

钴基结合剂对金刚石把持力的研究*

汤东华^① 洪跃生^②

(^① 华侨大学金刚石工具厂, 泉州 362011; ^② 厦门超硬材料工贸公司, 厦门 361000)

摘要 概述金刚石锯片的工作机理, 指出钴基结合剂的致密度、硬度与金刚石把持力的关系, 且以加入与不加入金刚石的结块的抗弯强度损失率的对比试验为主要依据, 提出并论证增强钴基结合剂对金刚石把持力的两个可行途径——部分液相烧结与加入强碳化合物形成元素。

关键词 金刚石, 锯片, 结合剂, 钴基, 石材荒料

分类号 TG 717.04

金刚石圆锯片是当今石材加工的重要工具, 近几年来在我国获得飞跃发展, 已成为我国消耗金刚石数量最大的项目。开展对金刚石工具的系统研究是本学科与行业发展的紧迫需要。本文选择在热压条件下提高金刚石工具质量的一个最基本问题——结合剂对金刚石的把持力问题进行探讨。

1 结合剂对金刚石把持力的重要性

目前, 国内外学者较一致认定的金刚石圆锯片的工作机理^[1]可简略示于图1。由于与被加工材料的摩擦, 使得耐磨性比金刚石小得多的结合剂较快地被磨蚀掉。因此, 金刚石便从结合剂中凸露出来, 形成一定的出露高度(图1)。出露后的金刚石随锯片在作高速旋转的同时, 会插入石材表面一定深度并作相对运动(进给运动), 便将一小块石材(切屑)切离出来, 成为颗粒度很小的石粉, 随之被冷却液带走。许多金刚石磨粒的连续工作, 便可切出一条沟槽, 完成锯切作业。

金刚石在完成锯切作业过程中, 承受着石材反作用于其上的切削力, 于是其自身也经历一个磨蚀、破碎和最终从结合剂中脱落的过程, 从而完成其工作循环使命。由于大量石粉流的冲刷, 结合剂不断地被磨蚀, 包含在结合剂中的金刚石不断地出露, 投

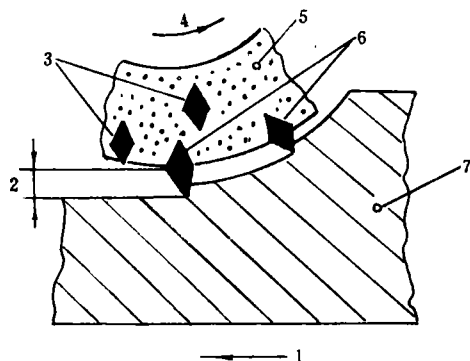


图1 金刚石锯片工作机理示意

1. 进给运动; 2. 金刚石的出露高度;
3. 未出露的金刚石; 4. 锯片旋转;
5. 结合剂; 6. 已出露的金刚石; 7. 石材

* 本文 1993-11-22 收到; 国家自然科学基金资助项目

入了表层的工作金刚石的行列,从而保持着始终如一的良好工作状态,即自锐性。

质量好、强度等级高的金刚石不易被磨蚀与破碎,因而采用高等级金刚石可提高工具的使用寿命。但是,即使是高等级金刚石,若结合剂对其把持力不够大,则在切削力的作用下,它将会轻易地从结合剂中脱落,并随之被冷却液带走。这种在金刚石未完成(或未充分完成)切削作业即丧失其工作机会的现象,称为金刚石的早期脱落。这是造成金刚石锯片使用寿命不高的最重要原因。可以说,提高结合剂对金刚石的把持力以避免其早期脱落,是当前提高金刚石工具质量的最本质与最现实的途径。

