

40CrMo 齿轮钢表面激光熔覆 0.60C-15.25Cr-1.85Mo 粉末工艺及其组织和性能

陈磊¹ 夏志新² 贾帅² 赵京² 傅戈雁² 石世宏²

(1 宁波中物激光与光电技术研究所, 宁波 315100; 2 苏州大学沙钢钢铁学院, 苏州 215021)

摘要 基于“光束中空, 光内送粉”技术对 40CrMo 钢(∕% : 0.40C, 1.20Cr, 0.25Mo) 进行表面激光熔覆铁基合金粉末(∕% : 0.60C, 15.25Cr, 1.11Si, 1.85Mo) 以提高硬度, 获得更加理想的耐磨性能。40CrMo 钢硬度 HV_{0.2} 值为 250, 激光熔覆后表面硬度 HV_{0.2} 值为 500。对基体的进行 200 °C 预热处理有利于获得更加良好的冶金结合, 其基体的热影响区和结合区也相对较小。由于较大的温度梯度造成的快速冷却和合金化共同影响的结果, 试样结合区硬度高于激光熔覆层其他区域。

关键词 40CrMo 齿轮钢 0.60C-15.25Cr-1.85Mo 铁基合金粉末 激光熔覆 微观组织 冶金结合 硬度

Gear Steel 40CrMo Surface Laser Cladding 0.60C-15.25Cr-1.85Mo Powder process and Its Structure and Properties

Chen lei¹, Xia Zhixin², Jia Shuai², Zhao Jing², Fu Geyan² and Shi Shihong²

(1 Ningbo Laser and Optoelectrics Institute, CAEP, Ningbo 315100;

2 Shagang School of Iron and Steel, Suzhou University, Suzhou 215021)

Abstract Based on “inside-laser coaxial powder feeding” technology the surface of steel 40CrMo (∕% : 0.40C, 1.20Cr, 0.25Mo) is laser-clad with iron-base alloy powder (∕% : 0.60C, 15.25Cr, 1.11Si, 1.85Mo) to increase surface hardness and get idea wear resistance. The hardness HV_{0.2} value of steel 40CrMo is 250 while the surface hardness HV_{0.2} value by laser cladding is 500. It is available to get better metallurgical binding interface between base metal and coating material by base metal pretreated at 200 °C, and the heat affected zone of base metal and binding interface zone are relatively smaller. Due to quick cooling and alloying effect by larger temperature gradient, the hardness of sample bending zone is higher than other area of laser cladding.

Material Index Gear Steel 40CrMo, 0.60C-15.25Cr-1.85Mo Iron-Base Alloy Powder, Laser Cladding, Microstructure, Metallurgical Binding, Hardness

激光熔覆制造技术是先进制造技术研究的一个重要分支^[1-4]。和传统的材料表面强化方式相比, 激光熔覆技术具有加工材料范围广、加工便利、性能优良等优点, 并可实现梯度功能, 柔化程度高^[5], 结合方式为冶金结合等特点。本文采用实验室自主研发的光内送粉装置^[6], 可以更好的实现光粉耦合, 显著提高了粉末利用率和熔覆层表面质量^[7-8]。试验针对激光融敷工艺参数(激光功率、扫描速度、离焦量、送粉量、提升量等)进行探索研究, 在此基础上实现有无预热条件下粉末与材料基体间的融合, 并对其内部组织和硬度进行分析, 为以后激光融敷加工提供实验参考数据。

1 试验材料设备及方法

试验采用 IPG YLS-2000 2KW 光纤激光器, GTV PF2/2 送粉器, 六轴联动 KUKA 机械手, 实验室自主研发光内送粉喷头, 恒温试加热平台, 实验中采用 N₂ 作为保护气。

基板材料为 40CrMo 钢齿轮上取下来的 (mm) 100 × 100 × 20 厚的试样, 组织状态为淬火回火态, 化学成分如表 1 所示; 熔覆粉末材料为 Fe 基复合材料, 粒度 40 ~ 60 μm, 化学成分如表 2 所示。实验前齿轮用砂纸打磨去除氧化层, 并用丙酮酒精清洗干净, 粉末在 200 °C 恒温烘箱烘干以去除水分。然后采用合理的熔覆工艺参数(功率 1 800 kW、离焦量 -2 mm、扫描速度 4 mm/s、送粉气压 300 kPa、气流

