

金属与金刚石的粘结技术及其应用

林增栋

(北京市粉末冶金研究所)

金属合金与金刚石的粘结(焊接)问题是金刚石工具及制品制造技术的关键。本文介绍了作者从金刚石与金属合金界面反应出发,探索二者之浸润与粘结的机理,解决了加入强碳化物形成元素于铜合金中,通过外延生长于金刚石表面的碳化物层而实现合金与金刚石的粘结。本文并介绍了该技术在金刚石焊接及金刚石工具制造中的应用。

一、现状与研究意义

人类发现金刚石并把它作为加工硬质材料的工具,可以追溯到3000多年以前。俗话说:“没有金刚钻,别揽瓷器活”,说明金刚石工具在我国的应用有很长的历史了。但从前,人们只会用机械卡固的办法将较大粒金刚石紧固在工具杆上,所以金刚石极易脱落。

近代人们虽然也采用铜、银、锡及其合金熔焊金刚石,但很快发现这些材料均没能焊接金刚石。表1列出了多种低熔点金属对金刚石的浸润角均在 100° 以上。大批用熔焊法制造的金刚石工具如金刚石车刀、砂轮刀、玻璃刀等实际上也并没能焊住金刚石,使用中金刚石极易脱落。

表1 常见低熔点纯金属对金刚石的浸润角

金属元素	测定温度 ($^\circ\text{C}$)	浸润角
Cu	1150	145°
Ag	1000	120°
Au	1150	150°
Sn	1150	125°
Ge	1150	116°
In	800	138°
Sb	900	120°
Pb	1000	110°

19世纪30年代,粉末冶金技术掘起,并开始应用于金刚石工具的制造,使得大量细小的金刚石得以工业应用,金刚石工具制造业迅速

发展,出现了金刚石砂轮、锯片、钻头等。但是在这些工具中金刚石颗粒仅仅被金属基体紧密嵌镶,而毫无粘结作用,金刚石的利用率仅60%。价值千万元,数以百万克拉金刚石流失于加工废屑之中。金刚石工具寿命也不长。

笔者自60年代起与金刚石工具制造技术结缘,研究成功十多种金刚石工具。为了节约金刚石,提高金刚石工具的质量,60年代末,笔者开始探索粘接(焊接)金刚石的技术途径,独特地实现了在非真空气氛中粘结金刚石的工艺,历经近20年,终于取得完全的成功。

这个金刚石粘结(焊接)技术是:在低熔点金属中加入少量强碳化物形成元素,快速加热,或在真空(10^{-4} — 10^{-5} Torr)中或惰性气氛中,通过界面反应促进合金对金刚石的浸润,实现金属基体对金刚石的粘结,提高了金刚石工具的性能水平。该研究取得很大的经济效益及技术进步,获得1988年国家发明三等奖。

二、粘结金刚石的机理

金刚石的化学性质十分稳定,几乎与所有的酸均不起反应,仅有一些熔碱在高温时对金刚石有侵蚀作用。金刚石与一般金属及其合金的高界面能,使它呈“于金不沾”的状态。但是,由碳原子组成的稳定的金刚石结构,在高温时都有与强碳化物形成元素(如Ti, Zr, Cr, V等)化合生成金属碳化物(相应为TiC, ZrC, Cr_3C_2 , VC等)的强烈倾向。当金刚石晶体与含有强碳化

物形成元素(Ti)的合金液体(Cu-Ti)接触、界面反应生成物 TiC 外延生长在金刚石晶面上。实验上观察到定向生长在金刚石母晶上的 TiC 单晶体, 线度在微米量级热稳定性相当好的 TiC 膜在金刚石母晶上的附着牢固。合金对金刚石颗粒的浸润和粘结正是通过 TiC 膜而实现的。图 1 示出了 Cu-Ti 合金对金刚石浸润和粘结的界面的物理本质。实验测定表明, 在与金刚石表面浸润角为 145° 的 Cu 熔液中, 若加入 10% Ti, 则 Cu-10% Ti 合金对金刚石的浸润性能大大地改善, 浸润角降至 30° 以内。