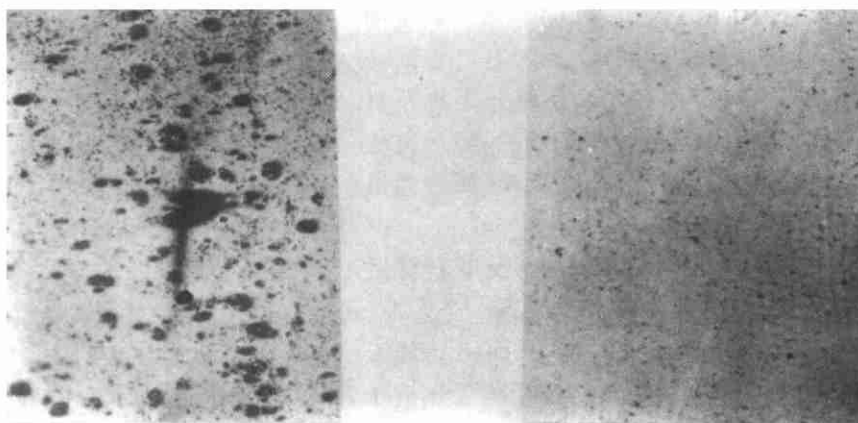
2 确保结合剂的致密度以提高其把持力

提高结合剂的硬度,即可提高其承受石粉冲刷的抗磨能力,从而直接地增加结合剂对金刚石的把持面积,即增强其把持力。为了掌握结合剂硬度的变化规律,我们做了纯 Co 结合剂的致密度(ρ)与其硬度(HRB)和冲击韧性(α_k)关系的试验,结果列于表 1。

表 1 纯 Co 结合剂的致密度与机械性能

$\rho / (\%)$	60	70	80	90	95
HRB	41.0	54.2	61.5	89.5	98.5
$\alpha_k / \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$	0.08	0.13	0.22	0.25	0.29

实验所用纯 Co 粉 $\geq 98\%$,粒度为 200 目,烧结温度为 750°C (石墨模表面、热电偶测量),压力为 $30\sim 35\text{ MPa}$ 。冲击韧性试件尺寸为 $40\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 8\text{ mm}$,且不带缺口,试验跨距为 30 mm 。图 2 为不同致密度试件的金相显微照片。由此看出,高致密度结合剂的孔隙尺寸明显变小,这有助于结合剂硬度与冲击韧性的提高。



(a) 50%致密度

(b) 95%致密度

图 2 不同致密度纯 Co 结块的显微结构(100 \times)

从试验结果得出结论:随着致密度的提高,结合剂的硬度与冲击韧性均随之提高。其中,在起始阶段提高较快,后期则趋于平稳。在本试验条件下,纯 Co 结合剂的最高硬度为 HRB 98.5。可以预见,致密度的提高将直接而有效地增强结合剂对金刚石的把持力,而冲击韧性的提高将有助于防止结合剂的崩碎破坏,也有利于锯片质量的提高。

3 通过液相烧结来提高结合剂的把持力

金刚石是一种在高温条件下容易石墨化与氧化的物质。如何实现在良好保持力条件下,尽可能低的烧结温度是至关重要的。纵观国内外结合剂的配方,可以说加入一定数量的低熔点金属元素,如 Cu, Al 或其合金,是一种切实可行的措施。

鉴于金刚石的颗粒度很小,要直接施力于金刚石以测定其把持力,技术难度大,也不易获得可靠结果。现以加入金刚石与不加入金刚石这两种结块的抗弯强度的比较,即用抗弯强度的损失率 $q(\%)$ 来间接地测定此把持力。即

$$q(\%) = \frac{\sigma_{w0} - \sigma_{wd}}{\sigma_{w0}} \times 100\% = \frac{\Delta\sigma_w}{\sigma_{w0}} \times 100\%,$$

其中 σ_{w0} 为不含金刚石结块的抗弯强度, σ_{wd} 为含金刚石结块的抗弯强度, $\Delta\sigma_w = \sigma_{w0} - \sigma_{wd}$ 。

用此试验方法源于如下设想:结合剂自身的强度总是高于金刚石与结合剂之间的结合力(即把持力),因而在结合剂中加入金刚石后,其抗弯强度必定会有所降低。加入金刚石后结合剂的抗弯强度降低的程度愈大,则意味着金刚石与结合剂之间的结合力愈小;反之,其结合力较大。现作出无液相结合剂与部分液相结合剂的抗弯强度损失率的对比试验。无液相结合剂的质量分数(w)为 0.70 Co, 0.20 QSn(青铜)6-6-3, 0.10 Ni。该结合剂的组分在试验的烧结温度条件下是不存在液相的。作为对比试验的是在上述结合剂中再加入 Zn 或 Al, 以形成部分液相烧结。弯曲试件的尺寸为 44 mm × 9 mm × 8 mm, 跨距为 30 mm。金刚石浓度为 30。试验结果列于表 2。

