



钻探技术

电火花烧结人造金刚石钻头是

一项有希望的新工艺

冶金部第一冶金地质勘探公司探矿所

孙毓超

七十年代初,人造金刚石钻头在我国推广应用用于生产,并取得了显著的效果;与此同时,国外许多先进国家也大量使用人造金刚石取代天然磨料制造金刚石钻头,因此,普遍重视人造金刚石钻头制做技术的研究。尤其是在目前仍然以烧结法为主要手段来制做金刚石钻头的情况下,对于如何保护金刚石的强度,改善钻头胎体性能,就成为人们所关注的重要环节。而电火花烧结技术,正是解决上述问题的一项有希望的新工艺。

电火花烧结技术概述

电火花烧结技术是六十年代开始发展起来的新兴工业技术。目前,中国及日本、苏联、美国、加拿大等国,都在使用电火花烧结机。其中,日本与苏联等国发展较快,最近苏联已有电火花金属表面合金化设备投放市场^[1],在美国也早有大功率的烧结机^[2]。

所谓电火花烧结,是把金属粉末或合金粉放入模具内,用压头(兼通电电极)轻压粉末,使粉末颗粒间保持恒压下的轻接触状态(一般在0~10公斤/厘米²的压力状态)。当通入脉冲电流之后,粉粒间产生微放电并产生大量的热,引起多种活化作用,使被加热粉末得到充分扩散,待达到所需要的恒温后,再用重压成形。由此可见,电火花烧结过程包括放电活化和热塑变形两个阶段。

电火花烧结的基本原理是扩散,其中包括表面扩散和因内部缺欠引起的晶内扩散。通常状态下,金属粉末的表面覆盖有一层氧化膜及吸附气体。通电后,氧化膜被电击穿破坏,气层也被击散,使粉粒处于被净化的还原气氛,加上由于放电增多了粉粒内部的晶格缺欠,在电场作用下,更有利于扩散的进行,从而能烧结出性能优良的

合金胎体。

电火花烧结机的种类很多,分类的依据也不一致,如有的按加压方式分类,有的按制品特点分类,也有的按电源特点分类,等等。常见的有单轴加压电火花烧结机,等静压电火花烧结机,棒(板)材连续生产电火花烧结机,直流电火花烧结机,交直流电火花烧结机等,其中交直流叠加电火花烧结机具有更多的优点。其直流成分具有较高的加热效率,交流部分能促进扩散,兼有集肤效应,能使形状复杂的大型制品加热均匀,加快烧结过程,并使粉末之间产生较佳的结合。通常采用的直流电压是5~30伏,交流电压可在直流电压的1~10倍之间选择,交、直流的电流比为3:7或1:3。交流部分多用200~20000赫的中频电流。

电火花烧结技术的应用十分广泛,如制取超耐热材料、超硬材料、金刚石工具、金属陶瓷、电气触头材料、磁性材料、回转密封材料、特种用途材料,以及用于修补零件等。最近,又在金属表面合金化方面获得应用,而且正在发展之中。

该项技术具有许多优点,其中主要有以下几点:

1. 能在大气条件下烧结出性能优良的烧结体,而不需特殊保护介质,制品质量可与真空烧结及气氛保护烧结的制品相媲美。

2. 烧结时间短,加热速度快,如对难烧结的金属陶瓷材料,可使其烧结时间由普通烧结法的几十小时降至几十分钟。

3. 由于可采用组合模具及高强模具^[3],从而有可能采用高压成型工艺。这就为生产特殊性能胎体材料创造了条件。而当前采用的热压石墨模具是作不到这一点的。

4. 加快了烧结过程的合金化^[4]。

5. 与其他方法相比, 容易使胎体粉末产生塑性变形, 所以能在较低的压力下达到胎体的应有性能。

正是由于上述优点, 近几年来人们开始用它来制造金刚石工具, 并进而证明了它对烧结金刚石制品具有更良好的适应性。

降低人造金刚石的强度损失

制造人造金刚石钻头, 目前主要是采用烧结法, 烧结温度多在1000℃左右。在这样的温度下, 一般会降低金刚石的强度指标。影响金刚石强度的因素主要有温度、加热速度、加热时间, 以及加热介质与金刚石本身的杂质含量等。

