

ZTA 陶瓷颗粒增强高铬铸铁基复合材料界面组织及元素分布特征

王晓杰 刘海云 贾登云 陈少平
(太原理工大学材料科学与工程学院)

摘 要 分别在 ZTA 颗粒表面镀 Ni 和包覆 Cr 粉,采用负压铸渗法制备了 ZTA 陶瓷颗粒增强高铬铸铁基陶瓷复合材料。采用 SEM、EDS、XRD 等方法分析复合材料的组织结构、元素分布以及物相组成,探讨其对铸渗效果和界面结合的影响。结果表明,负压铸渗条件下,复合材料界面存在过渡区。过渡区以 Si、Na 为主,存在 Al 的扩散聚集,并且含有 Fe、Cr、Ni、C、O 等元素。元素的扩散有利于改善陶瓷界面润湿性,促进界面浸渗和结合。陶瓷颗粒镀 Ni 条件下,过渡层形成 CrNiFe、NiSi₃P₄、Fe₂Al₅、Na₂NiFeF₇、NaAlSiO₄、Zr₃NiO 等多种化合物,陶瓷包覆 Cr 的复合材料过渡层形成 Cr₃O₄、AlCrFe₂、Na₆Al₄Si₄O₁₇ 等化合物,这些化合物可以改善陶瓷润湿性,提高铸渗效果,促进陶瓷与高铬铸铁结合。

关键词 ZTA;高铬铸铁;金属基耐磨复合材料;负压铸渗;过渡层

中图分类号 TB331 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.09.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Interface Microstructure and Element Distribution Characteristics of ZTA Ceramic Particle Reinforced High Chromium Cast Iron Matrix Composites

Wang Xiaojie, Liu Haiyun, Jia Dengyun, Chen Shaoping

(School of Materials and Engineering, Taiyuan University of Technology)

Abstract: High chromium cast iron matrix ceramic composites reinforced with ZTA ceramic particles were prepared by negative pressure casting infiltration method with Ni and Cr coating on the surface of ZTA particles. The microstructure, element distribution and phase composition of the composite were analyzed by SEM, EDS and XRD, and effects of the composites on the casting infiltration and interface bonding were analyzed. The results indicate that there exists a transition zone at the interface of the composites under negative pressure casting infiltration, which is mainly composed of Si and Na with diffusion and aggregation of Al, and contains Fe, Cr, Ni, C, O and other elements. The wettability of ceramic interface is improved by diffusion of elements, promoting the infiltration and bonding of interface. On the Ni coating condition, multiple compounds including CrNiFe, NiSi₃P₄, Fe₂Al₅, Na₂NiFeF₇, NaAlSiO₄, Zr₃NiO are generated in the transition layer of ceramic particles. Cr₃O₄, AlCrFe₂, Na₆Al₄Si₄O₁₇ and other compounds are formed in the transition layer of ceramic coated with Cr. These compounds can improve the wettability of ceramics and the casting infiltration effect, promoting the combination of ceramics and high chromium cast iron.

Key Words: ZTA, High Chromium Cast Iron, Metal Matrix Wear-resistant Composites, Negative Pressure Casting Infiltration, Transition Layer

收稿日期:2020-10-05;修改稿收到日期:2021-01-06

第一作者简介:王晓杰,男,1995 年出生,硕士研究生,太原(030000),E-mail:wxj199503@126.com

通信作者:刘海云,男,1964 年出生,副教授,太原(030000),E-mail:2028330906@qq.com

引用格式:王晓杰,刘海云,贾登云,等. ZTA 陶瓷颗粒增强高铬铸铁基复合材料界面组织及元素分布特征[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(9): 1 157-1 162.

WANG X J, LIU H Y, JIA D Y, et al. Interface microstructure and element distribution characteristics of ZTA ceramic particle reinforced high chromium cast iron matrix composites[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(9):1 157-1 162.

[3] MORSI K, PATEL V V. Processing and properties of titanium-titanium boride (TiB_w) matrix composites-a review[J]. Journal of Materials Science, 2007, 42(6): 2 037-2 047.

[4] RANGANATH S. A review on particulate-reinforced titanium matrix composites[J]. Journal of Materials Science, 1997, 32(1): 1-16.

[5] 范保艳. Ti(C,N)-Ni/Ni₃Al 金属陶瓷的制备及组织性能研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2014.

[6] 周勇,杨冠军,吴限,等. 层叠 Ni/Ti 热扩散形成金属间化合物的规律[J]. 焊接学报, 2010, 31(9): 41-44.

[7] 吕玉荣,李博,杨泽亮,等. Ti-Ni 固相相界面的扩散研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2014,34(7): 751-753.

