

《磨料磨具制造》丛书之四

# 金刚石磨具制造

机械工业部机床工具工业局



81.59)  
15-1734

# 金 刚 石 磨 具 制 造

编 著

朱山民

陈已珊



## 前 言

根据国家劳动总局和机械工业部组织编写技工学校教材和职工技术培训专业教材的要求，为适应全员培训的需要，我们组织磨料磨具磨削研究所、第一砂轮厂、第二砂轮厂、第四砂轮厂、第六砂轮厂和第七砂轮厂等科研生产单位中有较丰富实践经验和相当理论水平的专业技术人员，在一九七八年实行干部业务考核和生产工人考工的基础上，编写了这套《磨料磨具制造》丛书。全书共八卷，包括《刚玉制造》《碳化硅制造》《陶瓷磨具制造》《橡胶磨具制造》《金刚石制造》《金刚石磨具制造》《树脂磨具制造》和《涂附磨具制造》。

这套丛书着力于全面反映我国建国以来磨料磨具生产的全貌，总结这方面的经验和技術成果，展示我国磨料磨具工业的发展趋势。编者试图以生产工艺为中心，对工艺理论和工艺装备进行较为详尽的阐述。这套丛书既是一个统一的整体，又是自成系统的专著。这套中级技术理论教育的综合教材可用于技工学校、中等专业学校和职工工业余学校的专业教学，也可作为生产人员的必备工具书和具有初、高中文化程度职工的进修读物，同时对石油、采矿、化工、冶金、耐火材料、地质勘探、电瓷、陶瓷、玻璃材料等工业部门也有一定参考价值。

在本书编写过程中，承蒙各有关单位积极配合，中国磨料磨具工业公司的支持，在此谨表谢意。鉴于时间仓促，经验不足，书中的缺点错误一定在所难免，我们诚恳希望读者不吝批评指正，以期再版时予以修改补充。

机械工业部机床工具工业局

一九八四年三月

## 编者话

我国金刚石磨具制造始于六十年代初。二十多年来，产品的产量和品种逐年增加，质量不断提高。到目前止，已基本满足国内各工业部门的需求，同时造就出一大批技术工人和专业管理人员。为适应“四化”建设的需要，编写本书供专业培训和有关人员阅读参考之用。

本书按产品分类、以工艺为线索进行编写，重点介绍了金属、树脂、电镀、陶瓷等，几种结合剂金刚石磨具的制造工艺方法，并对工艺的发展方向做了粗浅分析。我们力求想把本书编得准确恰当，能切合实际地反应出我国目前金刚石磨具制造技术的全貌，但是限于编者水平较低，恐难达此目的，书中谬误之处一定不少，真诚希望同行专家学者，不吝批评指正。

本书的第一、四、五、七、十二章由陈已珊编写，其余各章由朱山民编写。在编写过程中，参考了第一砂轮厂、第二砂轮厂、上海砂轮厂和北京金刚石厂的有关技术资料；得到了磨料磨具磨削研究所和第六砂轮厂的大力支持，提供了许多宝贵资料。参加审稿的潘飞、徐湘涛两位工程师，分别协助朱山民和陈已珊的编写工作，为本书做了很多补充和修改，在此，对这些单位和个人表示衷心的感谢。

一九八三年十二月于第一砂轮厂

# 目 录

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| <b>第一章 概论</b> .....              | ( 1 )   |
| 第一节 金刚石磨料.....                   | ( 3 )   |
| 第二节 金刚石磨具.....                   | ( 8 )   |
| 第三节 金刚石磨具的磨削特点.....              | ( 17 )  |
| <b>第二章 金属结合剂金刚石磨具制造</b> .....    | ( 21 )  |
| 第一节 概述.....                      | ( 21 )  |
| 第二节 原材料.....                     | ( 27 )  |
| 第三节 结合剂.....                     | ( 48 )  |
| 第四节 成型料的配制.....                  | ( 61 )  |
| 第五节 成型.....                      | ( 71 )  |
| 第六节 烧结.....                      | ( 114 ) |
| <b>第三章 几种金属结合剂金刚石产品的制造</b> ..... | ( 134 ) |
| 第一节 精磨片制造.....                   | ( 134 ) |
| 第二节 电解磨砂轮制造.....                 | ( 148 ) |
| 第三节 圆锯片制造.....                   | ( 155 ) |
| 第四节 钻头制造.....                    | ( 172 ) |
| <b>第四章 树脂结合剂金刚石磨具制造</b> .....    | ( 183 ) |
| 第一节 原材料.....                     | ( 184 ) |

