

3Cr13 厨刀碟片激光同轴送粉熔覆层的显微硬度与组织

尹 燕¹, 栗子林¹, 许广伟¹, 张瑞华^{2,3}, 屈岳波^{2,3}

(1. 兰州理工大学 省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室, 兰州 730050;

2. 中国钢研科技集团有限公司, 北京 100081; 3. 阳江市五金刀剪产业技术研究院, 阳江 529533)

摘 要: 针对家用3Cr13不锈钢厨刀硬度低、耐磨性差、使用寿命短等问题, 采用激光熔覆技术对其进行处理, 改善厨刀的性能。研究了激光熔覆层的显微硬度及显微组织。结果表明, 采用经优化的激光熔覆处理工艺, 可以获得无气孔、裂纹和夹杂等缺陷的熔覆层, 熔覆层与基体结合良好; 熔覆层的显微硬度在7~12 GPa之间波动, 平均显微硬度约为9 GPa, 是基体的2.3倍, 大大提高了刀刃的硬度; 熔覆层中含有大量未熔的硬质颗粒WC, 并镶嵌到相对较软的304L基体中, 这种结构对WC颗粒起到韧化缓冲作用, 保证刀具使用过程中WC颗粒不易脱落, 从而可提高刀具的使用性能。

关键词: 3Cr13 不锈钢; 激光熔覆; 显微组织; 显微硬度

中图分类号: TG 401 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2016)10-0085-04

0 序 言

刀具产品用途非常广泛, 提高刀具刃口的硬度及耐磨性从而延长刀具使用寿命具有十分重要的意义。国内普通的刀具主要靠采用复合材料和热处理技术来保证其既有一定的韧性又有高的耐磨性, 但要再上一个台阶已是非常困难^[1]。目前国际上有一种不需磨刃的刀(俗称“懒汉刀”), 深受用户欢迎, 但价格比普通刀具贵一个数量级。经过调查分析, 这种刀的刃口有一种特殊的耐磨层材料, 保证了其锋利性和耐磨损。

表面强化层的制备方式有多种。激光熔覆是近年发展起来的一种高效、且能使涂层材料与基体形成冶金结合的一种优异的表面改性技术。它可通过在基材表面熔覆适当的材料来提高工件表面的耐磨、耐蚀、抗氧化等性能^[2,3]。目前, 用于激光熔覆所用的材料主要有自熔性合金粉末(镍、铁和钴基等)、高熵合金粉末、陶瓷粉末、复合粉末等^[4-7]。

文中采用激光同轴送粉熔覆技术在3Cr13不锈钢刀具刀刃熔覆超细硬质合金粉末, 对熔覆层的显微硬度与组织进行研究, 以期提高3Cr13不锈钢刀具的使用性能。

1 试验方法

基材为3Cr13不锈钢厨刀, 熔覆粉末为40% 304L + 60% WC 硬质合金混合粉末, 304L 不锈钢粉末粒度为-150~+350目, 化学成分见表1。

表1 304L 不锈钢粉末的化学成分(质量分数, %)
Table 1 Chemical compositions of 304L stainless steel powder

C	Si	Mn	Ni	Cr	Fe
0.03	0.80	0.20	11.00	18.00	余量

试验采用的激光器为德国通快公司的TruDisk2002, 额定功率为2 000 W, 波长为1 030 nm。送粉器采用RC-PGF-D-2双筒智能型气载送粉器, 载气为氩气。数控设备ZPZJ1610为数控激光焊接专机, 及MCWL-120精密水冷却机。采用同轴送粉熔覆方式。激光熔覆前先用砂纸打磨表面, 去除刀刃待熔覆表面的氧化膜, 露出金属光泽, 然后用丙酮擦拭表面, 去除表面油污。将待熔覆硬质合金粉末放入DZF-1真空干燥箱中150℃恒温烘干2 h。优化后的激光熔覆工艺参数见表2。