(编辑:刘卫)

ZTA(Al_2O_3 增韧 ZrO_2)陶瓷颗粒增强高铬铸铁基复合耐磨材料的研究和应用已经取得了很大的进展^[1~7]。ZHOU M J 等^[8,9]通过对 ZTA 陶瓷颗粒包覆微粉,采用铸渗方法制备复合材料并研究结构对耐磨性的影响。王娟等^[10]、郑开宏等^[11,12]研究不同粒径陶瓷复合材料高温下的磨损情况。刘侃等^[13]、莫炯良等^[14]通过自制铁钛金属粘结剂促进 ZTA/铁基界面结合,指出 Ti 粘结剂与 ZTA 结合机制包括机械结合与化学反应冶金结合。徐方伟^[15]采用合金粉末促进陶瓷和铁基结合,发现 Ni 会进一步促进 Ti 的迁移,使其聚集至界面处,实现 Ti 对 ZTA 陶瓷金属界面润湿性的改善。ZHENG B Q 等^[16]用钛粘结剂增强界面结构并研究钛对三体磨损的影响。虽然 ZTA 陶瓷颗粒增强铁基复合材料已经得到应用,但是,仍然存在着质量可靠性和稳定性等问题,制约着其应用范围。研究者试图从制造工艺、陶瓷结构、陶瓷/金属润湿性等方面解决存在的问题^[17,18]。其中润湿性导致的陶瓷/金属界面结合是制约复合材料生产和应用质量的主要问题^[19~21]。金属与陶瓷之间的结合问题制约了复合材料的耐磨性和使用寿命^[22~24]。无压浸渗试验表明,Cr 能提高浸渗效果,促进陶瓷与金属结合,但是,采用铸渗法制备该复合材料的试验研究中关于 Cr 元素的作用鲜有报道^[25]。陶瓷表面镀 Ni 被认为是改善铁水与金属润湿性的有效方法^[26~28],但是,针对高铬铸铁液铸渗 ZTA 陶瓷的研究报道不多,关于 Ni 在界面过渡层的作用,更缺乏深入研究。本课题采用负压铸渗法,通过对陶瓷颗粒镀 Ni 和包覆 Cr 等手段,制备 ZTA 陶瓷颗粒增强高铬铸铁基复合材料,采用 SEM、EDS、XRD 等方法,对其界面组织结构和元素扩散分布进行分析,在此基础上探究其对铸渗效果和界面结合的影响,为该复合材料的制备和应用提供参考。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

选用 ZTA 陶瓷(粒径约 2 mm)作为增强颗粒,其中 Al_2O_3 质量分数为 60%, ZrO_2 质量分数为 40%。采用高铬铸铁作为金属基体,其化学成分见表 1。

表 1 高铬铸铁的化学成分

Tab.1 Chemical composition of high chromium cast iron %					
ω_B					
C	Cr	Si	S	P	Fe
3.4	27	<1	<0.06	<0.1	余量

粘结剂选用钠水玻璃 $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$ 。陶瓷颗粒镀 Ni 使用的化学试剂及操作参数见表 2。对 ZTA 陶瓷颗粒进行包覆 Cr 粉处理,Cr 粉目数为 2 500 目。

表 2 化学镀 Ni 材料及操作参数

Tab.2 Chemical composition and operating parameters of chemical nickel-plating bath		
功能	化学试剂	浓度/(g · L ⁻¹)
主盐	硫酸镍($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	25
还原剂	次亚磷酸钠(NaH_2PO_2)	22
络合剂	柠檬酸钠($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	15
缓冲剂	焦磷酸钠($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	23
pH 调节剂	氨水($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	按需添加

1.2 陶瓷颗粒化学镀镍

取适量 ZTA 陶瓷颗粒放入烧杯中,酸洗后取出冲洗。用 SnCl_4 的溶液敏化 15 min,用酒精和去离子水冲洗 3~4 遍,去除残留物。最后用 AgNO_3 配置的敏化溶液在超声波中反应 15 min,然后重复上述清洗步骤,最后在 200 ℃下烘干 10 min,装袋备用。

按照比例称取硫酸镍、次亚磷酸钠、柠檬酸钠、焦磷酸钠和三乙酰胺,加入去离子水配制成溶液,放在恒温磁力搅拌器上加热到 60 ℃,恒温时加入氨水调节 pH,最后放入陶瓷颗粒。随时监测 pH 值,滴加氨水调节。反应完成后,取出反复清洗后,将其加热至 200 ℃烘干保存。

1.3 陶瓷预制体及复合材料制备

首先制备陶瓷预制体,取适量 Cr 粉与陶瓷颗粒手工混合,滴加粘结剂搅拌。采用石墨型在 1.5 MPa 的压力下制成 $\phi 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的试样。同理制备镀镍陶瓷颗粒预制体。

