

# 铸造烧结法制备 TiC 颗粒增强铁基复合材料的磨损性能

孙雪莉<sup>1,2,3</sup>, 王 帅<sup>2,3</sup>, 刘晨宇<sup>2,3</sup>, 付志强<sup>1\*</sup>, 郑开宏<sup>2,3</sup>, 王 娟<sup>2,3</sup>, 柯志敏<sup>4</sup>

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 国家钛及稀有金属粉末冶金工程技术研究中心, 广东省科学院新材料研究所, 广东 广州 510650; 3. 广东省金属强韧化技术与应用重点实验室, 广东省钢铁基复合材料工程研究中心, 广东 广州 510650; 4. 广东中天创展球铁有限公司, 广东 清远 513000)

**摘要:**通过铸造烧结法制备 TiC 颗粒增强高铬铸铁基复合材料, 采用 EDS、SEM 等检测手段研究增强颗粒对材料显微组织和磨损行为的影响规律。结果表明, 与高铬铸铁相比, 复合材料中由于 TiC 颗粒的存在使其洛氏硬度(HRC)从 49 提高到了 60。在磨损过程中, 高铬铸铁表面的  $M_7C_3$  型碳化物在磨粒的反复作用下出现了明显的裂纹, 并逐渐向基体内扩展。破碎后的碳化物容易脱落, 不能有效阻止磨粒在材料表面的犁削作用, 加剧了材料的磨损。而在复合材料中, 随着较软的基体相优先被磨料去除, 会裸露出大量的 TiC 颗粒。这些表面凸起的 TiC 颗粒承担磨粒的主要破坏作用, 从而有效保护基体材料。对比发现, 在相同的磨损条件下, 复合材料的耐磨性与高铬铸铁相比提高了 1.95 倍。

**关键词:**高铬铸铁基复合材料; TiC 增强颗粒; 原位反应; 洛氏硬度; 三体磨损

中图分类号: TB331

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2023)06-0070-06

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2023.06.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音  
与作者互动  
聊科研

## Wear properties of TiC particle reinforced iron matrix composites prepared by casting sintering method

Sun Xueli<sup>1,2,3</sup>, Wang Shuai<sup>2,3</sup>, Liu Chenyu<sup>2,3</sup>, Fu Zhiqiang<sup>1\*</sup>,  
Zheng Kaihong<sup>2,3</sup>, Wang Juan<sup>2,3</sup>, Ke Zhimin<sup>4</sup>

(1. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. National Engineering Research Center of Powder Metallurgy of Titanium & Rare Metals, Institute of New Materials, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510650, Guangdong, China; 3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Metal Toughening Technology and Application, Guangdong Provincial Engineering Research Center of Steel Matrix Composites, Guangzhou 510650, Guangdong, China; 4. Guangdong Zhongtian Chuangzhan Ductile Iron Co., Ltd., Qingyuan 513000, Guangdong, China)

**Abstract:** TiC particles reinforced high chromium cast iron matrix composites were prepared by casting sintering method. The effects of reinforced particles on the microstructure and wear behavior of the composites were studied by EDS and SEM. The results showed that the Rockwell hardness (HRC) of

收稿日期: 2023-08-14

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFB3701204); 广东省科学院发展专项资金项目(2022GDASZH-2022010103); 清远市科技计划项目(2023DZX013); 广西科技重大专项(桂科 AA23023017)。

作者简介: 孙雪莉, 1997 年出生, 女, 汉族, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要从事钢铁耐腐蚀方面的研究, E-mail: 1374367479@qq.com; \* 通讯作者: 付志强, 1970 年出生, 男, 博士, 教授, 主要从事摩擦学、表面工程及功能材料研究, E-mail: fuzq@cugb.edu.cn。

the composites increases from 49 to 60 compared with high chromium cast iron, due to the presence of TiC particles. During the wear process, the  $M_7C_3$  carbides on the surface of high chromium cast iron appeared obvious cracks under the repeated action of abrasive particles, and gradually expanded into the matrix. The broken carbides are easy to fall off, which cannot effectively prevent the ploughing effect of abrasive particles on the surface of the material and aggravate the wear of the material. In the composites, a large number of TiC particles are exposed as the softer matrix phase is preferentially removed by the abrasive. These surface convex TiC particles bear the main damage of the abrasive particles, thus effectively protecting the matrix material. Through experimental comparison, it is found that the wear resistance of the composites is 1.95 times higher than that of high chromium cast iron under the same wear conditions.

