

钎焊金刚石工具研究进展

章文姣, 孔祥清, 曲艳东

辽宁工业大学土木建筑工程学院, 锦州 121001

摘要 从钎焊材料和钎焊工艺两个方面, 综述了钎焊金刚石工具的研究现状, 探讨了钎焊技术提高金刚石工具性能的机理, 分析了当前钎焊金刚石工具研究存在的问题, 并对其今后的研究方向, 特别是对钎焊镍基孕镶金刚石工具的研发进行了展望。

关键词 金刚石工具; 钎焊材料; 钎焊工艺

中图分类号 TG74, TQ164

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.12.018

Progress in studies of brazed diamond tools

ZHANG Wenjiao, KONG Xiangqing, QU Yandong

School of Civil & Architectural Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China

Abstract The studies of brazed diamond tools are reviewed in this paper focusing on the brazing materials and the brazing processes, and how to use the brazing technology to improve the performance of the diamond tools is discussed. Problems in the current studies of brazed diamond tools are analyzed. Some suggestions for the future research directions, especially for the nickel based brazed impregnated diamond tools, are given.

Keywords diamond tools; brazing material; brazing process

制造金刚石工具的传统方法主要有电镀法和热压法。由于金刚石表面具有很高的界面能, 这两种方法制作的工具中, 胎体对金刚石的包裹能力受到一定的限制, 在工作条件下, 金刚石往往容易脱落。如何提高金属胎体对金刚石的把持力, 一直是研究的一个重要方向。其中, 在金刚石表面镀覆金属 Ti、Cr、W、Ni 等元素是最常用的方法^[1-2]。这种镀覆技术在一定程度上提高了胎体对金刚石的把持力, 但是提升效果不太理想, 此外制造工具所经历的二次工艺(镀覆、烧结/电镀)增加了制造成本。近些年发展起来的钎焊技术, 成功实现了胎体对金刚石的化学冶金结合, 金刚石的出刃高度可以明显增大, 单颗金刚石的使用效率也明显提高, 且工具的制作工艺也较简单, 该技术受到越来越多的关注^[3-6]。影响钎焊金刚石工具性能的主要因素有钎焊材料、烧结工艺等, 本文从以上两方面对钎焊金刚石工具的应用研究进行综述。

1 钎焊材料对金刚石工具的影响

金刚石与大部分的金属、合金都有很高的界面能, 普通

的金属、合金在高温下都难以润湿金刚石, 而金属镍在高温下与金刚石的润湿角较小, 铜在高温下与金刚石的界面能很大, 但在铜基胎体中添加有碳化物形成元素钛后, 铜基胎体变可以与金刚石具有较好的联结。目前, 用来钎焊金刚石颗粒的预合金钎料主要有镍基、铜基、银基等, 以及银-铜基混合钎料。

1.1 镍基钎料金刚石工具

镍基钎焊层有极好的耐腐蚀性, 且其硬度、耐磨性、耐高温型也较高, 已被应用于航空航天器件的底层或中间层及各种功能性钎焊层。在钎焊史上, 镍基钎料是历史悠久、商业化并备受重视的钎料, 已有大量的基础研究和应用研究。金刚石的弹性模量超高($E=1100$ GPa左右), 结合镍基钎焊层耐高温、硬度高、强度大等特点, 运用镍基钎料来制作金刚石工具可以实现重负荷磨削、切割与钻进等工作。

钎料中含活性碳元素与否, 金刚石工具的性能有着较大的差异。姚正军等^[7]分别选用 Ni-Cr 合金和不含 Cr 的 Ni 基合金进行了钎料与金刚石和基体的连接试验, 发现用含 Cr 的镍

收稿日期: 2014-11-17; 修回日期: 2015-04-07

基金项目: 辽宁省教育厅科学技术研究基金项目(L2013253); 国家自然科学基金项目(11302093); 辽宁工业大学基金项目(X201222)

作者简介: 章文姣, 讲师, 研究方向为金刚石制品, 电子信箱: zhangwenjiao850321@163.com

引用格式: 章文姣, 孔祥清, 曲艳东. 钎焊金刚石工具研究进展[J]. 科技导报, 2015, 33(12): 110-115.