1. 加热温度 是影响金刚石强度的主要因素, 而且升温的数值与金刚石强度降低的幅度不呈直线关系。B. I. Taphan对ACC 315/250金刚石所作静压破坏载荷与温升关系试验表明〔5〕, 人造金刚石被加热时, 其强度变化可分为三个区。低于1000℃为强度稳定区; 1000~1200℃为强度急降区; 1200℃以上为强度缓慢变化区(图1)。因此, 应当尽量把烧结温度控制在曲线的折点(1000℃)之内。但现用的烧结法, 烧结温度多在1000℃左右, 并未进入稳定区, 然而这100~200℃的差值是极有价值的。另外, 现在的烧结法加热速度较慢, 使得钻头胎体中的金刚石基本上保持了与金属粉末同样的温升。

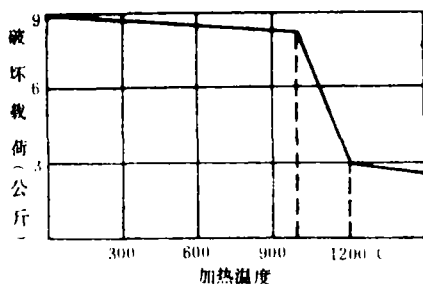


图1 加热温度与金刚石强度的关系

电火花烧结法不同于现用的方法, 交直流叠加电源加热, 兼有中频感应加热和电阻加热的共同特点, 同时还有放电加热特性。加热中为使放电充分进行; 对加热的粉末施加压力跟踪, 使其由当初的轻压状态及时变化到较大压力阶段, 使粉末放出大量热, 加之粉粒的氧化膜被放电击穿,

此处电流相对集中, 粉末体内温度直接上升(不通过外面模具传递), 加热速度快。夹在粉末间的不导电金刚石颗粒, 只能靠周围的粉末传递来的热量进行自身的升温〔6〕。于是, 胎体的温升高于金刚石的温升, 当胎体迅速完成烧结过程时, 金刚石颗粒还来不及升到胎体的温度(图2), 二者具有200℃的差值。这个差值只有在采用电火花烧结技术时才能出现。由图1可以看出, 这种烧结工艺可以把金刚石的温升控制在强度稳定区内, 这对保护金刚石的原始性能十分有利。

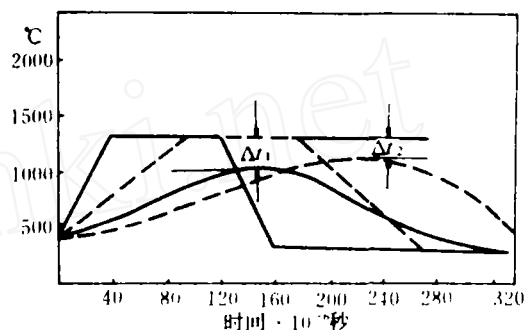


图2 胎体与金刚石加热时间的温差比较

2. 加热时间 高温下人造金刚石保温时间长短不同, 其强度降低的程度也不一样。B. I. Taphan研究了加热时间对不同粒度的ACC 金刚石强度的影响〔7〕。图3分别示出了1000℃和1400℃温度下, 不同保温时间与金刚石抗静压强度的关系。由图可见, 在高温条件下, 即使极短的时间, 强度降也十分明显。当强度降到一定值后, 保温时间对强度的影响就不大了。不同粒度金刚石的强度变化与保温时间的关系, 显示出大体一致的规律性, 只是在数值上有所不同。大颗粒金刚石对保温时间特别敏感, 在很短的保温时间里就会有较大的强度降。

当前使用的中频烧结法是一项比较快速的烧结技术, 但所需烧结时间仍为电火花烧结的3~4倍。电火花烧结更有利于保护金刚石的强度。

3. 加热速度 从表1看出, 金刚石的抗破坏载荷随着加热速度的加快而提高, 随其内部杂质含量的增加而降低〔7〕。如以每分钟100℃的温升加热金刚石, 金刚石的强度基本不受影响(表1中的加热温度为1100℃)。特别是现用的人造金刚