分别将两种预制体镶嵌在 EPS 泡沫中,预制体居中放置,泡沫尺寸为 40 mm×40 mm×30 mm,采用负压铸造方式制备陶瓷/铁基复合材料,原理见图 1。铁水加热至 1 550 ℃后浇注。空腔用于盛放多余铁水以使铁水形成流动性。

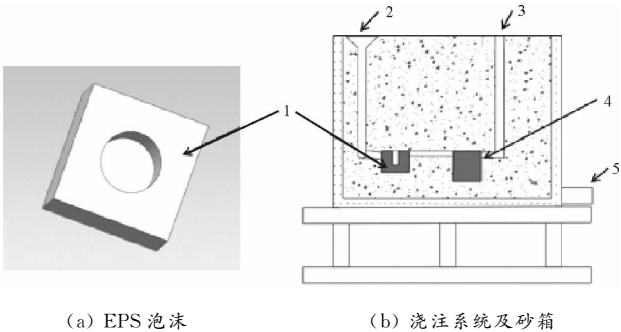


图 1 负压铸造过程

Fig.1 Process of negative pressure casting

1.EPS 泡沫 2.浇道 3.冒口 4.空腔 5.抽负压

1.4 化学成分及组织结构试验

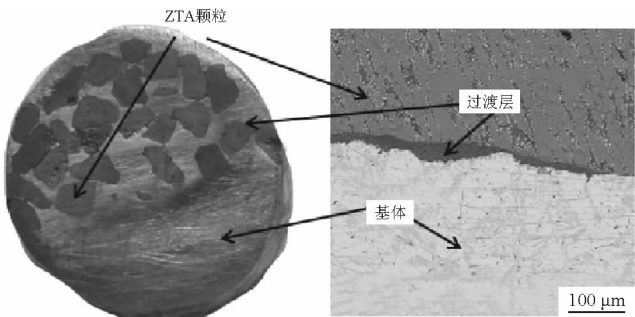
试样尺寸为 15 mm×15 mm×5 mm 的矩形或者 $\phi 10\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 的圆片。采用扫描电镜(TESCAN

VEGA MIRA 3 型电镜),X 射线衍射仪(日本理学 UltimateV)等设备观察合金形貌及相组成;通过 SEM、EDS、XRD 试验分析复合材料界面的化学元素分布并结合元素分布特征分析过渡层物相结构。

2 试验结果与分析

2.1 镀 Ni 陶瓷铁基复合材料的组织结构及元素分布

图 2 为采用负压铸渗法制备的复合材料试样的宏观形貌及微观组织。可以看出,陶瓷颗粒分布在金属基体之间,陶瓷与金属复合良好。从图 2b 可以看出,陶瓷与金属界面清晰结合良好,基体主要由 Fe-Cr 基体和 Cr 的碳化物组成,陶瓷有 Al_2O_3 和 ZrO_2 组成,界面处分布有一条不同于基体和陶瓷的过渡层。



(a) 宏观形貌 (b) 微观组织
图 2 ZTA/高铬铸铁复合材料宏观和微观组织
Fig.2 Macro and micro structure of ZTA/high chromium cast iron composites