基钎料制作的金刚石砂轮,结合剂层厚度十分均匀,使用后未发现金刚石脱落,表明金刚石与钢基体连接牢固。而不含Cr粉的钎料制作的金刚石砂轮,磨削后砂轮中大部分金刚石脱落,表明金刚石与钢基体未能实现牢固连接。秦喜杰等^[8]对胎体材料中的碳化物形成元素(Cr、Ti、W)与石墨和金刚石之间的黏结行为进行研究,结果表明,Cr、Ti、W等元素可以与石墨或金刚石发生反应而形成碳化物层。通过碳化物层,胎体材料与金刚石之间产生冶金结合。Co基和Cu基胎体材料中,Cr的加入既提高了胎体与金刚石之间的黏结强度,又对Co基胎体起到了固溶强化的作用。此外,W对金刚石也有一定的黏结作用。

20世纪90年代,Chattopadhyay等^[9]对Ni-Cr合金钎料与金刚石、基体之间的相互作用进行了研究,发现钎料中Cr元素的存在,增加了金刚石与钎料层的浸润性,使得钎料向金刚石表面聚集。而浸润性的好坏又与钎料层的厚度有关,当堆积的钎料厚度为80 μm时,金刚石与钢基体的焊接强度最高。Chattopadhyay等^[9]还发现,钎焊金刚石的出刃高度与钎料厚度、金刚石浓度有着密切的关系,采用传统“撒沙”工艺制作的单层金刚石工具,金刚石的出刃高度并不一定很高。因为钎料中Cr元素的存在,高温熔融下,钎料会向金刚石颗粒存在的地方聚集,金刚石颗粒多的区域,钎料也就会聚集得更厚,而金刚石的出刃高度也就相对降低了。为此,他们将磨轮中的金刚石颗粒均匀分布后再进行钎焊,发现此时金刚石颗粒裸露高度较为统一,磨轮性能较为稳定,工作效率最高,当金刚石粒径为106~125 μm时,金刚石的出刃高度为75~95 μm。基于此,Sung及其课题组做了一系列的金刚石有

序排列试验研究^[10-12],该方法较适宜用于单层钎焊金刚石工具和烧结温度并未达到液相点的传统热压孕镶金刚石工具制造。为降低钎焊温度,Wang等^[13]运用Ni-Cr-P合金钎料制作了钎焊金刚石钻头,由于金刚石出刃度高,而联结强度又好,工具的寿命和锋利度都比电镀法制作的要好。通过观察显微组织,发现在金刚石与钎料层中间有一过渡层,它是Ni、Cr和Fe等元素发生化学反应的场所,主要含有Cr₇C₃、Cr₃C₂等化合物,这层铬的碳化物正是改善Ni-Cr合金钎料与金刚石联结强度的主要原因。Ham等^[14]用石墨代替金刚石,研究了用Ni-10Sn-28Cr钎料在真空炉中钎焊金刚石的润湿性。试验发现随着保温时间和烧结温度的增加,石墨与钎料的接触角减小,接触界面的碳化铬形态由角状变化为针状。在1100℃的烧结温度下,Ni-10Sn-28Cr钎焊层与石墨的切变强度(包裹力)最大,达29.8 MPa。二者之间的切变强度随着中间脆性反应层厚度、界面残余应力的增加而降低。他们还研究了钎焊温度为1300℃、保温60 min的金刚石石墨化程度。试验发现,超过1100℃的钎焊温度后,金刚石颗粒与钎料达到完全接触;当温度为1200℃时,金刚石陷入进钎焊层当中,此时的金刚石已经完全石墨化。

添加活性元素的Ni基钎料与金刚石虽有很强的化学结合,但因Ni基钎料以及添加金属的熔化温度较高,在这些温度下金刚石会有石墨化的倾向(图1)^[15],同时,钎料与金刚石表面的碳原子发生化学反应时,也可能会降低金刚石的原始强度。Huang等^[16]运用Ni-12Cr-4Fe-3Si-2.5B(质量分数)合金钎料进行金刚石工具的钎焊,发现金刚石表面被碳化成石墨,在碳化区和钎焊层(胎体)中间发现有铬的碳化物形成。

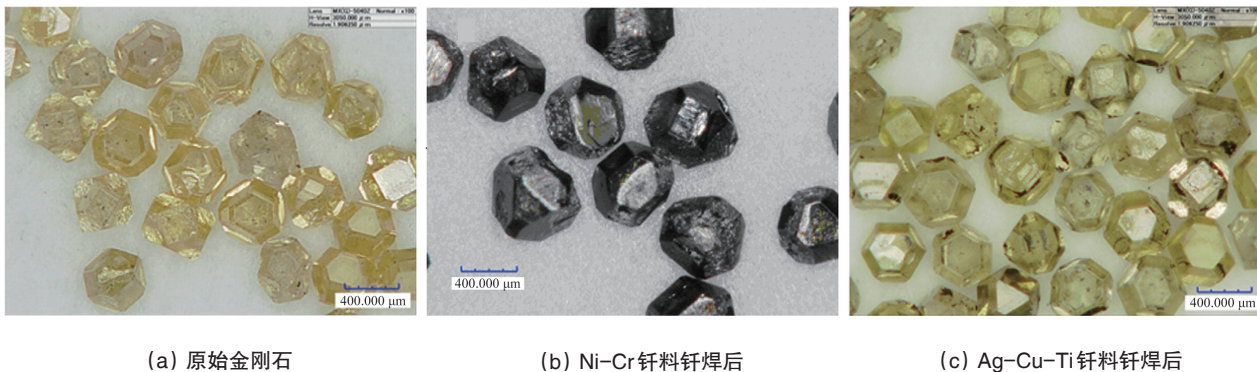


图1 金刚石形貌(用电解法将钎焊层去除)

