第 25 卷 第 1 期
2 0 0 4 年 2 月
焊接学报
TRANSACTIONS OF THE CHINA WELDING INSTITUTION
Vol.25 No.1
February2004

金刚石工具真空钎焊钎料的适应性

孟卫如[1,2]， 徐可为[1]， 杨吉军[1]， 南俊马[1*]
（1.西安交通大学 金属材料强度国家重点实验室，西安 710049；
2.西安理工大学 材料科学与工程学院，西安 710048）

孟卫如

摘 要：应用真空钎焊技术，分别采用含有强碳化物形成元素Cr、Ti 的 BNi2、BNi7 及自制的 CuSnNiTi 钎料试制了单层金刚石圆锯片，在一定的钎焊温度、时间及真空度下，金刚石与钎料及基体之间均可形成化学冶金结合，但结合的状况及锯切性能随钎料的不同而改变。试验证实自制的 CuSnNiTi 钎料钎焊温度低，焊接时金刚石的热损伤小，钎料与金刚石有很好的润湿性。不仅基体对金刚石有较高的把持力而且钎料与所切割的石材有很好的适应性。

关键词：工具；单层钎焊；金刚石
中图分类号：TG74 文献标识码：A 文章编号：0253－360X(2004)01－80－03

0 序 言

石材加工工业中所用的金刚石工具，多数为热压烧结多层磨料结构，由粘结相、骨架相及金刚石颗粒构成，通过粘结相在烧结温度下的熔化来浸润金刚石及骨架相使其成为一体。这种结构的不足之处在于，由于金刚石的表面惰性较大，通常所用的粘结相对金刚石的润湿性能较差，所以基体对金刚石的把持力较弱，主要依靠机械包镶作用，因而工具中金刚石的出刃高度受到限制，影响了锯切或磨削时工具的锋利度。多层结构的金刚石工具存在自锐性问题，金刚石颗粒经过磨损磨平，磨碎，受冲击脱落后，工具必然变钝，需要经过重新开刃后才能使用。单层结构的金刚石工具多为电镀制成，镀层金属对金刚石同样是机械包镶，其结合界面强度低，基体对金刚石的把持力有限，这也限制了单层金刚石工具的应用范围。

近年来国内外开始关注金刚石单层钎焊砂轮在高速机械加工中的应用，单层钎焊制造金刚石工具有诸多优点[1~3]。基体通过钎料与金刚石形成冶金结合，结合强度高，可以保证金刚石工具有较高的出刃，因而工具的锋利度大，容屑空间大不宜堵塞，同时提高了金刚石的利用率，降低了工具的制造成本。文献[4]在金刚石绳锯的串珠上采用钎焊技术，在不降低工具寿命的基础上，使金刚石的用量减少了一半，切割速度增加了 2 倍；并称如果单层钎焊技术能够应用到石材加工工具上，将是金刚石锯切工具设计上的一次革命，因为钎焊技术带来的不仅是生产效率的大幅提高，并且伴随着成本的大幅降低。

但从目前的研究状况来看，核心是如何提高对金刚石的把持力，在此前提下，寻求与金刚石相适应的钎料，避免其严重损伤。文献[5~7]通过金刚石表面金属化来提高基体与金刚石的界面结合力，文献[8]通过加入稀土元素提高基体与金刚石的结合力。作者利用自制的 CuSnNiTi 钎料与市售的 BNi2(NiCrSiB)、BNi7(NiCrP)钎料进行了试验研究。

1 试验方法

试验采用 3 种钎料 BNi2(NiCrSiB)、BNi7(NiCrP)及自制 CuSnNiTi 钎料；金刚石为四川艺精 YSD700，粒度－40~45 目；基体为低碳钢板。

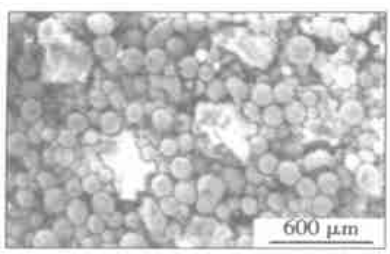
钎焊设备为真空辐射加热炉。所用钎料均为粉末状，试验时将粉末与金刚石加粘结剂混合均匀，涂于钢板表面，在烘箱内烘干，分别置于真空炉内钎焊。炉内真空度为 1.3×10^{-1} Pa，3 种钎料的钎焊温度分别为 1 050 ℃，950 ℃，900 ℃，保温 10 min，炉冷。

2 试验结果与分析

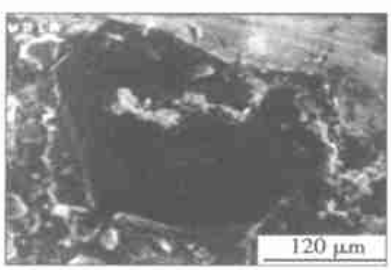
图 1 为 BNi2 钎料单层钎焊金刚石试样的表面，图 1a 为钎焊前钎料粉末与金刚石粘结烘干后的照片，图 1b、c 为钎焊后的照片。对爬上金刚石表面的钎料进行分析，结果见表 1。可以看出，爬上金刚石

