

WC 预制体柱增强铁基复合材料的显微组织和性能

张 飞^{1,3} 王兴宇^{2,3} 李祖来^{2,3} 山 泉^{2,3} 廖泽鑫^{2,3} 苟浩杰^{2,3} 向信华^{2,3}

(1.昆明理工大学机电工程学院; 2.昆明理工大学材料科学与工程学院;

3.昆明理工大学金属先进凝固成形及装备技术国家地方联合工程实验室)

摘 要 采用砂型铸造工艺制备具有预制体结构的 WC 颗粒增强铁基复合材料,研究不同预制体直径对 WC 增强铁基复合材料的显微组织和三体磨料磨损性能的影响。结果表明,预制体直径为 5 mm 和 10 mm 时,预制体与基体间均产生了明显的过渡层。复合材料的显微组织主要有含 WC、Fe₃W₃C 和 M₇C₃ 型碳化物,且过渡层和预制体区域比高铬铸铁基体具有更高的硬度,预制体直径为 10 mm 的复合材料具有最小的磨损失重,耐磨性最佳,磨损形貌主要表现为犁沟和剥落等特征。

关键词 WC 颗粒;铁基复合材料;预制体直径;耐磨性

中图分类号 TB331;TG113

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.06.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Microstructure and Properties of WC Preform Column Reinforced Iron-based Composites

Zhang Fei^{1,3}, Wang Xingyu^{2,3}, Li Zulai^{2,3}, Shan Quan^{2,3}, Liao Zexin^{2,3}, Gou Haojie^{2,3}, Xiang Xinhua^{2,3}

(1.School of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology;

2.School of Materials Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology;

3.National and Local Joint Engineering Laboratory for Advanced Metal Solidification and Equipment Technology, Kunming University of Science and Technology)

Abstract: The WC particle reinforced iron-based composites with prefabricated structure were prepared by sand casting process. The influence of different prefabricated column diameters on the microstructure and three-body abrasive wear properties of WC reinforced iron-based composites was investigated. The results indicate that when the preform diameter is 5 mm and 10 mm, an obvious transition layer is formed between the preform and the iron-based matrix. The microstructure of the composite is mainly composed of WC, Fe₃W₃C and M₇C₃ carbides, and the hardness of the transition layer and preform zone is higher than that of the high chromium cast iron matrix. The composites with prefabricated column diameter of 10 mm exhibit the lowest wear rate and the optimal wear resistance, where the wear morphologies are characterized by furrows and spalling.

Key Words: WC Particles, Iron-based Composite, Preform Column Diameter, Wear Resistance

收稿日期:2022-03-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52071166,51871116);云南省高唯院士工作站资助项目(202005AF150006)

第一作者简介:张 飞,男,1992 年出生,博士,昆明(650093),E-mail:15096694110@163.com

通信作者:李祖来,男,1977 年出生,教授,昆明(650093),E-mail:lizulai@126.com

引用格式:张 飞,王兴宇,李祖来,等. WC 预制体柱增强铁基复合材料的显微组织和性能[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(6):677-680.

ZHANG F, WANG X Y, LI Z L, et al. Microstructure and properties of WC preform column reinforced iron-based composites[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(6):677-680.

- [7] 蒋文明,李广宇,管峰,等. 热处理对消失模铸造固-液复合 Al/Mg 双金属界面组织的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(10): 1 050-1 056.
- [8] MUHAMMAD N A, WU C S, TIAN W. Effect of ultrasonic vibration on the intermetallic compound layer formation in Al/Cu friction stir weld joints[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2019, 785: 512-522.
- [9] 张政,蒋文明,李广宇,等. 浇注温度和 Ni 涂层对消失模铸造 Al/Mg 双金属界面组织的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(5): 539-543.
- [10] KUMAR S, WU C. Suppression of intermetallic reaction layer by ultrasonic assistance during friction stir welding of Al and Mg based alloys[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2020, 827: 154 343.

- [11] GUAN F, JIANG W M, WANG J L, et al. Development of high strength Mg/Al bimetal by a novel ultrasonic vibration aided compound casting process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 300: 117 441.
- [12] PATEL V K, BHOLE S D, CHEN D L. Microstructure and mechanical properties of dissimilar welded Mg-Al joints by ultrasonic spotwelding technique[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2012, 17(3): 202-206.
- [13] WANG Z, SONG M, SUN C, et al. Effects of particle size and distribution on the mechanical properties of SiC reinforced Al-Cu alloy composites[J]. Materials Science and Engineering, 2011, A528(3): 1 131-1 137.