表 1 40CrMo 钢化学成分 / %
Table 1 Analysis of steel 40CrMo / %

C	Cr	Si	Mn	Mo	P	S
0.40	1.20	0.27	0.50	0.25	≤0.03	≤0.03

表 2 铁基合金粉末化学成分 / %
Table 2 Analysis of iron-base alloy powder / %

C	Cr	Si	Mn	Mo	P	S	O
0.60	15.25	1.11	0.70	1.85	≤0.027	≤0.01	≤0.090

量 4 L/min) 进行加工, 未预热的试样为 1 号样, 预热的试样为 2 号样, 使用加热平台, 随平台加热到 200 °C 保温进行实验。

2 试验结果与分析

图 1 为本实验两个试样的照片。如图 1(a) 可以很清楚看到, 未经预热基体的 1 号样在结合区部分, 存在着许多大小不一的缩孔, 为明显的冶金缺陷。而图 1(b), 经预热的 2 号样的结合区宏观形貌, 无肉眼可见缩孔或者裂纹, 界面结合效果比 1 号样好。

对比两试样硬度分布如图 2 可见, 两者硬度分布的区别主要在结合区附近区域。试样 1 在基体部分存在着很宽的硬度变化区间, 即对应的热影响区宽度约 1 mm, 试样 2 约为 0.5 mm, 显然在基体这部分区域发生了淬火现象。因为在激光熔覆时该部分组织在未熔化的情况下被快速加热至奥氏体化温度以上, 然后该部分冷却速度大于临界冷却速度, 使得组织发生了马氏体转变。因此该部分的硬度要高出基体的其他区域。另外发现, 试样硬度在结合区达到最大, 之后熔覆层硬度逐渐降低直至稳定在 500 HV_{0.2} 左右, 快速冷却和合金化两种作用使得结合区的硬度比熔覆层其他区域更高。

对微观组织(图 3)进行分析, 发现两种熔覆层组织基本相似, 结合区附近为柱状晶, 往外是树枝晶、等轴晶等金相组织。1 号样由于温度梯度相对较大冷却速度较快, 使得晶粒尺寸比 2 号样略为细小。

图 4 为两试样通过扫描电镜(SEM)获得的微观

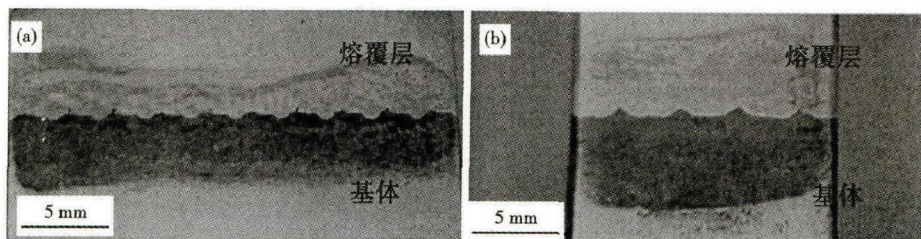


图 1 40CrMo 钢和 0.60C-15.25Cr-1.85Mo 熔覆后结合区附近宏观组织形貌, (a) 1#: 未预热; (b) 2#: 200 °C 预热

Fig. 1 Morphology of macrostructure nearby binding interface area between base steel 40CrMo and 0.60C-15.25Cr-1.85Mo cladding layer after cladding, (a) 1#: non pretreatment; (b) 2#: pretreated at 200 °C

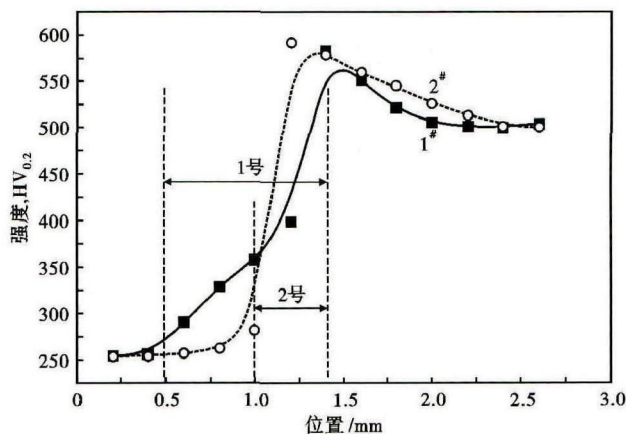


图 2 1#: 未预热试样; 2#: 200 °C 预热试样 HV_{0.2} 硬度值分布
Fig. 2 Distribution of HV_{0.2} hardness value of specimen 1# non pretreatment and 2# pretreated at 200 °C

