

工业金刚石表面处理技术 及国内外研究现状

何晓军

(中国地质大学北京研究生院)

当今,国内外十分重视金刚石表面处理技术,它可以用少量投资和简单的工艺方法,使金刚石性能得到改善。常用的处理技术有:①电镀法;②真空镀膜法;③扩散渗覆法;④气相沉积法;⑤离子镀膜法;⑥化学镀膜法。

关键词: 金刚石;涂覆;渗覆;表面处理;金属碳化物



钻探技术

由于金刚石硬度高,耐磨性和热传导性能好,所以在地质勘探、石油钻井、机械加工、半导体材料等行业中得到广泛的应用。但金刚石还存在脆性大、强度和耐温性能不高、同金属材料的粘结性能较差等弱点,使其应用范围和经济效果受到限制。因此,如何改善金刚石的这些弱点,便成为国内外金刚石材料和工具行业普遍关注的问题。

目前,国内外主要通过三个途径来提高金刚石的性能:1)金刚石的合成工艺和合成原料。2)制造金刚石工具的基本金属材料。3)金刚石的表面处理。其中,金刚石表面处理技术因其简单有效、成本低、适应性广而受到了国内外的重视,并开展了大量的研究工作。其中许多研究工作已取得了很好的技术经济效果。现根据笔者所掌握的资料和从事这方面工作的体会,介绍一下国内外金刚石表面处理的主要方法和动向。这些方法包括电镀、真空镀膜、熔融浸覆、混料渗覆、气相沉积、离子镀膜和离子注入及化学镀膜等。

电 镀

电镀法是比较早用于金刚石表面金属化的方法。它是用电解的方法,在金刚石表面获得金属沉积层。电镀的工艺比较成熟(常使用滚镀),成本不高,温度低,覆层厚度易于控制,但电镀层与金刚石的结合强度较差,覆层的品种也很少(目前主要为Cu、Ni、Co),使用效果不很显著^[1,2]。

目前值得注意的方法是在金刚石表面电镀多金属进行热处理,在金刚石表面获得合金镀层,显著地提高了金刚石工具的性能指标^[3]。苏联的E.M.Чистяков对有Cu-Ni双镀层的金刚石进行了热处理,热处理温度为280~300°C,时间3~5小时,Cu、Ni镀层的厚度分别为7微米和3微米,热处理后的镀层合金成分为35%(重量比)的Ni和65%的Cu,与相同量的Cu、Ni熔成合金时的成分一致。用镀层金刚石刀具切削BK8硬质合金的实验证明:经热处理的金钢石没有脱落现象,而未经热处理的金钢石有30%脱落;热处理使电镀金刚石刀具寿命提高了1.5倍,生产率提高20%。Чистяков认为,当热处理镀层形成共晶合金时,由于合金晶格

结构发生了再结晶,从而改善了金刚石与金属镀层的粘结性能。

作者认为,单金属电镀层同金刚石的结合性能和保护作用都不够好,有发展前景的是多层电镀再加热处理的工艺,以及将碳化物等硬质相以弥散颗粒的形式加入镀层的复合镀。当然,单金属电镀仍可用于在有覆层的金刚石面上进行二次镀层处理。

真 空 镀

真空镀有真空蒸发镀和阴极溅射等多种方法。蒸发镀是在真空中加热覆层材料,使其成为蒸气,在行进的路程中与金刚石相遇并沉积其上。蒸镀中金刚石所处的温度较低(600°C左右),但蒸气分子的分散能力差,需有转动金刚石的特殊装置。有的单位研究了在金刚石表面真空镀Ti的工艺。所用的真空镀膜机为DM-300A型,加热源为钨丝,改型扬声器作翻转金刚石的振动器,工作温度600°C,系统真空度达 5×10^{-5} 毫米汞柱。用这种镀层金刚石进行了应用试验,有一定的效果。文献^[4]的研究表明,用真空蒸镀可在金刚石表面镀覆1000~2000Å的Mo、Ti层,经500°C以上温度的热处理,可使镀层和金刚石之间形成良好的化学结合带。用这种金刚石制成的复合材料,其耐磨性是无镀层金刚石材料的1.5~4.53倍。

