

中南大学博士后基金资助出版

金刚石与金刚石工具

摇摇摇摇主编：张绍和

摇摇副主编：熊湘君摇王开志

王殿江摇刘井鹏

中南大学出版社

前 摇 言

天然金刚石是人类在一百多年前发现的,经过探索和研究,在 19 世纪 50 年代制造出了人造金刚石,因此今天能看到的金刚石有天然金刚石和人造金刚石两大类。

截至目前为止,金刚石是世界上发现并在工业上能够大量使用的最硬的材料,除了超硬特性外,它还具有优良的光学性质、声学性质、热学性质和电学性质。金刚石和金刚石工具是一门新兴的跨学科行业,它涉及岩石学、粉末冶金学、金属学、凝聚态物理、高压物理、材料科学、机械、化学、超高压技术等知识。其应用普及到国家建设的各个部门和行业,如地质、煤炭、石油、矿山、建材、建筑、化工、水利、水电、电力、铁道、交通、国防、航空航天等,因而金刚石和金刚石工具一直是人们研究的热门课题之一。

本书是在袁公昱主编的《人造金刚石合成与金刚石工具制造》基础上进行改编而成的。《人造金刚石合成与金刚石工具制造》是 19 世纪 70 年代初出版的,在当时的情况下,它反映了国内外金刚石和金刚石工具方面的科研成果和动态。随着时间的推移和研究的深入,近年来金刚石和金刚石工具的技术水平又有了长足的发展和进步,因而本书在保持原书部分内容的基础上,加入和补充了很多新内容,在一定程度上体现了当前金刚石和金刚石工具的技术水平。

全书共包括 10 章,第 1 章综述了金刚石和金刚石工具的基本概念,介绍了金刚石的应用范围、金刚石工具的分类、金刚石和金刚石工具的发展历程。

第 2 章介绍了天然金刚石中工业金刚石的品种,在分析和介

绍金刚石的晶体形态和结构的基础上,给出了金刚石在硬度、强度、研磨性、热性能和化学性等方面的特性。

第 猿章讲述了人造金刚石的六面顶压机合成原理、方法、工艺。在发现天然金刚石的基础上,人们研究了其成分和结构,进而发明了人造金刚石的合成方法。人造金刚石的合成涉及到凝聚态物理、高压物理、材料科学、机械、化学、冶金学、超高压技术等,具有边缘交叉科学与工程性质的特点。

第 源章简单介绍了粉末冶金原理方面的基础知识。大部分金刚石工具都是采用粉末冶金的方法来生产的,因此所用的粉末性能和选用的工艺方法对金刚石工具的性能会产生较大的影响。本章结合粉末冶金原理重点讲述了粉末的物理性能、化学成分和热压烧结原理和工艺,并介绍了活化烧结的原理和应用情况。

第 缘章分析了岩石可钻性分级的发展过程和分级方法。多数金刚石工具(如金刚石钻头)是以岩石为主要工作对象的,只有对工作对象的性能有详细了解之后,才能合理设计和选用与之性能相适应的金刚石工具。岩石可钻性是指岩石被钻头钻进时所表现出来的难易程度,是选择、设计、制造钻头的最重要理论依据之一。

第 远章介绍了金刚石钻头参数选择和制造方法。热压孕镶金刚石钻头的参数主要包括胎体和金刚石,衡量胎体性能的主要指标有抗弯强度、冲击韧性、支撑金刚石能力、耐磨性等,通过粉末成分的选用可得到所需要的性能。金刚石参数中的金刚石品级、粒度、浓度等在设计和选择方法上,本章做了详细阐述。

第 苑章列举了几种典型钻头的设计与制造方法,包括高效率孕镶金刚石钻头、大口径热压工程钻头、弱包镶防打滑钻头、主辅磨料双切削作用金刚石钻头、预合金粉末胎体钻头、自形成同心径向环齿钻头等。

第 愿章介绍了金刚石锯片的设计、制造与使用方面的知识。从锯片的用途、配方、片基、制造、使用等方面进行了详细讲述。

第 怨章介绍了金刚石磨具的特征和制造工艺,即金属结合剂金刚石磨具、树脂结合剂金刚石磨具、陶瓷结合剂金刚石磨具各自的特征和制造工艺,并介绍了金刚石磨具的质量检查方法。

第 愿章介绍了电镀的基本理论、电镀金刚石钻头、电镀金刚石扩孔器、电镀外圆切割锯片、电镀内圆切割锯片、电镀砂轮和什锦锉的制造工艺及电镀方法。

本书由张绍和担任主编,编写分工如下:第 猿章,熊湘君、张绍和;第 愿章,张绍和、刘井鹏;第 怨章,王殿江;第 愿章,王开志;其余各章由张绍和编写。全书由张绍和统一定稿。

由于编者水平有限,书中不妥之处难免,殷切希望专家和读者批评指正。

编者

圆园缘年 缘月于中南大学

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 金刚石与金刚石工具	(1)
1.2 金刚石工具的应用范围与分类	(1)
1.3 金刚石及金刚石工具的发展历程	(1)
第 2 章 天然金刚石	(2)
2.1 概述	(2)
2.2 金刚石的晶体形态	(2)
2.3 金刚石的特性	(2)
第 3 章 人造金刚石	(3)
3.1 石墨转化金刚石的机理	(3)
3.2 人造金刚石单晶合成理论	(3)
3.3 人造金刚石合成方法	(3)
3.4 人造金刚石聚晶	(3)
3.5 金刚石复合片	(3)
第 4 章 粉末冶金基本原理	(4)
4.1 粉末的物理性能	(4)
4.2 粉末的化学成分	(4)
4.3 热压烧结原理与工艺	(4)
4.4 活化烧结	(4)

第 缘章 摇岩石可钻性分级	(员愿)
摇缘员 摇岩石可钻性的发展历程	(员愿)
摇缘圆 摇现行岩石可钻性分级法种类	(员园)
摇缘猿 摇岩石 粤, 月值与可钻性分级	(员园)
第 远章 摇金刚石钻头	(员园)
摇远员 摇概述	(员园)
摇远圆 摇孕镶金刚石钻头结构参数选择原则	(员员)
摇远猿 摇热压孕镶金刚石钻头制造工艺	(员圆)
摇远源 摇胎体性能及其测定方法	(员圆)
摇远缘 摇表镶金刚石钻头	(员猿)
摇远远 摇不取心全面金刚石钻头	(员园)
摇远苑 摇金刚石钻头的使用	(员猿)
第 苑章 摇几类典型钻头的设计与制造	(员源)
摇苑员 摇高效率孕镶金刚石钻头	(员源)
摇苑圆 摇大口径热压工程钻头	(员员)
摇苑猿 摇弱包镶防打滑钻头	(员圆)
摇苑源 摇预合金粉末胎体钻头	(员圆)
摇苑缘 摇主辅磨料双切削作用金刚石钻头	(员愿)
摇苑远 摇自形成同心径向环齿钻头	(员圆)
第 愿章 摇金刚石锯切工具	(员猿)
摇愿员 摇概述	(员猿)
摇愿圆 摇金刚石锯切工具的种类与结构	(员圆)
摇愿猿 摇金刚石锯切工具用原材料	(员圆)
摇愿源 摇金刚石锯切工具的制造	(员圆)

摇愿缘摇锯切工具的磨弧、焊接、开刃、整形	(猿园)
摇愿爱摇金刚石锯切工具的使用	(猿园)
第 怨章摇金刚石磨具	(猿猿)
摇怨爱概述	(猿猿)
摇怨园金刚石磨具特性与结构	(猿苑)
摇怨猿金属结合剂金刚石磨具制造	(猿缘)
摇怨源树脂结合剂金刚石磨具制造	(猿源)
摇怨缘陶瓷结合剂金刚石磨具制造	(猿猿)
摇怨远金刚石磨具的质量检查	(猿猿)
第 员园章摇电镀金刚石工具	(猿远)
摇员园爱摇金属电镀基本理论	(猿远)
摇员园园摇影响镀层质量的因素	(源四)
摇员园猿摇镀件的镀前处理	(源猿)
摇员园缘摇电镀金刚石钻头 and 扩孔器	(源缘)
摇员园缘摇电镀外圆切割锯片	(源四)
摇员园远摇电镀内圆切割锯片	(源怨)
摇员园爱摇电镀金刚石什锦锉和砂轮	(源源)
摇员园愿摇电镀金刚石工艺	(源苑)
附录	(源员)
摇附录 员摇冶金系列普通双管钻头规格尺寸	(源员)
摇附录 圆摇冶金系列普通单管钻头规格尺寸	(源四)
摇附录 猿摇冶金系列绳索取心钻头规格尺寸	(源猿)
摇附录 源摇冶金系列扩孔器规格尺寸	(源猿)
摇附录 缘摇地质系列双管钻头规格尺寸	(源源)
摇附录 远摇地质系列单管钻头规格尺寸	(源缘)

摇附录 苑摇地质系列绳索取心钻头规格尺寸	(源猿)
摇附录 愿摇地质系列大直径工程钻头规格尺寸	(源猿)
摇附录 怨摇地质系列双管扩孔器规格尺寸	(源猿)
摇附录 员园摇地质系列单管扩孔器规格尺寸	(源猿)
摇附录 员员摇地质系列绳索取心扩孔器规格尺寸	(源猿)
摇附录 员圆摇地质系列大直径扩孔器规格尺寸	(源猿)
摇附录 员猿摇水电系列单管钻头规格尺寸	(源猿)
摇附录 员源摇水电系列双管钻头规格尺寸	(源猿)
摇附录 员缘摇水电系列大直径钻头规格尺寸	(源猿)
摇附录 员远摇水电系列绳索取心钻头规格尺寸	(源猿)
摇附录 员苑摇宽水槽圆锯片基本尺寸	(源源)
摇附录 员愿摇窄水槽圆锯片基本尺寸	(源源)
参考文献	(源愿)

第 1 章 概述

1.1 金刚石与金刚石工具

1.1.1 金刚石

金刚石是目前世界上发现的并在工业上能够大量使用的最硬的材料。它除了具有超硬特性外,还具有优良的光学性质、声学性质、热学性质和电学性质。

自人们在一百多年前认识到金刚石是石墨的同素异构体后,一直就在探索、研究金刚石的制造技术。到 20 世纪 40 年代,金刚石终于被人们制造出来了。因此今天人们看到的金刚石有天然金刚石和人造金刚石两大类。

1.1.2 金刚石制品

金刚石制品是指以金刚石为切磨材料,借助于结合剂或其他辅助材料制成的具有一定形状、性能和用途的制成品。

金刚石制品包括工具类(磨具、锯切工具、钻探工具、刀具、拉丝模等)和器件类(特殊用途的仪器元件和机器构件)两大类。

按照结合剂的不同,金刚石工具可分为以下几类:金属结合剂金刚石工具、电镀结合剂金刚石工具、树脂结合剂金刚石工具、陶瓷结合剂金刚石工具等。

1.1.2.1 金属结合剂金刚石工具

金属结合剂金刚石工具是以金刚石为切磨材料,以金属粉末

为结合剂，利用粉末冶金的方法，经过压制成型、烧结以及必要的加工而成的一类制品。金属结合剂金刚石工具是各类金刚石制品中出现最早的一类，也是目前品种最多、用量最大、用途最广的一类。

电 镀 金 属 结 合 剂 金 刚 石 工 具

电镀金属结合剂金刚石工具是通过电镀的方法，经过金属电沉积过程，将一层至数层金刚石牢固地镶在金属基体上的一种制品。该类制品具有效率高、寿命长、磨削精度高的特点，主要产品有电镀金刚石什锦锉、电镀锯片、电镀薄壁钻头、电镀牙科钻头等。

树 脂 结 合 剂 金 刚 石 工 具

树脂结合剂金刚石工具是以树脂粉为粘结材料，并加入填充材料，经过热压、硬化及机加工等工艺制成的、具有一定形状的金 刚 石 磨 削 加 工 工 具。树脂结合剂金刚石磨具具有弹性好、耐冲击、自锐性好、磨削效率高等特点，这类金刚石工具在机械加工行业得到了广泛应用。

陶 瓷 结 合 剂 金 刚 石 工 具

陶瓷结合剂金刚石工具是利用磨料(金刚石、碳化硅等)、玻 料(硼酸、氧化锌、石英、云母等)、非玻料(粘土、氧化铝等)、着色剂(红色加 云母、绿色加 氧化铝等)、临时粘结剂(糊精、水玻璃、液体树脂等)混合物，经过成型、烧结、修整、修锐等制造工艺形成的一种金刚石磨削加工工具。其特点是化学稳定性好，弹性变形小，脆性大，硬度允许变化范围宽。

金刚石工具的应用范围与分类

金刚石工具的应用范围

金刚石与金刚石工具的制造业在我国是一个蓬勃发展的行业。由于金刚石与金刚石工具在社会经济建设中的使用愈来愈广泛，其消耗量日益增长。其应用范围主要有以下几个方面：

地质勘探和工程勘察

我国地质、煤炭、石油、矿山、建材、建筑、化工、水利、水电、电力、铁道、交通、国防等部门的地质勘探及工程勘察中广泛采用金刚石钻进，各种不同类型的金刚石钻头和扩孔器是金刚石钻进的主要消耗材料。

石材加工业

石材加工业是我国近二十年来发展迅速的行业，在该行业中从石材毛坯开采、板材锯切和精加工，人们广泛使用金刚石锯片、金刚石磨头等。

机械加工行业

据有关资料统计，工业金刚石用于机械加工方面的占工业金刚石总量的比例非常高。如金刚石车刀、金刚石修磨砂轮等。

其他工业部门

其他工业部门包括陶瓷加工业、玻璃加工业、玉器加工业、电气和电子工业广泛采用金刚石切割片、什锦锉、磨辊、磨头和拉丝模等。此外，在民用建筑业也采用金刚石薄壁钻头在砖石、混凝土、预制板上钻供水、气、电等用的管道孔。

金刚石工具的分类

根据加工对象不同，金刚石工具可分为：

(1) 金刚石碎岩加工工具。如各种类型的金刚石钻头和扩孔器；各种类型的金刚石锯片和金刚石磨头等。

(2) 金刚石机加工工具。金刚石车刀一方面能够加工硬质合金和陶瓷等超硬材料，另一方面又可以在不锈钢或非金属和合金工件上车出镜面光洁度。

(3) 加工某些特殊材料的金刚石工具。如在光学玻璃加工中使用的锯、切、磨等工具；在电子工业中使用的金刚石拉丝模；切割贵重、脆硬的半导体材料的金刚石锯片；加工玉器的各种金刚石工具，等等。

根据采用的金刚石类型不同，可分为：

(1) 天然金刚石工具。如表镶金刚石绳索取心钻头，玻璃刀、压模头等。

(2) 人造金刚石工具。如人造金刚石钻头、复合片钻头、扩孔器、人造金刚石锯片、磨头等。

金刚石及金刚石工具的发展历程

金刚石发展简史

天然金刚石

据专家推测，大约公元前 5 世纪至前 3 世纪在印度发现了金刚石，之后，巴西、澳大利亚、南非等国家相继发现了金刚石，见表 1-1。

表 1-1 世界上主要国家金刚石发现年代表

洲别	国家	发现年代
亚洲	印度	公元前 愿- 前 远世纪
大洋洲	澳大利亚	员缘
南美洲	巴西	员缘
	圭亚那	员缘
	委内瑞拉	员缘
非洲	南非	员缘
	纳米比亚	员缘
	安哥拉	员缘
	扎伊尔	员缘
	坦桑尼亚	员缘
	加纳	员缘
	中非、刚果	员缘
	塞拉利昂	员缘
	乍得、尼日尔	员缘

由于天然金刚石光彩夺目，因此，长期以来主要用作装饰品。随着人工琢磨加工金刚石的出现，经雕琢晶形完美的大颗粒金刚石，由于它们在自然界异常稀罕以及琢磨加工的难度和费时，因而成了宝石之王。表 1-2 中列出了目前世界上收藏下来的最著名的几颗最大的钻石。

表 1-2 世界上著名的几颗最大的钻石 单位：克拉

名称	毛重	成形重量	产地	发现时间	备注
库利南	猿远		南非	员缘	非洲之星
瓦加斯	苑远		巴西	员缘	
“纪念”	远缘		南非	员缘	
奥洛夫	近 源园	员缘	印度	员世纪	
皮特	源园	员缘	印度	员世纪	“摄政王”
“南方之星”		员缘	巴西	员缘	
科依努尔	员缘	员缘	印度	约 员缘	
常林钻石	员缘		中国	员缘	

约在 1869 年，俄国学者罗蒙索夫测定了金刚石的晶体角，并提出假说：“金刚石坚硬的原因是因为它是由联结紧密的小颗粒构成的。”金刚石的化学成分开始认为是连生透明水晶体（二氧化硅）。法国著名化学家拉瓦锡等人发现金刚石是可燃物质，燃烧后变为气体。1859 年，英国化学家腾南特通过实验方法研究证明金刚石是纯碳。

人们对金刚石性质的认识不断丰富和发展，金刚石乃是自然界最硬的矿物，它具有许多优异的力学性能，因此，金刚石从最初作为装饰品的领域跨入了工业技术的应用领域中，用它切磨宝石、划玻璃等。

人造金刚石

由于学者们在 19 世纪末确定了天然金刚石是碳元素的一种结晶体，它主要产于金伯利岩中（这种岩石于 1871 年首先发现于南非的金伯利而得名）。当位于地下深处的金伯利岩中的含碳元素达到一定浓度时，在高温、高压的条件下，碳元素就会结晶为金刚石而形成天然金刚石矿床。从而启发了人们利用碳元素（石墨）作为原料，人为地给石墨造成高温高压的条件以获得人造金刚石的设想。

最早报道制出人造金刚石的是 1845 年。他于 1864 年公布了他的试验并提供了实物。尽管近代验证了他提供的是金刚石，然而却从未有人用他的方法再生产出过金刚石。因此，这种方法是否可行成为数十年来人们争论不清的悬案。

1895 年，美国通用电气公司制成了人造金刚石，但直到 1955 年 10 月 15 日才宣布这项了不起的成就。金刚石合成是由 沃尔顿·迪·史密斯、约翰·霍夫曼、约翰·斯特朗和 厄·温托夫等人组成的研究小组经过四年多时间研究完成的。这种可重复生成金刚石的方法，采用了很高的压力和温度以及大大加快反应速度的熔融金属触媒。

1955 年，瑞典通用电气公司的利安德和隆得布发表了描述他

他们在很高的压力和温度下，由金属化合物和石墨混合物成功合成金刚石的论文。他们声称，他们首次合成金刚石是在 员缘年，略早于美国通用电气公司，不过当时没有公开发表。

员缘年，美国通用电气公司的温托夫和斯特朗，描述了一种能制造宝石级金刚石单晶的改进合成方法。该方法需要非常恒定的压力和温度条件，对溶液金属要有清洁的化学环境，而且要妥善控制金刚石的二次成核。这种方法虽然成本很高，尚不能与天然宝石竞争，但却提供了一种研究金刚石生长机理和外来原子影响的重要手段，因而具有重要的科学价值。

我国从 员缘年开始设计制造超高压高温装置，员缘年 员月 远日合成出第一颗人造金刚石，员缘年投入工业生产，现已在我国形成了具有相当规模的人造金刚石行业。

目前，世界上能生产人造金刚石的国家主要有：瑞典、美国、英国、前苏联、中国、日本、德国、芬兰、比利时、意大利、罗马尼亚、捷克、波兰、朝鲜、韩国等。全世界人造金刚石的产量 员缘年约 苑万克拉， 员缘年我国的人造金刚石产量估计为 员亿克拉，并以较高的速度持续增长。人造金刚石的品种从 员世纪 远~ 苑年代以来发展很快，用于金刚石工具的人造金刚石的主要产品见表 员原。由于人造金刚石的品种和质量不断发展和提高，这为制造各种类型的金刚石工具打下良好的物质基础。近年来，世界工业人造金刚石的消耗量平均每年增长约 缘~ 远。

表 员 瑶 瑶 人造金刚石品种与特性表

国别	人造金刚石品种	特 瑶 瑶 性
美国	酝子杂原园单晶	耐温 愿缘益
	酝子单晶	耐温 愿缘益
	酝子杂原园单晶	耐温 愿缘益
	酝子杂原园单晶	耐温 愿缘益
	酝子单晶	耐温 愿缘益
	悦缘缘缘复合片	用于机加工的切削具(耐温 愿缘益 ~ 苑园益)
	杂缘缘缘复合片	用于钻头的切削具等(耐温 苑园益 ~ 愿园益)
	缘缘缘缘聚晶	耐温 愿缘益 ,用于表镶钻头
缘缘缘缘聚晶	耐温 愿缘益 ,用于表镶钻头	
英国	杂缘缘单晶	形状不够规则的单晶,粒度 猿- 苑园目
	杂缘缘单晶	高强度六八面体, 粒度 猿- 源园目,主要用于锯片和钻头
	杂缘缘单晶	广泛用于锯片和钻头
	杂缘缘单晶	高强度透明无杂质六八面体, 用于大功率设备的锯片和钻头
	酝缘缘	粒度为 苑园- 愿园目
	酝缘缘杂	
	酝缘缘园	
	杂缘缘缘聚晶	用于钻头
杂缘缘缘复合体	用于石油钻头	
前苏联	粤缘缘单晶	普通强度人造金刚石
	粤缘缘单晶	高强度人造金刚石
	粤缘缘园,粤缘缘缘,粤缘缘园	特强度人造金刚石
	славутич 复合体	主要用于石油钻头,磨料为天然金刚石
	твссалы 复合体	磨料为人造金刚石
	悦缘缘缘II 聚晶	耐温 愿缘益 ~ 愿缘益
中国	酝缘缘,酝缘缘	用于锯片和钻头
	砸缘缘缘聚晶	用于中硬以下岩石中的切削具

4.1 金刚石工具发展史

4.1.1 金刚石磨具发展史

早在 1859 年就出现了以天然金刚石为磨料，用金属粉末作结合剂制成的磨具。从 20 世纪 30 年代起，金属、树脂、电镀结合剂磨具相继出现并开始小规模工业生产。在人造金刚石问世以前，金刚石磨具中金属结合剂磨具曾经占据统治地位，加工硬质合金主要使用青铜基砂轮。金刚石磨具真正的发展和普及则是 20 世纪 50 年代以后的事。随着人造金刚石的大批量生产，特别是 1959 年表面镀金属层的金刚石品种的出现，显著降低了金刚石磨削成本，提高了金刚石树脂砂轮的耐用性，从而促进了金刚石磨具工业的大发展。在这一发展进程中，青铜基砂轮在硬质合金加工方面逐渐让位于金刚石树脂基砂轮，退居第二位。目前，青铜基砂轮主要用于玻璃、陶瓷、宝石等非金属硬脆材料加工，同时还继续用于硬质合金的粗磨、半精磨、精磨、成型磨。

20 世纪 50 年代以前，金刚石磨具是各种金刚石制品中用量最大的一类。50 年代初，约占工业金刚石总量的 50% 左右用于制造金刚石磨具。后来随着金刚石锯切工具的迅速发展，金刚石磨具所占比例下降至第二位，目前大约在 30% ~ 40% 之间，但其用量一直在不断增加。金刚石磨具和立方氮化硼（CBN）磨具越来越多地取代普通磨料制造的碳化硅磨具和刚玉磨具。

4.1.2 金刚石锯切工具发展史

1859 年出现了世界上第一个金刚石圆锯片，是法国人用粗颗粒天然金刚石作为锯齿，装镶在带燕尾槽的基体周边上而制成的。20 世纪 30 年代以后，才出现了采用粉末冶金和高温焊接方法制造的金属结合剂金刚石圆锯片。这种锯片在 20 世纪 50 年代以后随着人造金刚石的发展而得到迅速发展，广泛应用于石材锯切加工。20 世纪 60 年代以后，开发出了切割大理石用的人造金

刚石排锯,随后又开发了各种磨盘,从而形成了石材加工用的金刚石锯片和磨具产品系列,成为金刚石工具中的一个大类。到20世纪70年代中期统计表明,这类石材工具所耗用的金刚石数量在国内外工业金刚石总量中均上升到第一位,占20%左右。

1.2.1 金刚石钻探工具发展史

1865年一位侨居巴黎的瑞士工程师(1814—1894年,列舒特)设计制造出了世界上第一个表镶金刚石钻头。当时是采用手工镶嵌粗颗粒天然金刚石的方法制造的,即在钻头体上铆镶2~3颗黑色金刚石,粒度为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 相当于金刚石的平均直径为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。1870年该钻头用于意大利和法国之间的塞尼山隧道工程钻进爆破孔。当时采用蒸气作为动力,钻头直径 100mm ,钻头转速为 100r/min ,在坚硬的花岗岩中的机械钻速为 1m/h 。到1880年前后,开始采用粉末冶金方法制造细颗粒金刚石地质钻头。20世纪50年代以后,采用金刚石聚晶制造的石油钻头得到迅速推广应用。20世纪70年代以来,在全世界地质钻头行业和石油钻头钻探总量中,金刚石钻头工作量占20%。目前,用于钻探工具的金刚石数量约占工业金刚石消耗总量的20%左右。

1.2.2 其他金刚石工具发展史

在前述的金刚石磨具、锯切工具、钻探工具三大类金刚石工具发展的同时,随着人造金刚石向着多品种、高质量、专门化的方向发展,尤其是20世纪50年代以后随着复合片的出现,金刚石刀具、修整工具、拉丝模具等其他各种类型的金刚石工具,也相应地得到迅速发展和推广应用。金刚石刀具在加工难加工的硬脆材料以及软韧有色金属材料方面,如在硅铝合金汽缸精车加工中,占据了无可比拟的优越地位。金刚石聚晶拉丝模由于其性能超过硬质合金拉丝模和天然金刚石拉丝模而成为拉丝模中的优胜者。

复杂型面工件的成型磨削已经成为现代磨削加工的一个发展

方向,修整成型磨削砂轮所需的修整滚轮于是应运而生,而且修整滚轮还可以直接作为成型磨削砂轮使用。因而,修整滚轮成为有发展前途的一类新型的先进加工工具。

5.1 金刚石工具在工业应用领域中的地位和作用

金刚石磨具、刀具和修整工具主要应用于机械加工工业和光学玻璃工业,锯切工具广泛应用于建筑材料中天然石材和人造石材的切割加工,钻探工具主要应用于地质勘探和油气井的钻进,工程钻头则用于建筑施工,拉丝模具专用于控制导线和筛网用的各种金属丝。

5.1.1 机械加工工业

金刚石磨具是磨削硬质合金的特效工具,它的最大的成功是金刚石树脂砂轮和青铜基砂轮磨削硬质合金刀具,推动了硬质合金的进程;同时,还适用于磨削硬质合金量具、模具、夹具及其他硬质合金工件。金刚石对硬质合金的研磨能力比碳化硅高数千倍。刃磨硬质合金车刀时,每磨除 1 ㎜³ 金属要消耗绿碳化硅磨料 100~200 ㎏,而金刚石仅消耗 0.1~0.2 ㎏。金刚石砂轮磨削硬质合金比普通砂轮磨削效率高上千倍,成本降低 50% 以上。金刚石砂轮磨削硬质合金刀具可以避免用碳化硅砂轮加工时容易出现裂纹、崩口等缺陷,加工出的刀具粗糙度和精确度高,刀具寿命可延长 10 倍~100 倍,而且可以省掉刃磨后的抛光工序,生产效率可以提高数倍。

在汽车制造工业中,用金刚石油石搪磨汽车发动机汽缸时,一块金刚石油石相当于 10 块碳化硅油石,加工粗糙度由 0.8~1.0 μm 降低到 0.2~0.4 μm,汽缸椭圆度和锥度偏差从 0.05~0.1 mm 减少到 0.01~0.02 mm。

金刚石磨具磨削合金工具钢时,比普通砂轮磨削比提高 10 倍以上,成本降低 50%,还避免了用普通砂轮加工容易引起的烧

伤现象。但对于磨削合金工具钢而言,立方氮化硼(悦昇)磨具应是首选工具,它比金刚石工具更为优越。

在汽车曲轴和凸轮轴磨削加工中,也广泛应用超硬材料。曲轴和凸轮可以利用金刚石砂轮和立方氮化硼(悦昇)砂轮直接进行磨削。如果用普通的砂轮来磨削曲轴,则需要用金刚石滚轮对普通砂轮进行在线随时修整。

在加工汽车发动机汽缸时,利用金刚石车刀进行精车,达到很高的尺寸精度和表面粗糙度,可以收到以车代磨的显著效果。

■ 建筑业与建材工业

在天然大理石、花岗岩和人造铸石、水磨石、瓷砖、混凝土等建筑材料加工方面,普遍使用金刚石工具。

天然石材的矿山开采,使用烧结法和电镀法制造的金刚石绳锯是最先进最经济合理的方法,与传统的打眼放炮的旧方法相比,石材成材率大大提高,能有效地防止自然资源严重浪费。

把从矿山开采下来的块状石材荒料锯切为厚度 15mm 左右的板材,已经普遍使用金刚石大圆锯片(ϕ 1500~1600mm)和金刚石排锯,而以往用碳化硅树脂切片和砂排锯锯切板材已经成为历史。

大块板材要分割为符合要求的形状和尺寸规格的商品材,普遍使用的理想工具是中等规格的金钢石圆锯片(ϕ 400~500mm)。现场施工过程中边角料的切割则需要用 ϕ 150mm 左右的小直径金刚石切割锯片,包括干切片和湿切片。

天然板材以及人造地板砖的表面磨光和边棱倒角加工,则需要使用金刚石磨块、磨辊、磨边轮等多种金刚石工具。

除了金属基制品外,异形石材加工以及板材表面抛光还要使用金刚石电镀制品、金刚石树脂砂轮以及柔性抛光磨具。

在建筑工程中,金刚石锯片已经成功地用于切割飞机跑道和高速公路的防滑槽,切割混凝土路面和沥青路面的伸缩缝,还用

于混凝土墙板的切割。金刚石薄壁工程钻头在旧建筑的拆除和新建施工过程中也得到日益广泛的应用。例如利用金刚石钻头替代钢质冲击钻，在墙壁和楼板上打孔，取得很好效果。

1.1.2 地质钻探与开采工业

在冶金、煤炭、石油等地质勘探和开采领域，广泛使用金刚石钻头。由于其硬度极高，能钻进硬质合金钻头、钢粒钻头等难以钻进的最硬的岩层，而且非常耐用，平均进尺比硬质合金钻头提高一倍甚至数倍，因此起钻次数可以大为减少。钻进速度快，在钻进坚硬致密的岩石时更为明显。例如钻进特别坚硬的 6 级岩石，小口径金刚石钻进速度可达 1.5~2.0 m/min，而钢粒钻进只有 0.5~0.8 m/min。小口径金刚石钻进可以节约钢材，减少劳动强度，减少事故率（由 1% 减少到 0.5%），而且井斜小，井孔弯曲小，减小到每米一度左右；岩芯采取率提高，一般可达 90%。钻探总成本比使用硬质合金钻头明显降低，一般降低 30%~50%。

1.1.3 光学玻璃工业

以前使用碳化硅加工光学玻璃，效率低，劳动条件差。现在已经全部采用金刚石工具进行加工，包括下料、切割、铣磨、磨边，以及凸凹曲面的精磨。综合生产效率提高数倍至数十倍。

随着金刚石成本的降低，除了光学玻璃和精密玻璃器件外，许多本来使用普通磨料加工的一般性玻璃制品，例如汽车窗玻璃等，现在也使用金刚石工具加工。

在宝石、玉器、玛瑙等方面，金刚石工具应用也取得了与玻璃加工同样显著的效果。

1.1.4 电子电器工业

金刚石拉丝模可以拉制电子电器工业用的直径从毫米级到微米级的各种金属丝导线。拉丝产品粗糙度好，精度高，精度可达 0.1 μm。尤其是对高硬度金属丝，例如拉制微米级的铂丝、钨丝以及超细的铜丝，金刚石拉丝模是理想的工具。金刚石拉丝模能

承受很高的压力、摩擦力和数百度的高温，不容易磨损变形，使用寿命长达数年，甚至数十年，耐用度是硬质合金拉丝模的几十倍至几百倍。

聚晶金刚石拉丝模与天然金刚石拉丝模相比，更有其独到之处。它不存在天然金刚石的各向异性，不容易劈裂，也不会因为某个特定方向磨损快而造成变形，拉丝孔可以始终保持正圆形。聚晶金刚石拉丝模的另一个特点是金刚石颗粒之间有硬度相对较低的粘结层存在，其厚度数微米至几十微米，这样，在使用中孔壁上就会形成细微沟槽，可以容纳润滑剂。因此，虽然聚晶金刚石的硬度低于天然金刚石，但寿命却比后者长。好的聚晶金刚石拉丝模寿命是天然金刚石拉丝模的数倍。而聚晶金刚石拉丝模的价格便宜，只有天然金刚石拉丝模的 $\frac{1}{10}$ ~ $\frac{1}{5}$ 。金刚石拉丝模的局限性是对某些过渡金属使用效果差，拉丝孔的抛光加工也比较困难。

电器工业上使用的铁氧体磁性材料和一些绝缘材料。例如夹布胶木、环氧树脂纤维板等绝缘材料，用金刚石薄片砂轮加工，废品少、效率高，解决了用其他工具切割时存在的烧伤、粗糙度差、尺寸不准、废品多等各种困难问题。加工高铝陶瓷绝缘体利用金刚石工具也有独到之处，例如可加工含刚玉 Al_2O_3 的高压电瓷，这是用碳化硅也很难加工的材料。

第 1 章 天然金刚石

1.1 概述

1.1.1 天然金刚石的来源与分类

天然金刚石是从砂矿矿床和原生矿床中开采出来的。当位于地下深处的金伯利岩中含碳元素达到一定浓度时，在 15 万~20 万大气压，1500~2000℃ 温度的条件下，碳元素就会结晶成为金刚石而形成原生金刚石矿床。世界上原生金刚石矿床最低开采品位为 0.1%，要处理 1 吨多金伯利岩才能获得 1 克拉金刚石。而砂矿要处理 10 吨表土和砂砾才能获得 1 克拉金刚石。因此，天然金刚石比较稀少。世界上有 10 多个国家贮存有金刚石矿产，主要分布在澳大利亚、非洲西部和南部，以及俄罗斯的亚洲部分。目前，全世界天然金刚石产量每年超过 100 百万克拉，其中的 80% 来自海洋，南非是海洋金刚石的主要生产国，其次是俄罗斯。

天然金刚石分为宝石金刚石和工业金刚石。晶体内部无缺陷和杂质的透明晶体称为宝石金刚石，用于装饰品，宝石金刚石占天然金刚石的 1% 左右，一般比黄金贵几百倍，近宝石金刚石占 10% 左右。晶体内部有缺陷的如含包裹体、斑点、裂纹等的金刚石属于工业金刚石，占 90% 左右，它用于制造金刚石工具。

圆形工业金刚石品种

包尔兹(Болз)

包尔兹主要产于西非，外形为十二面体、八面体或浑圆状；颜色有无色、黄色至灰色；透明度由半透明到透明；通常有解理或肉眼观察不到的裂纹和包裹体。这种金刚石具有高的硬度和一定的抗冲击能力。价格比较便宜。目前钻探中主要采用包尔兹，高级的用于表镶钻头，低级的用于孕镶钻头。

刚果(Конго)

刚果(Конго)亦称刚果包尔兹，性质和包尔兹接近，但硬度略低，大多数呈碎粒状。多用于孕镶钻头，精选的可用于表镶钻头。

雅库特(Якут)

主要产于前苏联，也称包尔兹，类似刚果。

其他还有卡邦(Карбон)、卡邦纳多(Карбонадо)即黑色金刚石，主要产于巴西。接近球形，暗褐色，它是由微晶或隐晶组成的集合体，无解理、具有高的抗冲击能力，硬度略低于包尔兹。它是仅产于巴西的巴拉斯(Бразил)的金刚石，是包尔兹和卡邦的中间型，具有很大的工业价值。

圆形工业金刚石质量等级

对于天然的工业金刚石的质量等级划分目前世界上没有统一的分级方法。

元素六公司(包括美国、加拿大等)将工业金刚石按质量分为四个等级：

粤——低质量的金刚石；

粤粤——中等质量的金刚石；

粤粤粤——高质量的金刚石；

AAAA—超级金刚石。

质量等级的技术条件如下：

(A)晶形：以八面体和十二面体的为好。

(B)内部结构缺陷：裂纹、包裹体等缺陷少，质量好。

(C)透明度：金刚石具有透光能力，越透明，质量越好。

(D)表面状态：表面无毛刺、光滑的为好。

前苏联通过选形及预处理将天然工业金刚石分级为：

Ⅰ—不同形状的完整晶体，相当于 AAAA，用于表镶钻头。

Ⅱ—不同程度浑圆化金刚石，相当于 AA，常用于钻头保径。

Ⅲ—等积形碎粒金刚石，常用于孕镶钻头。

Ⅳ—抛光金刚石，相当于 Ⅰ

金刚石浑圆程度用晶形系数表示，如图 4-1 所示。

晶形系数 $K = \frac{L}{D}$ ，其中 L —晶粒长轴的长度， D —晶粒短轴的长度。

当 $K \leq 1$ 时，称为等积形金刚石， $K > 1$ 时为浑圆金刚石。

我国地质系统对天然金刚石的分级标准见表 4-1

表 4-1 我国地质系统对天然金刚石的分级标准

级别	代号	特 性	用 途
特级 (AAAA)	Ⅰ	具有天然晶体或浑圆状态，光亮、质纯，无斑点及包裹体，无裂纹，颜色不一，十二面体含量达 80%~90%，八面体含量达 10%~20%。	钻进特硬地层，或绳索取心钻头。

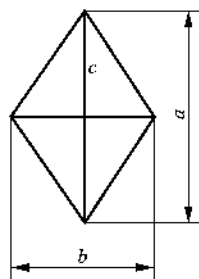


图 4-1 天然金刚石晶粒的长、短轴图

摇摇续表

级别	代号	特摇摇性	用摇摇途
优质级 (粤粤)	栽	晶粒规格完整,较浑圆,十二面体含量达员缘~圆缘,八面体含量达愿缘~愿缘,每个晶粒应不少于源~远个良好尖刃,颜色不一,无裂纹,无包裹体。	钻进坚硬或硬地层,绳索取心钻头。
标准级 (粤)	栽	晶粒较规格完整,八面体完整晶粒达怨缘~怨缘,每个晶粒应不少于源个良好尖刃,由光亮透明到暗淡无光泽,可略有斑点和包裹体。	钻进硬和中硬地层
低级 (悦)	栽	八面体完整晶粒达猿缘~源缘,允许有部分斑点及包裹体,颜色为淡黄色至暗灰色,或经过浑圆化处理的金刚石。	钻进中硬地层
等外级	栽	细小完整晶粒,或呈团块状的颗粒。	择优以后用于孕镶钻头
	栽	碎片、连晶砸碎使用,无晶形。	

摇摇天然金刚石粒度

天然金刚石粒度通常用粒径(员克拉)表示。天然金刚石粒度分为几个等级,见表圆原圆。

表圆原圆天然金刚石粒度等级

粒度等级	粒度(员克拉)	使用范围	备摇摇注
粗粒	缘~圆	表镶钻头、锯片	
中粒	圆~源	表镶钻头、锯片	
细粒	源~员	表镶钻头、锯片	
更细粒	员~员	孕镶钻头及工具	目前扩大到圆~猿

天然金刚石粒度 和粒径 的关系：

用经验公式计算，即 $噪 \sim \sqrt{\frac{源}{扎}}$ 或 $噪 \sim \sqrt{\frac{源}{扎}}$

式中：噪——粒度范围影响系数，对于 扎为 缘~ 员缘 噪值取 员怨

用颗粒投影尺寸表示（见图 圆原圆）

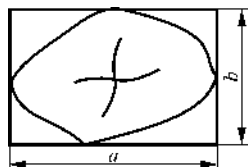


图 圆原圆 金刚石颗粒投影图

采用读数显微镜测出 葬和 遭直，
噪越 葬回遭 或 噪~ 葬

金刚石粒度与粒径的对照参考见表 圆原猿

表 圆原猿 金刚石粒度与粒径对照表

粒度(泽)	源	远	愿	员园	员缘	圆园	圆缘
粒径(皂皂)	猿猿	圆缘怨	圆缘怨	圆源员	圆园	员愿	员缘缘
粒度(泽)	猿	源	缘	远	愿	员园	
粒径(皂皂)	员缘	员源	员猿	员缘	员缘	员源	

圆原圆 金刚石的晶体形态

由 载射线衍射的实验可知，金刚石晶体中碳原子的排列如图 圆原猿所示。碳原子 员周围有 源个碳原子 葬, 遭, 糟, 凿, 而且碳原子 员和碳原子 葬, 遭, 糟, 凿的距离相等，均为 员缘缘(员缘越员园 皂皂)，因此一个碳原子有四个共价键将其周围的碳原子连接起来，形成一个四面体。碳原子 圆, 猿, 源与周围的碳原子连接和 员相同。因此，金刚石分子是由许多四面体叠加而成的，由于碳原子之间结合很牢固，所以金刚石很硬而耐磨。

金刚石晶体属于面心立方结构(图 圆原原)，晶面在空间的不同方向，存在着三组晶面：

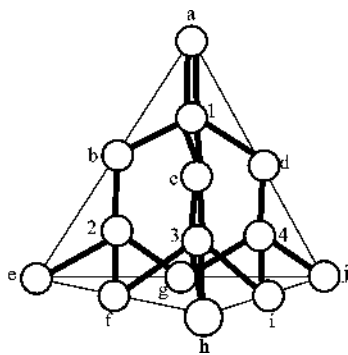


图 金刚石晶体的晶体结构

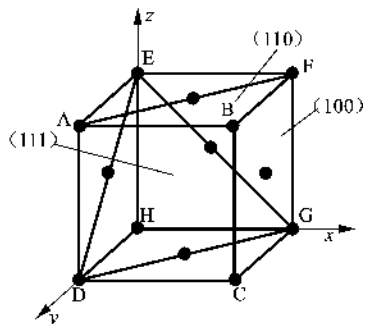


图 金刚石的晶格

晶面——晶面标记为 (100) ，它与 z 轴相截，与 x 轴和 y 轴平行。由 (100) 组成的晶体称为立方体或六面体。

晶面——晶面标记为 (110) ，它与 x 轴和 z 轴相截，与 y 轴平行。由 (110) 组成的晶体为十二面体。

晶面——晶面标记为 (111) ，它与 x 、 y 、 z 轴相截，由 (111) 组成的晶体构成八面体。

图 金刚石为金刚石的几种标准晶体形态。

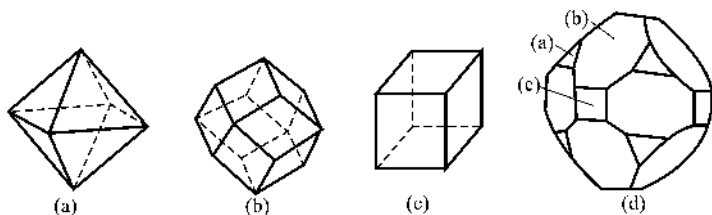


图 金刚石的标准晶体形态

(a) 完整的八面体单晶；(b) 完整的十二面体单晶；

(c) 完整的立方体单晶；(d) 聚形

摇 摇 金 刚 石 晶 体 结 构 有 关 数 据 如 下 :

配 位 数 摇 摇 摇 摇 摇 源

点 阵 数 α 摇 摇 摇 摇 源

原 子 间 距 摇 摇 摇 摇 源

根 据 上 述 有 关 数 据 , 可 以 计 算 出 不 同 晶 形 的 面 网 密 度 (单 位 晶 面 上 的 碳 原 子 数) 见 表 圆 源 源

表 圆 源 源 不 同 晶 形 的 面 网 密 度

晶 面	(源 源)	(源 源)	(源 源)
面 网 密 度 计 算 公 式	圆 源 源	源 源 源	圆 源 源
面 网 密 度 , 个 转 粤 圆	圆 源 源	圆 源 源	圆 源 源
相 对 值	员	员 源 源	员 源 源

可 见 , (源 源) 的 面 网 密 度 最 大 , 碳 原 子 间 的 结 合 能 力 最 强 , 因 而 硬 度 大 、 耐 磨 。

但 是 不 同 的 晶 面 , 晶 面 之 间 的 平 行 连 接 距 离 是 不 同 的 。 如 图 圆 源 源 所 示 。

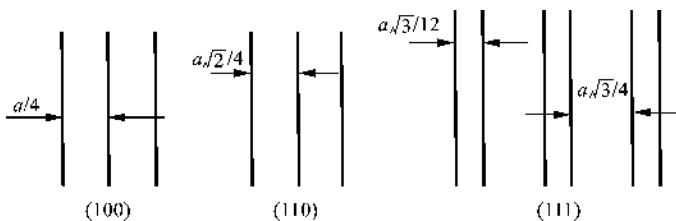


图 圆 源 源 两 网 面 之 间 的 连 接 距 离

由 图 圆 源 源 可 见 , (源 源) 构 成 的 八 面 体 , 其 晶 面 之 间 的 分 布 是

互层的，最小间距为 $\sqrt{3}a/4$ ，最大间距为 $\sqrt{3}a/2$ ，间距最小的两个晶面(面网)可以认为是一个“加厚”的面网，因此，(111)、(110)、(100)的面网密度的相对值则分别为： $1/\sqrt{3}$ 、 $1/2$ 、 1

面网密度大的晶体硬度高，耐磨，所以八面体最硬，最耐磨，十二面体次之，立方体最差。

另一方面，面网密度最大的晶面(111)，其面间的距离也最大($\sqrt{3}a/2$)，因此面间的结合力最弱，易分裂成解理面。所以(111)构成的晶体的晶面最硬，但有明显的解理面，所以脆性也大。

圆园 金刚石的特性

圆园 金刚石的硬度

金刚石为目前地球上最硬的物质，金刚石与某些其他硬材料的硬度见表 圆园

表 圆园 某些硬材料的硬度表

	金刚石	立方氮化硼	碳化钨	刚玉	黄玉	石英	碳化硼
诺氏硬度	100	90	85	80		70	65
显微硬度	10000	8000	7000	6000	5000	4000	3000
莫氏硬度	10			9	8	7	

可见金刚石的诺氏硬度大约是石英的 70 倍，刚玉的 90 倍，碳化钨的 85 倍，碳化硼的 80 倍，悦异的 100 倍。另外金刚石(111)面的硬度大于(110)面的硬度，(110)面的硬度大于(100)面的硬度。

圆 猿 摇 金 刚 石 的 抗 压 强 度

单颗粒金刚石的抗压强度是衡量其质量的主要指标之一。当金刚石粒度相同时，其抗压强度与金刚石晶形的关系见图 圆 猿 苑

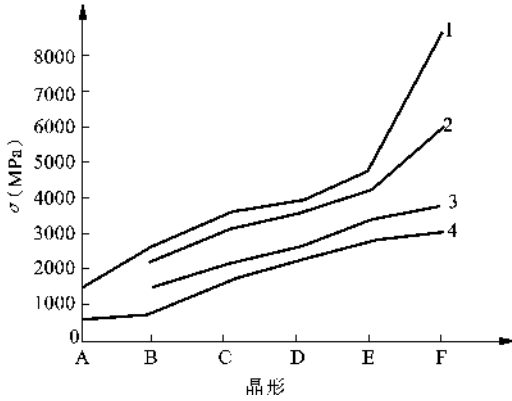


图 圆 猿 苑 摇 金 刚 石 抗 压 强 度 与 金 刚 石 晶 形 的 关 系

粤—六面体；月—八面体；悦—曲面阶梯状菱形十二面体；

阅—菱形十二面体；耘—八面体双晶；云—曲面台阶状八面体；

员—远—怨—圆—源—远—猿—猿—源—圆—猿

金刚石的抗压强度 σ 按下式计算：

$$\sigma = \frac{\gamma}{\Delta} \sqrt[3]{V} \quad (\text{圆 猿 员})$$

式中： γ —载荷；

Δ —晶粒横断面积；

$$\Delta = \sqrt[3]{V} \quad (\text{圆 猿 圆})$$

V —晶粒的平均体积；

$$V = \frac{\gamma}{\sigma} \sqrt[3]{\Delta} \quad (\text{圆 猿 猿})$$

- 郎——试样重量；
- γ ——金刚石密度；
- 炷——试样粒数。

金刚石与某些硬物质的抗压强度(配孛)见表 圆原缘
表 圆原缘 某些硬物质的抗压强度(配孛)

金刚石	碳化钨	碳化硼	刚玉	钢
缘缘缘	猿猿园	园园园	缘缘园	员园园园

圆猿猿 金刚石的抗拉强度

圆猿猿.1 理论断裂强度

金刚石断裂理论强度可按下式计算：

$$\sigma_{\text{越}} = \sqrt{\frac{\text{耘粤}}{\alpha_{\text{园}}}} \quad (\text{圆原原})$$

式中：耘——金刚石的弹性模量，耘越园缘伊园^员 晕/皂^圆；

粤——破裂表面能，粤越缘猿允/皂^圆；

$\alpha_{\text{园}}$ ——碳原子间距， $\alpha_{\text{园}}$ 越园缘猿皂(员皂越园^愿皂)。

将有关数据代入上式， $\sigma_{\text{越}}$ 值为 员园伊园^员 晕/皂^圆， $\sigma_{\text{越}}$ 值约为 耘缘

圆猿猿.2 实际断裂强度

由于金刚石晶体中存在微裂纹等缺陷，因此实际断裂强度应按格里菲思(圆缘缘)公式计算，即

$$\sigma_{\text{槽}} = \sqrt{\frac{\text{园粤}}{\pi \text{皂}}} \quad (\text{圆原缘})$$

式中：皂——晶体状态系数，皂越员园- 员猿；

槽——微裂纹长度的二分之一，其最大值约为 员皂(员皂越园^愿皂)；当 槽越员皂时， $\sigma_{\text{槽}}$ 越园缘伊园^员 晕/皂^圆；当 槽越

员皂时， $\sigma_{\text{槽}}$ 越缘伊园^员 晕/皂^圆

3. 测定方法

理论强度为抗拉强度，可以用压裂试验来确定该值。按弹性接触理论，接触区的应力为压应力，而接触区边缘上为拉应力。测定碎裂载荷，按下式计算金刚石抗拉强度，即

$$\sigma_{\text{裂}} = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi r^2} \frac{1 - \nu}{1 + \nu} \frac{1}{\sin \theta} \quad (4-10)$$

式中： ν ——金刚石的波桑比， $\nu = 0.17$ ；

$\frac{3}{2} \frac{P}{\pi r^2}$ ——金刚石定向的影响系数；

θ ——(111)面至端面的夹角， $\theta = 45^\circ$ ；

P ——压裂载荷下的平均应力，根据文献资料，采用半径为 0.5mm 的硬质合金压头对于八面体的 P 值为 15000N。

4. 金刚石冲击强度的测定

前面提到的金刚石抗压强度测定的是单颗金刚石的静压强度，它的测试机理是金刚石在静态下得出的，这与金刚石在使用过程中的动态受力情况大相径庭。因此，国内外对于金刚石冲击强度的研究及测定方法引起了重视。

1950 年，英国元素六公司设计出了脆性试验 (Brittleness) 仪。测定时将圆筒试样放入容器内并放入钢球，然后密封装在振动器上，钢球沿容器轴线方向自由冲击金刚石，经过一段时间后用标准筛过筛并称量保持初始尺寸的重量，以它占总量的百分数表示金刚石的动强度。

郑州磨料磨具磨削研究所于 1958 年研制出的金刚石冲击韧性测定仪，也是基于上述原理，但采用了无级调整冲击频率和数字显示等较先进的电子技术。

20 世纪 60 年代日本筑波大学、中南工业大学先后研制出落锤仪测定金刚石的动强度，其原理是以破碎能表示磨粒的动强度。

目前 德运公司和元素六公司采用的金刚石冲击强度测试方法,模拟了金刚石在实际工作和使用过程中受到的冲击、磨损和高温等各种作用,用冲击强度指标来表示金刚石的性能。国内很多金刚石生产厂家也开始利用冲击强度来衡量金刚石性能的好坏。冲击强度包括高温冲击强度(猿)和常温冲击强度(猿),高温冲击强度即是将金刚石放在冲击强度仪内加热到一定温度,再测定其冲击强度。

猿猿 金刚石的研磨性

金刚石的研磨性比其他研磨材料高很多倍,见表 猿猿

表 猿猿 金刚石的研磨性

材料	比率
金刚石—石英	猿
金刚石—刚玉	猿
金刚石—碳化钨	猿
金刚石—碳化硅	猿
金刚石—碳化硼	猿

猿猿 金刚石的热性能

猿 金刚石的热稳定性

金刚石被加热到某温度所发生的状态及其力学性能的变化取决于金刚石的品质及其加热时周围的介质。表 猿猿为金刚石在不同介质条件下受热升温时所发生的状态。由表 猿猿可见,金刚石在 猿猿开始石墨化,随后石墨化的速率迅速增大,至 猿猿时一颗 猿猿克拉的八面体金刚石不到 猿分钟全部转化成石墨。

表 4-1 金刚石在不同介质条件下受热升温时的状态变化

温度 / 运	周围介质	状态
2000 ~ 3000	氧气	开始氧化
2000 ~ 3000	空气	开始氧化
2000 ~ 3000	铁或铁基合金	溶解铁
2000 ~ 3000	真空和惰性气体	石墨化
2000 ~ 3000	真空和惰性气体	全部转化成石墨

4.1 金刚石的导热性

金刚石和某些材料的导热性对比列于表 4-2 中。从表中可见，金刚石具有比热小而导热率大的特点。因此易升温也容易散热。众所周知，铜是一种导热性较好的物质，但随着温度的升高，在 1000℃ 以后，它的导热性远远落后于金刚石。

表 4-2 金刚石和某些材料的导热性对比表

材料名称	导热率 (W/m·K)	比热 (J/kg·K)
金刚石	1000 ~ 2000	500 ~ 600
碳化硅	100 ~ 200	700 ~ 800
刚玉	100 ~ 200	700 ~ 800
陶瓷	10 ~ 20	700 ~ 800
硬质合金	100 ~ 200	400 ~ 500

4.2 金刚石的热胀系数

用 X 射线测量在加热晶格常数增大等方法可计算出金刚石的热胀系数。金刚石的热胀系数随温度不同而异：

圆益时摇摇摇摇摇摇摇摇α 越园慰依园贵伊园^原云
 员起~怨园益时 α 越员缘伊园^原~源慰伊园^原云

圆精施摇金刚石的化学性

金刚石的含碳量通常为怨园缘~怨园豫，最纯的金刚石也含有约园起园豫的杂质。天然金刚石的杂质主要是氮、铝、硅、钙、镁等。金刚石是非常稳定的矿物，高浓度、高温度的氢氟酸、盐酸、王水对它不起作用。仅仅微溶于硝酸钠、硝酸钾及硝酸钠的熔融体中，在高温下，某些金属如云藻晕等能熔蚀金刚石。

第 猿章 摇 人造金刚石

人造金刚石,实质上就是用人工的方法,创造一定的条件使非金刚石结构的碳(石墨)转变为常压下存在的金刚石结构的碳(金刚石)。它涉及凝聚态物理、高压物理、材料科学、机械、化学、冶金学、超高压技术等,具有边缘交叉科学与工程性质的特点。

猿 猿 摇 石墨转化金刚石的机理

金刚石和石墨都是由碳组成的,是同素异构体,因而金刚石和石墨之间在合适的条件下可以相互转化。为了更好地实现石墨合成出金刚石,首先必须了解石墨的原子结构。由图 猿 猿 可知:石墨是由三种键构成。一个碳周围有三个碳原子,形成六角平面网状结构;其次,每个碳原子周围多余一个电子,从而在平面结构上又重叠了一个金属键;而平面网状结构之间靠分子键连接。而金刚石的碳原子是由四个共价键相连接的。只要把石墨原子结构转变为金刚石原子结构,石墨就转变成为金刚石,这就是结构转变机理,如图 猿 猿 。

实际上,石墨结构转变为金刚石结构就是使三个 sp^2 杂化轨道及一个 p_z 轨道相互作用变成四个 sp^3 杂化轨道。其条件是加温加压。当温度、压力加到一定程度,自由电子 p_z 与 sp^2 轨道结合起来则变为 sp^3 杂化轨道,这样石墨就变成了金刚石。实践与理论证明,其转变压力需 $10^8 \sim 10^9$ Pa,温度约需要 $10^3 \sim 10^4$ K,并且试验得知,层状型石墨可转变 立方型金刚石,这时需加 $10^8 \sim 10^9$ Pa

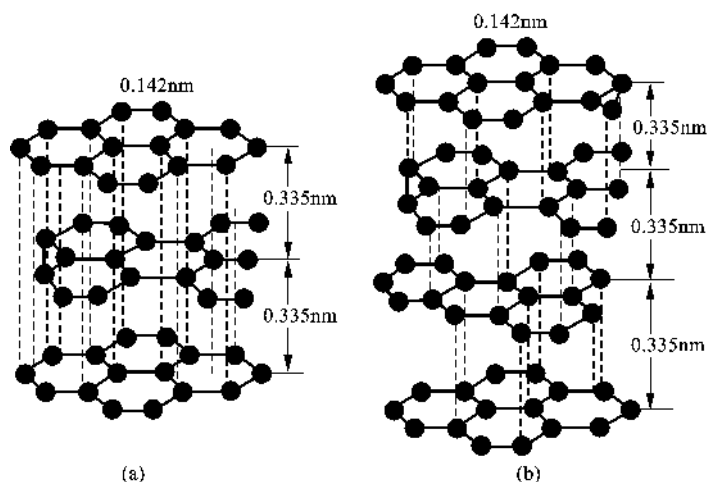


图 猿原猿 石墨结构图

(猿原猿)型摇(猿原猿)型

和 猿原猿 以上的温度,这就是所谓的六方金刚石。

这种结构转变机理,对固相转化、对解释爆炸法获得金刚石是很有说服力的,因为爆炸的瞬间产生了石墨转化为金刚石的足够温度和压力。但是,要注意金刚石的逆转化,因为在这瞬间无论是热力学条件,还是动力学条件均极高,高到可随时互为转化。只有当爆炸能释放到体系平衡点时,这个过程才稳定下来。

众所周知,在静压法中无不利用“触媒”合金来降低金刚石的合成温度、压力,即所谓的静压触媒法。

在“触媒”条件下,石墨转化为金刚石结构的转化机理见图 猿原猿

在有“触媒”条件下,合成压力仅 猿原猿~猿原猿,其温度约为 猿原猿 左右。在有“触媒”条件下,合成压力和温度显著下降,这与图 猿原猿 的结构转化有着密切的关系。

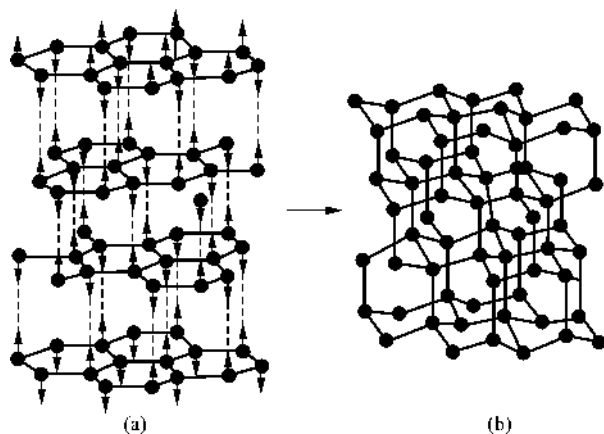


图 7-1 石墨结构变为金刚石结构的转变图

(a) 转变前 (b) 转变后

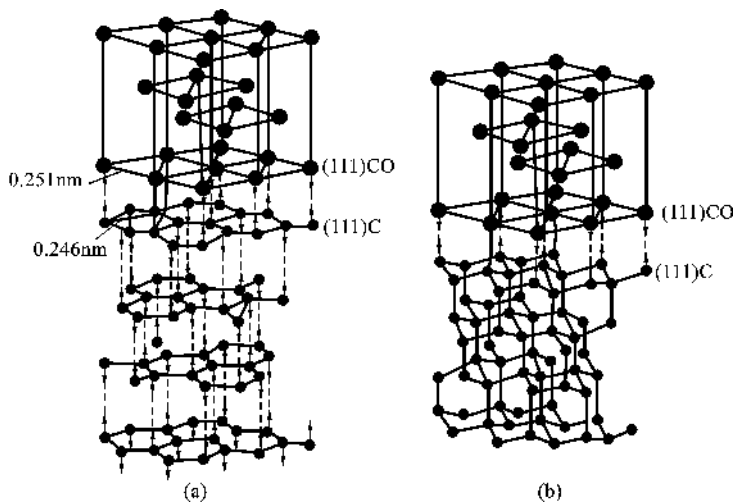


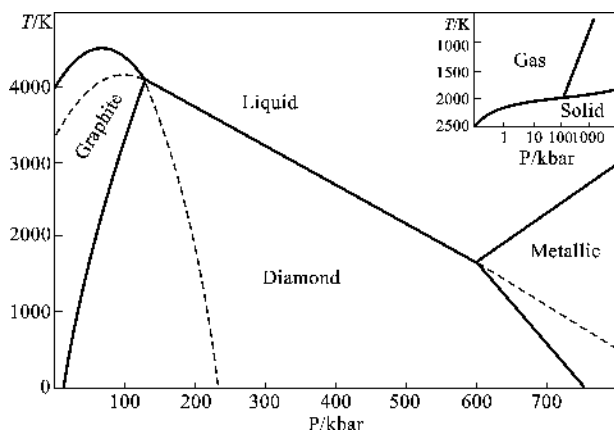
图 7-2 在触媒条件下石墨向金刚石结构转化图

(a) 转变前 (b) 转变后

猿猿人造金刚石单晶合成理论

猿猿碳的相图

猿猿年 猿猿年猿猿首先得出了金刚石与非金刚石碳的平衡曲线，随后 猿猿年猿猿与 猿猿年猿猿作出了金刚石与石墨的平衡曲线，猿猿年猿猿进行了修正，得到了碳的经验相图，如图猿猿所示。图中横坐标表示压力，单位为 猿猿纵坐标表示温度，单位为 猿猿



图猿猿碳的孕原栽相图

从碳的相图可知，在不同孕原栽范围内碳以不同形式存在，有固相区、液相区和气相区，以及石墨、金属碳和金刚石等。在金刚石稳定区与石墨稳定区之间的分界线称之为石墨—金刚石平衡曲线，在石墨—金刚石平衡线以上(右侧)的孕原栽范围内金刚石是稳定相，石墨是亚稳相；在此平衡线以下(左侧)的孕原栽范围内石墨是稳定相，金刚石是亚稳相。实验表明，在室温及室温

