

Al-Sn 预合金粉末及其在金刚石磨具中的应用

王双喜^{1,2}, 刘雪敬², 耿林¹, 耿彪²

- (1. 哈尔滨工业大学 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001;
2. 佛山市地天泰新材料技术有限公司, 佛山 528000)

摘要: 通过超声雾化法制备 Al-Sn 预合金粉末, 研究 Al-Sn 预合金粉末的形貌、热压性能、抗氧化性能及其在铝基金刚石磨轮中的应用情况。结果表明: 制备的 Al-Sn 预合金粉球形度高, 与相同组成的单质 Al、Sn 混合粉末相比, 其抗氧化性能提高 2.23 倍, 而热压温度低 50 ℃左右, 且热压后组织均匀; 预合金粉末有利于制备的铝基金刚石磨轮的成分均匀。

关键词: Al-Sn 预合金粉末; 金刚石工具; 热压性能
中图分类号: TG 74 **文献标识码:** A

Al-Sn pre-alloyed powders and its application in diamond grinding wheel

WANG Shuang-xi^{1,2}, LIU Xue-jing², GENG Lin¹, GENG Biao²

- (1. School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;
2. Foshan Ditian Tai Advanced Materials and Technology Co., LTD, Foshan 528000, China)

Abstract: The Al-Sn pre-alloyed was prepared by close-coupled gas atomization technique. The morphology, hot press performance, oxidation resistance of Al-Sn pre-alloyed powder and its application in the diamond-grinding wheel was studied. The results show that the Al-Sn pre-alloyed powder is mainly spheroid, and its oxidation resistance is improved by two times compared with the Al and Sn mixed powder. The hot press temperature of the pre-alloyed powder is 50 ℃ lower than the mixed powder with the same composition. The structure of the Al-based diamond grinding wheel is uniform after hot press. The SEM observation shows that the elemental distribution is improved by using Al-Sn pre-alloyed powder.

Key words: Al-Sn pre-alloyed powder; diamond tool; hot press performance

预合金粉末不同于单元素粉末, 它是在制备过程中各组元之间产生合金化反应生成的成分十分均匀的粉末^[1]。20 世纪 90 年代中期, 比利时 Umicore 公司首先提出在金刚石工具中使用预合金粉末的新概念, 并于 1998 年将预合金粉末作为钴粉及钴混合粉的替代品真正应用在金刚石工具中。国内厂家对预合金粉末重视不够, 开展相关研究较晚^[2]。粉末的预合金化可采用不同的方法, 法国 Eurotungstene 公司推出的 NEXT(100, 200, 300)、德国 Dr.Fritsch 公司推出的 Diabase(V18 及 V21)、比利时 Umicore 公司推出的 Cobalite(601, HDR, CNF)以及国内北京有色研究院、

有色新材料公司推出的预合金粉(A, B, C)均属湿法冶金方法研制的预合金粉^[3-8]。目前世界上金刚石工具的主要制造商, 在切割天然石材、建筑材料的金刚石工具胎体中都采用预合金粉末。

关于预合金粉末应用在金刚石锯切、钻探工具中的研究较多, 钴基、铜基、铁基为预合金粉末的主要研究对象^[9-11], 对铝基预合金粉末的研究尚未见报道。而目前陶瓷砖修整用磨轮情况为: 普遍使用树脂修边轮, 虽然修整的陶瓷砖边光滑性好, 但其使用寿命短、生产成本低、生产及后处理过程中释放的有害气体会对操作人员和环境造成危害。为了研制一种能够代替

树脂修边轮的金刚石磨轮, 本文作者根据陶瓷砖修整对胎体性能的要求, 以自身熔点低而质软的 Al 作为胎体的基础成分研制了铝基金刚石磨轮; 并研究 Al-Sn 预合金粉末的形貌、热压性能、抗氧化性能及其应用在金刚石磨具中的热压情况。

1 实验

Al-Sn 预合金粉末采用超音速气体雾化法制备, 雾化气体为氮气, 气体压力为 2 MPa, 雾化温度为 680 °C。粉末形貌通过日立 S-3000N 型扫描电镜观察, 样品制备采用郑州金海威科技实业有限公司 SM60 型热压机, 样品的物相分析通过 PHILIPS X'pert 型 X 射线衍射仪测定, 热压样品的显微组织及元素面分布通过日立 S-4700 型扫描电镜观察。