形貌照片, 图 4(a, b) 分别为 1 号样和 2 号样 500 倍的组织形貌图。观察图 4(c, d), 即两试样结合区 2 000 倍照片, 可以发现, 1 号样结合区有着一明显的结合线, 有粗大晶粒析出, 而 2 号样基体到熔覆层的过渡相对于 1 号样更加自然, 结合情况更加良好。适当的预热能够使得熔覆层与基体有更加良好的冶金结合。

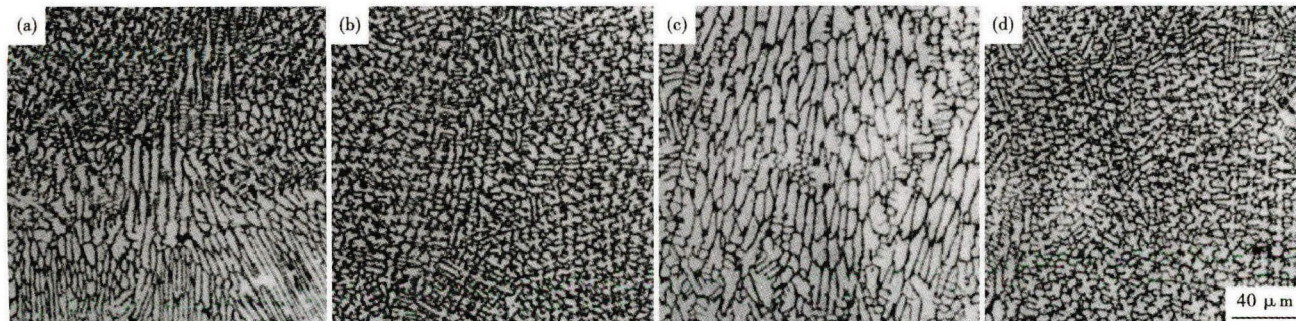


图 3 熔覆层微观组织形貌, 1# 未预热 (a) 结合区附近, (b) 熔覆层中部; 2# 200 °C 预热 (c) 结合区附近, (d) 熔覆层中部
Fig. 3 Morphology of microstructure of cladding layer, 1# non pretreatment specimen- (a) nearby binding interface area and (b) center of cladding layer; 2# specimen pretreated at 200 °C- (c) nearby binding interface area and (d) center of cladding layer

