DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.10.011

B_4C 粒度对 45 钢基表面复合材料组织的影响

韩文华,宋博宇,刘桂荣
(包头职业技术学院 材料工程系,内蒙古 包头 014035)

摘　要:研究了 Ti、B_4C 和 Ti-Fe 混合粉体系自蔓延高温合成制备金属基复合材料时,B_4C 粉粒度对复合材料组织的影响。结果表明,B_4C 粉末粒度减小,有利于促进高温钢液点燃合金粉末预制块中的各组元,使得各组元的反应充分;生成的 TiC 和 TiB_2 增强颗粒的数量也随着增加,且尺寸呈现趋于细小的趋势。当 B_4C 粉末粒度为 500 目时,复合材料距离复合层外表面 0.5 mm 处的硬度为 1 693 HV。

关键词:B_4C 粉末粒度;表面复合材料;TiC 颗粒;TiB_2 颗粒

中图分类号:TG142; TB331　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)10-1067-04

Effect of B_4C Particle Size on Microstructure of 45 Steel Matrix Surface Composites

HAN Wenhua, SONG Boyu, LIU Guirong
(Material Engineering Department, Baotou Vocational & Technical College, Baotou 014035, China)

Abstract: The effect of particle size of B_4C powder on the microstructure of metal matrix composites was studied when Ti, B_4C and Ti-Fe powders were prepared by self-propagating high-temperature synthesis. The results show that the reduction of B4C powder particle size is beneficial to promote the ignition of the components in the alloy powder prefabricated block with high temperature molten steel, and the reaction of each component is sufficient. The number of TiC and TiB_2 enhanced particles also increased, and the size tended to be small. When the particle size of B_4C powder is 500 mesh, the hardness at 0.5 mm from the outer surface of the composite layer is 1 693 HV.

Key words: B_4C powder size; surface composites; TiC particles; TiB_2 particles

自蔓延高温合成法的原理是通过各合金元素之间的化学反应直接生成增强颗粒或第二相,从而起到强化基体的目的。自蔓延高温合成法与传统的外加颗粒法增强金属基复合材料相比,增强颗粒是原位生成的,尺寸往往比较细小,和基体的润湿性较外加颗粒更为理想。在进行合金元素设计时,合金元素的加入比例对复合材料的组织有着显著影响[1],合金元素的粒度也对复合材料的组织有一定的影响[2]。本文利用质量分数为 37%的 Ti 粉、18%的 B_4C 粉和 45%的 Ti-Fe 粉组成的合金粉末涂料制备金属基复合材料,研究 B_4C 粒度对复合材料组织的影响。

收稿日期:2019-05-14
基金项目:包头职业技术学院 2016 年度院级科研项目"TiC 和 TiB_2 颗粒增强 45# 钢基表面复合材料组织的研究"(KJ201603)
作者简介:韩文华(1986-),女,内蒙古乌海人,讲师,硕士.研究方向:材料成型及加工.电话:15048156210,E-mail:hanwenhua86@126.com

1　试验材料及方法

合金粉末主要由钛粉和碳化硼粉组成,考虑到在自蔓延高温合成时钛粉和碳化硼粉的反应过于激烈,不易控制反应过程,遂加入了钛铁粉作为反应稀释剂[3]。为使合金粉末形成固定形状,需要加入合成树脂粘结剂;为使自蔓延高温合成反应顺利进行,需要加入助熔剂脱水硼砂。

钛铁原材料形态为块状,需用粉碎机破碎后进行快速研磨,最后制成粒度为 150~220 目之间的钛铁粉;钛粉选用 200 目的粒度;碳化硼粉选用 200、320 和 500 目 3 种粒度。将试验所用粉末和助熔剂脱水硼砂按比例称重后放入专用研磨皿中进行充分研磨,使三种不同颗粒粉末混合均匀,而后将混合后的粉末分成 3 等份。然后在合金粉末中加入合成树脂,边加入边搅拌,待所有的合金粉末粘结在一起后等待压制。合金粉末涂料组成如表 1 所示,合金粉末颗粒选取如表 2 所示。

