

钴基合金 TIG 堆焊层界面组织及性能的研究

李国栋¹, 栗卓新¹, 杨津瑜², 冯吉才³

(1. 北京工业大学材料科学与工程学院, 北京 100124; 2. 中油管道机械制造有限公司, 河北 廊坊 065000; 3. 哈尔滨工业大学先进焊接与连接国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 采用钨极氩弧焊在 X45CrSi9-3 钢基体表面堆焊钴基合金。堆焊后, 将堆焊试样分别放入 500、550、650、700、750 及 780 ℃ 的热处理炉中对其进行热处理。对不同温度热处理后堆焊层的硬度进行了测试, 采用光学显微镜观察了母材及不同温度热处理后堆焊层的金相组织。研究表明: 在氩弧焊热源作用下, X45CrSi9-3 钢表面发生微熔。钴基合金进入熔池后并未与基体发生剧烈的熔池搅拌。堆焊后, 堆焊层界面平齐, 无气孔及裂纹等缺陷, 实现了冶金结合。钴基合金堆焊层的组织为共晶碳化物相 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 和基体相 $\gamma(\text{Co})$ 。 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 呈共晶形貌, 并将 $\gamma(\text{Co})$ 夹于其间。随着焊后热处理温度的提高, 堆焊层洛氏硬度值增加; 热处理温度达到 750 ℃ 时, 其硬度值最高, 进一步提高热处理温度, 硬度值略有下降。

关键词: 钨极氩弧焊; 钴基合金; 堆焊

中图分类号: TG455

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2014)21-0050-03

Study on Microstructure and Properties of Cobalt-base Alloys Hardfacing Metal Deposited by TIG Welding

LI Guodong¹, LI Zhuoxin¹, YANG Jinyu², FENG Jicai³

(1. College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China, 2. China Oil Pipeline Machinery Manufacturing, Langfang 065000, China; 3. State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Cobalt-base alloys were deposited on the surface of X45CrSi9-3 steel with tungsten inert gas welding, and the deposited metals were heat treated at the temperature of 500℃, 550℃, 600℃, 650℃, 700℃, 750℃, 780℃, respectively. The microstructure was observed by optical microscope. The hardness tests were carried out by Rockwell hardnessmeter. The research results show that, the surface of X45CrSi9-3 steel melted slightly under the effect of argon arc. Cobalt-base alloys enter into the molten pool, and did not stir the melted base metal. The interface between the base metal and deposited metal is smooth, and there are not any defects such as pores and cracks. A metallurgical bonding was achieved. The microstructure of deposited metal was $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ eutectic phase and $\gamma(\text{Co})$ phase. $\gamma(\text{Co})$ phase was enclosed by $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ eutectic phase. With heat treated temperature increasing, the hardness of the deposited metal increases.

Key words: TIG welding; cobalt-base alloy; hardfacing

堆焊是一种应用广泛的焊接方法, 可以使材料表面获得优异的耐磨性、抗腐蚀性及抗氧化性等性能, 从而延长被堆焊材料使用寿命, 保护设备的安全及有效运行^[1]。堆焊作为一种经济、有效的表面改性方法, 已在现代材料加工与设备制造中广泛应用。堆焊方法众多, 几乎熔化焊的方法都可以用来堆焊, 如气保护堆焊^[2]、埋弧堆焊^[3]、等离子堆焊^[4]及激光堆焊^[5]等。钨极氩弧焊(TIG)采用惰性气体或惰性气体 + 活性气体作

为保护介质^[6], 堆焊过程中可避免堆焊层中出现气孔、夹渣等缺陷, 具有保护效果良好, 电弧稳定、热量集中、热影响区小及堆焊层洁净等优点, 尤其适用于一些小零部件及有色金属的特殊场合堆焊。

