稳定,表层某些部位开始形核、生长,导致了近表面处的无序枝晶和等轴晶形态,组织明显细化。可见熔池凝固条件不同,最终形成的组织形态也不同。

由于等离子熔覆能量密度大、热量集中造成熔池快速凝固结晶,因此熔覆层组织的变化较为显著。当等离子弧扫过预涂层时,预涂层吸热熔化并把一部分热量传递到基体,而将基体表面熔化。此时,熔化的涂层合金溶液进入基体表面的熔池,与基体材料有良好的浸润状态,基体可以作为现成的表面提供非自发形核,熔池中的液态金属直接从基体金属晶粒上长大,由此使得基体和熔覆层的晶粒连续,结合面处呈现良好的冶金结合状态,使得结合

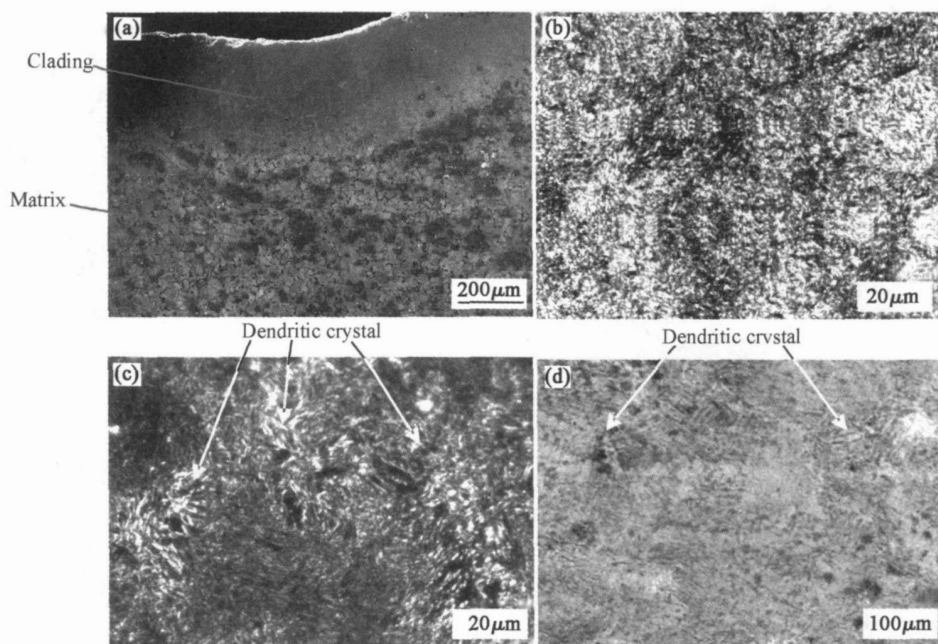


图 2 熔覆层组织形貌 (a) 径向剖面组织; (b) 表层; (c) 中部; (d) 熔覆层与基体结合处

Fig 2 Microstructures of the cladding (a) radial direction (b) surface (c) inner (d) interface

面具有较高的结合强度和韧性,保证了涂层材料结合牢固不易脱落剥离。

2.3 工艺参数对组织的影响

图 3 是在扫描速度为 12mm/s 时不同熔覆功率下得到的显微组织。可以看到,在扫描速度一

定时,随着熔覆功率的增大,熔覆层组织得到细化。这主要是由于较高的熔覆功率在单位时间内提供的能量较高,熔池所吸收的能量密度增加,形成的温度梯度较高从而产生大的过冷度,使得熔覆层组织明显细化。