**Key words:** high chromium cast iron matrix composites, TiC reinforced particles, the original is reaction, rockwell hardness, three-body wear

## 0 引言

磨损是导致材料失效的重要因素之一,据相关资料统计,有将近 80% 的机械零部件失效是由不同形式的磨损造成<sup>[1]</sup>。随着火电、水泥、机械、船舶等工业的快速发展,人们对耐磨钢铁材料的要求也在不断提高<sup>[2]</sup>。目前常用的耐磨钢铁材料主要有高锰钢、高铬铸铁及合金钢等<sup>[3-4]</sup>,但是由于强韧性和耐磨性的相互制约导致其使用寿命普遍偏低,即使使用合金化与热处理等手段对其耐磨性的提高也十分有限。随着工业技术的发展,常用耐磨钢铁材料的性能已经不能满足现有工况的实际需求<sup>[5-6]</sup>。而钢铁基复合材料由于兼顾增强颗粒与基体材料的优势于一身,很好地解决了传统耐磨钢铁材料的强韧性与耐磨性相互制约的问题,所以被国内外研究人员广泛关注<sup>[7-8]</sup>。

钢铁基复合材料从引入增强相的角度可分为外加法和原位自生法。外加颗粒增强钢铁材料是将颗粒增强相直接加入金属液并进行凝固而获得,制备原理简单,但是需要对陶瓷颗粒进行表面改性以提高陶瓷颗粒与金属液之间的润湿性,进而改善复合材料的界面性能。原位自生法是增强相在溶体内通过化学反应在基体中原位生成,这种方法可以得到界面结合良好的复合材料<sup>[9-12]</sup>。

众所周知, TiC 颗粒具有高硬度、高耐磨性以及抗氧化等优点<sup>[4]</sup>。同时,在原位生成时所需的吉布斯自由能低,反应容易进行,使其成为原位制备颗粒增强铁基复合材料的首选增强相<sup>[13]</sup>。金属中 TiC 颗粒的存在可以明显增强钢铁基体的耐磨性,延长其使用寿命<sup>[14-16]</sup>。E. Olejnik<sup>[1, 17]</sup>等人通过原位自生 TiC 来制备局部增强 Fe-Cr 型和 Fe-Mn 型钢铁基复

合材料,为避免反应剧烈引起复合区域的破碎,加入缓蚀剂获得界面结合良好的复合材料。但是,大多数已发表的论文在预制体中加入缓蚀剂后,增加了原位反应过程的复杂性,难以准确探索相变规律。王帅<sup>[18]</sup>等人通过原位法制备出(W&Ti)C 增强高铬铸铁基复合材料,在相同的磨损试验条件下,复合材料的磨损性能相较于高铬铸铁基体提高了 1 倍以上。Qiu<sup>[19]</sup>等人观察到 45# 钢中存在的微量纳米 TiC 颗粒可以通过执行一系列强化作用(如晶界强化、加工硬化和弥散强化)提高材料的强度和韧性。目前国内外对 TiC 复合材料的制备主要是使用高温自蔓延、粉末冶金等方法,但是其制备过程复杂,对设备要求高。而铸造烧结法综合了铸造法、粉末冶金以及高温自蔓延的优点,大大减少了生产成本。

笔者尝试在高铬铸铁中生成 TiC 增强颗粒,从原位反应角度出发,使用铸造烧结法制备出具有高硬度、高耐磨性的 TiC 颗粒增强高铬铸铁基复合材料,并对复合材料的组织和宏观硬度进行分析,最后使用三体磨损试验机,研究 TiC 增强高铬铸铁基复合材料的磨损性能和机理。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 材料制备

TiC 增强高铬铸铁基复合材料的制备过程主要分为前期预制体的制备和后期浇铸两个阶段。第一阶段是采用粉末冶金工艺制备预制体,原材料采用纯钛粉(99.9%,长沙天久金属材料有限公司)、纯石墨粉(99.9%,青岛华泰润滑密封科技有限公司)、高铬铸铁粉(含 Cr25%,南宫市锐腾合金材料有限公司)。把原材料按照石墨:Ti:高铬铸铁=15:65:20 进行称重后,放入球磨罐中通入氩气,在