阴极溅射是在蒸镀的基础上进行的,即在真空室内加一对电极并施以高压,使阴极上的覆层材料受到正离子的轰击而溅射出来,并冷凝在金刚石表面形成沉积镀层。这种方法获得镀层的结晶细而致密,同金刚石的结合性能好,而且可以溅镀不适于电镀和蒸镀的高熔点金属和化合物(W、Mo等)。电子工业用作半导体微波元件散热器的Ⅰ型金刚石,常溅镀有Ti-Pt-Au复合镀层,使之既保持金刚石极好的散热性能,又具有很好的导电性。E.A.Burgemeister在金刚石表面溅镀了厚度分别为0.06、0.1和1微

米的Ti-Pt-Au复合镀层,并研究了加热前后多层覆层间的相互作用^[5]。目前国内也在尝试这种方法。

扩 散 渗 覆

前述两种镀层同金刚石没有形成化学结合,只是一种包覆。而扩散渗覆法能得到同金刚石结合牢固的覆层。其基本原理是使能生成强烈碳化物的元素(W、Cr、Ti、Mo、Zr、Si、B等)或其他化合物沉积吸附在金刚石表面,在一定的温度下与金刚石反应生成碳化物层。在渗覆过程中,覆层材料与金刚石表面碳原子的相互扩散(实际上因碳原子远小于金属原子,所以,主要是碳原子向外扩散)使得覆层和金刚石之间没有明确的分界面,覆层中的成分逐步由碳化物向外层的金属过渡。由于过渡族金属及其碳化物具有较高的强度、硬度和耐磨性,同金属基体的粘结性能好,热膨胀系数接近金刚石等一系列优点,所以覆层后可显著地提高金刚石的强度、耐温性和导电性,以及同金属材料的粘结性,而且覆层的工艺简单、成本低。但这种方法需在较高的温度下进行,对一些品种金刚石的性能有一定的影响。

下面只对熔液浸覆和混料渗覆法进行讨论。

1. 熔液浸覆法

将金刚石浸入能生成过渡族碳化物的元素合金或硼砂熔液中,使其在金刚石表面形成碳化物-金属层。常用温度为700~1200°C。这种覆层的性能较好,厚度较大,但覆层中含有少量熔剂成分,且带覆层的金刚石难以分选。

这种方法很早就被用于金属零件和石墨纤维的表面处理。美国洛克希德导弹和空间公司用熔点为900~1000°C的Sn-Ti合金浸渗石墨纤维,在其上生成了一定厚度的TiC层(当温度为1300°C,经4分钟,厚度为1.5微米),明显地改善了合金对石墨纤维的润

湿和粘结性能。在浸渗过程中,用10% H_2 +90% N_2 气体作保护气氛,通气前先抽到超过 10^{-1} 毫米汞柱的真空度^[6]。苏联也用类似的方法在石墨纤维上浸覆了SiC+Mo(或Ni)的复层^[7]。B.Г.Чуприна等人研究用Ni-Mn-Sn-Ti系的合金熔液浸泡粒度为63/50目的ACB型人造金刚石,在其表面生成了金属碳化物覆层。浸覆温度为950~1100°C,时间约0.5~1.5小时,所用合金配方为:①40Ni+60Mn;②(40Ni+60Mn)+20Sn;③(40Ni+60Mn)+10Ti;④(40Ni+60Mn)+20Sn+10Ti。前两种配方得到的覆层成分为 Mn_7C_3 后两种配方的覆层成分为TiC+Ti(O, C)^[8]。

2. 混料渗覆法

将过渡族金属粉末或其化合物以一定比例同金刚石和活化成分混合,在真空中加热到700~1200°C,使金属产生蒸发,经沉积、反应和扩散,在金刚石表面生成碳化物—金属层。该法成本低、工艺简单,覆层后金刚石的分选也容易,但覆层的厚度较小。

较早研究这种金刚石覆层方法^[9]的试验条件及结果见表1。1977年,苏联的И.А.Лавриненко等人研究了氧化金属粉末和金刚石的反应^[10]。他们用粒度小于40微米的表面预氧化的W、Mo、Ti、Cr、V等金属粉末同250/200和100/80目的金刚石混合,在 1×10^{-5} 毫米汞柱的真空度下和700~1000°C的温度下保持0.5~5小时,使金刚石表面生成了300~9000Å的碳化物覆层。试验发现:在相同的温度下Ti覆层的厚度最