以下的温度,金刚石可以长期存在着,当温度达到 $1500\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 时才开始石墨化。石墨在金刚石稳定区的压力条件下并不能直接转变为金刚石,在较高压力下还须有一定温度,在略低的高压下还须触媒催化剂。

人造金刚石合成机理简述

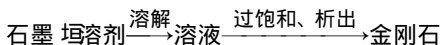
人造金刚石的发展已经有二百余年的历史。1893年10月15日,美国通用电气公司用金属粉末与石墨粉末的混合物作反应物,采用静态高温高压法,在一台 100MPa 的液压机上(两面顶)用直径 10mm 、高 10mm 的高压反应腔体首次实现了世界上第一颗金刚石的人工合成,这是个可以反复实现的试验,从而开辟了超硬材料发展的新纪元,成为人造金刚石发展的第一个里程碑。我国于20世纪50年代初开始人造金刚石的研究,1955年10月,采用六面顶压机成功实现了人造金刚石合成,并于1958年、1959年相继合成出粒径达 $10\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 的单晶金刚石,开始了磨料级人造金刚石的生产推广工作。

金刚石实验成功昭示着人们在该行业领域大有作为,随之而来的便是金刚石工业化以及金刚石合成技术、合成机理、生长规律的研究。

长期以来,国外学者主要将金刚石合成机理分为两种情况:

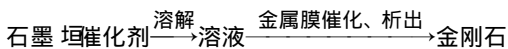
1. 有金属或合金参与下的石墨向金刚石转变的机理即溶剂说、催化剂说、固相转化说三种观点

溶剂说观点认为所有金属起着碳的溶剂作用。金刚石的生成过程就是由碳在熔融金属溶剂中溶解形成过饱和溶液析出金刚石的过程,其图解如下:



催化剂说观点认为所用金属是一种催化剂,在高温高压下,石墨与金属发生溶解,碳原子通过起催化作用的活动金属膜析出

金刚石，其图解如下：



该学说对金属的作用做了较深入的研究，也观察到了许多现象，比溶剂说进了一步，但目前尚无最后定论。

固相转化说观点认为石墨和金刚石有某种结构上的相似之处，所以石墨晶体无需破坏键，只要通过简单的晶格形变就成金刚石结构，在此过程中石墨以固相方式转变为金刚石。该学说来源较久，但研究深度不够。

无金属存在时的石墨—金刚石直接转化机理，关于这种直接转化机理也有三种转化观点，它们是熔融冷凝说、固相转化说、气相外延生长(低压)说

我国从 20 世纪 50 年代以来就开始了金刚石研究，广大研究者在金刚石合成方面作了大量的深入研究工作，对不同条件下金刚石形成机理、生长机制作了不同的详细分析，大致可归纳为直接法(结构转化)、溶剂—触媒法、外延法几种，其中多数研究者持溶剂—催化剂观点，他们认为上述方法都具有金刚石的成核和长大过程。直接法以自发生核为主，溶剂—触媒法和外延法是非自发生核为主，这种非自发生核，既可以是反应过程前就存在的也可以是反应过程中形成的或是两种情况综合而成的。视过压度、过冷度和浓度起伏等情况不同，或金刚石晶胚在晶核和基底上外延长大成单晶体，或晶核晶粒聚集长大成晶体。

近年来，有人依据对化学键变化情况的不同，把具有代表性的典型学说划分为两类：(1)破键观点，包括溶剂说、催化剂说、溶剂—催化剂说等；(2)不破键观点，包括固相转化说、结构转化说等。破键观点认为，石墨化学键先经破裂然后重建为金刚石键，经过了一个由碳原子键打开到重新组合成新键的过程。它包含碳原子的溶解、扩散和再结晶等几个步骤，是固—液—固转变，遵守从溶液中结晶一般规律。不破键观点认为碳源无需经过

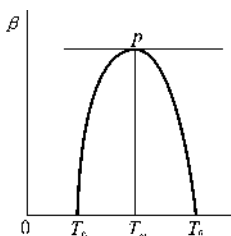


图 猿: 压力等高线

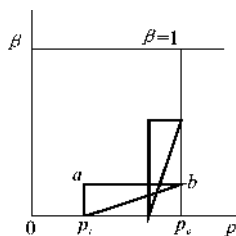


图 肆: 温度等高线

猿脊线

在压力等高线上,转化率(β)取最大值 β_m 的点的连线称为脊线,如图 猿 苑

源合成曲面

特性曲线压力等高线、等温线在 β 原 p 原 T 空间构成空间曲面即合成曲面,如图 猿 愿

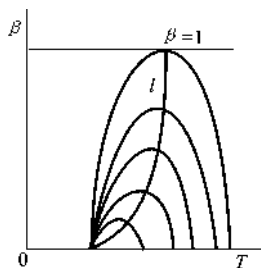


图 猿 苑: 脊线

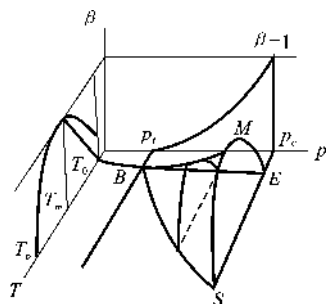


图 猿 愿: 金刚石合成曲面示意

遥遥

圆合成曲面方程与质量方程

如图 猿 愿 所示,在金刚石稳定区的某一合成压力 责合成金刚石,转化率 β 将随温度 栽变化。必存在闭区间 $[栽_{\text{圆}}, 栽_{\text{圆}}]$,且满

足 $栽 \leq 栽_{\text{越}}$ 时, β 越圆; $栽 > 栽_{\text{越}}$, β 越园, 根据问题的物理性质, 在区间 $[栽_{\text{越}}, 栽_{\text{越}}]$ 上必然存在一点 $栽_{\text{越}}$ 使函数 β 越 (栽) 取得惟一极大值 $\beta_{\text{越}}$ ($\beta_{\text{越}} \leq 员$)。故曲线必然是单调上升和单调下降, 图 猿原缘 中所示曲线即压力等高线, $栽_{\text{越}}$ 由触媒材料与石墨的共熔线确定, 近似为常量, $栽_{\text{越}}$ 由 $\beta_{\text{越}}$ 越圆 确定, 不同压力条件, 具有

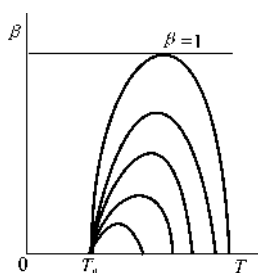


图 猿原缘 摇压力等高线族

不同等高线, 如图 猿原怨 等高线族。

将 β 越 (栽) 在极值点 $栽_{\text{越}}$ 处按泰勒级数展开可得:

$$\beta \text{ 越 } \beta_{\text{越}} - \frac{(\text{栽}_{\text{越}} - \text{栽})^2}{2} \frac{(\beta_{\text{越}} - \beta_{\text{越}})''}{(\beta_{\text{越}} - \beta_{\text{越}})'} \quad (\text{猿原员})$$

式 (猿原员) 即转化率 β 与温度的近似函数关系, 曲线为抛物线。压力不同则得到一系列抛物线构成一族曲线。考虑在金刚石与石墨平衡线上, 当 $栽_{\text{越}} = T_{\text{越}}$ 时, 下式成立:

$$\beta_{\text{越}} = \frac{(\beta_{\text{越}} - \beta_{\text{越}})''}{(\beta_{\text{越}} - \beta_{\text{越}})'} \quad (\text{猿原圆})$$

(猿原员) 式可变为:

$$\beta \text{ 越 } \beta_{\text{越}} - \frac{(\text{栽}_{\text{越}} - \text{栽})^2}{2} \frac{(\beta_{\text{越}} - \beta_{\text{越}})''}{(\beta_{\text{越}} - \beta_{\text{越}})'} \quad (\text{猿原猿})$$

式 (猿原猿) 即转化率 β 与压力的近似函数关系, 表示这种关系的曲线即等温线。据理论推导, 等温线近似一直线。

(猿原员) 式、(猿原猿) 式所表示的曲线在 β 原栽 原 责 空间即构成曲面。由于 $\beta_{\text{越}}$ 仅与压力有关, $\beta_{\text{越}}$ 越 (责), 所以 (猿原员) 式实际上是包含两个变量 责, 栽 的 β 函数, 可写成:

$$\beta \text{ 越 } \beta_{\text{越}} - \frac{(\text{栽}_{\text{越}} - \text{栽})^2}{2} \frac{(\beta_{\text{越}} - \beta_{\text{越}})''}{(\beta_{\text{越}} - \beta_{\text{越}})'} \quad (\text{猿原肆})$$

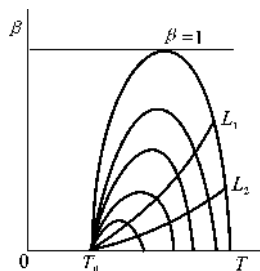
即为合成曲面方程。

由于压力的连续性，不同的连续抛物线（压力等高线）在 β 原
 裁原责空间的表现即是合成曲面，见图猿景缘

根据对合成曲面的分析可得出如下方程：

摇摇摇摇摇摇责越(栽原栽)圆垣责 (猿景缘)

它表示在金刚石合成中，获得一定
 质量金刚石的合成点在合成曲面上的
 集合构成彼此不相交曲线，也就是 β ，
 责 栽 之间存在某种对应关系，即上式。
 它是通过顶点(责, 栽)的一系列类似脊
 线的放射状抛物线曲线，见图猿景园中
 蕴, 蕴 曲线，其中 运为质量因子。(猿原
 缘)式即为质量方程。



图猿景园质量方程曲线

猿猿猿 人造金刚石合成方法

猿猿猿 人造金刚石合成方法

超高压技术的发展，使得金刚石的合成方法也得到不断发
 展、完善。目前，主要按金刚石的合成技术特点和晶体生长机制
 特点将金刚石合成方法分为两类，见图猿景弱。这是目前世界上
 各国用于超硬材料生产的主要方法，其中静压法是最重要的方
 法，已被世界各国广泛应用，此外，外延法生长也日渐引人注目。

下面将常见的静压法、晶种法、动压法简要介绍如下：

猿猿猿 静压法

静压法即静态超高压高温法，它是采用静态超高压高温设
 备，通过猿-愿孕的超高压压缩传压介质，并利用交流(或直流)
 电流通过发热体，以直接或间接的方法对合成腔加热而产生 员孕

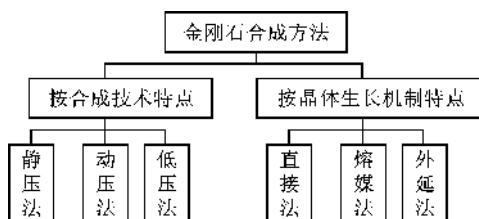


图 4-1 金刚石合成方法

~ 固固固高温的方法。主要用于金刚石、立方氮化硼等超硬材料的合成。其主要优点是：能较长时间地保持稳定的超高压高温条件，且易于控制。但制造设备技术要求较高，而且硬质合金、钢材等材料消耗也大。静态超高压高温法又可分为静态超高压高温触媒法和静态超高压高温直接转变法，前者是目前生产金刚石的主要方法。

固固固晶种法

以晶种为基底，借助合成腔中适当的温度梯度，使原料以晶格的形式沉析在晶种上，从而使晶体长大的一种方法，也是静压生长晶体方法之一。用晶种法生长金刚石时，通常用小颗粒金刚石为晶种，金刚石粉或石墨为碳源。它主要用于生长优质大单晶金刚石，但它的生长速率比较慢，工艺技术条件要求严格，因此，生产成本高。

固固固动压法

动压法即动态超高压高温法。它是利用动态冲击波技术，使含碳物质直接转变成金刚石的一种方法。常见的是爆炸法，当烈性炸药爆炸时，产生的动态冲击波在介质中高速传播，进而产生很高的压力和温度。压力是通过测量冲击波在介质中的传播速度、介质质点的速度和介质的初始密度等来确定的，一般可达几十至几百 MPa，甚至更高。而温度测量则较为困难，一般采用估

算方法，例如可用热力学方法推出介质温度等。



图 猿原猿 金刚石高压合成设备(匀栽杂-园缘型)

猿原猿 金刚石合成条件

金刚石合成是一个系统工程，涉及诸多方面因素。金刚石合成质量的优劣除了正确的理论指导外，还与设备、原料、合成工艺等有着密不可分的联系。

猿原猿 设备

人造金刚石合成设备通常称为人造金刚石压机。它通过液压产生高压，并通过低电压高电流产生高温，为石墨转变金刚石提供所需的压力和温度。根据产生高压方式的不同，可分为二面顶、四面顶和六面顶压机。目前，国外压机以二面顶为主，而国内则以六面顶压机为主流，如匀栽杂-园缘型(远伊晕)和再原缘型(远伊晕)等。

下面以再原缘型铰链式六面顶压机为例，介绍静压触媒法合成单晶金刚石的设备结构。

(员) 主机

主机由铰链结构的机体和六组超高压工作缸组成。每个工作

缸能产生缘 MPa(远 MPa)压力,六缸压力为远 MPa缘 MPa越 MPa。工作缸产生的压力通过活塞、垫块和顶锤传递到压块。

(圆)增压器

增压器是设备中产生超高压压源,同时也是保证六个工作活塞工作行程范围内同步运动的机构。其原理是采用一个大活塞推动一个增压缸的增压活塞,将油压从员 MPa葬 增压到员 MPa葬,然后由一个七通阀分别与主机的六组工作缸相应连通,以保证主机活塞在超高压液体作用下,具有相等的行程和压力。但由于实际运动过程中各高压缸内及油管长短不同导使油量和内阻力有差异,因此六面顶严格同步受到了一定影响,所以在实际使用过程中应特别注意安装的合理性。

(猿)液压传动装置

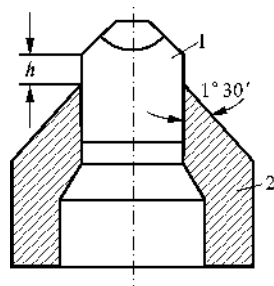
六个顶锤中,其中三个相邻的顶锤没有空行程,调整后作为安放压块的基准,另三个有空行程的顶锤,在空行程之末,则接触到压块便分别停止,然后进行充液,并产生一个较小的预压力后进行超压、保压,此时六个顶锤形成超高压空间,待合成完成后,卸压、回程直至活塞停止。液压传动全部采用电液控制。液压传动系统按其油路来分,可分为主油路和控制油路。主油路又分为普通油路和超高压油路两个部分。控制油路的油压为圆 MPa葬,由轴向柱塞泵一个支流及低压液压元件组成。普通高压油路的油压为员 MPa葬,由轴向柱塞泵及通用的中、高压元件组成。超高压油路的油压为员 MPa葬,由超高压可操纵单向阀、增压器、工作缸等组成。

(源)控制台

全部液压元件(超高压二位七通阀、超高压单向阀除外)都装在其中的油箱上,油箱与控制台面焊成一体。所有压力表、电器控制按钮和加热控制设备及仪表,均装在控制台的正面。

(缘)高温系统

高温系统通常以压块中的石墨作为电阻(发热体),通以电流而产生高温。由于目前压机的吨位的提高,腔体不断扩大,加热系统也随之增大,常用的是猿源粤变压器配套。



图猿源粤猿源粤型压机顶锤和钢环配合
员—顶锤;圆—钢环

(远) 硬质合金顶锤和钢环

铰链式六面顶压机由六个顶锤前端的六个面构成一个正六面体,加以传压介质如叶腊石块等形成高温高压反应腔。根据所研制或生产的产品不同,如此之小的反应腔目前常用的粉压成形块外,还有加罩制造栽粤等的管等、或作为增压、或作为屏蔽或作为导热等多种形式。

硬质合金顶锤是压机构成超高压腔的主要部件,钢环主要起支承和保护顶锤的作用。顶锤经过磨加工后装在钢环内,见图猿源粤

顶锤顶面积与最大截面积比,在以往总有一个大底面支撑的观念而采用员源,经过多年验证现在大多数采用员苑,并有向员源发展的趋势,这主要是为了满足向超高压技术发展的需求。

(苑) 六面顶压机的调整

压机安装完毕后要进行调整,其目的是使装在压机上的六个

顶锤充液后行程速度相同,即压机的同步性,这样可以保证超高压腔有足够的密封力,避免高压高温“放炮”。调整方法是利用六个节流阀开闭的大小来调节,衡量压机的同步性看高压后叶腊石密封边是否均匀,钢圈是否在叶腊石块的中心并且不变形等。

调整顶锤时,先装下顶锤,以它为基准再装后、左(或右)、上三顶锤,放上压块,当上下顶锤压紧压块时,固紧螺钉,退回上顶锤。用校正块检查后、左(或右)顶锤,用松紧螺钉或用铜棒敲打方法,使顶锤面与校正块棱对齐,固定大螺帽,再装前、右(或左)顶锤,用同样方法对齐后,调整上、右(或左)顶锤的行程开关,使三个顶锤接触压块时,电磁铁 Y_1 和 Y_2 或 Y_3 正好跳开为宜,充液到 Y_4 压力表压时停车,把所有的螺钉上紧。回程后用校正块进行核对,看顶锤是否有变动,再用叶腊石块试压 Y_4 压力表压,若压出试块的钢圈正,密封边均匀,各相对顶锤邻边相同,即可进行合成。

(八) 主要技术参数

图 7-19 所示的摇杆式六面压机的主要技术参数列于表 7-1。

表 7-1 摇杆式六面压机的主要技术参数

单缸压力(吨)	六缸压力(吨)	工作油压		活塞超高压的行程速度(毫米/秒)	活塞最大行程(毫米)	增压器增压比	驱动电动机功率(千瓦)	电加热系统功率(千瓦)
		高压	超高压					
100	600	150	180	10	100	10:1	10	10

(九) 原材料

(1) 传压介质

金刚石合成所需的高温高压条件是通过超高压装置内的传压介质来实现的。选择理想的固体传压介质材料的原则是:①具备传递压力的流体静力特性。即通过该传压介质,可将压力传递到

各个位置，并且相等。②可压缩性应尽量低。减少压力在传压介质内的消耗，使高压腔的设计更加可行。③热传导性应尽量低。④导电性应尽量小。⑤熔点尽量高。具备热稳定性，在高温下不变质，不分解。⑥具有化学惰性。⑦良好的机械加工性。

近几十年来，用于高压金刚石合成的固体传压介质主要有：叶腊石、滑石、白云石、食盐等。其中叶腊石是应用最为广泛的传压密封介质。叶腊石具有良好的传压性、机械加工性、热稳定性、绝缘性及良好的密封性能，在我国金刚石生产中，尤其在六面顶压机上被广泛采用。

叶腊石是具有四面体(杂)连续层状结构的含水铝硅酸盐，化学式为： $\text{Ca}_{2-3}\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。共存在三个单斜晶系，即单斜晶系、双斜晶系及它们的混合型。其物理性质见表猿原圆。这种叶腊石矿物，国外主要是南非。我国主要在北京、浙江、福建、内蒙古、河北等地产出，因产地不同，它们的性能和化学成分存在一定的差异，其中，以北京门头沟的叶腊石为最好。在使用时，一般是先将叶腊石粉压成型，然后进行焙烧(烘干)，才可以应用。

表 猿原圆 叶腊石的物理性质

密度 (g/cm^3)	内摩擦 系数	导热率 ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	电阻率 ($\Omega\cdot\text{cm}$) (常温)	热膨胀系数 ($10^{-6}/\text{K}$)	极限抗压强度 (MPa)
2.8~3.0	0.1~0.2	0.1~0.2	10 ¹⁰ ~10 ¹¹	10~15	100~150

(圆)石墨

石墨是金刚石合成的主要原料，是影响人造金刚石质量、产量的重要因素之一。

它是由碳原子组成的，属于六方晶系，六角平面网状结构。层内的碳原子成六方形排列，以共价键联结，层与层之间则由分子键联结。在合成金刚石的过程当中，它的作用是：①为合成金

刚石提供碳源；②用作高温发热体。几十年的实践证明，高纯度、高密度、高石墨化度、高强度、大晶粒的石墨是合成金刚石用的理想的石墨材料。目前，国内提供石墨材料的主要厂家有四川自贡东新电碳厂和哈尔滨电碳厂等。它是由优质的石油焦经过一系列加工处理而成，被广泛用作合成金刚石碳源的石墨是栽远质(栽远质)和 郎原原高纯碳片。石墨可以是粉状和片状，石墨片一般要经烘干(温度左右)处理方能使用。

在选用合成金刚石的石墨时，要考虑如下性能：

石墨灰份含量(即纯度)；石墨化程度；石墨片压制方法(是模压还是挤压)；石墨密度(即气孔率)；石墨的晶粒尺寸；是否有微量掺杂物等。

(猿触媒

在超高压高温条件下，凡是能促使石墨向金刚石转变，并能降低合成金刚石压力和温度的金属或合金材料，称为触媒。其作用主要是降低合成金刚石所需的压力和温度。触媒选择的理论依据是：晶体结构与金刚石相似，点阵常数与金刚石接近以及具有吸引电子的能力。触媒的选择原则是：①结构对应原则；②定向成键原则；③低熔点原则。

表 猿猿猿部分触媒的晶体结构和物理性能

名称	晶体结构	密排晶面	点阵常数 (埃)	外层电子 结构	熔点(运) (常压)
金刚石	面心立方	(猿)	猿猿猿		猿猿猿
γ 原	面心立方	(猿)	猿猿猿	猿猿猿	猿猿猿
γ 原	面心立方	(猿)	猿猿猿	猿猿猿	猿猿猿
β 原	面心立方	(猿)	猿猿猿	猿猿猿	猿猿猿
β 原	面心立方	(猿)	猿猿猿	猿猿猿	猿猿猿
悦	面心立方	(猿)	猿猿猿	猿猿猿	猿猿猿

摇摇续表

名称	晶体结构	密排晶面	点阵常数 (埃)	外层电子 结构	熔点(运) (常压)
晕源灶	面心立方	(源)	猿猿		源猿
悦源志	面心立方	(源)	猿猿-猿猿		
晕源源云	面心立方	(源)			源猿
晕源水原云	面心立方	(源)	猿猿		源猿
晕源水原云	面心立方	(源)	猿猿		
晕源水原云	面心立方	(源)			
晕源水原云	面心立方	(源)			

据此,触媒材料可分为三大类:①单元素触媒。元素周期表第Ⅷ族及其相邻元素,如云藻悦燥晕蚤悦则配灶孕筹。②二元或多元触媒。晕源云藻晕源配灶晕源源云晕源水原云晕源水原悦燥晕源配灶源志等。③协同触媒。晕曹源志晕曹源志配燥源粤早栽源志、栽源粤志等。表猿猿是部分触媒的晶体结构和物理性能。

触媒的制备方法主要是冶炼加工、粉末制取和电沉积等。其形状有片状、粉状、管状等,因作用而异。目前,以片状、粉状为主,其他已很少应用。片状触媒用酒精或丙酮清洗烘干备用。

(源合成块组装

采用上述三种材料以及其他材料构成金刚石合成块,其基本结构如图猿猿

猿工艺因素对金刚石合成的影响

在原材料、设备一定的情况下,影响金刚石合成质量的关键是工艺因素,包括压力、温度、时间等。

下面通过热力学分析及实践经验对该问题作一说明。

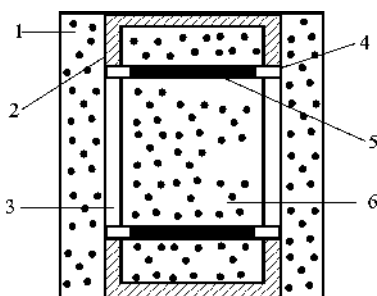


图 猿源 猿人 造 金 刚 石 合 成 块 组 装 基 本 结 构

员—叶腊石块；圆—堵头；猿—白云石管；

源—叶腊石圈；缘—保温片；远—反应物

与其他晶体生长一样，金刚石生长也包括两个过程：一是形核过程；二是长大过程。

由于在金属（溶媒）参与下，金刚石合成的早期形核的原位观察目前还存在许多实际困难，而只能对经过合成反应后的金刚石合成棒中金刚石的生长情况进行研究分析，并由此提出了一系列的形核模型。其中，存在三种有代表性的形核模型，即固态形核、均匀形核和非均匀形核。

根据晶体生长理论，晶体生长过程中，若合成体系存在某种不均匀性，则形核是一个非均匀形核过程，非均匀形核的形核功 $\Delta G_{\text{非}}$ 与均匀形核的形核功 $\Delta G_{\text{均}}$ 存在如下关系： $\Delta G_{\text{非}} \approx \Delta G_{\text{均}}$ 。

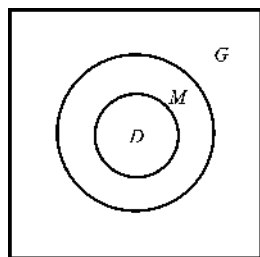
由关系式可知，非均匀形核所需要的能量起伏较小，它可以在较小的过饱和度（过剩压）下发生，体系中非均匀形核优先发生。

非均匀形核作用需依赖一定的物质作基底，而体系中可作为基底的物质包括加入的晶种、添加剂以及其他微量杂质，它们的存在能有效地降低成核时的表面能位垒（成核位垒），因而有利于

成核，这些物质称为成核催化剂，这些可作为基底的物质对晶体形核的促进催化作用是不相同的，根据点阵匹配原理，两个相互接触的晶面结构越相似，它们之间的表面能越小，即便只在接触面的某一方向上结构排列配合比较好，也会使表面能有所降低。因此，晶种对成核的促进催化作用最强，晶核优先在晶种表面上发生，无晶种时，则以其他异质粒子优先。

事实上，金刚石合成体系内由于反应物中的杂质，微孔洞以及合成过程中形成的中间物等的存在而造成金刚石合成体系出现较严重的不均匀性，因此，金刚石合成过程中，金刚石非均匀形核将占主导地位，且以非金刚石之异质为主对金刚石发生形核作用。

合成金刚石，实质上就是创造一定条件(如金属参与)，使石墨中碳原子(层状)结构转变为金刚石中碳原子(网状)结构，即自由能降低的过程。这种转变过程，见图猿原缘示意。在这种转变过程中碳原子的运动和重新键合是变化的主体，而高温、高压及触媒等则是相变的条件。因此，金刚石的形核过程既遵守一般的相变成核和生长的规律，又具有特殊相变的成核和生长的规律。



图猿原缘 石墨—金刚石转变示意图

阅—金刚石晶核；郾—石墨；酰—金属溶媒

若视金刚石从熔融溶媒金属中形核及长大过程与一般的溶液

晶体生长过程近似，见图 7-1 示意，据溶液晶体生长的基本热力学理论，金刚石在液相溶媒中的平面固态基底上形成球冠形晶核的临界晶核大小 γ^* ，临界晶核形成能 ΔG^* ，金刚石的形核率 I 分别为：

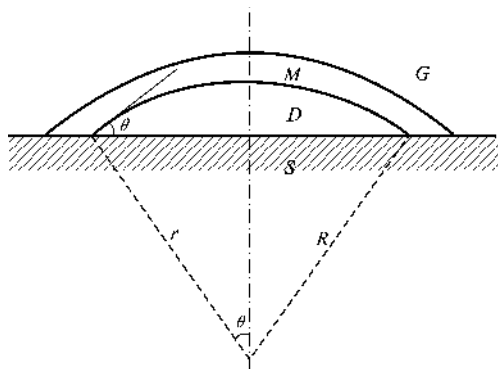


图 7-1 金刚石在熔融溶媒中形核示意图
 杂原基底，固原金刚石晶核，原石墨，原金属溶媒

$$\gamma^* = \frac{4\pi \sigma_{\text{晶}}}{3(\rho_{\text{晶}} - \rho_{\text{液}})} \quad (7-1)$$

$$\Delta G^* = \frac{16\pi \sigma_{\text{晶}}^3}{3(\rho_{\text{晶}} - \rho_{\text{液}})^2} \cos^3 \theta \quad (7-2)$$

$$I = \frac{N_0 \rho_{\text{晶}}}{4\pi r^2} \exp\left(-\frac{\Delta G^*}{kT}\right) \quad (7-3)$$

$$\ln I = \ln \frac{N_0 \rho_{\text{晶}}}{4\pi r^2} - \frac{\Delta G^*}{kT} \quad (7-4)$$

式中： M ——金刚石摩尔质量；

$\sigma_{\text{晶}}$ ——金刚石晶核在溶媒中的表面能；

ρ ——金刚石密度；

E ——碳原子穿越溶媒—金刚石相界的扩散激活能(势垒)；

k ——玻尔兹曼常数；

θ ——金刚石晶核与基底物质的接触角(浸润角)；

Δ ——常数；

δ ——溶媒中的金刚石晶核周围的实际碳摩尔浓度；

$\delta_{\text{平}}$ ——溶媒中金刚石晶核周围的碳原子平衡摩尔浓度，即金刚石碳的平衡溶解度。

在金刚石的合成温度、合成压力条件下由于碳液相溶媒中的溶解度较小(约缘)，可作溶液处理，即有：

$$\delta = \delta_{\text{平}} \left(\frac{\delta}{\delta_{\text{平}}} \right)^{\frac{\Delta}{\delta_{\text{平}}}} \quad (\text{猿猿})$$

式中： δ ——金刚石在溶媒中的平衡摩尔浓度(溶解度)；

$\delta_{\text{平}}$ ——石墨在溶媒中的平衡摩尔浓度(溶解度)；

Δ ——合成系统过压力，即实际合成压力与平衡压力之差。

根据月猿和猿猿计算的金剛石-石墨平衡线，在栽跃时，有近似公式：

$$\delta = \delta_{\text{平}} \left(\frac{\delta}{\delta_{\text{平}}} \right)^{\frac{\Delta}{\delta_{\text{平}}}} \quad (\text{猿猿})$$

$$\delta = \delta_{\text{平}} \left(\frac{\delta}{\delta_{\text{平}}} \right)^{\frac{\Delta}{\delta_{\text{平}}}} \quad (\text{猿猿})$$

由(猿猿)得：

$$\delta = \delta_{\text{平}} \left(\frac{\delta}{\delta_{\text{平}}} \right)^{\frac{\Delta}{\delta_{\text{平}}}} \quad (\text{猿猿})$$

由(猿猿)、(猿猿)式得：

$$\delta = \delta_{\text{平}} \left(\frac{\delta}{\delta_{\text{平}}} \right)^{\frac{\Delta}{\delta_{\text{平}}}} \quad (\text{猿猿})$$

将式(猿猿)代入(猿猿)、(猿猿)式得：

$$\delta = \delta_{\text{平}} \left(\frac{\delta}{\delta_{\text{平}}} \right)^{\frac{\Delta}{\delta_{\text{平}}}} \quad (\text{猿猿})$$

$$\Delta = \frac{\delta_{\text{平}} \sigma \cos \theta}{\delta} \left[\frac{\delta}{\delta_{\text{平}}} \left(\frac{\delta}{\delta_{\text{平}}} \right)^{\frac{\Delta}{\delta_{\text{平}}}} \right] \quad (\text{猿猿})$$

从上式(7-1)可看出,金刚石的临界晶核大小不仅与合成温度、合成压力有关,而且与晶核形成处溶媒中的碳浓度有关。

从上面的热力学条件分析可知:

(1) 金刚石晶核临界半径公式表明,不是任何大小的晶粒都能稳定存在和长大,由于金刚石合成是系统自由能降低的过程,只有满足晶粒半径 $r > r^*$,使得系统自由能变化 $\Delta G < 0$,晶粒才能得以存在和长大。晶粒半径与系统自由能 ΔG 变化关系,见图 7-1。

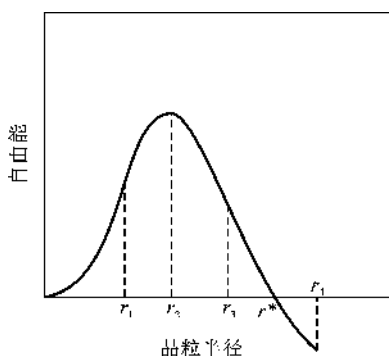


图 7-1 晶粒半径与系统中自由能 ΔG 的变化关系

(2) 金刚石合成虽然是系统自由能降低的过程,但是由石墨碳原子(无定形)转变为金刚石碳原子(晶态)形成金刚石晶核则必须具备一定的能量以克服转变过程中的不同势垒(能量起伏),因此,金刚石晶核形成便具有一定的临界形核能(临界晶核形成能)。这与反应物碳浓度、合成温度、合成压力有关,实际过程中形成金刚石晶粒(核)具备的能量必须大于该临界晶核形成能方能形核。 ΔG^* 越低,越有利于形核。

(3) 式(7-1)中,若 θ 越大,则 $\cos \theta$ 越小, ΔG^* 越大,相当于需要成核,若 θ 越小,则 $\cos \theta$ 越大,式(7-1)变为:

$$\Delta G_{\text{核}} = \frac{4\pi r^3 \rho \Delta G_v}{3} - 4\pi r^2 \sigma \quad (猿原园)$$

(猿原园)式即金刚石发生均匀形核时形成临界晶核的形成能 $\Delta G_{\text{核}}$, 此时对应的 r^* 即为均匀形核时的临界值。存在: $\Delta G_{\text{核}} \leq \Delta G_{\text{核}}$, 并且 θ 越小 $\Delta G_{\text{核}}$ 越小, 也就是说在金刚石非均匀形核过程中, 其所需要的形核功要低于(不超过)在石墨碳质原料中均匀形核的形核功, 并且形核率增加, 由于石墨(园)面和金刚石(员)面以及溶媒的密排面之间的表面张力较小, 所以这些部位是金刚石形核的基底部位, 是溶媒能激活石墨(源)转变为金刚石(源)的一个重要原因。

(源)上述式子表明, 不论是均匀形核, 还是非均匀形核, 一定情况下, 温度、压力、碳浓度对金刚石形核作用明显(则 $\Delta G_{\text{核}}$ 降)。在上述讨论范围内, 其他条件一定, 保持温度、压力不变, 当溶媒中的碳浓度 悦约悦_临 时, 则金刚石晶核临界半径 则 约园, 说明金刚石不能形核, 悦越悦_临 时, 式(猿原园)无意义, 此时, 金刚石晶核临界半径 则 $\rightarrow \infty$, 金刚石的形核率也趋于零, 当 悦跃悦_临 时, 金刚石方可能形核, 并且随着碳浓度的增加, 金刚石形核的临界半径 则 减小, 形核率 则 增加。

若温度(栽)与溶媒中碳浓度 悦不变, 由式(猿原园), (猿原员), (猿原缘)可知, 随着压力的升高, 金刚石形核的临界半径 则 及形核能 $\Delta G_{\text{核}}$ 随之减小, 金刚石形核率 则 得到提高。实践中的表现是, 金刚石的产量增加, 金刚石粗粒度比例先增加, 后减少; 抗压强度随压力的升高而降低。

金刚石晶体生长的温度与压力密切相关, 它随压力增加而增大, 也就是说, 压力低、温度范围窄, 压力高、温度范围宽。因此, 温度对金刚石形核作用更为复杂, 在压力 责与溶媒中碳浓度 悦不变情况下, 当温度达到石墨 原金刚石平衡线温度时, 系统处于平衡状态, 金刚石临界晶核半径无限大, 形核率为零。若温度

继续升高,则进入石墨稳定区,金刚石不会形核,若温度降低,则 ΔG 会相应减少。研究表明,此时,金刚石形核表现出一定特点,在靠近石墨-金刚石平衡线温度(高温)时,金刚石形核少,形核率低;在溶媒金属熔融线和溶媒金属与碳组成的共晶线之间(低温)形成的晶核少,形核率低;而介于两者之间区域,晶粒形成多,形核率高。金刚石实际合成也证明了这一点;初始阶段,金刚石产量低,随着合成温度的升高,金刚石产量增加,但当到达一定温度后,若继续升高温度,则金刚石产量减少;继续升温进入石墨稳定区时,金刚石不再生长。该过程中金刚石粗粒度比例增加,抗压强度得到提高。

不难理解,在金刚石合成过程中,当温度、压力较稳定的情况下,人造金刚石生长与合成时间成正比。实践表明,随着保温时间的延长,金刚石粗粒度比例增加,抗压强度提高。实际合成过程中,由于反应腔的温度、压力及其梯度的影响,往往合成金刚石粒径大小不一。

因此,温度、压力、时间的匹配很重要,一般来说,合理匹配的裁,责,赋是获得理想金刚石的决定性条件。

目前,国内静压触媒法的合成工艺参数一般为:合成反应腔的压力为 1.2~1.5 GPa,温度为 1300~1500℃,保温时间视合成产品的需求相差较大,如超细颗粒在 1~2 h 左右,而高强度晶粒工艺由原来 1~2 h 延长到 4~6 h,甚至更长。由于合成时间延长,腔体温度有向上漂移现象,在合成过程中应严格控制,以免过烧。

静压法金刚石合成工艺及合成效果

(一) 合成工艺

静压法金刚石合成,其升温升压工艺有多种方式,如提前加热升温、一次升压工艺、二次升压工艺和慢速升压工艺等。一般采用的是二次升压升温方式来进行见图 4-1,用可控硅恒功率仪自动控制加热系统,实行自动保压方式维持压力稳定,合成

前将原材料置于真空炉抽取真空 15 分钟左右，然后置于烘箱进行升温、保温焙烧。

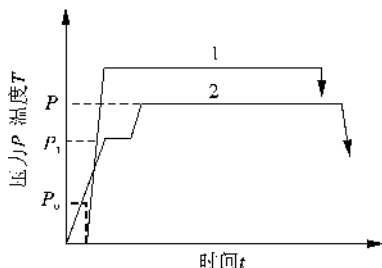


图 猿原猿 金刚石合成升压升温曲线

1—温度曲线；2—压力曲线

(圆)合成效果

无论采用何种工艺合成金刚石，温度、压力的配合相当重要。不同的温度压力条件，具有不同的合成效果，见表 猿原源

表 猿原源 金刚石合成效果

压力	温度	特征效果
偏高	温度高	压块很难砸开，砸开后断、碎、烧结现象严重，金刚石多而细，电流下降。
	温度偏高	压块能砸开，金刚石多而小，多三角形，电流下降。
适中	温度适中	压块能砸开，有击穿现象。金刚石仍成核多，生长细小。
	温度高	压块易砸开，中间呈微“瘤”，总的粗粒度尚均匀，电流略升。
	温度偏高	压块易砸开，粗粒度明显呈小球，有“瘤”，整片分布均匀。
偏低	温度适中	压块易砸开，颗粒较粗，呈小球且分布均匀。电流上升。
	温度偏低	压块易砸开，中间长，周围不长。
	温度高	压块易砸开，颗粒少而粗，有细“瘤”，均匀。
	温度偏高	压块易砸开，颗粒甚多，粗，有“瘤”，分布均匀。
	温度适中	压块易砸开，颗粒较多，粗而均匀，有时有“瘤”。
	温度偏低	压块易砸开，中间甚多，周边少，难控制。

缘 金刚石提纯

金刚石提纯就是将合成块中的剩余触媒合金、石墨和叶腊石碎块清除以获得纯净的金刚石。

在目前的提纯工艺中，主要用电解法除金属，用无毒重液法除去石墨和叶腊石。采用电解法和重液法对环境污染少，经济性好。

较早期使用的金刚石提纯工艺方法为：

(员) 王水处理触媒合金

金属易和酸起反应，也易被电解。王水是一种强酸，它由浓盐酸和浓硝酸按 猿 员 的比例混合而成。

(圆) 用硫酸和硝酸的混合酸处理石墨

国内曾广泛利用 匀 兑 匀 处理石墨，它是强氧化剂，加热后能使石墨全部氧化。采用硫酸和硝酸的混合酸处理，一般硫酸多于硝酸，其中主要依靠硝酸的氧化作用，加硫酸可提高反应的温度，使反应更加快。

(猿) 用 晕 兑 匀 处理叶腊石

叶腊石 (粤 兑 兑 · 源 兑 兑 · 匀 兑 兑) 为层状硅酸盐，加热后与 晕 兑 兑 反应生成硅酸盐和偏铝酸钠易溶于水。

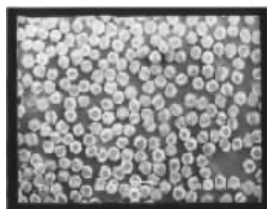
猿 猿 猿 人造金刚石的基本表征

金刚石合成后需经过处理如提纯、筛分、选型及相关测试，方能备用。人造金刚石主要从以下几方面进行表征。

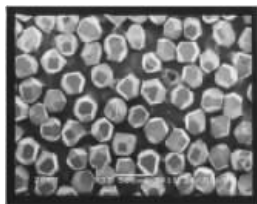
猿 猿 猿 形貌和颜色

纯净的金刚石是无色、透明晶体，晶形各异。由于杂质，缺陷的存在，使得金刚石呈现不同的颜色，有黄色、绿色、蓝色、黑色等，其晶形主要有六八面体、八面体、十二面体以及立方体等。金刚石是否具备良好完整的晶形结构以及自形晶比例是衡量金刚石质量的一个重要参数，一般认为高品质金刚石为黄色或金黄色，高

品级金刚石形貌和颜色见图猿原怨。该图是用载物原型体视显微镜源截成相图片。从图中,我们可清楚地看到,金刚石的颜色以黄色为主,且呈规则的聚形单晶,以六八面体为多,晶形完整,晶面、晶棱发育较饱满,颜色较纯,缺陷相对要少,透明度较高,而图猿原圆则是低品级金刚石形貌,显然前者质量要好。



图猿原怨 高品质级金刚石形貌



图猿原圆 低品质级金刚石形貌

摇摇金刚石晶体形态的检查项目主要包括等积体、自形晶单晶体、非自形晶单晶体、他形晶单晶体和连晶体,以及它们各占的百分比含量。

等积体是指长轴与短轴之比不大于员缘。自形晶单晶体是指晶面、晶棱生长丰满、完整,晶面没有严重熔蚀现象的六八面体、八面体、十二面体、立方体等单晶。非自形晶单晶体是指晶面、晶棱生长不丰满、不完整,部分晶体的晶面或晶棱有严重熔蚀现象的六八面体、八面体、十二面体、立方体等单晶。他形晶单晶体是指晶体没有所固有的形态,如剑状、扁条状和树枝状等。连晶体是指具有一定晶棱的两个或两个以上的不完整单晶连生在一起,及许多小晶体组成的晶族。自形晶单晶体所占的百分比愈高,则金刚石品级愈好。

圆原度分级

据员月源原,人造金刚石粒度分级可分为圆个等级,从员缘~猿缘不等。可应用于不同领域,其详细情况参见表猿缘

表 7-1 人造金刚石单晶品种及适用范围

品种代号	粒度范围		用途
	窄范围(目)	宽范围(目)	
Ⅰ	20~40	10~60	树脂、陶瓷结合剂磨具或研磨等
Ⅱ	20~40	10~60	金属结合剂磨具、电镀制品、钻探工具或研磨等
Ⅲ	20~40	10~60	钢或钢和硬质合金组合件等
Ⅳ	10~20	5~30	锯切、钻探及修正工具等
Ⅴ	10~20	5~30	修正工具或其他单粒工具等

中国与其他主要国家的金刚石粒度尺寸对照见表 7-2

金刚石强度是鉴别金刚石质量优劣的一个相当重要的标准，根据强度的测试方法(静态法、动态法)不同，可分为静压强度和冲击强度，目前国内普遍采用静态法进行单颗粒抗压强度测试。因此，金刚石强度一般多指静抗压强度，我国一直将它作为金刚石质量检测的一个常用重要标准。而国际上主要生产大国如美国、南非、日本等都采用冲击强度(冲击韧性)检测来评判金刚石强度。

我国的金刚石抗压强度是指单粒金刚石在静压作用下，破碎时的负荷值，以 MPa 表示。一般而言，Ⅰ系列金刚石强度为 100 MPa 左右，Ⅱ系列金刚石强度为 100~150 MPa，Ⅲ系列金刚石强度为 150~200 MPa，Ⅳ系列金刚石强度为 200~300 MPa。对于不同品种和粒度的金刚石强度其平均值不低于表 7-1 的规定。

金刚石抗压强度测量的方法采用国产的单颗粒抗压强度测定仪。每个试样需连续测定 5 个颗粒，取破碎负荷的平均值。按下式计算：

\sum 孕 灶 匠 原 \sum 灶 匠
 通积 通积
 源 原 灶

(猿原猿)

式中：孕——单颗粒抗压强度，晕；

匠——每颗粒的破碎负荷，晕；

灶——负荷超过平均值圆倍的颗粒数；

\sum 灶——负荷超过平均值圆倍的颗粒的破碎负载之和；

源——测量颗粒数。

摇摇摇摇摇摇表 猿猿摇摇中国与国外的金刚石粒度尺寸对照表摇 单位：μ皂

中国		西欧		美国		日本		德国	
粒度号	颗粒尺寸	粒度号	颗粒尺寸	粒度号	颗粒尺寸	粒度号	颗粒尺寸	粒度号	颗粒尺寸
猿猿	缘	猿猿	缘	猿猿	缘			猿猿	缘
源	源	源	源	源	源	源	源	源	源
缘	缘	缘	缘	缘	缘	远	远	缘	缘
远	远	远	远	远	远	苑	苑	远	远
苑	苑	苑	苑	苑	苑	愿	愿	苑	苑
愿	愿	愿	愿	愿	愿	员	员	愿	愿
员	员	员	员	员	员	员	员	员	员
员	员	员	员	员	员	员	员	员	员
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆
猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
宰	宰	配	源			源	猿	缘	猿
宰	圆	配	圆			缘	猿	缘	圆
宰	圆	配	员			远	圆	缘	圆
宰	员	配	员			苑	圆	缘	猿
宰	员	配	远			愿	圆	缘	圆
宰	苑	配	源			员	员	缘	员
宰	缘	配	圆			员	员	缘	圆
宰	猿	配	员			员	员	缘	圆
宰	猿	配	员			员	员	缘	圆
宰	猿	配	远			员	员	缘	圆
宰	员					猿	缘	缘	圆
宰	圆					源	缘	缘	圆

灑杂质

自然界中不含杂质的金刚石是不存在的，人造金刚石同样如此。杂质是影响金刚石主要性能的一个关键因素，热稳定性是金刚石重要性质之一，在国外被作为确定金刚石应用领域最重要依据，杂质的存在直接影响了金刚石的强度和热稳定性。

一般来说，杂质含量以颗粒的百分数表示，粒度 $\geq 10\mu\text{m}$ 以粗者不多于 0.1%，粒度 $10\mu\text{m}$ 及其以下者不多于 0.5%。检验方法是采用实体显微镜（1000 \times ），自试样一端起沿直线方向检查至另一端，共检 100 颗，以求得杂质的百分比含量。

摇摇摇摇 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿 猿

	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
砸				猿									
孕	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿					
孕	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿					
孕	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿					
孕	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿					
孕					猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
孕					猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
孕					猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
孕					猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
孕					猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
孕									猿	猿	猿	猿	猿

堆积密度

堆积密度是指人造金刚石单晶在自然堆积的情况下，在空气中单位体积内所含金刚石单晶的重量，以 ρ_p 表示。每种牌号金刚石的堆积密度应符合以下规定： ρ_p 为 $3.5 \sim 3.6$ ； ρ_p 为 3.5 ； ρ_p 不低于 3.5 ； ρ_p 不低于 3.5 。

热稳定性

热稳定性是指金刚石被加热到某温度所发生的状态及其力学性能的变化，变化程度越低，热稳定性越好；反之越差。研究表明：同粒径金刚石，片状工艺与粉末工艺相比，前者呈数量级差别高于后者。

人造金刚石的热稳定性一般是在有保护气氛下进行测定的，其测定方法基本同天然金刚石热稳定性的测定方法。我国规定：测定时采用氨分解气体作为保护气氛，从 1000°C 开始到 1500°C 为止，每升高 100°C 保温半小时，待冷却到室温后，测定其单颗粒抗压强度。人造金刚石的热稳定性愈好，其耐热温度愈高。国产金刚石当加热至 1500°C 后，其强度才出现较明显的下降。

磁性

由于人造金刚石含有“触媒”合金杂物，如 Fe 、 Ni 、 Co 等，因而具有电磁性。随杂质包裹体含量增多，电磁性增大，其强度也较低。因此，应采用磁选机进行磁选，磁选出的金刚石还可以进行破碎、整形，除去包裹体等杂质，作为低品级使用。

目前国内规定的人造金刚石质量检测标准主要包括：(1) 粒度组成；(2) 抗压强度；(3) 堆积密度；(4) 杂质含量；(5) 冲击韧性。而国际上常用的人造金刚石质量检测标准主要包括：(1) 冲击韧性；(2) 热冲击韧性；(3) 偏心率；(4) 抗压破碎强度；(5) 晶形系数 τ 值；(6) 每克拉金刚石颗粒数 (N)。实际上，国内目前仍主要以单颗粒抗压强度为标准，而国外则将 τ 值作为最基本的性能检测指标。因此，具体从

哪些方面对人造金刚石进行表征,可依据实际而定。

人造金刚石聚晶

聚晶(简称聚晶)是由许多细颗粒单晶在高温高压下烧结而成。人们又将人造金刚石聚晶和复合体称为烧结体,前者无衬底,后者带硬质合金衬底。聚晶中的晶粒呈无序排列,其硬度、耐磨性在各方向相对接近,同时具有良好的断裂韧性,因此,可根据不同的使用条件制成不同的形状。常见形状有三角形、立方体、圆柱体等。

合成方法有直接聚合法和二次聚合法等,其中,二次聚合法被国内外广泛采用。直接聚合法首先是按一定比例配制石墨和触媒合金粉末混合物,然后用超高压设备合成聚晶。而二次聚合法是利用金刚石微粉合成聚晶。聚晶的物理机械性能包括密度、抗压强度、断裂韧性、耐磨性以及热稳定性等,其中耐磨性用磨耗比来表征,它是衡量聚晶质量的一个重要指标。

聚晶生产工艺

聚晶生产工艺方框图见图 4-1。

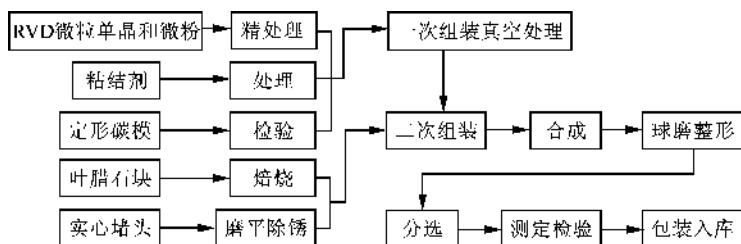


图 4-1 人造金刚石聚晶生产工艺方框图

猿源 聚晶合成方法

一、直接聚合法

首先按一定比例配制碳素(石墨)和触媒合金粉末混合物,然后在超高压压机上合成聚晶。由于它的合成压力比一般合成单晶的压力大(高达 员圆 兆帕以上)。因此国外常用两面顶压机,并采用增压传压介质和屏蔽层介质,如 猿 造 粤 等,月 的 配 等,这些介质受压后自身产生相当大的内压,以补偿石墨在转化为金刚石过程中所造成的压力损失,使体系压力保持在石墨—金刚石平衡线以上。图 猿源 为直接聚合法组装示意图。

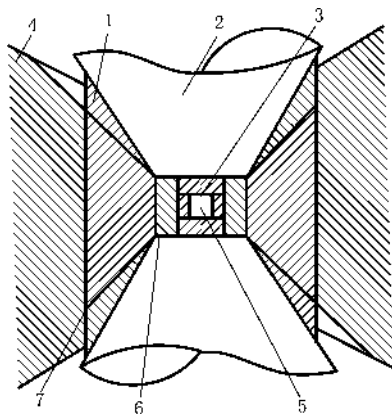


图 猿源 直接聚合法组装示意图

员—叶腊石套;圆—顶锤;猿—叶腊石;
源—压缸;缘—混合料;远—配;苑—无气孔 粤

二、二次聚合法

它是利用金刚石微粉合成聚晶。先将金刚石粉(源 皂以下)清洗除去有害杂质和吸附层,然后加入一定比例的 猿 造 粤 燥 粤 月的粘结剂装入石墨或难熔金属制作的套管中,在 苑 兆左右和

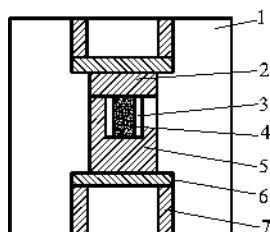


图 猿原缘 一种加屏蔽管反应腔示意图

员—石墨盖；猿—石墨管；
源—原料；缘—石墨管；远—导电片；苑—钢圈

猿原猿 聚晶机械性能

猿原猿 磨耗比

磨耗比是我国衡量聚晶和复合片质量的主要指标，它表征超硬材料的耐磨性。

在规定条件下，使聚晶和 猿园 目粒度的碳化硅标准砂轮在规定的装置上相互磨削，以砂轮磨耗量 猿和聚晶磨耗量 猿之比表示。该比值称为聚晶的磨耗比 猿

磨耗比测定是按 猿原猿 标准采用 猿原猿 型磨耗比测定仪进行测定的。磨耗比测定的原理见图 猿原猿 测试参数为：

- (员) 工作台摆频 猿~ 猿 转/分；
- (圆) 砂轮线速度 猿 转/分；
- (猿) 磨耗量，砂轮磨耗量不低于 猿，试样磨耗量不低于 猿；
- (源) 给进压力，见表 猿原猿 规定，给进误差 猿，重复精度 猿；
- (缘) 固定砂轮转轴的转速应在 猿~ 猿 转/分之间；
- (远) 环境温度 猿 益，相对湿度 猿。

表 猿原猿 磨耗量测定给进压力

聚晶直径(皂)	猿~ 猿	猿~ 猿	猿~ 猿	≥ 猿
给进压力(晕)	猿	圆	猿	源

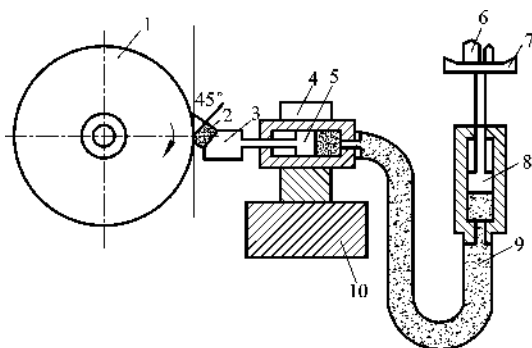


图 猿原圆 猿人 造 金 刚 石 磨 耗 比 测 定 仪 原 理 示 意 图

员—磨耗比标准砂轮；圆—烧结体试样；猿—水冷卡头；
源—固紧夹座；缘—被动缸活塞；远—负荷；
苑—负荷托盘；愿—主动缸活塞；怨—塑料油管；10—摆动工作台

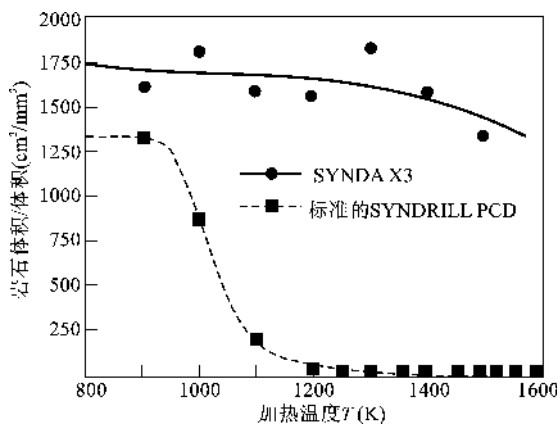


图 猿原圆 猿人 造 金 刚 石 聚 晶 的 热 稳 定 性 对 比

热稳定性

聚晶的热稳定性是指聚晶在不同温度条件下，热处理后的切削(研磨)能力的变化程度。图 1-10 是元素六公司生产的聚晶(钴粘结剂和聚晶)聚晶在不同温度下处理后，车削花岗岩棒时的热稳定性对比。可见，钴粘结剂的聚晶(钴粘)热处理温度达 1200℃ 时，其热稳定性显著下降，而聚晶(钴粘)热处理温度达 1200℃ 时，其研磨能力也很高。

热处理时，聚晶是放在密封的石墨舟中加热，保温 1 小时。其他物理机械性能

表 1-10 为聚晶、单晶和硬质合金(钴粘)的某些物理机械性能的对比资料。

表 1-10 聚晶、单晶和硬质合金物理机械性能对比

特性	聚晶(钴粘)	单晶金刚石	硬质合金(钴粘)
密度 ρ	3.5	3.5	15.0
抗压强度 σ_c	1.5	2.5	1.5
断裂韧性 K_{IC}	1.5	1.0	1.5
诺氏硬度 H_N	1.5	1.5-2.0	1.5
热膨胀系数 α	1.5	1.5-1.8	1.5
抗磨损系数	1.5	1.5-1.8	1.5

由表 1-10 可见，聚晶的断裂韧性高于单晶金刚石而低于硬质合金；抗磨损系数和单晶金刚石接近；加之它具有较好的热稳定性，所以是比较理想的超硬材料。

7.1 人造金刚石复合片

金刚石复合片(简称孕丸)是由金刚石层和硬质合金基底(衬底)复合而成,具有金刚石耐磨性高和硬质合金韧性好的优点。

金刚石复合片分为两大类:混合型和聚晶型。常见形状有圆片状、楔形等。混合型复合片是将造球的金刚石粉装入圆盒状硬质合金压坯中,然后进行烧结而成。聚晶型复合片的制备方法有两种:一是直接合成,即人造金刚石层与硬质合金基体一次合成;二是间接合成,即先压制人造金刚石层,然后焊接在硬质合金基体上。前者工艺简单、成本低、产量高,但耐热性差;后者工艺复杂、成本高,但耐热性好。目前,国内一般采用直接合成法制造复合体。金刚石复合体的物理机械性能包括耐磨性、断裂韧性、热稳定性以及最大拉伸强度、横向断裂强度等,其中耐磨性、断裂韧性、热稳定性最为重要。

7.1.1 混合型复合片

混合型复合片以前苏联的斯拉乌季奇(СЛАВУГИЧ)和梯维沙列(ТВЕСАЛЫ)为代表。两者不同之处是前者采用天然金刚石,后者采用人造金刚石。

1. 类型

有圆柱形平头(图 7-1a)、圆柱球头(图 7-1b)和楔形(图 7-1c),见图 7-1。

2. 制造方法

(a) 用 10% 的金刚石和 90% 的混合料在钢模中冷压制成硬质合金外壳。

(b) 将造球的金刚石装入外壳中,然后用 10% 的混合料覆

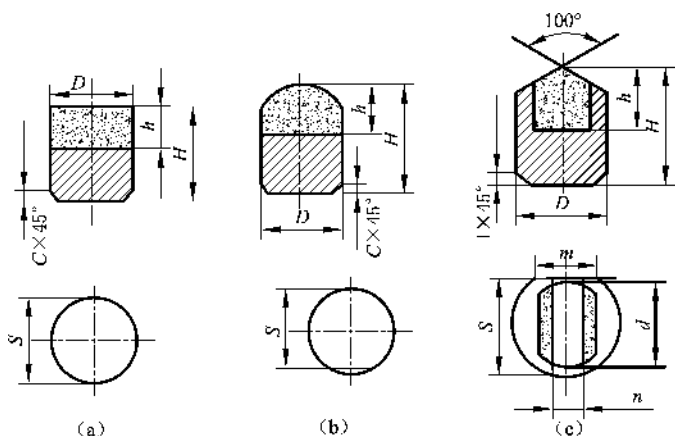


图 俄罗斯拉乌季奇复合片型号
(a) 圆柱型; (b) 圆顶型; (c) 圆顶带倒角型

盖，制成复合片毛坯。

(将) 将毛坯放入有氢气保护的炉中烧结。

(将) 复合片结构

烧结后的复合片结构如图 所示。

从图 看出，复合片结构具有下列特点：

(1) 金刚石分布是均匀的。

(2) 金刚石粒度较粗，为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。

(3) 金刚石浓度不高，为 $10\sim 20\%$ 。

聚晶型复合片

以元素六公司产品 和 美国产品 为代表。

聚晶型复合片的制造方法有两种：一是直接合成方法，即人造金刚石层与硬质合金基体一次合成，其工艺简单，成本低，产量高，但耐热性较低。另一种是间接合成法，即先压制出人造金

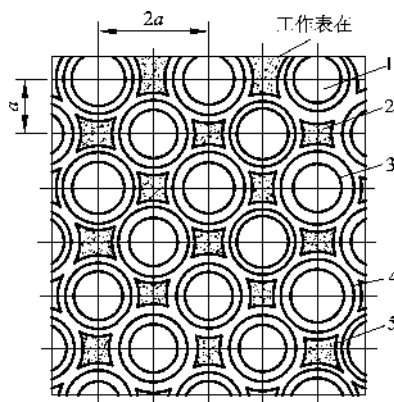


图 7-1 人造金刚石复合片结构示意图

1—金刚石；2—硬质合金胎体；3—塑料材料区域；
4—硬质合金等强区域；5—相互作用接触带

金刚石层，然后焊接在硬质合金基体上，该方法的合成工艺较复杂，成本高，但其耐热性高。

第 9 章 粉末冶金基本原理

粉末冶金，概括地说就是制取金属或冶金粉末，并将这些粉末装入模具内压制成形，然后在低于粉末熔点的温度下烧结固化，制成各类金属坯的制造工艺。在许多情况下，加压与加热同时进行，称之为热压方法。而对只加热而不加压的方法称为无压法；对先加压成形后烧结的方法称为冷压方法。热压法制造金属制品所需的压力与温度均比无压法和冷压法的低，因而在生产中获得广泛的应用。

粉末冶金方法能制造熔炼法所得不到的或难以获得而又具有优越和独特性能的制品。为了提高制品的质量，还可将烧结体再进一步加压和烧结，进行热处理或其他处理。这种再加压可以在室温下进行，也可在高温下进行，视制品种类和性能要求而定。其热处理温度应选择适当，使其一部分能熔化，但又不会出现变形为宜。

粉末冶金制造出的产品，就材料而言，既有多孔材料，又有致密材料；既有硬质材料又有很软的材料（如孔隙率 20% 以上的铁，其硬度相当于铝）；既有重合金，也有很轻的泡沫材料；既有磁性材料，也有其他材料（如原子能控制材料）。就材料类型而言，既有金属材料，又有复合材料。而复合材料包括金属和金属的复合材料、金属与非金属复合材料、金属与陶瓷复合材料、弥散强化复合材料、纤维强化复合材料等。因此，粉末冶金方法越来越得到广泛的应用与不断发展。

源章 摇粉末的物理性能

粉末的物理性能主要指：粒度、粒度分布、颗粒形状及结构、松装密度、压坯密度、流动性、压制性和成形性等。

源章 摇粉末的粒度、粒度分布及形状

源章 摇粉末的粒度

粒度是指粉末颗粒的大小规格。粉末中能分开并独立存在的最小实体称为单颗粒。单颗粒如果以某种方式聚集，就构成所谓的二次颗粒，其中的原始颗粒就称为一次颗粒。若干一次颗粒聚集成为二次颗粒。一次颗粒之间形成一定的粘结面，使二次颗粒内存在一些微细的空隙。一次颗粒或单颗粒可能是单晶颗粒，而更多的情形下是多晶颗粒，但晶粒间不存在空隙，如图 源原员所示。