|            |                       |                |
|------------|-----------------------|----------------|
| 第二节        | 结合剂                   | ( 193 )        |
| 第三节        | 成型料的配制                | ( 201 )        |
| 第四节        | 成型                    | ( 209 )        |
| 第五节        | 硬化                    | ( 223 )        |
| 第六节        | 废品分析                  | ( 228 )        |
| <b>第五章</b> | <b>电镀金属结合剂金刚石磨具制造</b> | <b>( 234 )</b> |
| 第一节        | 原材料                   | ( 234 )        |
| 第二节        | 镀前准备                  | ( 238 )        |
| 第三节        | 电镀装置                  | ( 246 )        |
| 第四节        | 电镀原理及影响电镀过程的因素        | ( 253 )        |
| 第五节        | 电镀金刚石磨具制造工艺           | ( 266 )        |
| 第六节        | 成品检查与废品分析             | ( 284 )        |
| 第七节        | 几种主要电镀产品的工艺介绍         | ( 290 )        |
| 第八节        | 化学镀                   | ( 309 )        |
| 第九节        | 超硬磨料电镀                | ( 316 )        |
| <b>第六章</b> | <b>陶瓷结合剂金刚石磨具制造</b>   | <b>( 325 )</b> |
| 第一节        | 原材料                   | ( 326 )        |
| 第二节        | 结合剂                   | ( 336 )        |
| 第三节        | 成型料的配制                | ( 339 )        |
| 第四节        | 成型                    | ( 344 )        |
| 第五节        | 干燥烧成与冷却               | ( 348 )        |
| <b>第七章</b> | <b>金刚石研磨膏制造</b>       | <b>( 358 )</b> |
| 第一节        | 原材料                   | ( 359 )        |
| 第二节        | 研磨膏配制                 | ( 361 )        |
| 第三节        | 质量要求及成品检查             | ( 371 )        |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| <b>第八章 立方氮化硼磨具制造</b> .....    | ( 375 ) |
| 第一节 立方氮化硼的特性.....             | ( 375 ) |
| 第二节 立方氮化硼的种类.....             | ( 376 ) |
| 第三节 立方氮化硼磨具的使用特性.....         | ( 378 ) |
| 第四节 立方氮化硼磨具的制造.....           | ( 379 ) |
| <b>第九章 磨具的精加工</b> .....       | ( 383 ) |
| 第一节 车加工.....                  | ( 383 ) |
| 第二节 磨加工.....                  | ( 396 ) |
| 第三节 油石的修整、按把.....             | ( 403 ) |
| 第四节 磨具特征的标志.....              | ( 404 ) |
| <b>第十章 成品检查与包装</b> .....      | ( 406 ) |
| 第一节 成品检查.....                 | ( 406 ) |
| 第二节 磨具的保管与包装.....             | ( 418 ) |
| <b>第十一章 废品中金刚石的回收处理</b> ..... | ( 420 ) |
| 第一节 金属磨具废品的处理.....            | ( 420 ) |
| 第二节 树脂磨具废品的处理.....            | ( 423 ) |
| 第三节 陶瓷磨具废品的处理.....            | ( 425 ) |
| <b>第十二章 金刚石磨具的选择与使用</b> ..... | ( 426 ) |
| 第一节 金刚石磨具的选择.....             | ( 426 ) |
| 第二节 金刚石磨具使用注意事项.....          | ( 440 ) |

## 第一章 概 论

金刚石是碳的结晶体，属等轴晶系，是已知矿物中最硬的物质。在以相对刻划为基础的莫氏硬度级别中列为第10级，抗压强度高，耐磨性能好，是现代科学技术发展中必不可少的超硬材料之一。国外常把工业金刚石的用量与钢产量的比例关系作为工业发展的标志之一；1969年国外每生产一吨钢，工业金刚石的消耗量为0.07~0.08克拉；1970年为0.109~0.134克拉；1971年则为0.123~0.15克拉（一克拉等于二百毫克）。近十年国外工业金刚石消耗量平均以每年10%的速度增长，而同时期工业增长速度只为4%左右。