针对 ZTA/高铬铸铁复合材料的界面,特别是过渡层,进行电子能谱分析。图 3 为 ZTA/高铬铸铁复合材

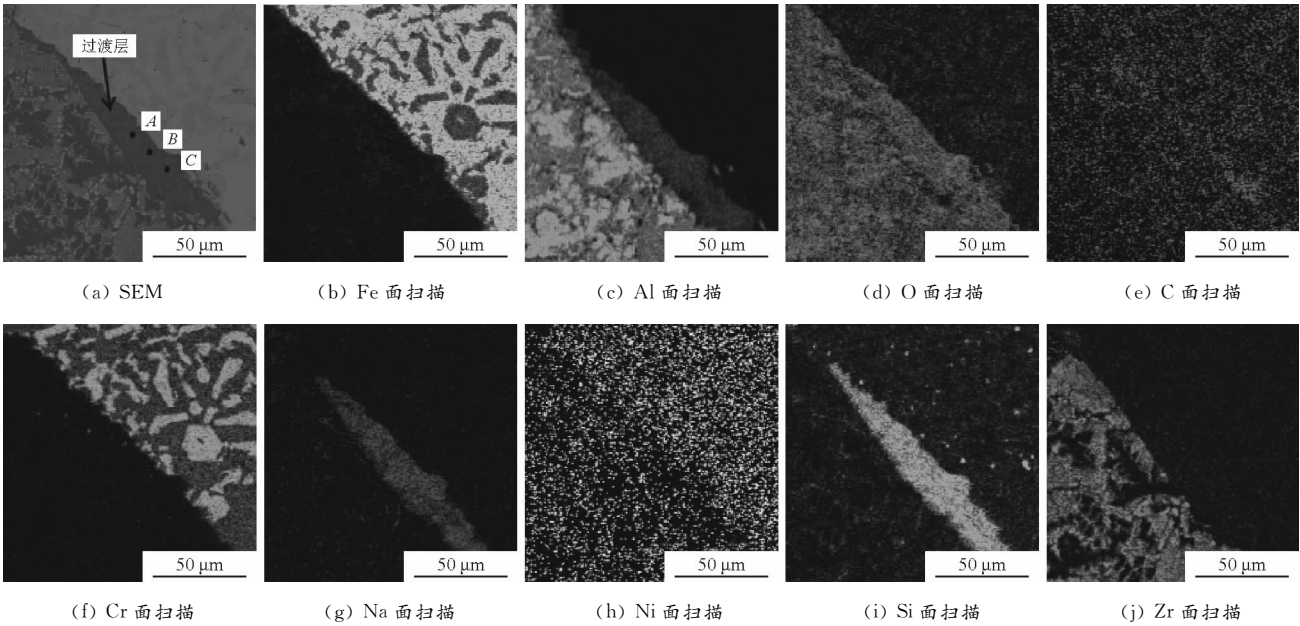


图 3 镀镍 ZTA 陶瓷复合材料 SEM 及其 EDS 分析
Fig.3 SEM images and EDS analysis of nickel plated ZTA ceramic composites

料界面处的 SEM 及 EDS 图。EDS 面扫描结果表明,上方区域为高铬铸铁基体,主要为 Fe、Cr 元素,下方区域为 ZTA 陶瓷,主要是 Al、Zr、O 元素。

过渡区以 Si、Na 元素为主,形成 Na_2SiO_3 基体;Al 元素在过渡区表现出明显的扩散聚集;Ni 元素主要在过渡区和陶瓷侧均匀扩散分布。此外,可以看出,C、O 元素为均匀扩散分布;Fe、Cr 元素多数聚集于 Fe 基一侧。

进一步对过渡层进行能谱点扫描分析(见表 3),从表 3 看出,除了上述 Si、Na、Al 元素的聚集,C、O、Fe、Cr 元素也不同程度地向过渡层扩散聚集。

为了深入分析过渡层的相结构,对镀镍 ZTA/高铬铸铁复合材料进行 XRD 测试,见图 4。

ZTA 陶瓷镀层的 Ni 经过铸渗会向 ZTA 和 Fe 基

表 3 镀 Ni 的 ZTA 陶瓷复合材料过渡层点扫描分析

Tab.3 Point scanning analysis of transition layer in nickel plated ZTA ceramic composites %

位置	x_B						
	C	O	Fe	Al	Cr	Si	Na
A	43.3	19.3	2.9	12.2	0.7	14.4	7.2
B	32.8	18.9	7.4	14.3	1	16.9	8.7
C	38.1	19.8	1.9	12.9	0.7	18.5	8.1

两侧扩散。ZHAO R Y 等^[29]发现 Ni 倾向于与 Al_2O_3 表面的四配位不饱和 Al 位相互作用。Ni 和 Fe 的熔体接触,有氧存在时会生成 $Al_2O_3 \cdot NiO$ 和 $Al_2O_3 \cdot FeO$,这会为生成新相 Zr_3NiO 提供基础^[30]。EDS 点扫描表明,Na、Ni、Fe 元素在过渡层聚集,酸洗过后陶瓷表面残留 Fe 元素,结合产生新相 Na_2NiFeF_7 。过渡层存在 Al 元素扩散聚集,Al 元素和过渡层中的 Cr、Zr 结

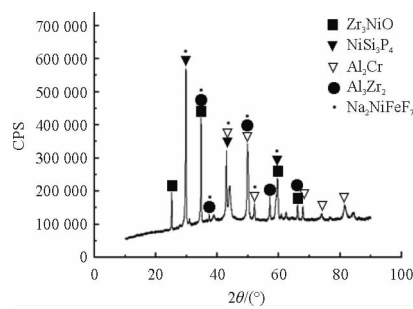


图 4 镀镍 ZTA 陶瓷复合材料 XRD 分析

Fig.4 XRD analysis of nickel plated ZTA ceramic composites

合形成 Al_2Cr 、 Al_3Zr_2 金属间化合物。来源于化学镀层的 Ni 和 P 能够和过渡层中的 Si 结合形成 NiSi_3P_4 的新相。

以上分析表明,化学镀层的元素和复合材料界面过渡层的 Cr、Al、Si、Zr 等元素结合形成了 Al_2Cr 、 NiSi_3P_4 、 Al_3Zr_2 、 Zr_3NiO 、 $\text{Na}_2\text{NiFeF}_7$ 等化合物。