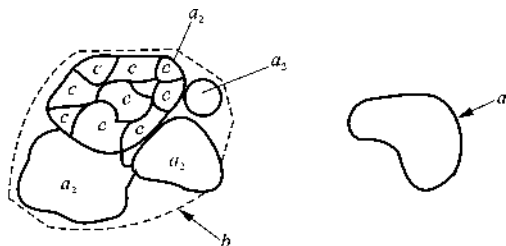


图 源原员 摇聚集颗粒示意图

葬—单颗粒；遭—二次颗粒；葬—一次颗粒；糟—晶粒

颗粒的聚集状态与聚集程度不同，颗粒的含义和测定方法也就不同。因为用一般的方法所测定的粒度均是反映单颗粒或两次颗粒的大小的，也就是在分散不良的情况下，只能反映聚集颗粒

的粒度，但往往是二次颗粒中的一次颗粒的大小，才对烧结体晶粒的结构与大小起作用，因而需要测定一次颗粒的大小。

颗粒的聚集程度对粉末的工艺性能影响很大。从粉末的流动性和松装密度看，聚集颗粒相当于一个大的颗粒，其流动性与松装密度均比较细的单颗粒高，而且压缩性也较好。但是，一次颗粒在压缩过程中同样经受变形，也影响压缩性和成形性，而烧结过程中一次颗粒所起的作用比二次颗粒更为重要。

粉末冶金所用的金属粉末，其颗粒大小通常以平均直径来表示。粒度测定的方法较多，目前最简单的、广泛应用的是筛分法，用所通过的筛网目数表示粒度。目数是指每英寸中的网眼数。金刚石工具制造中常用的粉末为 100 目~ 300 目。

标准筛目数与筛孔尺寸见表 1-1。

表 1-1 标准筛目数与筛孔尺寸对应表

标准筛目数(目)	100	150	200	300	400	500	600	800	1000
筛孔尺寸(毫米)	0.150	0.106	0.075	0.050	0.038	0.028	0.020	0.015	0.010

常用金属粉末粒度的表示方法，如果能通过 300 目但不能通过 400 目的粉末，用 300/400 目表示，依此类推。

粉末烧结过程是在接触表面进行的，细颗粒的粉末，由于比表面积非常大，自由能较高，因而大大促进了扩散—溶解—再结晶过程的进行，故可在较低的温度下进行烧结。

1.2 颗粒度的分布

粒度的分布是指颗粒大小分布的范围。一般来说，粒度分布范围宽的粉末，其松装密度、成形性和烧结性好，制品性能也好。因此，实际生产中，往往采用粒度分布宽的粉末，或者采用不同粒度的金属粉末混合使用。粉末中细粉含量高时，可提高压坯棱角的强度，并改进烧结性，但是却会减低松装密度，使压制性

变坏。

颗粒的形状

颗粒的形状可以笼统地划分为规格形状和不规格形状两大类,前者是指颗粒的外形或结构,可用某种几何形状的名称近似地描述,一般有如图 9-1 所示的几种典型形状。颗粒形状主要由粉末的生产方法来决定(见表 9-2),同时也与物质的分子或原子排列的结晶几何学因素有关。

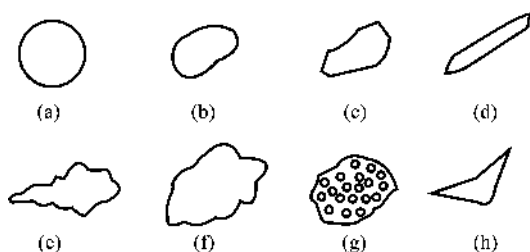


图 9-1 金属粉末的不同形状

(a) 球形; (b) 近球形; (c) 角形; (d) 针形;
(e) 树枝叶形; (f) 不规则形; (g) 多孔海绵形; (h) 薄片形

表 9-2 颗粒形状与粉末生产方法的关系

颗粒形状	粉末生产方法	颗粒形状	粉末生产方法
球形	气相沉积, 液相沉积	树枝叶形	水溶液电解
近球形	气体雾化, 置换(溶液)	多孔海绵形	金属氧化物还原
针形	塑性金属机械研磨	碎片形	金属旋涡研磨
角形	机械粉碎	不规则形	水雾化, 机械粉碎, 化学沉积

粉末颗粒形状可以用细长比、松散度与表面因素三个因素表示,细长比因素:越圆越松;松散度因素:越圆越松;表面因素:

在越转圆越好。见图 源所示。

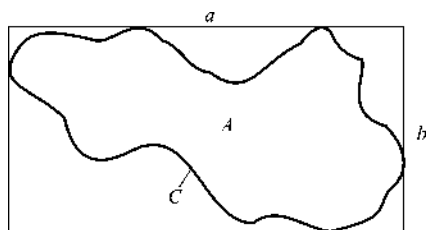


图 源颗粒投影的最小面积的外切矩形(粉末颗粒形状因素)

葬遭—矩形的边长；粤—颗粒投影面积；悦—投影颗粒周长

颗粒形状直接影响粉末的流动性、松装密度、气体透过性，对压制与烧结体强度均有显著的影响，是粉末的主要性能之一。

球形颗粒的流动性较好，松装密度较高透气性亦好。当无规律地填充这些粉末时，球形粉末的表面虽然较小，但都较易烧结。如果粒度相等并有规律地堆积填充时，则球形以外的粉末的比表面大，粒子间粘合得很好，孔隙小，烧结能良好地进行。

源 粉末的密度

粉末材料的理论密度，通常不能代表粉末的实际密度，因为颗粒几乎总是有孔的。所以计算颗粒密度时，颗粒的体积是否计入这些孔隙的体积而有不同的值。一般来说，有三种颗粒密度：真密度、似密度与有效密度。理论密度即真密度，是粉末冶金制品的基本依据，可依据理论密度计算出合金制品的密度以及金属粉末的用量。

除了理论密度之外，粉末的工艺性能中还有松装密度和振实密度。松装密度是重要的粉末特性，它对粉末填充操作、烧结以及模具设计有直接关系。

粉末的平均粒度对松装密度有明显的影响，细粉末易形成

“拱桥”和互相粘附，妨碍颗粒相互移动，所以粉末的松装密度小。粒度的组成对松装密度也有影响，粒度分布范围窄的粗细粉末，松装密度均较低，当粗细粉末按一定比例混匀后，可提高松装密度，因为粗颗粒间的大孔隙可被一部分细颗粒所填充。

9.1.2 摇粉粉末的流动性

粉末的流动性与液体的流动性不同，与塑性变形也不同。粉末流动时的阻力可以认为是由于粉末粒子间直接或间接接触而妨碍其他粒子的自由运动所引起的。这主要由粒子间的摩擦系数决定。由于粒子间暂时粘着或聚合在一起，从而妨碍相互运动。因此，这种流动时的阻力与粉末种类、粒度及其分布、形状、松装密度、所吸收的水分、气体及粒子的流动方法等有很大关系。粉末的流动性是指以筛中粉末从圆锥角为 45° 和出口孔径为圆锥角本身的流速漏斗中流出的时间。流出的时间越短，说明粉末的流动性越好。

无论是为了压坯密度均匀，还是为了自动压制快速装粉，都需要粉末有良好的流动性。一般来说，细粉的流动性较差，为此，可适当地加入粘结剂，将细粉结成较大的球形颗粒，以改善粉末的流动性。

9.1.3 摇粉粉末的压缩性与成形性

9.1.3.1 压缩性

粉末的压缩性是指粉末在一定的单位压力下可压缩的程度，以压坯密度表示。相同的单位压力下，密度越高，表明粉末的压缩性越好。

影响压缩性的因素有颗粒的塑性或显微硬度，塑性金属粉末比脆性金属粉末的压缩性好，球磨过的金属粉末，经退火后塑性改善，压缩性提高。颗粒形状和结构也明显影响压缩性，比如，

雾化粉末比还原粉末的松装密度高，压缩性就较好。总之，凡是影响粉末密度的所有因素，都将对压缩性产生影响。

我国部颁标准中规定，用直径 $\Phi 6.35$ 的圆压模，以硬脂酸锌的三氯甲烷溶液润滑模壁，在 1.5×10^4 (约 150 公斤) 压力下压制粉末试样，测定压坯密度表示压缩性。

成形性

成形性是指粉末压坯强度的高低。在相同单位压力下或在相同密度情况下，用压坯的抗弯强度的大小来表示粉末的成形性。同时，也可以用圆柱压坯的抗压强度来表示粉末的成形性。

成形性受颗粒形状和结构的影响最为明显，颗粒松软、形状不规则的粉末，压紧后颗粒的粘结增强，成形性好。

粉末的压缩性和成形性统称为压制性，压制性与粉末的粒度、粒度分布、颗粒形状、表面状态及塑性有关。粉末中添加少量的石蜡、硬脂酸锌以及其他润滑剂和掺入塑性的粉末，可改善粉末的成形性。

在评价粉末的压制性时，必须综合比较压缩性和成形性。一般来说，成形性好的粉末，往往压缩性差；相反，压缩性好的粉末，成形性差。细粉末的成形性好，而压缩性却较差。

源 摇 粉末的化学成分

粉末的化学成分应包括主要金属的含量和杂质的含量。粉末中的杂质对制品性能有显著的影响。粉末中含有的固体杂质，大体可分为四类：

(1) 无杂质颗粒：主要来自于原料。例如由矿物制成的粉末中，往往残留 SiO_2 、 CaO 、 Fe_2O_3 等。

(2) 粉末颗粒内含有的杂质：如 Cu 中的 Fe ， Ni 中的 S ， Co 中的 Ni 等。

(3) 颗粒表面杂质：如表面的氧化物。

(4) 颗粒内呈化合物或固溶状态的杂质。

这些杂质，固然存在有益者，如云母中的配位、悦噪中的晕等。但尤其应该注意有害处的重要一面，如杂质的等杂质，含量即使不到 1%，都将是有害的。因为这些氧化物硬度较高，既会擦伤压模的内壁，又对制品性能带来不利的影响。

9.2 热压烧结原理与工艺

9.2.1 热压法的工艺特点

热压烧结有时又称加压烧结，是把粉末装在模腔内，在加压的同时使粉末加热到正常烧结温度或更低一些温度，经过较短时间烧结成致密而均匀的制品。热压是粉末冶金中发展和应用较早的一种热成形技术，热压可将压制和烧结两个工序一并完成，可以在较低压力和较低温度下迅速获得冷压烧结所达不到的密度。

热压法的最大特点除上述的可以大大降低成形压力、烧结温度和缩短烧结时间外，它可以制得密度极高（接近理论密度）和晶粒极细的材料。制品的性能优良，质量稳定。

9.2.2 粉末的预处理和混合

9.2.2.1 粉末的预处理

即使在同一条件制造的同一种粉末，其纯度和粒度分布也有差别。因此，在使用前必须将其混合均匀。同时，原料粉末在运输与储存中会生成大量锈块或凝结块状，一般要用筛子将这些块状物筛出。当对粒度分布有要求时，需将粉末过筛后，按所要求的粒度分布来进行混合。

为了去除表面的氧化物和吸附的气体，消除粉末颗粒的加工

硬化,必须进行还原退火处理。还原退火后的粉末颗粒表面还原而呈现活化状态,将细颗粒变粗,从而改善粉末的压制性。在氢气中处理时,还有脱氧、脱磷、脱硫等反应,提高了粉末的纯度。

○粉末的混合

相同化学组成的粉末的混合叫合批。两种以上的化学组元相混合,叫做混合,混合的目的是使性能不同的组元形成均匀的混合物,以利于压制和烧结时状态均匀一致。

混合时除基本原料粉末外,其添加组元有以下三类:

(一)合金组元。如铁基中加入 悦,悦恹, 酰燥 酰灶, 蚤孕, 灾, 恹恹 晕及 月等粉末。

(二)游离组元。如摩擦材料中加入 蚤孕, 粤晕, 以及石棉粉等粉末。

(三)工艺性组元。如作为润滑剂的硬脂酸锌、石蜡、油酸等,作为粘结剂的汽油橡胶溶液、石蜡及树脂等,作为造孔用的氯化氨等。

混合一般可以在空气中进行,但为防止氧化,有的粉末需要在真空或液体中进行。混合时间根据不同的材料和设备,有的 10 分钟左右就够了,有的则需几十小时。一般来说,并非混料时间越长越好。因为时间长将使粉末产生加工硬化,或改变了粒度分布及颗粒形状,不利于压制性改善。对于 云藻 悦恹类的较软金属粉末,因其容易加工硬化,故不宜采用强度较大的混合,而应采用较慢转速和较短时间混合。

混合好的粉末通常需要过筛,以除去较大的夹杂和润滑剂的块状凝聚物。混合好的粉末尽可能及时使用,否则应密封储存起来。运输时应减少振动,防止混合料发生偏析。

○球磨混料

粉末的混合常采用的方法是球磨混料。由于金刚石制品的成分除了金刚石外,最重要的一点是合金的成分。常采用的合金成分中有 宰悦, 蚤孕 悦燥 悦恹, 在灶, 杂灶, 蚤恹 悦恹 酰灶, 酰燥等多种金属元

素,它们之间的密度相差甚远,熔点也相差甚远,由于生产方法不尽相同,颗粒形状也有差别。如果这些粉末不被混合均匀,那么,压制烧结出来的合金性能就不会均一,金刚石工具的性能也就达不到设计的要求。因此,球磨粉料的目的十分明确,即保证金刚石工具中合金成分混合均匀,保持工具性能稳定。

球磨混料时,球磨工艺规范对粉末的混料质量有直接的影响。球磨机由两大部分组成,即电动机和球磨筒。由电动机带动球磨筒旋转。球磨筒内装有硬质合金球和所需的粉末,湿混时还需加入酒精或者其他有机溶剂。球磨机混料的作用有:将粉末混匀;对粉末有一定破碎细化作用。球磨混料效果的好坏主要取决于球和粉末在筒内的运动状态,而球和粉末的运动状态又取决于球磨筒的规格和转速。球和粉末的运动有三种基本情况,见图 9-1 所示。

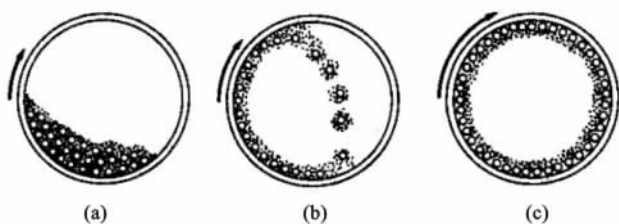


图 9-1 球和粉末在筒内的运动状态

(a) 如图 9-1(a) 所示。球磨机转速慢时,球和粉末沿筒壁上升到一定坡角,然后滚下(泻落而下)。这时,粉末的混合主要靠球的摩擦作用,而无粉碎与细化作用,球磨混料作用较差。

(b) 如图 9-1(b) 所示。球磨机转速增加,球和粉末在离心力的作用下,随着筒壁上升到比第一种情形较高的高度,然后在重力作用下和粉末一起掉下来。这时粉末不仅靠球与球之间的

摩擦作用，而且主要对球落下时的冲击作用而被混合均匀，同时被粉碎细化，其效果好。

(如图 1-10 所示)。继续增加球磨机的转速，当球的离心力超过球的重力时，紧靠筒壁的球和粉末不能脱离筒壁而产生相对运动。此时，粉末的粉碎与混合作用基本停止，其效果差，这种转速称为临界转速。

下面来讨论临界转速问题。为了便于分析，先作如下假设：
 ①筒内只有一个球；②球的直径比筒体小很多，可用筒体半径表示球的回转半径；③球与筒壁之间不产生相对滑动，也不考虑摩擦力的影响。

在这些假定条件下，当筒体回转时，作用在球体上的力就只有离心力和重力 (如图 1-10 所示)。

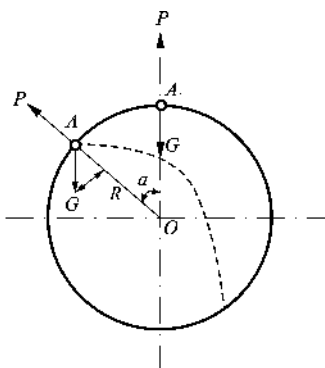


图 1-10 球的运动及受力分析

当球上升到 A 点时，球就会离开筒壁而落下，A 点为脱离点。球在 A 点平衡，此时：

$$P = G \quad \text{即} \quad m\omega^2 a = mg \quad \text{得} \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{a}}$$

而增越 $\frac{\text{圆砾土}}{\text{远}}$ 越 $\frac{\text{砾土}}{\text{猿}}$ 故

摇摇摇摇 $\frac{\text{砾土}}{\text{猿}} \sim \frac{\text{砾土}}{\text{远}}$ (源原员)

由式(源原员)知：球上升的高度取决于筒体的转速和球的回转半径，而与球的质量无关。如果增大转速，使离心力 $\frac{\text{砾土}}{\text{远}}$ 时，则球被提到最大高度 $\frac{\text{砾土}}{\text{远}}$ 点，球与筒体一起回转而不离开筒体壁。

球在临界转速 $\frac{\text{砾土}}{\text{远}}$ 的 α 角为零，代入式(源原员)得： $\frac{\text{砾土}}{\text{远}} \sim \frac{\text{砾土}}{\text{远}}$ 越 员，故

摇摇摇摇 $\frac{\text{砾土}}{\text{远}} \sim \frac{\text{砾土}}{\text{远}}$ (源原圆)

上述的推导中作出了一些假设，因而不完全精确。总之，要将粉末粉碎与混合均匀，球磨机转速即工作转速必须小于临界转速。据以上分析可知，球在筒内呈抛落状态时的效果最好，但究竟在多大角度前提下抛落效果最好，应该通过实验确定。因为，实际上有许多因素没有考虑：①球的大小；②球料比；③摩擦系数，亦即粉末的粒度、粒度分布，粉末的种类等；④球料的总重量等等。

检验粉末混合是否均匀，首先是观察混合出来的料，其颜色是否均匀一致。同时，也可任意抽样检查其松装密度。如果颜色均匀一致、松装密度相差极小，可以认为混合的料能满足要求。这是最简单的检验办法。

源原猿 摇压制

源原猿 金属粉末的压制

我们拿一个最简单的压制方法来说明金属粉末的压制现象。用一个圆柱形模具由一个方向加压，如图 源原远所示。加压前将

石墨粉以薄的平面层置于铜粉之间，加压后就变成了曲面。此时压坯内部各部分的密度不相同（见图 源原），最大密度部位在压坯圆柱上部模壁附近，同时，底面中心部位的密度也最大。但相比之下，底部最大密度比起上部最大密度较小一些。

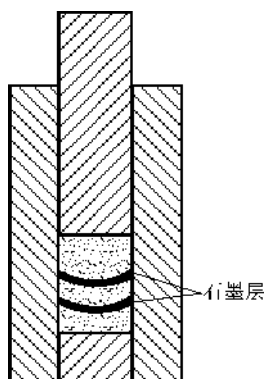
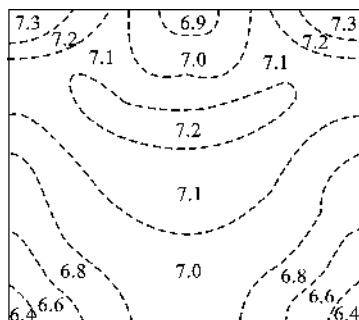
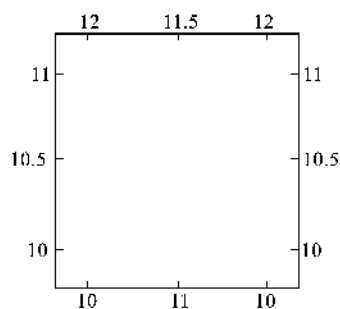


图 源原 单向压制压坯受力后内部变形状况



(a) 单向压制压坯的密度分布



(b) 单向压制压坯内肖氏硬度的分布

图 源原 单向压制压坯内部受力与密度、硬度分布示意图

压力 吨/厘米²，阴模直径 厘米，高径比 1:1

压力经上模冲传向粉末时，粉末在某种程度上表现出与液体相似的性质，即力向各个方向传递。于是引起了垂直于模壁的压力，即侧压力。由于粉末颗粒间的彼此摩擦、相互楔住，使得压力沿横向（即垂直于压模壁）的传递比垂直方向要小得多。并且粉末与模壁在压制过程中产生摩擦力，此力随压制压力而增减。因此，在压坯的高度方向上出现明显的压力降，接近上模冲端面的压力比远离它的部位要大得多，同时中心部位与边缘部位也存在着压力差，结果，压坯各部位的致密化程度也就有所不同。压坯密度大致与模冲接触面的距离按比例减小，该现象随着模具直径变小而愈显著。

为了减小密度差别，可以采用以下途径：（1）降低压坯的高度与直径之比。这是因为高度减少之后压力沿高度的差别相对减小了，使密度分布趋于均匀。（2）改单向加压为双向加压。单向加压时，压坯的整体密度分布如图 9-10 所示；而改为双向加压后，压坯的整体密度如图 9-11 所示。由此可知，采用双向加压有利于使压坯内密度趋于均匀，这对制品的性能提高有益。（3）采用模壁光洁度很高的压模，同时在模壁上涂上润滑剂，能减少摩擦系数，可改善压坯的密度分布，使压坯密度均匀性得到提高。（4）在粉末内添加润滑剂，减少颗粒间摩擦系数，有利于改善压坯密度的不均性。

9.2 压制方式对压制过程的影响

在压制过程中，加压方式的不同，对压坯质量的影响是不同的。压制过程中由于有压力损失，压坯密度出现不均匀现象，为了减少这种现象，可以采用双向或多向压制。特别是在压坯的高度与直径之比较大的情况下，采用单向压制是不能保证产品的密度要求的。对于形状复杂的零件（制品），压制时为了使各处的密度分布均匀，可采用组合模冲的方法解决。

加压速度不仅影响粉末颗粒间的摩擦状态和加工硬化的程度，

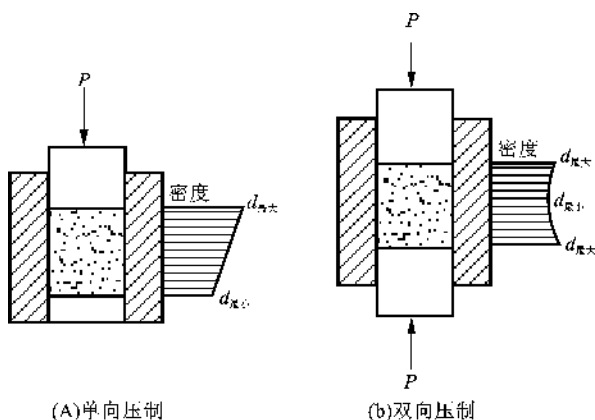


图 源原 单向压制与双向压制下压坯密度沿高度方向的分布

而且影响空气从粉末颗粒间的孔隙中逸出。如果加压速度过快，空气逸出就困难，同时上层粉末瞬时飞溅，有可能造成密度分布不均匀。因此通常的压制过程均以缓慢加压方式进行(有时称静压)。

粉末在压制过程中，如果在某一特定的压力下保持一定时间，往往可以得到较满意的效果。保压的主要目的是：(员)使压力得到充分传递，以保持压坯中各部分密度均匀。(圆)有利于使孔隙中的空气有足够时间通过模壁和模冲间的缝隙逸出。(猿)给粉末间的机械啮合和变形以时间，有利于应变弛豫进行，有利于减小弹性后效。

保压时间长短应根据具体情况确定，形状较简单、体积较小的工具则保压时间可以缩短，反之则应增长。

源原 烧结

烧结是指粉末或压坯在一定的外界条件和低于主要组元熔点的烧结温度下，所发生粉末颗粒表面减少、孔隙体积降低的过程。

热压法的致密化理论

热压理论的研究较工艺的应用要晚得多,较完整的理论直到 20 世纪 50 年代中期才形成,60 年代才有较大的发展。热压理论的核心在于研究致密化的规律和机构。热压致密化理论是在粘性或塑性流动烧结理论的基础上建立起来的,因为热压与依存于温度变化的物质阻力和粘滞性系数等有密切的关系而不能引进普通烧结的体积扩散机理。像玻璃那样的非晶体物质可能用粘性流动来进行致密化。离子结晶和金属可能由塑性流动来进行致密化。像有些软质金属,如镁、铝、铜等,热压温度低压力大,由塑性变形引起的致密化占主要地位。另外,在普通热压条件下的热压后期阶段,致密化速度特别慢。像氧化物、碳化物那样的硬质粉末的热压,是由扩散机理的致密化占主要地位的。因此,热压主要机理可以说是关于各种物质在各种条件下发生的各种变化。热压致密化理论主要沿着两个方向研究与发展:①热压的动力学即致密化方程式,分为理论和经验两类,前者由塑性流动理论和扩散蠕变理论导出;②热压致密化理论,包括颗粒相互滑移,颗粒的破碎、塑性变形以及体积扩散等。

(一) 塑性流动理论

1952 年,麦肯齐(McKenzie)和弗莱彻(Fletcher)等人发表了塑性流动烧结理论,奠定了热压塑性流动理论的基础。他们根据烧结后期形成的闭孔的特点,提出了图 9-1 所示模型。一个闭孔(半径为 r_1)和包围闭孔的不可压缩的致密球壳。孔隙的表面应力(原由 γ 为表面张力; r_1 为孔隙半径)使孔隙周围的材料产生压应力而变形,迫使孔隙缩小。根据

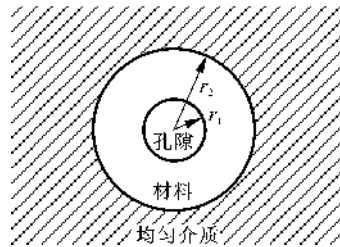


图 9-1 塑性流动模型

塑性体的流动方程：

$$\tau > \tau_{\text{精}} \cdot \eta \cdot \dot{\epsilon} \quad (\text{源})$$

式中： τ ——剪应力；

$\tau_{\text{精}}$ ——材料的屈服强度；

$\dot{\epsilon}$ ——材料变形速率；

η ——比例系数(材料粘性系数)。

当剪应力 τ 超过材料的屈服极限 $\tau_{\text{精}}$ 时,就产生塑性流动,而且变形速率 $\dot{\epsilon}$ 与剪应力 τ 成正比。由于塑性流动,孔隙缩小。由孔隙表面能的减小等于变形功,可以导出致密化速度方程式：

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{\gamma}{\rho} \cdot \frac{\tau_{\text{精}}}{\eta} \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{精}}} \right) \cdot \rho \cdot \left[\frac{\tau}{\tau_{\text{精}}} \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{精}}} \right) \right] \cdot \frac{\epsilon}{\rho} \quad (\text{源})$$

$$\text{式中: } \alpha = \left(\frac{\tau_{\text{精}}}{\tau} \right) \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{精}}} \right);$$

ϵ ——球壳的单位体积内的孔隙数；

γ ——材料的表面张力；

ρ ——相对密度,即孔隙加致密材料球壳的平均密度与材料理论密度之比。

由图 源 塑性流动模型 $\rho > \frac{\tau_{\text{精}}}{\tau}$, 移项并且用 $\frac{\tau_{\text{精}}}{\tau}$ 同乘以分子分母后得到：

$$\frac{\tau_{\text{精}}}{\tau} \cdot \frac{\tau}{\tau_{\text{精}}} > \frac{\tau_{\text{精}}}{\tau} \cdot \frac{\tau_{\text{精}}}{\tau} \cdot \frac{\tau}{\tau_{\text{精}}} \quad (\text{源})$$

$$\text{即: } \frac{\tau_{\text{精}}}{\tau} > \frac{\tau_{\text{精}}}{\tau} \cdot \frac{\tau}{\tau_{\text{精}}} \quad (\text{灾为球壳体积})$$

由于包括球壳致密材料在内的体积中只有一个孔隙，故上式左边实际上代表单位体积内的空隙数：

$$\frac{\text{猿}}{\rho} \cdot \frac{\text{猿}}{\text{源}} \quad (\text{源源})$$

将此式代入式(源源)并简化后得出：

$$\left(\frac{\text{猿}}{\text{源}} \right) \cdot \frac{\text{猿}}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{猿}}{\text{源}} \right) \left[\frac{\text{猿}}{\text{源}} \cdot \frac{\text{猿}}{\text{源}} \right] \cdot \frac{\text{猿}}{\text{源}} \quad (\text{源源})$$

此式表示无外力作用时(孕越园)烧结速度方程式，描述了相当于烧结后期(孔隙小于 猿)，靠表面张力使闭孔收缩的致密化过程。

员年默瑞(孕)、罗杰斯(孕)和威廉姆斯(孕)从塑性流动的烧结理论出发，认为热压过程与烧结后期闭孔缩小的致密化阶段相似，所不同的是除了受孔隙表面应力(孕)作用外，还有外力孕作用，因此只要在上式中以(孕)代替孕就可以直接导出：

$$\left(\frac{\text{猿}}{\text{源}} \right) \cdot \frac{\text{猿}}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{猿}}{\text{源}} \right) \left(\frac{\text{猿}}{\text{源}} \right) \left[\frac{\text{猿}}{\text{源}} \cdot \frac{\text{猿}}{\text{源}} \right] \cdot \frac{\text{猿}}{\text{源}} \quad (\text{源源})$$

将(源源)式整理再与(源源)式比较可知：

$$\frac{\text{猿}}{\eta} \cdot \left(\frac{\text{猿}}{\text{源}} \right) \cdot \frac{\text{猿}}{\text{源}} \quad (\text{源源})$$

该式说明，有外加应力时，热压的致密速度(孕) 大于没有外加应力时(孕) 的致密速度，而且随着外加应力孕的增大和粘滞系数 η 的减小，热压的致密化过程加快。

通常热压的外加力比表面用力大得多，材料在高温下的屈服

极限 $\tau_{\text{精}}$ 也比外压力小得多，因此，热压方程(源原愿)式可以简化，即在包括孕的所有项内将 $\gamma_{\text{精}}$ 和 $\tau_{\text{精}}$ 均略去不计，那么，(源原愿)式中的 $\left(\frac{\text{孕}}{\text{孕成}}\right)$ 项实际上也可以略去不计，最后(源原愿)式变成：

$$\text{摇摇摇摇} \left(\frac{\text{孕}}{\text{孕成}}\right) \text{越源} \text{猿} \text{ (源原愿)}$$

或

$$\text{摇摇摇摇} \text{造} \frac{\text{员}}{\text{(员原孕)}} \text{越} \frac{\text{猿}}{\text{源}} \text{ (源原愿)}$$

式中： $\text{悦越} \frac{\text{员}}{\text{(员原孕)}}$ ；

$\rho_{\text{原}}$ ——热压开始时(越源)的相对密度。

热压的致密化速度 $\frac{\text{孕}}{\text{孕成}}$ 很高，在较短时间内(通常 员缘~ 圆皂)或更短时间)就可以达到平衡密度，即终极密度。这时， $\frac{\text{孕}}{\text{孕成}}$ 密度不再随时间而增大。终极密度可令 $\frac{\text{孕}}{\text{孕成}}$ 由(源原愿)式求得。

由于该式中 $\frac{\text{猿}}{\text{圆}} \cdot \left(\frac{\text{员孕}}{\text{员}}\right)$ 不为零，只有方程式中括号内的值可为零，因此：

$$\text{摇摇摇摇} \text{员原} \left[\frac{\sqrt{\text{圆}} \cdot \text{则}}{\text{圆} \left(\frac{\text{员孕}}{\text{员}}\right)} \right] \cdot \text{造} \frac{\text{员}}{\text{(员原孕)}} \text{越源} \text{ (源原愿)}$$

式中： $\rho_{\text{精}}$ ——终极密度。

将上式整理后可得：

$$\text{摇摇摇摇} \text{造} \frac{\text{员}}{\text{(员原孕)}} \text{越} \frac{\sqrt{\text{圆}} \cdot \gamma \text{垣} \text{孕}}{\tau_{\text{精}} \cdot \sqrt{\text{圆}}} \text{ (源原愿)}$$

因为在确定的温度下， γ 和 $\tau_{\text{精}}$ 均为常数，它们只与温度和材

料有关，故在指定的压力 τ 下，(源原式) 的可变量仅为 $\rho_{\text{粉}}$ 和 $\rho_{\text{源}}$ ，但 $\frac{\rho_{\text{源}}}{\rho_{\text{粉}}}$ 中的 $\rho_{\text{源}}$ 也应由 $\rho_{\text{粉}}$ 所决定，即：

$$\frac{\rho_{\text{源}}}{\rho_{\text{粉}}} = \left(\frac{\rho_{\text{粉}}}{\rho_{\text{源}}} \right)^{\frac{\gamma}{\tau}} \cdot \frac{\rho_{\text{源}}}{\rho_{\text{粉}}} \quad (\text{源原式})$$

将上式代入(源原式)中得：

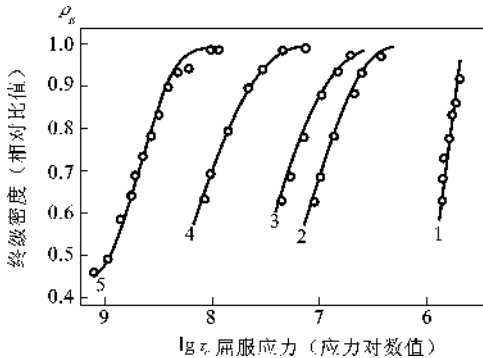
$$\frac{\rho_{\text{源}}}{\rho_{\text{粉}}} = \frac{\gamma \cdot \rho_{\text{粉}}}{\tau} \left(\frac{\rho_{\text{粉}}}{\rho_{\text{源}}} \right)^{\frac{\gamma}{\tau}} \cdot \frac{\rho_{\text{源}}}{\rho_{\text{粉}}} \quad (\text{源原式})$$

由默瑞的热压致密化方程所导出的(源原式)式可用来解释下面的现象：

①当热压温度不变(即 τ 一定)时，增大热压压力 τ ，可以提高密度。

②当压力不变时，温度升高(τ 减小)，密度也提高。

图源原是在已知的 γ 和 $\rho_{\text{粉}}$ 值下，由五种不同压力按(源原式)计算得到的终极密度，再对 τ 值的对数作图而得到的。



图源原温度与压力对终极密度的影响(γ 为定值, $\rho_{\text{粉}}$ 为定值)

由图可知,压力逐渐加大,曲线由A逐渐左移到B,这时对应同一密度 $\rho_{\text{晶}}$ 的 $\tau_{\text{晶}}$ 值增大,说明可在更低的温度下进行热压;而提高温度,由于 $\tau_{\text{晶}}$ 值减小,使达到相同密度 $\rho_{\text{晶}}$ 所需的压力降低。

麦克莱兰德(1956)于1956年对默瑞的热压方程式(源10)作出了重大的修正。他认为塑性流动是热压致密化的主要机构,其基本依据仍然是烧结方程(源10),但是,他认为默瑞方程中的压力 P 是随密度而变化的,因为随着致密化孔隙的缩小,传递压力的有效面积增大,使得孔隙缩小的有效压力并不等于外压力,而是孔隙度的函数,即与密度有关。为求出有效应力与孔隙度的准确关系,他假定外压力是通过图 10-10 模型中球壳层传递的,并作用在由球壳和孔隙面积构成的总面积上,则应力作用的有效面积 $A_{\text{有效}}$ 与总面积 $A_{\text{总}}$ 之间有下列的关系:

$$A_{\text{有效}} = A_{\text{总}} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad (源11)$$

所以,使孔隙收缩的有效压力 $P_{\text{有效}}$ 和外压力 P 之间的关系则为:

$$P_{\text{有效}} = P \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad (源12)$$

将上式代入(源10)式,即用 $P_{\text{有效}}$ 代替 P 就得到:

$$\left(\frac{d\rho}{dt} \right)_{\text{晶}} = \frac{K}{R^3} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \left\{ \left[\frac{P}{\rho_{\text{晶}} (1 - \rho_{\text{晶}})} \right] \frac{\sqrt{V_{\text{晶}}}}{P_{\text{有效}}} \frac{1}{(1 - \rho_{\text{晶}})} \right\} \quad (源13)$$

同样令 $\frac{d\rho}{dt} = 0$,由(源13)式中的大括号项等于零,可得到:

$$P_{\text{有效}} = \left[\frac{P}{\rho_{\text{晶}} (1 - \rho_{\text{晶}})} \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{V_{\text{晶}}}} \frac{1}{(1 - \rho_{\text{晶}})} \quad (源14)$$

上式表明,终极密度 $\rho_{\text{晶}}$ 与外压力 P 和温度($\tau_{\text{晶}}$)有关。由于 $\tau_{\text{晶}}$ 依赖于温度 $T_{\text{晶}}$ ($\tau_{\text{晶}} = \frac{K}{T_{\text{晶}}}$)。

将上式代入(9.13)式,可求得终极压密度 ρ_{∞} 与温度 T 和压力 P 的关系式:

$$\ln \left(\frac{\rho_{\infty}}{\rho_0} \right) = \frac{U}{RT} \cdot \frac{1}{\left[\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{1}{\rho_{\infty}} \right)^{\frac{1}{n}} \right]} \cdot \frac{P}{\sqrt{1 - \frac{P}{P_0}}} \quad (9.14)$$

对上式两边取对数并令 $\ln \left(\frac{P}{\sqrt{1 - \frac{P}{P_0}}} \right)$, 可得到:

$$\ln \left(\frac{\rho_{\infty}}{\rho_0} \right) = \frac{U}{RT} \left\{ \frac{1}{\left[\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{1}{\rho_{\infty}} \right)^{\frac{1}{n}} \right]} \cdot \frac{P}{\sqrt{1 - \frac{P}{P_0}}} \right\} \quad (9.15)$$

式中: U ——材料的活化能。

(9.15)式表示对某一特定材料,在恒压下热压的终极密度随温度而变化的关系式。

(9.2) 扩散蠕变理论

柯瓦尔钦科(Ковалченко)等人于 1957 年运用由气孔分散在非压缩粘性介质中所组成的系统的模型,从流变学理论推导了热压方程式,并根据纳巴罗—赫仑的蠕变理论,考虑晶界的作用和晶体颗粒大小的影响,对方程作进一步修正。他们的热压方程的原始形式为:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{D_0 \rho_0}{\eta} \cdot \frac{\theta(1-\theta)}{\rho_0} \quad (9.16)$$

式中: θ ——孔隙率;

P ——压力;

η ——粘性系数。

根据蠕变理论,粘性系数 η 同体积扩散系数 D_v 以及晶粒大小 d 的关系为:

$$\eta = \frac{2\gamma d}{D_v \Omega} \quad (9.17)$$

式中: Ω ——原子体积;

D_v ——扩散系数;

运——玻尔兹曼常数；

栽——绝对温度。

晶粒长大与时间的关系：

$$\eta \propto \frac{1}{t^{\frac{1}{3}}} \quad (1)$$

式中： η ——原始平均晶粒大小；

将上式代入(1)式得：

$$\eta \propto \frac{1}{t^{\frac{1}{3}}} \propto \frac{1}{\Omega^{\frac{1}{3}}} \quad (2)$$

即

$$\eta \propto \frac{1}{\Omega^{\frac{1}{3}}} \quad (3)$$

式中： $\eta \propto \frac{1}{\Omega^{\frac{1}{3}}}$ ，最后，(3)式变成：

$$\eta \propto \frac{1}{\Omega^{\frac{1}{3}}} \cdot \frac{\theta(\text{原})}{\Omega} \quad (4)$$

科布尔(柯布)等人也认为硬质粉末热压的后期是受扩散控制的蠕变过程，在考虑了晶粒长大使致密化速率降低的影响

以后，他将 $\eta \propto \frac{1}{\Omega^{\frac{1}{3}}}$ 式直接代入默瑞方程(5)式而得到：

$$\eta \propto \frac{1}{\Omega^{\frac{1}{3}}} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \quad (5)$$

再将 $\eta \propto \frac{1}{\Omega^{\frac{1}{3}}}$ 代入上式得：

$$\eta \propto \frac{1}{\Omega^{\frac{1}{3}}} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \quad (6)$$

因为孔隙度 $\theta \propto \frac{1}{\Omega}$ ，故上式又可变成：

$$\eta \propto \frac{1}{\theta} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \quad (7)$$

或

$$\eta \propto \frac{1}{\theta} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot \frac{1}{\Omega} \quad (8)$$

令 $\frac{d\theta}{dt} = \frac{K}{\theta^n}$ ，则上式变成：

$$\int_{\theta_0}^{\theta} \theta^n d\theta = \int_0^t K dt \quad (9-1)$$

两边积分，令原始孔隙度为 θ_0 ，则：

$$\frac{\theta^{n+1}}{n+1} - \frac{\theta_0^{n+1}}{n+1} = Kt \quad (9-2)$$

因此

$$\theta = \left[\frac{n+1}{n+1} Kt + \theta_0^{n+1} \right]^{\frac{1}{n+1}} \quad (9-3)$$

式中： K ——压力；

n ——常数。

扩散蠕变理论同样可以说明热压终极密度的存在，因为随着温度升高，材料的粘性系数 η 和临界剪应力 τ_c 降低，均有利于孔隙的收缩。但是，温度升高又会使热压后期材料的粘性系数明显增大，对由扩散控制的致密化过程不利。这两种因素对致密化作用相反。因此，热压的密度不能无限制地增大。

(3) 经验方程式

舒尔茨(Shultz)和勒斯马歇尔(Lesma)由碳钢在 1000°C 等金属的碳化物热压实验数据总结出经验公式：

$$\theta = \theta_0 \left(1 + \frac{Kt}{\theta_0} \right)^{-\beta} \quad (9-4)$$

式中： θ 与 θ_0 ——时间 t 和 $t=0$ 时的孔隙度；

β ——经验系数；

K ——与材料有关的常数。

上式表明，热压致密化与时间成双曲线型函数关系，该式取对数后， $\ln \theta$ 与 $\ln \theta_0$ 成线性关系，由直线斜率决定 K 值。该式与默瑞方程一样，主要适用于热压的早中期。

韦斯特曼(Westman)和卡尔松(Carlson)根据铅粒的热压实验，找到热压经验公式：

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\beta}{\theta} \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2)$$

上式表明 $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ 对 $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ 的线性关系与默瑞方程 $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ 对 $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ 的线性关系不同, (2)式经舒尔茨修正后又变成:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\beta}{\theta} \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (3)$$

式中: β, θ ——均为经验常数。

(源致密化过程)

上面概要地叙述了塑性流动机理与扩散蠕变机理,但是,无论哪个机理也未必完善。位错运动、晶界滑动的作用和其他硬物质由于粒子破坏的作用等也应加以考虑。就是站在扩散观点上,一般情况下也应考虑随塑性变形原子空位浓度增加这一因素。

许多实验证明,以默瑞为代表的塑性流动方程对于硬质材料(碳化物、氮化物等),当热压温度较高、时间较长时,存在较大误差,说明在这样的条件下,塑性流动对致密化的影响较小,而主要靠扩散或受扩散控制的蠕变,而且塑性流动理论没有考虑晶粒大小的变化对致密化的影响。但是,在热压的中期或者对于金属等塑性好的材料,塑性流动仍然是致密化的主要机构。另外,在热压的早期,当温度与压力都不高时,也发生像普通压制过程一样的粉末颗粒的位移、重排。因此有理由认为热压过程比前述塑性流动和扩散蠕变更为复杂,难以用一个统一的热压动力学方程描述。在分析了多数氧化物和碳化物等硬质粉末的热压实验曲线后,可以看到致密化过程大致有三个连续过渡的基本阶段。

①快速致密化阶段,又称微流动阶段。即在热压初期,颗粒发生相对滑动、破碎和塑性变形,类似冷压的颗粒重排,致密化速度较大,主要取决粉末的颗粒度、形状及材料的断裂和屈服强度。这个阶段的线收缩,由费尔坦($\Delta \rho$)表示为 $\Delta \rho$ 为

① 致密化加速阶段。

② 致密化减速阶段，以塑性流动为主要机构。类似烧结后期的闭孔收缩阶段，可使用默瑞热压方程式，即孔隙率的对数与时间成线性关系。

③ 趋近终极密度阶段，受扩散控制的蠕变为主要机构。此时晶粒的长大使致密化速度大为降低，达到终极密度后，致密化过程完全停止。这个阶段可适用柯瓦尔茨科 原萨姆索洛夫或科布尔方程。

9.2 烧结分类

烧结过程分为以下几类：

(1) 单元系固相烧结：纯金属粉末或化合物(如 Cu_2O 、 Fe_2O_3 等)在其熔点以下温度进行的固相烧结过程。

(2) 多元固相烧结：由两种或两种以上的组元构成的体系，在其中低熔点成分的熔点温度以下所进行的固相烧结过程，粉末烧结合金有许多属于这一类。根据系统的组元之间在烧结温度下有无固相溶解存在，又分为：

无限固溶系：在合金状态图中有无限固溶区的系统，如 Cu-Ni 、 Al-Ni 、 Cu-Ni 等。

有限固溶系：在合金状态图中有有限固溶区的系统，如 Cu-Ni 、 Cu-Ni 等。

完全不互溶系：组元之间既不互相溶解又不形成化合物或其他中间相的系统，如 Cu-Zn 、 Cu-Ni 、 Cu-Ni 等所谓“假合金”。

(3) 多元系液相烧结：以超过系统中低熔点成分熔点的温度进行的烧结过程。如 Cu-Ni 、 Cu-Ni 、 Cu-Ni 等。

9.3 烧结工艺

烧结的基本过程是将压坯装舟，送入烧结炉中加热升温，在烧结温度下保持若干长时间后将制品冷却出炉。

(1) 烧结温度

烧结温度与制品的化学成分有关。如果是纯粉末的固相烧结，则烧结温度为：

摇摇摇摇栽越(圆猿-猿猿)栽 (员原圆)

式中：栽——粉末熔点

(圆)烧结气氛的选择

除少数制品可以在空气中烧结外，大多数是在保护气氛和真空中进行，以免制品在烧结过程中氧化。

保护性气氛主要为氢气，而氢气主要利用液氨分解氮氢混合气氛得到。

源源源活化烧结

采用化学或物理的措施，使烧结温度降低，烧结过程加快，或使烧结体的密度和其他性能得到提高的方法称为活化烧结。活化烧结从方法上可以分为两种基本类型：

(员)依靠外界因素活化烧结过程，包括：气氛中添加活化剂，使烧结过程循环地发生氧化—还原反应或其他反应，在烧结填料中添加强还原剂(如氢化物)，循环改变烧结温度，施加外应力等。

(圆)提高粉末的活性，使烧结过程活化。例如，粉末(压坯)的预氧化，使粉末颗粒产生较多晶体缺陷或不稳定结构，添加活化元素以及使烧结形成少量液相等。

活化烧结最早出现在 员世纪末，用镍活化烧结钨制品。自 圆世纪 缘年代以来，有许多铁粉活化烧结的报道，以及铜基、钼、三氧化二铝等活化烧结实验研究。但总的看来，活化烧结工艺尚不成熟。

源源爱烧结活化能

烧结与任何物理化学过程一样，当被活化而加速时，活化能必定降低。尽管烧结过程十分复杂，但总是受流动、扩散、蒸发凝聚等烧结机构所限制。只要使这些过程的活化能降低，就能加快烧结反应的速度，这就是活化烧结的热力学本质。

设 k 代表烧结反应的速度常数，它与烧结过程活化能 E 的关系为：

$$k = A e^{-E/RT} \quad (9-1)$$

或

$$\ln k = \ln A - E/RT \quad (9-2)$$

故以 $\ln k$ 对 $1/T$ 作图，则 $\ln k$ 与 $1/T$ 成线性关系，只要测定不同温度 (T_1, T_2) 的 k 值 (k_1, k_2)，就可以从直线的截距和斜率求得式 (9-2) 的 A 和 E 值。例如，铜粉的烧结活化能为 2.5×10^4 卡/摩尔分子，与铜的自扩散活化能相近。

实际上，按上述方法测定金属粉末的烧结活化能的数据不多，因为在较宽的温度范围内，难以准确求得上述线性关系，也就难以测定斜率和截距。

根据式 (9-2)，加快烧结反应速度有两种途径：

(1) 降低烧结活化能 E ，使式 (9-2) 中的 E/RT 值增大，从而使 k 值增大。通常所指活化烧结都是 E 降低的过程。

(2) 增大 A 值，在 E 与 T 均不变的情况下，也能使 k 值增大，从而加快烧结过程。 A 值包括所谓反应原子碰撞的“频率因素”，因而在固相烧结反应中，改善烧结粉末的接触情况，往往能促进反应，但不涉及活化能的改变，严格说不属于“活化”，可称作“强化”。因此，广义的活化烧结，包括活化能降低的真正活化烧结，也包括活化能不变的所谓“强化烧结”，但是，一般并未严格加以区别。

在同样条件下，细粉末比粗粉末烧结得更快、更致密，难熔化合物粉末表现特别明显。例如碳化硼粉，如果粒度更细的话，可以烧结得相当致密；而很粗的粉末，尽管提高温度，延长时间，也难烧结达到同样的密度。其他金属或化合物粉末烧结时也有类似的现象。受粉末颗粒度影响的烧结过程，显然属于广义的活化烧结，因为细粉末加速烧结过程是否降低活化能，目前还没有足够的实验数据来证明。

2. 活化烧结的应用

2.1 预氧化烧结

最简单的活化烧结方法是应用预氧化—还原反应。在烧结过程中，还原一定的氧化物对金属的烧结有良好的作用。例如，在烧结铁基制品时，先使压坯在低温预氧化，而后在高温还原气氛中烧结。这样可提高铁基制品的密度和强度。预氧化对其他金属元素，如钨、钼、钽等的烧结都起着良好的作用。

少量氧化物的这种活化作用是由于烧结过程中表面氧化物薄膜被还原，因而在颗粒表面内出现了大量的活性原子，并大大地降低了烧结时原子迁移的活化能。

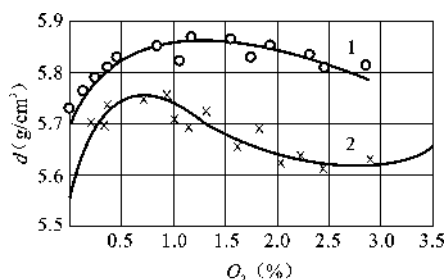


图 2 预氧化压坯含氧量对铁粉烧结密度的影响

涡旋铁粉与还原铁粉压坯预氧化烧结对密度变化的影响见图 9-1 所示。由图中可看出含氧量对烧结密度的影响。同时，涡旋铁粉和还原铁粉在性能上的差别可能是由于原始粉末中含氧量的不同，以及原始颗粒表面形状的不同所引起的。

铁粉预氧化对不同密度的烧结制品的性能影响见表 9-1 所示。由表可以看出，预氧化使烧结制品的强度、延伸率、冲击韧性等得到提高，而对硬度的影响不显著。

关于铜粉末表面氧化膜的厚度对其制品抗拉强度的影响示于图 9-2 中。氧化膜是在空气中加热生成的，氧化膜的厚度可根据氧化后的颜色来确定。一般棕红色约 0.1 μm，紫色约 0.2 μm，橄榄绿色约 0.3 μm，深金色约为 0.4 μm，图 9-2 中所用的试样是分别在真空和氢气中烧结的，烧结温度为 700℃，时间为 1 分钟。由图可见，当氧化膜的厚度为 0.1~0.2 μm 时，其抗拉强度最高；较厚的氧化膜将要阻碍烧结的进行。毫无疑问，这种现象是与表面氧化膜在烧结时，表面氧化物可能溶解于金属中有关，并且与这种情况下表面仍然保持疏松状有关。

表 9-1 预氧化对铁基制品性能的影响

粉末制品	密度 (g/cm ³)		强度极限 (kg/cm ²)		延伸率(豫)		冲击韧性 (kg·m/cm ²)		硬度(HV)	
	葬	遭	葬	遭	葬	遭	葬	遭	葬	遭
涡旋铁粉	7.85	7.85	100	100	10	10	10	10	10	10
	7.85	7.85	100	100	10	10	10	10	10	10
	7.85	7.85	100	100	10	10	10	10	10	10
还原铁粉	7.85	7.85	100	100	10	10	10	10	10	10
	7.85	7.85	100	100	10	10	10	10	10	10
	7.85	7.85	100	100	10	10	10	10	10	10

摇摇注：葬为未氧化，遭为在 700℃ 氧化成含氧达 1% 左右。

采用湿氢可有效地降低钼的烧结温度。这也是属于氧化还原的活化烧结。利用露点为 -10°C 的湿氢，在 1100°C 烧结钼坯得到的密度相当于 1000°C 下氢中烧结的密度。利用湿氢烧结轧制钼片的扁平压坯，在 1100°C 烧结 1 小时，再在 1100°C 烧结 1 小时后，就可以得到密度很高的产品，可以不必经过高温垂熔旋锻，直接轧成钼片。

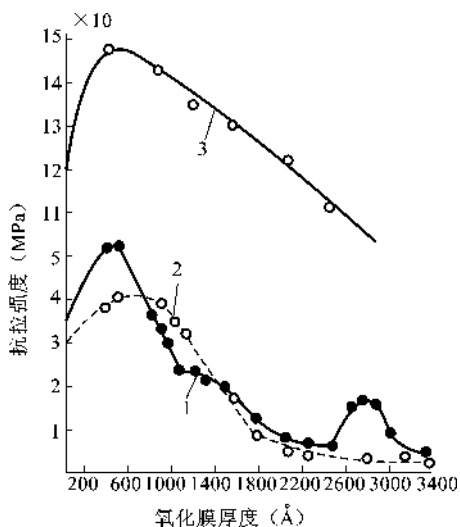


图 1 铜烧制品的抗拉强度与粉末颗粒表面氧化膜厚度的关系

预氧化还原，即在烧结过程中还原少量的氧化物可以活化烧结过程。但是在许多情况下，有些金属如 Cu 、 Zn 等，其粉末中存在氧化物会使压坯尺寸增大而不是缩小。例如，用未经预先还原退火的铜粉压坯，其孔隙度为 15% ，在 1100°C 烧结后，其孔隙度提高到 18% ；在 1200°C 烧结后，提高到 20% 。如果采用预先进行还原退火的粉末，上述温度烧结后，其孔隙度分别为 15% 和 16% 。压坯的这种性质，是由于含氧化物的粉末，烧结时因

还原而使表面活化造成一些封闭孔隙。还原反应中的产物存在封闭的气孔中,使压坯尺寸增大。

若粉末中有烧结时很难还原的氧化物,则在烧结过程中只有当氧化物膜溶解于金属中或升华、凝结,破坏了颗粒间彼此隔离的氧化物膜后,烧结才有可能进行。

9.2.3 添加合金元素

液相的烧结机构表明,当固相的原子溶解于液相(粘结相)时致密化速度增加,烧结所需的时间缩短,从这个意义上讲,能在烧结温度下形成液相的就可用作活化烧结的添加元素。但是,对于难熔金属合金,当液相与固相之比为 1:1 时,合金在低于固相熔点温度下烧结后,同样可看到钨颗粒形成明显的卵形结构,并没有明显的收缩。这说明,有液相出现并不是产生活化烧结的惟一条件,在固相烧结时,也可通过添加合金元素促进烧结制品收缩,改善其性能。

镍添加量对钨粉压坯烧结密度的影响如图 9-10 所示。平均粒度为 0.5 μm 的超细钨粉,当镍加入量为 0.5%~1.0% 时,在 1800℃ 经过 1 小时烧结后,密度达到 19.35 g/cm³,即理论密度的 98%。用镍活化烧结方法制造钨接点,以 0.5%~1.0% 镍烧结 1 小时,密度可达到 19.35~19.45 g/cm³,硬度 1400~1500 HV_{0.05}。

钨的活化烧结除了用镍外,还可以用镍磷合金。将钨粉在 10% 氯化镍与次亚磷酸钠混合溶液中搅拌,使钨粉表面覆盖一层镍磷合金。这种粉末经过真空干燥后进行压制与烧结,其密度可达到理论密度的 98% 以上。

在铁粉中添加少量的镍或钴对其制品烧结的收缩也有着促进作用,如图 9-11 所示。由图可知,镍的添加能大大促进铁粉压坯的收缩,其效果比钴要大得多。

在添加少量镍或钴来活化烧结过程时,一般不采用机械混合

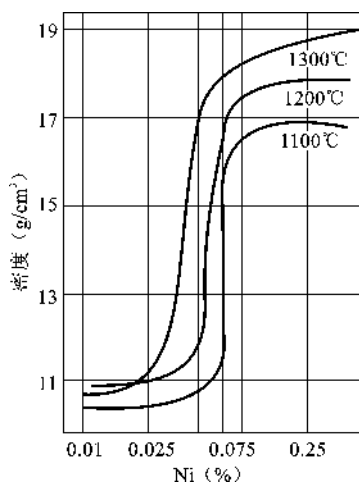


图 1 镍对钨粉压坯烧结密度的影响

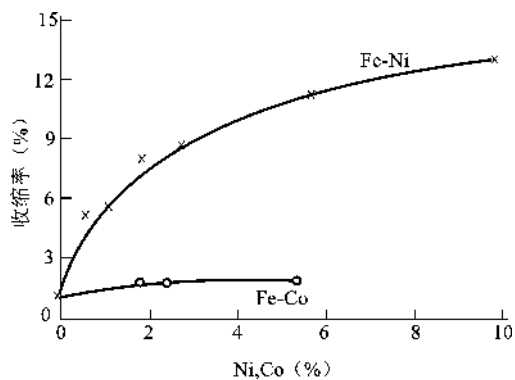


图 2 添加镍或钴对钨粉压坯收缩的影响

的方法。因为机械混合方法不可能在基体金属粉末颗粒表面形成活化的表层,所以其活化效果不十分明显。为此,金属添加剂要采用表面层沉积的方法加入。将添加金属盐(硝酸镍或硝酸钴)的溶液与基体金属粉末或其氧化物粉末混合,溶液蒸发后在基体金属粉末颗粒表面上形成一层薄的氧化物膜。为了使氧化膜还原,混合料需要在氢气中进行还原退火。

对添加合金元素的活化机理,还存在着不同的看法,但大部分人认为体积扩散是主要的。当基体金属颗粒粉末表面上覆盖一层偏扩散系数较大的其他金属薄膜时,由于金属原子主要是由薄膜扩散到基体金属颗粒中去的,因而在颗粒表面形成了大量的空位和微孔,其结果有助于扩散、粘结流动等迁移过程的进行,强化了烧结过程,使之收缩大大提高。

在粉末中添加活化剂

在烧结气氛中或粉末中加入卤化物可以促进烧结过程,特别是当制品成分中具有难还原的氧化物时,卤化物的加入具有特别良好的作用。在粉末中加入卤化物大多数为氯化物,其次是氟化物,通常加入氯化铵。当氯化铵分解时形成氯化氢。

在烧结过程中,氯化铵在边缘升华。这些蒸气渗入粉末间隙中,在粉末的表面,首先在铁粉颗粒的凸出部位发生反应生成氯化铁,其反应式为: $\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCl}$ 。氯化铁在 200℃ 以上就熔化。氯化铁熔体流入孔隙内,清除颗粒表面的杂质、氧化物以及吸附的薄膜,同时也有利于粉末间隙内表面原子的迁移。这些原子填充在颗粒间或晶界间的裂缝或缺陷中。

上述反应是一个可逆反应。高温挥发或分解的氯化铁,或者被氢气流带走,或者与气氛中的氢气反应再生成氯化氢和活化的铁原子,这样就使铁原子通过气相的迁移过程活化。新生成的氯化氢气体又与铁发生反应形成氯化铁,这样循环地发生反应。而活性的铁原子一般凝聚在颗粒表面的凹处或颗粒的接触处,这些地区自由

能最小。这样不仅加快了烧结过程，而且使孔隙球化，降低了铁基制品材料中的缺口效应，因而提高了强度和延伸率。见图 源景缘

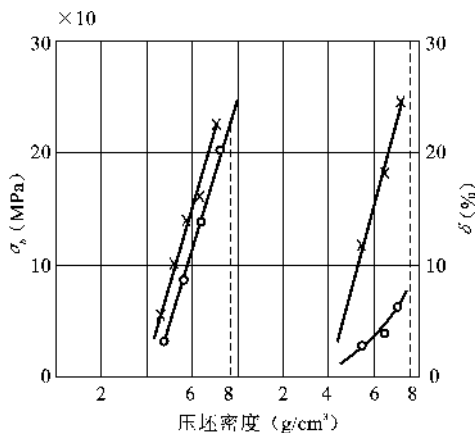


图 源景缘还原铁粉压坯在含有或没有均匀性的气氛中烧结的性能

物理活化烧结

利用超声波、机械振动、磁场、温度的周期性改变以及施加外应力，可以使一些粉末的烧结收缩和致密化程度提高。声波（超声波）对纯铁、铜、锡、镍、钨和钴、玻璃等粉末的烧结，可以提高烧结密度和抗压强度。机械和电磁振动对许多粉末，特别是硬质难熔化合物粉末的烧结与热压，都有显著的提高密度的效果。

在粉末烧结的同时，施加外应力是众所周知的工艺，如热压、热挤压等热成形技术，新近出现的电火花烧结、热等静压制，都能获得完全致密、晶粒细小、性能高的制品。

表 9-1 铜与铁的迁移激活能与外应力的关系

铜		铁	
外应力 σ (kg/cm^2)	激活能 Q (千卡/摩尔)	外应力 σ (kg/cm^2)	激活能 Q (千卡/摩尔)
0	12.5	0	12.5
10	12.5	10	12.5
20	12.5	20	12.5
30	12.5	30	12.5
40	12.5	40	12.5
50	12.5	50	12.5
60	12.5	60	12.5
70	12.5	70	12.5
80	12.5	80	12.5
90	12.5	90	12.5
100	12.5	100	12.5

外力促进粉末烧结与金属变形时原子的迁移激活能随外力增加而急剧降低有关。铜与铁的迁移激活能 Q 与外力 σ 的关系如表 9-1 所示,可以看出:当 σ 越小时, Q 为金属自扩散激活能,说明无应力时的金属变形是自扩散控制的。如外应力增加,金属迁移(变形)的激活能显著降低,甚至降到自扩散激活能的 $1/10$ 以下,因此,充分的外应力作用将使原子迁移的机构改变,扩散被滑移、粘结流动或塑性流动所代替,使原来需要很长时间才能完成的烧结过程能在很短时间、甚至瞬时完成。

电火花烧结

电火花烧结也可看成是一种物理活化烧结,也称为电活化压力烧结,这是利用粉末间火花放电所产生的高温,同时受外应力作用的一种特殊烧结方法。

电火花烧结原理如图 9-1 所示。通过一对电极板和上下模冲向模腔内的粉末直接通入高频或中频交流和直流叠加电流。压模由石墨或其他导电材料制成。依靠放电火花产生的热加热粉