碳化物复合粉未经激光熔覆后可获得硬质合金性能的涂层, 在高耐磨性涂层中得到广泛应用。

收稿日期: 2015-12-24

基金项目: 国家自然科学基金资助(51265031); 广东省“扬帆计划”引进创新创业团队专项资助(2015YT02G090)

表 2 熔覆工艺参数

Table 2 Parameters of laser cladding

激光功率	离焦量	熔覆速度	送粉量	保护气流量
P/W	$\Delta f/mm$	$v/(mm\cdot min^{-1})$	$v_m/(g\cdot min^{-1})$	$Q/(L\cdot min^{-1})$
1 800	25	350	15	0.5

2 试验结果与分析

2.1 熔覆层显微硬度分析

图 1 为从刀刃熔覆层到基体的显微硬度曲线, 硬度值测试间隔距离为 0.1 mm. 可以看出, 刀刃熔覆层的显微硬度在 7.0 ~ 12.0 GPa 之间波动, 平均显微硬度约为 9.0 GPa, 是基体(约 3.9 GPa)的 2.3 倍. 显微硬度值的波动表明刀刃熔覆层存在超硬的硬化质点(约 12.0 GPa), 同时存在硬度相对较低的软化基体(约 7.0 GPa). 这种软、硬相交替分布, 不仅提高了熔覆层的平均硬度, 且软化基体对超硬的硬化质点能起到韧化缓冲作用, 保证熔覆层具有很好的综合性能.

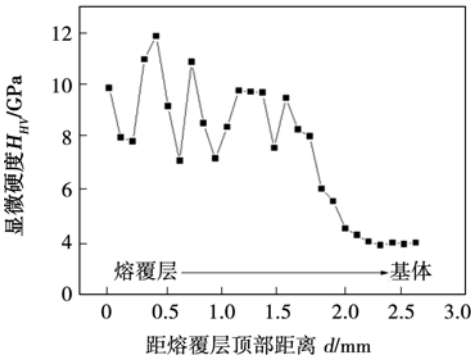


图 1 激光熔覆层显微硬度分布曲线

Fig. 1 Microhardness distribution curve of laser cladding layer

2.2 熔覆层显微组织分析

图 2 是刀刃截面低倍组织形貌. 由图 2 可以看出, 3Cr13 厨刀刀刃经激光熔覆处理之后断面形成了三个典型的区域, 即熔覆区、过渡区和基体. 熔覆层与基体结合良好, 且熔覆层内部组织致密, 没有裂纹、气孔和夹杂等缺陷存在. 这归功于所采用的硬质合金混合粉末具有良好的润湿性, 熔化后在基材的表面均匀敷散, 熔覆层致密性好, 且工艺参数经优化, 熔覆层不易产生气孔、裂纹等缺陷. 熔覆层与基体材料彼此渗透、互相熔合产生过渡区, 由于成分的互相扩散使得过渡区成为结合性能优良的冶金结合.

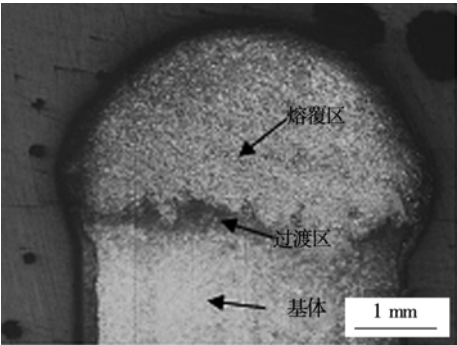


图 2 刀刃截面低倍组织

Fig. 2 Microstructure of blade section

图 3 所示为熔覆层的显微组织形貌. 从图 3 中可以看出, 熔覆层中存在大量尺寸细小的颗粒状和雪花状颗粒析出物, 起到弥散强化的作用. 熔覆层中无气孔和裂纹等缺陷的存在, 硬度高. 这样的熔覆层可以大大提高刀刃刃口的耐磨损性能, 提高刀具使用寿命.