大,是W、Mo覆层的2~2.5倍(图1);金刚石和预氧化粉料的最佳混料体积比为4:1左右(图2)。他们认为覆层生长的机制是金属氧化物蒸发后沉积在金刚石表面,经还原反应生成金属和碳化物层,覆层的进一步生长,则取决于碳在碳化物层中的扩散能力。Ю.В.Найдич等人对混料渗覆的动力学和覆层厚度及渗覆时间对覆层与金刚石的粘结强度的关系进行了研究^[11]。从其试验结果(图3~图6)可以看出:Cr覆层的生长速度最快,同金刚石的粘结强度最高;四种配

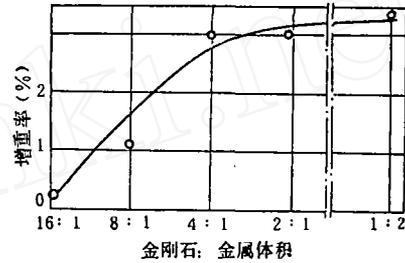


图2 混料比(体积比)与增重率的关系

在金刚石表面渗覆Ti、Mn、Cr的

试验结果

表1

渗覆金属	覆层成分	覆层温度(°C)	覆层厚度(微米)
Ti	TiC	700	0.5
Mn	—	700	<1.0
Cr	—	1000	<1.0

注: 金刚石粒度=170~200目(美制)

金属粉末粒径=37~125微米

真空度= 10^{-4} 毫米汞柱

保温时间=0.5小时

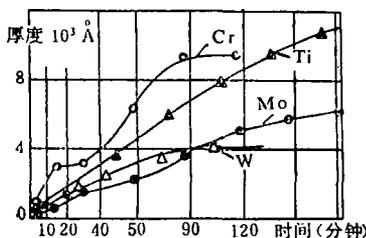


图1 覆层厚度与时间的关系

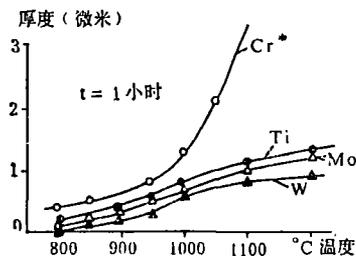


图3 渗覆温度与覆层厚度的关系

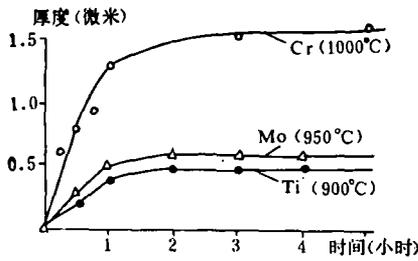


图 4 覆层厚度与渗覆时间的关系

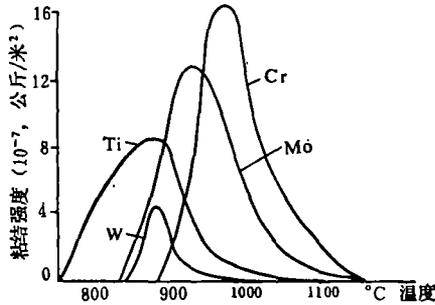


图 5 粘结强度与渗覆温度的关系

方的最佳渗覆工艺参数为：温度为900~1000°C，时间为0.5~1.5小时。图7是测粘结强度的装置，它是用焊料将覆层金刚石和钢棒焊烧在一起，在拉力试验机上测出其抗拉强度。这种方法的重复性较好，但需使用经特殊加工的天然大颗粒金刚石。

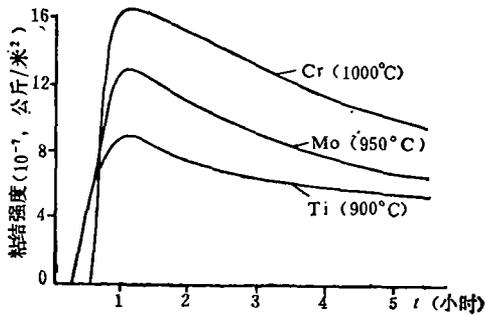


图 6 粘结强度与渗覆时间的示意关系

В.Г.Чуприна用X射线分析研究了Cr覆层金刚石的结构和性能^[12]。她发现在温度大于900°C、保温时间大于或等于1小时的条件下，覆层厚度不超过0.7毫微米，主要由Cr、Cr₇C₃和Cr₃C₂组成，此覆层与金刚石的粘结强度低于0.2公斤/毫米²；当覆