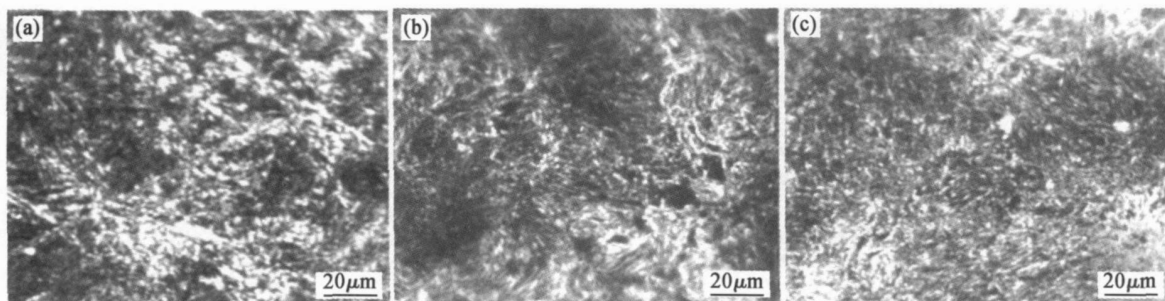


图 3 不同功率下熔覆层组织形貌

Fig 3 Microstructures under the condition of the different powers (a) 1.8 kW; (b) 2.0 kW; (c) 2.4 kW

研究表明,在高的熔覆功率情况下,熔覆层组织细化,质量良好。而低功率条件下,特别是扫描速度较大的情况下(1.8 kW, 15.5 mm/s),熔覆层与基体的结合处通常存在熔合不良现象(图 4a)。扫描速度影响熔覆过程的加热时间。

扫描速度越快,加热时间越短,比能(熔覆层单位面积吸收的能量)^[11]较低会使涂层粉末熔化而基体未熔,基体与熔化粉末间的界面能增大,熔体的表面张力占优势,将在基体表面形成不连续的珠状熔层,降低了二者的结合强度。但高功率条件下,扫描

速度较小时,熔覆层又会出现裂纹(图 b)。试验观察到大部分裂纹起源于单个熔覆焊道的两侧与基底的交界面处并呈纵向一致开裂,所有裂纹均终止于界面,没有向基体延伸。这种现象产生的原因是扫描速度越慢,加热时间越长,比能较高会在熔池中形成强烈的对流,对流一方面能促进各种合金元素在熔池中的均匀分布,另一方面由于对流强烈,在熔覆层与基体间形成极高的温度梯度,易于形成热应力集中。因此,当等离子喷枪沿直线运动,形成准稳态的温度场时,裂纹源在结合面处产生,并呈纵向开裂。

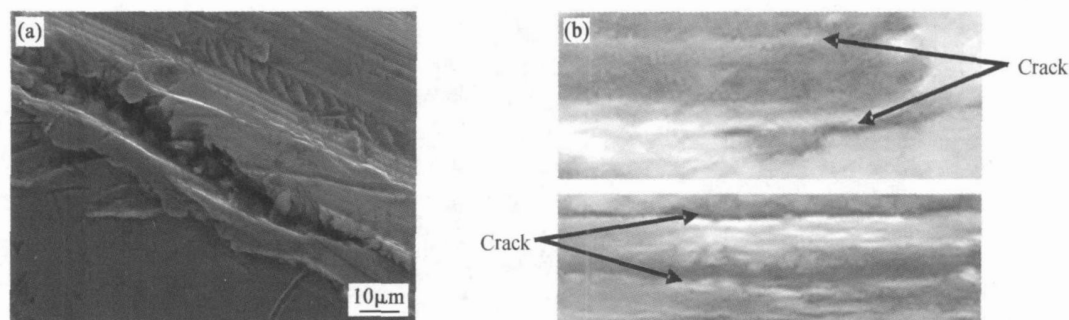


图 4 熔覆层内缺陷形貌特征 (a)不良熔合; (b)宏观裂纹

Fig 4 Defect appearances in the cladding (a) ill bonding along the interface (b) macroscopic crack

通过上述分析可知, 熔覆功率和扫描速度对熔覆层组织形态和成形质量的影响是综合性的, 工艺参数的选择对取得组织细化、结合良好且无缺陷的熔覆层是至关重要的。

2.4 工艺参数对熔覆层稀释率的影响

熔覆工艺参数直接影响基体的熔化程度, 在基体与熔覆层界面处, 熔化的粉末与部分熔化的基体相互扩散, 即熔覆层受到稀释, 其程度即为稀释率。一定的稀释率保证熔覆层与基体的牢固结合; 而过高的稀释率会影响熔覆层性能达不到设计要求。