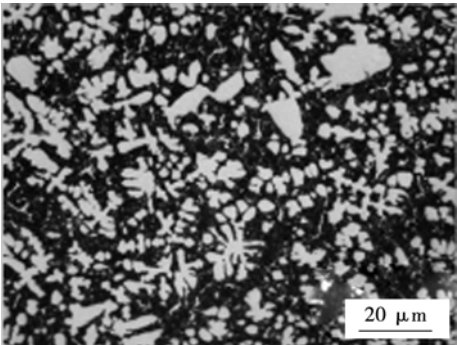


图 3 熔覆层断面显微组织

Fig. 3 Microstructure of cladding layer section

图 4 所示为熔覆过渡区的显微组织. 从图 4 中可以看出, 过渡区存在少量晶粒粗化现象, 但没有明显的过热组织, 主要为板条马氏体组织. 板条马氏

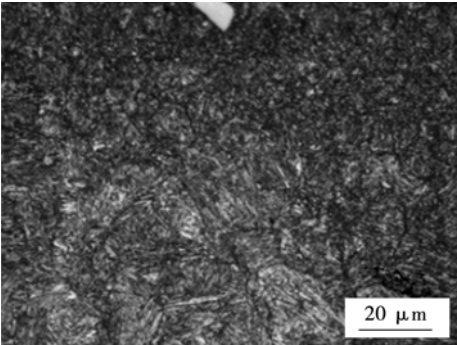


图 4 过渡区断面显微组织

Fig. 4 Microstructure of transition section

体的空间形态是扁条状的,晶粒之间一般以小角晶界相间.相邻板条之间往往存在厚度约 10 ~ 20 nm 的薄壳状的残余奥氏体,其含碳量质量分数较高,也很稳定,该组织特征有益于过渡区的力学性能.

图 5 所示为基体显微组织,从图 5 中可以看出基体组织为致密的针状马氏体,晶间存在少量颗粒析出碳化物.

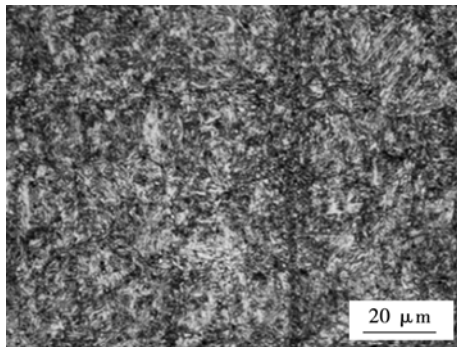


图 5 基体断面显微组织
Fig. 5 Microstructure of matrix section

2.3 熔覆层扫描电镜形貌及能谱点分析

图 6 为熔覆层背散射电子像和能谱点分析位置.从图 6 中可以看出,熔覆层中弥散分布着直径约 20 ~ 50 μm 的不规则颗粒物,结合显微硬度分析可知,这些颗粒物为熔覆层的强化相.图 7 为熔覆粉末 WC 的背散射电子像.通过对图 6 中不规则颗粒物与图 7 中 WC 粉末形貌对比分析可知,二者尺寸、形貌相似.

熔覆层能谱分析结果见表 3,其中测试点 1,2 和 3 为不规则颗粒物的能谱分析结果.从表 3 中可以看出,不规则颗粒物化学元素主要为 W 和 C.综合能谱及形貌对比分析可以确定,熔覆层中不规则颗粒为 WC 颗粒.测试点 4,5 和 6 分别为熔覆层中 304L