综合以上结果,过渡区表现出以下特征,一是形成 Si、Na 的显著聚集和 Al 的扩散进入,并且含有 Fe、Cr、Ni、C、O、Ni、Zr 等元素;二是在上述元素存在的基础上形成了多种化合物。由于界面 Na_2SiO_3 对 Al、Fe、Cr 等元素的亲和力,促进 Al、Fe、Cr、Ni 等元素扩散进入以 Na_2SiO_3 为基体的过渡层,分别形成 Al_2Cr 、 NiSi_3P_4 、 Al_3Zr_2 、 Zr_3NiO 等化合物。含 Ni 的 NiSi_3P_4 、 Zr_3NiO 化合物的大量存在,说明 Ni 扩散进入过渡区,甚至陶瓷表面,通过与 O、Zr、Al 元素形成强的化学键合,提高表面能,降低陶瓷润湿性,从而提高铸渗效果。

此外,过渡层存在 Al 的聚集,Cr、Fe 元素的扩散,这些元素本身,及其形成的 Al_2Cr 、 Al_3Zr_2 等化合物,可

以降低陶瓷润湿性,提高铸渗效果,促进陶瓷颗粒与高铬铸铁结合。

尽管 EDS 结果中没有发现 Ni 元素,但是 XRD 结果表明其作用非常重要。一方面,XRD 检测出 NiSi_3P_4 、 Zr_3NiO 化合物。Ni 与 ZrO 反应,改变陶瓷表面能,提高润湿性。另一方面,镀 Ni 促进铸渗,因为 Ni 与 Fe 可以形成无限固溶体,高温下 Ni 元素向 Fe 基扩散,吸引 Fe 元素扩散进入水玻璃中。

2.2 包覆 Cr 陶瓷/Fe 基复合材料的组织及元素分布

图 5 为复合材料的宏观形貌及微观组织。可以看出,陶瓷颗粒分布在金属基体之间,陶瓷与金属结合良好,结合界面清晰。

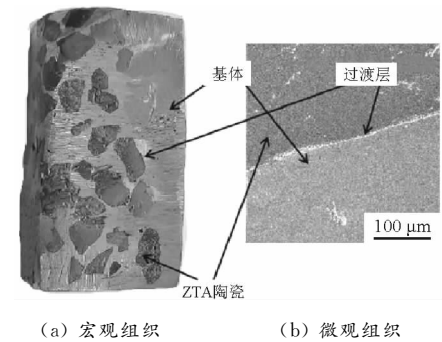


图 5 包覆 Cr 制备 ZTA 陶瓷铁基复合材料宏观和微观组织
Fig.5 Preparation of Cr coated ZTA ceramic iron matrix composites and its microstructure

图 6 为采用包覆 Cr 的 ZTA/高铬铸铁复合材料界面处的 SEM 及 EDS。EDS 面扫结果表明,照片下方区域为高铬铸铁基体,主要是 Fe、Cr 元素,上方区域为 ZTA 陶瓷,主要是 Al、Zr 元素。过渡区主要是 Si、Na