金刚石可分为天然金刚石和人造金刚石两种。在自然界中天然金刚石产量很少，开采困难，价格昂贵。因此使用范围受到限制。自从人们了解到金刚石和石墨是碳的同素异构体以后，很多国家就试图用人工的方法将石墨转化为金刚石。国外人造金刚石的历史可追溯到1880年，但比较有实际意义的利用高温高压技术研制金刚石则开始于1940年，经过十多年的试验，于1953年和1954年分别由瑞典通用电气公司和美国通用电气公司试制成功。此后其他国家也陆续宣布研究成功。到六十年代发展更为迅速，1960年人造金刚石的世界产量为二百万克拉；1969年则为四千万克拉，增加了二十倍。国内人造金刚石的研究开始于1961年，1963年郑州磨料磨具磨削研究所宣布试验成功，然后转入试生产。仅仅几年的时间，人造金刚石生产便在全国遍地开花。于1967年开始建立专业生产厂，1970年正式投入工业生产。

由于人造金刚石比天然金刚石价格便宜，是加工硬脆材料和



非金属材料的理想磨料，所以通常用它制成金刚石砂轮、油石、磨头以及金刚石研磨膏、光学玻璃加工专用砂轮，套料刀、切割锯片、手工工具、金刚石钻头、修整滚轮等等金刚石制品。对提高劳动生产率，延长工具使用寿命，降低产品成本，提高产品质量，改善劳动条件具有重要的作用。因此金刚石在国防、机械、地质、冶金、煤炭、石油等工业中得到愈来愈广泛的应用。

在机械加工方面，用金刚石制成的砂轮已大量用于磨削加工硬质合金铣刀、铰刀、钻头、拉刀，还可抛光各种硬质合金量具、刃具、模具、夹具以及一些合金钢材，珩磨合金铸铁缸套、切割、磨削、抛光各种铁氧体和磁钢等；在地质冶金，煤炭的钻探和石油、天然气的开采方面比硬质合金钻头效率高，耐用，已成为现代大幅度提高钻进速度和质量的有效途径，在工业发达的国家，金刚石钻探工作量已达70—90%（包括天然金刚石）。金刚石应用于光学玻璃行业后，改进了过去采用碳化硅磨料加工时的一把砂子一勺水的笨重、落后的陈旧工艺，改善了工人的劳动条件。现已遍及光学玻璃下料、切割、铣磨、套料、精磨、超精磨、磨边、倒角等工序。在加工其它非金属材料方面也有良好效果：如加工宝石、玻璃或高铝陶瓷、石材等；在电子行业中采用金刚石锯片、切割贵重硬脆的半导体材料，可以做到切缝窄、切口精度高；还可用于半导体材料的磨削、抛光套料等工序，可节省大量半导体材料。人造金刚石烧结体拉丝模比硬质合金拉丝模寿命长二百五十倍，人造金刚石烧结体车刀可用来车削铝硅合金、环氧玻璃钢、硬石墨、电机整流子等材料，此外，利用金刚石半导体性质，把它制成金刚石整流器、三极管、温度计。还可以用来做硬度计压头、各种测量仪的测头、高压腔压头、留声机唱头等等。总之，金刚石在工业上具有极为广泛的用途。

## 第一节 金刚石磨料

### 一、人造金刚石的性能

#### (一) 金刚石的形状:

金刚石磨料的颗粒形状有多种,但可归纳为等积形(长轴与短轴之比小于 $1.5:1$ )、针片状形、长方形等。我国根据颗粒形状,强度的高低、晶形完整程度,将金刚石分为 $JR_1$ 、 $JR_2$ 、 $JR_3$ 、 $JR_4$ 等型号。随着研究和生产的深入发展,还将产生新的牌号。

$JR_1$ : 针片状颗粒不少于70%, 80#单颗粒抗压强度不低于2.0kg, 表面粗糙, 性能较脆, 有一定自锐性, 适合作树脂结合剂磨具。

$JR_2$ : 等积形颗粒不少于70%, 80#单颗粒抗压强度不低于2.5kg, 以单晶为主。但许多晶面并不完整或对称, 适合做金属结合剂、陶瓷结合剂砂轮和一些电镀工具等。

$JR_3$ : 等积形颗粒不应低于80%, 80#完整晶形不低于12%, 80#单颗粒抗压强度不低于4kg, 适合做一般地质钻探钻头和半导体材料及非金属材料切割加工工具以及切割锯片等。