图 5是在熔覆功率为 2.0kW 和扫描速度

12.0mm/s时, 从熔覆层表层到与基体结合处附近的整个区域的成分线扫描能谱图。以熔覆层表面为测量零起点, 熔覆层与基体的结合面大约在距熔覆层表面 180 μm 处。在熔覆层的 0~180 μm 的区域内, 元素 Cr Ni的含量很高且波动不大; 在 180~200 μm 的狭窄区域, 元素 Cr Ni的含量显著下降, 直到基体内部的区域, 元素 Cr Ni的含量已很低(图 5a和图 5b)。在 0~200 μm 的熔覆区域, 元素 Fe的含量较低且波动不大; 从 200 μm 到基体内部区域, 元素 Fe含量逐渐增高(图 5c)。

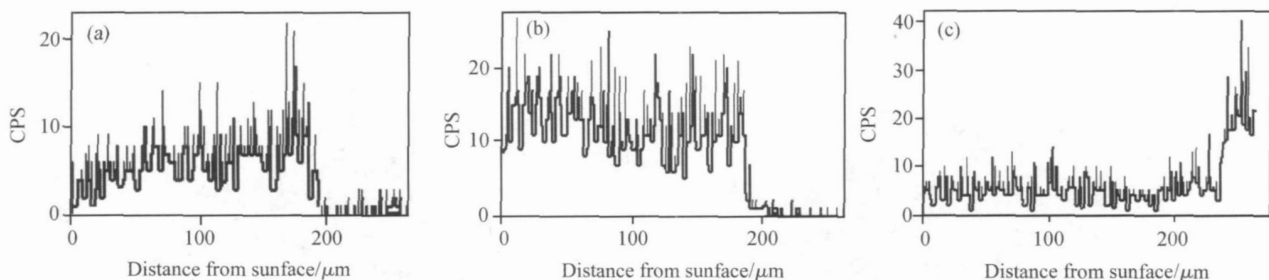


图 5 熔覆层的线扫描能谱图

Fig. 5 XRD pattern of cladding (a) Cr (b) Ni (c) Fe

研究表明, 靠近结合面处的熔覆层要受到基体的稀释^[12], 而熔覆工艺参数是通过影响熔覆温度场及熔池形状(特别是熔深)来间接影响稀释率的。当扫描速度较慢时, 基体获得比较多的热量, 基体熔化较多, 使其中的化学元素溶入熔覆层内, 改变了熔覆层的化学成分和组织结构, 使熔覆层的性能发生质的变化, 降低熔覆层的性能。有相关研究表明^[13], 在其它条件不变的情况下, 增大输入功率或降低扫描速度, 均导致熔覆层稀释率增大。因此, 有研究提出了确定熔覆工艺参数的“最小比能原则”^[14], 即熔覆处理的最小比能应能够使涂层熔化并加热基体至其熔点, 而最佳输入能量应稍高于最小比能, 只要保证基体微熔的状态即可保证一定的

稀释率。在保证基体微熔条件下, 可适当降低等离子束的扫描速度, 或适当增大熔覆功率。图 5试验结果表明本文等离子熔覆试验得到了稀释率较低的熔覆层, 因此获得的低稀释率的等离子熔覆 Ni+Cr 涂层可有效地发挥其优异性能。

3 结论

(1)熔覆层的组织从表层到与基体的结合面处依次为细晶、粗枝晶以及柱状枝晶, 熔覆层与基体呈现良好的冶金结合状态。

(2)当扫描速度一定时, 随着熔覆功率的增大, 熔覆层组织得到细化。

(3) 熔覆功率和扫描速度对熔覆层成形质量的影响是综合性的, 较低功率、较大扫描速度时, 熔覆层与基体的结合处存在熔合不良现象; 较高功率、较小扫描速度时, 熔覆层产生裂纹。

(4) 能谱分析表明 Ni-Cr 含量在熔覆层与基体的结合面处发生显著变化, 本研究在 2.0kW 熔覆功率和 12.0mm/s 扫描速度的试验条件下得到了稀释率较低的熔覆层。

参考文献:

[1] 戴娟, 夏尊凤, 汪大鹏. 轴类零件的失效分析 [J]. 机电产品开发与创新, 2004, 17(3): 1-7.

