复合材料学报 第20卷 第5期 10月 2003年
ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Vol. 20 No. 5 October 2003

文章编号: 1000-3851(2003)05-0039-05

陶瓷结合立方氮化硼磨削工具材料制备研究

李志宏, 袁启明, 杨正方
(天津大学 先进陶瓷与加工技术教育部重点实验室, 天津 300072)

摘 要: 陶瓷结合立方氮化硼(CBN)磨削工具是一类用于磨削加工的新型陶瓷/玻璃复合材料。本文作者从复合材料制备理论角度探讨了这类材料的制备原则,并进行了试验研究。研究结果表明:CBN 磨具的烧成温度以低于800℃为宜;陶瓷结合剂与 CBN 磨料的热膨胀系数匹配性对磨具强度有较大影响,具有较小热膨胀系数和较高强度的 C_1 结合剂较适合 CBN 磨具制备。在一定温度范围内,适当提高烧结温度,有利于提高陶瓷结合剂桥相本身强度及结合剂与 CBN 磨料颗粒的结合强度。

关键词: 陶瓷结合剂; 立方氮化硼; 磨削工具; 制备
中图分类号: TG706; TB332 **文献标识码:** A

STUDY ON MANUFACTURING TECHNOLOGY OF VITRIFIED BOND CBN GRINDING TOOLS

LI Zhihong, YUAN Qiming, YANG Zhengfang
(Key Laboratory for Advanced Ceramics and Machining Technology of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Vitrified bond cubic boron nitride (CBN) grinding tools are new ceramic/glass composites for grinding. This paper discussed the manufacturing principles of these materials in terms of composites theory and prepared such materials experimentally with success. The results showed that the suitable sintering temperature of vitrified bond CBN grinding tools should be lower than 800 ℃. The strength of vitrified bond CBN grinding tools was obviously affected by the difference of thermal expansion coefficient between vitrified bond and CBN abrasives. C_1 bond was more suitable for the manufacturing of vitrified bond CBN grinding tools. Within the sintering temperature range, relatively higher sintering temperature was beneficial to the strength of the bond bridge and the holding strength between bond and CBN abrasive particles.

Key words: vitrified bond; CBN; grinding tools; manufacture

立方氮化硼(CBN)硬度很高,仅次于金刚石,具有耐热性好、导热性好、化学稳定性高等一系列优越的物理化学和机械性能,不仅可用于铁族金属材料的加工,而且可用于硬而脆的非金属材料的加工,是一种用途很广的超硬材料[1]。陶瓷结合立方氮化硼磨削工具材料是一类新的用于磨削加工领域的复合材料。其具有磨削能力强、磨削效率高、磨削温度低、使用寿命长、容易修整、磨削质量好等一系列优越性能,因而受到世界广泛关注,成为世界上磨削工具产品研究开发的热点[2~4]。陶瓷结合 CBN 磨具磨削被认为是磨削加工技术领域中的一大技术进步,其应用范围已涉及汽车、航空、工具、刃具、模具、轴承、工程陶瓷等领域,并且不断扩大[5~6]。然而国内这方面的研究较少,在陶瓷结合 CBN 磨具制备技术和应用技术方面,与世界工业发达国家存在较大差

收稿日期: 2002-04-09; 收修改稿日期: 2002-06-24
基金项目: 本研究得到河南省重大科技攻关计划项目经费支持(项目编号 0122021900)
作者介绍: 李志宏(1963-)男,博士,教授,主要从事超硬工具材料、陶瓷复合材料的研究。
通讯作者: 李志宏, E-mail: lizhihong@tju.edu.cn