QM-3SP4行星式球磨机中进行球磨,其中球料比为5:1,转速为150 r/min,球磨方式为正反转交替,球磨时间为12 h。然后将球磨好的粉末压制出尺寸为 $\text{O}50\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ 的饼状坯体;最后将坯体干燥后放入真空烧结炉中进行预烧处理。

第二阶段是TiC增强高铬铸铁基复合材料的

浇铸成形。将第一阶段制备的预制体固定在砂型中,并在 $1460\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下向砂型中浇铸中频电炉冶炼的符合设计成分的高铬铸铁,高铬铸铁的主要成分见表1,冷却之后即可获得TiC增强高铬铸铁基复合材料,并对其进行组织与性能分析。

表1 高铬铸铁的化学成分  
Table 1 Chemical composition of high chromium cast iron

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	Fe
3.1~3.3	0.1~0.5	0.3~0.6	25~26	0.2~0.4	0.3~0.6	0.021	0.023	余量

## 1.2 试验钢的组织与性能

在复合材料合适的位置切割出 $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 的方形试样。在对试样组织形貌观察前,将其放在 $100^{\#}\sim 2000^{\#}$ 的金刚石磨盘上进行逐次打磨,然后使用金刚石研磨膏在抛光绒布上进行抛光处理。使用扫描电子显微镜(SEM, SU8220, Japan)对显微组织和磨损后的形貌进行分析。此外,采用洛氏硬度计对试样的宏观硬度进行测试;密度则是采用阿基米德排水法进行测量计算<sup>[20]</sup>。利用MMH-5型环块三体磨损试验机进行三体磨损试验,磨损试样是标准梯形试块,测试试样尺寸如图1所示,磨料是石英砂,加载力是1 kg,转速是30 r/min。本次试验的预磨时间为15 min,并且每间隔30 min对试样进行清洗、干燥、使用0.1 mg精度的电子天平称重,且每个阶段都需要重新更换新的石英砂。因高铬铸铁与复合材料的密度差异,质量损失无法准确比较两者的耐磨性,所以通过体积损失来评估其耐磨性。

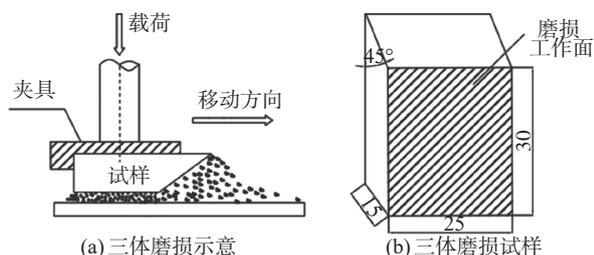


图1 三体磨损示意(单位:mm)

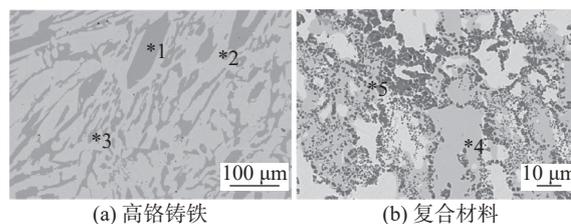
Fig. 1 Schematic diagram of three-body wear

## 2 结果与讨论

### 2.1 试验钢的组织形貌

高铬铸铁和复合材料的显微组织如图2所示,相应的EDS能谱列于表2。从图2可以看出高铬铸铁是由浅灰色和深灰色两种物相组成,其中的深灰色相呈现块状或板条状。通过与EDS能谱分析

相结合,可以发现,浅灰色相是高铬铸铁的基体,主要由Fe、Cr元素组成。而深灰色相则是 $\text{M}_7\text{C}_3$ 型化合物,主要由Fe、Cr、C组成。与高铬铸铁相比,复合材料中出现许多大小不一的黑色粒状相。结合EDS点能谱分析,显微组织中黑色粒状相的主要成分为Ti和C,该颗粒是原位燃烧合成的TiC。