2 Al-Sn 预合金粉末形貌及其性能

2.1 Al-Sn 预合金粉末形貌

采用超声雾化法制备的 Al-Sn 预合金粉末形貌如图 1 所示。由图可知, 较大粉末颗粒表面有熔滴凝固痕迹以及明显的毛刺, 且表面粘附有小颗粒。这是因为尺寸较大的雾化熔滴, 凝固收缩较严重, 使雾化熔

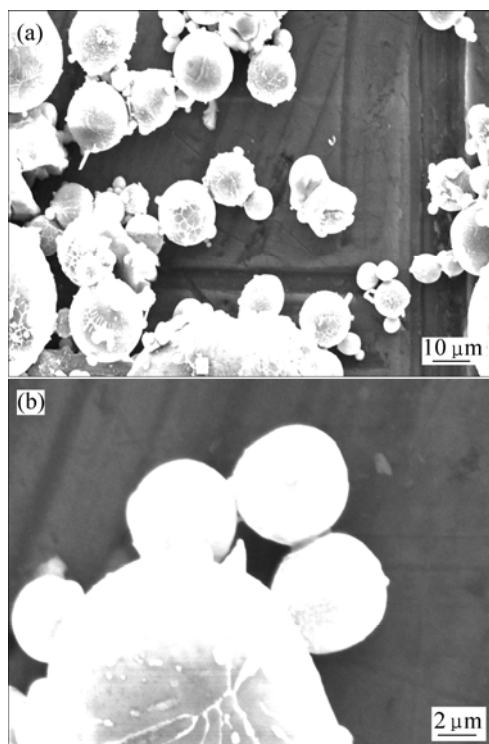


图 1 Al-Sn 预合金粉末形貌

Fig.1 Morphologies of Al-Sn pre-alloyed powders

滴凝固后在表面遗留下明显的凝固收缩痕迹。而一些尺寸较小的雾化熔滴, 凝固收缩较小, 因此表面比较光滑, 而且形状相对规整, 近似球形。颗粒表面毛刺的形成与雾化熔滴受到来自雾化气体的冲击力、飞行过程中的离心力以及周围环境气体的摩擦力等因素有关。雾化熔滴在这些力的作用下, 表面局部熔体向四周甩出形成流线, 由于其径向尺度很小, 凝固很快, 来不及球化, 因此凝固后则以保持其流线特征的细小毛刺形式存在于较大熔滴表面。小尺寸雾化熔滴受力较小, 不能形成流线, 因此无毛刺形成。大颗粒表面粘附的小颗粒是在雾化过程中形成的, 雾化时一些尺寸非常小的雾化熔滴先凝固形成小颗粒, 这些小颗粒在飞行过程中与未完全凝固的一些尺寸较大雾化熔滴相互碰撞而发生焊接, 小颗粒在大熔滴凝固后便附着在其表面。

从预合金粉末形貌看, 制备的预合金粉末无论颗粒大小, 颗粒都具有较好的球化度, 使预合金粉末在压制成型时具有良好的流动性。

2.2 Al-Sn 预合金粉末的热压性能

将制备的预合金粉末及相同组成的 Al、Sn 混合粉末在热压机上进行热压实验, 制备的 Al-Sn 预合金粉末的热压温度约 230 °C, 相同组成的 Al、Sn 混合粉末的热压温度约 280 °C, 即 Al-Sn 预合金粉末的热压温度比二者混合粉末的热压温度降低 50 °C 左右, 用 Al-Sn 预合金粉末制备金刚石磨轮有利于节约能源, 降低生产成本。

Al-Sn 预合金粉末及相同组成的 Al、Sn 混合粉末热压后, 经相同的粗磨、细磨、抛光工序制备试样, 两试样通过扫描电镜观察的显微组织如图 2 所示。由图 2 可知, 预合金粉末和混合粉末热压后的组织存在明显差别: 预合金粉末热压后, 其组织均匀、致密性好; 混合粉末热压后, 少量 Al 和 Sn 形成合金, 大部分是以独立相的形式存在。通过预合金粉末和混合粉末热压后的显微组织形貌对比可以证明, 使用预合金粉末可以避免因混料不均造成混合粉末密度偏析、低熔点金属先熔与富集等影响胎体性能的因素^[12], 保证金刚石刀头的性能稳定性和一致性。混合粉末热压后的试样表面有部分脱落, 说明混合粉末热压后的致密性较预合金粉末热压后的致密性差。