第一步,将制备好的合金粉末涂料用压力机压制成预制块(压力机采用的压力为 40 MPa,合金粉末涂料预制块的尺寸为 ϕ30 mm×5 mm)。第二步,将

表1 合金粉末涂料组成
Tab.1 Composition of Alloy Powder Coatings

合金粉末	粒度 / 目	纯度 w(%)
钛粉 碳化硼粉	200	≥99.00%
	200/320	≥97.00%
	500	≥96.00%
钛铁粉	150~220	≥96.00%

表2 合金粉末配比 w(%)
Tab. 2 Ratio of alloy powder

编号	Ti-Fe 粉(45%)/ 目	Ti 粉(37%)/ 目	B_4C 粉(18%)/ 目
1	150~220	200	200
2	150~220	200	320
3	150~220	200	500

压制成型的每 3 个相同 B_4C 粉末粒度的合金粉末预制块与泡沫塑料模(EPS)粘结在一起。为防止在浇注钢液时 3 个预制块发生位置上的移动,遂用台阶将其隔开一段距离(如图 1 所示)。第三步,在 EPS 和合金粉末预制块的外表面均匀涂挂一层消失模防粘砂涂料,待其充分干燥后,再重复上述步骤一次。第四步,将涂挂消失模防粘砂涂料的 EPS 模样置于浇注系统中等待浇注。复合材料的基体为 45 钢,浇注时注意控制浇注温度和浇注速率。在浇注过程中利用高温钢液引发并持续合金粉末预制块中的自蔓延高温合成反应,从而原位生成颗粒增强 45 钢基表面复合材料。

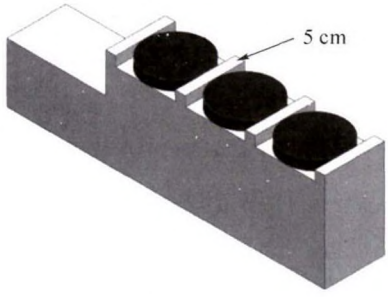


图 1 EPS 模样
Fig.1 EPS pattern

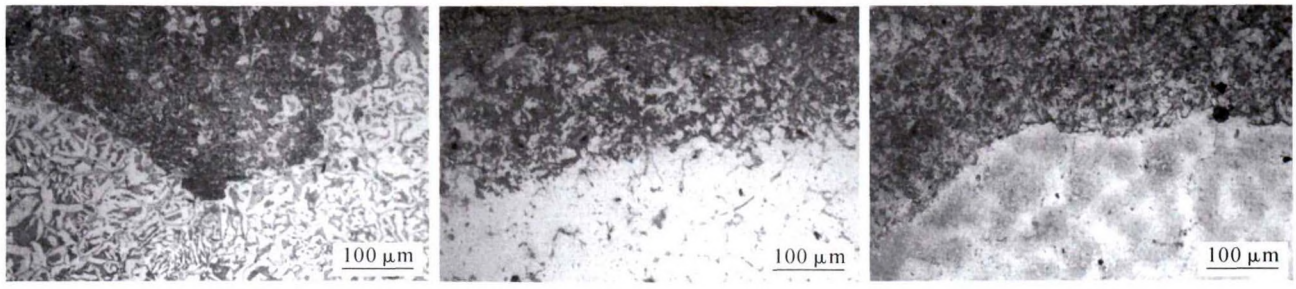
将冷却后的材料进行机械切割,并选取有代表性的部分制成试样进行金相分析、扫描电镜和能谱分析以及显微硬度的测试,以分析不同 B_4C 粉末粒度对 37%Ti -18%B_4C 合金粉末涂料制备颗粒增强 45 钢基表面复合材料组织的影响。