Fig. 1 Images of unaltered diamond grits and brazed diamond grits (the solder alloys were removed through an electrolyzing process)

为了降低金刚石石墨化的程度,Hsieh等^[17]用3种胎体粉末(超细碳基Fe粉、Fe-13%Ni粉、Cu-26%Co-6%Sn-3%Ni合金,质量分数)与表面镀Ti的金刚石进行试验,在真空条件下烧结至1100℃。结果表明,Fe基胎体中的碳基可以与镀Ti

金刚石表面的Ti原子发生反应,形成一个过渡层TiC层,这个过渡层既阻止了金刚石的石墨化反应,同时还提高了胎体与金刚石的联结力。切割试验结果表明,采用镀钛后的金刚石制作的铁基金刚石工具,其寿命比传统热压发制作的金刚石

工具提高了10倍以上。Sung等^[18]提出在金刚石表面镀上一层10 μm厚的铜层之后再钎焊,这样可以降低金刚石的反应程度,能大大提高金刚石的抗冲击性能,但又不影响联结强度。同时,Cu的熔点相对较低,Ni与Cu是无限互溶的,体系在较低的温度下便可发生化学冶金反应,低温也可以减缓金刚石的石墨化。他们还发现,钎料与金刚石颗粒的反应速度与钎粒粒度有关,钎粒越细,反应越快。卢金斌组分别进行了在Ni-Cr-B-Si钎料中添加石墨^[19]和Cu粉^[20]的真空钎焊试验,发现在高温钎焊时,添加有质量分数1%石墨或5%Cu粉的Ni-Cr-B-Si钎料不仅对金刚石润湿较好,也能在一定程度上减少金刚石的热损伤。

1.2 铜基钎料金刚石工具

镍基合金钎料虽然本身强度高,钎焊后可获得对磨料把持力高的能力,但由于其钎焊温度较高,对金刚石的热稳定性有一定损伤,因此,在一些工作环境并不十分恶劣,加工工具对胎体的耐磨性要求不是很高的领域,可以采用低熔点的铜基或银基钎料对金刚石进行焊接,如图1(c)所示,低熔点合金钎料钎焊后金刚石的石墨化程度明显降低。同样,铜基钎料的合金成分对金刚石工具的性能也有重要的影响。

为了研究铜基钎料对金刚石的润湿性,Hsieh等^[21]在石墨板上进行了钎料润湿性试验,试验发现,在钎料中增加Ti的含量,降低Sn的含量,胎体中Cu的含量会降低,在焊接层中会形成CuSn₃Ti₅、SnTi₅等合金;反之,若增加Sn的含量,降低Ti的含量,焊接层中会生长出韧性好的Sn的化合物,如Sn₃Ti₅和Sn₅Ti₂等。结果表明,当钎料中原子百分含量Ti约为10%,Sn为15%以上时,钎料对石墨板的浸润性最好。Chen等^[5]将金刚石颗粒用铜锡合金(Cu-8.9Sn合金,质量分数)和316L不锈钢粉(17.5Cr-13Ni-2.7Mo-0.03C,质量分数)混合而成的钎料撒在钢基体上面,以10 °C/min的速率升温至1050°C,保温30 min,在干燥的氢气保护条件下烧结,自然冷却。焊后发现在金刚石与焊料层中间富集了铬元素,试验证明钎焊料中铜合金体积分数占70%,不锈钢粉末占30%时焊接强度最高,这样制作的金刚石工具跟以往Ni基金刚石工具性能(硬度和包镶金刚石的能力)相当甚至更好。Li等^[22]研究了用Cu-15Ti-10Sn(质量分数)钎料与金刚石、钢基体上进行钎焊后的钎焊层形貌、钎焊层与金刚石的结合界面情况。试验发现,钎焊层中具有β-(Cu-Sn)、Cu基固溶体、以及多种不同形貌的晶间化合物;在金刚石表面有一层连续的TiC层,在TiC层外侧,还有一层Sn-Ti隔离层,在钎焊层中还夹杂有颗粒状Sn-Ti金属间化合物。Khalid等^[23]用Cu-14.4Sn-10.2Ti-1.5Zr(质量分数)钎焊料与金刚石(MBD-4,粒径为100~120 μm)进行钎焊试验也发现,在金刚石界面和钎焊层处生成了两种结构的TiC,在靠近金刚石界面处,有丰富的C原子,从而钎焊时形成了连续的立方状TiC,靠近钎焊层处由于C原子不够充足,形成的便是延长过来的细长型或柱型TiC,同时钎焊层中形成了完整的CuSn₃Ti₅化合物,这些Ti的化合物是提高基体与金刚石之间联结强度的主要原因。Klotz等^[24]在研究