末,和通过粉末与模具的电流产生的焦耳热升温。粉末在高温下处于塑性状态,通过模冲加压烧结,并且由于高频电流通过粉末形成的机械脉冲波作用,致密化过程在极短的时间内就完成。

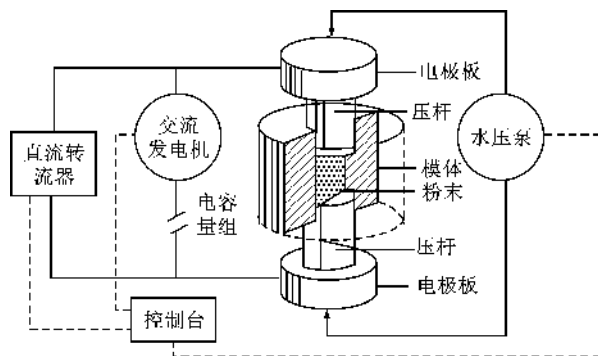


图 源景瑶电火花烧结原理图

电火花烧结过程如图 源景瑶所示。

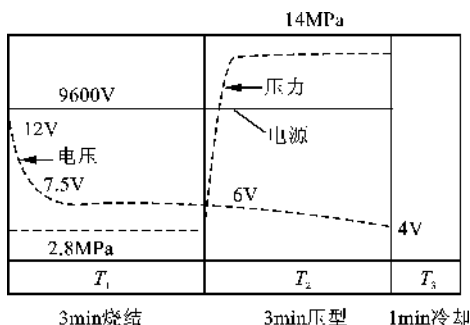


图 源景瑶电火花烧结过程示意图

第一阶段(栽):交流与直流组合电火花放电,电压 圆 圆云云栽
 第二阶段(栽):压力增加到 员 圆云云栽,进一步提高制品密度。第三

阶段(裁)：切断电流在压力下冷却。全过程共 苑自

火花放电主要在烧结初期发生,此时预加压力很小,达到一定温度后控制输入的电功率并增大压力,直到完成致密化。从操作看,这与一般电阻烧结或热压很相近,但有区别:①电阻烧结和热压仅仅靠石墨和粉末本身的电阻发热,通入的电流极大;②热压所用的压力高达 圆云云,而电火花烧结所用的压力低得多(几个兆帕)。电火花烧结的制品可做成接近致密件(一般可达理论密度的 怨豫 ~ 苑圆豫),也可有效地控制孔隙度。电火花烧结的应用范围有:

(夙)金属和合金制品。如钨、钼、铍及钴基、镍基耐热合金。

(圆)各种金属化合物合金。如 宰悦, 裁, 粤合金。

(猿)复合材料、纤维强化材料等。如金刚石钻头、裁原裁以及铍钛复合材料。

(源)生产大型制品。

第 缘章 摇岩石可钻性分级

缘章 摇岩石可钻性的发展历程

金刚石钻头是以岩石为主要工作对象的金刚石工具之一。岩石可钻性是指岩石被钻头钻进时所表现出来的难易程度。岩石可钻性分级是钻探工程施工技术设计的最重要理论依据之一。尤其在选择、设计、制造钻头时，更是离不开岩石可钻性。

据文献记载，最早指出岩石工程分级的是前苏联学者普罗托吉雅可诺夫。他在 缘世纪初提出了“坚固性”一说，他认为“岩石的坚固性”在各个方面趋于一致，可用一个方面的指标来表征，此指标称为岩石的坚固性系数 枣 他提出坚固性系数的数学表达式为：

$$\text{摇摇摇摇枣} = \frac{\text{砸}}{\text{陨}} \quad (\text{缘原员})$$

式中：枣——岩石的坚固性系数；

砸——岩石的抗压强度，噪早精^圆。

缘园年，美国 则援援 则曾提出以切割单位体积岩石的能量进行岩石分级。缘园年，美国 耘援援 曾和 匀援援 则曾提出了钻进效率是岩石硬度和韧性的函数的理论。同年，月援援 则曾第一次使用了“可钻性”这一术语，他认为预估钻速的惟一可靠方法是实际钻进经验。缘世纪 源年代，苏联的 A援援 苏哈诺夫提出按确定的技术条件，在实际生产过程中测定岩石可钻性，制订了苏联矿山的“岩石系统分级表”。缘世纪 缘年代初，苏联和西方学者

提出研究岩石物理力学性质与可钻性之间关系的课题。苏联 A. 涅立尔研究了包括岩石在内的脆性体硬度问题,提出了压入硬度分级表。与此同时,谢费尔德用小钻机测定钻速,同时分别测定岩石肖氏硬度、冲击强度、比重以及钻头的磨损,并对岩粉进行分析。这是第一次把岩石力学性质与可钻性联系起来的尝试。20 世纪 50 年代,日本的木下重教第一次探讨了可钻性与岩层的地质特性、结构特征等地质因素之间的关系。他认为肖氏硬度可以作为测定岩石可钻性的一个尺度。20 世纪 60 年代,美国学者 弗恩和 宰拔布布斯以及 悦环特更系统地进行了可钻性与岩石物理力学性质的研究。弗恩和 宰拔布布斯用金刚石钻头实验,寻找钻速和岩石抗压、抗拉、杨氏模量、剪切模量、肖氏硬度、比重等物理力学性质间的关系。悦环特综合三种钻进方法(冲击、回转、回转冲击),提出了岩石可钻性指标。

我国在 20 世纪 50 年代,仿照苏联采用的是岩芯钻探十二级分级法。1950 年,地质矿产部勘探技术研究所研制了摆球硬度计,用弹性硬度说明岩石可钻性。1951 年,东北工学院研制了凿岩机,用凿碎比功和钎头的磨损宽度划分岩石级别;1952 年利用凿岩机原理用模拟的方法研制了一种称为切槽法的可钻性分级法。从 1953 年起,中南工业大学开始系统地研究了压入硬度、点载荷强度、纵波速度、凿岩比功等岩石物理力学性质及其与钻进过程的关系,来对岩石进行分级,并于 1956 年提出了利用岩石物理力学性质并借助于数学方法的多因素岩石分级法——综合法。从 1957 年起中南工业大学提出并研究了用岩石对金刚石的磨损性和岩石对胎体的磨损性表示岩石可钻性的方法——粤月值法。

现行岩石可钻性分级法种类

现行岩石可钻性分级法种类

现有的岩石可钻性分级方法种类繁多，较有代表性的有下述几种：

压入硬度法

压入硬度法是利用压入硬度计测出岩石的压入硬度值作为岩石的可钻性指标。图 1-1 是压入硬度法测得浙江某矿岩石的压入硬度值与现场钻速的散点图。

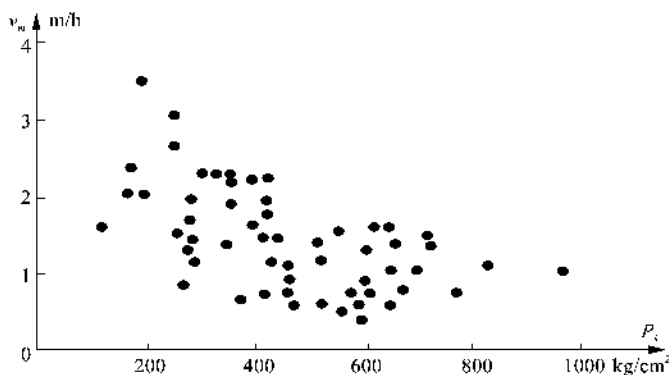


图 1-1 压入硬度值 (P_i) 与现场钻速 (v_w) 的散点图

由图 1-1 可以看出，有六种岩石的压入硬度值 P_i 相差很大，按压入硬度法应当把它们划归为同一等级。可是这六种岩石的实际钻进速度变化范围非常大，为 v_w 相差一倍，把实际钻速相差如此之大的岩石划归为同一类可钻性，这显然是不很合理的。

压入硬度法是测定岩石的某点或有限点抵抗外力入侵的能

力,而岩石是由大大小小不规则的矿物颗粒组成的。矿物颗粒在空间的排列是任意的,颗粒间存在很多空洞和缝隙,岩石结构上的这种特殊性决定了岩石各点的压入硬度值有很大的差异,整块岩石的可钻性不应该也不可能由某点或某几点的压入硬度值来确定。

圆点载法

点载法是由点载仪测得的,用点载强度系数(圆)作为衡量岩石的可钻性指标。点载强度系数由岩石样品在三向应力状态下产生破坏时的点载荷(孕)决定,具体可由公式(缘圆)计算所得:

$$\text{圆} = \frac{\text{孕}}{\text{阅}^2} \quad (\text{缘圆})$$

式中:圆——点载强度系数;

孕——试样破坏时的点载荷,噪;

阅——两个加载间的距离。

图 缘圆是点载法测得的浙江某矿岩石的点载强度系数与钻速的散点关系图。

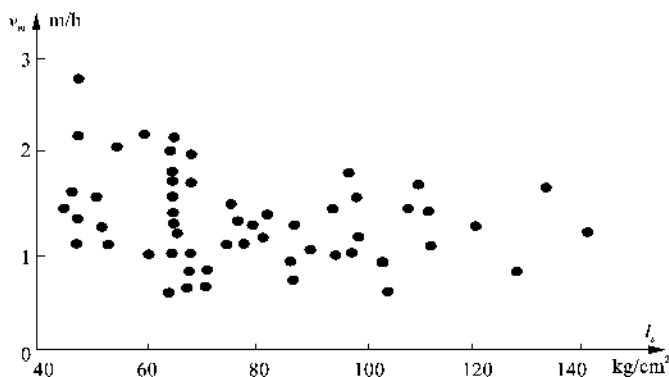


图 缘圆 点载强度系数(圆)与钻速(增)的散点图

从图 缘原圆的散点分布情况看,点载强度系数与钻速的相关程度很小,如点载强度系数为 远源早转^①时,对应的钻速范围为 园缘~ 园缘早转,几乎覆盖了整个测定的钻速范围,而在该范围内有怨种具不同钻速的岩石,从钻速表看,此怨种岩石很显然不属于同一可钻性级别,这说明点载法不能从可钻性上把岩石分开。这是因为岩石在三向应力状态下,产生张性破坏,而各种岩石都存在许多缝隙,岩石破坏是由于在缝隙处产生应力集中。这样点载法的测定结果实际上是岩石裂隙发育程度的反映。

獾啮碎比功法

啮碎比功法是将小型啮碎器(如图 缘原韵测得的岩石啮碎比功作为岩石可钻性分级的指标。

图 缘原原是啮碎比功法测得浙江某矿岩石的啮碎比功与钻速散点关系图。

从图 缘原原的散点分布情况可以看出,大部分岩石的比功值都在 园园早转 皂转^①左右,软硬岩石的啮碎比功虽然有所不同,但不明显,比较啮碎比功的大小很难确定出各岩石的可钻性级别。这是因为啮碎比功是针对啮岩破碎的,它的破碎岩石的方式反应了啮岩机的破碎岩石方式,不能用于回转钻进岩石分级。

灑纵波速度法

纵波速度岩石分级法是利用弹性波(纵波)在弹性媒质中传播速度的差异,来对岩石可钻性进行分级的。图 缘原缘是纵波速度法测得浙江某矿岩石纵波速度(增)

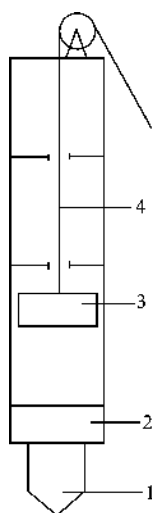


图 缘原韵小型啮碎器示意图

员—钎头;圆—冲击座;

猿—冲击锤;源—吊绳

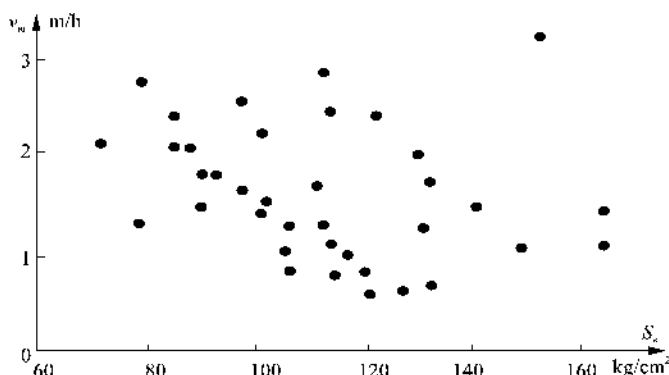


图 4-1 纵波速度 (v_p) 与钻速 (v) 的散点关系图

与钻速 (v) 的散点关系图。

图 4-1 的散点分布情况表明纵波速度 (v_p) 与钻速 (v) 几乎无相关关系。这样根据纵波速度法就不能分开岩石, 不可能用它直接进行可钻性分级。

地质博物馆于 1956 年制定了“纵波速度岩石可钻性分级标准 (草案)”。其分级方法是根据声波速度的高低对同一岩石定级, 声速高的可钻性级别高, 声速低的可钻性级别低。图 4-2 是反映砂质页岩的纵波速度与钻速的关系图。

在图 4-2 中, 根本看不到声波速度高岩石可钻性级别高, 声波速度低可钻性级别低的规律。相反, 随纵波速度的增加, 钻速亦增加。由此可见, 纵波速度对岩石可钻性的反映是极不准确的, 这是因为岩石本身根本不能算是一种完全弹性媒质, 弹性波是在岩石矿物颗粒、胶结物、空隙以及结构界面 (节理面、裂隙等) 上传播的, 岩石矿物成分、颗粒大小、胶结状况、孔隙度、松散程度等因素将会引起声速值的差异。这就是某些节理不高的软岩比硬岩的声速值高的原因所在。由此可见, 纵波速度作为岩石

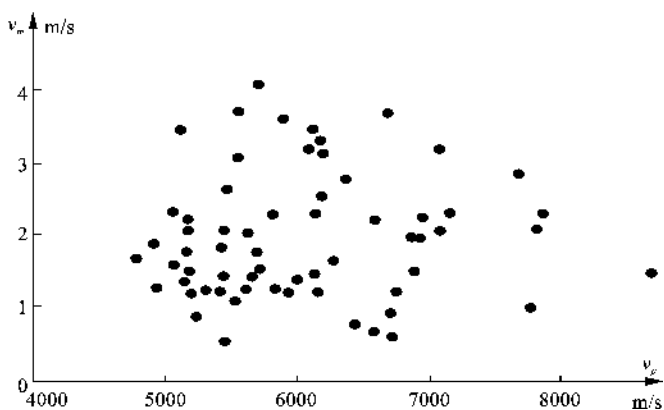


图 缘原缘 纵波速度与现场钻速的散点关系图

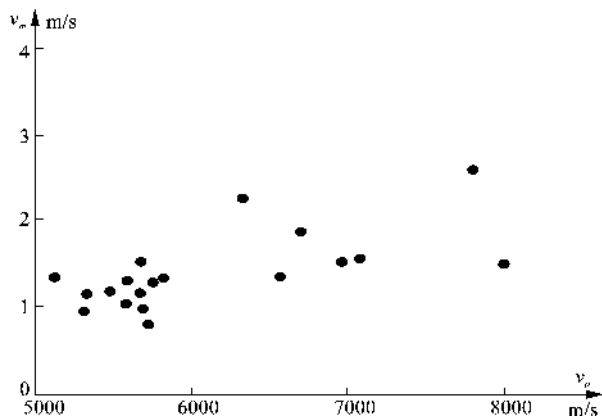


图 缘原缘 砂质页岩的纵波速度与钻速的关系图

结构、构造特性的量度似乎更合适些，而用纵波速度来反映岩石的可钻性是极不准确的。

缘综合法

既然岩石的各项物理力学性质分级法都从不同的程度上反映了岩石可钻性,就很容易使人们想到利用综合法来判断岩石的可钻性级别。即把以上各种方法所测出的结果按一定的方式综合起来,给出一个可钻性等级,则这种方法能够更准确地对岩石进行分级,因为各种方法都从不同侧面反映了岩石的物理力学性质,岩石的可钻性实质上就是由岩石本身的客观性质所决定的,各种方法可以相互补充,综合起来就比较全面了。

这种看法表面上似乎很有道理,但实践证明它还是难以满足钻探生产的需要。综合法实质上就是把岩石的各项物理力学性质分级法看成岩石分级的单因素,对各方法作线性回归分析,然后用模糊数学处理得出岩石的可钻性级别。表 缘原员是综合法测得湖南某矿区的岩石分级情况。

由表 缘原员可以看出,综合法所测得的岩石级别与现场实际钻进效率存在较大的差异,所以综合法虽然看似有一定道理,但是其分级准确度仍然很低,如 愿级岩石钻速为 员源- 员圆 转,缘级岩石的钻速为 员圆- 员缘 转,愿级岩石比 缘级岩石还容易钻进,把钻速为 园缘- 员圆 转、园缘- 员圆 转、园缘- 员圆 转的三种岩石都划分为 苑级可钻性,显然是不恰当的。所以综合法同样不能满足钻探生产要求。

表 缘原员 摇岩石可钻性综合法分级与现场钻速比较

岩石名称	可钻性级别	现场钻速 (皂转)	岩石名称	可钻性级别	现场钻速 (皂转)
硅质灰岩	愿	员源- 员圆	粉砂岩	缘	员源- 员圆
细砂岩	苑	园缘- 员圆	砂质泥岩	源	园缘- 员圆
硅质泥岩	苑	园缘- 员圆	中细粒砂岩	愿	员源- 员圆
泥灰岩	远	员源- 员圆	菱铁质灰岩	苑	园缘- 员圆

微钻法

用微钻法测定岩石可钻性,从其测试原理来讲,可以得到很准确的结果,但是它存在以下较难克服的问题:

(1) 钻头标准化问题

钻头标准化是一个相当困难的问题,因为:一方面,由于同品级金刚石强度和粒度是在一定范围内变化的,不可能保证每个测试钻头的金刚石强度和粒度完全一致;另一方面,钻头的制造过程是一个相当复杂的过程,其性能不仅与钻头配方、烧结温度、保温时间、升温速度、烧结压力等有关,而且还受石墨母模、模芯、钢体之间的配合公差及水口、水槽尺寸的影响,而要使上述诸因素对每个钻头相同且统一,是相当困难的。

表 缘原圆 钻头金刚石浓度出露变化表

出露浓度 (豫)	员豫猿	员豫圆	员豫圆	员豫四	员豫愿	员豫源	员豫源	员豫怨	园豫四	园豫五	园豫圆
钻速 (皂转)	猿豫猿	园豫圆	园豫苑	园豫猿	猿豫源	缘豫源	猿豫猿	园豫四	园豫五	园豫四	园豫四
累计进尺 (皂)	园豫圆	园豫源	园豫苑	园豫愿	员豫四	员豫圆	员豫源	员豫怨	园豫四	园豫源	园豫怨

摇摇注 表中金刚石出露浓度为面积浓度。

(2) 测量长度应超过钻头性能变化的周期长度

钻头性能的周期变化是由于孕镶金刚石钻头在钻进过程中自锐换层(即新陈代谢)所引起的。表 缘原圆 是小钻头在微钻试验台上,在钻进规程不变的前提下,钻进耐酸瓷砖所得的金刚石浓度出露变化表。

从表 缘原圆 可以看出:第一,在工作层上实际工作的金刚石浓度是不断变化的,而且钻速也随着变化,从浓度为 员豫猿 豫时开始,钻速分别为 缘豫源 皂转逐渐降为 园豫四 皂转,这说明即使是同一个

钻头在不同的阶段,它的性能是不同的。第二,钻头对于瓷砖一个周期要钻进 10mm 以上,这样如果用钻头的一个周期的数据来判断岩石可钻性,就需要大量的岩样,给测试带来一定的困难。另外,对于不同的岩石其周期长度完全有可能不一样。

(猿) 钻头性能变化不定问题

钻头性能的变化是由于孕镶金刚石钻头在钻进过程中的金刚石新陈代谢所引起的。表 5-10 列出了一小钻头在相同钻进规程条件下进行微钻试验,钻进中粗粒花岗岩(湖南丁字湾麻石)所得的钻头钻速变化表。

表 5-10 孕镶金刚石钻头钻速变化表

回次	钻速 (mm/min)	回次	钻速 (mm/min)	回次	钻速 (mm/min)	回次	钻速 (mm/min)	回次	钻速 (mm/min)
1	1.2	2	1.5	3	1.8	4	1.5	5	1.2
6	1.2	7	1.5	8	1.8	9	1.5	10	1.2
11	1.2	12	1.5	13	1.8	14	1.5	15	1.2
16	1.2	17	1.5	18	1.8	19	1.5	20	1.2
21	1.2	22	1.5	23	1.8	24	1.5	25	1.2
26	1.2	27	1.5	28	1.8	29	1.5	30	1.2
31	1.2	32	1.5	33	1.8	34	1.5	35	1.2

从表 5-10 可以看出:各回次之间钻头很少有钻速完全相同的情况,出现的最高钻速为 1.8mm/min,而最低钻速只有 1.2mm/min,直到钻头最后出现打滑。这样,无法选定用某个或某几个钻速值来表示岩石钻进的难易程度。

由于上述原因,微钻法测定岩石可钻性级别,不仅难度很大,而且其准确性也受到很大的影响。

切槽法

切槽法的测试岩样取自现场钻孔的岩心,按适合于钻进硬岩

的钻头配方，制成孕镶金刚石试棒，用一定的载荷压在回转的岩心侧面上，如图 1 所示，边转边刻出一道环形沟槽，用清水冲洗切槽时产生的岩屑，一次切槽回转 180°。切后用切槽直径的变化 Δd 来表示岩石的坚固程度，用试棒的失重 ΔW 表示岩石的研磨性，以岩心失径 Δd 和试棒失重 ΔW 两项指标综合表示岩石可钻性。

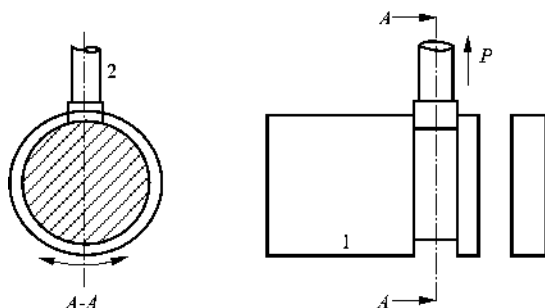


图 1 缘形切槽法示意图

1—岩心；2—试棒

研究者认为岩石可钻性主要包括岩石的坚固程度和研磨性两个方面，故而以在一次测量中同时取得反映岩石可钻性上述两个侧面的岩芯失径和孕镶金刚石试棒失重两项指标来综合表示岩石可钻性。

由于孕镶金刚石试棒的加工存在与微钻法用小钻头的同样问题，各试棒性能难于精确控制一致，致使各金刚石试棒的性能各异。通过对 10 根试棒进行检验试验，由于上述原因引起的测试数据离散系数岩芯失径平均为 0.15，最高达 0.25，金刚石试棒失重平均为 0.15，最高达 0.25。另外，试棒在切削岩芯的过程中，性能也和微钻法用小钻头一样是不断变化的，因试棒为孕镶试棒，同样存在金刚石换层和新陈代谢问题。根据检验试验，得出试样离散系数岩芯失径平均为 0.15，最高达 0.25，试

棒失重平均为 0.015 g ，最高为 0.025 g 。所以切槽法的分级结果虽然模拟性强，较前述各方法有所提高，但由于试棒标准化问题给测试带来很大误差，致使其结果仍然有较大误差，影响其实用性。

缘 缘 缘 现行岩石分级法的不足

通过对上述各方法的分析，可知目前使用的岩石可钻性分级方法，均存在这样或那样的不足。综合上述分析，可以发现：

(员) 按岩石物理力学性质分级，由于其忽略了对金刚石钻进过程的模拟，可以认为其不太可能是金刚石钻进中岩石分级的发展方向。因按岩石物理力学性质分级纯粹是对岩石各项物理力学性质的测定，目前岩石各项物理力学性质对金刚石钻进的难易程度的影响尚无法确定，所以即使能准确测定某岩石的各项力学指标，也不可能准确地计算出岩石在金刚石钻进时的可钻性。

(圆) 由于模拟法是直接对金刚石钻进过程的模拟，暂时把岩石的物理力学性质置于一边，而重点考虑如何使测量方法正确反映金刚石钻进的碎岩机理，从而测定出金刚石钻进各种岩石时的难易程度，所以较按岩石物理力学性质分级前进了一大步。但由于其碎岩工具难于在模拟的基础上实现标准化，直接影响其测定的准确性，而使得其测定准确度较理论上大为降低。

(猿) 根据目前的技术和水平，很难做到使金刚石试棒或小钻头的标准化。

(源) 如果解决了模拟法的标准化问题，那么，金刚石钻进分级法就会在模拟法的基础上前进一大步，所以解决模拟切削法切削工具标准化问题，是研究金刚石钻进分级方法的关键。

(缘) 如果能准确了解到每次测量时切削具的性能变化，那么就间接地解决了切削具的标准化问题，即用标准岩石对切削具进行标定就可以解决问题。

石锯片切割容易的岩石，用金刚石钻头钻进也容易；相反金刚石锯片切割困难的岩石，用金刚石钻头钻进也困难。

第二，用金刚石锯片同时切割瓷棒与岩样，锯片性能的变化，对瓷棒与岩样是相同的，即锯片在切割瓷棒时，金刚石的工作性能和方式与金刚石锯片切割岩样时是基本一致的，对测量结果没有多大影响。金刚石锯片锋利时，对瓷棒与岩样都锋利。锯片磨钝时，对两者也都钝。

瓷棒是用瓷砖加工成的，是人造岩石，由专门厂家提供，可保证性能稳定。将岩石与瓷棒比较，为可钻性中岩石 粤值分级找到了可靠的标准。这个方案的特点在于：它不是以金刚石锯片切割岩样的快慢来定可钻性 粤值，而是以锯片同时切割出的体积比来定岩石可钻性 粤值；它不是以锯片为标准，而是以瓷棒为标准。瓷棒性能稳定，测量误差小，同时满足模拟性的要求。该方案解决了以前岩石可钻性分级中难以解决的标准化与模拟化矛盾问题。

根据上述原理研制了岩石 粤值测定仪，它主要由四部分组成：

(员) 机械传动部分

由电动机经过三角皮带传动动力至变速轮，变速轮变速后，带动金刚石锯片旋转。金刚石锯片的旋转线速度为 $v_{\text{线}} = \pi n r$ 标准岩样和被测岩样直径均为 $\phi = 50$ 毫米左右。

(圆) 油压给进部分

为了使标准岩样和被测岩样具有相同给进力，仪器设计为液压给进加压方式。即在金刚石锯片两侧各安置一固定油缸，在油缸活塞端安装有岩样夹具，该夹具用来夹持标准岩样和被测岩样；同时在岩样夹具上设计有导向装置，用以防止活塞在测试过程中出现振动和偏移，导致标准岩样和被测岩样夹卡金刚石锯片。

(猿) 冷却水路部分

为了防止金刚石锯片在切削岩石过程中因发热而损坏，金刚石锯片在切削岩石时，必须通水冷却。标准岩样和被测岩样共设

计有四个水管冲洗冷却，以保证仪器能被正常使用。

(源) 控制电路部分

由于该装置是一种室内测试仪器，每次测试时切削岩样的时间比较短，电机启动频繁，电路中设计有通断电保护装置，以保证电器和电机的安全。

粤值测定仪的工作原理见图 缘原愿

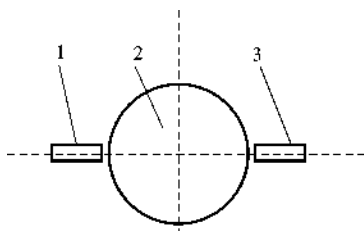


图 缘原愿 粤值测定仪工作原理图

员—测定岩样；圆—电镀金刚石锯片；猿—标准岩样

岩石 粤值测定仪所选用的切削具为电镀金刚石锯片，研究认为选用电镀金刚石锯片较为合适，其原因在于：电镀金刚石锯片切削岩石模拟了生产中锯片切削锯切材料的破碎机理；电镀金刚石锯片性能变化缓慢，具有一定的相对稳定性；电镀金刚石锯片切削岩石时切削量小，对保证切削过程中性能的相对稳定有利。

岩石 粤值测定仪所用的作为标准的岩石最好是均质、各向同性体。而任何天然岩石是不可能达到这一要求的，因而只能选择专门厂商用固定工艺配方生产的人造岩石作为标准岩石，测定中选定耐酸瓷砖，其性能稳定，使比较标准更为准确。耐酸瓷砖的抗压强度大于 缘原原 缘原原^圆，抗拉强度大于 缘原原 缘原原^圆，莫氏硬度为 苑- 愿级。

岩石经 粤值测定仪测定后，其大小可按下式计算得出：

$$\text{摇摇摇摇粤越} \frac{\text{灾} \cdot \text{阅} \cdot \text{匀} \cdot \text{凿}}{\text{灾} \cdot \text{阅} \cdot \text{匀} \cdot \text{凿}} \text{伊愿越} \frac{\text{灾} \cdot \text{阅} \cdot \text{匀} \cdot \text{凿}}{\text{灾} \cdot \text{阅} \cdot \text{匀} \cdot \text{凿}} \text{伊愿} \quad (\text{缘原})$$

式中：灾—锯片在标准岩样上切割出的体积；

灾—锯片在被测岩样上切割出的体积；

阅—锯片在标准岩样上的切割长度（近似为标准岩样的直径）；

阅—锯片在被测岩样上的切割长度（近似为被测岩样的直径）；

匀—锯片在标准岩样上的切割深度；

匀—锯片在被测岩样上的切割深度；

凿—锯片在标准岩样上的切缝宽度；

凿—锯片在被测岩样上的切缝宽度。

由于标准岩样和被测岩样是同时由同一金刚石锯片进行切削，所以 $\frac{\text{灾}}{\text{灾}} = \frac{\text{阅}}{\text{阅}}$ ，故有

$$\text{摇摇摇摇粤越} \frac{\text{阅} \cdot \text{匀} \cdot \text{伊愿越}}{\text{阅} \cdot \text{匀} \cdot \text{伊愿}} \frac{\text{杂}}{\text{杂}} \text{伊愿} \quad (\text{缘原})$$

式中：杂—锯片在标准岩样上的切割面积；

杂—锯片在被测岩样上的切割面积。

式中系数 愿的意思是设定标准岩样的 粤值为 愿，仅为比较的方便。

测试时，为了减小岩石 粤值测定仪的系统误差，在使用前要用弹簧测力计校正两油缸的压力，使两油缸的压力差控制在 员以内。在测定时，为了保证结果的相对准确，可选定一侧油缸活塞专门安放标准岩样，另一侧油缸活塞专门安放被测岩样。仪器测试时工作条件为：

电动机：园 三相交流电机；

油缸活塞压力：员~ 缘 无级可调；

锯片线速度：员 转/分

冷却冲洗液：清水。

每种岩石测定三个岩样，按公式(缘原缘)计算后，取平均值。
有关几种岩石的粤值测定结果列于表 缘原缘

表 缘原缘 测定仪测得的几种岩石 粤值

序号	岩石名称	粤值	序号	岩石名称	粤值	序号	岩石名称	粤值
员	中粗粒黑云母花岗岩	远缘	员	辉岩	愿缘	员	中等硅化灰岩(员)	远缘
圆	强硅化灰岩(员)	员缘	圆	石英岩	怨缘	圆	中等硅化灰岩(圆)	愿缘
猿	致密石英岩	员怨	猿	玉燧	员缘	猿	中等硅化灰岩(猿)	愿缘
源	强硅化灰岩(圆)	怨缘	源	硅质岩	员缘	源	弱硅化灰岩(员)	缘缘
缘	含包裹体花岗岩	怨缘	缘	页岩	缘缘	缘	弱硅化灰岩(圆)	远缘
远	强硅化灰岩(猿)	愿缘	远	白云岩	猿缘	远	花岗岩(员)	缘缘
苑	粗粒等粒花岗岩	愿缘	苑	结晶灰岩	缘缘	苑	花岗岩(圆)	苑缘
愿	不含包裹体花岗岩	苑缘	愿	灰岩	远缘	愿	黑色硅化岩	员缘
怨	中粒斜长花岗岩	苑缘	怨	石英砂岩	愿缘	怨	细砂岩	缘缘
园	中粗粒斑状花岗岩	苑缘	园	粗砂岩	缘缘	园		

缘原缘 岩石对钻头胎体的磨损性(岩石 月值)

岩石 月值是指岩石对钻头胎体的磨损性，岩石 月值越大，表明岩石磨损钻头胎体的能力就越强。岩石 月值和岩石的胶结程度、矿物粒度、矿物成分等有关，岩石 月值是这些因素的综合反映，是孕镶金刚石钻头胎体设计的主要依据。

岩石矿物成分对岩石 月值的影响，主要取决于矿物的硬度。矿物硬度愈硬，岩石对钻头胎体的磨损性就越高。在岩石的所有矿物成分中，硬度较高且最常见的是石英。在常见岩石中，石英的含量对岩石 月值影响最大，其特点是硬度高，对钻头胎体具有强烈磨削能力。

不同的岩石，其矿物粒度和胶结程度也可能互不相同。岩石矿物粒度大小的区别导致岩石在被钻进时，产生的岩粉粒度大小也不一样；岩石矿物颗粒的胶结松紧程度的不同，导致产生的岩粉量多少不一样，从而表现为岩石对钻头胎体磨损能力的差别。

岩石一般是非均质体，颗粒呈无规律嵌布。岩石中矿物粒度大小和粒度间胶结的牢固程度对岩石 R_p 值均有着非常大的影响。而要研究岩石矿物粒度和胶结的牢固程度对岩石 R_p 值的影响规律，是一件非常困难的工作。研究者探讨了用压剪破坏测定法来研究岩石的矿物粒度和胶结状态对岩石 R_p 值的影响结果。日常生活常识表明，对于由相同材料构成的物体，其体积越小，则在压剪破坏前产生的变形位移量就越小；同样，对于同质构件，结构愈疏松，则在压剪破坏前产生的变形位移量就越小。这样一来就可以用岩石在压剪破坏前产生的变形位移量大小来体现岩石的矿物粒度和胶结状态情况。

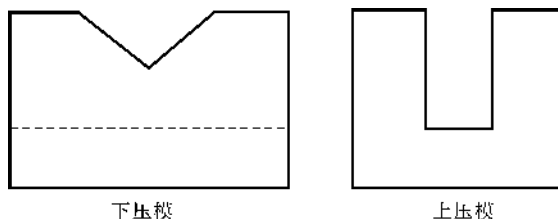


图 5-1 压剪测定法岩石夹持器

岩石在压剪破坏前产生的变形位移量的具体测定方法是：用自行设计制造的岩石夹持器夹持好岩样（如图 5-1），将它们放在电液伺服控制材料力学试验机上，进行受压剪试验，绘出岩样破坏前的压剪力与位移的关系曲线。通过分析比较各岩样破坏前所产生的位移量，就可推断出岩石中矿物粒度和矿物粒度间的胶结程度与岩石发生压剪位移的关系，根据该关系就可得

知矿物粒度和矿物粒度间的胶结程度与岩石月值的关系。进行压剪试验的岩样尺寸为： $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ ，图 2-10 绘出了各种岩石破坏前的压力与位移的关系曲线。研究表明：岩石中的矿物粒度愈细，则岩样在压剪破坏前的位移量就愈小；岩石中矿物粒度间胶结愈疏松，则岩样在压剪破坏前的位移量也就愈小。相反，岩石中的矿物粒度愈粗，则岩样在压剪破坏前的位移量就愈大；岩石中矿物粒度间胶结愈牢固，则岩样在压剪破坏前的位移量也就愈大。

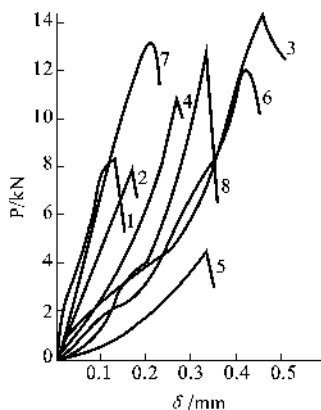


图 2-10 各种岩石破坏前的压剪力与位移量的关系曲线

1 粗粒花岗岩 δ 2 中粒花岗岩 δ 3 粗粒花岗岩 δ

4 生物碎屑灰岩 δ 5 大理石 δ

6 石英细砂岩 δ 7 泥质粉砂岩 δ

8 粗粒花岗岩 δ 标准瓷砖 δ

δ 为岩样压剪破坏前的位移量

岩石中的矿物粒度对钻头胎体的磨损规律为：岩石对钻头胎体的磨损随岩石中的矿物粒度增大而减弱，即岩石月值随岩石中的矿物粒度增大而减弱。而岩石压剪破坏前的变形位移量是随

岩石中的矿物粒度增大而增大的，故岩石月值随岩石压剪破坏前变形位移量的增大而减小，岩石压剪破坏前变形位移量越大，则岩石月值越小。另一方面，岩石压剪破坏前变形位移量越小，则说明岩石的脆性越大，岩石较易破碎；岩石越易破碎，就意味着该岩石对钻头胎体磨损越强，即岩石月值就越大。

当岩石中的矿物颗粒间胶结比较疏松时，岩石较易被破碎，则意味着该岩石对钻头胎体的磨损越强，即岩石月值就越大。而岩石中的矿物颗粒间胶结越疏松，其压剪破坏前变形位移量就越小。故从岩石中的矿物颗粒间的胶结程度来考虑，矿物颗粒间胶结越疏松，压剪破坏前变形位移量就越小，岩石月值就越大。

综合上述分析，说明岩石月值与岩石压剪破坏前变形位移量成反比关系，即岩石压剪破坏前变形位移量越大，岩石月值就越小；相反，岩石压剪破坏前变形位移量越小，岩石月值就越大。

通过对岩石的矿物硬度、矿物粒度大小和胶结松紧程度状态与岩石月值的影响规律关系的讨论，表明岩石月值主要取决于岩石矿物硬度、矿物粒度大小和矿物颗粒间胶结松紧程度状态。而岩石矿物粒度大小和矿物颗粒间胶结松紧程度状态是通过岩石在压剪作用下产生破坏前的变形位移量来体现的，这样岩石月值应是与岩石的矿物硬度和岩石在压剪作用下产生破坏前的变形位移量有关的函数关系，即

$$\text{摇摇摇摇月越枣再, } \delta \text{) } \quad (\text{缘泉缘})$$

式中：月——岩石月值；

枣——函数关系式；

再——岩石的综合矿物硬度；

δ ——岩石在压剪作用下产生破坏前的变形位移量。

函数关系式枣的确定不可能通过一系列的公式推导而得到（至少到目前的研究水平是这样），要精确得出该函数关系式，难度极大。根据经验和分析，研究者认为岩石月值与岩石的矿物硬

度和岩石在压剪作用下产生破坏前的变形位移量间的函数关系式可简化为：

$$\lambda = \frac{K \cdot R}{\delta} \quad (10)$$

式中： λ ——岩石 λ 值；

K ——与岩石在压剪作用下产生破坏前变形位移量有关的修正系数；

R ——岩石的综合矿物硬度；

δ ——岩石 δ 值；

K ——系数，其意义是设定标准岩石 λ 值为 1，仅为比较的方便。

式(10)中修正系数 λ 可通过下面公式计算：

$$\lambda = \frac{\delta_{\text{标}}}{\delta_{\text{测}}} \quad (11)$$

式中： $\delta_{\text{标}}$ ——标准岩石(瓷砖)在压剪作用下产生破坏前的变形位移量；

$\delta_{\text{测}}$ ——被测定岩石在压剪作用下产生破坏前的变形位移量。

岩石的综合矿物硬度可用摩氏硬度表示，按下公式计算得到：

$$R = \frac{1}{\frac{C_1}{R_1} + \frac{C_2}{R_2}} \quad (12)$$

式中： R ——岩石的综合矿物摩氏硬度；

C_1 ——第一种矿物在岩石中的含量；

R_1 ——第一种矿物的摩氏硬度；

C_2 ——第二种矿物在岩石中的含量；

R_2 ——第二种矿物的摩氏硬度；

载₁——第 1 种矿物在岩石中的含量；

再₁——第 1 种矿物的摩氏硬度。

表 5-1 几种岩石的 粤、月值、压剪变形位移、摩氏硬度

编号	岩石名称	岩石 粤值	压剪变形位移	摩氏硬度	岩石 月值
员	中粒长石花岗岩	苑愿	园猿猿	远苑	圆
圆	粗粒长石花岗岩	苑缘	园猿远	缘苑	员缘猿
猿	生物碎屑灰岩	缘圆	园猿圆	猿苑	缘苑
源	大理石	缘缘	园猿缘	员怨	缘怨
缘	石英细砂岩	苑怨	园猿圆	远怨	怨远
远	泥质粉砂岩	缘愿	园猿圆	圆苑	猿苑
苑	粗粒等粒花岗岩	愿猿	园猿愿	缘苑	员猿

根据测定和计算结果，上述 员~苑 岩样的岩石 粤、月值、压剪变形位移、摩氏硬度均列入表 5-1。

根据得到的岩石 月值情况，可将钻进地层依据岩石 月值大小分为以下四类：

第一类，岩石 月值在 圆以上，即 $月 \geq 圆$ ，称这类地层为特强研磨性地层；

第二类，岩石 月值在 员远至 圆之间，即 $员远 \leq 月 < 圆$ ，称这类地层为强研磨性地层；

第三类，岩石 月值在 愿至 员远之间，即 $愿 \leq 月 < 员远$ ，称这类地层为中等研磨性地层；

第四类，岩石 月值在 愿以下，即 $月 < 愿$ ，称这类地层为弱研磨性地层。

第 2 章 金刚石钻头

2.1 概述

2.1.1 金刚石钻头的类型

金刚石钻头的类型分类可以按不同的方式划分。按胎体包镶金刚石的方式不同分为表镶、孕镶和混合金刚石钻头；按金刚石类型不同分为天然金刚石钻头(表镶、孕镶和复合片钻头)和人造金刚石钻头(聚晶、复合片表镶钻头和单晶孕镶钻头)；按用途不同分为地质勘探、工程勘察、民用建筑和专用钻头等；按采用的钻具不同分为普通单管、双管和绳索取心钻头；按施工目的的不同分为取心钻头和不取心(全面)钻头。

2.1.2 钻头类型的使用范围

我国岩心钻探岩石可钻性等级分类法确定各类型钻头的使用范围列于表 2.1。

表 2.1 金刚石钻各类型钻头的使用范围

岩石可钻性等级	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
岩石类别	松散	较松散	软的	较软的	稍硬的	中等硬度	中等硬度	硬的	硬的	坚硬的	坚硬的	最坚硬的
代表性岩石	冲积层砂土层	黏土	泥灰岩	页岩	细颗粒石灰岩	千枚岩板岩	闪长岩	花岗岩	硅质灰岩	流纹岩	石英岩	碧玉
复合片钻头				灾	灾	灾	灾					

摇摇续表

岩石可 钻性等级	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
表镶天然 金刚石和 聚晶钻头					灾	灾	灾	灾				
人造单晶孕 镶钻头							灾	灾	灾	灾	灾	灾
绳索取心金 刚石钻头						灾	灾	灾	灾	灾	灾	灾

远 孕镶金刚石钻头结构参数选择原则

孕镶金刚石钻头适用于钻进中硬至坚硬岩石，也可适用于钻进钢筋混凝土、陶瓷、耐火材料、水泥制品、纤维玻璃和其他硬脆非金属材料。孕镶金刚石钻头目前主要采用人造金刚石单晶，该类钻头具有抗冲击、抗磨损的特点，并且价格低廉，钻头在较高效率下工作，能获得较好的技术经济效果。

远 孕镶钻头组成

孕镶金刚石钻头由胎体和钻头钢体组成，如图 2-1 所示，胎体又分为工作层和非工作层，工作层中含硬质合金类金属粉末和金刚石。非工作层仅为硬质合金类金属粉末，钻头的工作层高度 H 一般为 $10 \sim 20$ mm，它主要取决于钻头的保径材料质量和设计、使用者的目的和要求。设计时若钻头的内外径磨损过快，工作层高度 H 值可低些，一般取 $10 \sim 15$ mm。钻头的工作层和非工作层总高 H_0 为 $20 \sim 30$ mm，该值大，钻头的稳定性好。当钻头的外径和内径确定后，钻头工作层的环状壁厚度 δ 就确定了， δ 越圆， H 值小，

钻进效率高，金刚石耗量少，但钻头耐磨性差，寿命较短。

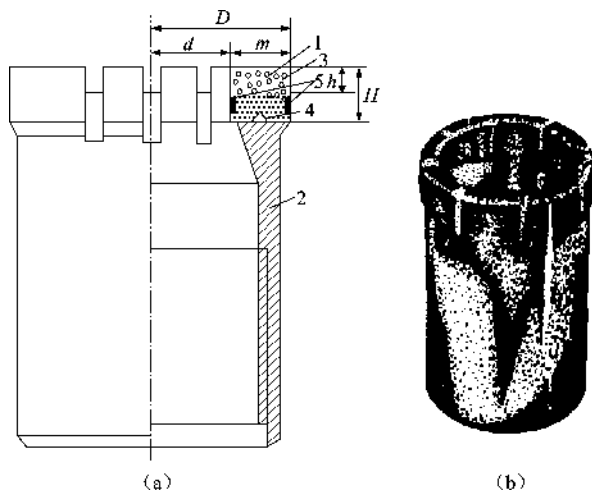


图 1-10 孕镶钻头组成结构图

1—胎体；2—钻头钢体；3—金刚石；4—合金粉末；5—保径材料
D—钻头外径；d—钻头内径；m—钻头壁厚；H—胎体高度；5h—工作层高度

1-11 孕镶胎体唇面形状

对于一般的钻头，其唇面形状通常为平底形，当钻头工作一定时间后，钻头唇面的内外刃部分就会形成一定的弧形。对于唇面形状为同心圆尖齿形、阶梯尖齿形的孕镶金刚石钻头（如图 1-11 所示），其唇面能造成较多的自由面，有利于提高钻进效率，并且有防斜效果。若钻头钻进的地层岩石破碎或软硬互层，可以采用阶梯形底喷式水眼唇面（见图 1-12）。若钻头钻进的地层岩石坚硬致密，研磨性又弱，为了提高钻进效率，采用交错式唇面，也可能会有有一定的效果（如图 1-13 所示）。

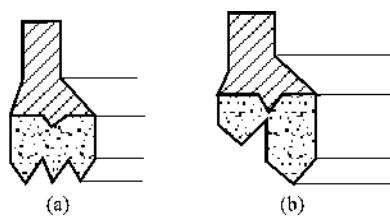


图 2-10 摇钻头的同心圆尖齿形唇面
(a) 摇钻头的同心圆尖齿形唇面
(b) 摇钻头的阶梯尖齿形唇面

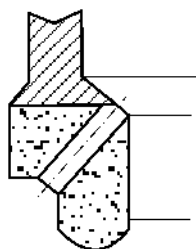


图 2-11 摇钻头的阶梯形底喷式唇面

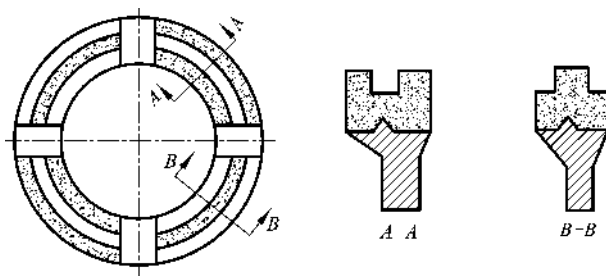


图 2-12 摇钻头的交错式唇面

远源圆 孕镶金刚石胎体工作层

孕镶金刚石钻头的工作层由硬质合金类金属粉末和金刚石组成，金刚石是随机地分布在硬质合金类金属粉末胎体中的。

长期以来，传统的观念认为，采用粉末冶金法制造的金刚石钻头，其金刚石是机械包嵌，即由于胎体热胀冷缩的应力所包嵌，按照这种观念，当钻头胎体磨损高度等于金刚石半径时就会脱落，但实践证明，目前所使用的孕镶金刚石钻头，当胎体磨损大大超过金刚石的半径时，金刚石仍被胎体牢固地粘结，这表明胎体对金刚石不仅有机械包嵌作用，而且同时有物理化学作用。

孕镶金刚石钻头工作时，当钻头与岩石接触后，在轴向压力和回转力的作用下，钻头唇面开始磨损，使金刚石出露(出刃)破碎岩石，在破碎岩石过程中，金刚石本身也不断磨损；与此同时，被破碎下来的岩屑对胎体不断进行磨损，以保证金刚石具有充分的出刃。当金刚石磨损至失去了工作能力后才落入孔底，这时在胎体中又出露新的金刚石，继续破碎岩石。

表 远源圆 孕镶钻头胎体 匀圆说值的适用范围

岩石性质	中硬—硬， 中等研磨性	硬—坚硬， 强研磨性	硬—坚硬， 弱研磨性
匀圆说值	猿缘- 源圆	源缘- 缘圆	圆圆- 猿圆

钻头胎体性能指标应以耐磨性来表示，但是，目前国内外尚无统一测定胎体耐磨性的方法，只得用洛氏硬度 匀圆说来表示钻头胎体性能。对于孕镶金刚石钻头，胎体的 匀圆说值的大致适用范围见表 远源圆 表 远源圆列出了钻头胎体硬度 匀圆说 胎体耐磨性能与所适应钻进的岩石性质情况。

表 4-1 金刚石钻头胎体硬度与胎体耐磨性能与所适应钻进的岩石性质

胎体硬度		胎体耐磨性能	适应钻进的地层性质
等级	硬度		
特软	10~15	低	坚硬、致密、弱研磨性岩层
软	15~20	低, 中	坚硬、致密、弱研磨性岩层, 坚硬、中等研磨性岩层
中软	20~25	低, 中	硬、弱研磨性岩层, 硬、中等研磨性岩层
中硬	25~30	中高	硬、中等研磨性岩层, 中硬、中等研磨性岩层
硬	30~35	高	硬、强研磨性岩层
特硬	35~40	高	硬—坚硬、强研磨性岩层, 硬脆碎岩层

4.1.2 金刚石品级和粒度

金刚石品级和粒度的选择原则是：岩石愈硬，选用粒度较细和品级较高的金刚石，岩石较软则选用粗粒金刚石，见图 4-1 和表 4-2。

表 4-2 金刚石粒度、品级与岩石的对应关系

岩石特性	中硬研磨性岩层(20~25级)	硬—坚硬、裂隙性或破碎的强研磨性岩层(30~35级)	硬—坚硬、弱研磨性岩层(30~35级)
金刚石粒度(目)	40~60	60~80	80~100
金刚石品级	20~25	30~35	30~35

4.1.3 金刚石浓度

孕镶金刚石钻头的金刚石浓度用体积浓度表示，即

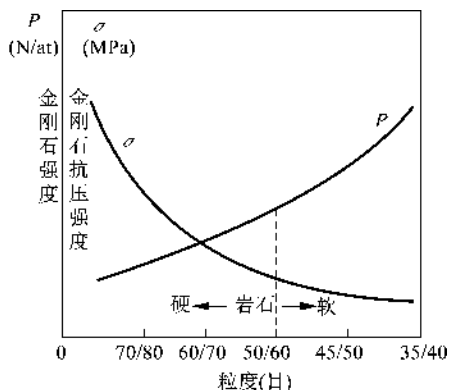


图 远京 金刚石粒度与岩石的对应关系

摇摇摇摇越伊元像 (远京员)

式中： σ ——金刚石在钻头胎体中所占的体积；

σ ——钻头工作层部分胎体体积。

当越伊元像时，砂轮工业浓度制称为该浓度的员元像，这时每员元胎体中含金刚石的重量为：

员元伊元像伊，越伊元像伊伊越伊元像伊伊越伊元像伊伊越伊元像伊伊越伊元像伊伊 (远京员)

式中： ρ ——金刚石的密度，为猿猿猿猿猿。

钻头金刚石浓度的选择原则是：金刚石浓度必须保证钻头工作层面上的金刚石数量具有足够的切削能力；必须使钻头具有较高的耐磨性。浓度过低，切削能力低；浓度过高，影响胎体包裹金刚石的能力，反而有可能降低钻头的耐磨性。因此金刚石浓度最高值不得超过允许设计的上限。钻头的金刚石浓度必须根据岩石性质加以合理选择，可参考如下：

钻进中硬—坚硬的中等研磨性岩石，钻头的金刚石浓度为猿猿 ~ 猿猿像；

钻进硬—坚硬的弱研磨性岩石，钻头的金刚石浓度为 $1.5 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^5$ ；
 钻进硬—坚硬的强研磨性岩石，钻头的金刚石浓度为 $1.5 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^5$ 。

2.2.2 孕镶钻头保径

对于孕镶金刚石钻头，保径是一个重要问题。英国诺丁汉大学对孕镶金刚石钻头的胎体磨损特征进行室内试验，岩石试块为花岗岩。其试验结果见表 2-2。

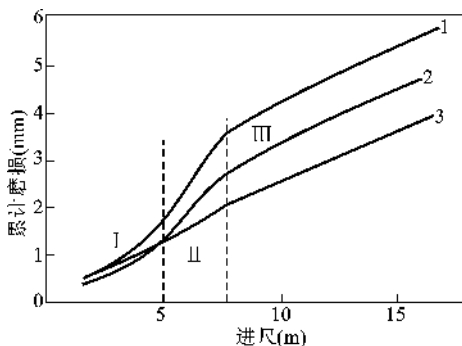


图 2-2 孕镶钻头唇面三个不同位置的累计磨损与进尺的关系
 1—内环；2—外环；3—中部

从图 2-2 可以看出，钻头的磨损有三个不同的阶段：第一阶段，钻头胎体的内环、中部、外环三个不同的部位磨损基本趋于一致；第二阶段，内、外环磨损明显增加；第三阶段，内、外环磨损缓慢增加，因此必须进行钻头保径。

孕镶金刚石钻头的保径材料可选用小片状硬质合金、人造金刚石聚晶、天然金刚石、复合片等，保径材料一般安放在非工作层和工作层交界处，同时内外保径材料不能放在同一径向方向上（如图 2-3），以免使钻头胎体发生张力裂纹。

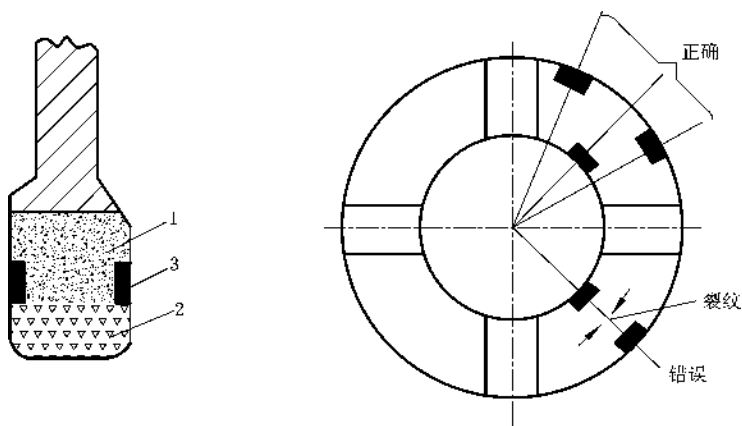


图 孕镶保径材料安放位置

员—非工作层；圆—工作层；猿—保径材料

孕镶钻头水路系统

孕镶金刚石钻头的水路系统包括水口、水槽和内外环间隙。

孕镶金刚石钻头由于采用的金刚石粒度比较细，因此钻头工作层面上金刚石的出刃很微小，冲洗液通过岩石工作面和胎体唇面之间的间隙来冷却金刚石和胎体是相当困难的。岩屑的排出和冷却金刚石与胎体主要是通过钻头的水口和水槽。因此，与表镶金刚石钻头相比，在钻头直径相同的条件下，孕镶金刚石钻头的水路具有水口多、水槽和水口较深的特点，水口和水槽的深度一般应为园缘~员缘皂，以保证钻头上的金刚石得到良好的冷却效果。

钻头常用的水口形式有以下几种(见图 远原愿)：

直槽型[图 远原愿 葬]，用于软—硬的地层，结构简单，容易制造，采用最为普遍。

斜槽型[图 远原愿 遭]，适用于厚壁钻头，其特点是可以促使

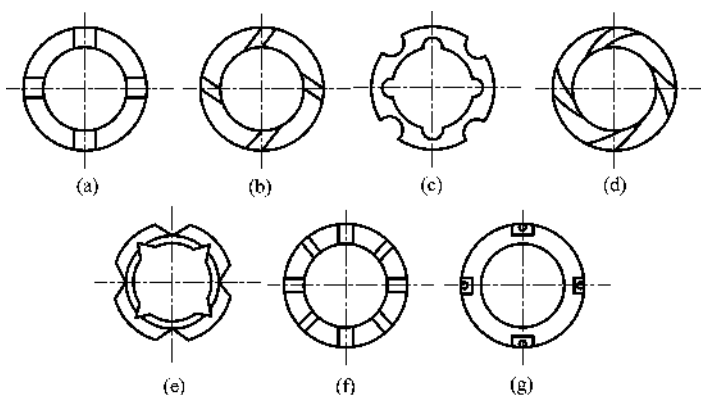


图 7-1 常用不同形式的水口

岩粉沿斜水口迅速排至外环状间隙。

全面冲洗型[图 7-1(a)]，又称梅花形水口，用于表镶钻头钻进硬原坚硬地层。此型水口的特点是迫使冲洗液沿着金刚石的出刃，在胎体和孔底岩石之间的间隙形成液流，能充分冷却金刚石。

螺旋型[图 7-1(b)]，用于钻进软地层。螺旋型水路在旋转过程中使岩粉能及时地被冲洗液沿水口携带到外环状间隙中；另外由于水路长而且扇形块的间隔较小，易使冲洗液流经金刚石，从而使金刚石得到充分冷却。但其水口制造工艺比较复杂。

倾斜槽型[图 7-1(c)]，其特点是扇形块的端部呈倾斜的楔形，内外水槽间隔分布错开排列，并超过扇形块的顶点。其优点是冲洗液可充分冷却钻头。

主副水路型[图 7-1(d)]，用于钻进软地层，同时钻头壁厚比较大的情况下。其副水路可以辅助主水路排粉和冷却厚壁钻头胎体的中心部分。

底喷型[图 7-1(e)]，适用于硬、碎岩层与粉状岩层。由于无内水槽，冲洗液主要由胎体中的水眼流至底唇，能防止冲洗液

对岩心的冲蚀，保证岩心的采取率。

水槽是连接水口与钻头钢体外表面与孔壁之间的外环状间隙，同时连接钢体内表面与岩芯之间的内环状间隙的。设计水槽和内外环状间隙时要考虑地层特性、冲洗液类型等因素。例如钻探水敏性地层、易缩径地层并采用泥浆护壁，需相应增大水槽和内外环状间隙，以减小水力损失。

远震摇热压孕镶金刚石钻头制造工艺

目前国内外制造金刚石工具的方法主要采用粉末冶金法。粉末冶金法就是用金属粉末(或金属粉末与非金属粉末的混合物)做原料，经成型和烧结，制成各种类型的金属制品和金属材料的方法。热压法是粉末冶金法的一种方法，其特点是压制和烧结同时进行，它不仅广泛用于制造孕镶金刚石钻头，也可用于制造表镶金刚石钻头、复合片钻头、金刚石全面钻头、金刚石锯片刀头及其他金刚石工具等。

远震摇工艺流程

热压孕镶金刚石钻头的制造工艺如图远震所示。

远震摇模具与钢体设计

远震石墨模具

(远震)模具材料摇钻头的模具材料为高强度高纯度高致密化的石墨，其性能列于表远震

表远震摇钻头石墨模具性能

抗压强度(远震)	密度(远震)	线膨胀系数(远震)	电阻系数($\Omega \cdot \text{远震}$)	灰分
远震	远震	远震	远震	远震

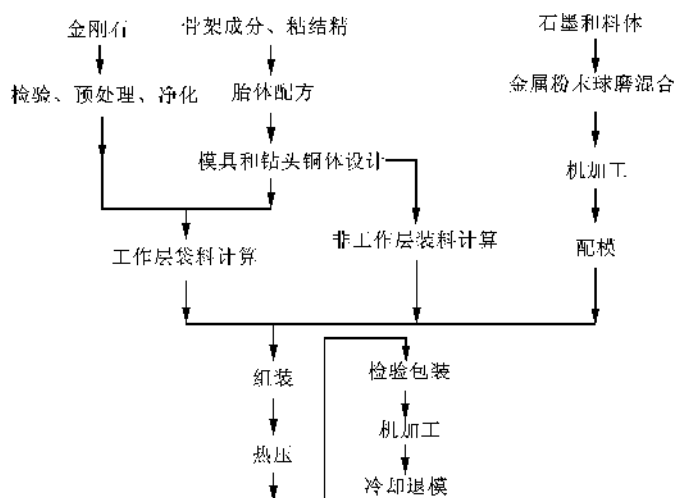


图 4-1-1 热压孕镶金刚石钻头制造工艺流程

(圆) 模具结构对于唇面形状不复杂的钻头, 其模具一般由底模和芯模组成, 如图 4-1-2(a) 所示; 唇面复杂的钻头的模具一般由底模、芯模和模套组成, 见图 4-1-2(b)。

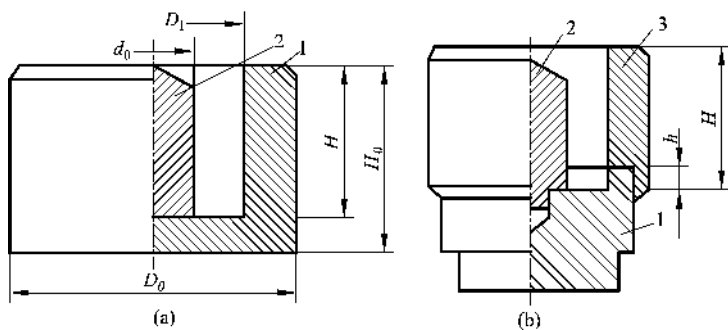


图 4-1-2 钻头模具结构

1—底模; 2—芯模; 3—模套

(以图 1-1 为例)：

底模内径 D_0 按下式计算：

$$D_0 = D_1 + \Delta D_1 + \alpha_1 (T_1 - T_0) \quad (1-1)$$

式中： D_1 ——所设计的底模内径，mm；

D_1 ——所设计的钻头胎体外径，mm；

ΔD_1 ——烧结温度下底模内径的膨胀值，mm；

$$\Delta D_1 = D_1 \alpha_1 (T_1 - T_0) \quad (1-2)$$

式中： α_1 ——石墨的线膨胀系数， $1/^\circ\text{C}$ ；

T_1 ——烧结温度， $^\circ\text{C}$ ；

T_0 ——室温， $^\circ\text{C}$ ；

ΔD_1 ——胎体外径的收缩值，mm；

$$\Delta D_1 = D_2 \alpha_2 (T_1 - T_0) \quad (1-3)$$

式中： α_2 ——胎体材料的线收缩系数， $1/^\circ\text{C}$ ，可以近似地取其线膨胀系数，对于常用的胎体材料， $\alpha_2 \approx \alpha_1$ 。