距。本文作者结合复合材料制备理论和实验研究,探讨了陶瓷结合 CBN 磨削工具的制备原则及工艺,这对国内 CBN 磨削工具产品的开发及推广应用具有较大的意义。

1　陶瓷结合 CBN 磨削工具材料的制备原则

陶瓷结合 CBN 磨削工具从宏观组成上来看,一般是由 CBN 磨料、辅助磨料(也称为填充料)、结合剂三类物质构成的复合材料。从物相结构上来看,是由晶体相(CBN 磨料、辅助磨料、结合剂中的微晶粒)、玻璃相(结合剂主相)和气孔组成。CBN 磨料颗粒之间由结合剂相作为桥梁而连接。我们认为:这类磨削用的复合材料的制备一方面应以复合材料制造理论为指导,另一方面应以磨削理论为指导。从复合材料制备[7]角度来看,结合剂 CBN 磨削工具材料制备应注意陶瓷结合剂与 CBN 磨料之间的物理和化学相容性:陶瓷结合剂与 CBN 磨料及辅助磨料的热膨胀系数应相匹配,从而保证结合剂与磨料之间的牢固结合;陶瓷结合剂和 CBN 磨料之间不能有明显的化学反应,从而避免 CBN 磨料表面结构的损坏及硬度等主要性能的劣化;陶瓷结合剂应具有较低的耐火度和烧成温度,从而保证 CBN 磨料性能在磨具制备条件下不产生退化。另外,陶瓷结合剂本身应具有较高的强度,从而使磨具整体具有较高的强度,适应日益趋向高速磨削的应用要求。从磨削理论角度来看,陶瓷结合 CBN 磨削工具的制备,应根据磨削工件材料的性能(如材质、硬度等)、加工方式、加工余量、加工节拍、加工精度要求等因素,来合理选择磨料种类、粒度、浓度和磨具硬度,以适应特定的磨削要求。

2　实　验

2.1　实验过程

选用市售的国产 CBN 磨料,粒度 100/120。用 JSI 型强度测定仪参照 JB/T 7988.1-95 规定的方法[8]测定磨料的单颗粒抗压强度;采用 XL-30 (Phlips)环扫电子显微镜分析磨料颗粒表面形貌及试样断口形貌,用其所带能谱仪分析 CBN 磨料表面成分;采用自制的陶瓷结合剂进行 CBN 磨具制备试验。结合剂的耐火度测试采用三角锥法,以锥倒温度为所测定耐火度温度;抗弯强度测试均采用 25×6×4 的试样,用三点弯曲法测定,加载速度为 0.5 mm/min;结合剂的线膨胀系数采用 Lcp-1 型差热膨胀仪测定,升温速度 10 ℃/min。

2.2　实验结果及讨论

2.2.1　CBN 磨料性能及其对磨具制备工艺的影响

考虑到国产 CBN 磨料价格便宜,采购方便,有利于实现 CBN 磨具生产的国产化和应用的普及化,我们选择市售的国产 CBN 磨料为磨具制造原料。所选 CBN 磨料的单颗粒抗压强度(以破碎时的负荷表示)如表 1 所示。

从表 1 中可以看出:CBN 磨料经 800 ℃ 0.5 h 灼烧后,强度有所下降。经 800 ℃ 2h 灼烧后,其强度下降较为明显。对灼烧前后的试样进行了 EDAX 分析(见图 1),发现 800 ℃ 2h 灼烧后试样表面的含氧量有明显增加,这说明CBN磨料已有一定的氧

表 1　CBN 磨料单颗粒抗压强度/N

Table 1　Compressive strength of CBN particles/N

Room temperature		24.7
After 800℃	0.5h	23.9
After 800℃	2h	21.8
After 1100℃	0.5h	16.9