钎料合金和钎焊工艺参数比例对金刚石接缝的影响时也得到了类似的结果,靠近金刚石表面的立方状TiC层厚度约为70 nm,两层TiC的厚度在50~600 nm。他们认为TiC的形成使得钎料与金刚石形成了化学冶金结合,但同时也导致钎焊层与金刚石结合处应力集中,这是因为金刚石与钎焊层的热胀系数和晶格参数不同,TiC层的厚度多大是好,还需做很多的研究,建议研究激光钎焊和感应钎焊,因为这些工艺的保温时间很短,只可以形成较薄的TiC层。同一类钎料,钎焊层中的化合物组成对反应层(TiC层)的厚度影响不大,但是,作者指出最好的合金层钎料比例应该在Cu-18Sn-6Ti和Cu-9Sn-15Ti之间。Buhl等^[25]用Ag-Cu基钎料和Cu-Sn基钎料将单颗金刚石钎焊在钢销上,然后对其进行刮擦试验,金刚石粒径从300~850 μm。实验发现钎焊后的金刚石有两种失效机制,一种是颗粒脱落,另一种是颗粒开裂。大颗粒金刚石的失效往往是开裂,而小颗粒金刚石失效则一般为脱落。他们还发现Cu-Sn基钎料对金刚石的包裹力约为240 MPa,而Ag-Cu基钎料对金刚石的包裹力约为160 MPa。

在宝石、陶瓷等精密加工中,焊后的美观性与牢固性同等重要。Suzumura等^[26]研究了铜基钎料,在钎料中加质量分数0.001%~2%的钒元素,可使钎焊层与金刚石的连接界面更圆滑,而且不会出现黑色。他们使用含有质量分数小于1%钒的Ag-27.8Cu基钎料对金刚石的111面进行钎焊^[27],发现钎料与金刚石连接牢固,金刚石与钎料层连接界面的抗剪强度达200 MPa。显微分析发现,在金刚石周围有一薄层钒的碳化物生成,主要有V₈C₇、V₄C₃和V₂C,他们认为V₄C₃的生成对增强金刚石与钎料的联结起到至关重要的作用。

1.3 银基钎料金刚石工具

银基合金钎料由于其熔点较低、对金刚石的浸润性好,但是由于Ag金属价格较高,因而银基钎料往往应用于对胎体耐磨性要求不高的特殊金刚石工具制作中。肖冰等^[28]发现,加有Cr的Ag-Cu合金钎料可以实现砂轮的磨削负荷工作,合金层与金刚石和钢基体获得了较高的结合强度。孙凤莲等^[29]运用Ag-Cu-Ti钎料对CVD金刚石厚膜进行钎焊试验,发现金刚石与钎料结合界面处生成了化合物TiC层,在钎焊温度为940°C时剪切强度最大,达133 MPa。孙文山等^[30]通过改变Ag-Cu-Ti钎料中Ti的质量分数,进行钎料与金刚石的润湿性试验,发现当Ti占10%时钎料对金刚石具有较好的浸润性,结合强度较高。关砚聪等^[31]证实在真空条件下钎焊无镀膜金刚石,钎焊温度为940°C,使用Ag-Cu-Ti钎料合金箔的金刚石结合强度比用Ag-Cu共晶合金箔与Ti箔混合的结合强度更高。卢金斌等^[32]通过对Ag-Cu-Ti钎焊金刚石的界面结构及热应力进行观察与分析,发现钎料中的Ti元素向金刚石表面发生聚集,并与金刚石发生反应,生成块状TiC(尺寸小于1 μm),金刚石、TiC、钎料与钢基体之间形成梯度结合。金刚石在高温焊接中没有发生石墨化,金刚石中的最大拉应力位于磨粒顶部,为60 MPa,最大压应力在底部,为120 MPa。Klotz等^[33]运用活性钎料Insusil ABA(Ag-27.25Cu-12.5In-1.25Ti,

质量分数)在钼薄板基体上进行与金刚石的钎焊试验,钎焊温度为740℃,10 min完成烧结。试验发现钎料中的Ti元素首先与金刚石表面中的C原子反应生成TiC,然后以TiC作为中间产物,与In元素反应生成立方 Ti_3InC ,且 Ti_3InC 是沿着金刚石的111面针状生长的。张凤林等^[34]提出,在Ag-Cu-Zn合金中添加Cr、Ti金属粉可以改善金刚石的钎焊性能,添加Cr粉时,在空气中便可实现对金刚石良好钎焊,添加Ti粉则需要真空或者覆盖C粉才能保证钎焊效果,钎料合金中的Zn是可增加钎焊的流动性,但蒸汽压较高,容易在真空条件下造成Zn的流失,可能造成钎料合金表面出现裂纹。Wulf等^[35]研究了两种Ag-Cu基钎料与金刚石/硬质合金的润湿性关系,发现钎料对金刚石/硬质合金的润湿性与钎焊温度和基体表面粗糙度有关,随着钎焊温度的升高,二者润湿性增强,而金刚石/硬质合金表面粗糙度越大,钎料对其的润湿性越差。