$JR_4$ : 等积形颗粒不少于80%, 完整晶形不低于20%, 80#单颗粒抗压强度不低于6kg, 晶面对称, 发育良好, 主要适用于制造石材切割锯片, 硬地质钻探钻头, 修整滚轮等。

#### (二) 金刚石粒度:

为了使金刚石磨料适用不同加工对象的要求, 金刚石应该有不同的粒度。生产中金刚石磨粒是通过筛网筛分来制取, 粒度号代表的是磨料颗粒几何尺寸大小的数字。例如80#粒度就是它可以通过80#筛网而不通过100#筛网, 其几何尺寸在200—160微米(见表—11)。粒度号表示的方法有两种: 一种为英制法, 用筛选时

磨粒所通过的筛网在1英寸时的长度上有多少孔来表示。例如，磨粒在筛选时的筛网在1英寸上的长度有46个孔，就称为46号磨粒。另一种是公制法，用筛网孔眼的宽度微米数来表示。为了简单起见，将筛孔微米数简化之后的数字来称呼粒度。如1200微米的粒度称为120号，500微米的粒度称为50号等等。颗粒尺寸小于40微米的叫微粉，用水选法分出，用显微镜测量其粒度尺寸。各粒度所表示的尺寸如表1—1。各粒度号要得到完全相同的颗粒尺寸是很困难的。因此标准中又规定了粒度组成如表1—2。

表 1—1 金刚石粒度及相应的颗粒尺寸

| 粒度号 | 颗粒尺寸(微米) | 粒度号              | 颗粒尺寸(微米) |
|-----|----------|------------------|----------|
| 36  | 500—400  | W <sub>40</sub>  | 40—20    |
| 46  | 400—315  | W <sub>28</sub>  | 28—14    |
| 60  | 315—250  | W <sub>20</sub>  | 20—10    |
| 70  | 250—200  | W <sub>14</sub>  | 14—7     |
| 80  | 200—160  | W <sub>10</sub>  | 10—5     |
| 100 | 160—125  | W <sub>7</sub>   | 7—3.5    |
| 120 | 125—100  | W <sub>5</sub>   | 5—2.5    |
| 150 | 100—80   | W <sub>3.5</sub> | 3.5—1.5  |
| 180 | 80—63    | W <sub>2.5</sub> | 2.5—1.0  |
| 240 | 63—50    | W <sub>1.5</sub> | 1.5—0.5  |
| 280 | 50—40    | W <sub>1.0</sub> | 1.0以细    |
| .   |          | W <sub>0.5</sub> | 0.5以细    |

### (三) 金刚石硬度

物体表面层对局部应力作用的阻力，称为硬度。硬度是金刚石最基本的特性之一。由于金刚石晶格为四面体，且碳原子相互用共价键连接，吸引力很大，因此硬度很高。显微硬度可达10000

表 1—2

金 刚 石 磨 粒 粒 度 组 成

| 粒<br>度<br>号 | 最粗粒                | 粗 粒                 |                      | 基 本 粒               |                      | 细 粒                 |                      | 最细粒   |
|-------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---|
|             | 100%<br>通过的<br>筛网号 | 不通<br>过的<br>筛网<br>号 | 重量百<br>分<br>数不<br>高于 | 不通<br>过的<br>筛网<br>号 | 重量百<br>分<br>数不<br>低于 | 不通<br>过的<br>筛网<br>号 | 重量百<br>分<br>数不<br>高于 | 不超<br>过百<br>分之<br>一<br>通<br>过<br>的<br>筛<br>网<br>号 |
| 36          | 30                 | 36                  | 5                    | 46                  | 85                   | 60                  | 9                    | 60  |
| 46          | 36                 | 46                  | 5                    | 60                  | 85                   | 70                  | 9                    | 70  |
| 60          | 46                 | 60                  | 5                    | 70                  | 85                   | 80                  | 9                    | 80  |
| 70          | 60                 | 70                  | 5                    | 80                  | 85                   | 100                 | 9                    | 100   |
| 80          | 70                 | 80                  | 5                    | 100                 | 85                   | 120                 | 9                    | 120   |
| 100         | 80                 | 100                 | 5                    | 120                 | 85                   | 150                 | 9                    | 150   |
| 120         | 100                | 120                 | 5                    | 150                 | 85                   | 180                 | 9                    | 180   |
| 150         | 120                | 150                 | 7                    | 180                 | 75                   | 240                 | 17                   | 240   |
| 180         | 150                | 180                 | 7                    | 240                 | 75                   | 280                 | 17                   | 280   |
| 240         | 180                | 240                 | 7                    | 280                 | 75                   | 320                 | 17                   | 320   |
| 280         | 240                | 280                 | 7                    | 320                 | 75                   | —                   | —                    | —   |