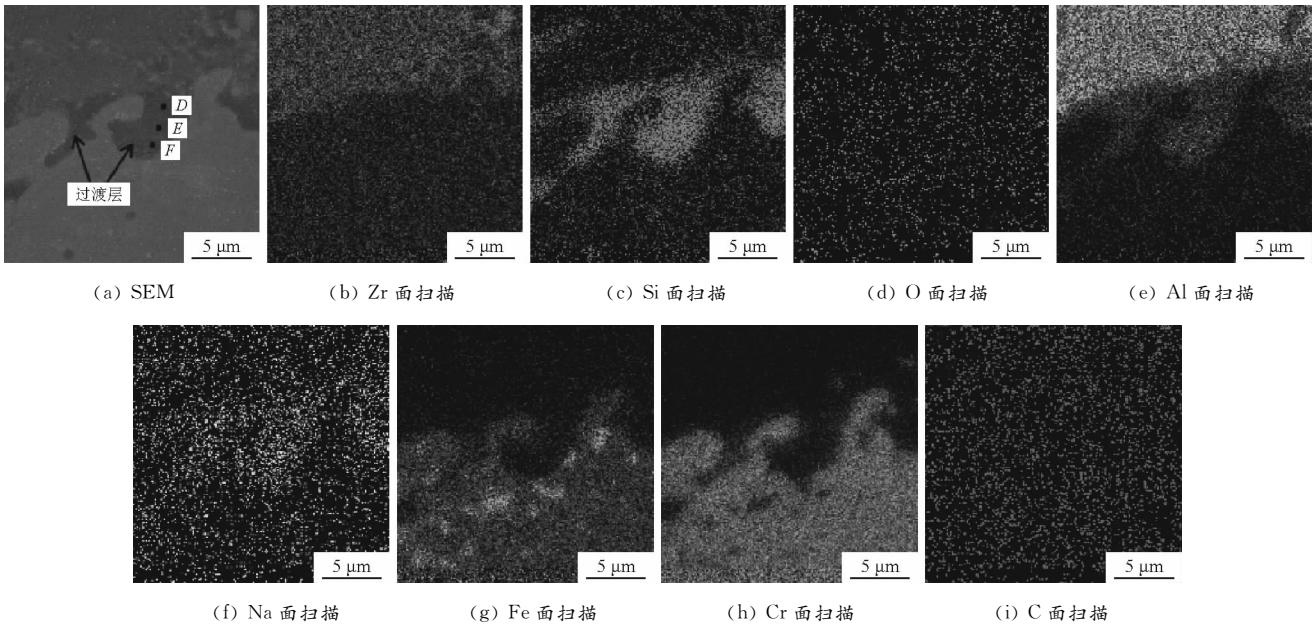


图 6 包覆 Cr 制备 ZTA 陶瓷复合材料 SEM 及其 EDS 分析

Fig.6 SEM images and EDS analysis of Cr coated ZTA ceramic composites

元素,特别是 Al 元素发生了明显的扩散聚集。此外可以看出,C、O 元素均匀扩散分布。Fe 元素多数富集于基体中,少数富集在过渡层;Cr 元素多数富集于 Fe 基体中,少数富集在过渡层。

进一步对过渡层进行能谱点扫描分析,见表 4。可以看出,除了上述 Si、Na 元素的聚集和 Al 的扩散进入,还含有 Fe、Cr、C、O 等元素。

表 4 包覆 Cr 的 ZTA 陶瓷复合材料过渡层点扫描分析

Tab.4 Point scanning analysis of transition layer in Cr coated ZTA ceramic composites %							
位置	x_B						
	C	O	Fe	Al	Cr	Si	Na
D	35.8	17.2	2.2	16.0	6.4	15.2	7.2
E	34.1	16.8	6.2	15.2	5.0	13.6	9.1
F	40.1	14.7	8.0	13.1	4.8	12.3	7.0

对复合材料界面的线扫描见图 7。可以发现,界面处存在明显的 Al,Zr,Cr,Fe 元素的相互扩散。界面处 Cr 元素扩散进入陶瓷。

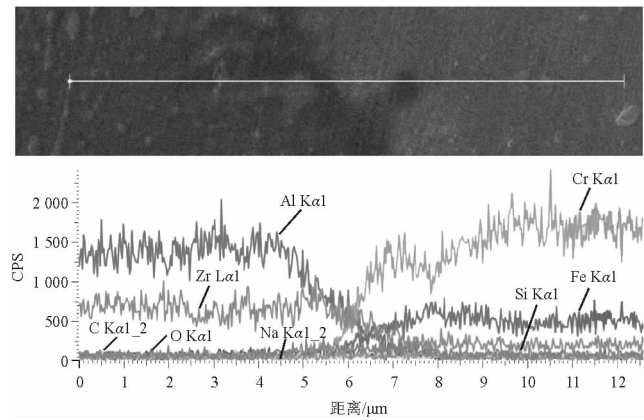


图 7 包覆 Cr 及制备 ZTA 陶瓷复合材料线扫描结果

Fig.7 Linear scanning results of Cr coated ZTA ceramic composites

图 8 为 XRD 测试结果。可以看出,产生新相 Cr_3O_4 、 $AlCrFe_2$ 、 $Na_6Al_4Si_4O_{17}$ 等。根据表 4 可知,过渡层存在较多 Al、O、Fe、Cr 元素,XRD 测试得到 Cr_3O_4 和 $AlCrFe_2$,显然主要分布在过渡层。同理,过渡层含有硅酸钠,其和 Al 反应可生成 $Na_6Al_4Si_4O_{17}$ 。

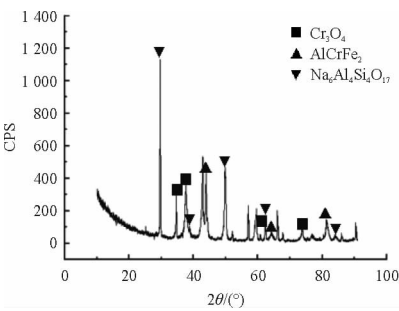


图 8 包覆 Cr 制备 ZTA 陶瓷复合材料 XRD

Fig.8 XRD patterns of Cr coated ZTA ceramic composite

综上,过渡区表现出以下特征,一是形成 Si、Na 的显著聚集和 Al 的扩散进入,并且含有 Fe、Cr、C、O 等元素;二是在上述元素存在的基础上形成了多种化合物。