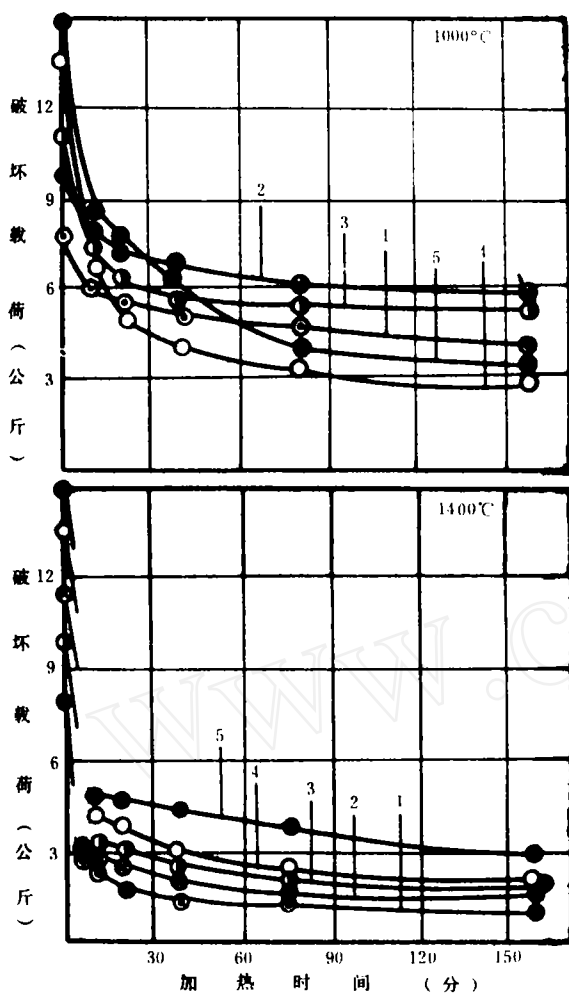


图3 保温时间与金刚石强度的关系

1—250/200; 2—315/250; 3—400/315; 4—800/630;
5—1000/800

表1

加热速度 (C/分)	杂质含量 (%)		
	0.16	0.70	2.60
	破坏载荷 (公斤)		
6	9.6 ± 0.9	4.0 ± 0.4	2.2 ± 0.2
12	10.4 ± 1.1	4.8 ± 0.4	2.5 ± 0.2
25	11.0 ± 1.0	5.2 ± 0.4	2.7 ± 0.3
50	11.3 ± 1.0	5.2 ± 0.4	3.2 ± 0.2
100	11.6 ± 1.0	5.8 ± 0.4	3.0 ± 0.2
400	11.6 ± 1.0	5.8 ± 0.6	3.3 ± 0.3

石, 其杂质含量一般比天然金刚石高, 因此, 提高制品的加热速度是有意义的。电火花烧结技术, 不仅加热速度快, 而且高温停留时间短, 升温速

度高达 10^6 C/秒, 这对烧结人造金刚石制品十分有利。与其他方法相比, 采用电火花烧结技术, 人造金刚石的强度降是最低的〔6〕(表2)。

表2

烧结方法	保温时间 (秒)	破坏载荷 (牛顿)	相对强度*	杂质含量 (%)
初始金刚石		76.4	1	0.47
电火花烧结	5×10^{-2}	64.1	0.84	0.31
热压烧结	1.8×10^{-2}	24.8	0.34	0.17
自由烧结	5.4×10^1	23.2	0.30	0.13

* 系指金刚石加热后的强度与其初始强度之比。

表2是用ACC 250/200金刚石加热到1400℃得的试验数据。从表中还可以看出, 由于电火花法烧结升温时间快, 金刚石内部的杂质还未及发生物理与化学变化, 烧结过程已经结束, 故杂质含量与原始状态接近。这个特点对烧结含有多种杂质的人造金刚石制品是有益的。

改善制品胎体的性能

从上述性能可知, 电火花烧结能通过脉冲电流, 在胎体粉粒之间产生微放电生热, 引起多种活化作用, 从而产生颗粒表面扩散及晶内扩散, 其扩散系数比一般烧结法能提高100倍以上。在热量集中于粉末胎体的条件下, 加之外界的压力作用, 合金粉末容易发生塑性流变, 加速合金化过程, 从而烧结出性能优良的胎体。这种胎体材料具有密度高、抗弯强度高、延展性好、磨损量低等性能。