(编辑:彭瑾)

陶瓷颗粒增强铁基复合材料由于其具有良好的强度和耐磨性被广泛研究^[1~3]。WC 陶瓷颗粒由于具有高硬度、高强度,且与铁水润湿性极好^[4],因此 WC 铁基复合材料的耐磨性较高,成为耐磨件生产开发的重要选择之一。

通过离心铸造工艺制备的 WC 颗粒增强铁基复合材料在凝固过程中形成碳化物和牢固的冶金结合界面,大幅提高了复合材料的耐磨性^[5]。郭在在等^[6]采用消失模铸造制备了 WC/高铬铸铁复合材料板锤,铸渗后的截面厚度达到 6~8 mm,使用寿命比高铬铸铁提高了 43%,具有明显的性价比优势。此外,具有结构效应下的铁基复合材料也能进一步改善耐磨性,蜂窝状构型 ZTA/Fe 基复合材料的三体磨料磨损耐磨性比高铬铸铁基体极大提高^[7]。SONG Y P 等^[8]采用离心铸造法制备了梯度复合材料,分别含有体积分数为 54% 和 70% 的 WC-Fe-C 合金,获得了厚度为 23~28 mm 的 WC/Fe 复合材料层,梯度复合层的耐磨性远大于高速钢。然而,对于具有预制体结构的 WC 增强铁基复合材料在砂型铸造工艺下的组织及耐磨性研究报道很少。

本课题通过砂型铸造法制备了 WC 增强铁基复合材料,将不同直径下的 WC 预制体与高铬铸铁基体复合,分析了预制体加入铁基体对复合材料显微组织、硬度和耐磨性的影响,旨在为相关耐磨件的生产应用提供参考。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

以 WC 作为陶瓷增强颗粒,高铬铸铁为基体。预制体含有质量分数为 50% 的 WC 颗粒,其尺寸为 150~180 μm 。Ni 粉含量为 40%,Ni60WC25 含量为 10%,尺寸为 60~90 μm 。

1.2 制备方法

陶瓷颗粒与 Ni 粉末进行充分的均匀混合后压制成预制体,并将 WC 预制体在 1 000 $^{\circ}\text{C}$ 下烧结 60 min。用

砂型铸造复合材料,预制体的直径分别为 $\phi 5\text{ mm}$ 和 $\phi 10\text{ mm}$,在中频感应炉中熔炼,将预制体安放在砂型型腔中,在 1 480 $^{\circ}\text{C}$ 下浇注,获得 WC 颗粒增强铁基复合材料,见图 1。

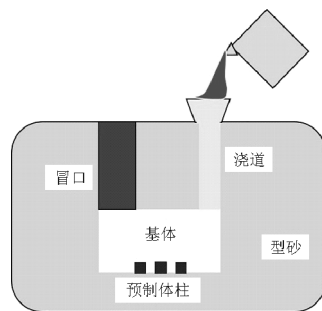


图 1 WC 预制体增强铁基复合材料的砂型铸造示意图

Fig.1 Schematic diagram of sand casting of WC preform reinforced iron-based composites

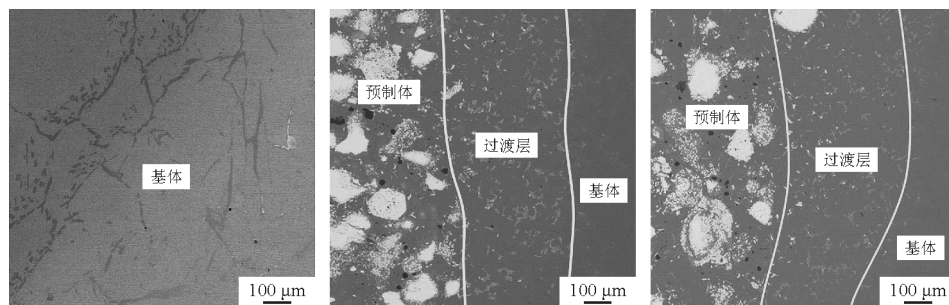
1.3 测试与表征

采用 D/max-3B 型 X 射线衍射仪(XRD)分析铸造后 WC 铁基复合材料的物相组成;通过 EVO18 型扫描电镜(SEM)观察不同工艺参数下复合材料的显微组织和磨损形貌;通过 GENESIS 型能谱仪(EDS)进行元素分布面扫描测试。不同参数下的硬度由 HX-1000 型显微硬度计测试,基体、过渡层和预制体区域分别采 3 个点,取平均值;通过 MFG-800SQ 往复摩擦试验机对不同工艺参数下的试样进行三体磨料磨损试验,对磨件材质为热轧 AISI 1020 钢,磨损移动速度为 1 500 mm/min,载荷为 600 N,3 个磨程试样的平均质量损失作为磨损失重。