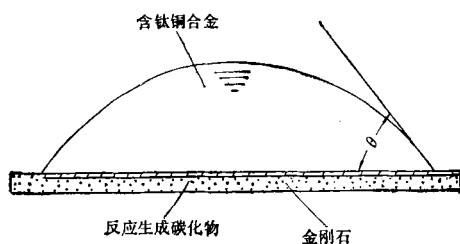


图 1 Cu-Ti 合金对金刚石的浸润状态

加 Sn 于 Cu-Ti 合金中, 更进一步改善合金对金刚石的浸润性。实验测得 Cu-10Sn-20 Ti 合金与金刚石的浸润角几乎趋于 0° 。

由于含 Ti 合金与金刚石之间界面微区合金 Ti 浓度的聚集, 更增加了合金基体对金刚石(通过 TiC 膜)的粘结力。笔者曾分析了金刚石与 Cu-10% Sn-20% Ti 的复合烧结体中二粒相距约 $100 \mu\text{m}$ 的二粒金刚石之间微区合金体成分, 观察到了 Ti 及 Cu 浓度的有规则的起伏; 在二粒金刚石与合金体的界面上 Ti 高度集聚, 含量高达 60% 以上, 而后急剧下降, 在离界面约 $40 \mu\text{m}$ 至中心, Ti 含量降到 10%。相反, Cu 在界面上含量仅 30%, 而在二个金刚石颗粒的中央高达 80%, 形成抛物线分布。合金基体中 Ti 和 Cu 浓度的不同聚集, 是由于合金中 Ti 与金刚石界面反应的结果。经测定, 这种合金材料对金刚石的焊接结合力可达 $10 \text{ kg}/\text{mm}^2$ 以上。

三、应用

这种添加强碳化物形成元素于金属合金中以实现金属合金对金刚石的粘结技术, 已被广
物理

泛用于金刚石工具的制造中。用这种材料制成熔焊片或焊条, 可以直接焊接金刚石于工具杆, 制造金刚石车刀、砂轮刀、玻璃刀等, 解决了金刚石的脱粒问题。这种技术也同样可以用在粉末冶金制造的金刚石工具中, 增加合金基体对金刚石的结合力。仅笔者在 1980 年应用这个技术于天然金刚石拉丝模的制造中所取得的经济效益, 就足以说明这一技术对金刚石工具制造技术的进步与发展的重大意义。

原金刚石拉丝模是使用黄铜在热塑性形变下将金刚石挤固于不锈钢支撑体中。由于黄铜与金刚石仅仅是紧固, 而没有粘结(焊接), 在拉丝过程中, 受拉挤的金属丝给金刚石的内孔壁以很大的胀力和拉拔力, 因而金刚石与黄铜之间紧固逐渐松动从而出现微小间隙。由于失去黄铜紧固支撑, 金刚石很快被胀裂, 这时虽然金刚石内孔尚未磨损形变, 但因裂纹扩大, 使一个价值昂贵的金刚石拉丝模过早报废了。采用了本技术(例如加 Ti 于 Cu 基合金中作为合金基体), 由于合金基体能牢固地粘结金刚石, 拉丝模中的金刚石在拉丝过程中不会被胀裂, 甚至拉拔大量合金丝后, 内孔磨损也不报废。人们还可以对磨损的金刚石内孔重新扩孔修磨到比原来大一级的孔型(例如原来内孔是 0.15 mm , 可将磨损扩修到 0.2 mm), 等于一个新的拉丝模又被应用。实践证明, 应用这个技术制造的金刚石拉丝模, 其孔型可以反复扩修。这种新的粘结型金刚石拉丝模的寿命比原黄铜热挤压拉丝模高三倍以上。每个拉丝模价值 2000 元左右, 全国产量约 10 万只, 每年可创造 2000 万元以上的经济效益。

更详细的研究成果可参看会议文集¹⁾及文献[1—5]。

- [1] 林增栋、徐乍英, 石油钻采机械, No. 4 (1974), 5.
- [2] 林增栋、徐乍英, 粉末冶金, No. 3 (1981), 11.
- [3] 林增栋、徐乍英, 地质与勘探, No. 6 (1984), 74.
- [4] 高巧君, 金属学报, 19(1983), B250.
- [5] 林增栋, 粉末冶金技术, No. 7 (1989), 1.

1) Lin Zengdong and R. A. Quecney, International Powder, Metallurgy Conference and Exhibition, June 5—10, (1988), Orlando, Florida, USA.