—11000kg/毫米<sup>2</sup>以上。磨料越硬，磨削效率越高；因此金刚石磨具磨削硬脆材料效率最高。

#### (四) 金刚石强度

金刚石在研磨时受外力作用而损坏的难易程度，称为金刚石强度。金刚石的抗压强度约为300kg/毫米<sup>2</sup>，抗弯强度为30—50kg/毫米<sup>2</sup>，波动范围较宽，不同晶形的金刚石，强度可相差2—4倍。测定强度通常采用压力来压碎磨粒，如单颗粒抗压强度测定仪就是测定金刚石破碎负荷的平均值。国外采用冲击强度测定仪，即用一定重量的试样作冲击试验，然后过筛，测定其保持原

有粒度的百分数，也叫相对强度。

### (五) 金刚石比重

单位体积的重量称为比重。用下式表示：

$$d = \frac{m}{V}$$

式中：d—比重（克/厘米<sup>3</sup>）

m—金刚石重量（克）

V—金刚石体积（厘米<sup>3</sup>）

金刚石比重在3.47—3.56之间，随合成时所采用的触媒、压力和温度的不同而具有不同的色泽和不同的比重，一般取3.52克/厘米<sup>3</sup>。测定比重方法如下：取已知容量的比重瓶，然后称出比重瓶在装满蒸馏水时的重量、金刚石重量以及比重瓶装磨料并排出部分水后的重量，用下式测出比重：

$$D = \frac{Md}{M+P-P_m}$$

式中：D—比重

M—磨料重量（克）

P<sub>m</sub>—装有水和磨料的比重瓶重量

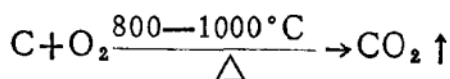
P—装满水的比重瓶重量

d—蒸馏水比重

### (六) 金刚石的化学性质

常温下，金刚石的化学性质非常稳定，不与任何酸起反应，与碱起缓慢作用，而且完全不吸湿。在沸腾的温度下，某些强碱强酸、具有氧化性的盐，如NaNO<sub>3</sub>，对金刚石质量也有影响。因此，必须避免在高温下，强烈氧化条件的作用。

金刚石的热稳定性不高，在空气中受热到800°C左右时，开始氧化，重量减轻，晶体颜色发生变化，表面结构也开始变化；1000°C以上氧化燃烧：



在非氧化性介质中，于1600—1800°C时，将全部石墨化。

金刚石也是电的不良导体，又是非磁性物质。但人造金刚石由于制造中触媒的作用，含有磁性包裹体而具有磁性。包裹体愈多，磁性越强，因此多数人造金刚石均感磁。

## 二、人造金刚石的制造方法及其特点

人工合成金刚石的方法很多，这里简单介绍一下最有工业性价值的两种方法：

### (一) 静压触媒法

用两面顶、四面顶、六面顶等液压机加压，产生高压。以交流电或直流电通过石墨试样产生高温，以叶腊石为固体传压密封材料，加合金作触媒降低石墨转变成金刚石的高压高温条件，这种方法就称为静压触媒法。这种方法迄今已有二十多年的历史，还在继续发展和完善中。根据不同合成工艺和不同触媒，可生产出不同粗细，不同晶形，不同强度的金刚石。普通磨料级金刚石（JR<sub>1</sub>，JR<sub>2</sub>），是在高压高温较短时间内合成的，针片状颗粒多，强度低，自锐性好。高强度金刚石（JR<sub>3</sub>，JR<sub>4</sub>），是在压力、温度偏低，长时间内合成的。晶形完整，等积形多，强度高。适宜制造地质钻头、锯片、滚轮等。

### (二) 爆炸法

利用炸药爆炸瞬时产生的高温高压，使石墨转变为金刚石的方法。这种方法不需要催化剂，具有设备简单，投资少，产量高等优点。但用这种方法得到的金刚石颗粒微小，一般为几个微米，最大为40微米，杂质含量高。只适宜制造研磨膏，或者作为聚晶金刚石原料。