(a) 高铬铸铁 (b) 复合材料

图2 试验钢的显微组织形貌

Fig. 2 Microstructure of test steel

表2 试验钢组织中物相的EDS能谱

Table 2 EDS energy spectra of phase in the microstructure of test steel

试验钢	点	y/%				
		C	Si	Ti	Cr	Fe
高铬铸铁	1	36.08			42.98	20.94
	2	19.32	1.24		10.05	63.39
	3	36.21			41.54	21.77
复合材料	4	41.05		56.68	1.21	1.06
	5	38.8	0.18	53.38	4.27	3.37

### 2.2 洛氏硬度

图3是高铬铸铁和相应复合材料的洛氏硬度。为了确保测试结果的准确性,分别在样品表面不同位置测量了五组数据。从图3可以看出高铬铸铁的平均洛氏硬度(HRC)在49左右,不同位置的洛氏硬度略有波动,其主要是由于显微组织中不同部位的物相分布存在的差异造成的。若组织中 $\text{M}_7\text{C}_3$ 稍有富集,这个位置的硬度值就会有所提高。与高铬铸

铁相比, 复合材料的平均洛氏硬度 (HRC) 可达 60 左右, 与基体材料相比, 宏观硬度得到了显著提高, 这是因为在其显微组织中存在大量的 TiC 增强颗粒。这种 TiC 增强颗粒有助于提高复合材料的强度和硬度, 从而使其具有更高的耐磨性。但由于显微组织中 TiC 相的局部富集, 其硬度值也会有一定的波动。

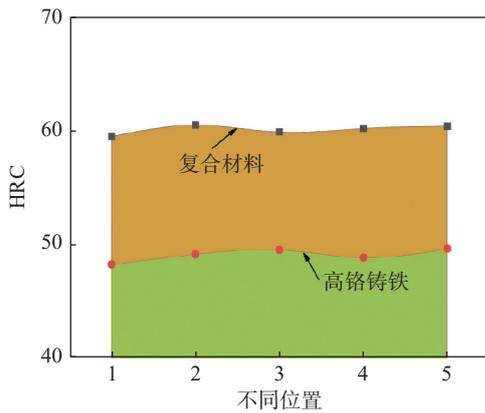


图 3 试验钢的洛氏硬度

Fig. 3 Rockwell hardness of the test steel

### 2.3 三体磨损

将高铬铸铁与复合材料在同等条件下进行三体磨损性能测试, 比较两者的抗磨性能。由图 4 可知, 两种材料三体磨损的体积损失都随着时间的延长而逐渐增多, 但高铬铸铁的体积损失始终大于复合材料。当磨损时间为 90 min 时, 高铬铸铁和复合材料的体积损失相差最大, 此时复合材料相对于高铬铸铁的耐磨性最好。为了更好地对比高铬铸铁和复合材料在磨损性能上的差异, 对材料的相对耐磨性进行了计算。把高铬铸铁磨损 120 min 时的总体积损失量看做是 1, 则复合材料的抗磨损性能相对高铬

铸铁提高了 1.95 倍。

图 5 为试验钢表面磨损的背散射 (Backscattering Image) 和二次电子 (Secondary Electron Images) 形貌。二次电子成像技术可以更好地展示磨损表面的形貌特征, 而背散射可以更清楚地分辨组织中的不同物相。从图 5 可以看出, 高铬铸铁和复合材料的表面磨损形貌有较大差异。基体的表面磨损形貌非常粗糙, 而复合材料的表面磨损形貌相对光滑。出现这种现象的主要原因是, 在磨损过程中材料表面与磨粒发生剧烈的碰撞, 而作为基体的高铬铸铁相对较软, 所以在磨损过程中会在材料表面留下许多深且大的犁痕, 并且会有磨粒嵌入到基体表面。除此之外, 在基体表面犁痕较大的位置还出现了塑性变形并且局部还伴有微裂纹的产生。与高铬铸铁相比, 复合材料的磨损表面并未发现明显的犁痕和塑性变形, 主要原因是复合材料中含有的 TiC 硬质颗粒可以明显提高材料的硬度, 从而能抵抗磨粒对材料表面的破坏, 且有效阻止磨粒嵌入到材料表面。