钴基合金是钴和铬、钨、铁、镍组中的一种或几种制成的合金的总称^[7]。钴基合金是面心立方的钴基固溶体, 具有硬度高、耐磨性好及优良的耐腐蚀性, 即使在 650~700℃ 的高温下使用, 也能保持这些特点。因此, 钴基合金常用于一些发动机阀门、涡轮叶片等场合。对于一些小零部件及薄壁工件的钴基合金堆焊, 钨极氩弧焊具有不可比拟的优势。本文采用钨极氩弧焊的方法在基体材料上堆焊钴基合金, 研究了堆焊层界面的显微组织和不同焊后热处理温度对堆焊层洛氏硬度值的影响。

收稿日期: 2014-02-26

基金项目: 先进焊接与连接国家重点实验室开放课题基金资助项目(AWJ-M13-01)

作者简介: 李国栋(1974-), 男, 山西太原人, 讲师, 博士, 主要研究方向: 焊接材料与焊接冶金; 电话: 010-67396603;

E-mail: guodongli@bjut.edu.cn

1 试验材料及方法

堆焊基体材料为 X45CrSi9-3, 其化学成分如表 1 所示。基体材料的尺寸为 60 mm×60 mm×10 mm。钴基合金焊丝的化学成分见表 2, 焊丝直径为 3.2 mm。

表 1 X45CrSi9-3 基体化学成分(质量分数, %)
Tab.1 Chemical composition of X45CrSi9-3(wt%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
0.40~0.50	2.70~3.30	≤0.80	8.00~10.00	≤0.60	≤0.040	≤0.030

表 2 钴基合金化学成分(质量分数, %)
Tab.2 Chemical composition of cobalt-bases alloys(wt%)

C	Cr	Si	Si	Fe	Mo	Ni	Mn	Co
1.45	29	2.0	8.5	3.0	1.0	3.0	1.0	余量

采用 TIG 焊在 X45CrSi9-3 基体上堆焊钴基合金。堆焊设备为 Precision TIG375。堆焊工艺参数为: 焊接电流 110~130 A, 焊接电压 20~24 V, 焊接速度 6~8 cm/min。焊前对基体进行炉中预热, 预温温度为 300 ℃, 层间温度为 260~310 ℃。堆焊后, 先将试样放入 300 ℃的炉中保温 2 h, 后随炉冷却。待组织完全转变完全后, 再将试样分别放入 500、550、650、700、750 及 780 ℃的电炉中热处理。热处理完后所有试样均随炉冷却。

采用 OLYMPUS-PMG3 金相显微镜观察堆焊层组织; 采用 HR-150A 洛氏硬度计测量其硬度, 加载 150 kg, 测 6 点洛氏硬度值, 取其平均值作为最终硬度值。

2 试验结果及讨论

2.1 X45CrSi9-3 钢的原始组织形貌

X45CrSi9-3 钢的原始组织如图 1 所示。图中的块状组织为马氏体。在马氏体晶粒边界及晶界内分布着一些黑色点状物。由表 2 可知, 钴基合金的含碳量高达 1.45%, 结合 X45CrSi9-3 的金相组织可知, 该黑色点状物为碳化物。从图 1 可看到, 这些黑色碳化物弥散分布在基体中, 因而可有效地提高基体的

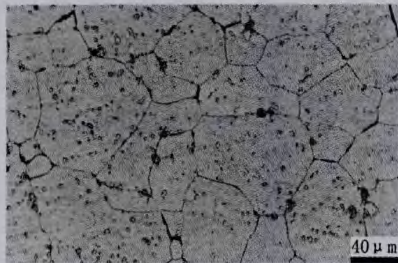


图 1 X45CrSi9-3 钢的光学显微组织
Fig.1 Microstructure of X45CrSi9-3 steel

力学性能。

2.2 堆焊层界面处的显微组织

图 2 为钴基合金堆焊层界面处的显微组织。可看出, 钴基合金基体基本未与 X45CrSi9-3 钢发生明显的互溶现象。X45CrSi9-3 钢与钴基合金堆焊层界面平整, 结合界面无裂纹及孔洞现象发生。可以推断, 在钨极氩弧焊集中的热量之下, X45CrSi9-3 钢仅仅发生了微熔。在 TIG 过程中, 熔融态的钴基合金熔滴与微熔的 X45CrSi9-3 钢接触之后平缓过渡到熔池, 并未与微熔的 X45CrSi9-3 钢发生剧烈的熔池搅拌作用。随着热源的离开及温度的降低, 熔池凝固, X45CrSi9-3 钢与钴基合金实现了冶金结合。