[2] 陈颢, 李惠东, 李惠琪, 等. 等离子束表面冶金与激光熔覆技术 [J]. 表面技术, 2005, 34(2): 1-7.

[3] WANG X L, QI H B. Study on crack control of layer during laser cladding sealing surface of petrochemical valves [J]. Laser Technology, 2006, 26(5): 359-363.

[4] 夏丹, 徐滨士, 吕耀辉, 等. 熔覆枪扫描速度对镍基微束等离子熔覆层性能的影响, 金属热处理, 2008, 33(9): 9-11.

[5] PAVELIC V, TANBAKU CH IR, AUYEHARA Y. Experimental and computed temperature histogram in gas tungsten arc welding of thin plates [J]. Journal of Welding Research Supplement, 2001, 48(7): 295-305.

[6] LN Y F, HAN JM. Microstructure and wear resistance of plasma jet clad Ti53/N Ti composite coating [J]. Chi-

nese Physics Letters 2004, 21(7): 1314-1316

[7] SHIM IM, YOSHIDOME A, ABE F, *et al*. Finite element analysis of melting and solidifying processes in laser rapid prototyping of metallic powders [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2003, 39: 237-252.

[8] TAILOR G A, HUGHES M, PERICLEOUS K. The application of three dimension finite volume method to the modeling of welding phenomena [A]. Modeling of casting Welding and advanced solidification process [C]. San Diego Edited by Prter R. Salm, 2004: 852-859.

[9] 王新洪, 邹增大. 表面熔融凝固强化技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

[10] 刘邦武, 李惠琪, 孙玉宗, 等. 等离子熔覆铁基合金涂层的组织与性能研究 [J]. 材料科学与工艺, 2006, 14(1): 85-87.

[11] 曹明. 等离子熔覆 TiC/N 梯度层组织及其抗汽蚀性能研究 [D]. 江苏: 河海大学, 2005.

[12] 刘胜林, 孙冬柏, 樊自拴, 等. 等离子熔覆镍基复合涂层的组织及性能 [J]. 稀有金属材料与工程, 2006, 35: 233-235.

[13] OLIVERA A S C M D, VILAR R, FEDER C G. High temperature behavior of plasma transferred arc and laser Co-based alby coating [J]. Applied Surface Science, 2002, 201: 154-160.

[14] ZHOU X B, DeH J T M. A reaction coating on aluminum alby by laser processing [J]. Scripta Materialia, 1993, 28(10): 219-224.

Influence of Processing Parameter on Microstructure and Forming Characterizations of Ni-Cr Cladding Formed by Plasma Surfacing Processes

BI X iao-q in¹, HU X iao-li² M WANG Jie³

(1. College of Materials Science and Engineering Henan University of Technology Zhengzhou 450007, China 2 Beijing Institute of Mechanical and Electrical Technology Beijing 100083 China 3 Zhengzhou Power Supply Section Zhengzhou Railways Bureau Zhengzhou 450052 China)

Abstract The Ni-Cr cladding was coated on the 40Cr alby by the PTA (plasma Transferred arc) surfacing process. The influence of processing parameter on the microstructure and forming characterizations of the cladding were analyzed. The results indicate that the cladding is well bonded with the matrix and the interface consists of the regular dendritic crystal. The microstructures vary from the thick dendritic crystal in the middle of the cladding to fine equiaxed crystal near the top of the cladding. With the increase of power, the crystals of the cladding are fined under the same scan velocity. The ill-bonding occur in the interface under the lower power and the higher scan velocity, and the crack will appear in the cladding under the higher power and the lower scan velocity. The content of Ni and Cr come into changing evidently in the interface. The cladding with the lower ratio of dilution is acquired under the condition of 2.0kW and 12.0mm/s in this paper.

Key words plasma arc Ni-Cr microstructures processing parameter