层温度达1000°C时，覆层厚度增至1.3微米，覆层中碳化物的比例增大，覆层同金刚石的粘结强度达16.5公斤/毫米²。继续提高温度或延长时间，覆层的性能下降。В.Ф.Гришачев比较了有TiC覆层金刚石与无覆层金刚石的抗氧化能力^[13]，发现当覆层厚度为2.1微米时，金刚石的氧化速度最小、强度最高（表2）。此后他又测定了各种覆层金刚石的起始氧化温度和强度损失^[14]。结果证明，钨钼复式碳化物覆层的性能最好（表3）。

TiC覆层金刚石的抗氧化性能
(公斤/颗)试验结果 表 2

覆层厚度 (微米)	金刚石强度		与无覆层金刚石强度比	
	氧化前	氧化后	氧化前	氧化后
0	13.5	7.5	1.00	1.00
0.10	19.5	8.5	1.44	1.10
0.25	19.5	6.0	1.44	0.80
0.77	16.0	5.5	1.19	0.73
1.20	15.0	5.0	1.11	0.67

Ac15 200/160目覆层金刚石的氧化
试验结果 表 3

覆层	温 度		金刚石强度(公斤/颗)	
	氧化开始	差热曲线上的最大值	氧化前	氧化后
无覆层	720	880	19.0	14.5
TiC	730	910	26.0	18.0
NbC	790	970	24.5	13.0
Mo ₂ C	660	900	26.0	22.5
WC	780	910	20.0	16.0
Cr ₆ C ₃	710	910	23.0	16.0
(Mo,W) ₂ C	800	920	23.5	23.5

近年来国内也进行了这方面的研究^[15]，发现用蒸气压高的超细粒度纯金属(Ti、Cr、W、Zr、Mo、Nb等)粉末加活化成分同金刚石混合，在真空(<10⁻³毫米汞柱)和加热(700~1000°C)的条件下，可在金刚石表面生成0.1~2微米厚的金属碳化物—金属的过渡组合层(图8是W覆层金刚石表面层的俄歇能谱分析结果)。试验表明，

金属碳化物—金属覆层金刚石的静压强度较无覆层金刚石提高了20~50%；动强度提高7.9%（W覆层金刚石）；在制造热压钻头的工艺条件下（石墨模具，1050℃，保温5分钟），W覆层金刚石的强度下降率和失重率分别为无覆层金刚石的1/9和1/16，覆层后金刚石与胎体的粘结强度和导电性能也有明显提高。将这种钻头石用于岩心钻进，可减少钻头的单位进尺磨损和侧刃金刚石脱落。

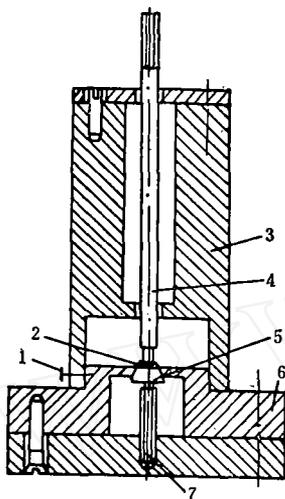


图7 粘结强度试验装置图

1—联接销；2—焊块；3—上壳体；4—拉杆；
5—覆层金刚石；6—下壳体；7—支撑杆

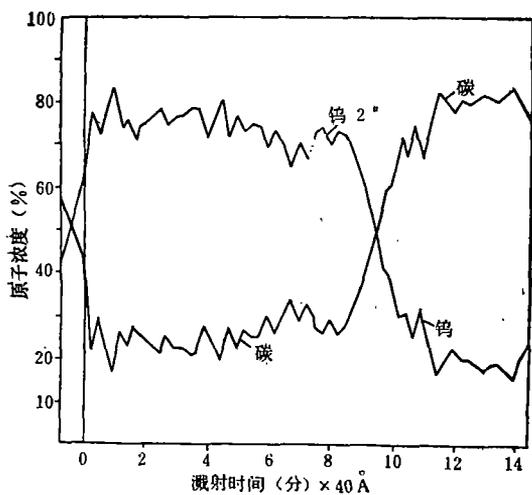


图8 渗入人造金刚石表面覆层中的成分分布

气相沉积

气相沉积的种类很多，这里只讨论常用的化合物热离解法和化学气相沉积法。

1. 化合物热离解法

一些过渡族金属化合物的饱和蒸气压和离解压较高，在较低的温度下即可产生蒸气或离解蒸发。蒸发态的金属或化合物沉积在金刚石表面，生成金属或碳化物覆层。目前使用较多的是金属氯化物。