2.3 Al-Sn 预合金粉末的抗氧化性

Al 的抗氧化性较差, 在火法冶金中是良好的脱氧剂, 适于在炼钢时加入钢液中, 形成细小而弥散的 Al_2O_3 分布在晶界阻止晶粒长大, 形成细晶粒钢^[13]。

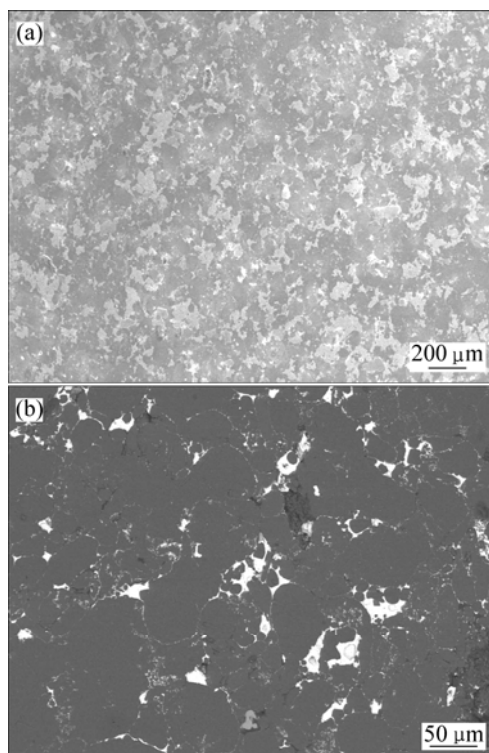


图 2 预合金粉末和混合粉末热压后显微组织

Fig.2 Microstructures of pre-alloyed powders and mixed powders after hot press: (a) Pre-alloyed powders; (b) Mixed powders

而铝基金刚石磨轮胎体的基本成分是 Al, 如果 Al 氧化严重, 生成的大量 Al_2O_3 分布在晶界上, 将影响金刚石磨轮的热压性能, 甚至导致磨轮磨削时出现掉渣、掉块等现象。图 3 所示为预合金粉末的 XRD 谱, 由图谱知, 预合金粉末中的 Al 没有发生氧化。

在没有保护措施条件下, Al-Sn 预合金粉末和组成相同的混合粉末热压后的 XRD 谱如图 4 所示, 图中(113)面为 Al_2O_3 的主衍射面, (111)面为 Al 的主衍射面, (211)面为 Sn 的主衍射面。由衍射谱可知, 预合金粉末和混合粉末在没有保护措施的情况下热压, Al 都发生氧化生成 Al_2O_3 , 只是二者氧化的程度不同。根据 X 射线衍射测试原理^[14], 衍射峰的强度与其含量成正比, 可以根据图 4 中 Al_2O_3 的主衍射峰强度占试样中所有主衍射峰强度之和的比例来比较两种粉末热压时生成的 Al_2O_3 的相对量, 计算方法如式(1)所示:

$$\eta = \frac{I_l}{I_1 + I_2 + \dots + I_l + \dots + I_n} \quad (1)$$

式中 η 为物质 l 的量在样品中所占比例; I_l 为物质 l 的主衍射峰强度; I_n 为样品中物质 n 的主衍射峰强度。

表 1 列出样品中 Al_2O_3 、Al 及 Sn 的主衍射峰强度, 并定性比较生成的 Al_2O_3 在两个试样中相对比例。

将表 1 所列数据代入式(1)进行计算, 结果表明: 混合粉末热压时生成 Al_2O_3 的含量 η_2 约为预合金粉末热压时生成 Al_2O_3 的含量 η_1 的 2.27 倍, 从而证明预合金粉末在抗氧化性方面较混合粉末具有优越性。