收稿日期：2003－05－19
*参加此项研究工作的还有贺林

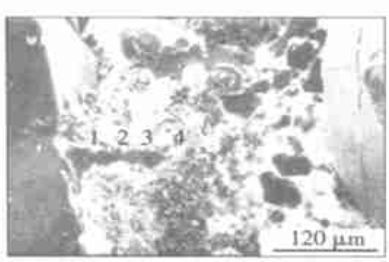
表面的钎料金属中 Cr 元素从界面到基体呈递减分布, 靠近金刚石附近的金属中存在一个富 Cr 区。表明钎焊温度下, BNi2 钎料对金刚石有很好的润湿性, 在表面张力的作用下, 钎料金属爬上金刚石表面。由于钎料金属中的 Cr 元素是强碳化物形成元素, 使得 C 原子从金刚石表面向钎料中扩散, 并与其中的 Cr 元素结合, 在此驱动力的作用下钎料中的 Cr 元素也同时向金刚石表面扩散, 由此而造成 Cr 元素的浓度分布的变化。注意到图 1c 中右边的金刚石已经出现裂纹, 事实上, 加热和冷却过程中若钎料金属与金刚石的热膨胀系数相差较大, 则可能产生热应力, 致使金刚石开裂。



(a) 钎焊前



(b) 钎焊后金刚石表面



(c) 金刚石表面的裂纹

图 1　BNi2 钎料单层钎焊金刚石试样表面

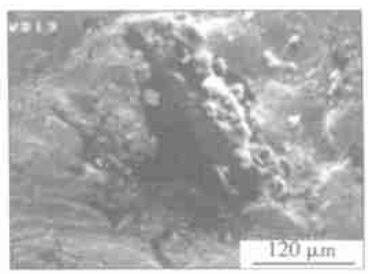
Fig. 1　Morphologies of brazed diamond surface with BNi2 alloy

表 1　BNi2 钎料金刚石表面定点成分(质量分数, %)

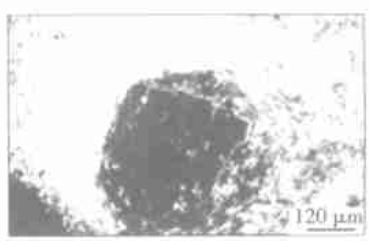
Table 1　Composition of alloy on diamond surface with BNi2

序号	Cr	Si	C	Ni	Fe
1	59.54	1.38	10.77	14.89	13.42
2	25.47	3.18	5.10	49.58	16.62
3	2.84	13.79	13.37	66.73	3.27
4	4.56	4.85	—	72.08	13.89

图 2 为 BNi7 钎料单层钎焊金刚石试样表面的结果。BNi7 钎料的流动性非常好, 钎料完全爬上金刚石表面, 将金刚石包裹(图 2a), 表明 BNi7 钎料对金刚石的润湿性很好, 但图 2b 显示金刚石表面的钎料有裂纹形成, 图 2c 显示更为严重的是钎料与金刚石之间的结合界面也出现了裂纹。这可能是由于 BNi7 钎料中 Cr 含量较高为 13%, 使得金刚石与钎料之间的反应剧烈, 所形成的碳化物层较厚, 层内应力较大导致开裂。可以看到, 裂纹的发展并不是紧贴金刚石表面, 而是贯穿到表面的钎料金属中, 表明金刚石与钎料的结合强度大于钎料自身的内聚强度。



(a) 钎焊后金刚石出露



(b) 覆盖在金刚石表面的金刚石开裂

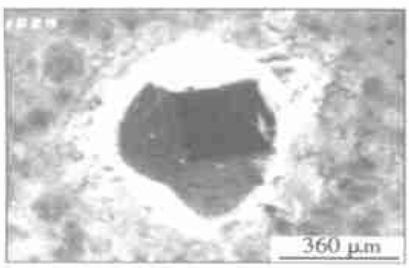
(c) 金刚石与合金之间的裂纹

图 2　BNi7 钎料单层钎焊金刚石试样表面(SEM)

Fig. 2　Morphologies of brazed diamond surface with BNi7 alloy

图 3 为自制钎料单层钎焊金刚石试样表面的结果, 图 3a 显示金刚石被钎料完全包裹, 钎料已经明显地爬上金刚石表面与金刚石结合, 呈现连续网状的薄膜包裹金刚石, 图 3b 为金刚石出刃高度的状态。表 2 为能谱分析金刚石表面的钎料成分的结果。金刚石表面金属中的 Ti 元素浓度明显高于钎料本身的浓度, 表明钎料中的 Ti 元素在钎焊温度的作用下, 从钎料中向金刚石表面扩散, 并与金刚石中的元素结合生成碳化钛[9]。