如使用电火花烧结铍制品胎体, 性能比用别的方法优良得多〔8〕(表3)。从表中可看出, 铍

表3

烧结方法	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	屈服强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)
电火花烧结法	46.5	34.6	3.2
真空热压法	40.5	21.1	3.0
热压加压加工法	33.2	21	2.0
真空烧结法	28	21	1.0

制件的强度及延展性都有明显提高, 甚至高于真空热压制品的性能。

又如用此法烧结钛制品胎体, 所得制品性能也远高于当前使用的真空冶炼法(表4)〔8〕。钛制品是较难烧结的, 所以当前多用真空冶炼法生产, 而电火花法不仅可以烧结, 而且性能优良, 成本也低。这种方法用于烧结磁性超硬材料胎体及电弓合金材料, 也均获得良好的性能指标。

值得注意的是, 最近几年, 开始使用电火花

表 4

制作方法及种类	含氧量 (%)	抗弯强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)
真空冶炼 JIS ₁	0.2	28	27
JIS ₂	0.4	49	18
ASTMG-4	0.4	56	15
等静压电火花烧结	0.4	66	28

烧结技术加工金刚石工具, 也获得了满意的效果〔8〕。以超硬合金系为胎体、用36目金刚石制作的锯片, 用来切割高速公路水泥材料, 效果良好(表5)。

表 5

烧结方法	切削速度 (毫米/分)	磨耗量 (毫米/1000米)
电火花烧结	900	0.65
普通烧结	860	0.73

表6是使用36目金刚石、钴青铜胎体制作的锯片, 切割花岗岩的试验结果。

表 6

烧结方法	切断长度 (米)	磨耗量 (毫米/1000米)
电火花烧结	3120	0.086
普通烧结	2680	0.10

上述数据表明, 电火花烧结的金刚石工具, 磨耗量明显降低, 工件寿命得到提高。特别是前述两种胎体与现用金刚石钻头胎体颇接近, 又能烧结出多种性能优良的合金胎体, 并且能降低被烧金刚石的强度损失, 从而有可能发展成为烧结人造金刚石钻头的一项新工艺。

参考文献

- 〔1〕 А. Д. Верхогуров и др., Технология электроискрового легирования металлических поверхностей, К., Киев, 1982
- 〔2〕 AD-A009, 241, June, 1974
- 〔3〕 W. Robert, Metall Progress, 1974, № 4
- 〔4〕 А. И. Раиченко, Порошковая металлургия, 1970, № 8
- 〔5〕 В. Л. Гартюк, Сверхтвердые материалы, 1980, № 3
- 〔6〕 В. А. Андреев, Сверхтвердые материалы, 1983, № 1
- 〔7〕 В. Л. Гартюк, Сверхтвердые материалы, 1980, № 6
- 〔8〕 石山正明, 机械设计(日), 1976, № 6

硬岩钻进中金刚石钻头唇部形状对钻进效果的影响

地质矿产部无锡钻探工具厂

张荣清

目前, 绳索取芯钻进技术在国内已得到一定的推广应用。在中硬地层采用绳索取芯钻进技术的优越性, 已被人们所公认。但在硬岩及坚硬致密岩层中, 绳索取芯钻进技术迄今尚存在一些问题, 突出表现为金刚石钻头“打滑”, 机械钻速低, 寿命短, 不得不经常提钻, 显示不出优越性。因此, 在硬岩及坚硬致密岩层中推广绳索取芯技术的关键之一, 在于提供一种能保持恒钻速且具有较长寿命的钻头。

国内曾有许多钻头研究者在胎体性能和金刚石方面做了大量的试验研究工作, 并取得了一定成效〔1,2,3〕。国外钻头公司注重钻头唇面结构的研究, 并在坚硬致密岩层中取得较好的效果〔4〕。笔者近年来在从事钻头设计与研究的过程中, 采用不同唇面结构的孕镶钻头, 在硬岩及坚硬致密岩层中, 对钻岩效果及其特性作了单参数对比试验, 并取得一些进展。

众所周知, 孕镶钻头对岩层的适应性十分敏