2 试验结果与分析

2.1 显微组织

图 2 为 WC 增强铁基复合材料的 SEM 显微组织。可以看出,与高铬铸铁基体相比,预制体与基体间形成了厚度 $>200\text{ }\mu\text{m}$ 的界面过渡层,界面结合效果较好,而基体中主要分布初生碳化物。WC 增强铁基复合材料



(a) 高铬铸铁基体

(b) 预制体直径为 $\phi 5\text{ mm}$

(c) 预制体直径为 $\phi 10\text{ mm}$

图 2 WC 预制体增强铁基复合材料的 SEM 显微组织

Fig.2 SEM microstructure of WC preform reinforced iron-based composites

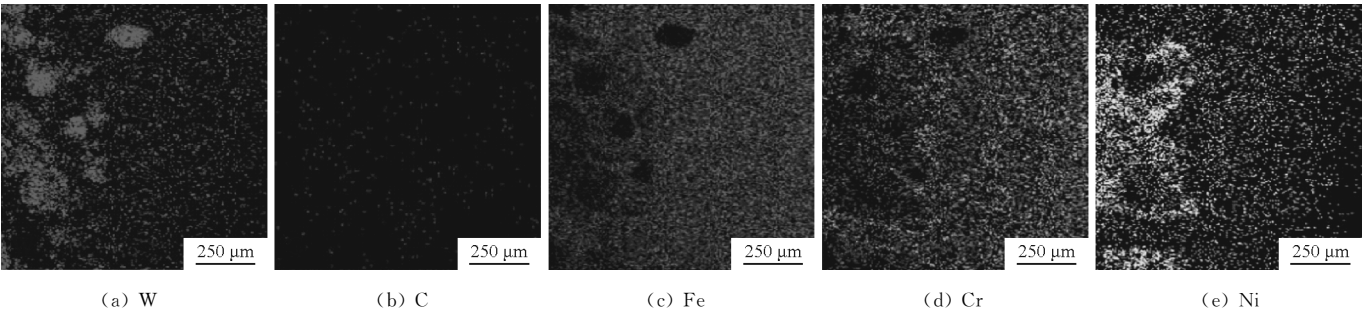


图 3 预制体直径为 10 mm 的 WC 增强铁基复合材料的 EDS 面扫描结果

Fig.3 EDS surface scanning results of WC reinforced iron-based composites with prefabricated column diameter of 10 mm

元素分布的 EDS 面扫描分析见图 3。可以看出,Fe、Cr 元素主要分布在基体和过渡层区域形成碳化物,预制体中的 W、Ni 元素扩散至过渡层中。

图 4 是预制体直径为 10 mm 时 WC 铁基复合材料的 XRD 结果。可以看出,预制体与基体铸造复合后形成 WC、 $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ 、 Ni_{17}W_3 、 Ni_3Fe 、 $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}$ 等相。在铸造凝固过程中,预制体中的 WC 陶瓷颗粒和 Ni 粉在高温下开始溶解,W、C、Ni 元素与铁水中的 Fe、Cr 等元素形成碳化物和镍钨化合物。在预制体中加入 Ni 有利于促进铁水渗入到预制体中,使高铬铸铁基体与预制体之间的过渡层区域更加明显,加快 WC 的溶解扩散,使界面结合更加牢固^[9]。

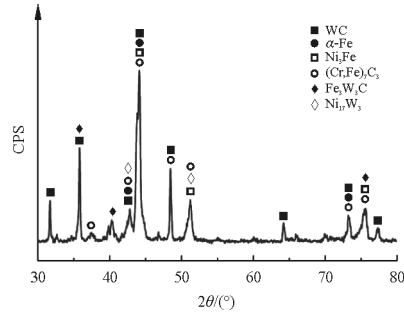


图 4 预制体直径为 10 mm 的复合材料 XRD

Fig.4 XRD patterns of the composites with a preform diameter of 10 mm

2.2 硬度

WC 增强铁基复合材料的硬度见图 5。可以看出,

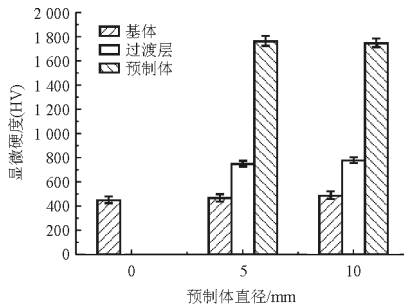


图 5 不同预制体直径下 WC 增强铁基复合材料的硬度

Fig.5 Hardness of WC preform reinforced iron-based composites with different preform diameters