2 钎焊工艺对金刚石工具性能的影响

除了钎料成分会影响钎焊金刚石工具的性能外,钎焊工艺也直接影响着钎料各元素之间的反应,钎焊工艺包括钎焊温度、保温时间和施加的保护气氛等。

马伯江等^[36]用镍基钎料分别在电阻炉和高温炉中钎焊,发现前者在金刚石与钎料界面处有两层结构,内层产物是 Cr_3C_2 ,外层产物是 Cr_7C_3 ;而后者在界面上仅有单层产物 Cr_3C_2 。陈燕等^[37]采用NiCr合金钎料,在真空和Ar气两种不同的氛围中,进行了炉中钎焊金刚石磨粒的研究。结果表明,在不同的钎焊气氛下,由于氧分压的不同导致烧结后NiCr合金钎料层的成分不相同。在金刚石磨粒与合金钎料界面生成物主要都为铬的碳化物,但生成物表面形貌不同。在真空炉中焊后的金刚石磨粒表面生成物呈放射状生长,而在Ar气保护炉中钎焊后的金刚石磨粒表面生成物如杂草一样生长,且生成物组织较真空炉中细小,在Ar气保护气氛下的炉中钎焊金刚石试样表面还有 B_2O_3 生成。Huang等^[36]分别用真空钎焊的方法和激光钎焊的方法对Cu-15Ti-10Sn(质量分数)合金钎料与金刚石进行钎焊,在真空炉中达到钎焊温度(925℃)后保温5 min;运用激光钎焊时,达到钎焊温度(980℃)后保温很短的时间(10 s左右)。焊后观察发现,真空工艺条件下,金刚石表面形成了连续的TiC层,TiC层的厚度约为300 nm;激光工艺条件下,金刚石表面形成了间断(不连续)的TiC,TiC颗粒的平均粒径约为100 nm,在金刚石表面的密度约为 5×10^{13} 颗/ m^2 。钎料与金刚石反应提高连接强度的同时,也会降低金刚石的性能,因此作者主张采用激光钎焊的方法,短时间的钎焊温度,可以降低对金刚石的侵蚀,同时还可以防止基体整体变形。Buhl等^[38]采用73.9Cu-14.4Sn-10.2Ti-1.5Zr(质量分数)钎料,考查了钎焊烧结温度(880、930和980℃)和保温时间(10和30 min)对金刚石与不锈钢基体连接处微观组织、金刚石残余应力和结合面抗剪强度的影响,试验发现在钢基体与钎焊层之间形成了一层金属间化合物 Fe_2Ti ,这层化合物的厚度随着钎焊温度的升高和保温时间

的延长而增厚。钎焊参数对金刚石的残余应力有着重要的影响,当烧结温度为880和930℃时,在金刚石表面有一个最大为-350 MPa的压应力;而当烧结温度为980℃后,在金刚石表面发现有一个最大为+150 MPa的拉应力。此外,钎焊参数也影响着界面的连接强度,在烧结温度为880℃,保温时间为10 min时,界面抗剪强度为 (321 ± 107) MPa;当烧结温度为980℃,保温时间为30 min时,抗剪强度仅为 (78 ± 30) MPa。钟如涛等^[39]研究了铜基钎料厚度、激光功率、激光扫描速度、离焦量对钎焊层的影响,发现在激光功率为850 W、扫描速度为9 mm/s、光斑直径为43 mm、负离焦、激光钎焊粉料的厚度为0.5 mm时,可获得金刚石颗粒、钎料合金、金属基体三者具有最佳结合性能的钎焊层;此时,金刚石表面生成了TiC层,且钎焊样品没有明显的缺陷。

此外,金属粉末之间的化学反应与金刚石镀膜与否有着密切的关系。马伯江等^[40]用Ni-Cr合金钎料对镀Ti金刚石与无镀膜金刚石进行钎焊,结果表明,金刚石镀钛与否,金刚石表面生成的碳化物的成分和形态各异,钎焊镀钛金刚石表面形成了密集而法向生长的反应产物,而钎焊无镀层金刚石表面的反应产物则较为稀疏,且沿着金刚石的切向方向生长,两者相比,前者与金刚石的结合强度高于后者。肖冰等^[41]采用Cu-Sn-Ti钎料对金刚石磨粒进行预钎焊处理,制作了常规金刚石锯片、镀钛金刚石锯片和磨粒预钎焊金刚石锯片,发现预钎焊金刚石磨料界面处存在元素的扩散现象并形成化学结合,且Cu-Sn-Ti钎料对金刚石磨粒的热损伤小;预钎焊金刚石节块的抗弯强度高于镀钛金刚石节块和常规金刚石节块;相同加工条件下,预钎焊金刚石锯片的切削效率相比镀钛金刚石锯片和常规金刚石锯片分别提高7%和18%。他们还发现用真空炉进行预处理的金刚石与胎体的连接强度要高于用高频感应钎焊预处理的金刚石^[42]。