## 第二节 金刚石磨具

### 一、金刚石磨具的概念

金刚石磨具是以金刚石为磨料，借助结合剂的作用粘结成具有一定几何形状的制品。如砂轮、油石、磨头等等，总称为金刚石磨具。

金刚石磨具的制造和使用早在三十年代就开始了，但真正得到大力发展和普及还在六十年代。即金刚石人工合成之后，用于制造磨具的金刚石约占全部金刚石的三分之二。金刚石磨具有树脂结合剂，金属结合剂，陶瓷结合剂和电镀结合剂之分。它们所占的比例在各个国家有所不同，而且随着工业的发展，其比例也有所变化，目前大概的情况如表 1—3 所示。

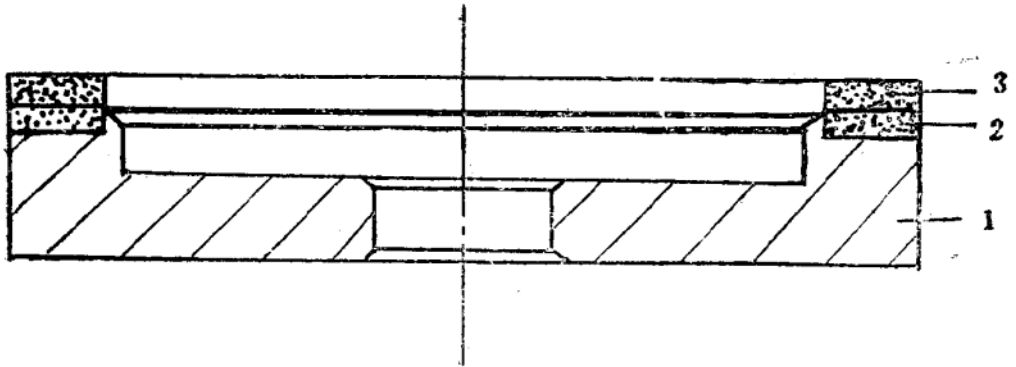
表 1—3 各主要生产国金刚石结合剂的比例

| 国 别 | 树脂结合剂  | 金属与其它结合剂 |
|-----|--------|----------|
| 美 国 | 75%    | 25%      |
| 苏 联 | 70%    | 30%      |
| 西 欧 | 60%    | 40%      |
| 日 本 | 40%    | 60%      |
| 中 国 | 70—75% | 25—30%   |

由于金刚石磨料的特性使金刚石磨具在磨削中具有与普通磨具大不相同的效果：不但效率高，而且精度高，光洁度好，磨具消耗少，使用寿命长，并能大大改善劳动条件，能解决很多难加工材料的磨削问题，为新工具和新材料的推广、使用创造了有利条件，基本上解决了一些新材料的磨削问题。

金刚石磨具由基体、非金刚石层（过渡层）和金刚石层（工

作层)三部分组成。如图1—1所示。



1—基体 2—过渡层 3—工作层

图1—1 金刚石砂轮结构图

**基体：**起着承载工作层的作用，使砂轮通过法兰盘夹紧在砂轮主轴上。金属结合剂金刚石磨具用钢作基体。树脂结合剂金刚石磨具采用铝合金或电木，酚醛加铝粉等材料作基体。基体具有一定加工精度，而且平衡性好，一般认为基体在保证强度和刚性的条件下愈轻愈好，便于使用，所以铝基体最为常见。

**非金刚石层（过渡层）：**不含有金刚石，由结合剂和其它材料所组成。是牢固连接基体和金刚石层的中间层，以保证金刚石层的完全使用。

**金刚石层（工作层）：**由金刚石、结合剂和气孔组成，是磨具起磨削作用的部分。厚度一般在1.5—5毫米之间。由于金刚石耐磨，所以它的砂结比小，即结合剂量较多，把持金刚石能力强、金刚石在磨削中不易脱落。

有非金刚石层结构的砂轮，模具复杂，压型麻烦。根据所采用的工艺和基体的不同，也可以只有基体和金刚石层两部分，如较小的平型砂轮和电木基体的砂轮。有时为了压型方便，大的平行砂轮也不采用非金刚石层，即只有基体和金刚石层。



## 二、金刚石磨具的分类

金刚石磨具的分类，最普通的方法是按结合剂分类。但也有按形状分类或按磨削方式分类。现归纳如下。