铸态的高铬铸铁基体硬度值(HV)约为 450,加入预制体后的复合材料基体硬度值(HV)为 476,预制体硬度(HV)为 1769,过渡层的硬度(HV)为 749~779,且预制体直径为 $\phi 10$ mm 的复合材料过渡层硬度值比直径为 $\phi 5$ mm 的稍高。这是由于在基体中加入具有高硬度的 WC 颗粒的预制体后,WC 颗粒部分发生溶解扩散,与基体形成硬质相碳化物,分布在过渡层区域,少量分布在基体中。复合材料过渡层的显微组织和硬度受预制体中 W 扩散的影响,形成的碳化物有利于硬度的提高^[10]。

2.3 磨损性能

图 6 和图 7 分别为不同预制体直径的 WC 增强铁基复合材料的三体磨料磨损质量损失和磨损形貌。从图 6 可以看出,高铬铸铁基体的磨损量最大,而不同直径的预制体铸渗后形成的复合材料磨损量明显降低,直径为 10 mm 的预制体磨损量最小,说明其耐磨性最好。从图 7 可以看出,WC 增强铁基复合材料的三体磨料磨损形貌主要为犁沟、剥落和凹坑,基体磨损后的犁沟大且深,形成较多的剥落,而复合材料磨损后产生的犁沟相对较浅,说明 WC 颗粒可以有效提高复合材料的硬度和抗磨料磨损能力^[11],预制体结构在基体中能够起到保护基体的作用,基体来支撑增强颗粒,在预制体结构与基体之间形成“阴影保护”^[12]。复合材料的耐磨性很大程度上取决于过渡层、基体和预制体区域的硬度,

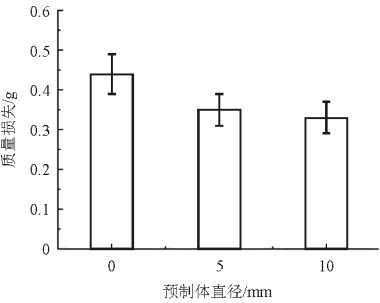


图 6 不同预制体直径下 WC 增强铁基复合材料的磨损质量损失

Fig.6 Wear loss weight of WC reinforced iron-based composites with different preform column diameters

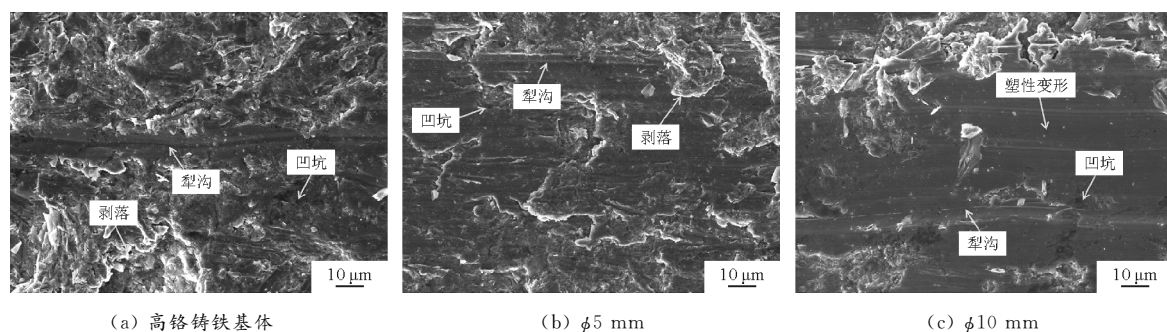


图 7 不同预制体直径下 WC 增强铁基复合材料的磨损形貌

Fig.7 Wear morphologies of WC reinforced iron-based composites with different preform column diameters

而预制体中由于兼具 WC 硬质颗粒和结构保护作用,提高了铁基复合材料的硬度和耐磨性能。

3 结 论

(1)通过砂型铸造制备了不同预制体直径的 WC 增强铁基复合材料,预制体与基体间形成冶金结合的过渡层,其厚度达到 200 μm 。

(2)WC 增强铁基复合材料的显微组织主要为 WC、 Ni_3Fe 、 $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ 、 M_7C_3 型碳化物。