3 存在的问题及发展趋势

钎焊材料对金刚石工具性能的影响,主要是通过钎料中的某些活性元素(例如Cr、Ti、Fe、V、W等)与金刚石表层碳原子发生化学冶金反应,实现了金刚石与基体、金属结合剂的化学冶金结合,从而提高金刚石的出刃高度和使用寿命。在镍基钎料中,一般添加Cr元素,而在铜基或银基钎料中,一般添加Ti元素。此外,活性元素的增加,还能对钎焊层起到固溶强化的作用,增强钎焊层的耐磨性。钎焊工艺方面,钎焊金刚石工具基本上是在真空或者氩气保护条件下进行烧结,达到钎料熔点后,保温一定的时间,保温时间对碳化物的形成量具有重要的影响,大多数学者认为,氩气保护条件下的激光钎焊或者高频感应钎焊时间短,更有利于保持金刚石原始性能。钎焊在金刚石工具中的应用研究已越来越多、范围也越来越广,并取得较大进展,但总体看还存在许多不足:

1) 所报道的文献内容基本为钎焊单层金刚石工具,钎焊单层金刚石工具的锋利度和寿命主要取决于金刚石本身的强度与耐磨性,一旦单层金刚石破碎或磨损,工具寿命也就

告終了。

2) 复杂条件下使用的钎料多为镍-铬合金钎料或者铜-钛-锡钎料,这些钎料的熔点较高,且烧结后的钎焊层脆性较大,不利于金刚石工具的使用。

3) 试验结果显示了钎焊法能显著提高胎体包镶金刚石的能力,但是并未有各种定量的衡量指标,例如钎焊层的物理力学性能、钎料熔融后的收缩性等。

结合上述问题,对今后的研究方向有以下4点建议:

1) 研发钎焊孕镶金刚石工具,特别是高耐磨性镍基有序排列孕镶金刚石工具,以适用于地质勘探、石油开采、建筑材料加工、宝玉石加工等对工具寿命要求较高的领域。

2) 寻找开发能够大幅度降低钎焊温度、满足复杂应力条件下使用,而且可以在有氧气或低真空环境下烧结的新型钎料,以降低高温烧结对金刚石产生的热损伤和生产成本。例如镍基钎料熔点高,耐磨性好,而添加铜粉、石墨等材料后可以降低金刚石的石墨化程度,同时还可增强胎体的塑性,促进金刚石出刃。因此,可以加强Ni-Cr-Cu-C合金钎料的研究。

3) 应对钎焊层的物理力学性能进行研究,例如硬度、耐磨性、抗冲击性等,用定量的指标来指导后续的生产。

4) 烧结后金刚石的反应比例值多少为最佳,这个反应值与钎料中活性原素的含量、烧结温度、烧结气氛等因素有关,此外,钎料熔融后的收缩性对金刚石的出刃高度也具有重要的影响,应加强这些基础研究。

参考文献(References)

[1] 张向红, 王艳辉. 采用镀覆金刚石的技术经济效益分析[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2011, 31(3): 61-64.
Zhang Xianghong, Wang Yanhui. Analysis for economic benefits of Ti-coated diamonds technology[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2011, 31(3): 61-64.

[2] 王艳辉, 李晓虎, 常锐, 等. 金刚石微粉表面镀覆对线锯的关键作用分析[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2013, 33(3): 26-30.
Wang Yanhui, Li Xiaohu, Chang Rui, et al. Effect of coated diamond micro powder on diamond wire saw manufacturing technology[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2013, 33(3): 26-30.

[3] Yamazaki T, Suzumura A. Brazing-filler material and method for brazing diamond: US, 6889890[P]. 2005-05-10.

[4] Chattopadhyay A, Chollet L, Hintermann H. Experimental investigation on induction brazing of diamond with Ni-Cr hardfacing alloy under argon atmosphere[J]. Journal of Materials Science, 1991, 26(18): 5093-5100.

[5] Chen S M, Lin S T. Brazing diamond grits onto a steel substrate using copper alloys as the filler metals[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 1996, 5(6): 761-766.

[6] 伍俏平, 邓朝晖, 潘占, 等. 钎焊气氛对金刚石钎焊性能的影响[J]. 机械工程学报, 2012, 48(4): 51-57.
Wu Xiaoping, Deng Zhaohui, Pan Zhan, et al. Effect of brazing atmosphere on brazing performance of diamond[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(4): 51-57.