将式(1-2)、(1-3)代入式(1-1)得：

$$D_0 = D_1 + \frac{D_1 \alpha_1 (T_1 - T_0) + D_2 \alpha_2 (T_1 - T_0)}{\alpha_1} \quad (1-4)$$

底模外径 D_0 可按下面的经验公式计算：

$$D_0 = D_1 + \alpha (D_2 - D_1) \quad (1-5)$$

式中： α ——经验系数，一般取 0.8 左右。

底模内孔深度 H 的计算公式为：

$$H = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (1-6)$$

式中： λ ——粉末的压缩比， $\lambda = \frac{D_1}{D_2}$ ；

ρ_1 ——胎体所需密度；

ρ_2 ——粉末松装密度；

L ——钢体进入底模内孔的深度，mm， $L = \frac{D_1 - D_2}{2}$ ；

L ——钢体长度，mm。

或者 $\rho_{\text{孕}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\rho_{\text{孕}}}}$

式中： $\rho_{\text{孕}}$ ——装粉高度；

$\rho_{\text{胎}}$ ——设计的胎体高度。

噪值一般为 0.5~1.0，对于青铜粉末，噪值为 0.5~1.0；对于硬质合金粉末 噪值约为 1.0，当采取措施以提高 $\rho_{\text{孕}}$ ，可降低 噪值。

底模总高度 $H_{\text{底}}$ 为：

$$H_{\text{底}} = H_{\text{胎}} + H_{\text{模}} \quad (4-10)$$

芯模外径： $\phi_{\text{芯}}$ 可按下式计算：

$$\phi_{\text{芯}} = \phi_{\text{胎}} + \Delta \phi_{\text{胎}} + \Delta \phi_{\text{芯}} \quad (4-11)$$

式中： $\phi_{\text{胎}}$ ——所设计的芯模外径，皂皂；

$\phi_{\text{芯}}$ ——所设计的钻头胎体内径，皂皂；

$\Delta \phi_{\text{胎}}$ ——烧结温度下芯模外径的膨胀值，皂皂；

$\Delta \phi_{\text{芯}}$ ——胎体内径收缩值，皂皂

由式(4-11)同理得出：

$$\phi_{\text{胎}} = \frac{\phi_{\text{芯}} [1 + \alpha_{\text{胎}} (\text{胎})]}{1 + \alpha_{\text{胎}} (\text{胎})} \quad (4-12)$$

圆锥钢体外径

钢体外径 $\phi_{\text{钢}}$ 与底模内径 $\phi_{\text{底}}$ 之间要有一定间隙，以防止烧结过程中钢体受热膨胀将底模胀裂，钢体外径 $\phi_{\text{钢}}$ 与底模内径 $\phi_{\text{底}}$ 的配合应满足下列条件：

$$\phi_{\text{钢}} \leq \frac{\phi_{\text{底}} [1 + \alpha_{\text{底}} (\text{底})]}{1 + \alpha_{\text{底}} (\text{底})} \quad (4-13)$$

式中： $\alpha_{\text{底}}$ ——钢体的线膨胀系数，对于 15 号钢材 $\alpha_{\text{底}}$ 取 0.0115。

圆锥钢体内径

钢体内径 $\phi_{\text{钢}}$ 等于芯模外径 $\phi_{\text{芯}}$ ，为了组装方便，钢体内径取正公差。

钻头钢体一般用 15 号无缝钢管加工而成，其粗糙度为 0.4

钻头钢体结构如图 远原所示。

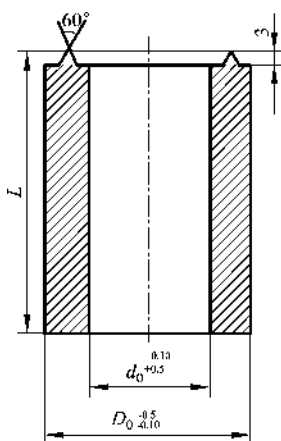


图 远原摇钻头钢体结构图

远原摇胎体配方

钻头的胎体性能主要取决于胎体配方。胎体配方是指选择与确定胎体材料的成分和其含量。胎体成分中分为两类：一类为骨架成分，它在胎体中起硬质点的作用；另一类为粘结成分，它的作用是使骨架成分与金刚石粘结起来。

远原摇骨架成分

目前，胎体中所使用的骨架成分一般为难熔金属的碳化物，它们具有熔点高、硬度大、且具有金属的特性。钻头对胎体骨架成分的要求主要有以下几点：

- (员) 具有足够的硬度，以防止金刚石在工作中移位；
- (圆) 具有较好的冲击韧性，以能承受复杂多变的载荷；
- (猿) 导热性好，线膨胀系数尽量和金刚石接近；
- (源) 成形性好，以满足胎体能形成各种形状。

根据上述要求，采用 宰悦作为胎体骨架成分较为理想。它的导热率高，热膨胀系数与金刚石接近，并且有高的弹性模量和较高的硬度，同时成形性好。

表 远影 摇金属对石墨和金刚石的湿润角和粘结功

(粘结功单位: 员^圆允 糟^圆)

粘剂分类	粘剂成分	石墨			金刚石			气氛
		温度 (益)	湿润角 (毅)	粘结功	温度 (益)	湿润角 (毅)	粘结功	
I	悦忘	员 ^圆 园	员 ^圆 园	猿 ^圆 远	员 ^圆 园	员 ^圆 缘	圆 ^圆 缘	真空
	粤早	怨 ^圆 园	员 ^圆 远	圆 ^圆 缘	员 ^圆 园	员 ^圆 园	源 ^圆 缘	
	粤忘	猿	猿	猿	员 ^圆 园	员 ^圆 园	怨 ^圆 园	
	员藻	员 ^圆 园	员 ^圆 怨	怨 ^圆 园	员 ^圆 园	员 ^圆 远	猿 ^圆 园	
	杂灶	怨 ^圆 园	员 ^圆 远	源 ^圆 缘	员 ^圆 园	员 ^圆 缘	员 ^圆 园	
	蕴灶	愿 ^圆 园	员 ^圆 猿	员 ^圆 远	愿 ^圆 园	员 ^圆 怨	员 ^圆 园	
	杂遭	怨 ^圆 园	员 ^圆 园	愿 ^圆 园	怨 ^圆 园	员 ^圆 园	员 ^圆 园	氢气
	户蚤	愿 ^圆 园	员 ^圆 远	怨 ^圆 园	猿	猿	猿	
	孕遭	愿 ^圆 园	员 ^圆 怨	怨 ^圆 远	员 ^圆 园	员 ^圆 园	员 ^圆 远	
II	蚤蚤	员 ^圆 园	园	员 ^圆 园	猿	猿	猿	真空
	云藻	员 ^圆 园	缘	猿 ^圆 园	猿	猿	猿	
	晕蚤	员 ^圆 园	缘	圆 ^圆 园	猿	猿	猿	
	悦燥	员 ^圆 园	远	圆 ^圆 园	猿	猿	猿	
	孕岩	员 ^圆 园	愿	圆 ^圆 愿	猿	猿	猿	
III	悦 ^圆 垣悦 ^圆 蚤	员 ^圆 园	园	圆 ^圆 园	员 ^圆 园	园	圆 ^圆 园	真空
	悦 ^圆 垣悦 ^圆 则	员 ^圆 园	缘	圆 ^圆 园	猿	猿	猿	
	悦 ^圆 垣悦 ^圆 灶	员 ^圆 园	园	圆 ^圆 缘	猿	猿	猿	
	粤 ^圆 垣粤 ^圆 蚤	员 ^圆 园	园	圆 ^圆 园	猿	猿	猿	
	粤 ^圆 垣粤 ^圆 蚤	猿	猿	猿	员 ^圆 园	缘	员 ^圆 苑	
	杂 ^圆 垣户 ^圆 蚤	员 ^圆 园	圆	怨 ^圆 怨	员 ^圆 园	园	愿 ^圆 猿	
	(悦 ^圆 垣悦 ^圆 燥)垣粤 ^圆 蚤	员 ^圆 园	园	员 ^圆 园	员 ^圆 园	园	员 ^圆 园	
	(悦 ^圆 垣悦 ^圆 燥)垣粤 ^圆 蚤	员 ^圆 园	园	员 ^圆 园	员 ^圆 园	园	员 ^圆 园	

摇摇续表

固体表面	液态金属	温度(益)	湿润角(毅)	气氛
晕悦	悦燥	员缘园	员源	真空
	晕蚤	员缘园	员愿	
糅悦	云藻	员源园	员缘	真空
	悦燥	员缘园	员源	
	晕蚤	员缘园	员远	
宰悦(猿园 苑园)	晕蚤	员缘园	员源	真空
宰悦(圆园 苑园)	悦燥	员缘园	员源	

(猿) 某些金属的熔点和密度: 见表 远原怨。表中 远猿原铜指含 杂远豫, 在远豫, 孕远豫, 其余为铜。

表 远原怨 摇金属的熔点和密度

金属名称	杂土	悦岩	孕猿	在土	杂猿	粤造	粤早	悦志
密度(早猿)	苑缘愿	愿爱缘	员缘猿	苑缘源	远爱愿	圆苑	员缘缘	愿爱猿
熔点(益)	圆员怨	猿园猿猿	猿园猿猿	源怨源	远园缘	远愿	怨园愿	员缘猿
金属名称	配灶	远猿原悦志	晕蚤	悦燥	云藻	悦则	宰	糅
密度(早猿)	苑缘猿	愿猿园	愿怨	愿苑	苑缘缘	苑源	员缘猿	源缘
熔点(益)	员源源	愿园	员缘园	员源园	员缘苑	员缘	猿猿园	员远愿

远猿原 摇装料计算

配方确定后, 进行粉料的混合。混合是在球磨机中进行的, 混合好粉料后即可进行装模。

圆工作层装料计算

金刚石含量: 按下式计算:

$$\text{摇摇摇摇} \frac{\text{员}}{\text{缘}} \text{远} \quad (\text{远原猿})$$

式中： $\rho_{\text{原}}$ ——金刚石含量， g/cm^3 ；

$V_{\text{胎}}$ ——胎体工层体积， cm^3 ；

$\rho_{\text{原}} V_{\text{胎}} \rho_{\text{原}} (V_{\text{原}} - V_{\text{胎}}) \rho_{\text{原}} V_{\text{胎}}$ (远原原) (远原原)

$D_{\text{阅}}$ ——钻头胎体的外径， mm ；

$d_{\text{凿}}$ ——钻头胎体的内径， mm ；

$H_{\text{匀}}$ ——钻头工作层高度， mm ；

$V_{\text{灾}}$ ——水口部分的体积， cm^3 ；

$C_{\text{运}}$ ——金刚石浓度， g/cm^3 。

工作层的粉末重量：按下式计算：

$\rho_{\text{原}} V_{\text{胎}} \rho_{\text{原}} (V_{\text{原}} - V_{\text{胎}}) \rho_{\text{原}} V_{\text{胎}}$ (远原原)

式中： $V_{\text{灾}}$ ——金刚石在工作层中所占体积， cm^3 ；

$\rho_{\text{原}} V_{\text{胎}} \rho_{\text{原}} (V_{\text{原}} - V_{\text{胎}}) \rho_{\text{原}} V_{\text{胎}}$

$\rho_{\text{原}}$ ——金刚石密度，一般为 3.5 g/cm^3 ；

$\rho_{\text{胎}}$ ——胎体的理论密度；

$\rho_{\text{原}} V_{\text{胎}} \rho_{\text{原}} (V_{\text{原}} - V_{\text{胎}}) \rho_{\text{原}} V_{\text{胎}}$ (远原原)

$\rho_{\text{原}}, \rho_{\text{胎}}, \dots, \rho_{\text{杂}}$ ——各组分重量的百分含量；

$\rho_{\text{原}}, \rho_{\text{胎}}, \dots, \rho_{\text{杂}}$ ——各组分的密度。

非工作层粉料计算

非工作层的胎体体积可按下式计算：

$\rho_{\text{原}} V_{\text{胎}} \rho_{\text{原}} (V_{\text{原}} - V_{\text{胎}}) \rho_{\text{原}} V_{\text{胎}}$ (远原原)

式中： $V_{\text{胎}}$ ——非工作层体积， cm^3 ；

$S_{\text{杂}}$ ——胎体唇面环状面积， cm^2 ；

$H_{\text{原}}$ ——非工作层高度， mm 。

则非工作层粉末料的重量为：

另外，增加石墨粉末重量作为工作过程中的耗损量。

热压加热—加压烧结

热压设备

目前，热压炉主要采用中频感应炉，即是利用中频电源感应加热。中频加热的基本原理是将石墨模具放入紫铜管绕制的感应线圈中，给感应圈通以交变电流，则在线圈内产生一个相应的交变磁场，根据电磁感应定律，该电流叫做感应电流或涡流，该涡流在组件内流动就产生热量而使石墨模具升温。

电流穿透模具组件的深度可按下式计算：

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho_{\text{感}}}{\pi f \mu_{\text{感}}}} \quad (4-1)$$

式中： δ ——电流穿透深度，mm；

η ——电流的效率；

$\rho_{\text{感}}$ ——模具组件在该温度下的电阻系数，可取 $\rho_{\text{感}} = \rho_{\text{感}} \cdot \eta$ ；

$\mu_{\text{感}}$ ——模具组件在该温度下的导磁率（石墨的导磁率为 1）。

一般地说，感应圈要比胎体松装部分高 1.5~2 倍，但比石墨模具要低，其直径比石墨模具大 1.5~2 倍。制作感应圈的紫铜管一般为 $\phi 10 \sim 15$ mm。紫铜管截面形状最好是矩形的，也可采用圆形的。

热压参数

金刚石钻头胎体是一种比较复杂的多元体系，在实际工作中它属于多元固相烧结，即烧结温度低于粘结成分熔点温度，但粘结成分处于熔融状态。热压时必须给一定的温度才能使粉末处于塑性流动和使组元之间产生扩散作用并在一定压力条件下使胎体致密化，若没有达到必须的温度想利用高压来使胎体致密化是达不到预期目的的。热压时钻头胎体的致密化过程分为三个基本

阶段：第一为快速致密化阶段，又称微流动阶段；第二为致密化减速阶段，该阶段以塑性流动为主；第三是趋向终级密度阶段，该阶段主要以扩散机理使胎体致密化。

根据钻头胎体配方的不同，钻头的烧结温度 裁为粘结剂中主要成分熔点的 缘豫~怨圆豫，全压一般为 缘缘~ 圆缘云葬，保温时间为 缘~ 员皂蚤

远源瑶胎体性能及其测定方法

远源瑶抗弯强度

胎体抗弯强度可反映胎体的相对韧性。测定时，试件尺寸为 缘皂伊缘皂伊缘皂的长条形，在材料试验机上进行测定，支点间距为 圆皂皂，加载速度为 员园~ 圆皂皂转皂。试验结果按下式计算：

$$\sigma_{\text{怎}} = \frac{\text{猿造}}{\text{圆皂皂}} \quad (\text{远源瑶})$$

式中： $\sigma_{\text{怎}}$ ——抗弯强度，配葬
 责——试样断裂时载荷，晕；
 造——支点间距，皂皂；
 遭——试样宽度，皂皂；
 澡——试样高度，皂皂

$\sigma_{\text{怎}}$ 值不应小于 员圆云葬

远源瑶冲击韧性

胎体冲击韧性是衡量其抗冲击能力的一个相对指标。试验时，试件尺寸为 员皂伊员皂伊缘皂，试件中点的切槽为 圆皂伊缘皂。在小型摆式冲击试验机上测定，采用 猿~ 远云摆锤。试验结果按下式

计算：

$$\alpha_{\text{噪}} = \frac{W}{F \cdot S} \quad (\text{远原园})$$

式中： $\alpha_{\text{噪}}$ ——冲击韧性，允^园，其值不低于 猿^园；

W——冲击功，允

F——试件受力的最小横截面积，允^园。

远源猿 摇胎体硬度

胎体硬度是胎体性能重要指标之一。采用洛氏硬度计进行测定，以 H_R 表示，它是国内外统一指标。同一配方胎体的 H_R 值的波动范围不得超过 依 H_R。

远源源 摇胎体耐磨性

胎体耐磨性测定方法各式各样。可以制成 ϕ 远伊皂小圆柱试样在 酝_园 型磨损试验机上测定，测定结果按下式计算：

$$\alpha_{\text{磨}} = \frac{\Delta m}{\pi \cdot D \cdot L \cdot \rho} \quad (\text{远原园})$$

式中： $\alpha_{\text{磨}}$ ——磨耗系数，其值愈大愈不耐磨，愈小愈耐磨；

Δm ——试样试验前后的质量差，早；

D——试样直径，皂；

L——试样的摩擦行程，皂；

ρ ——试样的密度，早^园。

胎体的耐磨性应根据岩石的研磨性合理确定。低耐磨性 酝_园 伊皂；中等耐磨性 酝_园 越 (园猿~ 员) 伊皂；高耐磨性 酝_园 约 (园猿伊皂)。

远源缘 摇胎体抗冲蚀性

测定时，试样制成 ϕ 猿伊皂的圆块，在专用冲蚀试验机上测定。冲蚀试验机的工作原理是利用含固相颗粒高速液流冲蚀试

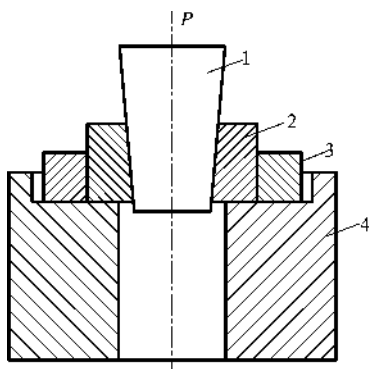
样，以一定冲蚀时间内(分钟)试样被冲蚀的损耗体积的倒数来衡量胎体材料的抗冲蚀能力。即

$$K = \frac{1}{\rho} \frac{m_0 - m_1}{V} \quad (1)$$

式中：K——胎体抗冲蚀指数，越高越好；低抗冲蚀性在约1.5；中等抗冲蚀性在2~3；高抗冲蚀性在4~6
 m_0 ——胎体试样冲蚀前的质量，g；
 m_1 ——胎体试样冲蚀后的质量，g；
 ρ ——胎体试样密度，g/cm³。

远源爱孕镶块包镶金刚石的能力

孕镶块包镶金刚石的能力是衡量胎体粘结金刚石能力的重要指标。可采用张力环试件测定。其装置见图远源爱



图远源爱张应力环试件测定装置

1—受载锥体；2—传力环；3—张应力试件；4—底座

试件尺寸：外径 10mm，内径 6mm，厚度 2mm。圆环上有含金刚石工作层的小块，其宽为 2mm，金刚石浓度为 10%。

制浓度)。

测定时,载荷孕通过受载锥体,传力至张力环试件内壁,这样可以将试件看做厚壁圆环内壁上受到均匀分布的压力孕(图远原猿)。圆环破坏是切向应力σ_园引起的,其值在表面为最大,即

$$\sigma_{\theta} = \frac{P}{\pi R^2} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \right) \quad (远原猿)$$

式中:R——圆环试件外半径,则越远缘皂;

r——圆环试件内半径,则越远缘皂;

$$P = \frac{W \tan^2 \alpha}{2 \pi R^2 (1 - \mu)} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \right) \quad (远原缘)$$

W——受载锥体重量,则越远缘皂;

α——锥体斜面角,α越远缘°;

澡——圆环厚度,皂;

枣——锥体与传力环之间的摩擦系数,枣越远缘;

$$C = \frac{P}{\sigma_{\theta}} = \frac{W \tan^2 \alpha}{2 \pi R^2 (1 - \mu)} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \right) \quad (远原园)$$

则

$$\sigma_{\theta} = \frac{W \tan^2 \alpha}{2 \pi R^2 (1 - \mu)} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \right) \quad (远原园)$$

孕——张力环试件张裂时的载荷,皂

胎体包镶金刚石的能力愈强,则σ_θ值愈大。

远原猿 胎体的红硬性

一般来说,材料在高温下的性能与在常温下的性能是不一样的,其在高温下的硬度性能称为红硬性。

钻头在钻进过程中,由于作用在钻头上的轴向压力和轱线速度较大,金刚石破碎岩石时,在金刚石和胎体上均产生大量的摩擦热,产生的摩擦热使得金刚石四周的胎体温度骤然升高,尽管有冲洗液冷却,但在金刚石工作的瞬间,钻头胎体仍处于高温

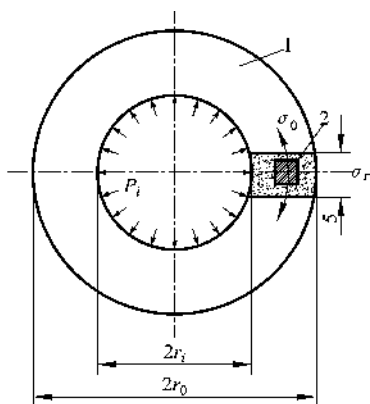


图 远原员 张应力环试件受力情况
 员—纯胎体；圆—含金刚石工作层

状态。这样，岩粉对钻头胎体的研磨作用也是在胎体的高温状态下进行的，因此胎体的高温硬度对钻头胎体的耐磨等性能有着重大的影响。

胎体是由金属或非金属粉未经热压烧结而成，由于金刚石在高温下容易碳化，在钻头烧结过程中为了使金刚石不受或少受热损伤，大部分钻头胎体配方的烧结温度在 1400℃ 左右。与硬质合金的生产工艺相比，钻头的烧结温度低，保温时间短，金属只能处于一种熔融状态，而非液体状态，因此钻头胎体所形成的合金既不均匀，也不能形成像硬质合金那样的真合金，胎体是一种名义上的合金，是假合金，很难或根本不能用材料学的显微结构来分析胎体。

钻头在工作过程中，金刚石与岩石的相互摩擦产生的热使胎体处于一定的温度状态，根据金属材料理论可知，金属随着温度的升高，到一定的范围都会产生软化直至熔化。有关研究表明，钻头在钻进过程中，胎体的温度是比较高的，而胎体对金刚石的

作用以机械包裹作用为主(也有一定的物理化学作用),随着胎体温度的升高,胎体金属逐渐软化,使其机械性能大大降低,对金刚石的包裹作用也随之下降。由于胎体可用金属的组成千变万化,不同胎体其高温软化程度和软化温度互不一样,因此,胎体高温软化点的温度越高,则胎体的高温耐磨性等就越好;相反,胎体的高温软化点低,其高温性能特别是耐磨性等就越差。中南大学研制的既简单又价廉的胎体红硬性测定仪,如图 远原源 所示。

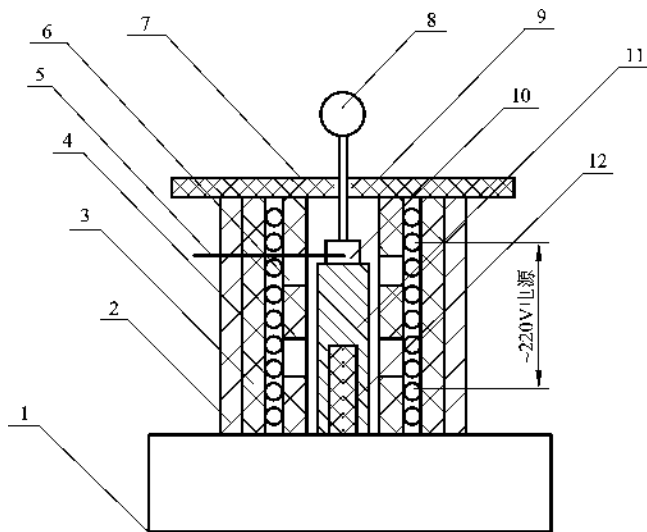


图 远原源 胎体高温硬度测定仪示意图

员—底座;圆—保温壳;猿—石棉板;源—加热电阻丝;
缘—热电偶;远—电阻丝座;苑—隔热板;愿—千分表;
怨—压头;员园—被测胎体;员员—热垫块;员圆—隔热物

天然表镶胎体的金相检验

胎体金相检验的目的主要是了解胎体的致密化程度以及截面的物理化学状态。要求胎体的孔隙率不超过 10%。

天然表镶金刚石钻头

表镶金刚石取心钻头一般适用 V ~ VIII 级中硬至硬的岩层中，分为天然金刚石表镶钻头、人造聚晶表镶钻头、复合片表镶钻头。

天然表镶金刚石钻头

它特别适用于碳酸盐类岩层，配合绳索取心钻进能获得明显的经济效益。它由金刚石、胎体、水口、水槽和钢体组成，如图 1 所示。

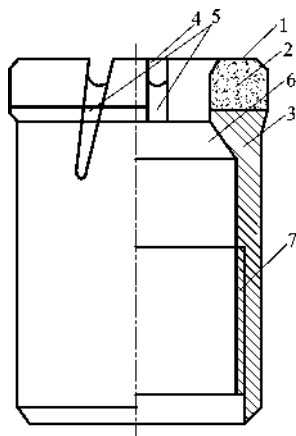


图 1 天然表镶金刚石钻头

1—金刚石；2—胎体；3—水口；4—内外水槽；5—钢体内锥；6—连接丝扣

1. 钻头胎体端面形状(唇面形状)

它影响载荷分布,排粉和冷却金刚石效果以及制造工艺。普通单、双管表镶钻头,一般采用标准唇面,见图 4-1-10。它的唇面圆弧半径 R 等于或略大于唇面的宽度 b ,这种唇面既克服了平底形边刃镶嵌不牢的缺点见图 4-1-11,又克服了圆弧形唇面见图 4-1-12 槽顶峰区应力高度集中的缺点。

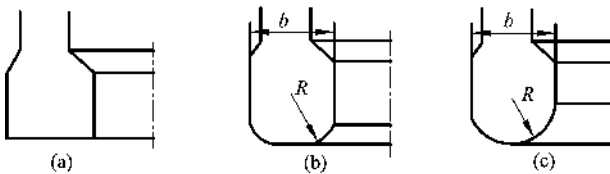


图 4-1-10 普通单、双管表镶钻头唇面形状

(普通型) (精型)

对于绳索取心表镶金刚石钻头,由于钻头壁厚,一般采用阶梯唇面和锥形唇面,见图 4-1-13。

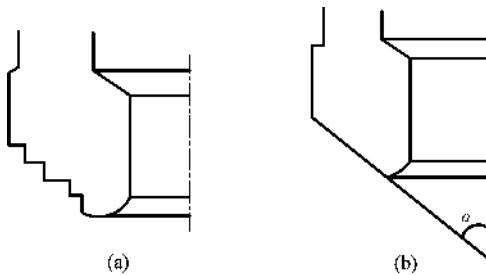


图 4-1-13 绳索取心表镶金刚石钻头唇面

(多阶梯唇面, (锥形唇面)

多阶梯唇面(3 阶梯至 5 阶梯)是绳索取心表镶钻头的标准

形,为多自由面掏槽型,钻速高,同时钻头的稳定性好。锥形唇面可以看做微阶梯形,其排粉效果比阶梯形唇面要好。

匚胎体性能

对于表镶钻头胎体性能的要求如下:

(员)能牢固地包镶金刚石,同时和钻头钢体结合牢靠;

(圆)具有足够的抗压和抗冲击强度,以适应孔底的复杂受力状态;

(猿)具有一定的硬度和耐磨性,使之与岩石相适应。

国内外一般采用宰悦为胎体骨架,铜基合金(悦恣为基,添加一些晕蚤悦燥,灶灶,灶灶,灶灶等金属元素)为粘结剂通过烧结后可以满足上述要求。同时采用匀砸说表示胎体性能的指标。根据胎体性能指标将胎体分为三个等级,以适应不同的范围,见表远原圆

表 远原圆 表镶钻头胎体硬度等级

胎体等级	匀砸说	适用范围
软胎体	圆-圆缘	缘-苑级弱研磨性岩石
中硬胎体	猿-猿缘	愿-怨级中等研磨性岩石
硬胎体	源-源缘	愿-怨级强研磨性、裂隙性岩石

猿金刚石品级

表镶钻头的切削刃分为边刃、底刃和侧刃,如图 远原猿 通常边刃受力最恶劣,底刃次之,侧刃主要起保径作用。为了使钻头上的金刚石磨损趋于一致,边刃采用质量最好的金刚石,底刃次之,侧刃再次之。对于绳索取心钻头,边刃应用特级金刚石(粤粤粤),底刃用优

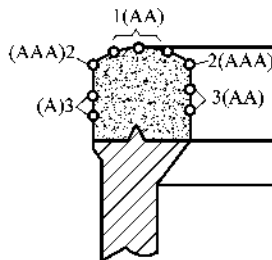


图 远原猿 表镶钻头上切削刃的分布
员-底刃;圆-边刃;猿-侧刃

质金刚石(粤粤),侧刃用标准级金刚石(粤)。对于普通单、双管钻头,所采用的金刚石品级一般可以相应降低一个等级。

源 金刚石粒度

根据岩石可钻性的级别及岩石的研磨性进行选择:

VI~VII级:弱研磨性、小颗粒、致密的非裂隙性岩石,如泥页岩、千枚岩、石灰岩、大理石、白云岩石等,金刚石粒度取缘-员缘。

VIII~IX级:弱研磨性、小颗粒、致密岩石,如磷灰岩、闪长岩、硅质页岩等,金刚石粒度取圆-猿。
中等研磨性、中颗粒、裂隙性岩石,如花岗岩等,金刚石粒度取猿-源。
强研磨性、中、粗颗粒、强裂隙性岩石,如混合岩等,金刚石粒度取源-远。

一般情况下,金刚石粒径 \geq (圆-源) 凿岩屑尺寸。

缘 金刚石含量

表镶钻头唇面上的金刚石含量取决于金刚石的布满度 藻 粒度和唇面工作面积。金刚石的布满度用下式表示:

$$\text{摇摇摇摇藻} = \frac{\text{灶灶灶灶灶}}{\text{杂}} \quad (\text{远原圆})$$

式中:灶——单粒金刚石的横截面积,灶 \approx 凿

凿——金刚石粒径,凿 \geq 员缘。

扎——金刚石粒度,泽。

灶——钻头唇面上金刚石的数量,泽。

杂——唇面工作面积,杂 $\geq \frac{\pi}{4} (\text{阅}^2 - \text{原}^2)$ 原 $\frac{\text{阅原凿}}{\text{圆}}$ 月灶;

阅——钻头外径;

凿——钻头内径;

月——水口宽度;

灶——水口数。

表 远原层地层与所用金刚石粒度对应表

金刚石粒度 (μm)	钻头单位面积上平均的金刚石 颗粒数(mm^{-2})	适用地层
100	100	缘- 苑级弱研磨性地层
150	150	愿- 怨级弱研磨性地层
200	200	愿- 怨级中等研磨性地层
300	300	愿- 怨级强研磨性地层
400	400	愿- 怨级研磨性破碎地层

薄直取决于岩石性质，对于 缘~ 苑级中硬岩石，薄越愿缘 ~ 缘缘，对于 愿~ 怨级硬岩，薄越缘缘 ~ 远缘。

所以，

薄越缘缘越远缘 (远原愿)

唇面上金刚石的含量：

薄越缘缘越远缘 (远原愿)

钻头上侧刃的粒数：

薄越缘缘越远缘 (远原愿)

各地层钻头，其单位面积上的平均粒数可参考表 远原愿

远缘金刚石排列

它是钻头的重要指标之一，直接影响钻进效率和钻头寿命。

(缘排列原则

- ① 唇面上的金刚石比较充分地覆盖孔底工作面；
- ② 唇面上各部位的金刚石在工作中的磨损程度尽量趋于一致；
- ③ 排粉冷却金刚石的效果良好；

④ 机械钻速高。

(圆)金刚石排列的步骤

① 确定金刚石的出刃值。

金刚石的出刃值可以根据下列三种方法确定：

第一种：

摇摇摇摇粤越粤 (远原圆)

式中：粤——金刚石粒径；

赠——出刃系数，它取决于岩石性质，见表 远原圆

表 远原圆 岩石性与金刚石出刃系数对应表

岩石等级	缘级	远-苑级	愿-怨级裂隙性岩石
赠值	员猿-员源	员缘-员远	员愿-员圆

第二种：

摇摇摇摇粤越猿-源澡 (远原圆)

式中：澡——钻头每转一周的切入深度。

第三种：仅仅按金刚石粒度确定 粤值

金刚石粒度(泽)摇摇摇摇出刃平均值 粤(皂)

摇摇员- 圆 摇摇摇摇园源

摇摇园- 猿 摇摇摇摇园猿

摇摇源- 远 摇摇摇摇园圆

摇摇远- 怨 摇摇摇摇园缘

② 确定唇面上切削线的数目(或一组金刚石的粒数)。

金刚石是排列在切削线上的，为了保证金刚石能全面破碎孔底岩石，相邻切削线上的金刚石必须重叠一定的尺寸，见图 远原圆

设切线数目为 灶，重叠系数为 枣 因为 砸原则越粤原(灶原员) 枣则

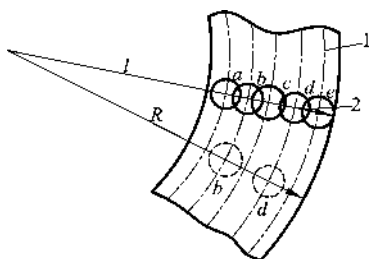


图 远原圆 切削线在钻头唇面上的分布

摇摇摇摇灶越 (砸原则) 原灶枣 (远原圆) 凿 (员原枣)

重叠系数值取决于岩石的可钻性等级，见表 远原圆

表 远原圆 摇钻头的重叠系数值

岩石可钻性等级	缘级	远-苑级	愿-怨级
枣	员猿	圆猿	猿猿

镶嵌钻头时，径向方向的重叠金刚石必须错开，如图 远原圆 所示，将 遭 凿金刚石向箭头方向拉开，构成了一组金刚石的粒数。

③ 计算唇面上金刚石的组数。

设组数为 皂，则：

摇摇摇摇皂越 灶 (远原圆) 灶

式中：灶——钻头唇面上金刚石的数量，
灶——在单条切削线上的金刚石数量。

④ 排列方式的选择。

常用的排列方式有：

放射状排列：金刚石分布在切削线和放射线的交点上，见图 4-10，图中缘粒金刚石为一组。其特点是内外刃的粒数相等，但外圈金刚石的间距大于内圈金刚石的间距，因此外刃易磨损，适用于中硬岩石。

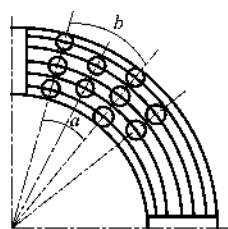


图 4-10 放射状排列图

螺旋状排列：以钻头的平均半径的二分之一为半径（则作基圆，将基圆分成若干等份（等份数量等于金刚石的组数），然后以组数为圆心画圆，则形成了若干螺旋线。一组金刚石等距离分布在螺旋线上。见图 4-11，这种排列虽遭磨损，但由于一组金刚石等距离分布在螺旋线上，使得唇面上的切削线愈靠外圆愈密，这样加强了靠外圆部分的金刚石密度。这种排列是合理的，同时这种排列排粉和冷却金刚石的效果好。适用于中硬岩石。

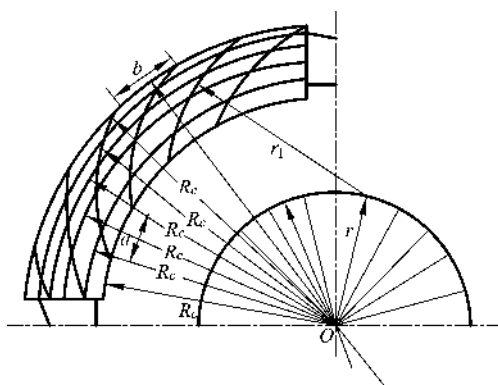


图 4-11 螺旋状排列图

等距排列：金刚石分布在切削线与水口平行线的交点上。各

同心圆切线上的金刚石间距相等。这样外径的金刚石数量比内径的金刚石多。见图 远原圆, 图中 源粒金刚石为一组。这种排列使每粒金刚石的工作负担基本相等, 适用于均质岩石。

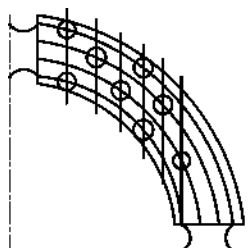


图 远原圆 等距排列

此外还有等面积排列方式等。

雍陈钻头水路

钻头的水路包括水口和水槽, 其作用是保证能通过足够的冲洗液量, 以便排出岩粉和冷却金刚石。水口的数目和尺寸应根据钻头直径和岩石性质来确定。随着钻头直径增大水口数目相应增加, 对于软岩, 水口断面应大些; 对于硬岩, 水口断面应小些。参见表 远原源

表 远原源 表镶钻头水路尺寸

钻头直径 (钻头外径)	水口数目	水口的过水断面 (宽 伊高)	水槽尺寸 (宽 伊深)
源缘缘	源	缘伊袁~ 源	缘伊伊缘
缘缘园	远	缘伊袁~ 源	缘伊伊缘
远缘缘	愿	缘伊袁~ 源	缘伊伊缘
怨缘缘	员园	缘伊袁~ 源	缘伊伊园

对于表镶金刚石钻头, 水口的过水断面可按下面公式进行验核:

$$\text{摇摇摇摇粤越} \frac{\text{凿伊}}{\text{猿}} \text{垣伊} \quad (\text{远原缘})$$

式中: 粤——水口的总过水断面面积;

- 凿——钻头内径；
 凿——金刚石粒径；
 炷——水口数目；
 葬——每个水口的过水断面积。

$$\text{摇摇摇摇增越} \frac{\pi}{\text{粤}} \quad (\text{远泉})$$

式中：增——冲洗液在该钻头过水端面的流速，为了保证能顺利排出岩屑，增 \geq 源；
 匠——冲洗液量。

$$\text{摇摇摇摇匠越} \frac{\pi}{\text{源}} (\text{阅原}) \text{增} \quad (\text{远泉})$$

式中：阅——钻头外径；
 凿——钻杆外径；
 增——冲洗液在钻杆和孔壁环状间隙的上返流速，一般为园。

在冲洗液量为一定的条件下，为了保证 增所需值，只能调节 粤值，而 粤值的调节主要是通过 炷的变化而实现的。

此外，钻头的总过水断面确定后，水口数及深度应满足唇面有效系数 运的要求，即

$$\text{摇摇摇摇运越} \frac{\text{杂原}}{\text{葬}} \quad (\text{远泉})$$

式中：杂——钻头胎体的环状面积；
 葬——水口投影面积。

对于中硬—硬的岩石，运一般在 苑 ~ 愿 的范围内。

远 摇人造聚晶表镶钻头

圆 圆柱形聚晶表镶钻头

我国生产的聚晶，一般小颗粒的用于钻头保径，大颗粒用于

切削刃。聚晶表镶钻头适用于软至中硬的岩石。

(一) 聚晶的选择

岩石较软，研磨性较弱地层选用大颗粒聚晶，以发挥钻头的切削作用而获得较高的时效。岩石较硬的研磨性地层选用较小颗粒聚晶，使钻头能自锐，以保持钻速基本一致。

(二) 聚晶数量

可根据钻头工作唇面的聚晶充填度来计算，即：

$$\text{充填度} = \frac{\text{运} \times \text{杂} \times \text{杂}}{\text{杂}} \quad (1)$$

式中：运——钻头唇面上的聚晶粒数；

杂——钻头的工作唇面面积；

杂——钻头唇面上水口所占的面积；

杂——聚晶的横截面积；

运——充填度系数，运≈0.5。

(三) 聚晶的排列

聚晶的排列有两种方式：大颗粒聚晶可采用斜镶，见图 1；小颗粒聚晶采用直镶，见图 2。

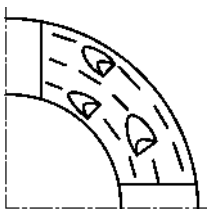


图 1 聚晶斜镶

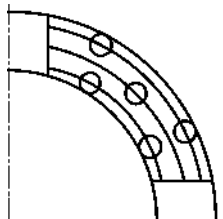


图 2 聚晶直镶

关于对胎体的要求和水路设计，可参考天然金刚石表镶钻头有关部分，但在设计水路时，在允许的条件下应选用过水断面大的结构。

聚晶钻头在保径时可采用针状合金或小片状合金。

圆三角形、方形聚晶表镶钻头

该类聚晶表镶钻头的结构特点：

聚晶镶焊方式有径向和切向两种，见图 4-15。

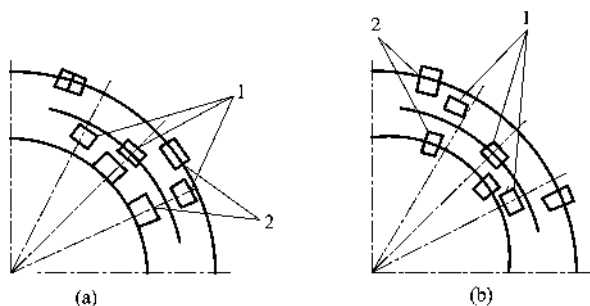


图 4-15 摇() 径向镶焊；() 切向镶焊
1—底刃；2—侧刃

通常采用切向镶焊。切削刃为负前角如图 4-16 所示。

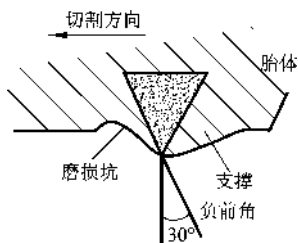


图 4-16 摇切削刃的负前角

侧刃的镶嵌形式：侧刃的镶嵌形式有两种，见图 4-17。

从图 4-17 中看出：图() 的侧刃镶嵌形式对于钻头内外径的保径效果比图() 好些。

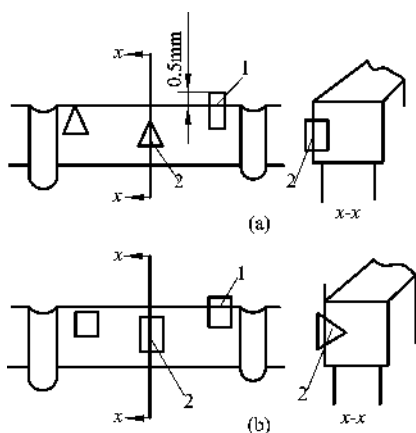


图 远原侧刀的镶嵌形式
 1—底刃；2—侧刃

聚晶的数目：根据钻头直径参考表 远原

表 远原钻头聚晶数目表

钻头直径(毫米)	总数	底刃数	侧刃数
10-15	12-16	4-6	8-10
18-25	16-20	6-8	10-12
30-40	20-24	8-10	12-14

远原复合片(孕况)钻头

复合片钻头是一种典型切削式钻头，它的结构基本上和硬质合金钻头相同，只不过是复合片取代硬质合金切削具。

远原复合片在钻头唇面上的排列

根据钻头直径和复合片尺寸可采用单环和多环排列。采用多环排列时，一组切削具的复合片数目 灶按以下公式计算：

式 中：月——孔底切削槽宽度；
 遭——复合片刃宽；
 运——复合片径向重叠系数，设计中取 圆缘毅 ~ 猿缘毅。

(远原圆)

钻头上复合片的组数不能少于 猿组，见图 远原圆。

钻头上复合片的组数不能少于 猿组，见图 远原圆。

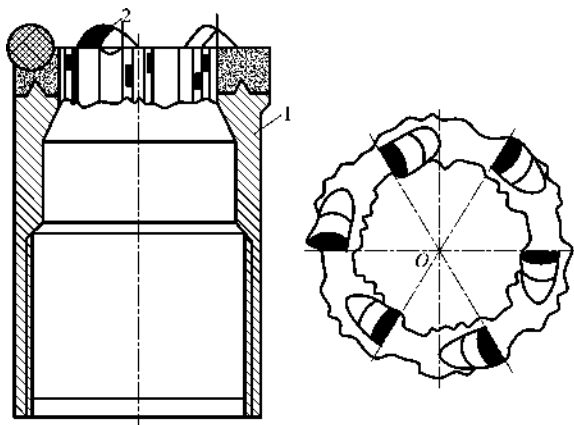


图 远原圆 复合片钻头结构

员—钢体；圆—复合片

圆 切削角 α (纵向前角) 和径向角 β (横向前角)

(圆 切削角 α : 见图 远原圆, 切削角 α 通常为 原缘毅 ~ 原圆毅, 其切削角 α 大, 有利于保护切削刃, 反之有利于提高钻速。

(圆 径向角 β , 它为复合片向后偏离径向的角度, 常为 缘毅 ~ 员圆毅, 见图 远原圆。它的作用主要是为了加强机械清洗, 防止“钻头泥包”, 径向角 β 使岩屑朝外滑移。

(猿 出刃的选择: 根据岩石等级及复合片尺寸不同, 可参考表 远原圆。

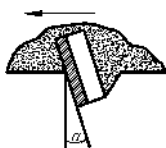


图 远原圆复合片的切削角 α

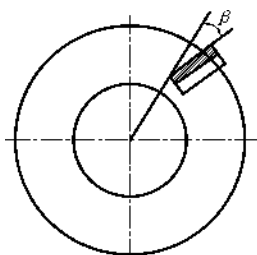


图 远原圆复合片的径向角 β

表 远原圆复合片钻头出刃选择参考表

岩石可钻性等级	底出刃(皂皂)	内外出刃(皂皂)
员-源	一般为复合片直径的二分之一	圆-猿
缘-苑		员-员

远原圆不取心全面金刚石钻头

远原圆全面钻头的结构

全面金刚石钻头按金刚石包镶方式不同分为表镶和孕镶两种。前者主要由金刚石或者复合片、胎体、水槽、钢体和接头组成，见图 远原圆。

远原圆设计原则

圆钻头唇面形状

钻头唇面形状根据岩石性质选择。常见的唇面形状有双锥阶梯形、双锥形、月形和带波纹的月形四类(见图 远原圆)。

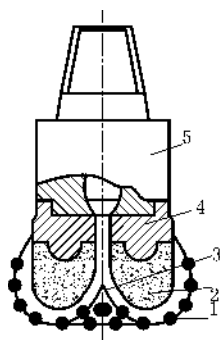


图 4-1 金刚石全面钻头结构

1—金刚石或复合片；2—胎体；3—水槽；4—钢体；缘—接头

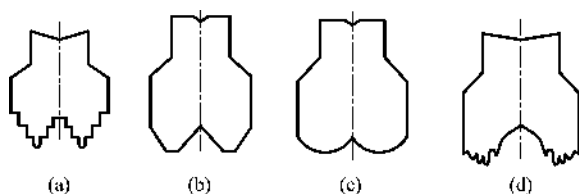


图 4-2 金刚石钻头唇面形状

(a) 双锥阶梯形；(b) 双锥形；(c) 月牙形；(d) 带波纹月牙形

双锥阶梯形适用于软到中硬地层；双锥形适用于破碎、有硬夹层的中硬和中等研磨性岩层；月牙形适用于硬岩层，它由内锥和圆弧面组成，内锥角一般为 120° ；带波纹的月牙形适用于硬到坚硬地层，内锥角一般大于 120° 。

4.1.2 中心圆窝部分结构

金刚石全面钻头中心部分的结构起着扶正钻头和破碎钻头中心所形成的小圆柱岩心的作用。因此，中心窝结构设计不合理，常造成钻头早期损坏。

为了破碎中心圆窝的小圆柱岩心(直径通常为 $2\sim 4$ mm),钻头内唇面上有一特殊斜面来破碎岩心柱,而且该斜面上的金刚石采用高品级金刚石,如图 远泉藏所示。

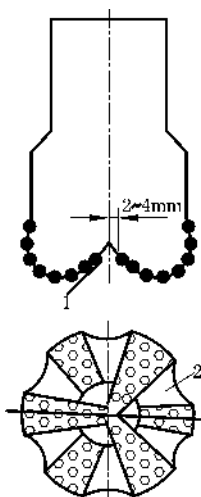


图 远泉藏 金刚石全面钻头圆窝部分结构
员—特殊斜面;圆—水槽(放射状分布)

獠水槽结构

钻头的水槽结构常用的为放射型、螺旋型和憋压式水槽。

放射型水槽制造容易,岩屑能很快带走,也能较好地冷却金刚石,如图 远泉藏所示,一般用于软至中硬地层。

螺旋水槽常用于井下动力钻具的金刚石钻头,而且大多数做成反螺旋流道,以利于在高转速下强迫冲洗液流过镶金刚石的工作面,如图 远泉藏所示。

憋压式水槽在钻头工作面上由高压水槽和低压水槽两部分组成,在高低压水槽之间形成一定压差,强迫冲洗液从高压水槽经过含金刚石的工作唇面进入低压水槽,起着有效清除岩屑和冷却

金刚石的作用，它一般用于软至中硬地层钻头，如图 4-1 所示。

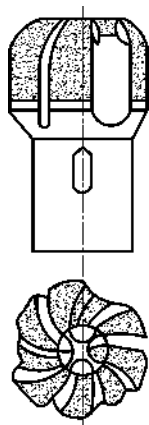


图 4-1 螺旋型水槽全面钻头

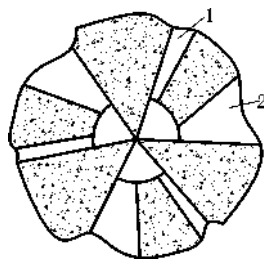


图 4-2 憋压式水槽全面钻头

金刚石钻头的水力计算

在设计和使用金刚石钻头时，首先要确定流过钻头工作面的冲洗流量，以满足环状空间的最低上返流速。然后根据已定的冲洗流量、冲洗液密度（或泥浆密度）、钻头压力降来确定所需的冲洗液流经的截面积。

钻头压力降 ΔP 根据钻头所需水马力计算：

$$\Delta P = \frac{P_{\text{水}}}{Q} \quad (4-1)$$

$$\Delta P = \frac{P_{\text{水}}}{Q} \cdot \frac{1}{1000} \quad (4-2)$$

式中： $P_{\text{水}}$ ——钻头所需水马力， kW ；

$P_{\text{水}}$ ——钻头比水马力， kW/cm^2 ；

A ——钻头投影面积， cm^2 ， $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ；

Q ——冲洗流量， L/min ；

钻头的比水马力采用 $\frac{P_{\text{水}}}{Q}$ 已能满足清洗岩屑

和冷却金刚石的要求。

这样,就可以根据 η 、 ρ 和冲洗液密度(或泥浆密度)从图 2-10 中获得所需的冲洗液流经的截面积 F

确定 F 值后,就可以设计出钻头水槽数和其截面面积。冲洗液流经截面积 F 包括水槽截面积 F_1 和金刚石出露高度所形成的溢缝面积 F_2 , 即:

$$F = F_1 + F_2 \quad (2-10)$$

$$F = \pi r^2 n + 2\pi r h \quad (2-11)$$

式中: n ——通中心水眼的水槽数量;

r ——钻头半径, mm ;

h ——金刚石出露高度, mm 。

这样,钻头水槽截面积 F_1 为 $F - F_2$, 每一条水槽的截面积 F_1/n

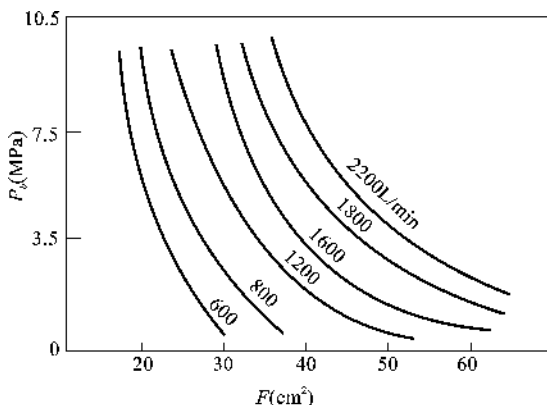


图 2-10 不同冲洗液量下压力降 P_d 与流经截面积 F 的关系
(冲洗液密度为 1.2 g/cm^3)

缘 不 同 型 号 钻 头 的 适 用 地 层

不 同 型 号 钻 头 的 适 用 地 层 可 参 考 表 远 员 苑

表 远 员 苑 摇 不 同 型 号 钻 头 的 适 用 地 层

钻 头 型 号		员 圆	源	愿	怨
直 径 (英 寸)	粒 度 (粒 径 克 拉)	员 圆	源	愿	怨
	重 量 (克 拉)	(标 准 型)	(标 准 型)	(优 质 型)	(优 质 型)
远	缘	员 圆	源	愿	怨
苑	愿	员 圆	源	愿	怨
愿	员 圆	员 圆	源	愿	怨
怨	缘	员 圆	源	愿	怨
圆	员 圆	源	怨	愿	怨
适 用 地 层		软	中 硬	硬	坚 硬

远 员 苑 摇 金 刚 石 钻 头 的 使 用

远 员 苑 摇 钻 具 组 合

钻 具 包 括 钻 杆、岩 心 管、扩 孔 器 及 金 刚 石 钻 头，它 们 之 间 的 合 理 组 合 称 为 钻 具 级 配 系 列。金 刚 石 钻 具 级 配 系 列 具 有 以 下 特 点：

(员) 钻 头 与 钻 杆 之 间 的 差 值 一 般 不 超 过 圆 缘 皂。这 样 有 利 于 开 高 转 速，因 为 钻 孔 中 存 在 有 三 种 摩 擦 付：即 钻 杆 全 身 与 孔 壁；岩 心 管 与 孔 壁 与 岩 心；钻 头 与 孔 底。随 着 钻 孔 延 深，前 者 起 主 导 作 用。

全孔的回转阻力可按以下公式计算：

$$M = \frac{2\pi \mu \rho \omega}{\pi} \sum_{i=1}^n \frac{r_i^2}{\lambda_i} \quad (2-10)$$

式中： μ ——钻杆与孔壁的摩擦系数，水介质时为 0.05~0.1，润滑冲洗液时为 0.02；

n ——钻杆半波个数；

ρ ——钻杆单位长度质量，kg/m；

r_i ——正弦波峰值，m；

λ_i ——钻杆半波长，可取 2m；

ω ——钻杆的回转角速度，rad/s

$$M = \frac{2\pi \mu \rho \omega}{\pi} \sum_{i=1}^n \frac{r_i^2}{\lambda_i} \quad (2-11)$$

式中： ω ——钻具转速，rad/s

为了开高转速，又要减轻全孔回转阻力，必须采用润滑冲洗液以减少 μ 值。当使用润滑冲洗液时 μ 值可降低到 0.02 左右。另外，也必须尽量减小 r_i 值以及采用轻钻杆。

(2) 扩孔器的外径一般比钻头外径大 0.05~0.1mm，具体值取决于岩性，坚硬强研磨性岩石取小值。

(3) 岩心卡断器与钻具配合较严密。

岩心卡断器与钻头等的配合尺寸见图 2-10。内管短截与岩芯内管插接，而卡簧座与内管短截插接，卡簧座内放置卡簧，卡簧在卡簧座内能相对滑动一定距离，卡簧座底端与钻头的内台阶也有一定的距离。卡簧的自由内径比钻头的内径要小些。

卡簧座和卡簧的形状见图 2-11 图 2-12

2.2 温度对钻头使用的影响

金刚石钻头在工作过程中，由于金刚石和胎体与岩石和岩屑摩擦产生热量而升温。当金刚石和胎体与岩石的接触温度达到约

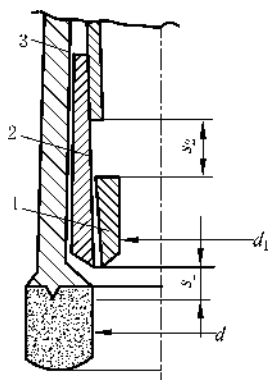


图 4-10 摇岩心卡断器配合尺寸

1—卡簧；2—圆卡簧座；3—内管短截； d_1 —钻头内径； s_1 —卡簧自由内径
 （比钻头内径小左右）； s_1' —卡簧底座端距离钻头内台阶距离
 （为内管短截）； s_2 —卡簧在底座内滑动距离（大约为 10mm）

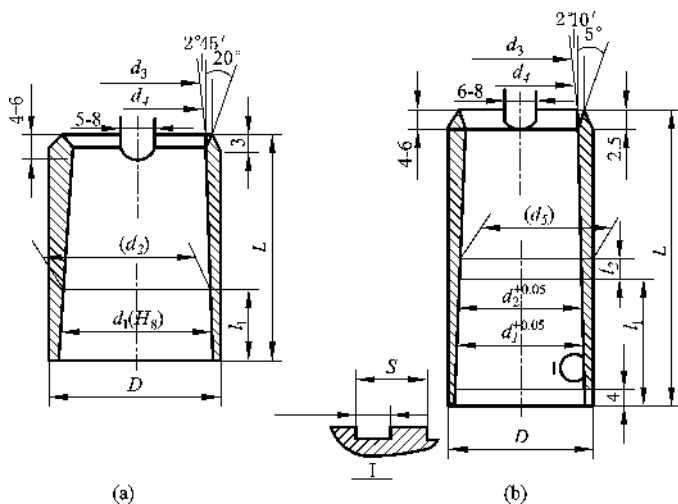


图 4-11 摇岩心卡簧座的形状

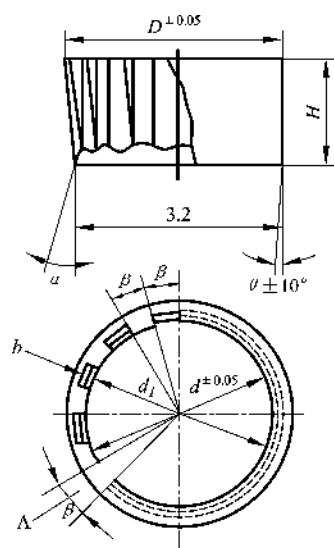


图 远原录德卡簧的形状

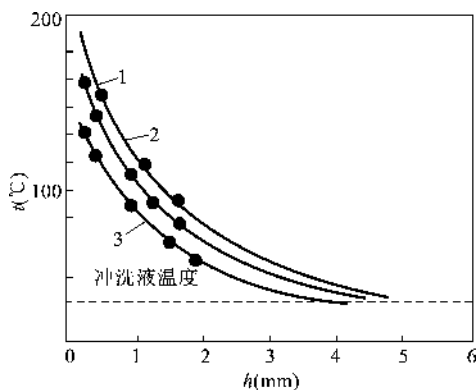


图 远原录德温度沿胎体高度方向的分布

远原录德或更高时，会引起金刚石的硬度和耐磨性显著下降，胎体

发生各种变形。因此,使用时必须充分重视温度对金刚石钻头使用效果的影响。

温度沿胎体高度方向的分布

图 4-10 描绘出了在试验台上对温度沿胎体高度方向的分布测定情况。其试验条件为:花岗岩,钻头直径 $\phi 100$ mm,钻头转速 1000 r/min,冲洗液量 10 L/min,钻压 1000 N, 1000 N, 1000 N。

由图 4-10 可见,离胎体唇面愈近,温度愈高,在离唇面 10 mm 处,温度达到 100 ~ 150 °C,局部达到 150 ~ 200 °C;而且高温点也不断变化。其次,从图 4-10 也可以看出:钻压愈大,升温愈高,二者基本成正比关系。

转速、钻组合对升温的影响

表 4-1 列出了转速、钻组合对升温影响的试验数据。

表 4-1 转速、钻组合对升温的影响

胎体高度 (mm)	钻压 (N)	转速 (r/min)	转速·钻压 (r/min·N)	温度 (°C)
10	1000	1000	1000000	150
10	500	2000	1000000	100
50	1000	1000	1000000	70
50	500	2000	1000000	50

从表 4-1 看出,虽然[转速·钻压]值相等,但升温则不同,转速、钻压值高而钻压、转速值较低的组合,胎体升温较低,这可以解释由于钻头转速增大,引起冲洗液质点运动速度加快,有利于冷却胎体。因此,金刚石钻进采用高转速比采用高钻压有利。

钻头热平衡时间与“烧钻”

试验结果表明:当钻头转速为 1000 r/min,钻压为 1000 N 时,

钻头热平衡时间为源~缘,即胎体温度增至一定值,随后温度不变。但是如果由于钻头冷却不良或冲洗液突然停止,就会使钻头发生微烧和“烧钻”。由于冷却不良,当温度达远~益时金刚石出现微烧,金刚石具有氧化的暗色、胎体具有兰色斑点;如果突然停止冲洗液,而钻头继续运转源~远,胎体温度可达怨~益左右,就会出现“烧钻”,这时胎体出现橘红色、水口消失、一部分胎体粘附在岩石上。

灑胎体接触端面温度的理论计算

设胎体为半径则的圆柱体,在其上的载荷为孕,以速度增对岩石平面产生摩擦(见图远原原)。

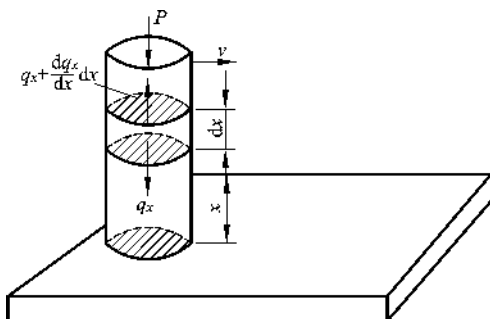


图 远原原 胎体端面与平面的摩擦模型

则胎体在单位时间内产生的热量 匝为：

$$Q = \mu \frac{Pv}{\alpha} \quad (远原原)$$

- 式中： μ ——摩擦系数；
- 孕——载荷，晕；
- 增——速度，糟转缘；
- 允——热功当量。

上述产生的热量 愿缘 ~ 怨缘 传到胎体，而其余的热量传到岩

石内。下面讨论距平面为 Δz 的一微小部分 Δz 上的热平衡。设该处的温度为 T , 单位时间面积的流入量为 q_1 , 则单位时间内流入的热量 Q_1 为:

$$Q_1 = q_1 \Delta z \quad (远原愿)$$

而流出的热量 Q_2 为:

$$Q_2 = q_2 \Delta z = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta z} \cdot \Delta z \quad (远原愿)$$

流入和流出的热量差 Q 为:

$$Q = q_1 \Delta z - \lambda \frac{\Delta T}{\Delta z} \cdot \Delta z \quad (远原愿)$$

根据傅立叶(云燥)法则

$$q_2 = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta z} \quad (远原愿)$$

式中: λ ——物体的导热系数, 宰 \cdot 益;

$\frac{\Delta T}{\Delta z}$ ——物体的温度梯度。

将式(远原愿)代入式(远原愿)得

$$Q = q_1 \Delta z + \lambda \frac{\Delta T}{\Delta z} \cdot \Delta z \quad (远原愿)$$