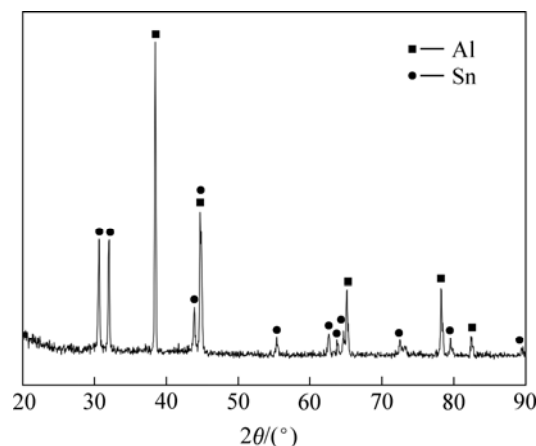


图 3 预合金粉末的 XRD 谱

Fig.3 XRD pattern of pre-alloyed powders

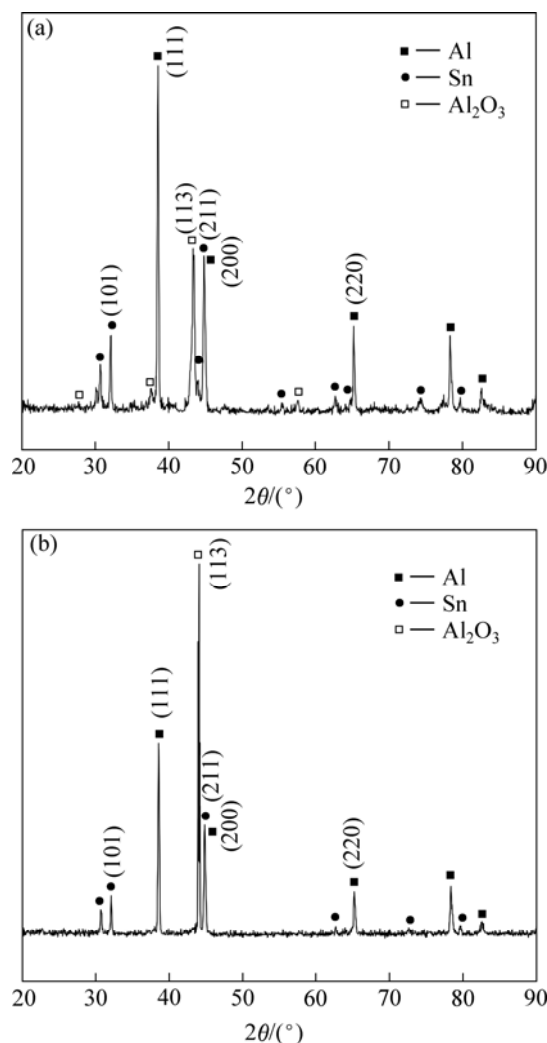


图 4 预合金粉末和混合粉末热压后的 XRD 谱

Fig.4 XRD patterns of pre-alloyed powders and mixed powders after hot press: (a) Pre-alloyed powders; (b) Mixed powders

表 1 主要物相的衍射峰强度及 Al₂O₃ 在试样中的相对比例
Table 1 Intensities of XRD peak of Al₂O₃, Al, Sn and relative proportion of Al₂O₃ in samples

Composition	XRD intensity of Al ₂ O ₃ /c.s	
	Hot pressed pre-alloyed powders	Hot pressed mixed powders
Al ₂ O ₃	456	2 300
Al	958	1 198
Sn	436	704
Al ₂ O ₃ +Al+Sn	1 895	4 202
Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ +Al+Sn)	$\eta_1=0.241$	$\eta_2=0.547$

制备金刚石磨轮时采用预合金粉末，能够显著降低氧化程度，使结合剂热压后具备较好的组织性能。

3 Al-Sn 预合金粉末在铝基金刚石磨轮中的应用

将 Al 和 Sn 以预合金的形式引入组成为 Al-Sn-Ti-

Ni-Co 的胎体中，采用整体热压的方式制备规格为 $d200\text{ mm}\times 25\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 的铝基金刚石磨轮。现场实验表明，该磨轮修整的陶瓷砖光滑性好，陶瓷砖尺寸保持性好，在生产成本基本相当的情况下，使用寿命是树脂修边轮的 3 倍以上^[15]。由此可见，相对树脂修边轮，铝基金刚石磨轮的使用，能够减少磨轮的停机更换次数，大大降低操作人员的劳动负荷，提高陶瓷砖的加工效率；对金刚石磨具生产厂家来说，国内大部分磨具销售从以数量为单位转向以使用磨具时陶瓷砖生产厂家生产的陶瓷砖量来计算，成本基本相当的磨具，使用寿命长，经济效益高，市场竞争力强。所以用 Al-Sn 预合金粉末制备的金刚石磨轮经济效益显著，在市场上具有较强的竞争力。

通过扫描电镜对磨轮的局部进行面扫描，结果如图 5 所示。由面扫描结果中的元素分布可知，以预合金形式加入的 Al、Sn 在胎体中的分布较均匀，由于 Al 是胎体的基础成分，在胎体中的含量较高，其均匀