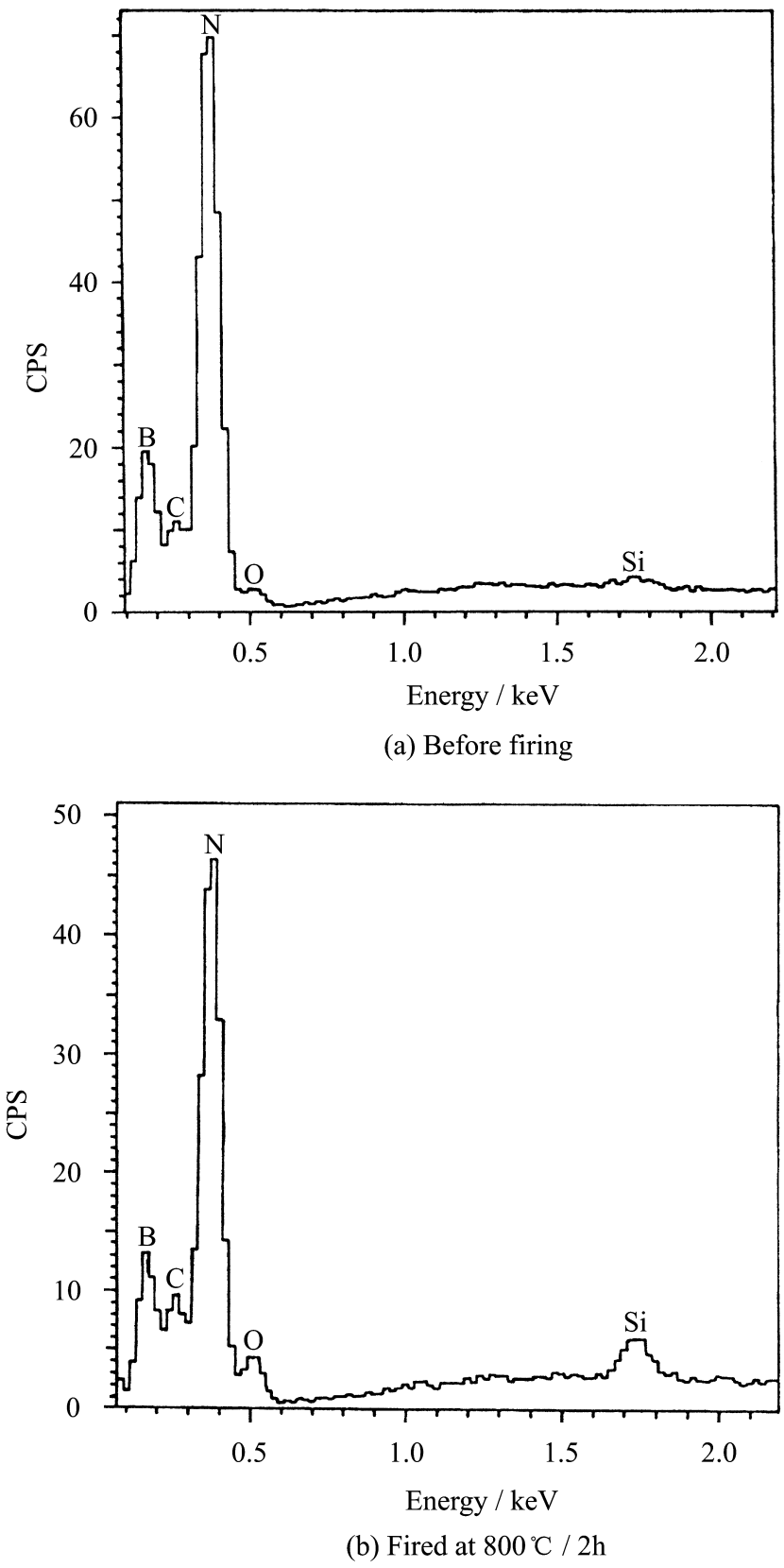


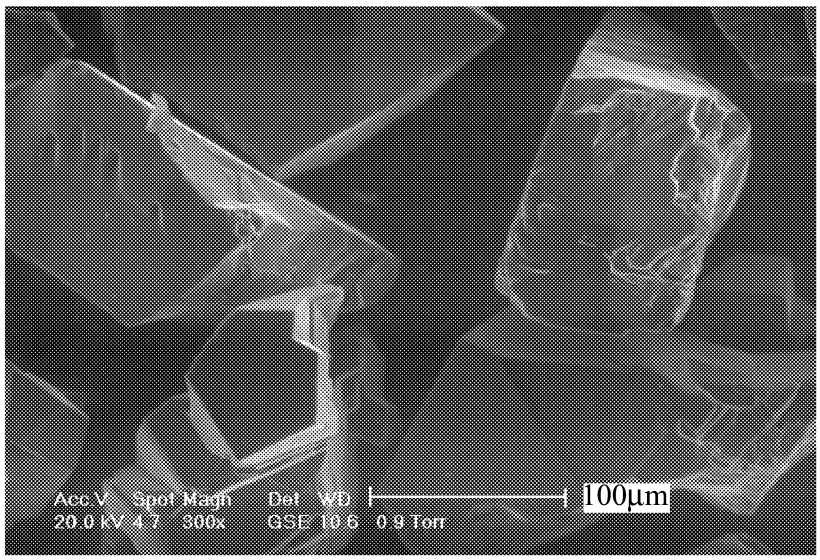
图 1　烧过和未烧过 CBN 磨料表面 EDAX 分析

Fig. 1　EDAX of fired and unfired CBN particle surfaces

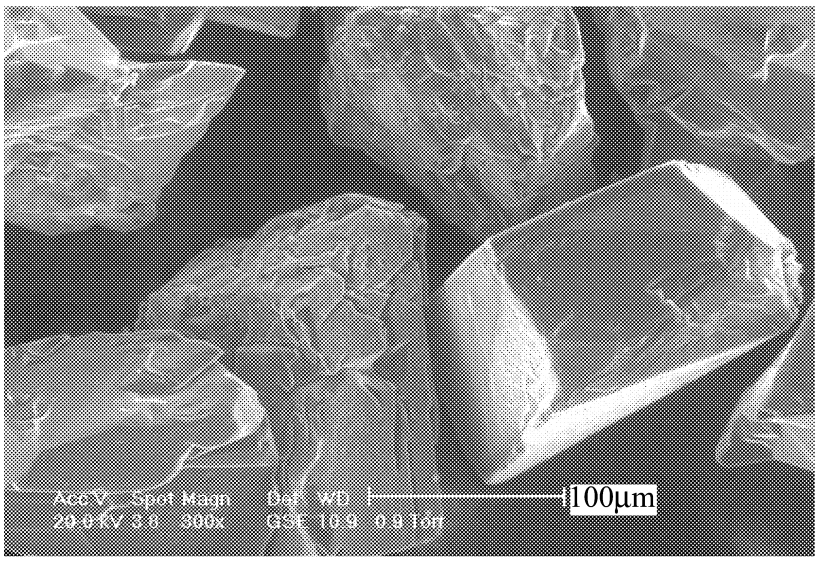
表 2 结合剂的性能

Table 2 Properties of vitrified bond

Bond	Refractoriness/ ℃	Sintering temperature/ ℃	Flexural strength/ MPa	Linear expansion coefficient ($\times 10^{-6}$ · ℃$^{-1}$)(20 ℃～500 ℃)
C_1	680	650	59.4	4.2
C_2	600	570	54.1	8.7



(a) Before firing



(b) Fired at 1100℃ / 0.5h

图 2 烧过和未烧过 CBN 颗粒形貌 SEM 分析

Fig. 2 SEM micrographs of fired and unfired CBN particles

化。当在 1100 ℃下灼烧时, CBN 磨料强度下降幅度就更加显著。对 1100 ℃灼烧后的磨料作 SEM 分析, 发现其颗粒表面粗糙且有裂纹, 而灼烧前磨料表面较光滑(见图 2)。由 CBN 磨料表面结构破坏和强度显著下降来看, 该 CBN 磨料在 1100 ℃下性能已明显退化。根据前述复合材料制备原则, 在陶瓷结合 CBN 磨具烧结温度下, 应保证 CBN 磨料性能不能明显退化。综合考虑 CBN 磨料性能随温度升高和加热时间延长而下降的情况, 我们认为: 采用这类国产 CBN 磨料时, 陶瓷结合 CBN 磨具的烧结应在 800 ℃以下进行。磨料的热稳定性是结合剂烧成温度选择的首要考虑因素。经我们多次的磨具制备试验证明: 在低于 800 ℃烧成的 CBN 磨具的确在磨具的锋利性和耐用度方面要优于 800 ℃以上烧结的 CBN 磨具。