界面 Na_2SiO_3 对 Al、Fe、Cr 等元素的亲和力,促进 Al、Fe、Cr 等元素扩散进入以 Na_2SiO_3 为基体的过渡层,分别形成 Cr_3O_4 、 $AlCrFe_2$ 、 $Na_6Al_4Si_4O_{17}$ 等化合物,可以降低陶瓷润湿性,提高铸渗效果,促进陶瓷与高铬铸铁结合。包覆的 Cr,高温下可扩散至陶瓷内,Cr 与 Al_2O_3 润湿角小,可提高陶瓷与铁水液润湿性^[31]。

3 结 论

(1)对 ZTA 陶瓷颗粒分别镀 Ni 和包覆 Cr 粉,有效改善铁水与 ZTA 陶瓷的润湿性,采用负压铸渗法成功制备出了 ZTA/高铬铸铁基复合材料。

(2)复合材料界面存在过渡区,过渡区以 Si、Na 为主,存在 Al 的扩散聚集,并且含有 Fe、Cr、Ni、C、O 等元素;元素的扩散有利于改善陶瓷界面润湿性,促进界面浸渗和结合。

(3)陶瓷镀 Ni 的复合材料过渡层形成 $CrNiFe$ 、 $Ni-Si_3P_4$ 、 Fe_2Al_5 、 Na_2NiFeF_7 、 $NaAlSiO_4$ 、 Zr_3NiO 等多种化合物。这些化合物可以降低陶瓷润湿角,提高铸渗效果,促进陶瓷与高铬铸铁结合。

(4)陶瓷包覆 Cr 的复合材料过渡层形成 Cr_3O_4 、 $AlCrFe_2$ 、 $Na_6Al_4Si_4O_{17}$ 等化合物。可以降低陶瓷润湿角,提高铸渗效果,促进陶瓷与高铬铸铁结合。

参 考 文 献

[1] 王文龙, 刘海云, 王晓杰, 等. 浸渗法制备 ZTA 陶瓷/铁基复合材料研究进展[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(1): 37-41.

[2] 焦仁宝, 荣守范, 李洪波, 等. 先进陶瓷与金属连接的现状与展望[J]. 佛山陶瓷, 2018, 28(3): 6-12, 19.

[3] 陈维平, 杨少锋, 韩孟岩. 陶瓷/铁基合金复合材料的研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2010, 20(2): 257-266.

[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] 赵耀邦, 陈文旗, 欧阳自鹏, 等. 颗粒陶瓷增强钛基复合材料磨削表面形貌仿真与试验研究[J]. 航天制造技术, 2017(5): 13-18.

[6] 田山雪, 涂小慧, 杨浩, 等. Al_2O_3 陶瓷增强高锰钢基复合材料耐磨性能的研究[J]. 铸造, 2017, 66(5): 476-480.

[7] 邱博, 邢书明, 董琦. 宏观颗粒增强铁基复合材料的制备与性能[J]. 北京科技大学学报, 2018, 40(8): 969-978.

[8] ZHOU M J, JIANG Y H, LU D H, et al. Preparation and properties of the ZTA particles cover with B_4C powder reinforced iron matrix composites[J]. Materials Review, 2018, 32(24): 4 324-4 328.

[9] ZHOU M J, SUI Y D, CHONG X Y, et al. Wear resistance mechanism of ZTAP/HCCI composites with a honeycomb structure[J]. Metals, 2018, 8(8): 3 019-3 022.