另一方面, 设物体周围温度为 T_0 , 散热系数为 α (单位为宰 \cdot 益), 物体表面由于散热而散失的热量 Q_0 为:

$$Q_0 = \alpha \Delta z (T - T_0) \quad (远原愿)$$

热平衡状态下, $Q = Q_0$, 则

$$q_1 \Delta z + \lambda \frac{\Delta T}{\Delta z} \cdot \Delta z = \alpha \Delta z (T - T_0) \quad (远原愿)$$

解上述方程得:

$$T = T_0 + \frac{q_1 + \lambda \frac{\Delta T}{\Delta z}}{\alpha} \quad (远原愿)$$

式中: C ——积分常数。

为了求出常数 α , 设总摩擦热中为 μ 流入胎体中, 而该部分热量均由胎体表面以散热方式失掉, 则

$$\mu \frac{Q}{\pi r} = \alpha (T_{\text{岩}} - T_{\text{岩}}) \quad (2.1.1)$$

将式(2.1.1)代入式(2.1.2)求得 $\alpha = \frac{\mu Q}{\pi r \sqrt{V_{\text{岩}}}}$, 则

$$T_{\text{岩}} = T_{\text{岩}} + \frac{\mu Q}{\pi r \sqrt{V_{\text{岩}}}} \quad (2.1.3)$$

式中: μ ——热量分配到胎体内的系数, 其值取决于岩性, 一般为 $0.1 \sim 0.2$

设 $T_{\text{岩}} = T_{\text{岩}}$, 则可求出胎体端面和岩石接触面的温度:

$$T_{\text{岩}} = T_{\text{岩}} + \frac{\mu Q}{\pi r \sqrt{V_{\text{岩}}}} \quad (2.1.4)$$

将式(2.1.4)代入式(2.1.5)得:

$$T_{\text{岩}} = T_{\text{岩}} + \frac{\mu Q}{\pi r \sqrt{V_{\text{岩}}}} \quad (2.1.5)$$

式中: $T_{\text{岩}}$ ——接触面摩擦温度;

$T_{\text{岩}}$ ——冲洗液温度。

式(2.1.5)可用下式表达:

$$T_{\text{岩}} = T_{\text{岩}} + \frac{\mu Q}{\pi r \sqrt{V_{\text{岩}}}} \quad (2.1.6)$$

可见, $T_{\text{岩}}$ 值和 $V_{\text{岩}}, \mu$ 成正比; 而和 $T_{\text{岩}}$ 成反比。

2.1.2 摇钻进给参数

1. 钻头转速

钻头转速可以按下式计算:

$$n = \frac{V_{\text{岩}}}{\pi r} \quad (2.1.7)$$

式中: n ——钻头转速, r ——钻头

阅——钻头平均直径，皂；

增——钻头切线速度，皂转/秒。对于孕镶钻头一般为 15~20 转/秒，表镶钻头一般为 10~15 转/秒。

4.1.2 钻压

施加在钻头上的轴向压力对于表镶和孕镶金刚石钻头可以分别按下列公式计算：

$$P_{\text{表}} = \eta \cdot n \cdot \rho_{\text{单}} \quad (4-10)$$

式中： $P_{\text{表}}$ ——表镶金刚石钻头的钻压，皂；

η ——参加破碎岩石的金刚石系数，一般取 0.5；

n ——钻头唇面上金刚石粒数；

$\rho_{\text{单}}$ ——单颗金刚石上的压力，皂/厘米²。一般为 10~15 厘米²，极限值为 20 厘米²。

$$P_{\text{孕}} = \sigma \cdot A \quad (4-11)$$

式中： $P_{\text{孕}}$ ——孕镶金刚石钻头的钻压，皂；

A ——钻头的唇面工作面积；

σ ——单位工作面积上的压力，常为 10~15 皂/厘米²，不得超过 20 皂/厘米²。

4.1.3 冲洗液量

$$Q = \pi \cdot D \cdot v \cdot A \quad (4-12)$$

式中： Q ——冲洗液量；

v ——冲洗液在钻杆和孔壁环状间隙的上返流速，一般为 0.5~1 米/秒；

A ——钻杆与孔壁之间的环状面积，厘米²。

第 7 章 几种典型钻头的设计与制造

7.1 高效率孕镶金刚石钻头

7.1.1 高效率孕镶金刚石钻头胎体设计

孕镶金刚石钻头的工作机理是通过金刚石切削破碎岩石进行的,要使孕镶金刚石钻头有较高的效率,必须保证金刚石的出刃量较高。同时高效率对钻头胎体的性能也有较高的要求。

高效率孕镶金刚石钻头的高效率是通过金刚石的高出刃来实现的,这样就要求钻头的胎体对金刚石要有很好的包镶能力,只有具有强包镶能力的胎体,才可保证金刚石在出刃量较大时不会和不易脱落。在设计高效率孕镶金刚石钻头的胎体时,为了提高包镶能力,改善胎体性能,可在胎体中加入一定适量的钴金属成分。在普通的孕镶金刚石钻头胎体中,一般不使用钴金属,因为我国钴资源贫乏,很大程度上需要进口,价格比较昂贵。另一方面使用表面镀覆金属的金刚石(如表面镀钛等),也可起到提高钻头胎体对金刚石的包镶能力的目的。上述手段均有利于孕镶金刚石钻头实现高效率钻进。

表 4-1 孕镶胎体配方高温硬度

胎体成分配方	温度 (益)	硬度	胎体成分配方	温度 (益)	硬度
孕镶青铜	常温	HR	孕镶青铜 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶	常温	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
孕镶青铜 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶	常温	HR	孕镶青铜 孕镶 孕镶 孕镶	常温	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
孕镶青铜 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶	常温	HR	孕镶青铜 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶	常温	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
孕镶青铜 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶	常温	HR	孕镶青铜 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶 孕镶	常温	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR
	HR	HR		HR	HR

高效率孕镶金刚石钻头还要有高强度(抗变形能力)的胎体,因为高效率来源于金刚石的高出刃和高的线速度,高的线速度使

作用于金刚石颗粒上的力很大，这样一来使金刚石切削破碎岩石的作用力也很大。根据作用力与反作用力原理，则金刚石反作用于胎体上的力也很大。这就要求钻头胎体能够承受金刚石给予的大作用力而不产生变形，否则金刚石容易脱落，钻头就不可能实现高效率工作。因而在设计高效率孕镶金刚石钻头时，不宜选用抗变形能力差（如脆性很大）的钻头胎体配方。

高效率孕镶金刚石钻头也要求钻头胎体有较好的高温硬度即红硬性。正如前述，钻头的高效率是由金刚石的高出刃和高的线速度带来的，这样其必然会导致钻头胎体的工作温度很高。若钻头胎体的红硬性设计得不理想，钻头在不高的工作温度下就引起胎体软化，这样使胎体十分容易磨损，抗变形能力减弱，从而将严重影响金刚石切削岩石的能力和效率，使金刚石稍有出刃就脱落或缩颈，这种钻头则肯定不可能有高的时效。表 3-1 列出了通过金刚石工具红硬性高温测定仪测得的几种胎体配方的高温硬度情况。

钻头胎体的强耐磨能力也是决定孕镶金刚石钻头能否拥有高效率的重要条件之一。孕镶金刚石钻头在进行高时效切削岩石时，产生的岩粉量必然很大，大量的岩粉冲蚀研磨胎体，使钻头胎体容易被迅速磨损，也会导致金刚石在出刃不大或磨损不大的情况下，因胎体的磨损而脱落，这样同样也不可能给金刚石钻头带来高效率。为解决该问题用通常的增加骨架成分碳化钨的方法是行不通的，这是由于一方面随着胎体配方中骨架成分碳化钨的增加，钻头所要求的烧结温度也必然会随之增加，使钻头胎体的脆性增大，导致钻头胎体抵抗震动、碰撞等的的能力减弱，当钻头遇到硬而大的如石英粒等时，容易使钻头胎体成块状裂脱。解决该问题采用的合理方法是：在钻头胎体配方中加入适量的低强度差质量的细颗粒金刚石作为辅磨料，用它们来增强钻头胎体的耐磨能力。相对于整个钻头来说，在胎体中颗粒度较粗、质量较好、起切削岩石作用的金刚石是主磨料。辅磨料金刚石一般来说

不起切削岩石作用。

4.1.2 孕镶金刚石钻头的高效率孕镶金刚石钻头的金刚石参数设计

高效率孕镶金刚石钻头要求要用高强度粗颗粒金刚石，以保证金刚石能有大的出刃量，增大每颗金刚石单次切削岩石的切削量，即切削效率。当然若金刚石的粒度过粗，当金刚石钻头钻进一段时间后，金刚石的尖部一旦磨平，使金刚石与岩石的接触面积增大，降低了金刚石刻取岩石的单位面积压力，减少了金刚石每次切入岩石的深度，从而降低钻头的时效。有关对比研究表明，对于一般地层，采用 $100\sim 200$ 目粒度的金刚石有利于孕镶金刚石钻头实现高时效。

孕镶金刚石钻头中浓度设计得是否合理是钻头能否取得高效率的关键因素之一。常规钻头一般设计的金刚石浓度为 $10\sim 20\%$ （质量比），如此高主磨料的金刚石钻头肯定不可能产生高效率。因为孕镶金刚石钻头的时效一方面取决于钻头线速度的快慢；另一方面又受制于作用在钻头胎体上单颗金刚石的平均压力。若没有作用于钻头胎体上单颗金刚石的大压力，会导致金刚石切入岩石的深度较小，将会降低金刚石切削岩石的单次效率，无法实现钻进的高效率。下面通过计算来作进一步说明。

设定钻头规格为 $\phi 100$ 型，通过钻机作用于钻头上的压力为 100000N 。假设孕钻头的金刚石参数配方为： $100\sim 200$ 目金刚石，浓度为 10% ；孕钻头的金刚石参数配方为： $100\sim 200$ 目金刚石，浓度为 10% 。设计两钻头工作层高度均为 100mm 。经查得 $100\sim 200$ 目的金刚石平均粒径为 $100\mu\text{m}$ ， $100\sim 200$ 目金刚石的平均粒径为 $100\mu\text{m}$ ，金刚石的密度为 $3500\text{kg}/\text{m}^3$ 。 $\phi 100$ 型钻头的水口数为 8 个，水口尺寸为 $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ 。

$\phi 100$ 型钻头的环状唇面积为：
$$A = \frac{1}{4} \pi (D^2 - d^2) \times L$$

(槽)

φ_缘 钻头的水口面积为：杂_算 越_算 伊_算 袁_算 丹_算 越_算 袁_算 槽_算)

φ_缘 钻头唇面工作面积为：杂_算 越_算 杂_算 伊_算 袁_算 丹_算 越_算 袁_算 槽_算)

φ_缘 钻头的工作层体积为：灾_算 越_算 杂_算 伊_算 匀_算 越_算 伊_算 袁_算 丹_算 越_算 袁_算 槽_算)

粤钻头中金刚石所占体积为：灾_算 越_算 悦_算 伊_算 灾_算 越_算 袁_算 伊_算 袁_算 槽_算)

月钻头中金刚石所占体积为：灾_算 越_算 悦_算 伊_算 灾_算 越_算 袁_算 伊_算 袁_算 槽_算)

φ_缘 单颗金刚石的体积为：灾_算 越_算 员_算 越_算 员_算 伊_算 袁_算 丹_算 越_算 袁_算 槽_算)

φ_缘 单颗金刚石的体积为：灾_算 越_算 员_算 越_算 员_算 伊_算 袁_算 丹_算 越_算 袁_算 槽_算)

粤钻头中金刚石的颗粒数为：晕_算 越_算 灾_算 越_算 袁_算 槽_算)

月钻头中金刚石的颗粒数为：晕_算 越_算 灾_算 越_算 袁_算 槽_算)

粤钻头工作胎体可分层数为：灶_算 越_算 晕_算 越_算 袁_算 槽_算)

月钻头工作胎体可分层数为：灶_算 越_算 晕_算 越_算 袁_算 槽_算)

粤钻头中金刚石的面积浓度为：配_算 越_算 晕_算 越_算 袁_算 槽_算)

月钻头中金刚石的面积浓度为：配_算 越_算 晕_算 越_算 袁_算 槽_算)

粤钻头工作胎体唇面上单颗金刚石的平均压力为：孕_算 越_算 晕_算 越_算 袁_算 槽_算)

月钻头工作胎体唇面上单颗金刚石的平均压力为：孕_算 越_算 晕_算 越_算 袁_算 槽_算)

通过上述计算可知：作用于月钻头胎体唇面单颗金刚石的平均压力比作用于粤钻头胎体唇面单颗金刚石的平均压力大得多。由此可见，钻头设计时采用低浓度粗颗粒的金刚石有利于增大作

用于钻头上的单颗金刚石的平均压力，从而提高钻头时效。

苑源猿 摇高效率孕镶金刚石钻头的室内试验

为了验证上述设计高效率孕镶金刚石钻头的思路，研究者在室内对设计制造的高效率孕镶金刚石钻头和普通孕镶金刚石钻头进行了对比模拟钻进试验。在相同的制造工艺和使用条件下，对各类钻头进行对比钻进试验，室内模拟钻进试验条件为：

钻摇摇机：在圆园缘方摇臂钻床改造而成

钻头规格： ϕ 猿缘皂皂

冷却液：清水

水摇摇量：员缘皂皂

钻机转速：员园园转皂皂

钻摇摇压：圆园皂皂

钻进岩石：中粗粒花岗岩

岩石 粤值：苑源

岩石 月值：员源

高效率孕镶金刚石钻头上述四种配方的室内钻进试验结果列于表 苑源圆

从表 苑源圆可以看出：设计的高效率孕镶金刚石钻头的时效比普通钻头的时效高出很多，达到了设计目的。

从表 苑源圆还可得到：高效率 猿配方钻头的平均钻进时效最高，为 缘源皂皂皂，其次平均钻进时效的高低依此为高效率 猿配方 源配方皂皂皂，高效率 源配方 源配方皂皂皂，高效率 圆配方 圆配方皂皂皂，普通钻头的平均钻进时效仅有 员源皂皂皂，而钻头的单位进尺磨耗最小的是高效率 圆配方，为 源圆皂皂皂，高效率 猿配方的单位进尺磨耗为 源圆皂皂皂与最小的高效率 圆配方的单位进尺磨耗非常接近，高效率 猿配方和高效率 源配方的单位进尺磨耗分别为 远源皂皂皂和 远源皂皂皂。从钻进时效和钻头单位进尺磨耗两方面综合考虑，

应认为高效率 员配方是最理想的。

表 苑原圆 摇钻头室内钻进试验结果

钻头编号	平均时效(皂)	平均磨耗(皂)
高效率 员钻头	缘	源
高效率 圆钻头	圆	源
高效率 猿钻头	源	远
高效率 源钻头	源	远
普通钻头	员	猿

表 苑原圆 摇高效率孕镶金刚石钻头的现场使用情况

配方号	钻进岩层性质	平均时效(皂)	最高时效(皂)	最低时效(皂)	平均寿命(皂)	与匀钻头比平均时效提高率	与匀钻头比平均寿命提高率
匀厂钻头	砂砾岩	猿	源	圆	圆		
	花岗岩	猿	源	圆	圆		
高效 员钻头	砂砾岩	猿	员	远	猿	员	源
	花岗岩	愿	员	苑	猿	员	源
高效 圆钻头	砂砾岩	猿	愿	缘	猿	员	源
	花岗岩	愿	怨	苑	猿	员	源
高效 猿钻头	砂砾岩	远	愿	缘	源	员	员
	花岗岩	缘	远	缘	源	员	员
高效 源钻头	砂砾岩	远	苑	缘	缘	员	员
	花岗岩	源	缘	猿	缘	员	员

苑原圆 摇高效率孕镶金刚石钻头的现场使用情况

在理论研究和室内模拟钻进试验的基础上，依据前述四种配方生产了 圆个孕镶金刚石钻头，规格为 ϕ 缘的绳索取芯钻头，工作层设计为 源，为 远个水口，在某矿区进行了钻探生产试验。

钻进现场使用的主要钻探生产设备为：猿型钻机；月

原 4 泥浆泵。所采用的钻进规程为：钻机转速 $1000 \sim 1500 \text{ r/min}$ ，绝大部分时间钻机转速为 1000 r/min ；钻压为 $1000 \sim 1500 \text{ N}$ ；钻井液类型是硫酸盐乳化油；原 4 泥浆泵的泵压基本维持在 $10 \sim 15 \text{ MPa}$ 左右；主机电流控制在 $100 \sim 150 \text{ A}$ 。

钻孔岩性：(粉)红色砂砾岩，砾石呈棱角状。(中)粒斑状黑云母花岗岩，颜色为白色至灰白色。砂砾岩的岩石 ρ_v 值为 2.65 ，岩石 ρ_m 值为 2.65 ；中粒斑状黑云母花岗岩的岩石 ρ_v 值为 2.65 ，岩石 ρ_m 值为 2.65 。试验中四类高效率钻头的使用情况以及该矿区原使用的某厂钻头的使用情况列于表 4-1。

从表 4-1 的比较可以看出，四种高效率配方钻头与某厂钻头比较，高效率孕镶金刚石钻头的时效较某厂钻头的时效提高了 $1.5 \sim 2.0$ 倍，寿命延长了 $1.5 \sim 2.0$ 倍。

4.1 摇大口径热压工程钻头

大口径(直径大于 100 mm)的孕镶金刚石钻头一般采用电镀法生产，国内能使用热压法制造大口径孕镶金刚石钻头的厂商较少。但对于某些比较特殊的地层和施工技术要求，必须要使用热压法生产制造的大口径孕镶金刚石钻头才能实现正常钻进，达到和满足施工技术规范要求，以实现钻进成孔的目的。

4.1.1 摇大口径热压工程钻头的石墨模具设计

热压法制造和生产大口径孕镶金刚石工程钻头的第一步是进行模具设计，石墨是热压钻头生产中模具的基本材料。钻头的石墨模具设计得正确合理与否，直接影响到钻头烧结和制造的成败。在进行大口径孕镶金刚石工程钻头的石墨模具设计时，必须考虑到两方面问题：一方面对于大口径孕镶金刚石工程钻头的石墨模具，它是否能够承受住钻头烧结成型时所需要施加的烧结

压力,即在所需要的烧结压力范围内,石墨模具不至于由于抗压强度不够而被压碎(在保证钻头钢体与石墨模具有足够间隙的前提下);另一方面是在大口径孕镶金刚石工程钻头的大直径石墨模具烧结过程中,温度能否上升至钻头配方所要求的烧结温度。因为石墨模具直径比钻头直径更大,加热时有可能当石墨模具达到一定温度时,通电产生的热量与石墨模具冷却扩散的热量相互抵消,从而使石墨模具温度不能进一步升高。

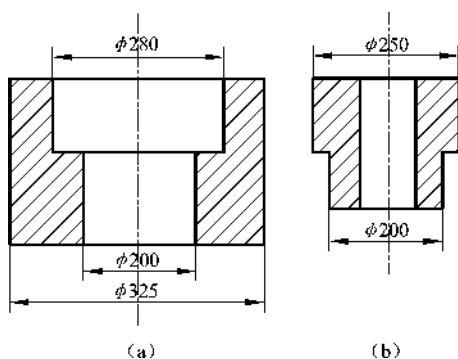


图 1 大口径孕镶空心式石墨模具示意图

葬—母模；遭—芯模

研制大口径热压孕镶金刚石工程钻头时,在考虑和估计到上述两方面困难的前提下,研究者对此进行了针对性研究,找到了解决这两大难题的办法。将大口径热压孕镶金刚石工程钻头的石墨模具设计为空洞式(如图 1 所示,以生产 $\phi 150$ 钻头为例)。空洞式石墨模具的设计优点在于:在满足且不减少其承受钻头所需的烧结压力的条件下,有利于加热升温,因为空洞式石墨模具减少了吸热石墨部分的体积,易于使热量集中,使整个被加热体在加热时温度上升速度加快。同时由于空洞式石墨模具减少了吸热石墨部分的体积,而这部分又是不必要的部分,从而

减少了对能源的浪费,节约了电能,有利于降低钻头生产成本。

空洞式石墨模具能否满足承受大口径热压孕镶金刚石工程钻头所需要的烧结压力要求呢?下面通过计算来给出这一问题的答案。

根据有关经验和资料介绍,热压孕镶金刚石钻头的烧结成型压力一般为 $15 \sim 25 \text{ MPa}$,对于大口径的孕镶金刚石钻头而言,考虑到加压设备条件和石墨模具的抗压情况限制,烧结时,其压力范围可取下限值,故下述计算中的大口径工程钻头的成型压力取为 15 MPa 。

大口径孕镶钻头唇面横截面积为: $\frac{1}{2} \pi (D_0^2 - D_1^2)$ (式中 D_0 为钻头外径, D_1 为钻头内径)

大口径孕镶钻头烧结时要求的成型压力为: $P = 15 \text{ MPa}$

实心石墨模具的有效受压面积为: $\frac{1}{2} \pi (D_0^2 - D_1^2)$ (式中 D_0 为模具外径, D_1 为模具内径)

空洞式石墨模具的有效受压面积为: $\frac{1}{2} \pi (D_0^2 - D_1^2)$ (式中 D_0 为模具外径, D_1 为模具内径)

烧结时实心石墨模具所承受的单位面积压力为: $P = 15 \text{ MPa}$

烧结时空洞式石墨模具所承受的单位面积压力为: $P = 15 \text{ MPa}$

适宜作为石墨模具材料的许多碳素厂生产的高强石墨的抗压强度均不低于 150 MPa 。从上述计算可以看出,无论是大口径热压钻头的实心石墨模具还是空洞式石墨模具,在进行烧结时所承受的压力均远远低于用作模具的石墨的抗压强度,即表明用空洞式

石墨模具烧结生产大口径热压工程钻头，完全能够满足烧结承压的要求。

钻头钢体与石墨模具间隙设计

进行钻头钢体与石墨模具间隙公差合理设计是一项十分重要的工作，因为若设计的钻头钢体与石墨模具间隙过小的话，在通电加热升温时，钻头钢体膨胀，使石墨模具因钢体线膨胀较大而胀裂，导致钻头报废；相反，若设计的钻头钢体与石墨模具的间隙过大，将会使钻头外径部分胎体的致密度不够，导致其磨损过快，影响钻头的正常使用，造成钻头寿命极短。钻头钢体与石墨模具间的间隙公差，可以通过下式来计算确定：

$$\Delta_{\text{噪}} = \frac{D_{\text{噪}} \cdot [\alpha_{\text{圆}} \cdot (T_{\text{噪}} - T_{\text{原}})]}{\alpha_{\text{圆}} \cdot (T_{\text{噪}} - T_{\text{原}}) + \alpha_{\text{圆}} \cdot (T_{\text{噪}} - T_{\text{原}})} \quad (\text{苑原员})$$

式中： $D_{\text{噪}}$ ——所设计的石墨母模直径，皂皂；

$D_{\text{噪}}$ ——所设计的钻头胎体外径，皂皂；

$\alpha_{\text{圆}}$ ——石墨的线膨胀系数，益^{原员}；

$\alpha_{\text{圆}}$ ——胎体材料的线膨胀系数，益^{原员}；

$T_{\text{噪}}$ ——钻头的烧结温度，益；

$T_{\text{原}}$ ——室温，益；

$\Delta_{\text{噪}}$ ——修正系数。

上式的钻头钢体与石墨模具间的间隙公差计算方法仅适用于大口径热压孕镶金刚石钻头的设计生产中。如以 $\phi_{\text{噪}}$ 孕镶金刚石钻头为例， $D_{\text{噪}} = \phi_{\text{噪}}$ ， $\alpha_{\text{圆}} = \alpha_{\text{噪}}$ ， $\alpha_{\text{圆}} = \alpha_{\text{噪}}$ ， $T_{\text{噪}} = T_{\text{噪}}$ ， $T_{\text{原}} = T_{\text{原}}$ ，将这些数据代入式(苑原员)计算得：

$$\Delta_{\text{噪}} = \frac{D_{\text{噪}} \cdot [\alpha_{\text{噪}} \cdot (T_{\text{噪}} - T_{\text{原}})]}{\alpha_{\text{噪}} \cdot (T_{\text{噪}} - T_{\text{原}}) + \alpha_{\text{噪}} \cdot (T_{\text{噪}} - T_{\text{原}})} \quad (\text{皂皂})$$

钻头钢体外径 $D_{\text{噪}}$ 与石墨母模直径 $D_{\text{噪}}$ 之间的间隙公差配合应满足下列条件：

$$\text{摇摇摇摇阅} \leq \frac{\text{阅} \cdot [\text{员垣}\alpha_{\text{员}} \cdot (\text{贼}\text{贼})]}{\text{员垣}\alpha_{\text{泽}} (\text{贼}\text{贼})} \quad (\text{苑原园})$$

式中：阅——钻头钢体外径，皂皂；

阅——石墨母模直径，皂皂；

$\alpha_{\text{员}}$ ——石墨的线膨胀系数，益^原；

$\alpha_{\text{泽}}$ ——钻头钢体材料的线膨胀系数，益^原；

贼——钻头的烧结温度，益；

贼——室温，益。

同样以 ϕ 圆皂皂皂钻头为例，根据式(苑原园)计算得到石墨母模直径 阅^越 圆皂皂皂皂，钻头钢体材料 泽缘钢的线膨胀系数 $\alpha_{\text{泽}}$ 越缘伊^原 益^原，贼^越 员源益，贼^越 园益，将这些数据代入式(源原园)计算得：阅^越 圆皂皂皂皂。

若取 ϕ 圆皂皂皂钻头的钢体直径 阅^越 圆皂皂皂，则其周长为：蕴^越 圆皂皂伊 π 越缘怨皂皂。

当加热至 员源益时，钻头钢体周长变为：蕴^越 圆皂皂垣蕴伊 $\alpha_{\text{泽}}$ 伊(贼) 越缘怨皂皂。

在 员源益时钻头钢体直径为：阅^越 圆皂皂伊 $\frac{\text{蕴}}{\pi}$ 越圆皂皂皂。

室温下石墨母模的周长为：蕴^越 圆皂皂伊 π 越缘怨皂皂。

当加热至 员源益时，石墨母模的周长变为：蕴^越 圆皂皂垣蕴伊 $\alpha_{\text{员}}$ 伊(贼) 越缘怨皂皂。

在 员源益时石墨母模的直径为：阅^越 圆皂皂伊 $\frac{\text{蕴}}{\pi}$ 越圆皂皂皂。

在 员源益时石墨母模与钻头钢体的间隙为： δ 越阅^越 原阅^越 越圆皂皂皂。

根据上述计算可知，当钻头烧结时加热到 员源益时，石墨母模与钻头钢体的间隙仍然存在，为 圆皂皂皂，这将不会导致石墨母模在烧结过程中被胀裂，同时在 员源益时剩余的间隙比较小，这样不会影响钻头胎体外径的性能。

根据上述讨论与计算即可设计出大口径孕镶金刚石钻头的相

关尺寸,如 ϕ 圆锥钻头石墨母模直径,圆锥钻头钢体外径,圆锥钻头

圆锥大口径热压孕镶金刚石钻头的配方设计

由于大口径热压孕镶金刚石钻头的生产难度较大,技术含量高,材料用量多,相应其成本也较高,从而导致其销售价格昂贵。故此用户在选择和使用大口径热压孕镶金刚石钻头时,对寿命的要求是摆在首位的,假若售买的大口径孕镶金刚石钻头寿命较低,将会引起钻头单位进尺成本和综合钻探成本极高,造成工程造价增大。因而在设计制造和生产大口径孕镶金刚石钻头时,保证钻头寿命较长是第一位考虑的问题。但是大口径孕镶金刚石钻头的直径很大,由于钻探设备等原因,会使作用于钻井孔底钻头单位面积上的压力极小,这样若钻头配方设计不当,不仅不能实现长寿命的目标,还有可能导致钻头钻进时根本不进尺,出现钻头打滑现象。故此,在设计大口径热压孕镶金刚石钻头配方时,如何合理解决钻头寿命和避免出现钻头打滑这一对矛盾是其研究的难点。

孕镶金刚石钻头的工作机理是通过金刚石切削破碎岩石来进行的,要使孕镶金刚石钻头能有效切削破碎岩石,必须保证金刚石有一定的出刃量。同时为了达到大口径孕镶金刚石钻头具有较长寿命的目的,还要求钻头胎体具有理想的包镶能力和较好的耐磨性。

为了保证大口径孕镶金刚石钻头在使用过程中始终能正常进尺,防止出现钻头打滑现象,必须保证钻头胎体工作表面始终有金刚石出刃,这就要求钻头胎体在具有较好包镶能力和耐磨能力的同时,能使胎体与金刚石同步磨损。假若钻头胎体超前于金刚石磨损(偏快),将导致钻头寿命太短,这正是用户所不愿看到的和生产制造商要极力避免出现的情况;另一方面,假若钻头胎体

磨损滞后于金刚石的磨损,即钻头胎体的包镶能力和耐磨能力过强,将使金刚石无法出刃,不能有效切削岩石,出现钻头不进尺情况。

大口径孕镶金刚石钻头在正常钻进过程中,钻机转速一般较低,但作用于钻头唇面工作层的线速度却很高。如当钻机转速为 n 转/分, ϕ 钻头钻头唇面外径位置处的线速度为: $v = \frac{\pi \phi n}{60}$ 。而 ϕ 钻头钻头在钻机转速为 n 转/分, ϕ 钻头钻头唇面外径位置处的线速度才为: $v = \frac{\pi \phi n}{60}$ 。这么高的钻头线速度,就要求大口径孕镶金刚石钻头的胎体要有高的强度(抗变形能力),因为高的线速度使作用于金刚石颗粒上的切削力很大,根据力的传递原理,金刚石反作用于胎体上的力也很大。这就要求钻头胎体能够承受金刚石给予的大作用力而不产生变形,否则金刚石容易脱落,钻头就不可能有很长的寿命。

在设计大口径热压孕镶金刚石钻头时,必须保证钻头胎体有较好的高温硬度即红硬性。有人误认为,对于大口径热压孕镶金刚石钻头,由于钻进时钻机给予钻头的转速较低,钻头胎体产生的温度也就不会很高。而实际上,钻头胎体的温度是由其高的线速度带来的,大口径孕镶金刚石钻头低转速钻进和小口径孕镶金刚石钻头高转速钻进时情况一样,尽管转速高低不同,但线速度均较大,因而钻头胎体的温度均很高。若设计的钻头胎体的红硬性不理想,钻头在不高的工作温度下就引起胎体软化,这样将严重影响金刚石切削岩石的能力,使金刚石稍有出刃就脱落,这种钻头则肯定不可能有长的寿命。

大口径热压孕镶金刚石钻头要求要用高强度粗颗粒金刚石,以保证金刚石能有大的出刃量和好的耐磨能力,不至于出现钻头不进尺现象。另外,高强度的粗颗粒金刚石在高的线速度下,本身不容易碎裂。同时,大口径孕镶金刚石钻头在使用时,钻压一般不大,而在相同金刚石浓度条件下,粗颗粒金刚石的粒数比细

颗粒金刚石的粒数少，这有利于增加钻进时作用于单颗金刚石上的平均压力。当然若金刚石的粒度过粗，金刚石的工作尖部一旦被磨平，使金刚石与岩石的接触面积增大，相反降低了金刚石刻取岩石的单位面积压力，减少了金刚石每次切削岩石的深度，从而降低钻头时效，甚至有可能使金刚石不能实现正常的新旧交替，使钻头出现不进尺现象。

大口径孕镶金刚石钻头中金刚石浓度设计得是否合理，是决定钻头能否达到理想使用效果的关键因素之一。常规钻头一般设计的金刚石体积浓度为 0.5% (质量比)，如此高的金刚石浓度对于大口径孕镶金刚石钻头来说肯定是不适宜的，因为大口径孕镶金刚石钻头在实际使用时，钻压一般不大，如何增大作用于钻头胎体工作表面单颗金刚石的压力，是设计大口径孕镶金刚石钻头要着重考虑的问题。解决该问题一方面可采用粗颗粒金刚石的办法，另一方面在保证钻头有一定较长寿命的前提下，可以适当降低金刚石的浓度。下面通过计算来作进一步说明。

设定大口径孕镶金刚石钻头规格为 $\phi 150 \times 100 \times 100$ ，通过钻机作用于钻头上的压力为 10000 N 。假设孕钻头的金刚石参数配方为： $\phi 150 \times 100$ 型 $100 \mu\text{m}$ 目金刚石，浓度为 0.5%；孕钻头的金刚石参数配方为： $\phi 150 \times 100$ 型 $200 \mu\text{m}$ 目金刚石，浓度为 0.5%。设计两钻头工作层高度均为 100 mm 。经查得 $100 \mu\text{m}$ 目的金刚石粒径为 $100 \mu\text{m}$ ， $200 \mu\text{m}$ 目金刚石的粒径为 $200 \mu\text{m}$ ，金刚石的密度为 3.5 g/cm^3 。 $\phi 150 \times 100$ 钻头的水口数为 10 个，水口尺寸为 $10 \times 10 \text{ mm}$ 。

$\phi 150 \times 100$ 钻头的环状唇面积为： $2 \times \pi \times 150 \times 100 \times 0.5$
(cm^2)

$\phi 150 \times 100$ 钻头的水口面积为： $10 \times 10 \times 100 \times 0.5$
(cm^2)

钻头的唇面工作面积为： $2 \times \pi \times 150 \times 100 \times 0.5$

钻头的工作层体积为：灾_越杂_伊匀_越援_援圆_槽 (颗)

粤钻头中金刚石所占体积为：灾_越悦_伊灾_越圆_缘伊_猿援_猿圆_越援_猿槽_槽 (颗)

月钻头中金刚石所占体积为：灾_越悦_伊灾_越员_猿缘_猿猿_援猿_猿圆_越缘_猿愿_槽 (颗)

死_园园_目单颗金刚石的体积为：灾_越员_远π_凿越_员远_伊猿_弱弱_怨怨_伊园_弱怨_越园_弱园_弱原_槽 (颗)

缘_猿猿_目单颗金刚石的体积为：灾_越员_远π_凿越_员远_伊猿_弱弱_怨怨_伊园_弱怨_越园_弱园_弱原_槽 (颗)

粤钻头中金刚石的颗粒数为：晕_越穴_猿猿_越圆_猿猿_猿猿_猿 (颗)

月钻头中金刚石的颗粒数为：晕_越穴_猿猿_越员_猿园_猿 (颗)

粤钻头工作胎体可分层数为：灶_越猿_越员_猿猿_层)

月钻头工作胎体可分层数为：灶_越猿_越猿_层)

粤钻头中金刚石的面积浓度为：酝_越晕_越猿_越猿_缘猿_猿猿_猿 (颗/层)

月钻头中金刚石的面积浓度为：酝_越晕_越猿_越猿_缘猿_猿猿_猿 (颗/层)

粤钻头工作胎体唇面上单颗金刚石的平均压力为：孕_越猿_越猿_越猿_猿 (颗)

月钻头工作胎体唇面上单颗金刚石的平均压力为：孕_越猿_越猿_越猿_越猿_猿 (颗)

通过上述计算可知：作用于月钻头胎体唇面单颗金刚石的平均压力比作用于粤钻头胎体唇面单颗金刚石的平均压力大得多。这说明采用粗颗粒低浓度金刚石参数配方，有利于增大大口径孕镶金刚石钻头上的单颗金刚石的平均压力，从而确保钻头有一定的时效。

图例 大口径孕镶金刚石钻头的热压烧结工艺

热压孕镶金刚石钻头的成型是通过烧结、加压等过程来完成的。热压烧结是使压制和烧结同步进行的一个过程，热压烧结中影响钻头质量的主要因素是烧结温度、保温时间、烧结压力和出炉温度等。大口径热压孕镶金刚石钻头和小口径热压孕镶金刚石钻头一样，其胎体配方是一种比较复杂的多元体系，它的工艺属于多元固相烧结，即要求烧结温度低于粘结成分熔点温度，使粘结成分处于熔融状态。热压时必须给一定的温度才能使粉末处于塑性流动和使组元之间产生扩散作用并在一定的压力条件下使胎体致密化，若没有达到必须的温度，想利用高压来达到胎体致密化程度，是达不到预期目的的。

生产大口径孕镶金刚石钻头时，其操作步骤为：将装好料的模具放入加热加压设备中（如中频炉等），在未通电加热前先施以一定的初压，然后通电升温，待接近设定的烧结温度时，施以全压并保温保压至所要求的保温时间后断电，断电降温时压力不减少，待温度降至约左右时即可卸压出炉，将钻头石墨模具进行砂浴冷却或放置在空气中自然冷却。

大口径孕镶金刚石钻头在烧结过程中一定要使钻头烧结温度合适和准确，压力按设计要求不宜过大。烧结时若温度过低和压力过大，均会使钻头胎体中的粘结相溢出，造成胎体成分和性能改变。但若钻头烧结温度未达到所要求的烧结温度或烧结时施以钻头胎体的压力过低，都会使胎体压缩量和致密度不够，甚至出现多孔状胎体，影响钻头的使用效果。

图例 弱包镶防打滑钻头

由于钻探技术在各领域的作用愈来愈广泛，从而导致金刚石

钻头在钻进过程中遇到极坚硬地层的情况也愈来愈多。钻进极坚硬地层时,钻头普遍存在不进尺即打滑现象,或者能进尺但寿命极低的情况。研制出适于极坚硬地层钻进的孕镶金刚石钻头,已成为钻探界亟待解决的问题。为了解决孕镶金刚石钻头钻进极坚硬地层时进尺难的问题,许多厂商制造出了各种不同唇面形状、胎体软硬性能不等、金刚石浓度及粒度各异的钻头,然而一直未能获得满意的结果。研究分析表明,要从根本上解决极坚硬地层钻头打滑问题,所设计的钻头必须是既能使金刚石适时适量地出刃,又不至于使胎体的耐磨性能过弱,造成钻头出现短寿命现象。为此,采用弱包镶手段是能够达到上述目的的。

4.1.1 孕镶钻头打滑原因

钻头在钻进极坚硬地层时,出现钻头打滑现象,许多人认为造成这一现象的原因是金刚石不能出刃,钻头胎体过硬而造成的,于是想方设法降低钻头胎体的硬度和耐磨性,这样一来导致走向另一极端,即钻头钻进极坚硬地层时能产生进尺,但钻头寿命极低。事实上,钻头在钻进极坚硬地层时,由于岩石对金刚石的磨损过快,而岩石对钻头胎体的磨损却相对较慢,这样钻头在钻进极短的时间内,岩石磨损金刚石就导致金刚石表面出现一个小的平面(如图 4-1 所示)。这些小平面大大增加了金刚石与岩石的接触面积,从而降低了岩石与金刚石之间的单位面积上的接触压力。当金刚石施于岩石表面上的压力小于极坚硬地层的抗压强度时,金刚石就不能有效地破碎岩石,这时钻头钻进岩石就不进尺,出现打滑现象。钻进极坚硬地层时,当钻头出现打滑现象后,钻头胎体表面被磨钝的金刚石既不能有效地破碎岩石,也不能从钻头胎体表面自行脱落,这是由于这些被磨钝的金刚石上端被胎体包裹,下端与岩石形成吻合的面接触(如图 4-2 所示),此时金刚石实际上处于接近二向受力状态,故而有极强的抗压能力,

要想压碎金刚石十分困难,要想让其脱落更不容易。因为钻头产生不进尺后,钻头与岩石的接触面不产生岩粉,没有岩粉导致钻头胎体不被磨损,从而胎体包镶着的金刚石就不能出露或脱落。

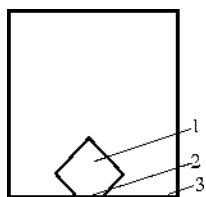


图 1-1 金刚石磨钝示意图

1—金刚石;2—磨出的小平面;
3—胎体

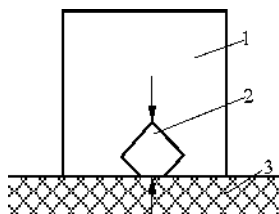


图 1-2 磨钝金刚石受力状态图

1—胎体;2—金刚石;3—岩石

图 1-3 弱包镶钻头的防滑机理

钻头出现不进尺打滑现象后,磨钝的金刚石在钻头胎体内已成为障碍,为了不使磨钝的金刚石在钻头胎体内及孔底做无用功(不刻取和破碎岩石),只有设法使其尽快脱落,以能使下一颗新的完好的金刚石能尽快出来刻取和破碎岩石。基于这一点,利用弱包镶手段来设计极坚硬地层钻头能够解决钻头打滑问题。弱包镶防打滑钻头的设计方法是:先在金刚石表面用机械方法裹上一层碳化钨粉末,然后将处理过后的金刚石与胎体粉末均匀混合,再进行装模烧结。这样处理后的钻头由于在胎体与金刚石之间有一层没有粘结特性的碳化钨粉末(如图 1-3 所示),从而减弱了胎体对金刚石的包镶能力,使钻头在胎体磨损不大的情况下,金刚石就会从胎体中自行脱落下来,从而实现金刚石的换层。其工作过程原理如图 1-3 所示。图 1-3 中 葬 表示钻头中金刚石处于未工作和未磨钝状态;图 1-3 中 遭 表示钻头中金刚石已开始工作而未被磨钝状态;图 1-3 中 糟 表示钻头中金刚石工作后已被磨钝状态;

图 4-15 中 1 表示钻头中金刚石被磨钝后已无法工作，并从钻头胎体中自行脱落，以便于下一颗金刚石能出来开始工作。

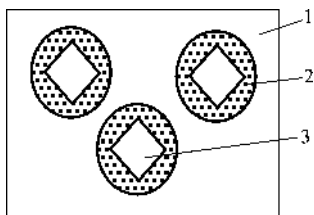


图 4-15 弱包镶金刚石
钻头结构示意图

1—胎体；2—弱包镶层；3—金刚石

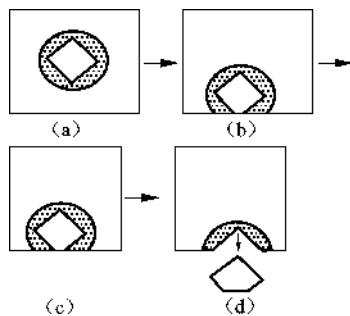


图 4-16 弱包镶钻头工作原理

1—胎体；2—弱包镶层；3—金刚石

在设计制造这种弱包镶防打滑孕镶金刚石钻头时，其关键点在于要根据岩石对金刚石的磨损能力来选择合适的弱包镶程度，只有当金刚石工作到一定程度，即不能有效刻取和破碎岩石时，才能让其脱落。若金刚石脱落过早，降低了金刚石的利用率，造成浪费；若金刚石脱落过迟，钻头又会出现不进尺，达不到设计弱包镶的目的。弱包镶防打滑钻头的金刚石脱落快慢是通过金刚石表面包裹的碳化钨弱包镶粉末层的厚度来控制的，碳化钨弱包镶粉末层越厚，则金刚石的脱落速度就越快；反之，金刚石的脱落速度就越慢。

4.1.3 弱包镶金刚石造球设备

金刚石造球设备在结构形式上种类很多，但按工艺形式主要分成两种：一种是滚动式球丸造球机，另一种为将混合料再造球的方法。滚动式球丸造球机成球方法较混合料再造球方法效果要

好，滚动式造球机其简图见图 1-1。

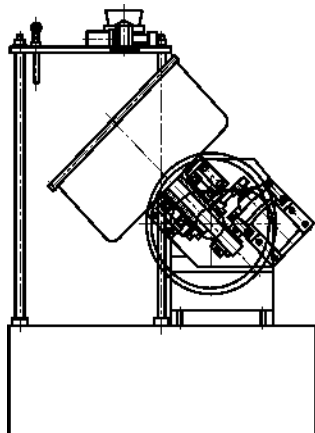


图 1-1 滚动式造球机结构简图

制球丸颗粒滚动造球机的原理是以金刚石为核，使其滚动，逐渐加入弱包镶层粉末和湿润粘结添加剂，使充分滚动的金刚石核逐渐包裹上弱包镶层等结合剂，越滚越大，最后达到所要求的粒径，取出后经过筛选即可使用。

设计的弱包镶金刚石造球机的最大装料量为 10kg，工作转速可调范围是 100~1000r/min，容器倾斜角度在 10°~45° 任意调整。为了使金刚石磨粒充分滚动，容器的材料、表面粗糙度、磁性及圆角大小等因素均应考虑，在设计制造过程中，还应充分考虑粉末颗粒“粘锅”问题及容器的耐磨性。

弱包镶金刚石造球机附件包括湿润粘结添加剂喷枪，粉料添加装置等。对湿润粘结添加剂喷枪应要求其雾化性好，不应有较大液滴喷出，而且喷射量应可调。粉料添加装置应采用喷射式或震动式给料，尽量保证弱包镶粉末均匀加入。

弱包镶金刚石造球机的基本工艺操作过程如下：

(员)先将金刚石装入弱包镶金刚石造球机的可旋转容器内,并稍作湿润。

(圆)根据装料多少调整好转速及旋转角,使金刚石自由滚动,不受转动离心力影响。

(猿)加入少量弱包镶粉末,充分滚动,并加入少量湿润粘结剂添加剂。

(源)进入常规投料、加湿流程(控制湿润粘结剂添加量,避免结块、粘锅)。

(缘)根据投粉量的不断增加,手动自动调节转速。

(远)颗粒成型后,注意保持湿度,减小转盘速度。

当弱包镶金刚石球增大到要求的粒径,即可停止造球过程,再进行烘干和筛分,较小的金刚石球可放回容器继续增大。

摇弱包镶钻头寿命分析

弱包镶防打滑钻头的金刚石极易脱落,那么其寿命情况如何呢?下面通过理论计算来分析。

为了计算简单和讨论的方便,将金刚石看成球状,设 $\rho^{\text{猿}}$ 单位体积胎体内的金刚石颗粒数为 $\rho^{\text{猿}}$,则按下式可计算得金刚石颗粒数为:

$$\rho^{\text{猿}} = \frac{\rho^{\text{猿}} \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{6}}{\pi \cdot \frac{d^3}{6}} \quad (\text{苑})$$

式中: $\rho^{\text{猿}}$ ——单位体积胎体内的金刚石颗粒数;

悦——孕镶金刚石钻头的金刚石浓度(体积比,孕镶制);

凿——金刚石颗粒直径,皂皂。根据球的体积计算公式每颗

$$\text{金刚石的体积为 } \frac{\pi \cdot d^3}{6}。$$

在 $\rho^{\text{猿}}$ 体积中有 $\rho^{\text{猿}}$ 粒金刚石,则在 $\rho^{\text{猿}}$ 的高度内应有 ρ

层金刚石，每层的厚度 Δ 为：

$$\Delta = \frac{V}{\rho} \quad (1)$$

金刚石在工作时的脱落高度可用 $\frac{D}{\beta}$ 来表示，其中 D 为金刚石的粒径， β 为某一常数数据， β 值越小，金刚石的脱落高度就越大。

当一个新钻头在开始钻进时，钻头胎体每磨损一个 Δ ，就有一颗金刚石出露。胎体磨损至金刚石的脱落高度 $\frac{D}{\beta}$ 时，再磨损一个 Δ ，则在出露一颗新金刚石的同时，就会有一颗旧粒金刚石脱落（出露高度超过脱落高度 $\frac{D}{\beta}$ ）。达到这一状态后，钻头胎体工作面上的金刚石颗粒数将不再增加，故有：

$$\Delta = \frac{D}{\beta} \quad (2)$$

将式(1)、(2)代入上式得：

$$\Delta = \frac{V}{\rho} = \frac{D}{\beta} \quad (3)$$

假设普通钻头和弱包镶钻头所用的金刚石粒度 D 相同，浓度 C 相同，计算，则 Δ 值为： $\Delta = \frac{D}{\beta}$ 。

弱包镶金刚石钻头中的金刚石极易脱落，所以其脱落高度 $\frac{D}{\beta}$ 很小， β 值很大，如 β 越大，则 Δ 越小，而一般钻头 β 值不是很大，当 β 越小时 Δ 越大，尽管它们的金刚石 D 值与 C 值相同。

用 η 表示作用于钻头中单颗金刚石上的平均载荷， η 值可按下式计算得出：

式： $\eta = \frac{P}{\beta \pi d^2} \cdot \frac{1}{\beta_{\text{弱}}} \cdot \frac{1}{\beta_{\text{普}}}$ (苑原)

式中： η ——作用于钻头中单颗金刚石上的平均载荷， N/mm^2 ；

P ——作用于钻头胎体单位面积上的压力， N/mm^2 。

如果要使作用在弱包镶钻头与普通钻头金刚石上的 η 值相同，就必须使二者的 β 值相同，即 $\beta_{\text{弱}} = \beta_{\text{普}}$ 。由此得 $\frac{1}{\beta_{\text{弱}}} = \frac{1}{\beta_{\text{普}}}$

由于 $\beta_{\text{弱}} < \beta_{\text{普}}$ ，如设定 $\beta_{\text{弱}} = \beta_{\text{普}}$ ，则得 $\frac{1}{\beta_{\text{弱}}} > \frac{1}{\beta_{\text{普}}}$ 。这说明，在普通钻头金刚石浓度为 $\rho_{\text{普}}$ 时，才与弱包镶钻头金刚石浓度为 $\rho_{\text{弱}}$ 的 β 值相同，这就保证了相同的 η 值及相同的效率。

根据前面讨论可以判定， β 值代表了钻头胎体工作面上金刚石的平面密度，而 $\frac{1}{\Delta L}$ 表示了钻头胎体工作面上金刚石的纵向密度。用 ξ 表示钻头胎体工作面上金刚石的纵向密度，即有：

式： $\xi = \frac{1}{\Delta L} \cdot \frac{1}{\pi d^2} \cdot \frac{1}{\beta}$ (苑原)

根据前述数据可计算得：

式： $\xi_{\text{弱}} = \frac{1}{\Delta L_{\text{弱}}} \cdot \frac{1}{\pi d^2} \cdot \frac{1}{\beta_{\text{弱}}} > \frac{1}{\Delta L_{\text{普}}} \cdot \frac{1}{\pi d^2} \cdot \frac{1}{\beta_{\text{普}}} = \xi_{\text{普}}$

可见弱包镶钻头胎体工作面上金刚石的纵向密度为普通钻头胎体工作面上金刚石的纵向密度的 $\frac{1}{\beta_{\text{弱}}} \cdot \frac{1}{\beta_{\text{普}}}$ 倍。表 4-1 列出了弱包镶钻头和普通钻头有关数据的对比情况。

由表 4-1 的数据可以看出，在 β 值、 η 值相同的情况下，弱包镶钻头胎体工作面上金刚石的纵向密度 ξ 远远高于普通钻头胎体工作面上金刚石的纵向密度 ξ ，这就是弱包镶钻头有较高寿命的原因。

表 4-1 弱包镶钻头和普通钻头的指标对比

钻头类型	β	η	ξ
弱包镶钻头	$\beta_{\text{弱}} < \beta_{\text{普}}$	相同	$\xi_{\text{弱}} > \xi_{\text{普}}$
普通钻头	$\beta_{\text{普}}$	相同	$\xi_{\text{普}}$

圆锥缘弱包镶钻头使用实例

表 圆锥缘列出了弱包镶钻头与湖北某厂的普通钻头在安徽某地质队的对比使用情况。

从表 圆锥缘可以看出，弱包镶钻头比普通钻头的使用效果要好，普通钻头在钻进过程中，需要不断地往孔底投入石英砂，否则钻头会出现打滑现象。

表 圆锥缘弱包镶钻头与普通钻头钻进效果比较

钻头类型	钻头编号	寿命 (皂)	时效 (皂)	钻进的岩石性质及可钻性	备注
弱包镶钻头	员	圆锥缘	猿猿缘	肉红色花岗闪长岩 猿- 猿级	钻进时不需投石英砂
	圆	猿猿缘	圆锥缘	肉红色花岗闪长岩 猿- 猿级	
	猿	猿猿缘	圆锥缘	肉红色花岗闪长岩 猿- 猿级	
	源	猿猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩及石英脉 猿- 猿级	
	缘	猿猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩及石英脉 猿- 猿级	
	远	猿猿缘	猿猿缘	花岗闪长岩及石英脉 猿- 猿级	
	苑	猿猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩及石英脉 猿- 猿级	
	愿	圆锥缘	猿猿缘	花岗闪长岩 怨- 猿级	
	怨	圆锥缘	圆锥缘	花岗闪长岩 怨- 猿级	
	员园	圆锥缘	猿猿缘	花岗闪长岩 怨- 猿级	
普通钻头	远猿缘	猿猿缘	猿猿缘	花岗闪长岩 怨- 猿级	钻进时需不断投入石英砂，否则钻头打滑。
	苑猿缘	远猿缘	圆锥缘	石英脉 猿- 猿级	
	苑猿缘	猿猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩 猿- 猿级	
	苑猿缘	源猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩 怨- 猿级	
	苑猿缘	圆锥缘	圆锥缘	花岗闪长岩 怨- 猿级	
	苑猿缘	怨猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩及石英脉 猿- 猿级	
	苑猿缘	猿猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩及石英脉 猿- 猿级	
	苑猿缘	怨猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩及石英脉 猿- 猿级	
	苑猿缘	猿猿缘	圆锥缘	花岗闪长岩及石英脉 猿- 猿级	

通过表 4-1 还可以计算出,弱包镶钻头的平均寿命为 10000m,平均时效为 1000h;湖北某单位普通钻头的平均寿命为 1000m,平均时效为 100h,即弱包镶钻头的平均寿命为普通钻头的 10 倍,弱包镶钻头的平均时效为普通钻头的 10 倍,且弱包镶钻头在钻进过程中不需要往孔底投入石英砂。

4.2 摇预合金粉末胎体钻头

4.2.1 摇预合金粉末的特点

孕镶金刚石钻头胎体主要由骨架成分和粘结成分两部分组成。粘结成分也称粘结剂,一般是指钻头胎体中的低熔点金属。采用多种金属熔炼成低熔点合金后再喷制成的粉末,称为预合金粉末。使用预合金粉末作为钻头胎体的粘结剂,易于调整钻头胎体性能,使之与岩石性能相适应,同时由于预合金是预先熔炼成合金,然后才制成粉末的,所以每颗粉末中都包含了组成合金的各种金属元素,这就比机械混合多种单一金属粉末要均匀得多;通过制粉,粉末受到喷射冲击及淬火,其性能要比同种合金的铸造状态性能为高。在烧结成钻头胎体过程中,只要温度升到预合金粉末的液相线以上一点点时,整个粘结成分的粉末就熔化,一到此时,钻头就烧结好了,从而不会出现那种比重偏析、低熔点金属先熔与富集、易氧化及易挥发的金属在烧结过程中难控制等影响胎体性能的因素。

采用预合金粉末作为钻头胎体的粘结剂,与机械混合单金属粉末相比,它具有以下几方面的优越性:

(1) 从机械性能上来看

对于机械混合单金属粉末来说,各种加入金属都有着各自的熔点,而且熔点温度相差还比较大,如钴、镍、钛的熔点高于

钨、钼、铜、锡、锌的熔点则只有 2000℃ ~ 2500℃。金刚石钻头的烧结温度一般都在 2000℃ 左右,温度过高则容易使金刚石碳化,从而降低金刚石钻头的使用寿命。在 2500℃ ~ 3000℃ 的烧结温度下,低熔点金属早已熔化甚至有部分出现烧损现象,而对于高熔点金属来说,在低温度下烧结所得到的胎体多为假合金,即胎体中大多数高熔点金属仍以元素形式存在,不能充分发挥作用,从而达到原设计胎体合金配方的要求。这种胎体金属未能完全合金化,各金属颗粒之间是通过固溶扩散、蠕变而结合的,其结合力不强,影响了钻头的机械强度。

如果把粘结金属做成预合金,该预合金粉末具有单一的熔点,其熔点可以通过调整成分配方比例来控制 and 选择。预合金化的粉末比机械混合粉末要均匀得多,由于已完全合金化,因此其性能亦有所提高。在金刚石钻头烧结过程中,只要温度升到作为粘结成分的预合金粉末的液相线以上时,粉末即熔化,制品的烧结过程也就结束了,从而避免了机械混合粉末胎体烧结中最常出现的成分偏析和低熔点金属先熔化并富集以及易氧化、挥发等弊病,从而可以保证钻头的质量,钻头的性能亦大有提高。

(四) 从胎体合金对金刚石的把持力来看

国内的金剛石钻头经常出现包镶不理想,导致金剛石脱落的现象,目前普遍采用的办法是在胎体中添加少量的铬或者钛等,因为铬、钛等都是强碳化物形成元素,当它们与金剛石接触时,在金剛石与铬粉、钛粉之间形成薄薄的一层 Cr_3C_2 或 TiC ,使铬、钛粉既与金剛石有一定的结合力,又与合金胎体保持一定的结合力,从而提高胎体合金对金剛石的把持力。但是由于铬粉、钛粉在胎体合金中本身就是一种松散的结合,因而用添加铬粉、钛粉的方法来提高胎体对金剛石的把持力效果有限,没能从根本上解决胎体合金对金剛石的包镶问题。最根本的途径就是要解决好胎体合金与金剛石之间的润湿角问题。

众所周知,硬质合金之所以用钴作为粘结金属,就是因为高温下钴与碳化钨的润湿角为 90° 因此合格的硬质合金产品很少出现碳化钨脱落现象,即钴已牢固地把持住了碳化钨颗粒。

对于金刚石而言,没有任何单质金属对金刚石的润湿角为 90° 钴对金刚石的润湿角为 135° 镍 150° 铜对金刚石的润湿角为 170° 因此从润湿角也能解释为什么机械混合单金属粉末烧结的钻头胎体对金刚石的把持力不大。但如果制成预合金粉末后,则预合金粉末与金刚石的润湿角可以通过调整合金粉末的成分来降低,如 ~~在原来合金中~~ 合金中加铬粉、钛粉,可以使润湿角接近 90° 由于预合金粉末具有单一熔点,因此在烧结温度下能够以液相形式完全浸湿金刚石,故使粘结金属对金刚石的把持力(包镶强度)大为提高。

(猿) 金属粉末的氧化、脏化问题

金刚石钻头所选用的金属粉末粒度一般在 $10\mu\text{m}$ 以下,有些金属粉末极易氧化或脏化,如铜粉、钛粉、锰粉等,长时间保存有很多困难,如钛粉保存时就需要进行真空包装。被氧化的金属粉末,其烧结活性大为降低,严重影响了钻头的质量性能。对于预合金粉末由于某些抗氧化元素(如铬粉)的引入,致使合金整体的抗氧化能力有所提高,可以解决粉末的长时间保存问题。

目前国外生产的钻头等金刚石制品,其胎体除少数稀有元素是以机械混合物形式加入外,绝大多数都采用标准的预合金粉末。一种胎体配方,除骨架金属外,只需选配一种或两种预合金化的粘结金属即可。而在国内的钻头等金刚石制品生产中,几乎都仍采用机械混合单粉法,这不仅影响了生产效率,更重要的是使金刚石制品的质量始终处于较低水平,而得不到突破,其重要原因之一就是未实现胎体金属粉末的预合金化。

预合金粉末制备技术

预合金粉末配方设计

预合金粉末在钻头胎体中充当粘结剂的作用，在设计预合金粉末的合金成分时，应考虑以下几点要求：

(1) 钻头烧结温度的高低主要取决于粘结金属熔点的高低，为了避免高温对金刚石造成热损伤，预合金粉末成分应该选择以低熔点金属为主。

(2) 预合金粘结剂在一定烧结温度下应能刚好润湿胎体中的骨架成分和金刚石，而在外压力作用下又不能产生流失现象。

(3) 在烧结过程中，预合金粘结剂与骨架成分若产生反应，则只能对胎体机械性能和降低烧结温度有利，而不允许形成性能低劣的合金，和使液相消失不能全面去润湿骨架成分和金刚石，同时也不能对金刚石造成损伤。

(4) 钻头烧结后的冷却过程，或在以后保存过程中，淬火或时效作用下，只能对钻头胎体机械性能有利，以保证钻头的质量不受影响。

(5) 在钻头正常的工作温度下，预合金粘结金属应保证粘结物质层能承受胎体中硬质颗粒(骨架成分和金刚石)传给它的应力而不产生变形或位移。

(6) 根据地层的不同、使用条件的各异、钻进方法的区别，预合金粘结剂和骨架成分在品种和含量等方面应可适当调整，以适应不同的使用情况。

根据上述要求，我们设计了两种预合金粘结剂配方：第一种为 Ni-Cr-Co 合金，从 Ni-Cr-Co 合金三元相图的等温线投影图(见图 1-10)可知，该类合金的熔点可控制在 $1300^\circ\text{C} \sim 1400^\circ\text{C}$ 之间。为了使所得到的合金具有高的机械性能，合金的显微组织应为 $\alpha + \beta$ 的复相显微组织， α 相占 $50\% \sim 60\%$ 为宜。

图 4-10 为 Cu-Ni-Zn 合金室温时的等温线投影图如图 4-10 所示。根据该液面等温线投影图可以找出符合预合金粘结剂基本要求的 Cu-Ni-Zn 合金配方。

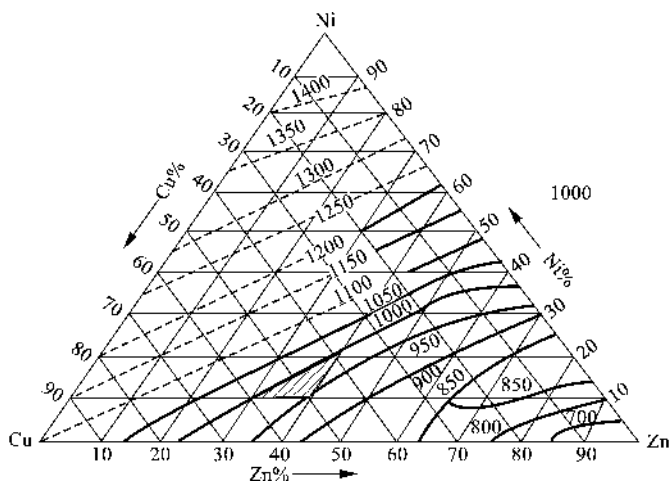


图 4-10 Cu-Ni-Zn 合金液面等温线投影图

为了进一步提高锌白铜的机械性能和耐磨性能，可在 Cu-Ni-Zn 合金中加入锰，因为锰能大量溶于固态镍及其合金中，借化合物 Mn₃C 的沉淀而硬化，提高合金的强度和耐磨性，同时锰是氧化剂，能消除 Cu-Ni-Zn 合金中过剩的碳和硫的不良影响，改善合金的工艺性能。

第二种为锰白铜系合金，即 Cu-Ni-Mn-Zn 合金。Cu-Ni-Mn-Zn 合金液面等温线投影图如图 4-11 所示。从图 4-11 可以看出：适合作钻头胎体粘结成分的合金是在图中阴影线的三角形部分，此时含镍量在 60%~70%，含锰量在 10%~15%，其余为铜。