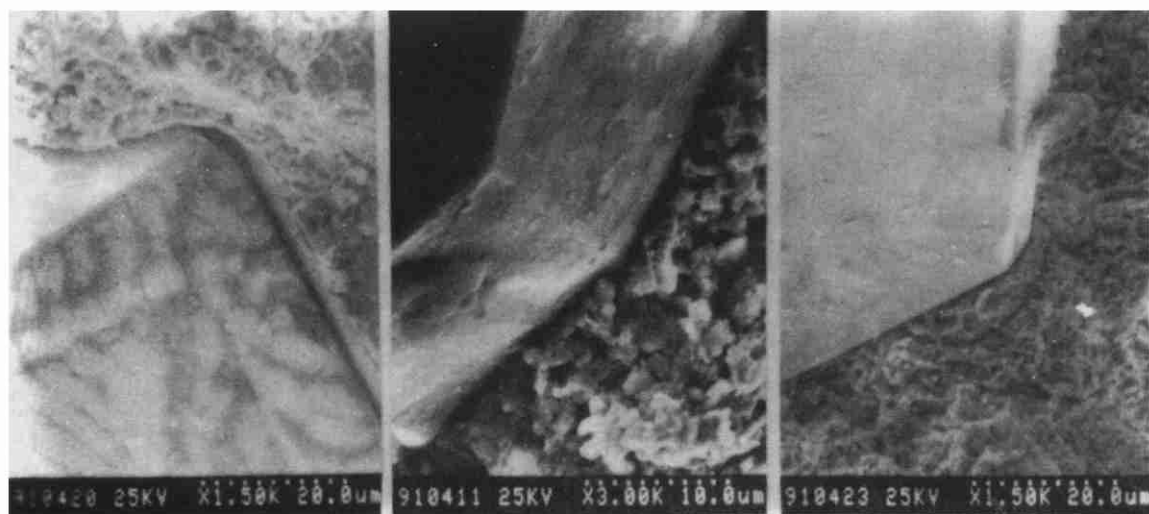
表 2 Zn 对 Co 基结合剂 q 的影响

w_{zn}	σ_{w0}/MPa	σ_{wd}/MPa	$\Delta\sigma_w/\text{MPa}$	$q/(\%)$
0.00	972.0	688.0	284.0	29.22
0.05	789.0	610.7	178.3	22.60
0.10	680.1	572.0	108.1	15.89

从表 2 可看出,不含 Zn 的结合剂在加入金刚石后其抗弯强度的损失率为 29.22%,加入 0.05 或 0.10 Zn(w_{zn})后,其抗弯强度的损失率分别下降至 22.6%或 15.89%,效果十分明显。它表明随着 Zn 含量逐步增加至 0.10,结合剂对金刚石的把持力呈增大的趋势。加入 Al 至 0.10,也类似于加入 Zn,获正效应结果,其抗弯强度损失率则降至 18.80%。从表 2 还可看出,当加入 Zn 后,不论是加入金刚石与否,其抗弯强度均有所降低。这里应该说明:此抗弯强度绝对值的降低所涉及的是结合剂自身的强度,而不是结合剂对金刚石的把持力。若此种强度值的下降不导致金刚石结块的断裂或崩碎,则不影响金刚石锯片的质量。

图 3 是反映金刚石与结合剂的界面状态的电子显微镜照片。其中,(a)为 Co 基无液相组分,金刚石与结合剂之间存在明显的沟隙。(b)为含 0.10 Zn 的液相烧结,虽然其放大倍数较