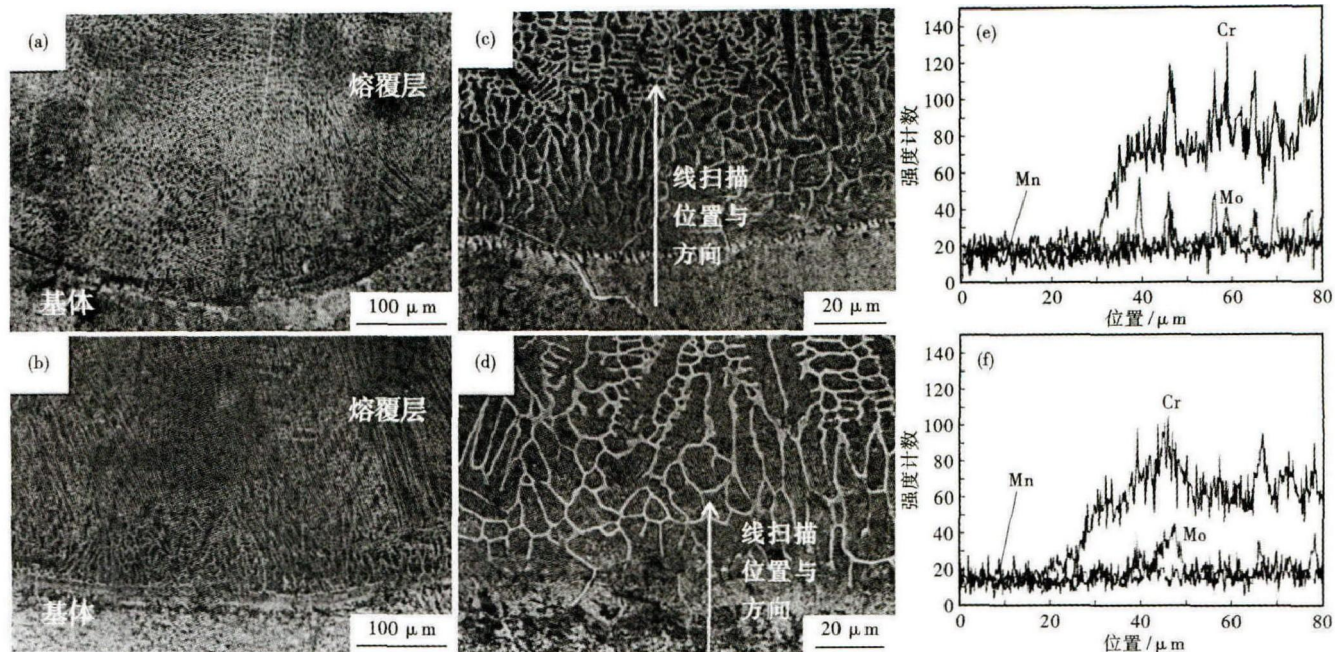


图4 未预热1[#]试样(a)(c)(e)和200℃预热2[#]试样(b)(d)(f)熔覆层组织形貌及成分变化

Fig.4 Structure morphology and element composition change of cladding layer of 1[#] specimen non treatment: (a), (c) and (e) and 2[#] specimen pretreated at 200℃: (b), (d) and (f)

对比基体与熔覆材料的成分,两者在Cr的含量上差异很大,因此,考虑到测量误差以及材料成分的不均匀,本实验选择含量差异较大的Cr为特征元素。如图4(e,f)所示,两试样从基体到熔覆层都有一个明显的成分过渡,这说明两试样中熔覆层与基体均形成了冶金结合。对比能谱图,发现1号样结合区宽度将近10 μm,而2号样结合区为6 μm左右。而较薄的结合区保证了较低的熔覆层稀释率,从而使得熔覆层能够更好的保留熔覆材料的良好性能^[9-10]。因此,得到结论,基板适当预热后再进行激光熔覆加工可以获得更加优异的冶金结合。在两种试样的结合区附近有存在马氏体组织,从而进一步证明了结合区异于熔覆层其他区域的硬度是由快速冷却以及合金化造成的。

参考文献

- [1] 钟敏霖,刘文今. 国际激光材料加工研究的主导领域与热点[J]. 中国激光,2008,35(11):1653-1659.
- [2] 张冬云,王瑞泽,赵建哲,等. 激光直接制造金属零件技术的新进展[J]. 中国激光,2010,37(1):18-25.
- [3] 杨森,钟敏霖,张庆茂,等. 激光快速成形金属零件新方法[J]. 激光技术,2001,25(4):254-257.
- [4] 杨森,钟敏霖,张庆茂,等. 金属零件的激光直接快速制造[J]. 粉末冶金技术,2002,20(4):234-238.
- [5] 宋建丽,李永堂,邓琦林,等. 激光熔覆成形技术的研究进展[J]. 机械工程学报,2010,46(14):29-38.
- [6] 石世宏,傅戈雁,王安军,等. 激光加工成形制造光内送粉工艺与光内送粉喷头:中国专利,200610116413.1[P]. 2006-09-22.
- [7] 崔洪武. 基于光内同轴送粉光分耦合及高层成形技术研究[D]. 苏州:苏州大学,2009:10-30.

3 结论

(1) 利用本实验所选铁基合金粉末进行激光熔覆成形可在42CrMo钢表面获得结合完好的表面熔覆层,维氏硬度可达500 HV_{0.2}左右,相对于硬度只有250 HV_{0.2}左右的基体,硬度获得了极大的提升。

(2) 对基板进行适当的预热有利于获得良好的冶金结合面,其微观组织和性能更加优异,减小了热影响区和冶金结合区宽度,对基体组织及性能的影响更小。

(3) 试样结合区硬度高于熔覆层其他区域,是由于较大的温度梯度造成的快速冷却和合金化共同影响的结果。

国家自然科学基金资助(No. 51201061)

- [8] 彭善飞. 环形激光作用下同轴送粉熔覆工艺参数对成形的影响[D]. 苏州:苏州大学,2008:10-25.
- [9] 卫广智,温书涛,李宝增,等. 航空发动机热锻模激光熔覆修复层组织性能研究[J]. 热加工工艺,2008,37(17):29-34.
- [10] 钱九红,李喜坤,邱关明. 激光熔覆稀土陶瓷涂层进展[J]. 稀土,2006,27(4):70-74.

陈磊(1984-),男,硕士(2008年中北大学),工程师,2005年中北大学(本科)毕业,激光加工应用研究。

E-mail: xiazhixin2000@163.com

收稿日期:2015-08-31