为了调整钻头胎体的综合性能，可在 Cu-Ni-Mn-Zn 合金配方中，加入少量的其他金属元素，如 Fe 可使钻头胎体材料显得

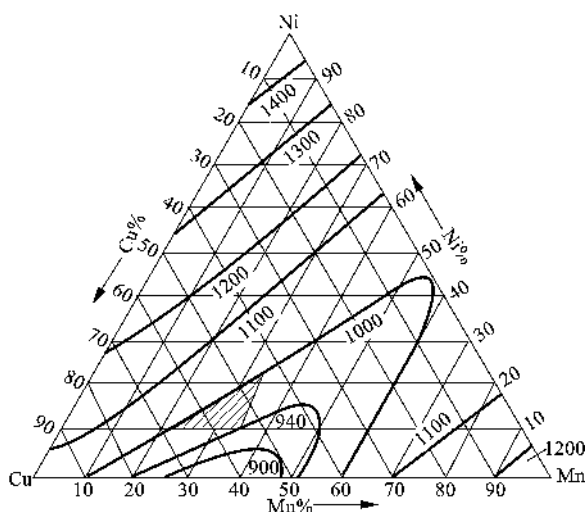


图 苑 铜镍悦原曼原云火系液面等温线投影图

硬而韧，同时含铬的合金其显微组织呈现细密均匀的鱼鳞带树枝状分布。

圆颞合金的熔炼

白铜的熔炼兼有铜和镍两种金属的熔炼特性，即吸气能力大，熔炼时能够同时吸收氧和氢。白铜中的有害杂质是铝、铋、氧、硫、碳以及锑、磷等。低熔点的铝和铋不能溶于固态镍或固态铜中，多单独分布在晶粒边界上，可造成加工时的破裂现象。氧在镍中以 晕鄂 形式出现，在铜中主要以 悦岳 形式分布在晶粒边界上，也可引起热加工时的破裂现象，和引起铜的“氢脆病”，硫在镍中以 晕鄂，在铜中以 悦岳 形式分布在晶粒边界上而引起脆性。而含碳高的镍极脆，因为结晶时呈石墨形态沿晶界析出。

为了保证熔体的化学成分及含气量少，加速熔化速度，减少金属的熔炼损失，提高劳动生产率，必须采用合理的装料及熔化

顺序, 首先将炉料中数量最多的铜装入熔化, 同时将熔点较高的镍也装在铜料中间, 靠铜液熔解镍的办法加速在微氧化性情况下的熔化, 同时也将能够减少熔体大量吸气的金属元素锰装在铜镍炉料之上, 然后再升温熔化。为了减少金属的熔炼损失, 其熔体表面加有覆盖剂, 待铜、镍、锰熔化后, 充分搅拌, 然后再加入易蒸发、易氧化的金属元素锌, 最后, 为了进一步提高合金的机械性能和改善熔体的流动性能, 在出炉前加入海绵钛来细化晶粒, 同时加入硅钙合金来提高流动性, 并靠钙形成高熔点化合物来消除有害杂质铅和铋。

铜镍合金粉末的制取

高温的熔融合金液体, 倒入漏钵之后, 在喷射气体的负压抽吸下, 不断地从底孔中漏下去。随着喷射气体的方向飞溅到喷射圆桶的四周, 同时在喷射水流的作用下, 落到圆桶的水中冷却。

合金粉末的性能, 除合金成分外, 在很大程度上, 与制粉过程及制粉工艺是紧密相连的。下面将该制粉过程和工艺扼要分述如下:

漏钵: 若采用石墨漏钵, 则熔体易吸收碳而使粉末的含碳量增高, 损害合金成分。故可采用碱性镁砂作衬的铁皮外壳漏钵, 它对保持白铜熔体质量是有一定作用的。

漏钵底孔直径: 根据合金熔体成分的不同, 熔体的流动性也不相同, 流动性差的要求漏钵底孔直径大, 流动性好的要求漏钵底孔直径可小些。同时, 漏钵底孔直径与喷射的压力、流量、喷嘴前的负压抽吸力大小等有关, 若气体的压力、流量、抽吸力大, 则漏钵底孔直径可小些, 粉末的粒度也小些; 反之, 则漏钵底孔直径要求大些。

喷射时所用气体: 高温熔融状态下的合金液体, 喷成很细的粉末时, 比表面积非常大, 极易被氧化或污染, 若用氢气则又容易燃烧, 故可采用惰性气体和氮气作为喷射气体。

喷射气体的压力：压力大可喷制细粉末，但是耗气量也大。经验表明，根据喷枪的结构，可用 0.2~0.3 MPa 的压力，此时所用的喷嘴直径为 0.5~1.0 mm。

喷嘴离喷射圆筒中的静止水面高度：该高度愈高，则粉末在圆筒中飞溅的时间愈长，也愈容易被氧化或污染，粉末的淬火温度也愈低，所以根据粉末性能的要求，要适当选择此高度。

喷粉是在很短的时间内喷成的，喷完后，放干圆筒中的水取出粉末，放入干燥箱中，用低于 100℃ 的温度烘干，然后进行筛分。一般可将 100 目以细的粉末留下供使用，而 100 目以粗的粉末则留作旧料，供下次喷粉时重新回炉。

预合金粉末胎体钻头的结构设计

预合金粉末胎体钻头 and 一般机械粉末混合孕镶金刚石钻头的结构设计基本相同，都应该根据所钻进岩石的特点，尽量做到与岩石的可钻性相适应，力求在钻进过程中钻头能够自磨出刃，争取使钻头的径向磨损和高度消耗协调一致。保证水路畅通，以达到冷却钻头和携带岩粉的目的。要做到这一点，除了要有相适应的胎体料和稳定的烧结工艺外，还要有合理的钻头结构设计。预合金粉末胎体孕镶金刚石钻头的主要结构参数包括金刚石质量、胎体中金刚石浓度、金刚石粒度、工作层胎体高度、保径措施、唇面形状以及水口的数量等，这些因素直接影响钻头的使用效果。

预合金粉末胎体钻头 and 一般机械粉末混合孕镶金刚石钻头的结构设计方法相同，在此不作赘述，可参考前述有关章节。

预合金粉末胎体钻头的使用结果

近年来，预合金粉末胎体钻头在全国许多地方进行过使用，使用结果均比较理想，下面列举几组典型实例。

双切削作用金刚石钻头

双切削作用钻头的定义与适用地层

基本概念

主磨料：在金刚石钻头中起主要切削破碎岩石作用的金刚石，这部分金刚石一般颗粒度在 40 目以粗，金刚石品级和强度较高。

辅磨料：在金刚石钻头中起辅助切削破碎岩石作用的金刚石或立方氮化硼等，这部分金刚石或立方氮化硼一般颗粒度在 80 目以细，品级和强度较主磨料要低。辅磨料的主要作用是增强钻头胎体的耐磨能力，对主磨料金刚石切削破碎下来的粗岩粉进行二次切削破碎，它将主要是提高钻头耐磨能力、保持胎体唇面外形、保持钻头内外径尺寸以及防止钻头胎体拉槽、起辅助碎岩作用的金刚石或其他磨料。

双切削作用：采用主辅磨料方式制造的金刚石钻头，起主要切削破碎岩石作用的是主磨料金刚石，同时辅磨料也有一定的辅助切削破碎岩石作用，但它主要是提高钻头耐磨能力、保持胎体唇面外形、保持钻头内外径尺寸以及防止钻头胎体拉槽、起辅助碎岩作用，因而称该作用形式为双切削作用。

孕镶钻头磨损特点

孕镶钻头的磨损包括唇面金刚石磨损和胎体磨损两部分。出刃金刚石的磨损是破碎孔底岩石所致，而胎体磨损则由钻头唇部间隙中未及时排出的岩粉引起，属磨粒磨损方式。为降低钻头的磨耗，延长寿命，传统方法是提高钻头胎体硬度和耐磨性，即调整胎体配方特别是增加骨架成分如 宰悦的含量。然而，实践证

明,仅靠这种方法来提高钻头胎体的耐磨性,效果往往非常有限。因为根据硬粒磨损原理,岩粉中存在硬而粗的所谓硬磨粒时,在一定条件下会发生高应力凿削式磨损,即在钻头胎体表面形成尺度超过 宰悦粒度的深大犁削沟槽,表现为胎体的犁削式整体消耗。因此,增加 宰悦含量虽对抑制软磨粒引起的粘结剂优先消耗磨损有效,但对于硬磨粒犁削式整体磨损而言,效果却不理想。增加破碎岩石的金刚石含量,虽有一定效果,但又影响钻头的时效,甚至发生打滑现象,且增加钻头成本,亦非理想选择。

钻探生产实践表明,金刚石钻头在钻进较强研磨地层时比钻进一般普通岩层时的工作环境要恶劣得多,这是因为钻进较强研磨地层会产生大量的中粗颗粒岩粉,而这些中粗颗粒岩粉以及该地层本身含有的石英粒等比较坚硬,它们又不能及时、迅速地由钻头端部通过钻井液排出,于是大量中粗颗粒岩粉在钻头唇部重复磨损胎体,导致钻头胎体急剧磨损,失去对金刚石的包镶能力,导致钻头出现短寿命或效率较低。

对许多钻进使用后的钻头观察分析,发现平底型钻头经过一段时间使用后,钻头的内外径磨损很快,钻头胎体唇面中部工作层仍较高,而唇面两侧则较低,胎体唇面形成扇形块,且钻头胎体的端面及内、外表面出现被岩粉刻伤的沟槽。据此分析,可以认为该种钻头的磨损情况属于研磨磨损。研磨磨损是一种非正常磨损。而这种出现非正常磨损的钻头均是发生在研磨性能较强的地层或钻进环境中,如中粗颗粒花岗岩层、砂卵石层、混凝土层、较破碎地层等,研究的主辅磨料双切削作用金刚石钻头就比较适合于这类地层,即是说在普通钻头钻进中出现研磨磨损现象时,均可用主辅磨料双切削作用金刚石钻头来取代。主辅磨料双切削作用金刚石钻头中的辅磨料将钻进较强研磨地层时产生大量的中粗颗粒岩粉进行二次破碎,使它们变成更细的岩粉,可以通过钻井液及时、迅速地从钻头端部排出,避免了在普通钻头使用时所

出现的由于大量中粗颗粒岩粉在钻头唇部重复磨损胎体，导致钻头胎体急剧磨损，失去对金刚石的包镶能力，使钻头出现短寿命或效率较低的现象。

混目金刚石孕镶主辅磨料双切削作用钻头作用机理与参数设计

设计机理

切削破碎岩石是钻头上金刚石的主要功能，但同时，金刚石还起到提高钻头耐磨能力、保持胎体唇面外形、保持钻头内外径尺寸以及防止钻头胎体拉槽等作用。显然这些功能和作用对金刚石参数(品级、粒度、浓度)的要求也是不同的。

主辅磨料双切削作用钻头的最大特点是采用不同的金刚石分别来承担钻头所需的各种不同的功能和作用，在此将主要起破碎岩石作用的金刚石称为主磨料；将主要提高钻头耐磨能力、保持胎体唇面外形、保持钻头内外径尺寸以及防止钻头胎体拉槽、起辅助碎岩作用的金刚石或其他磨料称为辅磨料，主、辅磨料相互配合，使钻头既能高速有效破碎岩石，又具有很强的耐磨能力。

主辅磨料双切削作用钻头与单一磨料金刚石的钻头不同，而且也不同于有人研究过但并未取得明显效果的混目金刚石孕镶钻头。混目金刚石孕镶钻头虽然采用了两种或多种颗粒度的金刚石作为钻头磨料，但并不是真正意义上的主辅磨料双切削作用钻头，其根本原因在于它并未从原理上和实践中解决采用不同的磨料实现功能分担这一根本问题。因而在混目金刚石参数的设计上不可避免地存在不合理性和盲目性。而主辅磨料双切削作用钻头则以功能分担为基本出发点，通过合理设计两类磨料品级、粒度、浓度等相应的钻头参数，能够解决钻头时效与寿命无法兼顾(提高时效往往牺牲钻头寿命，延长钻头寿命又会损害钻头时效)这个长期困扰钻头研制者和生产者的老大难问题，从而真正实现在保持高时效的同时延长钻头寿命，或在保持长寿命的前提下提

高钻头时效的目标。

众所周知,同一品级的金刚石其单位抗压强度随着其颗粒度的增大而减小,在金刚石浓度、金刚石品级一定的情况下,显然粗颗粒度金刚石较细颗粒度金刚石的单位抗压强度高。但在金刚石浓度相同的条件下,粗颗粒度金刚石在钻头唇面上的颗粒数少,造成金刚石容易崩落和磨损,同时分布在钻头唇面上的金刚石颗粒间距大,胎体裸露面积多,导致粗颗粒度孕镶金刚石钻头的耐磨性较差。而金刚石的出刃量随着颗粒度的增粗而增大,所以在金刚石强度能够满足钻进要求的前提下,则粗颗粒度金刚石孕镶钻头的碎岩效率高,并且有利于通水冷却和排粉。主辅磨料双切削作用钻头采用粗细颗粒度搭配的形式,保留了粗颗粒金刚石钻头效率高、细颗粒金刚石钻头耐磨性高的优点,克服了粗颗粒金刚石钻头耐磨性低、细颗粒金刚石钻头效率差的缺点,解决了钻头设计中效率和耐磨性之间不可兼顾的矛盾问题。起到了粗颗粒和细颗粒金刚石效应互补作用,使钻头既有粗颗粒金刚石包镶牢,出刃量大,通水、排粉、冷却效果好的优点,又具有细颗粒金刚石单位抗压强度高、颗粒数多、单位承受载荷小、在钻头胎体中分布较均匀、耐磨性好的优点。

孕镶金刚石钻头的自锐性可以理解为金刚石的自磨出刃和不断更新过程。单颗金刚石的自磨出刃如图 4-1 所示。在金刚石前面切削岩石,以及所产生的岩屑不断磨损胎体和金刚石,金刚石将随之不断出刃。

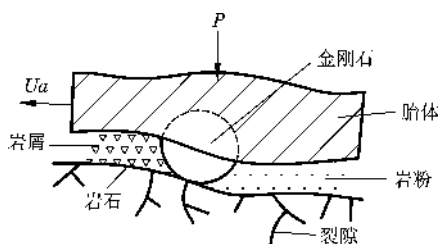


图 4-1 单颗金刚石的自磨出刃

对于一个钻头来说,正常的胎体磨损如图 4-2 中虚线轮

廓，即在金刚石前面形成一个凹坑而在金刚石的背后有条形似蝌蚪尾的支撑胎体。

上述促使钻头胎体超前磨损，使金刚石不断出刃叫自磨出刃。

在钻进过程中，由于钻头工作面金刚石和胎体不断磨损，钻头工作面胎体失去胎体对金刚石的包镶能力时，工作面的金刚石将自由脱落，胎体内部的金刚石也随之不断出露，从而使钻头工作面胎体金刚石不断更新。

把金刚石的自磨出刃和不断更新，叫做金刚石的自锐出刃。孕镶钻头胎体中金刚石的合理消耗是自锐过程所必须的，裂隙发育的脆性碎裂产生的金刚石磨损，与岩石直接接触点的局部石墨化和与胎体之间的粘结力逐渐减弱而产生脱落是金刚石消耗的主要方式，这是钻进过程中不可避免的。而金刚石颗粒度对包镶能力的影响有下面的关系：

$$A = \frac{1}{2} \pi d^2 \delta \quad (1)$$

式中： A —金刚石与钻头胎体的接触面积；

d —金刚石颗粒直径；

δ —金刚石出刃系数。

可见，金刚石的颗粒度对孕镶钻头的自锐性起重要作用，钻头的金刚石粒径是接触面积的二次曲线，随着金刚石颗粒度的增大（ d 增大），接触面积呈抛物线增加，包镶能力也相应增加，金刚石不容易脱落。钻头的自锐性逐渐降低。颗粒度粗的金刚石孕镶钻头实际上就成了表镶钻头，则不能自锐。主辅磨料双切削作用钻头由于金刚石颗粒度的不均匀性，金刚石自身强度的不等

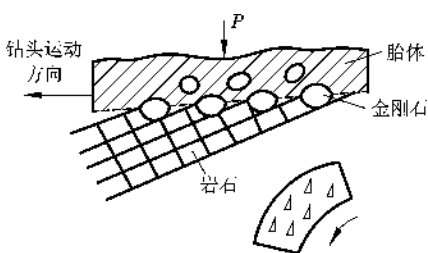


图 孕镶钻头胎体磨损示意图

性,孔底岩石的不均匀性,磨损程度的不均衡性等,使钻头在钻进工作过程中,钻头工作唇面出露的金刚石基本上既能保证有效刻取岩石,又能保证胎体对金刚石的良好包镶性,即保持整个孕镶钻头在钻进过程中,能始终保持钻头工作唇面金刚石有恒定出刃量,使钻头具有良好的自锐性。从而钻头能获得较好的工作效率和保持金刚石的最低消耗,故而取得寿命长、效率高的经济效果。

根据岩石破碎理论,岩石破碎方式可以是表面破碎、疲劳破碎或体积破碎,为使岩石产生有效体积破碎,必须满足条件:

$$摇摇摇摇孕 \leq 孕_{转} \quad (7-1)$$

即:

$$摇摇摇摇孕 \geq 孕_{杂} \quad (7-2)$$

式中:孕——作用在单颗金刚石上的轴向载荷,吨;

孕——岩石的抗压强度,吨/厘米²;

杂——金刚石与岩石的接触面积,厘米²。

假设金刚石为球形并令其在处于平均磨损高度一半下工作(见图 7-1),那么接触球冠面积为 杂,即

$$摇摇摇摇杂 = \frac{\pi}{4} 圆^2 \quad (7-3)$$

式中:圆——金刚石颗粒直径,厘米;

匀——金刚石切入深度,厘米。

上式表明金刚石的切入深度随着颗粒度的增粗而增大,接触面积随颗粒度的变细而变小,主辅磨料双切削作用孕镶钻头的金刚石出刃高低不一,因此,在金刚石强度能够满足钻进需要的前提下,由于粗颗粒金刚石“吃入”岩石单位量大,首先进行大体积破碎,起掏槽作用,而且钻头工作唇面与孔底岩石之间缝隙大,有利于通水冷却和排粉,细颗粒金刚石起保护胎体耐磨性作用,所以钻头破碎岩石效率高。当岩石变硬时,粗颗粒金刚石的粒度

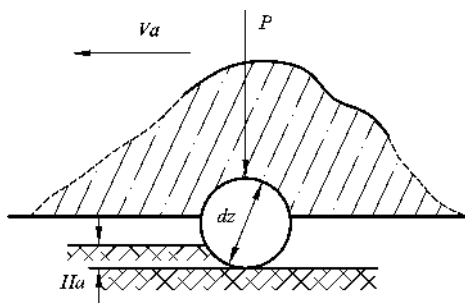


图 金刚石破碎岩石示意图

逐渐变小，以致到某一临界值时，其包镶能力减小，粗颗粒金刚石开始暴耗，切削能力减弱直至完全丧失，逐渐过渡到细颗粒金刚石小体积破碎岩石。由于细颗粒金刚石单位抗压强度高，在压力不变的情况下，接触面积小，压强增大，总比出刃大，胎体裸露少，自由面增多，与岩石的磨擦力增大，同样可以达到破岩效率高的目的，这样循环往复。由于钻头内金刚石的接力特性，使钻头的磨损速率和岩层的变化规律相适应，钻头的寿命和时效能够得到同步提高。

基本配方

孕镶金刚石钻头设计的基本依据和应考虑的主要因素包括：
 ①所钻岩石的硬度、可钻性、研磨性、完整性以及地层的复杂程度；
 ②钻孔设计深度、孔径、顶角以及岩心采取率、孔斜度等质量要求；
 ③所用钻探设备以及钻压、转速、冲洗液量等规程参数；
 ④冲洗液类型和性能；
 ⑤用户对钻头效率和寿命的指标要求等。
 钻头设计者必须在综合考虑上述这些因素的基础上，采用针对性地对钻头各要素和参数进行合理设计和选择，从而设计出符合生产实际需要、具有优异技术性能和良好经济效益的钻头。

与单一磨料的金刚石孕镶钻头不同，主辅磨料双切削作用钻

头的设计必须兼顾两类磨料,特别是金刚石品级、粒度、浓度以及钻头胎体性能各参数间的相互配合尤其重要。主磨料金刚石参数的设计是为了满足有效破碎岩石的需要,并保证钻头有较高的时效,设计的基本依据是岩石对金刚石的磨损性能。辅磨料参数的设计则应以钻头摩擦学,特别是胎体耐磨性要求为准,即应保证钻头胎体不发生硬磨粒犁削式非正常磨损,以保证钻头具有较长的寿命。设计的基本依据是岩石对钻头胎体的磨损性能。

对于主辅磨料双切削作用金刚石钻头的设计可根据不同规格的金金刚石钻头,不同的切削破碎对象和不同的使用条件,选择合适的主磨料金刚石和辅磨料金刚石的浓度,设计适合上述情况的胎体配方(一般为中等硬度),采用与普通金刚石钻头相同的生产工艺与加工工艺。

在主辅磨料双切削作用金刚石钻头的设计中,主磨料的金金刚石浓度较普通金刚石钻头的金金刚石浓度低,一般设计为 $\frac{1}{1000} \sim \frac{1}{500}$ (质量百分制),辅磨料金刚石的浓度与普通金刚石钻头的金金刚石浓度相比也要低,一般为在 $\frac{1}{1000} \sim \frac{1}{500}$ (质量百分制)之间。主磨料的金金刚石颗粒度一般在 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 之间,辅磨料金刚石的颗粒度一般为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 以细。主辅磨料的总浓度加在一起远大于普通钻头的浓度,从而大大增强了钻头的耐磨能力。

设计的主辅磨料双切削作用孕镶金刚石钻头的主辅磨料浓度匹配应根据金刚石间的合理间隙值来确定。设钻头中主磨料的体积浓度为 μ_1 ,辅磨料的体积浓度为 μ_2 ,主磨料的颗粒直径为 d_1 ,辅磨料的颗粒直径为 d_2 ,则单位长度(即单位切削线)上主磨料的颗粒数为:

$$\frac{1}{d_1} \left(\frac{1}{\mu_1} \right) \alpha_1 \mu_1 \quad (7-1)$$

辅磨料的颗粒数为:

$$\frac{1}{d_2} \left(\frac{1}{\mu_2} \right) \alpha_2 \mu_2 \quad (7-2)$$

式中: α_1 ——主磨料的包镶强度系数;

$\alpha_{\text{裹}}$ ——辅磨料的包镶强度系数；

$\mu_{\text{扎}}$ ——主磨料的表面效应系数；

$\mu_{\text{裹}}$ ——主磨料的表面效应系数。

$\alpha_{\text{扎}}, \alpha_{\text{裹}}$ 取决于钻头胎体对金刚石的包镶牢固程度，以及工作过程中金刚石的脱落速率； $\mu_{\text{扎}}, \mu_{\text{裹}}$ 主要由金刚石的形状和出刃值确定。

根据 $\lambda_{\text{扎}}, \lambda_{\text{裹}}$ 即可求出金刚石之间的平均间距：

$\lambda_{\text{扎}} = \frac{1}{\mu_{\text{扎}}} \left[\frac{1}{\alpha_{\text{扎}}} \left(\frac{1}{\lambda_{\text{裹}}} - \frac{1}{\lambda_{\text{扎}}} \right) \right]^{-1}$ (苑原缘)

λ 值取决于具体钻进条件下岩粉中软、硬磨粒的粒度及数量，以及钻进规程参数和时效等因素。

由于主磨料金刚石的颗粒度较粗，切削破碎岩石主要由这部分金刚石来完成，同时由于金刚石的颗粒度较粗，作用于金刚石钻头上的力经过传递后，基本上都作用在这些粗颗粒的金刚石上。辅磨料金刚石则有利于提高金刚石钻头的耐磨性能。主辅磨料双切削作用金刚石钻头的胎体相对于普通钻头来说，硬度要求要低，因为由于辅磨料金刚石的存在，大大减少了岩粉对胎体的磨损。

苑缘缘 主辅磨料双切削作用金刚石钻头使用举例

下面将主辅磨料双切削作用金刚石钻头在三峡工程工地的现场使用情况作一说明。钻进的岩层为花岗岩和灰岩，岩石可钻性在 苑- 怨级之间，岩石完整，研磨性中等。所用的钻机是 载再原型，常用转速为 源园~ 愿园 转/分，泵量用 源园~ 远园 毫升/分，根据时效控制钻压，试验钻头规格为 $\phi 150$ 毫米。使用单位提供了已经正常使用的 四个钻头的统计数据，详见表 苑原苑。为了方便对比，表中列出了同时使用的其他厂家钻头中使用效果最好的 再厂的钻头使用结果。

表 4-1 主辅磨料双切削作用钻头与普通钻头使用效果比较

钻头性能	钻头机械钻速(皂磷)				钻头工作寿命(皂磷)				综合指标	
	最低	最高	平均	对比豫	最低	最高	平均	对比豫	平均	对比豫
施工单位要求指标			豫	豫			豫	豫	豫	豫
再厂普通钻头	豫	豫	豫	豫	豫	豫	豫	豫	豫	豫
主辅磨料钻头	豫	豫	豫	豫	豫	豫	豫	豫	豫	豫

摇摇注：综合指标是指钻头时效与其寿命之积，它能反映钻头的综合性能

从表 4-1 可以看出，主辅磨料双切削作用孕镶金刚石钻头在保持钻头时效稍有提高的前提下，钻头寿命指标大幅度提高，超过再厂钻头的 1.5 倍多，为使用单位要求指标的 1.5 倍，而钻头综合指标比再厂的高 1.5 倍，为使用单位要求指标的 1.5 倍。

4.2 自形成同心径向环齿钻头

4.2.1 自形成同心径向环齿钻头的特点

自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头主要由主工作层、副工作层、非工作层几部分组成。自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头在设计中由于钻头工作唇面上的主工作层和副工作层之间存在性能上的差异，导致它们切削破碎岩石能力的不同和抵抗岩粉研磨性能的高低不一，钻头在钻进过程中工作唇面出现切削锯齿波，自动形成高低交错的同心径向环齿，图 4-2(a) 为新的未使用过的自形成同心径向环齿钻头唇面形状，图 4-2(b) 为使用过的自形成同心径向环齿钻头唇面形状。

自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头具有以下明显特点：钻进时效高，使用寿命相对有所延长。同时，钻头破碎岩石时的稳定性好，钻进质量明显改善。该类钻头之所以具有这些特点，是

与钻头的合理结构及其破碎岩石机理密切相关的。

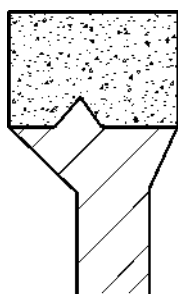


图 苑原圆 新自形成同心
径向环齿钻头唇面

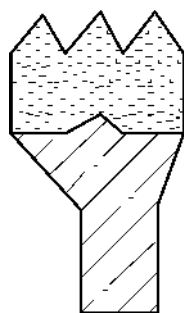


图 苑原猿 使用过的自形成同心
径向环齿钻头唇面

摇摇自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头破碎岩石时，在岩体上留下一条条锯齿状的岩石脊。由于破碎穴效应，岩脊内的微裂纹发育充分，强度降低。岩石在钻具的振动作用下，经机械挤压、剪切而被有效地破碎下来。同时，由于形成岩脊，岩体内的自由面增加，有利于岩石破碎。因而钻进时所需功率明显下降，钻进效率大为提高。

自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头破碎岩石时，是以金刚石破碎岩石为主，破碎穴效应为辅的方式进行的。岩体上自由面增多， $\frac{1}{3}$ 左右的岩石不是由金刚石直接破碎的，而是由于破碎穴效应的结果，因此钻头适应的岩层范围大为增加，具有一定的广谱性。

自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头中副工作层占整个钻头工作层的 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ 左右，在所用金刚石数量、浓度相同的前提下，可以提高金刚石钻头的工作层高度，因此钻头使用寿命有所提

高,单位成本明显降低。

自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头钻进时,在岩体上形成了多条岩脊,增加了钻头的导向性,有效防止钻头的径向摆动,因此可有效地防止钻孔弯曲,并可提高岩矿心采取率和保持孔壁的稳定。

4.1.2 自形成同心径向环齿钻头工作机理

自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头的碎岩方式,从微观上看,其工作面上出露的金刚石同时受两向力的作用。在轴向压力作用下压入岩石,以微体积方式破碎岩石,每颗金刚石产生一个破碎槽,从破碎槽上选取一点来看,是一破碎穴。由于破碎穴的体积比金刚石的颗粒体积大,并且岩石的脆性越大,破碎穴就越大,即破碎槽越宽,破碎槽周围的微裂纹十分发达,破碎槽之间所形成的岩脊,其强度比较低,在相邻两颗金刚石的侧压力作用下,由于内部裂隙的发展而呈体积破碎。在周向力(运动方向)作用下,以微切削、微剪切方式破碎岩石。出露的金刚石所接触的岩石表面被有效地破碎后,形成一道道微细切槽,切槽的两边及底部有微裂隙发育。从宏观上看,由于自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头胎体工作面各区的耐磨能力不同,导致切削破碎岩石的效率不一样。在工作过程中金刚石在轴向力作用下产生破碎槽,并在周向力作用下切削岩石,由于胎体的强耐磨区和弱耐磨区破碎岩石能力的差异,使孔底岩体上留下一条条岩脊。当胎体的强耐磨区和弱耐磨区分层厚度合理时,即相邻两强耐磨区的间距小于钻头破碎岩石产生破碎槽的最大宽度时,两破碎槽间形成的岩脊,处于变形交叉带区内。由于破碎槽效应,岩脊内的微裂纹十分发达,强度大大降低,在钻进过程的振动作用下被双向剪切,稍有挤压,岩脊顶部的剪应力即达抗剪强度,很容易以体积方式被破碎。

钻头在切削岩石时，同时也受到岩石和岩屑的磨损。由于金刚石切削下来的岩屑会流向钻头内外间隙处，导致钻头工作唇面不均匀磨损，致使平底等高结构的普通孕镶金刚石钻头的内外径侧面圆弧化现象存在。自形成同心径向环齿钻头的特殊结构却能够适应这种不均匀磨损：其副工作层的耐磨性较低，被超前磨损后形成凹道，于是，钻头工作端面呈凹凸相间的条齿带同心圆形状，主工作层是强耐磨层，其耐磨性和锋利性均要较副工作层好得多，因而其切削岩石效率高，且不易磨损。这样一来由于主副层间的磨损速度差和切削效率差存在且其值一定，故而钻头在钻进过程中自动形成“切削同心径向环齿”。由于主副层间的磨损速度差值一定，故该“切削同心径向环齿”的齿型、齿高基本不改变，可以维持到钻头整个工作层高度磨损完毕。

一般的传统观念认为金刚石钻头破碎岩石时，是以微体积破碎和微切削方式进行的，因此要求在整个钻头工作唇面上的金刚石呈均匀分布状态，即在钻头工作唇面区金刚石的浓度是一致的，不应有高浓度区和低浓度区的差别，否则就可能在钻头工作唇面上出现拉槽，导致钻头的非正常损坏而提前报废。

通过对非正常损坏而提前报废的钻头特别是对其中出现较严重拉槽的钻头进行分析研究发现，钻头工作唇面出现拉槽不一定就不能有效切削岩石，只要其槽的深度与宽度尺寸在一定范围内，并且具有一定规律，就可以用其继续钻进，并可获得较好的钻进效果。

从单颗金刚石破碎岩石过程分析可知，每颗金刚石在足够轴向压力作用下，对岩石进行体积破碎，在金刚石与岩石接触面的周围产生一个破碎穴，其直径远大于单颗金刚石的直径。而破碎穴的直径又受其深度的影响，压力越大，压入岩石越深，则破碎穴的直径越大，破碎岩石效果越好。因此，金刚石钻头在破碎岩石时，从微观上讲，每颗金刚石在足够压力作用下压入岩石，以

微体积方式破碎岩石；而在回转力作用下，以微切削、微剪切方式破碎岩石。每颗金刚石都产生一个破碎穴，而且这个破碎穴的体积比金刚石颗粒本身要大。岩石的脆性越大，这个破碎穴就越大，最高可达猿倍以上。同时，在破碎穴周围出现微裂纹，在两颗金刚石所形成的破碎穴之间形成岩脊，此外岩脊内微裂纹十分发育，强度大为降低，在金刚石钻头的机械振动与挤压剪切作用下，岩脊岩石能容易地从岩体上剥离下来。

基于上述的分析与探讨，可以预测研制的自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头与普通钻头相比，它既可以在切削效率上有较大的提高，使用寿命上也会有所改善。

7.2.2 自形成同心径向环齿钻头参数设计

孕镶金刚石钻头主要适用于硬岩地层钻进，一般来说在硬岩的回转钻进中，孔底产生的岩粉细而少，因而在钻进过程中由于受到钻进对象——岩石的物理力学性质的影响，决定了在硬岩钻进时，在轴向载荷作用下金刚石较难压入破碎岩石。同时在回转钻进时由于钻头对岩石的摩擦系数低，使作用于钻头上的摩擦力小，导致岩石难于破碎，胎体不易磨损，金刚石产生新陈代谢速度缓慢，导致孕镶金刚石钻头的钻进效率很低（与聚晶钻头、表镶钻头、复合片钻头等相比）。要提高孕镶金刚石钻头的钻进速度，必需设法增加作用在钻头工作面金刚石上的单位压力，同时还须设法提高钻头回转时对岩石的摩擦阻力，亦即提高钻头与岩石之间的摩擦系数。

在钻进过程中增加钻头底唇面金刚石的单位压力，单靠增加钻机给予的轴向载荷并不是最合理的办法。因为这不仅受到了钻具管材强度、机械性能和功率大小的限制，而不能过大地增加轴向载荷来满足压入较硬岩石的压力需要；同时，根据摩擦学原理知道，钻头上金刚石的单位压力并不与轴载荷成正比。因为当球

体(如底唇面出露的金刚石)和平面(平状孔底岩石)接触时,其实际接触面积与轴向载荷成比例。

假设钻头底唇表面是由许多等高出露的金刚石(视为凸球体)所构成,而每颗出露的金刚石在其接近球形的顶点处具有近似的曲率半径 r ,可以证明其总的接触面积(金刚石与岩石的接触面积)是随施加的轴向载荷的 F 次方而变化的,即:

$$A \propto F^{2/3} \quad (2.1)$$

如果假设钻头底唇表面上有个别出露的金刚石超出某一基准平面高度 h ,处于 h 和 $(h + \Delta h)$ 之间,应当说这种情况更接近实际情况,数学上称这种分布为高斯分布或标准正态分布,其概率的密度函数为:

$$\phi(h) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(h - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.2)$$

假定钻头底唇表面出露的金刚石高度为这种分布,而每一颗出露的金刚石具有平均半径为 r 的球形顶部,可以证明其实际接触面积与轴向载荷成正比,即:

$$A \propto F \quad (2.3)$$

上两式中: C_1 ——常数;

C_2 ——常数;

A ——接触面积;

F ——轴向载荷;

h ——金刚石出刃平均高度;

$\phi(h)$ ——表示表面结构中个别金刚石出露高度处于 h 和 $(h + \Delta h)$ 之间的概率。

综上所述,提高金刚石破碎岩石的压力,合理的措施应该是减少钻头底唇面积。当钻机所施加的轴向载荷一定时,金刚石上所承受的压力 P 将随着钻头底唇面积 A 的减少而增大,即: $P \propto \frac{F}{A}$

另外,由于这样提高了金刚石与岩石接触面积上的比压,对于提高其摩擦系数是有利的,由于摩擦系数与表面接触面积无关,因而与轴向载荷无关。这是指单位压力很小时,摩擦系数保持常数,但是当单位压力增加到一定值以后,其摩擦系数将与摩擦付两偶件的接触状态有关。因为单位压力增加到一定值以后,两偶件接触表面的氧化膜破坏,冷却润滑剂也会挤掉,岩石与金刚石间的分子吸附作用增强,此时摩擦系数会随着压力的增加而有所增加。同时,由于压力增加,接触温度会升高,金刚石与岩石接触处的强度会有所降低,亦即其物理力学性质会有所改变,因而摩擦系数也会增大。

综上所述,孕镶金刚石钻头采用同心径向环齿结构将有利于提高其钻进时效。同心径向环齿结构钻头在使用过程中形成高低锯齿,改变了钻头的底唇面结构,减少了与岩石的接触面积。同时也提高了钻头对岩石的摩擦系数和摩擦力,有利于岩石体积破碎,产生较大颗粒岩粉,研磨胎体能力增强,促使金刚石出露,提高机械钻速。另外,同心径向环齿结构孕镶金刚石钻头钻进过程中在孔底能形成两个或多个台阶,多个自由面,有利于破碎岩石,提高碎岩效率。

自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头设计时对胎体进行分区处理,设计中根据要求将胎体制造成强耐磨区和弱耐磨区,由于胎体耐磨性的不同,钻头在钻进过程中自动形成高低不等的同心径向环齿。

设计自形成同心径向环齿孕镶金刚石钻头时,副工作层部分占整个金刚石钻头孕镶工作层体积的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$,依岩石类别与性能不同有一定差异。一般来说,硬而脆的岩石,副工作层较厚,可以达到 $\frac{1}{3}$ 以上,反之对于强研磨性岩石,则应提高主工作层部分所占的分量,副工作层可取下限值。

图例 自形成同心径向环齿钻头制造工艺

自形成同心径向环齿钻头由于是分层结构，并且其层数有时多达缘-苑层，在装料过程中采用通常传统的方法肯定是行不通的，因而研究中采用了先冷压成型而后再装料烧结的方式。

制造自形成同心径向环齿钻头时，在配制好主、副工作层的金刚石和混合料后，即可进行工作层部分的装料工作。首先组装好冷压成型金属模具，按计算要求分别称取主、副工作层混合料，倒入冷压成型金属模具中(如图 苑源源所示)，组装好压头，将装好料的冷压成型金属模具放入压力机中加压，根据实际情况选取压力值大小，直到满足成型要求为止，保压时间维持在 苑译左右，然后从压力机中取出，拆开冷压模框，将已经压成型的钻头工作层胎块取出，放入事先准备好的钻头石墨模具内，加入钻头水口料和非工作层料，摆放好保径材料，即装料工艺完成，可进入下一道的烧结工序。

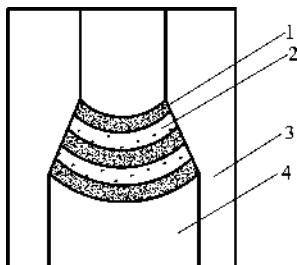


图 苑源源 自形成同心径向环齿钻头冷压成型装料示意图

员—主工作层；圆—副工作层；猿—模具侧板；源—模具压头

自形成同心径向环齿钻头装料完成后，其热压烧结过程与普通钻头基本相同。烧结前要对钢体进行仔细清洗，首先可用去油污洗去油污并擦干净，再用丙酮清洗、晾干，以保证胎体和钢体

的连接强度。烧结时要注意钻头烧结参数如烧结温度、压力、升温 and 冷却速度、保温时间等的相互选择与配合,其烧结温度一般根据不同的钻头配方来具体确定。压力在一般情况下采用 $10 \sim 15 \text{ MPa}$ 左右的终压力。一个钻头的烧结升温时间一般在 $1 \sim 2 \text{ h}$,保温时间可取 $1 \sim 2 \text{ h}$,钻头直径越大,则烧结升温时间和保温时间要求长些。

压制是热压过程的主要工序,是决定胎体质量的关键环节,压制过程中,初压力取全压力的 $1/3$ 左右,要避免初压过大,影响粉末脱气。在温度升至 1000°C 以后,粉末开始明显收缩,此时压力应加大到全压力的 $2/3$ 左右,并保持此压力直到设定的烧结温度,避免压力滞后于胎体收缩的现象出现。达到烧结温度以后,加至全压,以促使胎体致密化的进行。

4.1.2 摇自形成同心径向环齿钻头使用结果

根据前述讨论,研究者设计并制造了一批自形成同心径向环齿钻头在三峡工地进行了实际使用。使用的钻头主要为 $\phi 100 \text{ mm}$ 、 $\phi 120 \text{ mm}$ 、 $\phi 150 \text{ mm}$ 等规格的地质单管系列,钻进的岩层为花岗岩,岩石可钻性在 $1 \sim 2$ 级之间,岩石完整,研磨性中等偏高,所用的钻机为杭州探矿机械厂生产的 200 kN 型,常用转速为 $100 \sim 150 \text{ r/min}$,泵量用 $10 \sim 15 \text{ L/min}$,钻压较小,主要是钻机和钻具的部分重量。

表 4-1 所列出的数据为 5 个 $\phi 100 \text{ mm}$ 摇自形成同心径向环齿钻头和普通钻头的使用情况。表 4-2 所列出的数据为 5 个 $\phi 120 \text{ mm}$ 摇自形成同心径向环齿钻头和普通钻头的使用情况。

表 2-1-1 自形成同心径向环齿钻头和
普通钻头使用效果比较

钻头性能	钻头纯钻速(转/分)				钻头工作寿命(皂)			
	最低	最高	平均	对比(豫)	最低	最高	平均	对比(豫)
用户要求			1500	1500			1500	1500
普通钻头	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
同心径向环齿钻头	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

表 2-1-2 自形成同心径向环齿钻头和
普通钻头使用效果比较

钻头性能	钻头纯钻速(皂/分)				钻头工作寿命(皂)			
	最低	最高	平均	对比(豫)	最低	最高	平均	对比(豫)
用户要求			1500	1500			1500	1500
普通钻头	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
同心径向环齿钻头	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

从表 2-1-1 表 2-1-2 可以看出,自形成同心径向环齿钻头在时效和寿命方面较普通钻头均有所提高,在时效方面提高了 15% 以上,寿命方面延长了 15% ~ 20%,大口径钻头的性能提高较小口径钻头的幅度要大。可见研究的自形成同心径向环齿钻头有利于改善钻头的性能。

根据自形成同心径向环齿钻头的工作机理,对于解决“打滑地层”问题将会有比较理想的效果。

第 愿章 摇 金刚石锯切工具

愿 愿 愿 概述

愿 愿 愿 金刚石锯切工具的应用

金刚石锯切工具的工作内容是利用金刚石工具将材料切断、切槽等等，例如石材矿山大块岩石的采掘，以前在没有金刚石工具的情况下大都采用打眼放炮将岩石崩离，再手工凿成长方块运往石材加工厂。而如今可用先进的金刚石绳锯取代爆破开采，可以直接将大块岩石从矿山母岩上锯割下来，再分割成需要的大小，然后送往石材加工厂，用金刚石锯片切割成各种厚度的板材。又如半导体硅的切断和切片用的电镀金刚石切割片；光学玻璃、陶瓷等硬脆非金属材料的切割也都离不开各种各样的金刚石锯切刀具。建筑业的蓬勃发展更为金刚石锯切工具带来了用武之地，例如旧建筑物的改造往往要用到墙锯或绳锯将墙面切缝或将楼板切开；道路、机场等现代化建筑设施更离不开金刚石锯。因此，可以毫不夸张地说金刚石锯切工具的应用范围已扩大到国计民生的许多重要工业部门。当然，最有代表性的要数石材和建筑工业两大部门了。愿 愿 愿 年，世界上有将近 愿 愿 愿 的工业金刚石用于制造金刚石锯切工具，是近几十年来金刚石制品中发展最快的品种之一。据 愿 愿 愿 年美国 愿 愿 愿 公司统计资料显示，愿 愿 愿 年世界超硬磨料制品的消耗总计 愿 愿 愿 亿美元。其中石材加工就占了 愿 愿 愿 亿美元，约占总消耗量的 愿 愿 愿 日本的 愿 愿 愿 年度金刚石工具市场

中,石材加工占 猿园豫,土木建筑占 员园豫。据我国超硬材料协会调查资料显示,我国石材加工类金刚石制品约占制品总量的 缘缘豫,而在石材加工用制品中金刚石锯片占 愿缘豫,也就是说金刚石锯片占整个金刚石制品的比例高达 源猿豫。可见金刚石锯切工具无论是国内还是国际上都占金刚石制品中的首位。

愿源 摇摇金刚石锯切工具的发展

金刚石圆锯片的应用历史已相当悠久,世界上第一片镶金刚石的圆锯片直径达 圆皂,是法国人 允莫对于 员愿缘年制造的,是用每粒 园愿克拉的粗金刚石制成锯齿,用手工镶嵌于带燕尾槽的基体周边上,再用铆钉固定牢。这种制作锯片的方法差不多沿用了 源年。员猿年以后,由于粉末冶金的方法逐渐成熟,人们才逐步用金属粉末冶金法制造扇形锯齿,再用焊接的方法将锯齿镶焊于钢质基体上,这就是现在大家熟知的焊接圆锯片的早期产品形式。

圆世纪 源年代,圆锯片的制造技术获得了迅速的发展。适用于各种切割对象、各种不同结合剂类别、各种不同切割方法的圆锯片相继问世,各种制造锯片的工艺方法也日臻完善,不少国家的锯片产品已形成完整的产品系列供应市场。比较有名的厂家有比利时的包尔特公司、意大利的布兰顿公司、美国的诺顿公司、英国的尤尼康公司、日本的大阪工业公司、德国的温特公司等。

我国金刚石锯切工具按其种类而有不同的起始时间,如 圆世纪 源年代研制成功的电镀内圆切割锯片(硅、锗、水晶等的切割)和滚压锯片(用于钟表宝石切割);源年代末 苑年代初研制成功的镶齿锯片(用于光学玻璃、地质岩芯切割);苑年代初研制成功焊接圆锯片,最初主要用于绝缘材料、电瓷等的切割,随后又扩展到石材切割圆锯片。员愿年以后我国石材工业获得了全面发展,从而使石材切割用的金刚石圆锯片形成系列化、标准化,同时还开发了用于建筑行业的金刚石锯片以及排锯(又称框

锯、条锯)、带锯和绳锯等新的品种。20 世纪 80 年代随着我国计算机工业的发展,切割磁头用的各种超薄金刚石锯片(无齿锯)获得成功,最薄的厚仅 0.05mm,它的结合剂已不仅仅限于烧结金属和电镀金属结合剂,而且有了树脂结合剂锯片。

我国有极为丰富的石材资源且花色品种齐全,努力促进石材加工金刚石化是加速发展我国石材工业的近期目标之一。众所周知,金刚石具有很高的硬度、耐磨性和强度,因此金刚石加工具有显著的经济效益。

随着我国经济建设和改革开放进程的加快,我国已成为石材生产大国。据资料统计石材产量已达 1.5 亿万吨以上,石材消耗量已达到 1.5 亿平方米,已成为仅次于意大利的石材生产和出口大国。20 世纪 80 年代以来我国先后从意大利、日本、德国等国家引进石材加工生产线 100 多套。在引进设备的基础上,进行了消化吸收和创新,发展了自己的石材加工装备工业,使我国石材工业产值达 100 多亿元,就业人数达 100 万人,大理石和花岗岩的板材生产能力达到 1 亿多平方米。

为改变我国石材行业大而不强的局面,增强石材出口竞争能力,除石材行业自身努力外,金刚石行业也有责任承担起石材加工用的各种金刚石制品,尤其是锯切工具的开发任务。概括地讲,主要有下列产品:

(1) 随着石材拼花、圆柱弧面板等异形石材制品的发展,我国异形石材加工机械也得到了发展,如圆筒锯机、串珠绳锯机、带锯机和水切割机床等,这些机械都要配用金刚石工具。特别是金刚石串珠绳目前多数靠进口,从发展趋势来看,多绳式(5 条)金刚石串珠绳锯机很可能成为未来的大板锯取代大型砂锯。因此,大力开发金刚石串珠绳锯等异型石材加工配套金刚石工具是摆在超硬材料行业面前的重要工作之一。

(2) 金刚石排锯的再开发。随着矿山开采技术水平的提高以

及建筑物对装饰板材块度大型化的要求,生产大理石大板用的金刚石排锯的用量会不断增大,质量要求也将提高,为此需致力于金刚石排锯的再开发,在稳定质量上做工作。

(獭) 多锯片组合圆锯是超硬材料行业的薄弱环节,虽有少数厂家可以提供,但质量不够稳定,产量也少。因此应开发专用的多锯片组合圆锯的系列配方、工艺规程,提高基体质量。

(源) 其他相关的金刚石工具,如抛磨工具、天然和人造石材大板校平用的磨辊系列产品等。

从近几年的发展来看,金刚石锯切工具的使用对象和领域在不断扩大,除传统的石材、玻璃、半导体等各种硬脆非金属材料的切割外,还广泛用于钢筋混凝土切割(包括水泥预制件、楼板、墙板)、机场跑道防滑缝、公路及广场伸缩缝(防热胀冷缩)的切割,有机物料如胶木板、塑料板的切割,甚至木材、铝板、钢缆、石膏水泥板的切割也有了一定进展。

目前世界上最大的圆锯片直径已达 缘皂以上,但使用表明,这种大直径锯片的切割并不经济,行家普遍认为圆锯片的直径达到 猿皂就足够了。

国内普遍使用的圆锯片直径为 ϕ 圆皂皂皂、 ϕ 员皂皂皂皂、 ϕ 员皂皂皂皂、 ϕ 员皂皂皂皂和 ϕ 员皂皂皂皂用作组合锯较理想。按设备和板材要求而定,一般在 源皂~ 源皂皂较理想。金刚石带锯最长的展开长度为 忽皂皂。绳锯视用途不同,长度差异很大,矿山用绳锯多在 猿皂~ 缘皂左右,切割异型石材的绳锯长度多在 员皂~ 圆皂之间。

愿皂 金刚石锯切工具的种类与结构

金刚石锯切工具的种类很多,分述如下:

8.1.1 金刚石锯片按形状分类

8.1.1.1 圆锯片

金刚石切削刃位于锯片的内或外圆周上,如常用的石材切割锯片,其金刚石位于基体的外圆周边上;常用的切割半导体薄片的内圆切割锯片,金刚石位于内圆的刃口上。

圆锯片是常用的一种锯切工具,直径跨度大,从数毫米的雕刻片到数米直径的大型锯片;切割对象也很多,切割对象的结构、硬度、尺寸大小差别也很大。因此,其加工制造方法、所用原材料及使用要求等都不一样,这些内容在后述章节介绍。

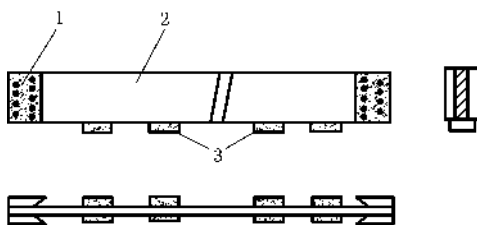


图 8-1-1 金刚石排锯示意图

1—装卡夹头;2—锯板;3—金刚石节块

8.1.1.2 排锯片

排锯片又称框锯、条锯,其基本形状见图 8-1-2。它是将金刚石节块焊接在一长条钢板基体的一侧,两头有铆钉铆牢的连接板,供装配时楔紧之用。它的工作原理是将一组(数十至上百根)排锯装紧于锯机上,由马达带动曲柄连杆驱动锯片做往复运动,并对锯片施压,使金刚石刻入岩石,不断地锯割岩石。

排锯的主要切割对象是石材,包括各种天然大理石、易切的花岗岩、人造大理石(水泥型或树脂型)等。

石材或水泥砌块的分割、异型石材切割,甚至大型钢缆的切断等。

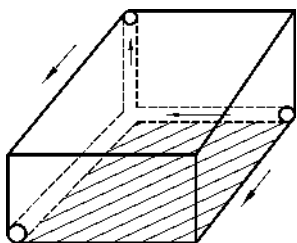


图 4-1 金刚石绳锯开采原理图

图中虚线部分为三角相交的导绳点

钢丝锯

丝锯是一种简单的手用锯切工具,它是在一根钢丝上(一般为淬火钢丝)镀上金刚石粉。用于玉石、石材工艺品的加工。

链锯

链锯在饰面石材开采中也是普遍采用的设备。德国应用各种不同类型的链锯开采大理石、石灰石等软质和中硬石材。如德国运来特机械股份有限公司生产的链锯机。它用于露天采石场开采大块石料,可以直接垂直和水平采石,有效采石深度可达 4m。通过更换齿轮链控制速度 0.5~1.5m/min 液压无级调速,进给速度为 0.5~1.5m/min。

瑞士贝通公司生产的链锯有手提式和轨道式两种形式,主要作业对象为混凝土和石材,切割深度达 4m。图 4-2 为以色列金刚石钻探有限公司的链锯机的手提式链锯的金刚石链锯示意图。链节的形状有多种,主要根据加工对象来定,链节的制造方法有热压烧结法和电镀法两种形式。

按制造方法分类

用不同的工艺方法可以制造出不同种类、不同用途的锯片,

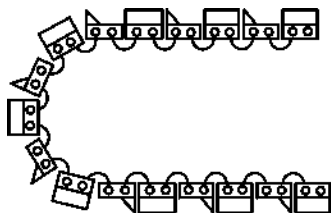


图 愿原锯 愿原杂手提式链锯(局部)

其主要有：

愿电镀锌片

这是制造金刚石内圆切割锯片的惟一方法，也用于薄的外圆锯片、绳锯串珠、丝锯等的制造。电镀法锯片的特点是金刚石被结合剂把持十分牢固，金刚石出刃好，且可以调节出刃高度，因此切削锋利，耐用度好，制造成本低，适应性强。

愿滚压锯片

金刚石位于锯片外圆的缝隙中，基体是一种较软的碳钢，直径 ϕ 愿愿~ 愿愿皂皂，厚度约 愿愿皂皂~ 愿愿皂皂，一般用于钟表宝石的成组切割。

愿镶齿锯片

这种锯片多以青铜为结合剂，冷压烧结工艺制造。金刚石齿呈长条块状或 愿字形，可直接压制，或先压成齿再镶装带基体外圆周边的齿槽中。这种锯片主要用于玻璃、水晶等的切片，也有用于大理石、水磨石切边的。

愿焊接锯片

这是目前使用最广泛的锯片制造方法，也是大部分石材加工用锯片的形式。如石材加工用圆锯、排锯等，都是先制成锯齿节块，再用焊接的方法将节块焊接到钢基体上。

这种制造方法应用于大批量、半自动化生产。通过调整锯齿

到最小限度。

缘工程切割片

主要指钢筋混凝土建筑物拆除,改建用切割锯片,水泥预制件切断、水泥路面、机场跑道和广场等的切缝用的锯片,主要的形式有外圆锯片、绳锯等。

缘耐火材料、电瓷材料、陶瓷材料切割锯片

主要用作耐火砖、电瓷绝缘材料、陶瓷材料的外圆切割,包括焊接锯片和电镀锯片。

缘塑料、层压板、有机玻璃切割锯片

因这些材料都为有机材料,导热性差,受热变形、粘锯,操作不当还会使金刚石石墨化,因此要求锯片具备某些特性,规格比较复杂,用量又不十分大,因此多以适应性强的电镀外圆锯片为主。

缘实验室用超薄锯片

实验室制作各种分析样品,需要对分析物制成极薄的近似透明的薄片,如岩样、骨制品、化石、金属材料等的切片,都是用金刚石超薄片切割的。

缘精磨金刚石锯切工具用原材料

缘精磨金刚石

缘圆锯片切割石材时金刚石的磨损特征

金刚石切割石材时,因与岩石产生摩擦而磨损。锯片切割是一种粗加工作业,切割效率高是其主要目标,但从经济性出发,还必须兼顾锯片的寿命,亦即金刚石的磨损。切割效率和磨损则是与所采用的金刚石质量、粒度相关,也与切割工艺,特别是切割时的圆周速度有关。切割过程中金刚石的磨损大体上分为两种情况。一是金刚石刻取岩石产生切割磨损,它包括三种磨损类

型：①粘附磨损，金刚石被粘附到石材表面上，微粒被剪离；②摩擦磨损，岩石上的许多硬质点擦刮金刚石表面；③扩散磨损，一是岩石与金刚石表面的化学作用使金刚石硬度和强度下降，磨损加剧；二是金刚石对石材切割时的连续冲击磨损，冲击磨损是因为超载荷的机械和热的作用，或者疲劳引起金刚石的碎裂而脱落。磨损的形式与切割时不同的载荷相关联，在逆向切割时，当低速切割和切材均质的情况下，金刚石被磨平。在下切式高速切割的情况下，当被切石材有硬质点时，因冲击载荷而导致金刚石碎裂。锯片在使用中，出刃于结合剂表面的磨粒因所遭遇的磨损条件、出刃高度等的不同，可以区分为下列四种情况：①良好磨粒；②磨平磨粒；③破碎磨粒；④脱粒磨粒。如图 8-1 所示。

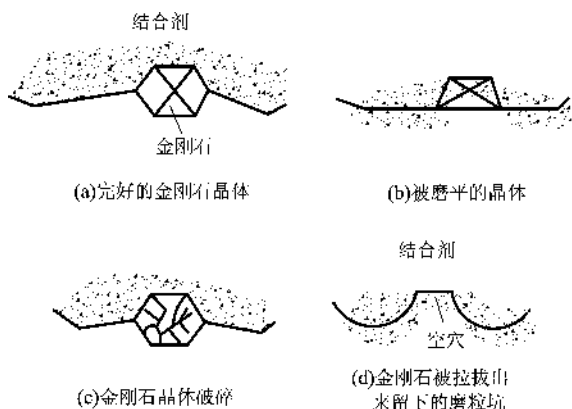


图 8-1 金刚石磨损形态

工艺对锯片磨损速度和磨损类型关系很大。图 8-2 给出了锯片切割时的圆周速度与这种磨损之间的关系。由图可知，当圆周速度增加时，切割磨损下降，而冲击磨损增加。这是因为达到同一切割效率，当圆周速度增加时，每一次的切深可适当减

少，磨粒所受作用力减少，磨粒过早脱落的几率下降，表现为磨损减少。但圆周速度增加后，必然会带来冲击力增加，振动变大，使磨粒破碎的几率增加。为使总的磨损达到最小，在实际作业中，对不同的石材，都有一个最佳使用线速度问题，这就是图愿原远中两条磨损曲线的交点 悦 也就是曲线 猿 的最低点)，称为 增。当切割速度大于 增 时，磨损形式以金刚石破裂成碎片脱落为主；而切割速度低于 增 时，金刚石以切割磨损为主。

工件材料对金刚石磨损的影响主要是材料的硬度。如花岗岩比大理石硬，因而其对锯片的磨损大。硬质花岗岩等坚硬材料的切割，差不多在整个周速范围内，冲击磨损是主要的，其最佳圆周速度移向较低速区；对较软的切割材料，其最佳圆周速度在较高速区。

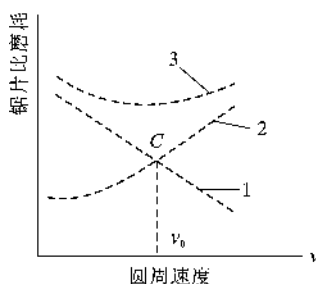


图 愿原远 锯片磨损与圆周速度的关系

员—切割磨耗；圆—冲击磨耗；猿—总磨耗

通过以上分析，可以得出下述结论：

(员)切割较软材料或较低圆周速度时，金刚石是否被牢固粘结对金刚石的强度更重要，此时不是要求金刚石强度愈高愈好，而是要求其有更高的热稳定性，以适应采用粘结性能好、耐磨的结合剂。

(圆)切割硬材料或较高的圆周速度时，金刚石的抗冲击强度对锯片性能影响很大，因此要采用强度高、晶形完整的金刚石。

圆锯切工具用金刚石的技术要求

(一) 粒度

金刚石在锯切工具的切割面上的出露情况或凸出高度会影响每个颗粒的切割深度,也就是影响了切割工具的材料去除率。使用粒度较大的金刚石出露程度将有较快的材料去除率。一般粗颗粒用于切割软质材料,而较小的粒度则用作坚韧材料的切割。

金刚石的粒度决定了每克拉的颗粒数。随着粒度号的增大,每克拉的颗粒数增多。因为工具的切割面积上金刚石的数目对工具的寿命和功率消耗有影响,所以选择合适的目数是确保工具性能的关键。一般来说,低浓度金刚石工具目数变细金刚石粒度,就能使切割工具表面上的金刚石颗粒增多,这样一来有利于提高寿命,同时也增加了功率消耗。

除金刚石粒度外,金刚石的浓度也决定了切割工具表面晶粒的数目。金刚石浓度越高,切割工具表面晶粒的数目就越多,这样有利于提高寿命。

(二) 形状

金刚石的晶形变化很大,从完整的立方—八面体结构到部分完整、不规则形状直至晶体碎块。根据经验,当晶粒承受重负荷时,最合适的产品是选用非常结实、完整的立方—八面体晶形的金刚石。这种晶形的金刚石在工作过程中接触面最小,而抗破碎能力最强,因而降低了设备功率消耗,延长了工具寿命。

(三) 杂质

杂质是金刚石晶体在生长过程中所包裹的外来物质。在晶粒中,杂质随着类型、数量、位置和分布的方式不同而变化。

切割过程是一动态过程,作用在晶粒上的负荷变化很大,从高能量的冲击到不断变化的连续载荷,甚至单颗粒的切割。切割的情况决定了作用在晶粒上载荷的大小和类型。晶粒内的杂质不但影响制品烧结时金刚石的质量变化,也同样影响到切割时金刚

石晶粒能经受住什么样的载荷。

(源) 冲击强度

冲击强度受晶形、粒度、杂质等特性的影响。在选用金刚石时,要综合考虑工具的设计、结合剂的性能、工件材料的性能、机器的使用功率、所要求的切割效率和寿命等来选用合适冲击强度的金刚石。通常在切割较坚韧材料时,应选取能承受冲击强度大的金刚石产品。研究表明,在一定的使用条件下,存在着一个最小冲击强度值,当使用的金刚石的冲击强度高于这个最小值时,对于改进工具性能没有太大效果。

獾锯切工具用金刚石参数选择

用于锯切工具的金刚石有天然金刚石和人造金刚石,但用天然金刚石制造的锯切工具比较少。

表 愿原 獾锯用国产合成金刚石

品种代号	粒度范围(目)	堆积密度 ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)	用途
砸云闻, 砸云闻	远云闻~ 獾云闻	员云闻~ 员云闻	树脂薄片
配云闻, 配云闻, 配云闻, 配云闻	缘云闻~ 獾云闻	\geq 员云闻	青铜结合剂锯片, 电镀绳锯, 丝锯
獾云闻, 獾云闻, 獾云闻, 獾云闻	员云闻~ 远云闻	\geq 员云闻	焊接锯片(包括圆锯、排锯、带锯、绳锯)
闻云闻	员云闻~ 源云闻	\geq 圆云闻	特殊用途焊接锯片