苏联的B.Г.Весна用碘化铬气体在金刚石表面成功地镀覆了0.1~2微米厚的碳化铬层^[16]，试验用的碘化铬气体分压为 10^{-4} 毫巴，温度为700~1000℃，覆层时间为0.25~1小时。表4是试验结果，可见覆层主要是 Cr_7C_3 和 Cr_3C_2 。文中还分析了碘化铬的热离解及同金刚石反应的热力学过程。

ACO型100/80目金刚石上铬覆层

的相和厚度

表4

覆层温度(℃)	覆层时间	覆层中的相	覆层厚度(微米)
700	0.25	未测出	0.10
	0.5		0.12
	1.00		0.15
800	0.25	Cr_7C_3	0.38
	0.50		0.55
	1.00		0.62
900	0.25	Cr_7C_3	0.86
	0.50		1.15
	1.00	Cr_3C_2	2.02
1000	0.25	Cr_7C_3	0.74
	0.5		1.00
	1.00	Cr_3C_2	1.66

2. 化学气相沉积法(CVD)

这种方法是用还原剂（或气体）从气态金属卤化物中还原和化合出金属或化合物，并使其沉积在金刚石表面。它的优点是可以控制反应物的数量（如含碳气体）使覆层中的碳部分或全部来自金刚石，避免了当温度较高时，由于偏扩散而影响金刚石性能。

另外,用这种方法还可以得到非碳化物覆层,如硅化物和硼化物。覆层的厚度也可以较大,且易于控制。但由于要使用多种气体,工艺较为复杂。

В.ф.Гришачев 研究了用氯化钼和氯化硅对金刚石进行气相沉积的工艺,金刚石表面覆上了0.05~0.15微米厚的硅化钼覆层^[17]。差热分析和强度试验表明,硅化钼覆层提高了金刚石的抗氧化能力和强度(表5、表6)。其覆层温度为800~1000°C,保温时间0.5~1小时,金刚石为AC15和ACK型160/125目。

硅化钼覆层金刚石的抗氧化试验结果 表 5

覆层厚度 (微米)	活化能 (千卡/ 摩尔)	起始氧化 温度(°C)	差热曲线上 的最高温度	样品总重 (%)
无覆层	130	720	880	64
0.05	310	780	980	45
0.10	360	760	920	42
0.15	360	760	900	60

氧化试验对硅化钼覆层金刚石
强度的影响 表 6

覆层厚度 (微米)	金刚石强度(公斤/颗)		相对无覆层金刚石的 强度	
	氧化前	氧化后	氧化前	氧化后
无覆层	13.5	7.5	1.00	1.00
0.05	18.5	12.0	1.35	1.60
0.10	16.5	9.0	1.20	1.20
0.15	16.5	11.0	1.20	1.45

硬质合金行业很早就用化学气相沉积法在硬质合金表面镀覆TiC和TiN覆层。所用气体主要为TiCl₄、CH₄、H₂、N₂等;沉积温度一般在800~1200°C。其设备和工艺已很成熟,稍加改变就可用于金刚石覆层。英国的De.Beer公司用这种方法在金刚石表面沉积了厚约100~200毫微米的Ti层(相当于金刚石重量的3%左右)。然后再在其外层镀一层易与Ti合金化的金属(如Fe、Ni、Co等,其量相当于金刚石的10~100%)。在制造中,产品加热,外层金属和胎体及钛层之间由于

扩散而形成合金,在Ti层和金刚石界面则生成Ti-C化学结合。这种金刚石可以显著提高金刚石锯片的工作性能。

离子镀和离子注入

离子镀是在真空中利用高压电场使金属蒸气部分离子化,以提高被覆材料表面的清洁程度,加强镀层与基体的结合强度和改善分布。这种方法较真空镀更适合于金刚石,但目前金刚石行业研究较多的是离子注入技术。

离子注入是在真空条件下以能量达到10³~10⁶电子伏级的离子直接轰击金刚石材料表面,将一些元素的原子注入金刚石材料的表层内。这样可以强化金刚石表面层的位错网络,阻止微裂纹的生长和扩展,提高金刚石表面的强度和耐磨性或其他特殊性能。该工艺的优点是注入温度低,注入的离子浓度不受溶解度的限制,改变了金刚石表面的晶体结构。但离子注入的设备投资较大,注入元素的原子半径不能大于碳原子,注入离子后对金刚石同金属材料粘结性能的改善不明显。