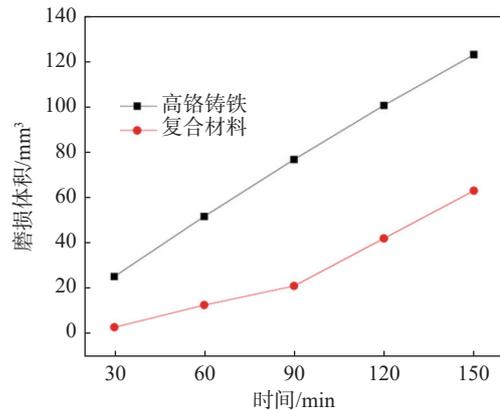


图 4 试验钢的磨损性能

Fig. 4 Wear properties of the two test steel samples

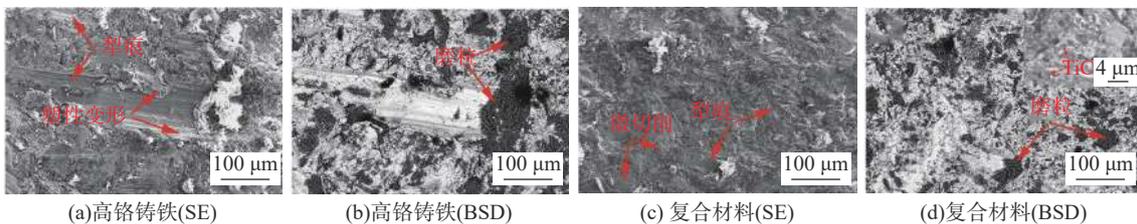


图 5 试验钢的表面磨损形貌

Fig. 5 Surface wear morphology of different experimental steel samples

为了更深层次地揭示出在磨粒磨损过程中试验材料从材料表面到内部的损伤行为, 用 SEM 对高铬铸铁和复合材料的磨损截面形貌进行表征, 如图 6 所示。图 6(a)、(b) 为基体高铬铸铁的磨损截面

形貌, 发现在  $M_7C_3$  型碳化物处有明显的剥落现象。同时, 在磨损过程中高铬铸铁表面的  $M_7C_3$  碳化物会产生裂纹, 并向内部扩展。这是由于在磨粒的反复作用下, 这些硬脆性的碳化物将产生应力集中, 并

优先发生裂纹和破碎,从而导致周边材料的磨损失效。与高铬铸铁相比,复合材料的截面则相对平整光滑,并且未观察到有裂纹的产生,如图6(c)、(d)。在复合材料的表面观察到有硬质颗粒的凸起,这是

由于在磨损过程中基体相被磨料削除,导致硬质颗粒逐渐暴露。而磨粒对材料表面的破坏作用主要由这些凸起的硬质颗粒承担,可以有效避免周围材料的磨损失效,所以复合材料具有更好的抗磨能力。

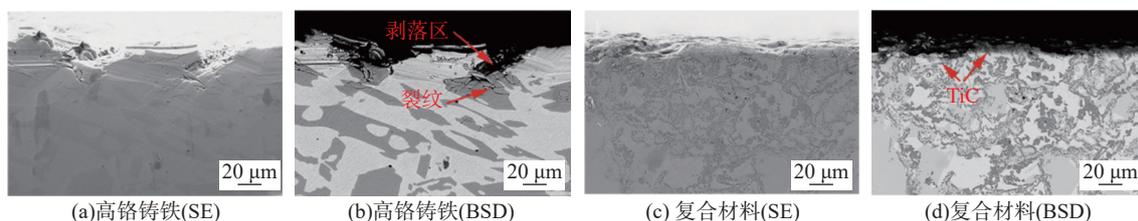


图6 试验钢的截面磨损形貌

Fig. 6 Cross-sectional wear morphology of different test steel samples

### 3 总结与展望

#### 3.1 总结

1) 利用石墨粉、钛粉与高铬铸铁等粉末,通过铸造烧结技术成功原位制备出了TiC颗粒增强高铬铸铁基复合材料。

2) 复合材料显微组织存在大量TiC硬质颗粒,使其洛氏硬度(HRC)高达60,磨损性能较高铬铸铁提高1.95倍,但微观组织中的物相差异仍使其不同位置处的硬度值略有波动。