2 试验结果及分析

图 2 为不同 B_4C 粉末粒度下表面复合材料的显微组织。可以看出,随着 B_4C 粉末粒度越来越细,复合材料的基体基本无变化,为普通的 45 钢组织;但过渡层组织的变化颇为明显。B_4C 粉末粒度为 200 目时,过渡层与基体的界面趋向于一条弧度很大的曲线,且过渡层组织团聚现象明显,如图 2(a)所示;B_4C 粉末粒度为 320 目时,过渡层与基体的界面趋向于直线,过渡层组织团聚现象减少,黑色、灰色组织与白色基体交互出现,如图 2(b)所示;B_4C 粉末粒度为 500 目时,过渡层组织中的增强颗粒均匀地分布于基体之上,且过渡层与基体之间有清晰的界面,界面上无肉眼可见缺陷如图 2(c)所示。

图 3 为 B_4C 粉末粒度为 200、320 和 500 目时复合材料复合层的光学显微组织。可以看出,B_4C 粉末粒度为 200 目时,复合层组织分布不均匀,显微组织显示有增强颗粒生成,但总体上呈现数量少、尺寸大的特点,如图 3(a)所示;B_4C 粉末粒度为 320 目时,复合层组织的均匀性明显有提升,但团聚现象仍然存在。增强颗粒的数量较 B_4C 粉末粒度为 200 目时明显增多,尺寸明显下降,如图 3(b)所示;B_4C 粉末粒度为 500 目时,复合层组织中的增强颗粒数量最多,尺寸最小,且分布最为均匀,如图 3(c)所示。

自蔓延高温合成反应有如下几个特点:①合金粉末在反应过程中首先要由固态向液态或气态转化,形态的转化有利于扩散传质,使反应迅速进行[4],细小的 B_4C 粉末更有利于形成液态或气态;②自蔓延高温合成反应的发生依赖于反应原料之间的充分接触。粒度越小,单位体积内 B_4C 粉末的表面积越大,反应原料之间的接触越充分,反之亦然;③自蔓延高温合成反应是高放热反应[5],先点燃的部分放出热量才能促使其它部分继续反应。B_4C 粉末粒度小,会减少合金粉末预制块的点燃时间,提高高



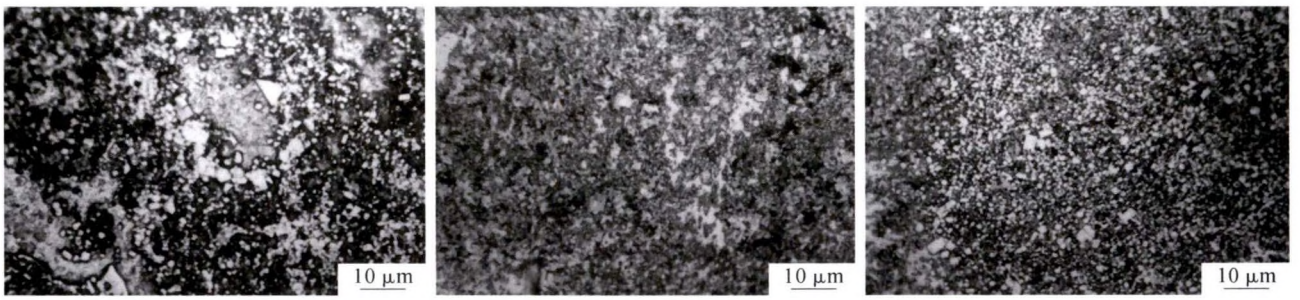
(a)200目 (b)320目 (c)500目

图 2 表面复合材料的显微组织
Fig.2 Microstructures of surface composites

温钢液的热效率，从而使其它部分的反应充分进行。综上所述，当 B_4C 粉末粒度为 500 目时，由于粒度小、单位体积内表面积大，更符合自蔓延高温合成反应的特点，所以形成的过渡层和复合层组织质量最高。

图 4 和图 5 分别为 B_4C 粉末粒度为 500 目时复合材料复合层的能谱分析和 XRD 分析结果。可以看出，复合层中 A 区是 TiB_2 颗粒，B 区是 TiC 颗粒。

图 6 为 B_4C 粉末粒度为 320 目和 500 目的复合材料的显微硬度。可以看出，越靠近基体复合材料的硬度值越低。复合材料复合层最外表面的硬度值不方便取得，但数据显示，当距离复合层外表面 0.5 mm 时，B_4C 粉末粒度为 320 目的复合材料复合层的硬度值为 1 582 HV；B_4C 粉末粒度为 500 目的复合材料复合层的硬度值为 1 693 HV。结果表明，B_4C 粉末