2.2.2 结合剂的选择

陶瓷结合剂的合理选择是陶瓷结合剂 CBN 磨具成功制备的首要关键。我们按照 CBN 磨削工具制备要求, 自制了两种结合剂, 其主要性能见表 2。根据以往的实践经验, 结合剂本身强度和烧结温度都可以满足磨削工具制备要求。在相同的结合剂量和成型密度条件下, 采用两种结合剂分别制备了 CBN 强度试条。试条烧后强度见表 3。从表 2 和表 3 可以看出: C_1 结合剂和 C_2 结合剂本身强度差别不大, 而用 CBN 复合后强度差别较大。我们对试样断口进行了 SEM 分析(见图 3), 发现 C_1 结合剂与 CBN 磨料结合状态较好, 而 C_2 结合剂与 CBN 磨料的界面结合处有裂纹存在。我们分析, 界面裂纹的存在可能是导致材料强度较低的主要原因, 这种裂纹可能与烧结过程中结合剂与磨料的热膨胀系数的匹配性有关。因为 CBN 磨料的热膨胀系数为 3.5×10^{-6} · ℃$^{-1}$左右[9], C_1 结合剂的热膨胀系数与 CBN 磨料相差不大, 二者匹配较好; 而 C_2 结合剂与 CBN 磨料的热膨胀系数相差较大(相差 5.2×10^{-6} · ℃$^{-1}$左右), 匹配性较差, 因此可能在烧结过程中由于 CBN 磨料与结合剂热膨胀的失配而在结合处产生裂纹。这说明 CBN 磨料与结合剂热膨胀系数之差达到 5.2×10^{-6} · ℃$^{-1}$时, 对磨具强度的影响已较明显。因此, C_1 结合剂较适合 CBN 磨具制造。