3) 在磨损过程中,高铬铸铁组织中的 $M_7C_3$ 型碳化物在磨粒的作用下首先出现裂纹,并发生破碎和脱落,从而导致材料的磨损失效。高铬铸铁的磨损失效形式主要是磨料对材料表面的犁削作用。

4) 随着磨损的进行,复合材料中较软的基体相逐渐被削除,进而使复合材料中凸起的TiC颗粒主要承受磨粒对材料的破坏作用,从而有效保护材料表面不受破坏。复合材料的失效形式主要是磨料对材料表面的微犁削和微切削。

#### 3.2 展望

尽管目前国内外对该领域的研究已经有了很大的进展,但是还面临着许多亟待解决的问题,如:

1) 大型复合耐磨零件一般用完后作废品处理,重新购买价格昂贵。因此急需开发陶瓷增强金属基复合材料的可修复工艺,以减少复购成本。

2) 进一步拓展复合耐磨材料的应用范围,例如在同时要求耐高温耐磨损、耐冲击耐磨损等苛刻服役条件下的创新应用。

#### 参考文献

- [1] Olejnik E, Szymanski L, Tokarski T, *et al.* Local composite reinforcements of TiC/FeMn type obtained in situ in steel castings[J]. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2019, 19(4): 997–1005.
- [2] Wang S, Li Y, Wang J, *et al.* Effect of sintering temperature on the microstructure and properties of Ti/W–C reinforced Fe-based composites[J]. *Vacuum*, 2021, 194: 110617.
- [3] Yang Yi, Yang Haokun, He Qiang, *et al.* Effect of aging treatment on the mechanical and impact properties of solid soluted Fe-Mn-Al-C lightweight high manganese steel[J]. *Materials Research and Application*, 2023, 17(2): 303–309.  
(杨壹, 杨浩坤, 何强, 等. 时效热处理对Fe-Mn-Al-C轻质高锰钢拉伸和冲击性能的影响[J]. *材料研究与应用*, 2023, 17(2): 303–309.)
- [4] He Qiang, Jie Xiaohua, Zheng Zhibin, *et al.* Effect of carbon content on microstructure and mechanical properties of medium chromium alloy steel[J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 2023, 35(5): 586–594.  
(何强, 揭晓华, 郑志斌, 等. 碳含量对中铬合金钢组织与力学性能的影响[J]. *钢铁研究学报*, 2023, 35(5): 586–594.)
- [5] Dong Xiaorong, Zheng Zhibin, Long Jun, *et al.* Analysis of domestic patent technology of vanadium-containing cast wear-resistant steel materials[J]. *Materials Research and Application*, 2022, 16(5): 766–775.  
(董晓蓉, 郑志斌, 龙骏, 等. 含钒铸造耐磨钢铁材料国内专利技术分析[J]. *材料研究与应用*, 2022, 16(5): 766–775.)
- [6] Zheng Zhibin, Long Jun, Wang Yuhui, *et al.* Research progress of mechanical properties of twinning induced plasticity steel[J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 2023, 35(2): 115–130.  
(郑志斌, 龙骏, 王玉辉, 等. 孪生诱发塑性钢力学性能的研究进展[J]. *钢铁研究学报*, 2023, 35(2): 115–130.)
- [7] Huang L, Deng X, Li C, *et al.* Effect of TiC particles on three-body abrasive wear behaviour of low alloy abrasion-resistant