(a)增大一倍,但是界面上的沟隙并不见增大,显示其界面状态已有相当地改善。(c)为含0.10 Al 的液相烧结。显然,金刚石与结合剂在界面上贴切得很紧密。



(a) 钴基无液相

(b) 含0.10Zn

(c) 含0.10Al

图3 金刚石与结合剂的界面状态

4 通过界面碳化物的形成以提高结合剂对金刚石的把持力

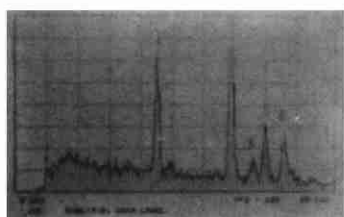
我国学者林增栋^[2]等人所作的研究表明,可以在金刚石表面形成碳化物,以增强金属元素与金刚石的界面结合。为了探索在金刚石锯片热压条件下,金刚石与结合剂中强碳化物形成元素的作用,我们做了如下的试验。结合剂的质量分数为0.70Co,0.20QSn6-6-3,0.10Zn。选择Ti作为强碳化物形成元素。仍以抗弯强度的损失率作为结合剂与金刚石结合力衡量的尺度。表3列出不同含Ti量(w_{Ti})时结合剂中含与不含金刚石的抗弯强度的对比试验结果。含Ti为0.05或0.10的结合剂,在加入金刚石后的抗弯强度损失率分别为12.28%或11.20%,而不含Ti时为18.39%。显然,含Ti结合剂表现出对金刚石较强的把持力。

表3 Ti对Co基结合剂 q 的影响

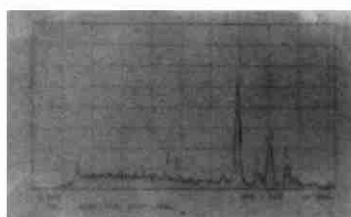
w_{Ti}	σ_{w0}/MPa	σ_{wd}/MPa	$\Delta\sigma_w/\text{MPa}$	$q/(%)$
0.00	816.1	666.0	150.1	18.39
0.05	791.2	694.0	97.2	12.28
0.10	744.0	660.7	83.3	11.20

图4为含Ti 0.05的Co基结合剂的电子显微镜化学元素频谱分析记录图。其中,(a)为金刚石与结合剂界面上的频谱分析,Ti的质量分数高达0.1661。(b)为距离界面10 μm 处的

结合剂的频谱分析,Ti的质量分数降至0.0215.在靠近金刚石与结合剂的界面上,显然存在着Ti原子的富集现象,这也为Ti与金刚石表面的C原子形成碳化物提供了间接的依据.在图4中,Ti,Co,Cu和Zn符号所处位置的曲线峰值,分别表示Ti,Co,Cu和Zn含量的多少.



(a)在金刚石与结合剂界面上



(b)距离界面10 μm处

图4 含Ti的钴基结合剂的电镜频谱分析记录

5 结论

(1)从金刚石锯片的工作机理出发可知,提高结合剂的硬度可增大结合剂对金刚石的把持面积,从而提高其对金刚石的总把持力.鉴于致密度与硬度的正效应关系,提高结合剂的致密度,可视为提高结合剂对金刚石把持力的最基本途径.

(2)由于明显地改善了金刚石与结合剂的界面状态,故部分液相烧结是一种既能防止金刚石在高温烧结条件下性能的恶化,又能提高结合剂对金刚石的把持力的良好途径.

(3)适量加入强碳化物形成元素,在金刚石锯片的热压生产条件下,也可改善结合剂对金刚石的把持力.

参 考 文 献

- 1 Bridwell H C, Appl F C. A study of "Free Cutting" with diamond saws. Industrial Diamond Review, 1974, (2), 51~53
- 2 林增栋. 金刚石表面的金属化. 磨料磨具与磨削, 1987, (2), 1~5

A Study on the Retention of Cobalt Base Bonding Agent to Diamond

Tang Donghua^① Hong Yuesheng^②

(^①Diamond Tool Factory, Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou; ^②Superhard Mater. Eng. & Trading Co., 361000, Xiamen)

Abstract For improving the retention of cobalt base bonding agent to diamond, the authors propose and verify two feasible ways — partly liquid phase sintering and adding strong carbide forming elements into bonding agent. The proposal is based mainly on a comparison made between the loss ratio of bending strength of the segment with diamond and that of the segment without diamond. It is also based on the working principle of diamond saw blade; and on the relation between the density and the hardness of cobalt base bonding agent and the retention force of diamond.

Keywords diamonds, saws, bond, cobalt base, rough stone blocks