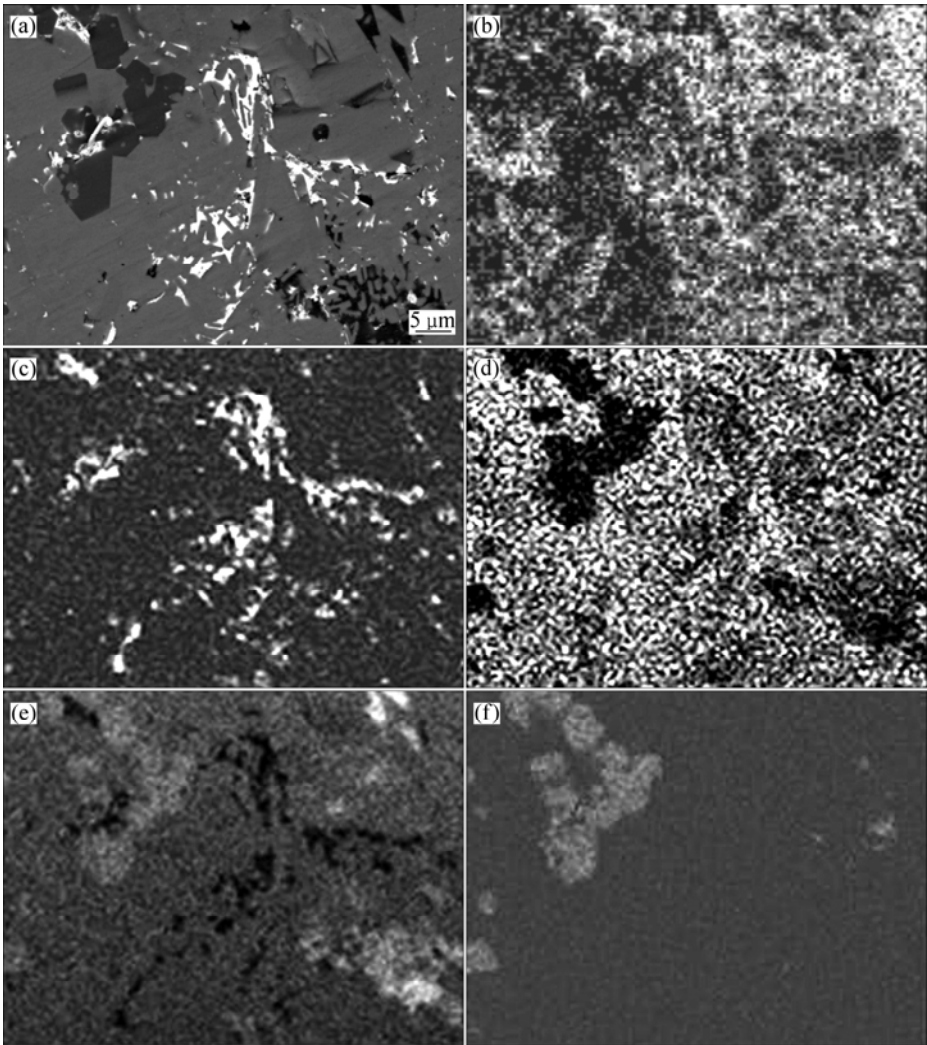


图 5 胎体 SEM 像及各元素面扫描分布
Fig.5 Surface morphology and elemental distribution of body: (a) Surface morphology; (b) Co; (c) Ni; (d) Sn; (e) Al; (f) Ti

分布使胎体各部分性质趋于均一,有利于金刚石磨轮性质的稳定。

4 结论

1) 预合金粉末的热压温度低,采用预合金粉末作胎体制备金刚石磨具可以节约能源,降低生产成本。采用超声雾化法制备的 Al-Sn 预合金粉末热压温度在 230 ℃ 左右,较相同组成混合粉末的热压温度低 50 ℃ 左右。