[7] 姚正军, 徐鸿钧. Ni-Cr合金与金刚石和钢基体界面微区的分析研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2001, 33(4): 311-314.
Yao Zhengjun, Xu Hongjun. Micro-analysis of interface between Ni-Cr alloy and diamond[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2001, 33(4): 311-314.

[8] 秦喜杰, 殷声, 赖和怡. 金刚石工具胎体材料中碳化物形成元素的行为[J]. 粉末冶金技术, 1992, 10(2): 87-91.
Qin Xijie, Yin Sheng, Lai Heyi. Behavior of carbide-forming elements in matrix materials of diamond tools[J]. Powder Metallurgy Technology, 1992, 10(2): 87-91.

[9] Chattopadhyay A, Chollet L, Hintermann H. On performance of brazed bonded monolayer diamond grinding wheel[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 1991, 40(1): 347-350.

[10] Sung C M. Metal bond diamond tools that contain uniform or patterned distribution of diamond grits and method of manufacture thereof: US, 6286498[P]. 2001-09-11.

[11] Sung C M. Brazed diamond tools and methods for making: US, 6679243 [P]. 2004-01-20.

[12] Sung J C. Diamond tools with diamond grits set in a predetermined pattern[C]//Materials Science Forum. 2007, 534-536: 1101-1104.

[13] Wang C, Zhou Y, Zhang F, et al. Interfacial microstructure and performance of brazed diamond grits with Ni-Cr-P alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009, 476(1): 884-888.

[14] Ham J O, Chung J H, Jung S K, et al. Interfacial behaviors of vacuum brazed joint between diamond grit and Ni-13Sn-28Cr filler alloy[J]. Advanced Materials Research, 2013, 705(6): 132-142.

[15] Chen Y, Fu Y, Su H, et al. The effects of solder alloys on the morphologies and mechanical properties of brazed diamond grits[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2014, 42(10): 23-29.

[16] Huang S F, Tsai H L, Lin S T. Effects of brazing route and brazing alloy on the interfacial structure between diamond and bonding matrix [J]. Materials Chemistry and Physics, 2004, 84(2): 251-258.

[17] Hsieh Y Z, Lin S T. Diamond tool bits with iron alloys as the binding matrices[J]. Materials Chemistry and Physics, 2001, 72(2): 121-125.

[18] Sung J C, Sung M. The brazing of diamond[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2009, 27(2): 382-393.

[19] 卢金斌, 张旺玺, 张雷, 等. 添加石墨对Ni-Cr合金保护气氛钎焊金刚石磨粒界面组织的影响[J]. 机械工程学报, 2014, 50(4): 80-84.
Lu Jinbin, Zhang Wangxi, Zhang Lei, et al. Effect on microstructure for adding graphite to Ni-Cr alloy when brazing diamond abrasive in controlled atmosphere[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2014, 50 (4): 80-84.

[20] 赵彬, 贺亚勋, 卢金斌, 等. 添加Cu粉对Ni-Cr合金真空钎焊金刚石磨粒界面组织的影响[J]. 中原工学院学报, 2014, 25(3): 8-10.
Zhan Bin, He Yaxun, Lu Jinbin, et al. Effect of microstructure of vacuum brazing diamond abrasive with Ni-Cr alloy added copper powder[J]. Journal of Zhongyuan University of Technology, 2014, 25 (3): 8-10.

[21] Hsieh Y C, Lin S T. Microstructural development of Cu-Sn-Ti alloys on graphite[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2008, 466(1): 126-132.

[22] Li W C, Lin S T, Liang C. Interfacial segregation of Ti in the brazing of diamond grits onto a steel substrate using a Cu-Sn-Ti brazing alloy [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2002, 33(7): 2163-2172.