[10] 王娟, 郑开宏. ZTA 颗粒增强铁基复合材料的高温磨料磨损性能

- 研究[J]. 热加工工艺, 2018, 47(10): 101-105.
- [11] 郑开宏, 赵散梅, 陈亮, 等. 铸渗法制备 ZTA/钢基复合材料及磨损性能研究[A]. 第五届中国水泥工业耐磨技术研讨会[C]. 成都, 2011.
- [12] 郑开宏, 赵散梅, 陈亮, 等. 颗粒增强钢基耐磨复合材料的制备、组织与性能[J]. 铸造, 2011, 60(11): 1 094-1 098.
- [13] 刘侃, 徐方伟, 涂小慧, 等. ZTA 颗粒增强高铬铸铁基复合材料界面研究[J]. 铸造, 2018, 67(5): 398-403.
- [14] 莫炯良, 涂小慧, 郑宝超, 等. ZTA 颗粒增强高铬铸铁基复合材料的制备及其耐磨性能研究[J]. 热加工工艺, 2020, 49(10): 64-68.
- [15] 徐方伟. ZTA/高铬铸铁复合材料的制备与耐磨性能研究[D]. 广州: 暨南大学, 2018.
- [16] ZHENG B Q, LI W, TU X H. et al. Effect of titanium binder addition on the interface structure and three-body abrasive wear behavior of ZTA ceramic particles-reinforced high chromium cast iron[J]. Ceramics International, 2020, 46(9): 13 798-13 806.
- [17] 北京金煤创业进出口有限公司. 蜂窝 ZTA 陶瓷复合高铬铸铁碾底结构: 11, CN201520042896.X[S]. 2015-07-22.
- [18] 赵散梅. 陶瓷颗粒增强高铬铸铁基表层复合材料的制备与磨损性能研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [19] RU J J, HE H, JIANG Y H, et al. Wettability and interaction mechanism for Ni-modified ZTA particles reinforced iron matrix composites[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2019, 786: 321-329.
- [20] CHEN J, FU S P. Research status of the influence of alloy elements on the wettability of aluminum/ceramic interface[J]. Ordinance Material Science and Engineering, 1999(4): 53-58.
- [21] CA L, DERW R A L. The influence of nickel coating on the wettability of aluminum on ceramics[J]. Composites, 2002, A33(10): 1 429-1 432.
- [22] SUI Y D, ZHOU M J, et al. Characterization of interfacial layer of ZTA ceramic particles reinforced iron matrix composites[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2018, 741: 1 169-1 174.
- [23] LIU K, XU F W, TU X H, et al. Interfacial bonding behavior of high chromium cast iron composites reinforced with ZTA ceramic particles[J]. Founary. 2018, 67(5): 398-403.
- [24] QIU B, XING S M, DONG Q. Wear behaviour of iron matrix composite reinforced by ZTA particles in impact abrasion[A]. The 2017 4th international conference on advanced materials, Mechanics and Structural Engineering (4th AMMSE 2017)[C]. Tianjin, 2017.
- [25] 王文龙, 刘海云, 王晓杰, 等. 活化物质对 ZTA/高铬铸铁复合材料组织结构及浸渗行为的影响[J]. 铸造技术, 2020, 41(7): 622-626, 629.
- [26] 吕晓猛, 刘祥萱, 王煊军, 等. 化学镀镍及其前处理对空心陶瓷粉体润湿性的影响[J]. 电镀与涂饰, 2006, 25(1): 18-20.
- [27] 张国赏, 高义民, 邢建东, 等. Al_2O_3 颗粒表面化学镀镍对复合材料制备及耐磨性的影响[C]. 全国耐磨材料大会[A]. 安徽宣城, 2006.
- [28] 赵士阳, 张国赏, 魏世忠, 等. 化学镀镍对 Al_2O_3 颗粒增强复合材料制备及耐磨性的影响[J]. 矿山机械, 2008, 36(20): 25-28.
- [29] ZHAO R Y, ZENG L Y, LING J, et al. Interaction between Ni promoter and Al_2O_3 support and its effect on the performance of NiMo/ γ - Al_2O_3 catalyst in hydrodesulphurization[J]. Journal of Fuel Chemistry & Technology, 2016, 44(5): 564-569.
- [30] 李荣久. 陶瓷-金属复合材料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- [31] 仇宁, 钟黎君. α 氧化铝-铝合金的润湿现象及其机理[J]. 复合材料学报, 1990, 7(1): 24-29.

(编辑: 刘卫)

包头稀土研究院成功研发出橡胶用稀土耐热剂

硅橡胶以其优异的耐候性、耐高低温性、电绝缘性、耐辐射性、生物惰性等在电气、电子、办公设备、汽车、建筑、医疗、食品和人造器官等领域有着广泛的应用。随着现代科学技术的发展,各领域对硅橡胶耐热性的要求越来越高,如航空发动机的机舱温度度经常在 300 ℃ 以上,对橡胶配件提出了更高的耐油、耐高温要求。

包头稀土研究院稀土分离与应用团队联合中国航发北京航空材料研究院成功开发出一种用于硅橡胶、氟硅橡胶的轻稀土耐热剂产品。该产品经中国航发北京航空材料研究院试验验证,可有效提高硅橡胶、氟硅橡胶材料的使用温度,提升其耐热等级。使用自主研发的稀土耐热剂制备的硅橡胶产品,其耐热性能已达到使用同类进口产品(陶氏 RMB-9001)水平,可实现此类高附加值耐热剂产品的国产化替代。

硅橡胶材料在有氧、高温环境下,主要发生主链降解和侧链甲基的氧化反应,导致硅橡胶力学性能下降。在硅橡胶中加入稀土耐热剂可有效提高硅橡胶的耐热性能。其机理是具有氧化-还原作用的稀土元素在一定的温度范围内能够阻止硅橡胶中由于氧化产生的游离基反应,同时稀土金属化合物可以吸收硅橡胶中某些能够催化降解反应的微量酸或碱性物质,从而对硅橡胶起到热稳定作用。

稀土资源是宝贵的战略资源,但轻稀土镧、铈资源应用领域有限,资源利用率低,产品积压量大,市场价格长期低迷,其核心原因在于开发应用不足。此次特种橡胶材料用轻稀土耐热剂产品的成功研发,将有助于推动镧、铈的高值化利用,也说明了稀土与高分子材料结合具有广阔的应用前景。

(包头稀土研究院供稿)