法国的J.C.Bourgoin结合前人的实验和工作,从理论上系统地分析了金刚石表面的离子注入过程和离子分布及影响^[18]。认为注入所引起的金刚石表面的畸变,可通过退火处理给以部分消除。英国原子能机构的研究人员,在金刚石表面注入了浓度为9×10¹⁵ ions/cm²的氮离子,其离子能量为10~30万电子伏^[19]。用这种金刚石可使切削多甲基丙烯酸甲酯制品的刀具寿命提高5倍以上,注入3×10⁵ ions/cm²碳离子的金刚石刀具的寿命则可提高1倍。英国国立研究发展协会研究了在金刚石表面注入正离子的工艺^[20]。他们在大于500°C的温度下,用能量为1~10万电子伏的正离子注入金刚石表面(浓度达10¹⁶~10¹⁸ ions/cm²),使金刚石的耐磨性和强度均得到提高。据称,使用这种金刚石可

提高金刚石拉丝模、唱针、压头和钻头的性能。国内有人研究了金刚石拉丝模的整体离子注入工艺^[21],其成果已用于工业生产。当注入氮离子的浓度为 $1 \times 10^{16} \sim 5 \times 10^{17}$ ions/cm²、能量为10~11万电子伏时,可使金刚石拉丝模的寿命提高0.5~2倍。作者用扫描电镜、电子顺磁共振等方法比较了离子注入前后拉丝模的微观结构,认为其寿命提高的原因在于:1)注入氮离子后,金刚石表面性能趋于各向同性,层状裂片转变成球状碎屑;2)金刚石表面层内处于稳定态的氮离子强化了晶格,位错移动困难;3)N—C键的结合能大于sp³杂化形成的C—C键。

化学镀

化学镀是利用化学还原剂,使金属离子从液相向固体表面析出和沉积,从而生成覆层。它与电镀的区别在于新相的生成是化学还原,而不是外加电场或基体的溶解。常用的还原剂有次磷酸盐、甲醛、硼氢化物、胺基硼烷、硼类衍生物等。化学镀有三个主要特点:①化学镀的还原沉积是自催化过程,可以持续进行以获得很厚的沉积覆层;②基体可以是金属也可以是非金属;③只有元素周期表中第八族的金属元素适用于化学镀。

化学镀用于金刚石表面处理有两种方式:一是镀纯金属,如镍、钴、铜、钯、银等;二是在涂镀上述金属的同时夹带一些不能直接通过自催化而沉积的金属和非金属元素,也可以通过夹带各种金属或非金属化合物等(分散态颗粒材料),以形成合金或复合镀层。武汉地质学院用后一种方法在金刚石表面镀覆含钨等碳化物,生成元素的合金层,再经热处理(或直接用于金刚石工具)使钨除去金刚石表面的化学吸附氧,并与金刚石表面的碳原子结合生成碳化物。试验证明,可明显提高金刚石钻头的寿命。

小 结

十几年来,金刚石表面处理技术在理论上和工艺上都有很大的进展。人们已认识到润湿性与粘结性并无内在的本质联系,金刚石与金属的结合强度主要取决于两者能否产生良好的化学结合;覆层成分与金刚石的热膨胀系数的差应足够小,才能保证高温烧结后金刚石和金刚石工具的性能。此外,覆层的外部成分应能与制造金刚石工具的基体金属生成合金或有一定的互溶度。基于上述认识,国内外对金刚石的碳化物覆层进行了许多研究。目前常用的方法可以归结为两类:一是在金刚石表面镀覆能生成碳化物的过渡族金属(如真空蒸镀、化学镀等),经热处理或制造工具的烧结过程,在金刚石表面生成碳化物层;二是直接在金刚石表面渗覆碳化物层或碳化物—金属层(如渗覆法、气相沉积等)。前者的成本高,二次处理时需真空或保护气氛,但可获得优良性能。某些碳化物覆层金刚石再经烧结时,覆层往往受到破坏(如TiC)。