2) 预合金粉末的抗氧化性强,在空气中热压,组成相同的混合粉末生成的 Al_2O_3 含量是预合金粉末生成 Al_2O_3 含量的 2.27 倍。

3) 采用预合金粉末作胎体制备金刚石磨具,胎体组织均匀。

REFERENCES

- [1] CLARK I E, KAMPHUIS B J. Cobalt HDR—a new pre-alloyed matrix powder for diamond construction tools[J]. *Industrial Diamond Review*, 2002(3):177–182.
- [2] 姚建华, 孙东跃, 熊 纓. 激光焊接超细基胎体金刚石薄壁钻[J]. *激光与光电子学进展*, 2002(6): 51–54.
- YAO Jian-hua, SUN Dong-yue, XIONG Ying. Laser welding of diamond core druid bit of superfine powder base segments[J]. *Laser and Optonics Progress*, 2002(6): 51–54.
- [3] JOURDAN J P. The next move for Eurotungstene[J]. *Industrial Diamond Review*, 2004(4): 254.
- [4] BONNEAU M, MOLTENNI M. Wire manufacturing and free sintering with NEXT[J]. *Industrial Diamond Review*, 2002(4): 263–265.
- [5] 张 毅, 王 琴. 飞羽公司的金属粉末[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2001(1): 52.
- ZHANG Yi, WANG Qin. DR. Fritsch metal powders[J]. *Diamond and Abrasives Engineering*, 2001(1): 52.
- [6] CLARK I E, KAMPHUIS B J. Recent advances in pre-alloyed powders for diamond tooling[J]. *Powder Metallurgy*, 2002: 35–42.
- [7] KAMPHUIS B J, SEMEELS A. Cobalt and nicked free bond powder for diamond tools: Cobaltite CNF[J]. *Industrial Diamond Review*, 2004(1): 26–32.
- [8] 万新梁, 汪礼敏. 新型超细预合金粉末在金刚石工具中的应用[C]//李志宏. 第四届郑州国际超硬材料及制品研讨会论文集. 北京: 机械工业出版社, 2004: 149–152.
- WAN Xin-liang, WANG Li-min. Application of new superfine pre-alloyed powder in diamond tools[C]//LI Zhi-hong. Papers of 4th Zhengzhou International Symposium on Super Hard Material and Goods. Beijing: China Machine Press, 2004: 149–152.
- [9] 张绍和. 钻头预合金胎体粉末制备与应用[J]. *探矿工程*, 2001(3): 54–56.
- ZHANG Shao-he. Preparation and use of the druid bit pre-alloyed matrix powder[J]. *Exploration Engineering*, 2001(3): 54–56.
- [10] 修稚萌, 张 民, 孙旭东, 何凤鸣. 合金化铁粉对金属/金刚石复合材料性能的影响[J]. *粉末冶金技术*, 2004, 22(2): 67–70.
- XIU Zhi-meng, ZHANG Min, SUN Xu-dong, HE Feng-ming. Effect of additives of pre-alloyed iron powder on properties of metal/diamond composite[J]. *Powder Metallurgy Technology*, 2004, 22(2): 67–70.
- [11] 徐浩翔, 麻洪秋, 罗锡裕, 赵同春. 雾化预合金胎体粉末的制备及其在金刚石工具中的应用[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2004(1): 45–48.
- XU Hao-xiang, MA Hong-qiu, LUO Xi-yu, ZHAO Tong-chun. Atomized pre-alloyed powders and it's application in diamond tools[J]. *Diamond & Abrasives Engineering*, 2004(1): 45–48.
- [12] 张绍和, 杨凯华. 金刚石工具预合金胎体粉末制备技术[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2001(2): 26–29.
- ZHANG Shao-he, YANG Kai-hua. Preparation of pre-alloyed powder for making diamond tool[J]. *Diamond & Abrasives Engineering*, 2001(2): 26–29.
- [13] 孙毓超, 刘一波, 王秦生. 金刚石工具与金属学基础[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1999.
- SUN Yu-chao, LIU Yi-bo, WANG Qin-sheng. Basis of diamond tools and metallographic[M]. Beijing: Chinese Building Materials Industry Press, 1999.
- [14] 刘粤惠, 刘平安. X 射线衍射分析原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- LIU Yue-hui, LIU Ping-an. Principle and application of XRD analyses[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [15] 王双喜, 刘雪敬, 耿 彪, 耿 林. 铝基金刚石磨轮在陶瓷加工中的应用[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2007(3): 52–55.
- WANG Shuang-xi, LIU Xue-jing, GENG Biao, GENG Lin. Application of Al-based diamond grinding wheel in squaring of ceramic tile[J]. *Diamond & Abrasives Engineering*, 2007(3): 52–55.

(编辑 龙怀中)