图 3 为 X45CrSi9-3 钢热影响区中粗晶区的显微组织。可看出, 与 X45CrSi9-3 钢的原始组织相比, 马氏体晶界更为清晰, 热影响区的粗晶区中的晶粒发生了明显的粗化。原始组织中光学显微镜下晶内呈点状分布的碳化物在焊接热源集中热量的作用下长大, 并呈网状析出。尤其是在靠近熔合线处, 碳化物析出更为明显。

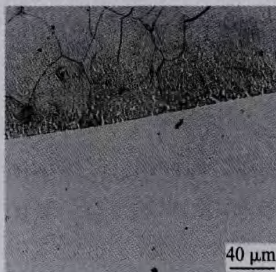


图 2 堆焊层界面处的显微组织

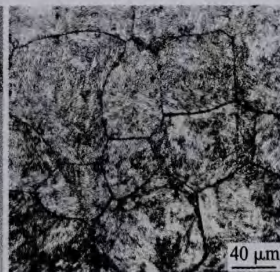


图 3 X45CrSi9-3 钢粗晶区的显微组织

Fig.2 Microstructure of interface of deposited metal Fig.3 Microstructure of coarse grain zone in X45CrSi9-3

图 4 为试样堆焊一层随炉冷却后, 熔合线一侧钴基堆焊层合金的显微组织。可看出, 在 TIG 热源作用下, 钴基合金以 X45CrSi9-3 钢为基底, 以柱状晶的形态外延生长^[9]。堆焊层有明显的界面, 左侧一侧为紧邻熔合线的堆焊层, 右侧为靠近表面的堆焊层。紧邻熔合线处, 柱状晶几乎没有分支, 柱状晶向外生长的方向相同, 呈平行方向。柱状晶之间分布着细小的条状晶, 条状晶密排方向与柱状晶生长方向相同。随着离熔合线距离的增加, 靠近表面处堆焊层中的柱状晶明显变细变少, 条状晶则变细变多。大部分柱状晶与条状晶, 与紧邻熔合线处的柱状晶生长方向相同, 小部分柱状晶呈开始出现分支。堆焊层中出现明显不同的两部分组织显然与其冷却速度不同

有关。靠近表面的堆焊层,在 TIG 焊电弧离开后,温度较高,与外部温度相差大,由表 2 可知,钴基合金中含有较多增加淬硬性的元素,因而熔池冷却速度较快,组织得到细化。靠近熔合线一侧堆焊层,一方面由于母材焊前预热,另一方面其外侧存在堆焊层,其冷却速度相对较小,组织较外侧堆焊层粗大。

图 5 为钴基合金堆焊层的微观组织。可看出,钴基合金堆焊层的组织主要为 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 和 $\gamma(\text{Co})$ 固溶体^[9]。 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 呈共晶形貌,并且 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 在枝晶间互相联接,构成条束状的网框,将富钴的 $\gamma(\text{Co})$ 固溶体包裹其间。由于堆焊层冷却速度快及共晶相 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 的存在, $\gamma(\text{Co})$ 相平行排列,规整有序。