(a) 合金在金刚石表面的润湿



(b) 钎焊后金刚石的出刃状况

图 3 自制钎料单层钎焊金刚石试样表面

Fig. 3 Morphologies of brazed diamond surface with CuSnNiTi alloy

表 2 自制钎料金刚石表面定点成分(质量分数, %)

Table 2 Composition of alloy on diamond surface with self-made brazing filler metal

序号	Ti	Cu	Sn	Ni
1	25.58	62.32	10.40	1.70
2	16.35	69.13	12.29	2.23
3	12.86	68.48	16.63	2.03
4	9.15	73.47	16.95	0.44

采用 3 种钎料单层钎焊制成 ϕ125 mm 的干切片, 进行切割试验。BNi2 制成的锯片切割初期很锋利, 但经过一定时间的工作后, 锯片变钝开始冒火星, 表明 BNi2 钎料太硬, 耐磨性好, 在金刚石被磨损失效后钎料的磨损程度较小, 金刚石的出刃高度下降, 石材与钎料金属摩擦, 锯片锋利度降低。BNi7 制成的锯片, 在切割刚开始即出现冒火星现象, 体视显微镜观察发现不仅金刚石偏聚严重, 而且大多数金刚石被钎料包裹, 钎料流动性好, 金刚石随钎料的流动发生偏聚, 同时钎料覆盖了大多数的金刚石, 金刚石的出刃高度降低, 导致锯片锋利度差, 锯切效果严重恶化。自制钎料制成的锯片, 具有较好的锋利度和切割寿命, 与普通烧结锯片相比, 锋利度提高 1 倍而寿命保持相当。说明金刚石的磨损与钎料的磨损同步, 使金刚石在切割过程中始终能够保持较大的出刃, 同时钎料金属与金刚石、基体之间形成了钎焊连接, 基体对金刚石有很高的把持力, 有效地提高了金刚石的利用率。

因此, 金刚石钎焊时钎料的选择非常关键, 所选的钎料既要与金刚石有良好的润湿性, 又能与金刚石发生有效的冶金化学反应, 同时又不能对金刚石有过度侵蚀, 此外钎料的耐磨性要与金刚石、石材相匹配。钎料太软耐磨性不够, 先于金刚石被磨损, 导致金刚石出刃过快而脱落造成先期失效; 钎料太硬, 在金刚石工作一段时间发生磨平及微破碎后, 出刃高度下降, 此时排屑和冷却速度降低, 加速了金刚石的磨损, 工具的锋利度随之降低。

3 结 论

(1) 采用含有强碳化物形成元素 Ti、Cr 的钎料, 单层钎焊金刚石, 钎料对金刚石的润湿性好, 碳化物形成元素在金刚石表面偏聚, 使金刚石和钎料与基体之间产生化学冶金结合, 提高了基体对金刚石的把持力。

(2) 由于采用高温真空钎焊, 焊接温度较高, 加热和冷却的速度相对较慢, 对金刚石的热稳定性要求较高, 否则金刚石会在热应力作用下开裂, 影响工具的性能。

(3) 钎料的综合性能应该与金刚石、所切割的石材匹配, 保证最佳的锋利度与足够的切割寿命。

参考文献:

[1] 肖 兵, 徐鸿钧, 武志斌, 等. Ni—Cr 合金真空单层钎焊金刚石砂轮[J]. 焊接学报, 2001, 22(2): 23~26.

[2] Chattopadhyay A K, Chollet L, Hintermann H E, *et al*. On performance of brazed monolayer diamond grinding wheel [J]. Annal of the CIRP, 1991, 40(1): 313~317.

[3] 傅玉灿, 徐鸿钧. 超硬磨料砂轮的演变与发展[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 1999, 111(3): 14~19.

[4] Sung C M. Brazed diamond grid: a revolutionary design for diamond saws[J]. Diamond and Related Materials, 1999, (8): 1540~1543.

[5] 林增栋. 金刚石表面金属化[J]. 磨料磨具与磨削, 1987, 38(2): 1~6.

[6] 张凤林, 魏 昕, 王成勇. 金刚石表面镀覆金属的性能研究[J]. 工具技术, 2002, 36(1): 26~29.

[7] 王明智, 王艳辉, 关长斌, 等. 金刚石表面的 Ti、Mo、W 镀层及界面反应对抗氧化性能的影响[J]. 复合材料学报, 1996, 13(2): 48~52.

[8] 李永良, 马 辉, 高 云, 等. 稀土元素 La 在金属胎体—金刚石复合材料中的应用[J]. 北京师范大学学报, 2001, 37(5): 623~627.

[9] 宋月清, 孙毓超, 殷 声, 等. 钴基金刚石工具胎体材料中碳化物形成元素的作用[J]. 人工晶体学报, 1993, 22(1): 73~78.

作者简介: 孟卫如, 男, 1967 年 11 月出生, 博士研究生。主要从事特种焊接及超硬材料工具的研究, 发表论文 10 篇。

Email: meng-weiru@163.com