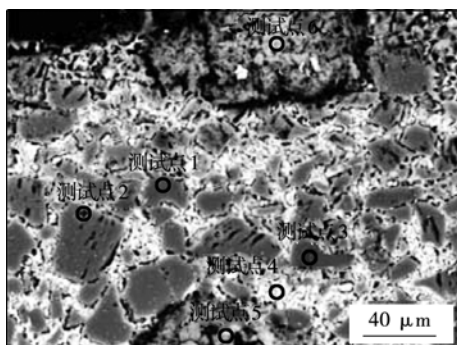


图 6 熔覆层 SEM 背散射电子形貌及能谱点分析位置
Fig. 6 Backscattered electron image of cladding layer section and schematic of EDX analysis

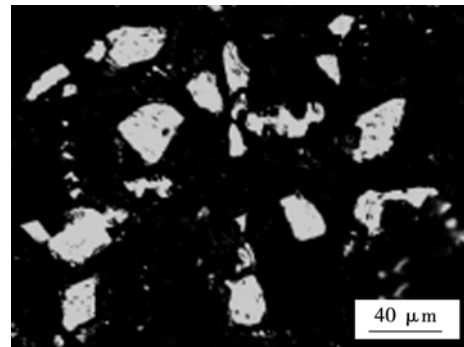


图 7 WC 粉末 SEM 背散射电子形貌
Fig. 7 Backscattered electron image of WC powder

基合金不同位置能谱点分析结果,相对于 4,5 和 6 测试点处的 C 和 W 元素含量较高,这些 C 和 W 元素主要来源于 WC 颗粒.分析认为,在激光熔覆过程中,WC 对激光束的吸收系数较金属粉末高的多,在高能激光束的作用下一部分 WC 颗粒会熔解(烧损).这些熔解的 WC 与作为基材的 304L 合金熔覆层其它元素相互作用,形成低熔点的碳化物共晶组织,它们会由于熔池内高速对流而以游离态存在于熔池或熔解于 304L 合金后重新凝固结晶析出^[8].

在激光熔覆过程中,一部分 WC 颗粒熔解于 304L 基合金中,大部分 WC 颗粒未熔解,而是直接镶嵌到 304L 基合金中.这种硬质颗粒 WC 镶嵌到软化基体 304L 中的熔覆层,使刀具在使用过程中 WC 颗粒不易脱落.同时由于 WC 颗粒硬度高、耐磨性好,大大提高了整个熔覆层的平均硬度及耐磨性.304L 基合金相对较软,对 WC 颗粒可以起到韧化缓冲作用,这种软、硬交替分布的熔覆层可大大提高刀具的使用性能.

表 3 能谱点分析结果(质量分数,%)

Table 3 Result of EDS analysis

测试点	C	W	Cr	Fe	Ni	Mn
1	21.49	68.85	2.15	6.66	0.85	-
2	23.78	66.84	2.19	6.28	0.91	-
3	21.54	70.56	2.36	5.16	0.38	-
4	4.24	1.53	15.97	67.72	10.49	0.15
5	12.16	27.30	9.14	41.85	9.44	0.11
6	17.10	12.11	11.38	50.10	9.13	0.18

3 结 论

(1) 采用优化的激光熔覆工艺参数,可以获得无气孔、裂纹和夹杂等缺陷的熔覆层,熔覆层与基体结合良好.

(2) 熔覆层的显微硬度在 7 ~ 12.0 GPa 之间波

动,平均显微硬度约为 9 GPa,是基体的 2.3 倍左右,大大提高了刀刃的硬度。

(3) 熔覆层中含有大量未熔的硬质颗粒 WC,并镶嵌到相对较软的 304L 基体中,这种结构对 WC 颗粒起到韧化缓冲作用,保证刀具使用过程中 WC 颗粒不易脱落,从而可提高刀具的使用性能。

参考文献:

- [1] 王传礼,赵国明. 3Cr13 不锈钢循环热处理工艺探讨[J]. 热处理技术与装备, 2010, 31(1): 43-44.
Wang Chuanli, Zhao Guoming. Discussion on cyclic heat treatment process of 3Cr13 stainless steel[J]. Heat Treatment Technology and Equipment, 2010, 31(1): 43-44.
- [2] 张万红. 激光熔覆陶瓷涂层的研究现状及发展[J]. 热加工工艺, 2009, 38(24): 39-42.
Zhang Wanhong. Present and evolution of laser cladding ceramic coating[J]. Hot Working Technology, 2009, 38(24): 39-42.
- [3] 彭竹琴,王红芳,卢金斌,等. 316L 不锈钢等离子熔覆 Ni 基合金涂层的组织与性能[J]. 焊接学报, 2011, 32(3): 89-92.
Peng Zhuqin, Wang Hongfang, Lu Jinbin, et al. Microstructure and corrosion resistance of Ni-based alloy coating by plasma cladding on 316L stainless steel[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2011, 32(3): 89-92.
- [4] 张 坚,吴文妮,赵龙志. 激光熔覆研究现状及发展趋势[J]. 热加工工艺, 2013, 42(6): 131-134.
Zhang Jian, Wu Wenni, Zhao Longzhi. Research progress and development trend of laser cladding[J]. Hot Working Technology, 2013, 42(6): 31-134.
- [5] 颜永根,斯松华,张 晖,等. 激光熔覆 Co + Ni/WC 复合涂层的组织和与磨损性能[J]. 焊接学报, 2007, 28(7): 21-24.
Yan Yonggen, Si Songhua, Zhang Hui, et al. Microstructure and wear resistance of laser cladding Co + Ni/WC alloy composite coating[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2007, 28(7): 21-24.
- [6] 张 松,周 磊,郝玉喜,等. Monel 合金表面激光熔覆镍基合金的组织及摩擦磨损性能[J]. 焊接学报, 2013, 34(1): 9-12.
Zhang Song, Zhou Lei, Hao Yuxi, et al. Microstructure friction and wear properties of Ni-based alloy coating on monel alloy substrate by laser cladding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2013, 34(1): 9-12.
- [7] 陈莹莹,李文戈,吴培桂. 激光熔覆原位合成碳化钨增强铁基表面复合材料的研究[J]. 金属热处理, 2011, 36(3): 64-67.
Cheng Yingying, Li Wenge, Wu Peigui. In situ synthesis tungsten carbide reinforced ferrous matrix surface composites by laser cladding[J]. Heat Treatment of Metals, 2011, 36(3): 64-67.
- [8] 刘其斌,王存山,夏元良. 宽带激光熔覆 WCp/Ni 基合金梯度涂层中 WCp 的溶解机理[J]. 材料热处理学报, 2001, 22(3): 33-36.
Liu Qibin, Wang Cunshan, Xia Yuanliang. Study on solution mechanism of cast WCp/Ni base alloy gradient coating by wide-band laser cladding[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2001, 22(3): 33-36.

作者简介:尹 燕,女,1973 年出生,博士,教授. 主要研究方向为高效率焊接及先进的激光加工技术. 发表论文 30 余篇. Email: yin-yan@lut.cn

[上接第 84 页]

- [7] Yi J, Cao S F, Li L X, et al. Effect of welding current on morphology and microstructure of Al alloy T-joint in double-pulsed MIG welding[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25(10): 3204-3211.
- [8] Antrell. Method of making AA7xxx series aluminum product having a modified solution heat treating process for improved exfoliation corrosion resistance;US,5785777[P]. 1998-07-15.
- [9] 王大勇,冯吉才,许 威. 热处理对 Al-Li-Cu 合金 TIG 焊接头组织及力学性能的影响[J]. 焊接学报, 2003, 24(6): 23-

25.

Wang Dayong, Feng Jicai, Xu Wei. Effect of heat treatment on microstructures and mechanical properties of Al-Li-Cu alloy TIG welded joint[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2003, 24(6): 23-25.

作者简介:刘长军,男,1971 年出生,博士研究生,副教授. 主要从事表面强化及铝合金焊接的科研和教学工作,发表论文 10 余篇. Email: liuchj1971@126.com