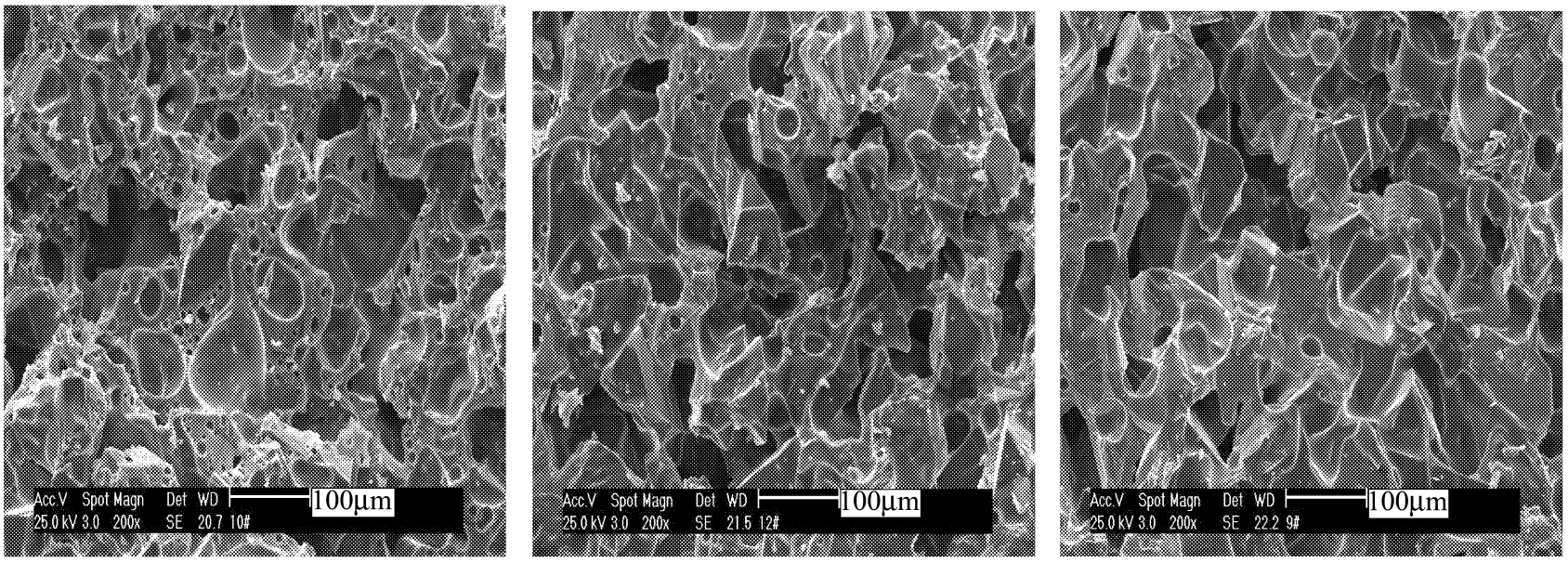
表 3 不同结合剂 CBN 试样的强度

Table 3 Flexural strength of CBN composites with different bonds

Samples	Sintering temperature/ ℃	Flexural strength/ MPa
C_1+ CBN	740	66.7
C_2+ CBN	680	42.3

2.2.3 烧成温度对磨具强度及结构的影响

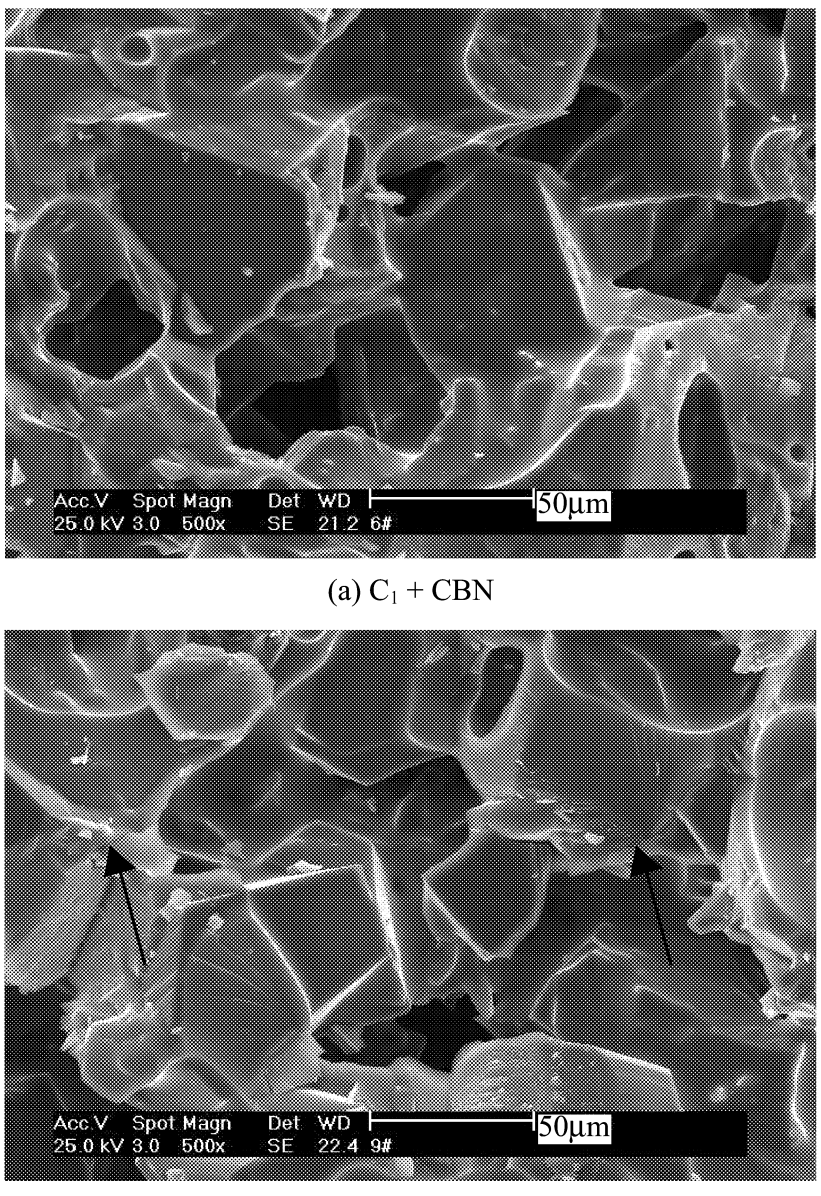
我们选取与 CBN 磨料匹配性较好的 C_1 结合剂进行 CBN 磨具制造, 探讨不同烧结温度对 CBN