(3)与高铬铸铁基体相比,不同预制体直径下复合材料的硬度增加,预制体的硬度(HV)为 1 769,过渡层区域的硬度(HV)最大值为 779。

(4)复合材料的磨损质量损失比高铬铸铁基体小,耐磨性较高,耐磨性与复合材料的硬度相关,磨损形貌主要表现为犁沟和剥落。

参 考 文 献

- [1] ZHENG K H, GAO Y M, LI Y F, et al. Three-body abrasive wear resistance of iron matrix composites reinforced with ceramic particles[J]. Journal of Engineering Tribology, 2013, 228(1): 3-10.
- [2] ZOU L M, LIU X, WANG L, et al. Effects of cast tungsten carbide powder on wear resistance of laser cladding ceramic particle reinforced iron matrix composite[J]. Rare Metal Materials & Engineering, 2017, 46(4): 1 126-1 131.
- [3] 周漠金, 蒋业华, 温放放, 等. 热处理对高铬铸铁基蜂窝陶瓷复合材料耐磨性的影响[J]. 材料导报, 2017, 31(14): 117-121.
- [4] 张凡, 王丽阁, 王恩泽, 等. 陶瓷颗粒增强铁基复合材料制备技术综述[J]. 粉末冶金工业, 2015, 25(2): 63-69.
- [5] ZHANG G S, GAO Y M, XING J D. Interfacial characteristics and wear resistance of WC particles reinforced white cast iron composites[A]. International Symposium on Science and Processing of Cast Iron[C]. Beijing, 2006.
- [6] 郭在在, 郭永亮, 牟晓明, 等. WC 陶瓷颗粒/高铬铸铁复合材料板锤的研制[J]. 铸造技术, 2015, 36(11): 2 702-2 704.
- [7] 卢德宏, 蒋业华. 构型陶瓷/钢铁耐磨复合材料研究进展[J]. 精密成形工程, 2021, 13(3): 40-48.
- [8] SONG Y P, MAO X M, DONG Q M, et al. Microstructure and properties of WC_p reinforced ferrous gradient composites[J]. Key Engineering Materials, 2007, 336-338: 2 605-2 608.

- [9] 隋育栋, 蒋业华, 李祖来, 等. Ni 对 WC/钢基表面复合材料组织和界面的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2011, 31(6): 565-567.
- [10] LI Z L, WANG X Y, ZHANG F, et al. Effect of different preform structures on interfacial microstructure and wear properties of WC/Fe composites material[J]. Materials Research Express, 2021, 8(4): 046 520.
- [11] CAO G J, GUO E J, FENG Y C, et al. Abrasion behavior of WC reinforced cast iron surface composite fabricated by cast-infiltration method[J]. Advanced Materials Research, 2012, 476-478: 555-559.
- [12] 吴迎飞, 陈华辉, 李海存, 等. 铁基复合材料中碳化钨颗粒的溶解析出行为[J]. 材料工程, 2018, 46(8): 98-105.

(编辑:彭瑾)

伊之密 7 000 t 压铸机首发, 9 000 t 签约, 超大型压铸机工厂开工

近日,伊之密“大而敏捷 LEAP 系列超大型压铸机 7 000 t 首发暨 9 000 t 战略合作签约仪式”在佛山顺德举行。政府领导、行业专家、客户代表应邀出席本次活动,共同见证伊之密 LEAP7000T 超大型智能压铸机全球首发,见证伊之密与一汽铸造建立 9 000 t 压铸整体解决方案的战略合作关系。

当天,伊之密 LEAP7000T 超大型智能压铸机全球首发。据悉,全新 LEAP 系列超大型压铸机 7 000 t 是伊之密全力打造的重点新品。机器采用了高刚性及高效稳定的锁模系统,可实现高标准高性能的快速压射,压射速度最大可达 12 m/s,可以确保大型薄壁零件的高动态填充能力,满足新能源汽车超大型一体化压铸件的严苛生产工艺要求。

此外,伊之密超重型压铸机厂房项目开工建设,预计于 2022 年 10 月份竣工。该项目选址位于伊之密的五沙第三工厂内,占地总面积约 2.3 万 m^2 ,主要用于生产和装配超大型压铸机,最大可以满足 2 万 t 超大型压铸机的装配。

据介绍,新厂房建成后,具备年生产重型和超大型压铸机 60~80 台的能力,远期规划年产能可达 100 台。另外,产品与工艺应用中心(PPAC)也会进驻超重型压铸机厂房。届时,PPAC 可以满足从 800~3 500 t 压铸机的试模需求,同时规划超大机试模的能力,完善了压铸产品的检验设备,为全球客户提供模具测试、工艺调试、新材料应用和人员培训等服务。

(摘自压铸周刊)