- steel[J]. *Wear*, 2019, 434-435: 202971.
- [ 8 ] Huang L, Pan Y, Zhang J, *et al.* Densification, microstructure and mechanical performance of TiC/Fe composites by spark plasma sintering[J]. *Journal of Materials Research and Technology*, 2020, 9(3): 6116–6124.
- [ 9 ] Zhu M, Jiang Y, Sui Y, *et al.* Study on microstructure and abrasive wear properties of in-situ TiC reinforced high chromium cast iron matrix composite[J]. *Materials Research Express*, 2022, 9(3): 036517.
- [ 10 ] Wang S, Li Y, Wang J, *et al.* Effect of in-situ (Ti&W)C multiphase particles on three-body abrasive wear of high chromium cast iron[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2023, 295: 127161.
- [ 11 ] Zhong L, Wei J, Bai H, *et al.* Effects of soaking time on the microstructure and mechanical properties of Nb-NbC/Fe core-shell rod-reinforced cast-iron-matrix composite fabricated through two-step in situ solid-phase diffusion[J]. *Journal of Materials Research and Technology*, 2020, 9(6): 12308–12317.
- [ 12 ] Lee J, Lee D, Song M H, *et al.* In-situ synthesis of TiC/Fe alloy composites with high strength and hardness by reactive sintering[J]. *Journal of Materials Science & Technology*, 2018, 34(8): 1397–1404.
- [ 13 ] Wang Shuai, Zheng Zhibin, Li Yingmin, *et al.* Effect of W/Ti content on the microstructure and phase transformation of iron matrix composites[J]. *Materials Research and Application*, 2023, 17(1): 109–117.  
(王帅, 郑志斌, 李英民, 等. W/Ti含量对钢铁基复合材料微观组织和相变的影响规律[J]. *材料研究与应用*, 2023, 17(1): 109–117.)
- [ 14 ] Chen H, Lu Y, Sun Y, *et al.* Coarse TiC particles reinforced H13 steel matrix composites produced by laser cladding[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2020, 395: 125867.
- [ 15 ] Liang Y, Zhao Q, Zhang Z, *et al.* Preparation and characterization of TiC particulate locally reinforced steel matrix composites from Cu-Ti-C system with various C particles[J]. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 2018, 2(3): 281–288.
- [ 16 ] Jiang J, Li S, Zhang W, *et al.* In situ formed TiC<sub>x</sub> in high chromium white iron composites: Formation mechanism and influencing factors[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2019, 788: 873–880.
- [ 17 ] Olejnik E, Szymański L, Batóg P, *et al.* TiC-FeCr local composite reinforcements obtained in situ in steel casting[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2020, 275: 116157.
- [ 18 ] Wang Shuai, Li Yingmin, Zheng Zhibin, *et al.* Effect of in-situ (W&Ti)C complex particles on wear behavior of high chromium cast iron[J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2023, 44(1): 151–157.  
(王帅, 李英民, 郑志斌, 等. 原位(W&Ti)C复相颗粒对高铬铸铁磨损行为的影响规律[J]. *钢铁钒钛*, 2023, 44(1): 151–157.)
- [ 19 ] Qiu F, Zhang H, Li C L, *et al.* Simultaneously enhanced strength and toughness of cast medium carbon steels matrix composites by trace nano-sized TiC particles[J]. *Materials Science and Engineering:A*, 2021, 819: 141485.
- [ 20 ] Guan D, He X, Zhang R, *et al.* Tribological and corrosion properties of PM 316L matrix composites reinforced by in situ polymer-derived ceramics[J]. *Vacuum*, 2018, 148: 319–326.

编辑 杨冬梅

## 攀钢牵头的两大国家重点研发项目启动

2023年12月12日,攀钢收到“十四五”国家重点研发计划两个重点专项立项批复,标志着攀钢牵头承担的“高性能钛合金无缝管产业化关键共性技术开发与应用”“钒钛磁铁矿中钒钛高效回收与高值利用技术”项目正式启动。

作为在全球首家实现钒钛磁铁矿资源中铁、钒、钛综合利用的生产企业,近五年,攀钢曾参与承担了国家重大科研任务20余项,获国家、省和行业协会科技奖励105项。

由中央财政投入4400余万元专项资金,攀钢牵头并联合相关单位承担的两大国家重点专项实施后,将重点突破系列相关核心技术,进一步提高战略钒钛资源低碳高效利用水平,补齐资源利用短板,带来显著的社会、经济、生态效益。同时,针对当前航空液压管路和核反应堆用钛合金无缝管存在的尺寸精度差、性能波动大等制约工程化应用的问题开展研发,将形成国际先进水平的钛合金无缝管产业化成套关键制备技术与应用示范,服务国家重大战略需求,提升钒钛产业的全球竞争优势。

摘自 [https://www.pzhsteel.com.cn/index.php?s=/Home/Article/pg\\_jianjie/art\\_bm\\_id/101/fl/two/msg\\_id/6503](https://www.pzhsteel.com.cn/index.php?s=/Home/Article/pg_jianjie/art_bm_id/101/fl/two/msg_id/6503)