(a)200目　　(b)320目　　(c)500目

图 3 复合层的显微组织

Fig.3 Microstructures of composite layer

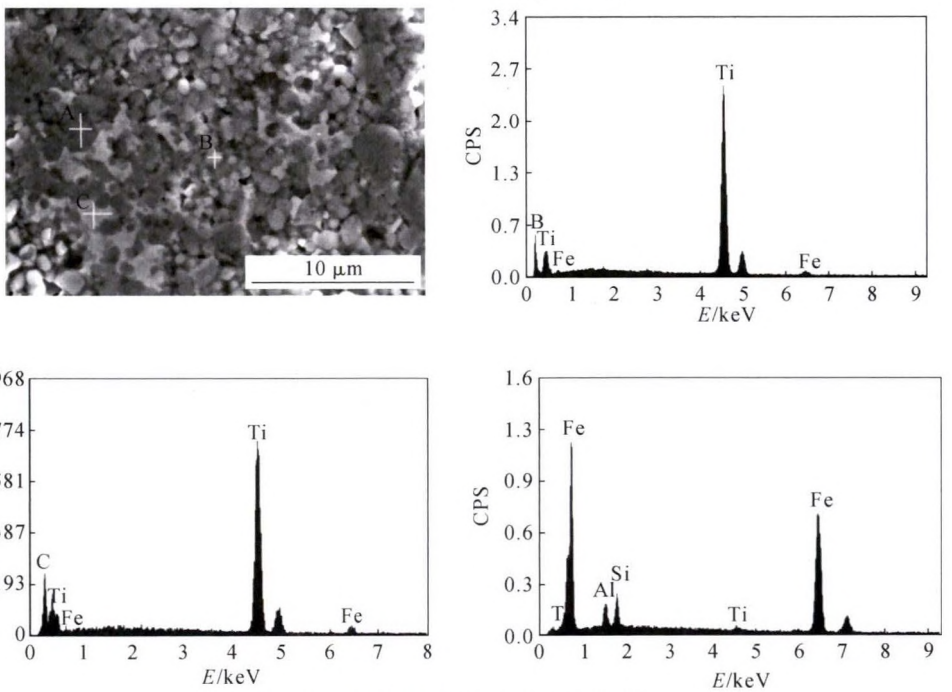


图 4 复合层增强颗粒的形貌及能谱分析

Fig.4 SEM micrograph and composition analysis of composite layer

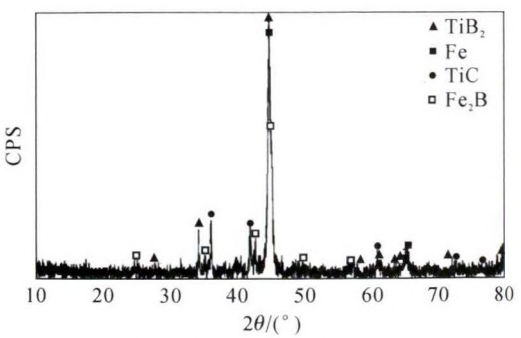


图 5 复合层组织的 XRD 分析

Fig.5 XRD results of composite layer

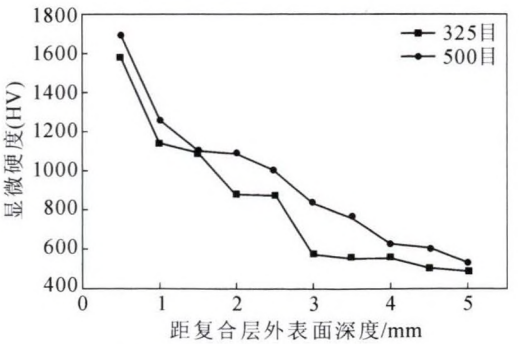


图 6 复合层硬度分布曲线

Fig.6 Hardness distribution curve of composite layer

粒度减小，生成了更多的 TiC 和 TiB_2 颗粒，有利于提高复合层的硬度。当距离复合层外表面 3~5 mm 时，复合层硬度值分布较为平缓，但仍明显高于普通 45 钢的维氏硬度（一般在 241~266 HV 之间[6]）。这是由于在高温钢液浇注过程中，部分合金粉末原料扩散到了基体附近，并在基体附近原位生成了增强颗粒。

