

球墨铸铁镶铸硬质合金的显微组织与力学性能研究

黄科伟¹, 海丰龙², 邓 晗², 章文显²

(1. 江苏联合职业技术学院常州铁道分院, 江苏常州 213000; 2. 中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213000)

摘要: 通过在球墨铸铁中镶铸硬质合金的工艺, 探究球墨铸铁与硬质合金复合界面的显微组织与力学性能。结果表明, 球墨铸铁镶铸硬质合金的界面属于良好的冶金结合, 复合界面通过熔合结合和扩散结合的共同作用而形成, 其平均厚度为 $(107 \pm 14) \mu\text{m}$ 。复合过渡层的组织除均匀分布的WC颗粒外, 还分为两个亚组织: 近球墨铸铁侧为珠光体-铁素体基体; 近硬质合金侧为Co基体与珠光体-铁素体混合基体。复合界面的硬度在HV 960到HV 1 104, 其剪切强度为240 MPa。

关键词: 球墨铸铁; 硬质合金; 镶铸

在工程机械和矿山机械等领域广泛需要耐磨性能好、使用寿命长的耐磨材料以适应相对恶劣的工况。硬质合金由于具有高硬度、高耐磨性而被称为“工业的牙齿”, 但其韧性很差, 导致其使用寿命很短^[1-2]。近年来, 研究者采用钎焊工艺将硬质合金与45钢焊接在一起, 可以做到兼具耐磨性高和生产成本低的优势^[3], 但由于工艺复杂、焊接缺陷等因素的影响, 产品的综合使用寿命一般。此外, 也有人采用高铬铸铁镶铸硬质合金、铬合金钢镶铸硬质合金等工艺制备采煤机的截齿件^[4], 避免了钎焊时焊接不均匀造成的结合强度低的缺点, 但高铬铸铁韧性较差, 而铬合金钢的成本也较高。球墨铸铁由于铸造性能良好、价格便宜, 且具有优异的综合力学性能而广泛应用于各行各业^[5]。因此, 本试验采用球墨铸铁镶铸硬质合金的工艺, 探究其复合界面的组织与力学性能, 期望得到较长使用寿命的耐磨复合材料, 从而满足实际生产需求。

1 试验材料与方法

本试验选用的基体球墨铸铁材质为QT500-7, 耐磨硬质合金的材质为WC-Co, 镶铸的整体工艺流程如图1所示。在熔炼前需要先将硬质合金进行切割、清洗和干燥处理, 以去除其表面油污和氧化物等杂质, 然后经过一定的预处理后固定于型腔中等待浇注。为了保证复合界面的结合性, 硬质合金的大小需要配合浇注铁液的体积量, 以保证硬质合金与球墨铸铁的体积比小于1/10~1/8^[6-8]。硬质合金在型腔的安置示意图如图2所示, 其中硬质合金片的厚度为3 mm, Y型试块厚25 mm。球墨铸铁在500 kg的中频感应炉中进行熔炼, 经过配料、化料后, 进行及时的搅拌和扒渣处理,

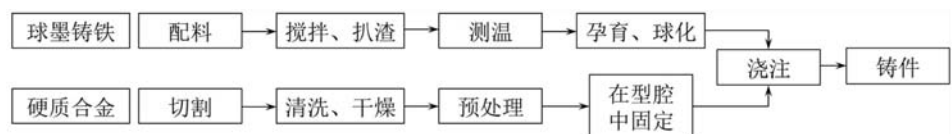


图1 试验工艺流程

Fig. 1 Flow chart of the experimental process

作者简介:

黄科伟(1977-), 男, 讲师, 高级技师, 研究方向为金属材料检验分析。E-mail: cs21888@163.com

中图分类号: TG255

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)07-0853-04

收稿日期:

2021-11-15 收到初稿,
2022-01-07 收到修订稿。

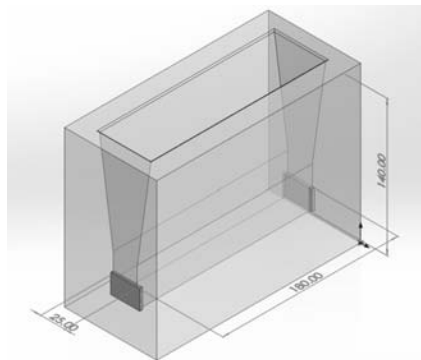


图2 硬质合金块在型腔的安置示意图

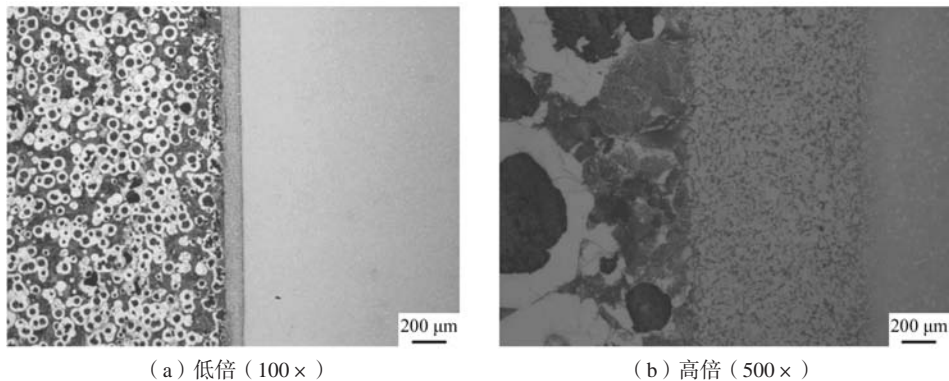
Fig. 2 Schematic diagram of the placement of cemented carbide blocks in the cavity

然后测量铁液温度，到温后保温一定时间再出铁液。在转运包中进行铁液的孕育和球化处理，最后浇注得到球墨铸铁镶铸硬质合金的复合材料。对铸态产品切割取样，并进行金相、扫描电镜测试以及力学性能检测分析其界面结合情况。

2 试验结果及讨论

2.1 金相组织

图3是球墨铸铁镶铸硬质合金的金相组织形貌。



(a) 低倍 (100×)

(b) 高倍 (500×)

图3 复合界面的金相显微组织

Fig. 3 Microstructures of the compound interface

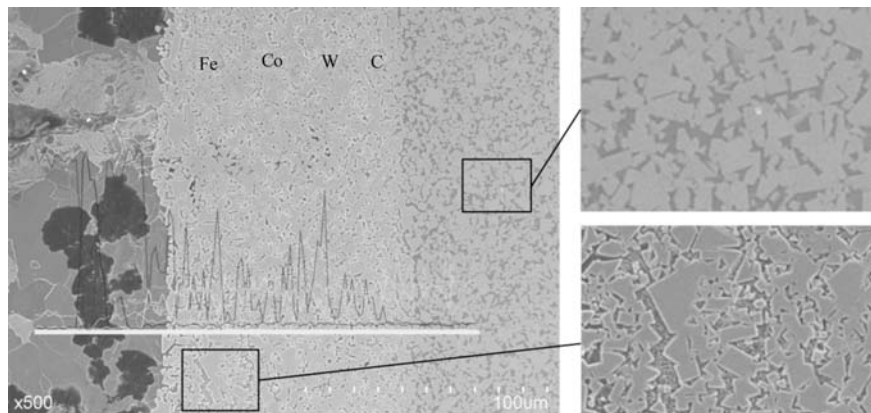


图4 复合界面的SEM形貌

Fig. 4 SEM morphologies of the compound interface

可以看出，球墨铸铁与硬质合金的界面为良好的冶金结合，整个过渡层呈现为平直的状态，其平均厚度为 $(107 \pm 14) \mu\text{m}$ 。基体球墨铸铁的组织中，石墨球大小稳定、分布均匀，珠光体含量在45%左右。但在靠近过渡层70 μm 左右的范围内出现珠光体的聚集且球状石墨的形状异常现象，如图3a所示，这些形状不规则的石墨均属于球化异常石墨。由于浇注前硬质合金本身具有一定的预热温度，其表面会发生轻微的氧化，经过孕育球化后的铁液中的活性镁在接触到硬质合金表面时发生氧化还原反应而被部分消耗，因此在接近硬质合金表面的地方出现了球化异常的现象。从图3b中可以看出，过渡层组织是由碳化钨颗粒与黑色基体相组成，因此硬质合金的原始界面应在球墨铸铁与过渡层的界面附近。球墨铸铁的实际浇注温度在1 360 $^{\circ}\text{C}$ 左右，超过了硬质合金的共晶温度，使得硬质合金表面熔融，然后在熔融状态下与铁液之间发生了熔合结合。

2.2 SEM 分析

复合界面过渡层的扫描电镜形貌以及元素的EDS线扫描结果如图4所示。可以看出，Fe、Co等元素在复合界面发生了互扩散，表明球墨铸铁与硬质合金是

在熔合结合的基础上发生了元素之间的扩散结合。由于液相之间的扩散速度很快,因此硬质合金表面发生熔融的程度与Fe元素在硬质合金中的扩散程度基本一致。从右侧的局部放大图中可以看出,硬质合金的基体组织为WC颗粒与黑色的Co基体,而过渡层组织中的基体除了WC颗粒外,其基体组织表现为两种亚组织:在过渡层靠近球墨铸铁一侧,为球墨铸铁的珠光体-铁素体基体;在过渡层靠近硬质合金侧为Co基体与珠光体-铁素体基体的混合基体。