- [23] Khalid F, Klotz U, Elsener H R, et al. On the interfacial nanostructure of brazed diamond grits[J]. Scripta Materialia, 2004, 50(8): 1139-1143.
- [24] Klotz U E, Liu C, Khalid F A, et al. Influence of brazing parameters and alloy composition on interface morphology of brazed diamond[J]. Materials Science and Engineering A, 2008, 495(1): 265-270.
- [25] Buhl S, Leinenbach C, Spolenak R, et al. Failure mechanisms and cutting characteristics of brazed single diamond grains[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 66(5-8): 775-786.
- [26] Suzumura A, Yamazaki T. Brazing-filler material and method for brazing diamond: US, 6889890[P]. 2005-05-10.
- [27] Yamazaki T, Suzumura A. Reaction products at brazed interface between Ag-Cu-V filler metal and diamond (111)[J]. Journal of Materials Science, 2006, 41(19): 6409-6416.
- [28] 武志斌, 肖冰. 金刚石与金属基钎焊机理的研究[J]. 工具技术, 2000, 34(11): 6-8.
Wu Zhibin, Xiao Bing. Research on mechanism of brazing diamond to metal-base[J]. Tool Engineering, 2000, 34(11): 6-8.
- [29] Sun F, Feng J, Li D. Bonding of CVD diamond thick films using an Ag-Cu-Ti brazing alloy[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 115(3): 333-337.
- [30] 李丹, 孙文山. Ag-Cu-Ti 钎料在金刚石表面的润湿状况[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2000, 5(3): 101-104.
Li Dan, Sun Wenshan. Infiltration of Ag-Cu-Ti brazing on diamond [J]. Journal Harbing University Science & Techology, 2000, 5(3): 101-104.
- [31] 关砚聪, 陈玉全, 姚德明. Ag-Cu-Ti 钎料钎焊单晶金刚石磨粒的研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2005, 25(3): 23-25.
Guan Yancong, Chen Yuquan, Yao Deming. Study on soldering single-crystal diamond abrasive with Ag-Cu-Ti solder[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2005, 25(3): 23-25.
- [32] 卢金斌, 徐九华. Ag-Cu-Ti 钎焊金刚石的界面结构及热应力分析[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(4): 642-646.
Lu Jinbin, Xu Jiuhua. Interface microstructure and thermal stress of diamond brazing with Ag-Cu-Ti filler[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2009, 38(4): 642-646.
- [33] Klotz U, Khalid F, Elsener H R. Nanocrystalline phases and epitaxial interface reactions during brazing of diamond grits with silver based Incusil-ABA alloy[J]. Diamond and Related Materials, 2006, 15(10): 1520-1524.
- [34] 张凤林, 周玉梅, 付凯旋, 等. Cr、Ti 金属粉改善 Ag-Cu-Zn 合金对金刚石的钎焊性能研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2007, 27(3): 22-25.
Zhang Fenglin, Zhou Yumei, Fu Kaixuan, et al. Adding Cr/Ti metal powder to improve brazing performance of Ag-Cu-Zn alloy to diamond [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2007, 27(3): 22-25.
- [35] Wulf E, Bachmann H, Mohwald K, et al. The influence of brazing temperature and surface roughness on the wettability of reactive brazing alloys[J]. International Journal of Materials Research, 2014, 105(3): 240-248.
- [36] 马伯江, 徐鸿钧, 傅玉灿, 等. 两种钎焊金刚石工具微观结构的对比分析[J]. 机械工程材料, 2006, 29(7): 10-13.
Ma Bojiang, Xu Hongjun, Fu Yucan, et al. Microstructure of brazed diamond tools made by two different techniques[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2006, 29(7): 10-13.
- [37] Chen Y, Xu H, Fu Y, et al. Effect of brazing atmospheres on interfacial microstructure between diamond grits and brazing alloy[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 25(4): 248-253.
- [38] Buhl S, Leinenbach C, Spolenak R, et al. Microstructure, residual stresses and shear strength of diamond-steel-joints brazed with a Cu-Sn-based active filler alloy[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2012, 30(1): 16-24.
- [39] 钟如涛, 秦应雄, 唐霞辉, 等. 金刚石颗粒-金属粉末的 CO₂ 激光烧结机理研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2009, 29(4): 18-23.
Zhong Rutao, Qin Yingxiong, Tang Xiahui, et al. Study on CO₂ laser sintering for the mixture of metallic powder and diamond grits[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2009, 29(4): 18-23.
- [40] 马伯江, 徐鸿钧. 高频感应钎焊镀钛金刚石界面特征的研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2007, 27(3): 1-3.
Ma Bojiang, Xu Hongjun. A study on the interfacial characteristic of Ti-coated diamond brazed by high-frequency induction[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2007, 27(3): 1-3.
- [41] 李文杰, 肖冰, 段端志, 等. 铜基预钎焊金刚石锯片的界面分析及其性能研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2014, 34(2): 44-47.
Li Wenjie, Xiao Bing, Duan Duanzhi, et al. Interface analysis and performance evaluation of the Cu-based pre-brazed diamond saw blade[J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2014, 34(2): 44-47.
- [42] Duan D Z, Xiao B, Wang B, et al. Microstructure and mechanical properties of pre-brazed diamond abrasive grains using Cu-Sn-Ti alloy[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2015, 48(1): 427-432.

(责任编辑 吴晓丽)

 科技导报
SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

《科技导报》“科技工作大家谈”栏目征稿

“科技工作大家谈”栏目专门刊登科技工作者近期提出的与科学技术相关的工作意见、建议和看法。该栏目内容着眼于科技研究、发展、应用、政策等领域的实际问题,要求有明确、具体的内容,方法上尽量具有可操作性。文字应简洁明了,全文不超过2200字。欢迎国内外科技工作者及各级科协、学会投稿。投稿邮箱:kjdbbjb@cast.org.cn。