除碳化物覆层外,今后有发展前景的金刚石表面处理方法还有:1)非镀覆表面处理,如离子注入、表面淬火等;2)复合覆层和复式碳化物覆层,如渗覆—电镀层、Cu—Ni、Cu—Ti合金层,夹WC硬质相的电镀或化学镀层;3)化合物覆层,如硅化物、硼化物、金属陶瓷等。其中部分工艺目前在国内尚属空白,今后应抓紧这方面的研究工作。

参 考 文 献

- [1] BP 1,388,172; BP 1,441,361; USP 4,062,660 GP 2,632,865.
- [2] 张浩然等;地质与勘探,1983,第12期.
- [3] Чистяков, Е. М.: Сверхтвердые Материалы, 1982, №1.
- [4] USP 3,879, 901.
- [5] Burgemeister, E. A.: Application of Surface Science, 1980, №6.
- [6] Nien, T. G. and Vidoz, A. E.: J. of Amer. Ceram. Soc., 1982, №5.
- [7] Шоршоров, В. Х.: Адгезия распл. и паяка материалов, 1977, №9.

[8] Чуприна, В. Г.: Порош. Металлург., 1984, №1.

[9] УР 0,004, 177.

[10] Лавриненко, И. А.: Адгезия распл. и пайка материалов, 1977, №2.

[11] Найдич, Ю.В.: Адгезия распл. и пайка материалов, 1981, №7.

[12] Чуприна, В.Г.: Порош. Металлург., 1980, №6.

[13] Гришачев, В. Ф.: Сверхтвердые материалы, 1982, №5.

[14] Гришачев, В. Ф.: Сверхтвердые матери-

лы, 1984, №2.

[15] 何晓军: 地质与勘探, 1987, 第3期.

[16] Весна, В.Г.: Порош. Металлург., 1982; №4.

[17] Гришачев, В. Ф.: Порош. Металлург. 1984, №1.

[18] Bourgoin, J.C.: Diamond Research, 1975, №7.

[19] ВР 1,588,418.

[20] ВР 1,588, 445.

[21] Zhang Guoliang: Wire Industry, 1985, №5.

Surface Treatment Techniques of Industrial Diamond: the Present Development at Home and Abroad

He Xiaojun

Now both at home and abroad to the surface treatment techniques of industrial diamond great importance are attached. It is because the performance of the diamond can be improved by a rather simple technical method and with small amount of investment. This paper gives a summary of conventional surface treatment methods, including: 1. electroplating, 2. vacuumplating, 3. peen-coating, 4. gasplating, 5. ionplating, 6. chemical plating.

钻探现场岩心是怎样倒置的

在钻探现场, 应把钻取的岩心进行清洗、编号、加牌、按顺序摆放在岩心箱中。随后, 写好箱号和箱的回次号等。任何一个环节出现错误, 都会影响地质资料的准确性。据笔者在现场的观察, 最容易发生的错误就是岩心倒置。近年来, 由于新工人比例增加, 这种现象有增无减。岩心倒置的主要原因是:

1. 现场记录员和班长责任心不强。①清洗岩心时, 把岩心一次全部倒入水桶中, 造成岩心混乱; ②从岩心管中敲出岩心时, 将钻具吊悬的角度过陡, 造成岩心一次涌出, 使岩心混乱; ③从岩心管里取出的岩心顺次正确, 但由于几个人同时动手向岩心箱摆放, 使岩心发生倒置。

2. 置于岩心箱中的岩心, 本应把先进入岩心管的岩心摆在前头, 使本回次的岩心与上回次的最后一块岩心相

接。但是, 现场常把先从岩心管内倒出的岩心摆在岩心箱的前面, 与上回次的末块岩心相接, 而造成全回次岩心颠倒。

3. 全回次岩心顺序正确, 单块岩心顺序也正确, 但单块岩心的方向倒置了180°。这主要是由于①拾取岩心时没注意手的内侧(大拇指)和外侧(小手指)与岩心上下方向的关系; ②用两支手拾取岩心时, 只注意了右手为上, 左手为下的关系, 而忽视了手中岩心柱的倒置; ③取放岩心时, 由于多次往返而忘记了正确的手持位置; ④在上下钻的忙乱之中, 取岩心的人忘记了当初取岩心时所在方位, 当方位改变了180°而手的内外侧对应的上下方向没改变时, 也常发生岩心倒置。

4. 现场岩心编号不及时, 在编号前由于种种原因, 使箱内岩心发生位置错动。

【孟庆仁供稿】