(a) 680 ℃　　(b) 740 ℃　　(c) 780 ℃

图 4　不同烧结温度试样的断口 SEM 照片

Fig. 4　SEM micrographs of fracture surface of CBN composites at different sintering temperatures



(a) C_1 + CBN

(b) C_2 + CBN

图 3　不同结合剂 CBN 试样的断口 SEM 照片

Fig. 3　SEM micrograph of fracture surface of CBN composites with different bonds

磨具强度的影响。我们分别在 680 ℃, 740 ℃, 780 ℃下以相同的升温速度及保温时间对试样进行了烧结, 其强度测试结果如表 4 所示。

表 4　不同烧结温度试样的强度

Table 4　Flexural strength of CBN composites at different sintering temperatures

Samples	Sintering temperature/ ℃	Flexural strength/ MPa
1	680	54.9
2	740	66.7
3	780	68.2

从表 4 中可以看出: 试样强度随烧结温度的升高而有所升高。从试样断口形貌(图 4)看, 试样烧成温度较低时, 结合剂桥相中气孔较多, 结合剂桥强度较低, 磨具破坏时, 从结合剂桥相中间以较低的强度断裂。而在较高烧成温度下, 结合剂桥相中气孔较少, 结构较为致密, 结合剂桥强度较高, 磨具破坏时沿磨料与结合剂界面处断裂, 破坏强度较高。所以, 我们认为: 在不引起 CBN 磨料性能退化和磨具过烧变形等废品的情况下, 适当提高烧成温度有利于提高结合剂与磨料的结合强度, 从而有利于增加磨具的耐用度及使用寿命。

按照复合材料和磨削理论, 我们成功制备了性能良好的陶瓷结合 CBN 磨具, 并在汽车凸轮轴磨削、曲轴磨削、液压挺杆磨削、刀具磨削、喷油嘴针阀体磨削等应用中取得了良好的效果, 具有很好的磨具性能重现性、稳定性, 具体应用研究情况将另文报道。

3　结　论

本文作者从复合材料的角度探讨了磨具的制备问题并进行了实验研究, 很好地解决了陶瓷结合

CBN 磨具制备问题, 并通过本实验研究得出如下结论:

(1) 陶瓷结合 CBN 磨具的烧结温度以低于 800 ℃为宜。

(2) 结合剂与 CBN 磨料的热膨胀系数之差达到 $5.2\times10^{-6}\cdot℃^{-1}$时, 已对 CBN 磨具的强度产生比较大的影响。具有较小热膨胀系数和较高强度的 C_1 结合剂较适合 CBN 磨具制造。

(3) 在一定温度范围内, 适当提高烧结温度, 有利于提高结合剂桥相本身的强度及结合剂与 CBN 磨料颗粒的结合强度。

参考文献:

[1] Alan C Carius. Using CBN abrasives [J]. Tooling & Production, 2000, 66(12): 45- 49.

[2] Juchem H O, Cooley B A. Vitrified bond ABN tools and their advantages [J]. Industrial Diamond Review, 1983, 43(499): 310- 314.

[3] Nathan P Navarro. CBN and vitrified bond: A new focus [J]. Machine and Tool Blue Book, 1986, 81(10): 51- 52.

[4] Russell Kaiser. CBN wheels put production grinding on a roll [J]. Cutting Tool Engineering, 1990, 42(4): 29- 34.

[5] Alan Carius. The CBN outlook [J]. American Machinist, 1999, 143(9): 64.

[6] 李志宏, 朱玉梅, 袁启明, 等. 陶瓷结合剂 CBN 磨具制造及应用进展 [A]. 全国超硬材料及制品研讨会论文集 [C]. 南京, 2001, 11. 82- 88.

[7] 张长瑞, 郝元恺. 陶瓷基复合材料 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2001. 6- 7.

[8] 中国标准出版社, 全国磨料磨具标准化技术委员会. 中国机械工业标准汇编 —— 磨料磨具卷(下) [M]. 北京: 中国标准出版社, 1999. 11.

[9] 李志宏主编. 陶瓷磨具制造 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2000. 304.