3 结论

B_4C 粉末粒度对复合材料复合层和过渡层的的组织均有显著影响。随着 B_4C 粉末粒度减小，复合层和过渡层中 TiC 和 TiB_2 增强颗粒数量呈现上升趋势，同时尺寸减小；硬度测试显示，随着 B_4C 粉末粒度减小，复合层和过渡层的硬度显著提高。

参考文献：

[1] 韩文华，宋博宇，刘桂荣. Ti-Fe 粉的加入量对 TiB_2 颗粒增强 45 钢基表面复合材料组织和硬度的影响[J]. 包头职业技术学院学报，2017，18(2)：11-15.

[2] 张冉阳，陈跃. 消失模铸渗技术的研究进展 [J]. 铸造技术，2005，26(6)：544-547.

[3] 刘岗，严岩，王峰，等. 电子陶瓷用钛酸钡粉体制备方法研究进展[J]. 绝缘材料，2006(1)，56-63.

[4] 蔡利芳，张永忠. 原位合成法在材料制备中的应用及进展[J]. 金属热处理，2005，30(10)：1-6.

[5] 杨家豪，潘成刚，蔡文菁，等. 高频感应辅助 SHS 制备 TiC 基平面复合涂层工艺研究[J]. 铸造技术，2018，39(9)：1948-1954.

[6] 魏德强，任旭隆，王荣，等. 45 钢电子束扫描表面 W 合金化组织和硬度[J]. 焊接学报，2019，40(2)：98-103.

（上接第 1066 页）

需要进一步探索保温时间、基体晶粒尺寸与液相率、形状系数、球化晶粒大小等之间的定量关系。

3 结论

(1)AM60B 镁合金经 $MgCO_3$ 细化处理，在一定的等温热处理工艺后可以获得细小圆整的半固态组织。

(2)原始晶粒粗大时，在半固态等温热处理时经过晶粒初始粗化、枝晶组织分离等过程，一个原始晶粒一般形成多个球状 α 颗粒；原始晶粒较小时，等轴枝晶根部不容易发生明显的溶质富集和枝晶熔断，一颗原始枝晶一般最终仅形成一个初生 α 颗粒。

(3)在一定的等温温度下，球状晶形成、液相率达到合适值需要一定的时间。

参考文献：

[1] 吉泽升，吕新宇，王国军，等. 镁合金半固态成形技术的研究进展[J]. 金属热处理. 2003(5): 8-11.

[2] 康永林，毛卫民，胡壮麒. 金属半固态加工理论与技术[M]. 北京：科学出版社，2004.

[3] 王瑞权，邱葭菲，姚荣庆，等. 保温时间对镁合金压铸组织及性能的影响[J]. 铸造技术，2013，34(5): 535- 537.

[4] 王瑞权，邱葭菲，林波，等. $MgCO_3$ 对镁合金细化机理的研究[J]. 热加工工艺，2011, 40(19): 26- 27.

[5] 王瑞权. $MgCO_3$ 对 AM60B 镁合金晶粒细化工艺的研究 [J]. 铝镁通讯，2009, (4): 28- 30.

[6] Chen Ti-jun, Ma Ying, Wang Rui-quan. Microstructural evolution during partial remelting of AM60B magnesium alloy refined by $MgCO_3$ [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010, 20(9): 1615- 1621.

[7] 李元东，郝远，阎峰云，等. AZ91D 镁合金半固态等温热处理中的组织演变[J]. 中国有色金属学报，2001，11(4)：571-575.

[8] 王瑞权，邱葭菲，陈云祥，等. 细晶镁合金在半固态等温热处理过程中的组织研究[J]. 机电工程，2014(12): 29-31.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页，特快专递邮购价 226 元。

邮购咨询：李巧凤 029-83222071，技术咨询：13609155628