2.3 界面力学性能

2.3.1 显微硬度

图5为球墨铸铁镶铸硬质合金的复合界面显微硬度分布情况。球墨铸铁件的显微硬度值约为HV 308,复合界面层的显微硬度在HV 960~1 104之间逐渐变化,硬质合金的显微硬度值约为HV 1 116。结合扫描电镜的结果可知,在WC含量基本一致的情况下,Fe基硬质合金的硬度小于Co基硬质合金。此外,在靠近球墨铸铁一侧,由于硬质合金发生熔融的程度更加剧烈,基体体积分数在过渡层从硬质合金到珠光体一侧呈现增加的趋势,因此过渡层的硬度出现逐渐减少的现象。此

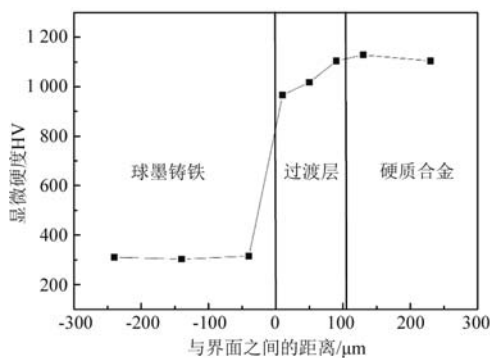


图5 复合界面的显微硬度

Fig. 5 Microhardnesses of the compound interface

外,少量的Co元素扩散到球墨铸铁中并未明显改变球墨铸铁的硬度。

2.3.2 剪切强度

尺寸为10 mm × 10 mm × 60 mm的试棒在电子万能试验机上进行压剪试验,结果表明,硬质合金与球墨铸铁之间的剪切力为(24 ± 3) kN,相应地,复合界面的剪切强度为240 MPa。图6为剪切试验的断口形貌图,可以看出,断裂的部位在硬质合金上,说明了二者之间存在良好的冶金结合。

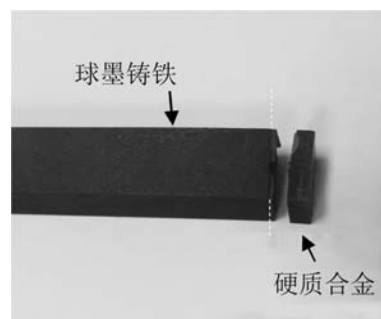


图6 剪切试验断口

Fig. 6 Fracture of the shear test

3 结论

(1) 球墨铸铁镶铸硬质合金的界面结合良好,组织平直且均匀,其平均厚度为(107 ± 14) μm。复合过渡层的组织除WC颗粒外,还分为两个亚组织:近球墨铸铁侧为珠光体-铁素体基体;近硬质合金侧为Co基体与珠光体-铁素体混合基体。

(2) 复合界面是以熔合结合和元素的扩散结合两种方式共同作用而形成的。

(3) 复合界面的硬度介于球墨铸铁与硬质合金之间,在HV 960~1 104之间逐渐变化。复合界面的剪切强度为240 MPa。

参考文献:

- [1] 羊建高. 硬质合金 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2012.
- [2] 张卫兵, 刘向中, 陈振华, 等. WC-Co硬质合金最新进展 [J]. 稀有金属, 2015, 39 (2): 178-186.
- [3] 酃剑, 罗娟, 罗来马, 等. 硬质合金与钢基体钎焊技术的研究进展 [J]. 材料科学与工程学报, 2009, 27 (6): 955-958.
- [4] 纪朝辉. 采煤机镶铸硬质合金截齿的试验研究 [J]. 铸造, 2004 (1): 46-48.
- [5] 吴德海. 球墨铸铁 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [6] 刘湘, 李铸刚, 许巧玉, 等. 我国镶铸技术的研究现状与展望 [J]. 新疆大学学报 (自然科学版), 2002, 19 (4): 500-504.
- [7] 张军. 双金属复合铸造工艺的研究 [D]. 郑州大学, 2006.
- [8] 尧登灿, 章跃荣, 何秋涛. 钢结硬质合金—球铁镶铸工艺 [J]. 铸造, 1995 (12): 27-30.

Study on Microstructure and Mechanical Properties of Ductile Iron Insert Casting Cemented Carbide

HUANG Ke-wei¹, HAI Feng-long², DENG Han², ZHANG Wen-xian²

(1. Changzhou Railway Branch of Jiangsu Union Technical Institute, Changzhou 213000, Jiangsu, China; 2. CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213000, Jiangsu, China)

Abstract:

The microstructure and mechanical properties of the composite interface of ductile iron and cemented carbide were explored through the process of inserting cemented carbide in the ductile iron. The results showed that the interface of the ductile iron insert cemented carbide was well bonded. The composite interface was formed by the combined action of fusion bonding and diffusion bonding, and its average thickness was (107 ± 14) μm . In addition to the uniformly distributed WC particles, the structure of the composite transition layer was divided into two substructures: near the ductile iron side was the pearlite-ferrite matrix; near the cemented carbide side was the Co matrix and pearlite-ferrite mixed matrix. The hardness of the composite interface was between HV 960 and HV 1 104, and its shear strength was 240 MPa.

Key words:

ductile iron; cemented carbide; insert casting