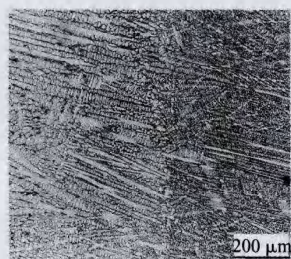


图 4 焊态下熔合线一侧钴基堆焊层合金组织

Fig.4 Microstructure of deposited metal in fusion zone

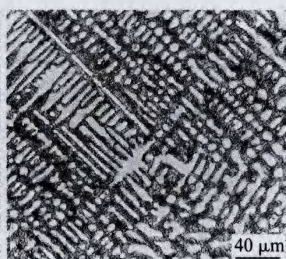


图 5 堆焊层钴基合金显微组织

Fig.5 Microstructure of deposited metal

2.3 堆焊层的宏观硬度

不同热处理规范下的试样的硬度测试结果如图 6 所示。可见,热处理温度 $\leq 600^\circ\text{C}$ 时,堆焊层的硬度值在 40HRC 左右,热处理温度在 $500\sim 600^\circ\text{C}$ 范围内,仅是对堆焊层起到了消除焊接应力的作用,对硬度值影响不大;超过 600°C 后,硬度值迅速增高,热处理温度为 750°C 时,硬度值达到 50.1HRC。这是由于随着热处理温度的升高,堆焊层中共晶碳化物析出数量增多,从而增加了堆焊层的硬度。进一步提

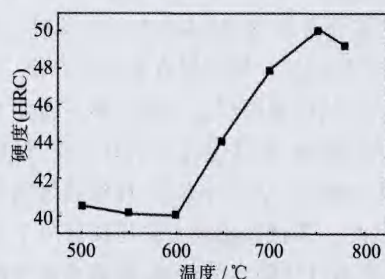


图 6 不同退火温度下堆焊层的硬度值

Fig.6 Hardness of deposited metal at different annealing temperatures

高焊后热处理温度,硬度值略有减小,这与共晶相 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 和基体相 $\gamma(\text{Co})$ 晶粒发生长大有关。

3 结论

(1) 通过控制氩弧焊工艺,可使 X45CrSi9-3 钢表面发生微熔。X45CrSi9-3 钢与钴基合金堆焊层界面平整,结合界面无裂纹及孔洞现象,实现了冶金结合。

(2) 堆焊层热影响区粗晶区晶粒发生明显长大,碳化物呈网状析出,且越靠近熔合线,碳化物析出量越多。由于堆焊层冷却速度快,钴基合金中的枝晶具有明显的方向性。越靠近堆焊层表面,共晶碳化物 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 和基体相 $\gamma(\text{Co})$ 越细小。

(3) 随着焊后热处理温度的提高,钴基合金堆焊层硬度值升高。热处理温度超过 780°C 时,硬度值略有下降。

参考文献:

- [1] 唐景富. 堆焊技术及实例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 李国栋, 栗卓新, 李红, 王阳阳. 高硬度 CO_2 气保护堆焊药芯焊丝的研制及其耐磨性能研究 [J]. 中国表面工程, 2009, 22 (6): 64-67.
- [3] 李国栋, 栗卓新, 李红, 魏琪. 开坯辊堆焊用金属芯焊丝的研制及其堆焊性能的研究 [J]. 材料科学与工艺, 2009, 17 (增刊): 128-130.
- [4] 李国栋, 栗卓新, 李宏林, 张莉. 等离子堆敷铜/钢异种金属焊接接头性能及结合机理研究 [J]. 中国机械工程, 2008, 19 (5): 606-608.
- [5] 李国栋, 栗卓新, 魏琪, 王英杰. 氩-氦-二氧化碳混合气体电弧行为及其对焊缝成形的影响 [J]. 材料工程, 2007, 3: 38-41.
- [6] Klimpela A, Dobrzański L A, Lisieckia A, Janickia D. The study of the technology of laser and plasma surfacing of engine valves face made of X40CrSiMo10-2 steel using cobalt-based powders [J]. Journal of materials processing technology, 2006, 175 (1-3): 251-256.
- [7] 刘玉珍, 桂业炜. 钴铬钨合金的应用 [J]. 机械工程材料, 1992 (5): 1-4.
- [8] Ravi Bharath R, Ramanathan R, Sundararajan B, et al. Optimization of process parameters for deposition of Steelite on X45CrSi3 Steel by plasma transferred arc technique [J]. Materials and Design, 2008, 29: 1725-1731.
- [9] 侯清宇, 高甲生. 钴基合金粉末等离子弧堆焊的显微结构 [J]. 焊接, 2003 (9): 20-24. [11]