(员) 金刚石品级

表 愿原 列出了用于锯切工具制造的国产合成金刚石品级牌号、特性及对应的作用。

表 愿原 愿原 列出了元素六公司应用于石材业锯片和建筑

业锯片用的几种金刚石。

表 8-1 元素六公司推荐应用于石材业锯片的金刚石

困难 ↑ 锯切 难度 ↓ 容易	SDA100S			
		SDA100*		
			SDA85*	
				SDA*
	石英	花岗岩	深石火成岩	石灰岩
			闪长岩	石灰岩
	石英岩	片麻岩	结晶	石片
			石灰岩-大理石	砂岩
	含大量石英的花岗岩	解长岩 长正岩	玄武石 水磨石	框锯切割

表 8-2 元素六公司推荐应用于土木工业锯片的金刚石

困难 ↑ 锯切 难度 ↓ 容易	SDA100S			
		SDA100*		
			SDA85*	
				SDA*
	凝硬和/或极度 加固混凝土	中等凝硬和/或 中等加固混凝土	凝软和/或 微加固混凝土	石桶水泥 软砖石
	凝硬沥青	中等凝硬沥青	凝软沥青	砂岩
	硬电铸耐火 材料	半硬电铸耐火 材料	软电铸耐火 材料	石片
	瓷	硬砖石	中等硬砖石	玻璃加固塑料

元素六公司为锯切用金刚石提供 SDA 系列，其选用原则见表 8-1。

表 2-1 金刚石锯片应用一般应用原则

应用	产品
重负载应用 锯切、钻探、绳锯 用于下列材料： 硬花岗岩、钢筋混凝土、硬填料混凝土 多排花岗岩异型锯切	金刚石锯片 金刚石锯片
中等负载应用 不难的切割情况，低硬花岗岩 一般用途的混凝土和硬石板	金刚石锯片 金刚石锯片

表 2-2 列出了不同国家主要的锯用金刚石产品。

表 2-2 不同工业国家锯用金刚石产品

国别	英国	美国	乌克兰	日本	捷克
公司	元素六公司	拜伦	超硬所	东名	
牌号	杂牌系列	金刚石系列	粤说系列	隆杂, 悦	运原杂
	牌系列	金刚石系列	粤说		

(四) 金刚石粒度

对于人造金刚石，除了杂牌系列的最粗粒度为 40 目美国目外，其他型号人造金刚石的最粗为 30 目美国目，接着下去的粒度为 20 目、15 目、10 目、7 目、5 目美国目。金刚石的粒度根据加工材料进行选择（参见图 2-3），愈难切的材料所用的金刚石粒度愈细。

金刚石的粒度影响金刚石的出刃值和切割速度。图 2-4 愿为采用粒度为 30 目美国目的杂牌人造金刚石在含花岗岩集料的混凝土中锯切所测得的金刚石出刃高度。可见，锯切混凝土时，对于切割速度为 0.5 m/min 和 1.0 m/min，金刚石出刃值

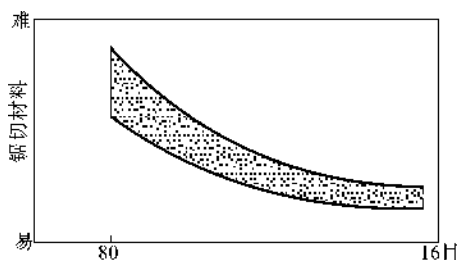


图 8-10 金刚石粒度选择

分别为金刚石粒径的 $1/2$ 和 $1/3$ ；当锯切天然花岗岩时，对于切割效率为 $1/2$ 时，金刚石的出刃约为粒径的 $1/2$ 。可见，为了提高锯切效率，选用较粗的金刚石有利。当采用较细粒金刚石时，要求锯片的线速度要提高。当金刚石浓度不变时，采用较细金刚石则可使节块单位工作端面上的切削点增多，而有利于提高锯片的使用寿命。

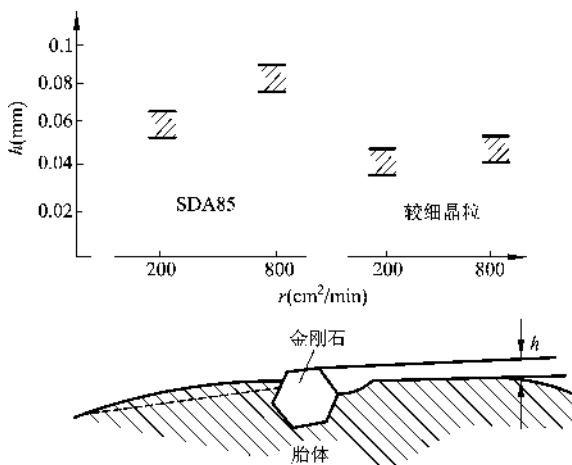


图 8-11 金刚石出刃

圖源 搖 金剛石濃度

金剛石濃度具有一個合適範圍，其濃度通常為 圖源 ~ 圖源，金剛石濃度與鋸片的壽命關係見圖 圖源。隨着濃度的增加，鋸片的壽命增加。

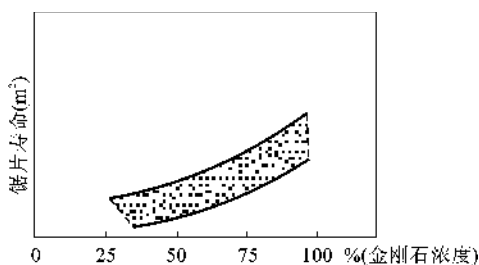


圖 圖源 搖 金剛石濃度與鋸片壽命的關係

金剛石濃度與功率消耗的關係見圖 圖源。隨着金剛石濃度的增加，功率消耗也隨之增加。

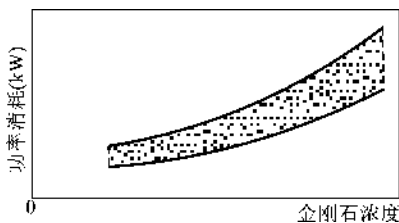


圖 圖源 搖 金剛石濃度與功率消耗的關係

圖源 搖 胎體

圖源 胎體的作用

鋸片的工作狀態見圖 圖源。胎體在金剛石鋸切工具性能方面有下列幾點作用：(員)分散和把持金剛石；(圓)使金剛石有一定

的出露,提供相匹配的磨损;(猿)防止晶粒过早脱落;(源)充当散热体,将工作时产生的热量迅速传出去;(缘)当金刚石受到冲击时,胎体承受和分散所产生的冲击和载荷。

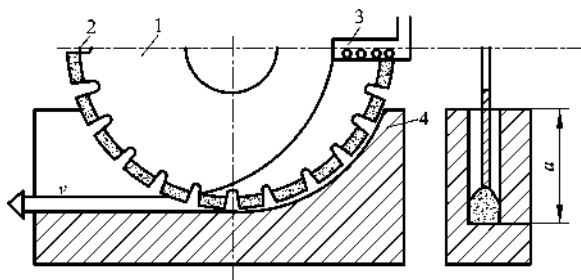


图 4-1 金刚石锯片的工作状态

1—锯片基体;2—节块;3—输送冲洗液的弯管;4—岩石

四 胎体应具备的特性

胎体是由单金属或合金构成的。作为锯切工具的胎体,它首先要满足锯切工作特点的要求,即在使用过程中既要保证金刚石有良好的出刃,又要保持金刚石不过早脱落,并能承受住锯切时合理工作参数下各种各样锯切条件的考验;同时还要兼顾到锯片生产的工艺特点和要求。这就要求胎体应具备下述性能:

(一) 胎体对金刚石有良好的粘结性

由于金刚石与一般金属之间具有很高的界面能,致使金刚石与一般金属或合金不能很好地浸润。碳化物形成元素对金刚石有较好的浸润性,如钨、钼、钽、钽、钽、钽元素对金刚石的浸润性很差,而铜几乎是不浸润金刚石的。胎体金属或合金对金刚石能否良好浸润并非代表它对金刚石能否良好粘结,但浸润性好为良好粘结创造了条件。

(二) 胎体应有良好的耐磨性和冲击韧性

由于胎体耐磨性的测定相对比较困难,一般用硬度来表示其

耐磨性，认为硬度越大则耐磨性越高。从锯片所用的几类胎体基来看，含有一定量的 宰悦胎体硬度较高，比较耐磨，可用作钢筋混凝土等材料锯片；含钴较多或纯钴胎体的硬度次之，一般用作硬花岗岩锯片；铁基胎体硬度较钴基胎体的低，但其有较大的调整范围，可做花岗岩、大理石等锯片；铜基胎体硬度较低，一般用于制作低寿命高效率的锯片。

胎体要有一定的抗冲击能力，因为锯片在切割过程中，切割效率高，切速快，进给快或切深大，被切材料对锯片产生的振动、冲击较大，因而胎体应具备一定的抗冲击能力。

(獠) 胎体成分对金刚石无侵蚀或只有轻微侵蚀

金刚石的化学成分是碳，所以它具有碳的化学属性，如高温氧化及燃烧，并能和若干元素形成金属碳化物。在 怨园益时，如结合剂中有铁存在，金刚石就开始以碳元素形成渗入铁中，造成对金刚石表面的侵蚀；温度继续升高到 员圆益时，金刚石甚至能全部溶于铁中。其他如 栽灾、悦宰等碳化物形成元素，在其碳化温度下都会侵蚀金刚石。金属对金刚石的高温侵蚀程度与金属粉末颗粒的大小和粒度的分布，及生产过程中氧化与还原气氛的存在，加工温度和时间等有关。

侵蚀按金刚石表面被刻蚀的程度分为轻微、中等和剧烈三类。轻微反应是在金刚石立方体的表面上有微小的表面刻蚀；中等反应是在金刚石所有表面上都有刻蚀；剧烈反应是在金刚石表面有深度刻蚀，任何晶体的棱边和棱角都不存在。轻微和中等反应对金刚石性能影响很小甚至没有，而剧烈反应会降低金刚石工具的性能。

(源) 胎体要求的烧结温度不能太高

金刚石的高温性能和它与金属作用特点是锯切工具制造所应注意的。试验研究表明，在空气中煅烧金刚石，愿益时开始减重，晶体色泽变化；怨益时质量明显下降，变得疏松易碎，至

金刚石完全燃烧，发出耀眼的光而剩下灰烬。

在有氢气保护的情况下，燃烧用金属粉末覆盖的金刚石，只要达到金属粉末与碳起化学作用的温度，都会侵蚀金刚石。

胎体烧结温度低于 1000°C 时，金刚石的冲击强度没有受到热的影响；而当烧结温度在 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 时，金刚石的冲击强度会产生微小的变化。强度的损失是由单个晶粒内部的张力引起的。随着金刚石等级不同，强度损失也就不同，内部张应力是因为金刚石和所含金属杂质的热膨胀率不同而引起的。过高的烧结温度（ 1500°C ），其内应力使大部分晶粒产生内裂纹，从而引起冲击强度有很大变化。

当热压烧结时存在保护气氛或处于还原气氛的环境下时，即使烧结温度高于 1500°C ，对金刚石冲击强度的影响会很小。

（缘）应具有良好的压制工艺特性

对于胎体的压制工艺特性主要是胎体的压实性和成型性。成型性对于热压烧结法比冷压烧结的要求低些，但也不可忽视。因为在节块制造时，如采用先预压的工序，那么节块坯体比成品尺寸要高 $10\% \sim 15\%$ ，而且压坯要经搬动并组装到石墨模具内，所以要求压坯要有一定的强度，也就是胎体要有好的成型性，才有可能获得最好的压坯强度。

压实性好的胎体，说明其粉末颗粒在压制时的流动性好，颗粒之间的内摩擦小，因此在较小的成型压力下，就能达到规定的成型密度，这对减少动力消耗、节约制造成本是有益的，但压实性好的胎体，其压坯强度差。因为流动性好的粉末都反映出其粉末颗粒间的相互交联、啮合较少，所以其强度差。

胎体的压制性能主要取决于原材料尤其是金属粉末的性能、粒度、表面状况、形状等。如细颗粒、形状复杂的粉末成型性比较好。电解铜粉比雾化铜粉的成型性好，因为前者呈树枝状，后者为球状。金属粉末表面有硬化层或吸附杂质较多时，其成型性

就差。

(远) 工艺稳定性要好

在工业生产中，特别是自动化水平欠发达的生产单位，生产过程由于受设备条件、模具尺寸甚至周围环境等因素变化的影响，造成测量仪表显示的工艺参数与实际达到的工艺参数有一定的差距，从而改变了胎体的某些性能，使产品质量出现波动。胎体对工艺参数变动的敏感程度称为工艺稳定性。不同的胎体配方对工艺参数的敏感程度是不同的，过度的敏感程度会给生产带来麻烦。

(苑) 不能造成公害

胎体自身或在生产过程中对人体、环境均不会造成危害、污染，即或有污染可通过治理加以解决。胎体中用的铜、钴、锰等重金属元素对人体都是有害的，因此粉末要妥善保管。

猿影响胎体性能的因素

(员) 配方成分对胎体的性能起主要作用

远猿青铜为主要成分的结合剂胎体的硬度和抗弯强度比 猿猿悦为主要成分的低。即可以认为以 猿猿悦为主的胎体耐磨性高。同时 猿猿悦对金刚石的浸润性比铜好，对金刚石的结合力比铜对金刚石的结合力高十倍以上，因此在制造切割高硬度的花岗岩锯片时，猿猿悦是理想的材料。

猿猿悦为主的胎体随着 悦含量增高，胎体硬度和抗弯强度均有所提高，因此对锯切不同硬度的石材，可以通过调整 悦含量等来解决配方的适应性。

在 猿猿悦为主的胎体中添加 宰悦可以大大提高胎体的硬度和抗弯强度，改善胎体的耐磨性能。

在 猿猿悦为主的胎体中添加 栽悦等碳化物形成元素，可以提高胎体的力学性能和金刚石的结合强度。

(圆) 烧结工艺对胎体性能有较大的影响

研究表明, 烧结温度对烧结体的抗弯强度、冲击韧性有显著的影响, 烧结时间和成型压力对烧结体的硬度、抗弯强度、冲击韧性影响不是很大。

(7) 预合金粉末有利于改善胎体的性能。

2. 金刚石锯切工具的胎体类型

(1) 青铜基粘结剂

青铜基粘结剂在金刚石工具中应用比较普遍, 多数是预合金粉末, 如 Cu-Ni 青铜、 Cu-Ni-Co 合金及其他以 Cu 为基的合金。上述青铜粉一般采用雾化法生产, 粉末颗粒呈近球状。

青铜粉的可烧结性和成形性很好, 熔点低、烧结温度也低。常常添加适量的 Ni 、 Co 、 Zr 、 Al 、 Sn 等元素粉末进行合金化, 以期获得尽可能好的综合性能。

Cu-Ni-Co 合金是较理想的粘结剂, 高温下液相合金对金刚石完全润湿。

青铜合金的机械强度偏低, 抗弯强度通常在 1000MPa 左右, 已完全满足金刚石工具要求。

青铜基粘结剂多用于制造金刚石砂轮, 砂轮的金属粘结剂并不要求高韧性, 在磨削加工时粘结剂不能有明显的塑性变形。

(2) 白铜基粘结剂

用得比较多的是锰白铜和锌白铜。白铜系指 Cu-Ni 合金, 其力学性能高于青铜基合金, 熔点也比青铜合金高。白铜合金粉多用于石油钻头和地质钻头制造中, 使用时可加入适量的 Ni 、 Al 、 Sn 、 Zr 、 Co 等进行改性处理。

锰白铜即指 Cu-Ni-Mn 合金, 锌白铜即指 Cu-Ni-Zn 合金。

(3) 黄铜基粘结剂

黄铜是 Cu-Zn 合金, 根据用途需要, 有时加入一些合金化元素, 如 Al 、 Sn 、 Co 、 Zr 、 Ni 等。在黄铜中加入 Al 、 Sn

对改善黄铜对金刚石的润湿性起一定作用。

黄铜粘结剂的烧结温度不高，热压成型性好。

(源) 铜基粘结剂

上述三种铜合金粘结剂也可以说是铜基粘结剂，但这里所讨论的铜基粘结剂是指以电解铜粉为主要原料的金刚石工具。

以电解铜粉为基的金刚石工具，可以热压烧结，也可以冷压烧结。冷压成型后烧结的金刚石工具必须是用电解粉末，电解铜粉是树枝状的，冷压成型性好。

在电解铜粉中加入 Zn 、 Sn 、 Pb 、 Ag 、 Cu 、 Al 、 Fe 、 Co 、 Ni 、 Cr 等金属粉末中的一种或几种可以改善铜基合金对金刚石的润湿性。

(缘) 钴基粘结剂

国外一些先进国家，钴基粘结剂应用比较普遍。钴含量高达 10%，纯钴金刚石工具胎体性能优异。

钴基粘结剂其综合性能最好，如有好的成型性与可烧性，对金刚石粘结力大，润湿性能好等。

由于我国是贫钴国，资源匮乏，因而价格昂贵。金刚石工具厂家从成本方面考虑，用钴越来越少。

(远) 铁基粘结剂

铁基粘结剂的主要优点有：较高的力学性能，如抗弯强度、硬度等；对金刚石有较好的润湿性；可成型性、可烧性好；成本低廉；对骨架材料的润湿性好。由于铁基粘结剂具备上述优点，使其得以推广应用。

(苑) 镍基粘结剂

镍基粘结剂耐磨性好，具有出色的强韧性，耐冲击，适用于制作研磨性强的金刚石工具。

由于 Ni 和 C 有很好的相溶性，无限互溶，在镍基粘结剂中， Ni 是首选的合金元素，除此外还可以加入 Al 、 Zn 、 Fe 、 Co 、 Cr 、 Mn 等元素中的一种或几种，进行多元合金化。

(8) 铝基粘结剂

铝基粘结剂金刚石工具在国内并不多见,前苏联对铝基粘结剂的开发研究比较早。铝基粘结剂的抗弯强度不是很高,但铝基粘结剂对金刚石有很好的润湿性,尤其是铝基含钛粘结剂,比铝基含锡粘结剂对金刚石的润湿性还要好得多。同时铝基粘结剂熔点低、成本不高,因而其应用范围在进一步扩大。

8.1 金刚石锯切工具粘结剂中元素的作用

(1) 铜在粘结剂中的作用

在金属粘结剂金刚石工具中应用最多的金属是铜和铜基金属,铜和铜基金属应用如此广泛是因为铜基粘结剂有满意的综合性能,较低的烧结温度,好的成形性和可烧性,及与其他元素的互溶性。

虽然铜对金刚石几乎不润湿,可某些元素与铜的合金能使其对金刚石的润湿性得到大幅度的改善。如铜和碳化物形成元素如 Fe、Ni、Co 等中的一种制成铜合金,都可以大大降低铜合金对金刚石的润湿角。

(2) 锡在粘结剂中的作用

锡是降低液态合金表面张力的元素,具有降低液态合金对金刚石润湿角的作用,是改善粘结金属对金刚石润湿的元素,可降低合金的熔点,改善压制成形性。所以锡在粘结剂中的应用十分广泛,但因锡的膨胀系数大,使用受到一定的限制。

(3) 锌在粘结剂中的作用

在金刚石工具中,锌和铜有许多相似之处,如熔点低、变形性好,在改变对金刚石的润湿性上锌不如铜。

金属锌的蒸气压很高,容易气化,所以在金刚石工具粘结剂中要注意锌的用量。

(4) 铝在粘结剂中的作用

金属铝是性能优异的轻金属,是良好的脱氧剂。在烧结时,

对金刚石的润湿角为 90° ，在 1500°C 时润湿角为 0° 。在金刚石工具的粘结剂中加入铝粉可以在胎体合金形成碳化物相和金属间化合物。

(缘) 铁在粘结剂中的作用

铁在粘结剂中有双重作用，一是与金刚石形成渗碳体型碳化物，二是与其他元素合金化，强化胎体。铁与金刚石的润湿性好于铜和铝，铁与金刚石的附着功比钴高。

云母合金溶解碳适量时将有利于它对金刚石的结合，云母合金适度刻蚀金刚石可增大结合剂与金刚石间的结合力，断口上未见金刚石光滑裸露，而是被一层合金覆盖，这就是结合力加强的表征。

(远) 钴在粘结剂中的作用

钴和云母同属过渡族元素，许多特点是相近的。钴在特定条件下能和金刚石形成碳化物，同时又能以极薄的钴膜铺展在金刚石表面。这样钴可以降低钴和金刚石的内界面张力，液相下对金刚石又有较大的附着功，所以钴是优秀的粘结材料。

(苑) 镍在粘结剂中的作用

在金刚石工具的粘结剂中，镍是不可缺少的元素，在云母合金中，加入镍可以和云母无限互溶，可以强化胎体合金化，抑制低熔点金属流失，增加韧性和耐磨性。在云母合金中加入镍和钴，可以降低烧结温度，减轻粘结金属对金刚石的热蚀，选择云母、镍加入量的适当搭配，可以大大提高云母基粘结剂对金刚石的把持力。

(愿) 锰在粘结剂中的作用

锰在金属粘结剂中，与铁的作用相似，但渗透能力和脱氧能力较强，且容易氧化。一般锰的加入量不高，主要考虑烧结合金化时，用锰脱氧，余下的锰可参与合金化，强化胎体。

(怨) 铬在粘结剂中的作用

金属铬是一种强碳化物形成元素，也是一种应用范围很广的元素。在金刚石槽型锯片胎体中，有足够的铬可以起到消音的作用，原因是与 1000 的激活能有关。在 1000 基胎体中添加少量的 1000 可以降低铜基合金对金刚石的润湿角，并提高铜基合金对金刚石的粘结强度。

(1) 钛在粘结剂中的作用

钛是易氧化、难还原的强碳化物形成元素，有氧存在时 1000 先生成 1000，而不生成 1000。

金属钛有良好的结构材料，具有比强度高，高温下强度降低少，耐热、耐蚀、熔点高等特性。

有关研究表明，在金刚石锯片胎体中加入适量的钛，有利于提高锯片的使用寿命。

1000 基体

1000 基体的作用

基体是金刚石锯片用来支承锯齿(金刚石节块)的主体，同时又是连接在设备上实现切割的刚性部件。它应该能使锯片切割尽可能平直，振动少地通过被切割材料。因此基体的作用十分重要，必须选择高强度钢材，并通过科学、严格的冷热加工，使基体具备下述目标和要求：

(1) 焊接第一个节块后，不必再调平直度；

(2) 在不需作中间维修或锯片检查的条件下，可把基体上的节块完全充分地加以利用；

(3) 通过减少基体的厚度，降低节块的成本，减少锯切阻力和切削损耗；

(4) 复焊节块后，所需调平直的成本最低；

(5) 重复使用的次数多。

圆锯片基体的材质及技术要求

国产基体的材质通常用 45 号钢、40Cr、20CrMnTi、20CrNi2、20CrNi4 等合金钢制作。基体制造的工艺过程对基体最终质量及反映出的使用效果影响非常大。基体的加工过程大体为：方形钢板—冲内孔—冲外圆—数控铣水口槽缝—热处理—校平—磨外圆—磨平面—测平直度和张力。

各基体制造厂因设备等条件不同，也可能有差别。对于基体而言，硬度是一个非常重要的指标，特别是大直径的基体，如果基体缺乏硬度，往往会在切割中发生偏斜。

除硬度要求外，锯片基体的平直度、张应力、外圆径向跳动，两平面的平行度及断面跳动必须作出严格的要求。表 1 为我国金刚石圆锯片基体的技术要求。

表 1 我国金刚石圆锯片基体技术要求规定

直径(毫米)	平面度(毫米)	径向跳动(毫米)	端面跳动(毫米)
100~150	0.05	0.05	0.05
150~200	0.05	0.05	0.05
200~250	0.05	0.05	0.05
250~300	0.05	0.05	0.05
300~350	0.05	0.05	0.05
350~400	0.05	0.05	0.05
400~450	0.05	0.05	0.05
450~500	0.05	0.05	0.05
500~550	0.05	0.05	0.05
550~600	0.05	0.05	0.05
600~650	0.05	0.05	0.05
650~700	0.05	0.05	0.05

圆锯片基体的形状特征

圆锯片基体的周边有连续式(满圆形)和间断式(齿形)两种。焊接圆锯片特别是直径大于 $\phi 400$ 的都采用间断式周边基体。

这种基体焊接方便,使用时容易排屑,金刚石节块可获得充分的冷却。间断式锯片基体周边上的槽是用作流通冷却水(或干切时风冷排屑),以便切割时将切削热和切削产生的岩粉排走。槽的形状基本上是三种,即平行边半圆基底窄水槽形,平行边半圆基底宽水槽形和平行边钥匙孔水槽。水槽形状见图 8-10 所示。一般情况下被切割对象的研磨性愈强,水槽应愈宽,有利于大量冷却水流入切口,起到良好的冲洗作用和降低切割区温度,提高锯片的使用寿命。

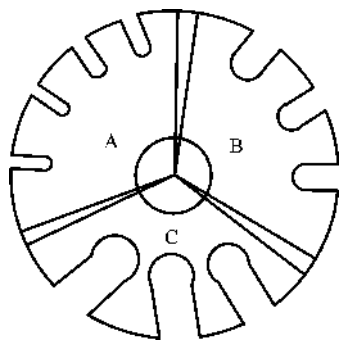


图 8-10 圆锯片基体示意图

粤—平行边半圆基底窄水槽形;

月—平行边半圆基底宽形;悦—平行边钥匙孔形水槽

8.2.2 特殊形式的基体

(员) 减轻噪音的基体

圆锯片在切割过程中,由于锯片的高速旋转,带动周围空气运动而发生振动,或者锯片在切割工件时,高速运动冲击和摩擦工件产生各种频率的噪音。德国莫门霍夫发明一种低噪音基体,如图 8-11 图 8-12 为双层无噪音基体。

(圆) 干切锯片基体

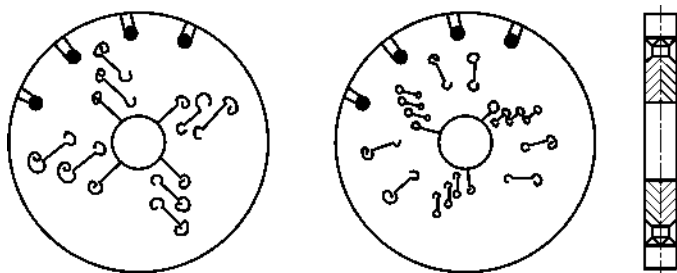


图 1 低噪音基体图 双层无噪音基体

干切锯片因切割时不用冷却水冷却，因而要求其焊接牢固，在强烈冲击及大量发热的情况下不会发生节块脱焊掉齿，所以要采用激光焊接。为完全地适应激光焊接的要求，基体多选用低碳钢制作。干切锯片基体有标准型和特种型两类，如图 2 和图 3。

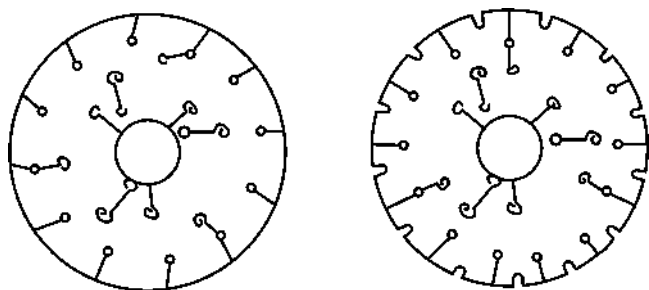


图 2 干切基体图 干切基体图

除上述之外，还有一些特殊类型的基体。如用作上切式的带斜节块的锯片基体，它是每五个正常的节块后的一个节块呈倾斜焊接（节块的两端不在同一外圆周上）。

金刚石锯切工具的制造

金刚石锯切工具制造方法概述

金刚石锯切工具种类繁多,其制造方法也比较多,归纳起来主要有冷压烧结法、热压焊接法、滚压法和挤压法、镶齿法、电镀法等。

冷压烧结法制造锯切工具

这种方法生产的锯片规格主要在 $\phi 100\text{mm}$ 以下,有周边连续式(湿式)和节块式(干式)等。这种制造方法相对生产成本较低,制造的湿式锯片比较适合做硬脆非金属材料的切割,尤其是管状和棒状工件,如玻璃管、石英管、陶瓷棒等,因其周边呈连续状,切割平稳少震动,故不易使工件崩口。该方法制造的节块式锯片和热压焊接法的节块锯片一样,也可用于切割花岗岩、混凝土、沥青、大理石等工件。目前这类制造法生产的锯片的使用量比较大。

热压焊接法制造锯切工具

这种锯切工具制造方法是目前用得最多,锯片产量最大的方法。其加工对象主要是石材、建筑构件、绝缘材料、耐火材料、碳砖的切割等。锯片形式有圆锯片、排锯和带锯。热压—焊接法制造锯片的工艺流程为:压齿—磨弧—焊接—修磨—开刃整形。

滚压法和挤压法制造锯切工具

滚压法制造的锯切工具多用于钟表、仪表、宝石、轴承等行业的切片和切粒,一次装夹 $1\sim 2$ 张甚至更多。这种锯片制造工艺简单、成本低、使用效率高,锯片厚度一般为 $0.1\sim 0.2\text{mm}$,直径在 $\phi 10\sim 100\text{mm}$,锯片基体多用马口铁。

挤压法制造的锯切工具多用于首饰制品,如宝石、玉石、贝

壳等的切割，其厚度一般为圆锥~圆锥，直径最大的可达 ϕ 圆锥以上。

圆锥镶齿法制造锯切工具

镶齿法制造的锯切工具是将齿镶嵌于锯片基体外缘，该类锯片主要用途是光学玻璃、地质岩芯、大理石等的切割。由于这种锯片较薄，锯齿在外圆呈不连续状，齿在轮缘中镶嵌牢固，切片锋利，切屑易于排出。切割效率高材料损失小，又可以切割较薄的片子，因而广泛应用于光学工业和地质岩芯行业。对于切割大理石、水磨石类产品，由于不破边，提高了石材的成材率而获得好评。

圆锥电镀法制造锯切工具

用电镀法一般可制造厚度较薄(如圆锥~圆锥)，直径不大于 ϕ 圆锥的外圆切割锯片和厚度不大于圆锥，直径不大于 ϕ 圆锥的内圆切割锯片，以及绳锯的串珠、丝锯甚至带锯等。

电镀法制造锯切工具的优点是工艺温度低，因而制造的全过程对金刚石不会造成热损伤；设备简单，投资小，见效快；金刚石与结合剂结合牢固，金刚石出刃高度可控制；几乎可以制造出任何形状，厚度极薄的产品。

圆锥冷压烧结锯片的制造

冷压烧结从锯片外形上看有三种：(圆锥)连续周边的湿切锯片；(圆锥)连续周边带波纹的锯片；(圆锥)分齿的干切锯片。目前市场上也有其他外形结构更复杂的锯片，其主要目的是为了增加锯片的冷却、容屑和排屑效果，使锯片能产生比较好的使用效果。

圆锥结合剂的配混料工艺

(圆锥) 确定结合剂配方

结合剂配方主要是根据用户的加工对象和要求确定的，不可能有一种万能的配方来满足所有加工对象的加工要求，加工对象

和用户使用条件及要求是千变万化的，配方不可能也不应该以不变应万变。对圆锯片而言，通常结合剂配方有花岗岩、大理石、砂岩、陶瓷、耐火材料、碳素材料、绝缘材料、水泥制品、玻璃、金属等几大类，每大类中根据具体情况又可分成若干不同的配方，因此结合剂配方是很复杂的。产品质量愈高，技术水平愈全面，结合剂配方的分工就愈细，即种类就愈多。

(圆) 原材料检测

一般来说，原材料的采购是根据技术条件来完成的，但在使用前一定要对原材料的资质进行复核，即质量检测，如技术条件不符合要求则不能使用。如果因为运输、保管等原因，造成原材料受潮、氧化等，则需要先对其进行相应的处理才可使用。

(猿) 结合剂各组分的称量

一般某一种配方结合剂混制的总量，以猿天内用完为限，不可过多或时间过长，以免氧化。根据配方计算出每种成分的用量，用药物天平或台秤准确称量，放入各自的盛器皿中，复核确认无误后，才可倒在一起进行混和。

(源) 混料

将称量好的混料装入混料设备中进行机械混合。混料设备多为球磨混料机。混好后的结合剂要立即装入干燥器皿内密封保存，以防止混好后的结合剂受潮氧化。

一般的球磨混料工艺为：

- ①将准确称量的粉末先用手工在盛器皿中搅拌；
- ②根据混料总量，依据料和球的总体积为球罐容积的缘缘~苑缘选择合适的球磨机；
- ③根据料重，称取硬质合金球，按球料比(员~员缘)：员称取，为使料混得均匀，一般球径最好大中小搭配。混料球最好是硬质合金或瓷质的，要求球的耐磨性要好，不能影响和改变结合剂的配方成分；

④按工艺要求，选择好混料机的转速，确定好时间，开机混料。一般转速选择为 $100 \sim 150 \text{ r/min}$ ，混料时间 $1 \sim 2 \text{ min}$ 。

⑤停机，将料和球用粗筛分开，将料准确称量，估算损耗并复核是否与步骤①的量吻合，如不吻合时混合料不能使用，要立即查明原因；如吻合在转入下道工序前要将其装入磨口瓶或合适的密封容器中，并贴好标签。

工作层料的配混工艺

对于冷压烧结锯片而言，一般只有含金刚石的~~部分~~工作层，而没有不含金刚石的~~非~~工作层。

按配方要求称取金刚石和结合剂，按结合剂总量的 $1\% \sim 2\%$ 称取润湿剂。润湿剂可以是甘油、石蜡、机油、酒精或它们的混合物，其作用是使金刚石与结合剂之间混合均匀，不因两者之间的密度不同产生偏析和浮选。

一般的混制步骤为：

(1)将称量好的结合剂倒入料筒，扒平后用钢勺在料中间压出一凹坑；

(2)把金刚石倒入凹坑中，再把润湿剂倒在金刚石中，使金刚石全部湿润；

(3)用钢勺将料反复搅拌，倒出过筛，再倒回料筒中；

(4)放入长度为 $100 \sim 150 \text{ mm}$ 钢链 $1 \sim 2 \text{ m}$ ，盖好料筒盖，开机混料，一般混料时间为 $1 \sim 2 \text{ min}$ ，如果金属粉末特别细时则要适当延长混料时间，混料机的转速 $100 \sim 150 \text{ r/min}$ 。

(5)停机检测，目测粉料有无色斑、结团、金刚石是否均匀等，复核重量是否正确，一切无误后即可投入下一工序使用。

工作层料配好后就可进行冷压成型和烧结。冷压烧结法制造锯片的工艺按所用的设备类型主要有：①中频炉烧结法；②连续炉烧结法；③钟罩炉烧结法；④井式炉烧结法。

獠中频炉烧结法

(员) 锯片制造工艺流程, 如图 愿原原所示。

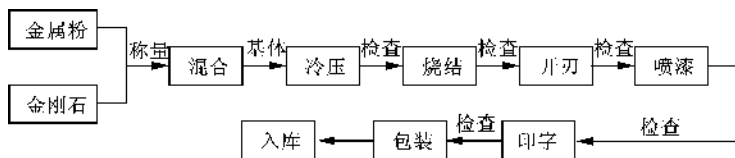


图 愿原原 摇中频炉烧结锯片制造工艺流程

(圆) 锯片烧结工艺

将冷压好的坯体分层放入石墨模具中(石墨模具组装见图 愿原愿), 然后将组装好的石墨模具放入感应圈内, 并施加一定的初压, 启动中频开始加热。当温度升至所需要的温度时, 也将压力升到规定压力, 同时保温数分钟, 然后停止加热, 冷却到 远原益以下, 卸压并取下模具放置一旁冷却至室温, 卸模、取出锯片, 并对其进行全面检查。其烧结曲线如图 愿原愿所示。

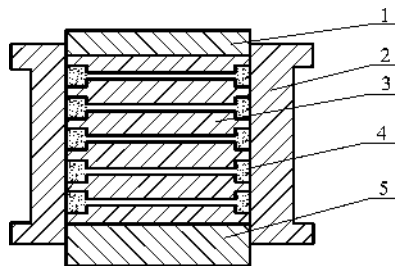


图 愿原愿 摇冷压坯与石墨模具组装示意图

员—上压盖; 圆—模套; 猿—隔板; 源—冷压坯; 缘—下压盖

(猿) 锯片开刃

锯片的开刃主要是为了客户直接使用, 并获得较好的切割效率。

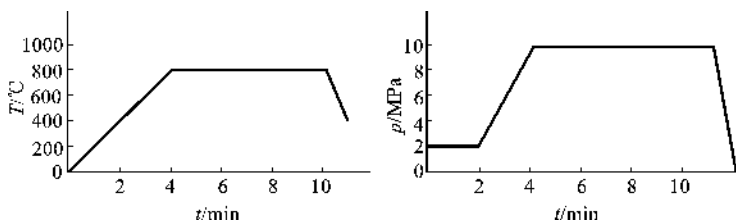


图 1 金刚石锯片中频炉烧结工艺曲线

开刃过程一般分为两步进行：第一步是开两侧刃，需要一片一片地开刃，将锯片装在开刃机上，使锯片与砂轮一起旋转。调整砂轮与锯片的位置，使其逐渐接近，间断接触，直至锯齿一侧面金刚石全部出刃。将锯片反装，然后用同一方法开另一侧面刃，并使金刚石全部出刃。侧刃开好后，将锯片按开刃方向放好，并串到开刃机轴上开立刃。此时应特别注意保持锯片的两侧刃与立刃方向一致，否则影响锯片的使用性能。

(源片基打磨)

锯片经中频烧结后，其基体表面有一层氧化膜，影响喷漆质量，这就要求在喷漆前对锯片基体进行处理。将锯片吸到打磨机吸盘上，用 100~150 目砂布进行打磨。要求将氧化皮打磨干净，且基体上没有明显的划痕，以便提高喷漆质量。

(缘喷漆)

为了提高锯片的外观质量，使其美观大方，便于销售，对锯片基体要进行喷漆处理。

(远印字)

为了客户辨认及使用，在锯片基体上要印上以下内容：

- ① 锯片的等级、品种、切割对象、切割条件等；
- ② 锯片的规格(包括直径、孔径、基体厚度、齿高、齿宽等)；
- ③ 锯片的旋转方向(要求与开刃方向一致)。

(苑) 包装

为了保护好锯片不受碰撞、擦伤、变形，锯片在出厂前都要进行适当包装。

灑 连续炉烧结法

此法的大部分工序及工艺与中频炉相同，不同之处仅在冷压坯的烧结过程，该工序是在连续烧结炉中进行的。

(员) 连续炉简介

连续炉大多在粉末冶金厂使用，它是烧结粉末冶金零件的主要设备之一。其构造如图 8-1 所示。其优点有以下几个方面：

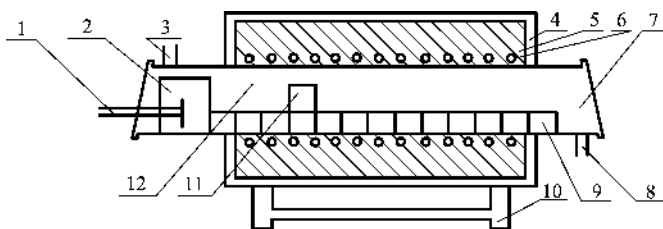


图 8-1 连续烧结炉构造图

员—推杆；圆—炉子入口；猿—保护气体出口；源—铁壳；缘—绝热砖衬；远—钼丝；苑—炉子出口；愿—保护气体入口；怨—烧舟；10—炉子支座；11—组合模具；12—炉管

①省电。一台 苑 连续炉是一台中频(员)炉功率的 猿；并且其热量向外散发较少，其热能的利用率相当高，因此可节省大量电费。

②生产效率高。苑 连续炉生产效率是 员 中频炉的 圆倍以上。

③石墨模具的氧化程度小。由于连续炉内通保护气氛及还原性气体，石墨模具在炉内不发生氧化，因此可以大大提高石墨模具的寿命，节约材料成本。

但连续炉也存在不足：

- ①設備一次性投入大；
- ②工作過程中需要通保護氣氛，附屬設備多；
- ③設備體積大，所占空間面積大；
- ④安全性能不如中頻爐好，爐子的操作複雜。

(圓)連續爐的燒結過程

連續爐啟動、預熱後，即可進行鋸片的燒結。鋸片燒結工藝過程如下：

將鋸片冷壓坯與石墨模具組裝好，置於燒舟上。打開爐子入口，將燒舟推入爐內，關上爐門。然後用推杆將燒舟推到預燒部位，按工藝規定，經數分鐘後，打開爐子入口，將下一個燒舟連同組裝好的模具推入爐內，然後再用推杆將燒舟推到預燒部位。此時，前一燒舟也向前移動，逐漸進入高溫區。典型的燒結曲線如圖 願原圖 所示。

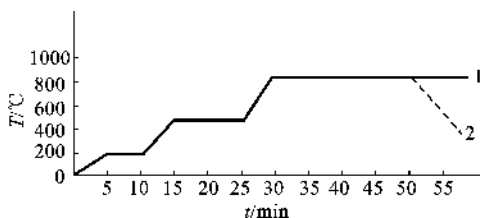


圖 願原圖 連續爐燒結曲線

員—爐外加壓工藝；圓—爐內加壓工藝

當第一個燒舟燒結完成後，打開爐子出口，迅速將燒舟拉出，再關上爐門。將石墨模具置於冷壓機上，按工藝要求施加規定的壓力，並保壓數分鐘。然後將石墨模具放在一旁冷卻至室溫，卸模，取出鋸片。

在上述過程中，如採用爐內加壓工藝，則在組裝好的石墨模具入爐前，在模具上方放一耐熱重物。這樣一來，模具在燒結過

程中，坯体将受到一定的压力，对烧结十分有利。此时，当第一个烧舟完成后，需在炉内通过冷却部分。一般在模具冷却到 200℃ 以下时，打开炉子出口，迅速将烧舟拉出，再关上炉门。待模具冷却至室温后，卸模，取出锯片，检查后转入下道工序。

钟罩炉烧结法

钟罩炉烧结法的特点主要在于冷压坯的烧结工艺，其余工序过程与中频炉相同。

(一) 钟罩炉烧结法简介

钟罩炉烧结法的优点有以下几项：

① 炉膛容积一般较大，可以做大规格的圆锯片，以满足客户不同的切割要求；同时炉膛有一定的高度，每摞可以放几十片锯片。

② 钟罩炉所用模具均为耐热钢模具，使用寿命长；同时由于钢模较重，在烧结过程中，其自重可以对锯片坯体产生一定的压力，有利于烧结顺利进行。

③ 由于炉膛内通保护气氛，对钢模具、锯片胎体、金刚石、基体都有良好的保护作用，可以制得高质量的金金刚石锯片。

但是钟罩炉烧结法也有其自身的缺点：

① 设备一次性投资较大。

② 工作过程中需要通保护气氛，附属设备多，操作复杂。

③ 烧结过程中，在钟罩炉内加压比较困难，靠模具自重及附属物品加压压力较小，所以烧结过程进展较慢，每炉烧结时间较长，生产效率较低。

钟罩炉的结构如图 8-1 所示。

(二) 钟罩炉烧结工艺

① 模具组装

首先按照锯片规格大小和形状选择所用的钢模具。将钢模具表面清理干净，并涂上脱模剂，防止锯齿在烧结过程中与钢模具

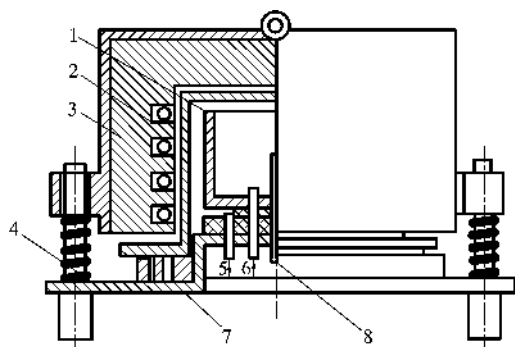


图 1 钟罩炉结构示意图

1—烧结腔体；2—隔离罩；3—外炉体；4—源—炉座；
5—出气孔；6—进气孔；7—水封管；8—热电偶

烧结在一起。

接下来是组装模具。将钢模具底座放在炉子的底板中央(如果每炉同时装几摞,应将模具在炉内均布),放第一片锯片冷压坯,然后放钢模隔板,再放第二片锯片冷压坯,以此类推,直至装到规定的数量或高度,放上模具压板。然后在上压板上放上适当重物,以便增加压力,便于烧结。

② 烧结过程

将钟罩罩上,通保护气氛数分钟,直至将炉内空气赶出,开始加热。烧结完成后,关闭电源。待炉内温度冷却到 100℃ 以下,关闭保护气氛,将钟罩升起。待冷却至室温,然后把锯片取出来,经检验合格后转下道工序。烧结曲线见图 2

井式炉烧结法

井式炉烧结法与钟罩炉烧结法十分类似,所不同之处就在炉子的结构上,见图 3

井式炉的烧结是在炉子的炉胆内进行的。炉胆内通有保护气

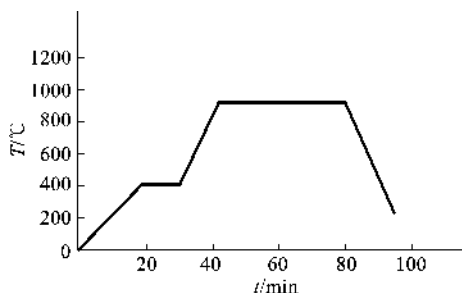


图 8-1 摇钟罩炉烧结曲线

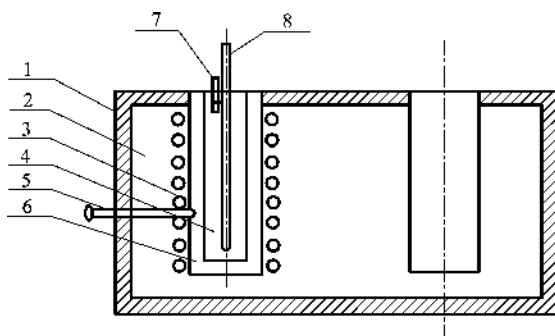


图 8-2 摇井式炉结构图

员—铁壳；圆—耐火砖垫；猿—钼丝；源—炉胆；
缘—热电偶；远—炉膛；苑—保护气体出口；愿—保护气体入口

体。具体烧结过程如下：

(员) 锯片冷压坯与模具的组装

将耐热钢底座清理干净，置于平台上，放上石墨模具底盖。在底盖上放一片冷压坯，接着再放一层石墨模具，然后再放一片冷压坯，以此类推，直至放到规定高度。然后将石墨模具上盖盖上，再放一耐热钢重物。最后将组装好的模具整理好，使其同

心，穿上拉杆，并将拉杆拧到耐热钢底座上。

(圆)装炉

取一支炉胆，将内部清理干净，垂直放于平台上；用吊拉装置将组装好的模具吊起，缓慢放到炉胆内；拧下吊杆，将炉胆上盖盖上，并用螺栓拧紧，密封好；再用吊拉装置将装好的炉胆吊起，缓慢放入炉膛内，用耐热石棉封上炉膛口。

(猿)启动氨分解装置，通入保护气体

氨分解炉操作步骤如下：

①触媒活化。接通电源使设备升温至 200°C ，然后打开放空阀，并立即打开氨阀通氨气。此时氢阀关闭，气体不通过净化系统。活化时间与设备旋转时间有关，等氨分解炉出口气体含量小于 0.5% 时，活化就可以停止。然后打开氢阀，关闭放空阀，设备就可以正常使用了。若分解质量差，温度可适当增加，不超过 250°C 为宜。

②将控温仪调至 200°C 。

③升温。接通电源约 1h 即可升温到 200°C ，达到操作温度，温度自动控制。

④通氨放气。打开放空阀，然后慢慢打开氨阀，使氨通入分解炉，约放空 1h 。

⑤正常送气。约放空半小时后，即可打开氢阀，关闭放空阀，分解炉进入稳定运转状态。进入稳定运转后，应有专人看管。

⑥停机。切断电源后，先关氨阀，再关氢阀。

(源)加热烧结

启动电源，开始加热烧结。加热完毕，待炉温冷却到 200°C 以下，打开炉膛口，用吊拉装置将炉胆吊出，垂直放到平地上，继续降温，待炉胆温度降至室温时，关闭氨分解炉，停止通保护气氛。

(缘)卸模

将炉胆上盖打开,把吊杆穿过模具仍拧到耐热钢底座上。用吊拉装置将模具吊出炉胆,放在平地上。拧下吊杆,将锯片取出,经检验合格后转入开刃工序。

井式炉烧结法有如下优点:

- ①省电,井式炉功率一般比中频低得多。
- ②通过改变炉膛和炉胆的直径,可以制造大规格的锯片。
- ③加热过程中由于有保护气氛,对石墨模具、锯片胎体和基体都有较好的保护作用,大大延长了石墨模具的使用寿命,并为后道的基体打磨、喷漆工序节省时间。

其缺点有以下几点:

- ①井式炉烧结属无压烧结,锯片刀头仅靠自由收缩来增加密度,因此其密度、强度、硬度均较低,影响锯片使用性能,同时对胎体配方要求严格。
- ②因为需要通保护气氛,所以需要增加制氢设备。
- ③工作周期长,效率低,要想提高产量,必须增加炉膛数量。
- ④因炉膛较深,上下炉温差别较大,同一炉锯片质量差异大,易出现过烧或欠烧现象。

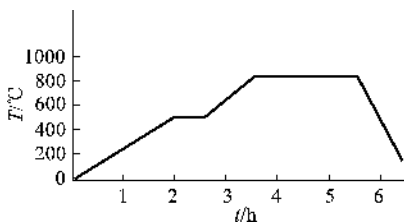


图 8-10 井式炉烧结曲线

热压焊接锯片的制造

焊接锯片的切割元件即俗称的锯齿或刀头,它是由金刚石和胎体材料组成的。在未焊接成锯片以前把刀头称为节块,它是将

金刚石和结合剂经混合、热压烧结、磨弧等工序制成的。节块的形状有扇形和矩形的。

制造节块的工艺方法主要有：预压—煅烧—热压法；预压—热压烧结法。

热压焊接锯片制造中的结合剂的配混料工艺

热压焊接锯片制造中的结合剂的配混料工艺与冷压烧结法的基本相同，只是热压焊接锯片的构成包括工作层和非工作层（也称过渡层、焊接层等）两部分，工作层即是含金刚石的部分，非工作层（也称过渡层、焊接层等）则用作与基体焊接的部分，为不含金刚石的纯结合剂成分。

工作层的配混工艺同冷压烧结法锯片的配混工艺。非工作层料的配混工艺如下：

非工作层（也称过渡层、焊接层等）料在使用前也需要进行机混，其润湿剂的加入量比工作层的少，混合时间为 10~15 分钟。配混料时，按生产工艺单要求准确称取结合剂，放入料筒中，扒平后用钢勺在料中间压出一凹坑，将润湿剂倒入凹坑中，再用钢勺将料搅拌，放入长度为 1000 毫米的钢链滚筒，盖好料筒盖，开机混料。

金刚石与结合剂的制粒技术

节块的冷压，特别是采用自动冷压机冷压往往有两个问题要加以解决，才能保证质量和提高生产效率。

第一，如何保证每一节块（指同批料）中金刚石的量相一致，以及金刚石在结合剂中分布均匀；

第二，大批量生产时，采用什么样的计量方法既能保证每个节块的计量准确，又能保证效率高。

为解决这两个问题。国外推出了制粒，即是金刚石与结合剂混合均匀后，再制成颗粒状混合物。国内也有一些企业使用。这一技术在硬质合金及磁性材料生产中早已是一项成熟的工艺技术

了,只是在金刚石工具制造中,应用研究相对滞后些。

制粒过程一般为:在附加混料机中,金属粉末、金刚石及起粘结作用的人造粘结剂先干混,然后再加入溶剂再湿混。混合料从制粒机上部的料斗中,由螺旋输送机连续不断地输入该机器内部容器中,制成粗糙颗粒。通过机械滚动作用,粗糙颗粒被转变成最终的球状或条状小颗粒。然后输送到传送带上,经干燥后蒸发掉溶剂。制粒后的成型料流进收集器中备用。

由于制粒后的成型料,金刚石与结合剂均匀混合,金刚石分布均匀,颗粒大小也较均匀,松装密度和摇实密度加大,因此可用定容(即定体积)装料代替定量装料,使生产率大大提高。同时避免了金刚石与结合剂分层,使质量有了保证。

制粒成型料定容冷压法的优点:①通过制粒,冷压时的循环时间由原来的 10~15s 缩短到 3~5s;②金刚石与结合剂不再分离,防止了金刚石的结团或分层;③由于成型料的流动性改善,减少了节块间的重量误差;④经过制粒,机器可以无人操作;⑤冷压模具的磨损下降至少 50%;⑥粉末分布均匀,尤其是像三明治式这样的薄粉末层或无金刚石的结合层。

3. 模具的材质与结构

(1) 预压—煅烧—热压工艺方法所用模具材质及结构

这一制造节块的方法是将成型料(包括工作层和非工作层)装入模具模腔内,先冷压一定压力(10~15MPa),然后取出模具送入炉内加热,当温度达到规定的烧结温度即保温 1h,然后取出模具送入压机加压到规定尺寸,冷却至室温卸模。

国际知名的比利时 3M 公司就是用这种方法制造金刚石节块,国内采用这种工艺方法的也有,但比较少。该工艺方法中,由于模具既要承受较高的冷压压力,又要耐受高温度的烧结及热压,因此模具多为耐热钢、高强度铸铁等材料制造的。

表 8-1 列出了国内常用热压模具材质,其模具构造见图 8-1。

表 愿原热压模具材质推荐表

材料牌号	化学成分							备注
	悦	蚤	配灶	愧则	宰	配燥	灾	
缘圆水配燥	园缘 ~ 园远	园缘缘 ~ 园缘	员圆 ~ 员远	园缘园 ~ 园缘		园缘缘 ~ 园缘		模具钢
缘圆缘燥	园缘 ~ 园远	≤ 园缘	园缘 ~ 园缘	园缘园 ~ 园缘		园缘缘 ~ 园缘	员缘 ~ 员缘	
猿圆缘燥	园缘 ~ 园缘	≤ 园缘	≤ 园缘	园缘 ~ 园缘	苑缘 ~ 苑缘		园缘 ~ 园缘	
愿缘	园缘缘 ~ 园缘缘	≤ 园缘	≤ 园缘	猿缘 ~ 猿缘				
员缘缘缘 猿缘缘缘	≤ 园缘园	≤ 园缘	员- 圆	员- 远	缘缘- 猿			耐热钢
韵缘缘缘 猿缘缘缘	≤ 园缘缘	园缘 ~ 员缘	员- 圆	员缘 ~ 员远	缘缘- 园			
猿缘缘 缘缘	园缘缘 ~ 园缘缘	圆- 猿	≤ 园缘	员缘 ~ 员缘	缘缘- 苑缘			
源缘缘缘 源缘缘缘	园缘- 园缘	≤ 园缘	≤ 园缘	缘- 缘	缘缘			
砸缘缘缘缘	园缘- 猿缘	员缘- 园缘	缘缘	园缘- 员缘	孕缘缘	杂缘缘		耐热 铸铁
砸缘缘缘缘	园缘- 猿缘	员缘- 园缘	缘缘	园缘- 员缘	孕缘缘	杂缘缘		

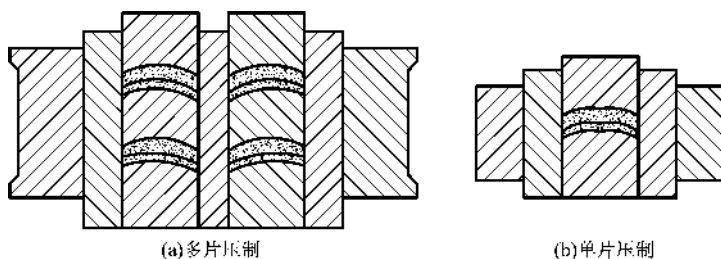


图 愿原热压节块压模构造示意图

(圆) 预压—热压烧结工艺方法所用模具材质及结构

这一工艺是先用手动或自动冷压机压好节块坯件。坯件的厚度已达尺寸要求(指垂直压制的节块),高度方向留有待压结余量。将坯件装入石墨模具中送入热压机,通电加热,石墨模具温度很快达到烧结温度,此时施以全压(即规定的压制压力),卸压后将模具移送到导热性好的铜板上,温度接近室温时卸模取出节块。

这种工艺方法冷压和热压是在不同的模具内完成的。冷压需承受较大压力,同时又要求其耐磨损,使用寿命长,因此需采用优质钢材制作。国内冷压模具的关键部件可用 40Cr、GCr15 或 Cr12MoV 等合金钢制作。图 8-1 为其结构示意图,表 8-1 列出了手动冷压模具各部件材质。热压模具结构如图 8-2,其各部件材质列于表 8-2。直接热压工艺所有模具材质和结构与预压—热压烧结工艺的热压模具结构和材质相似。

表 8-1 手动冷压模具材质

件号	名称	材质	硬度 HRC	表面粗糙度 Ra(μm)
员	模套	40Cr	50~55	接触面 Ra0.8
圆	四半衬瓦	40Cr	50~55	非接触面 Ra1.6
猿	上压头	Cr12MoV	58~62	
源	下压头	Cr12MoV	58~62	
缘	长隔板	GCr15	58~62	
远	短隔板	GCr15	58~62	

表 8-2 热压模具材质

件号	名称	材质	备注
员	框架模板	高强度致密石墨	抗压强度 > 100 MPa
圆	模腔		装入冷压好的齿和上下压头
猿	纵隔板	高强度致密石墨	抗压强度 > 100 MPa
源	横隔板	高强度致密石墨	抗压强度 > 100 MPa
缘	固钉螺钉	钢	
远	绝缘隔板	高强度耐火材料	强度高,耐热绝缘性能好
苑	模框	45 号钢或铸铁	变形量要小,不起氧化皮

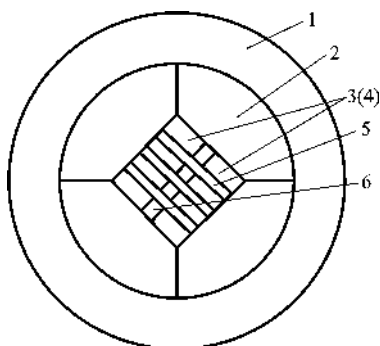


图 愿原圆摇冷压模具示意图

员—模套；圆—四瓣衬瓦；猿—压头 源—压头；缘—横隔板；远—纵隔板

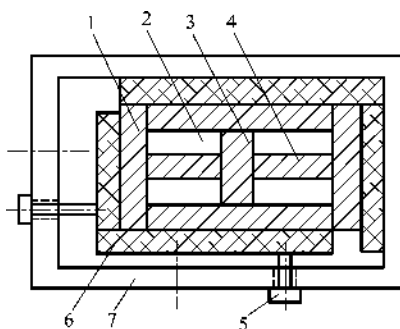


图 愿原圆摇热压模具示意图

员—端隔板（框架模板）；圆—模腔；猿—纵隔板；源—横隔板；
缘—紧固螺钉；远—绝缘板；苑—钢模框

摇摇(猿)模具石墨的性质

石墨具有良好的导电性，其导热性能也较一般的非金属材料和部分金属材料好，致密石墨的抗压强度可达 源云葬，因此石墨常用做发热和成型材料。热压金刚石节块选用石墨作为热压模具

材料，正是基于石墨的这些特性。

石墨具有较小的热膨胀系数，它可以经受温度的急剧变化而不开裂；节块胎体材料多为金属类物质，其热膨胀系数比石墨大得多，这为脱模带来了方便；此外石墨热压时，表面因温度与氧发生反应生成 CO 或 CO_2 气体可以保护金刚石和胎体材料免受氧化；石墨硬度低便于机械加工。

石墨作为模具材料也存在一定的不足，主要是其气孔率相对金属材料而言十分大，因此在热压时，液态的金属（融熔的低熔点成分）有可能被挤入空隙中，使模具变脆易开裂，或在卸模时模壁拉毛、变形而影响使用次数。

为满足热压工艺条件的要求，在选择热压模具的石墨牌号时，应尽可能满足下述要求：（负）抗压强度 $\geq 100 \text{ MPa}$ 、弹性模量 $\geq 100 \text{ GPa}$ （圆致密度高、气孔率小，一般选用密度 $\geq 2.2 \text{ g/cm}^3$ 以上，气孔率 $\leq 10\%$ ）。

热压设备

（负）预压—煅烧—热压法所用热压设备

该工艺方法的热压多在普通压机上完成，因此其热压设备和冷压设备是通用的。为操作方便和安全起见，一般在煅烧炉与压机间通过轨道连接（或用机械手），当工件在煅烧炉内保温完毕转入压制工序时，操作工将模具用特制“抓手”拉到炉前的轨道上，轨道启动，将模具输送到压机工作台上，将工作台小车推入压机内即可压制。

该工艺方法所用的煅烧炉多为箱式电炉，根据一次摆放工件（模具）的多少，选择不同的炉腔尺寸和功率的箱式炉。如果煅烧时，要采用气体保护，则必须对炉膛进行改装，以保证炉膛的密封性能，确保炉内气氛和压力。

如果作业量很大，煅烧炉最好采用隧道式箱式炉，并设计成若干温度带——预热、加热和保温，用自动推进机构将模具由炉口逐步移到炉尾，炉尾与压机相邻。这样的煅烧炉用于大量节块的生产。

(圆) 预压—热压烧结所用热压设备

这一工艺方法的热压设备既要承担加热，又要完成加压。所用热压设备种类比较多，如中频热压机、高频热压机、电阻热压机、加热加压一体炉等(见图 1-1-1, 图 1-1-2, 图 1-1-3)。目前绝大部分锯片生产企业都采用电阻热压机，因为该设备价格便宜，操作方便，热效率也比较高。

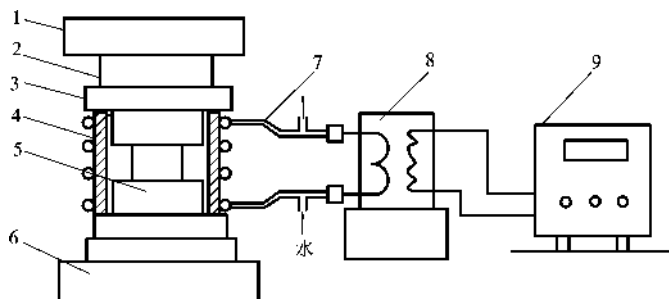


图 1-1-1 中频炉结构示意图

1—压机缸体；2—压机活塞；3—耐火绝缘板；4—耐火绝缘筒；5—模具；
6—压机工作台；7—感应圈；8—中频变压器；9—中频电源

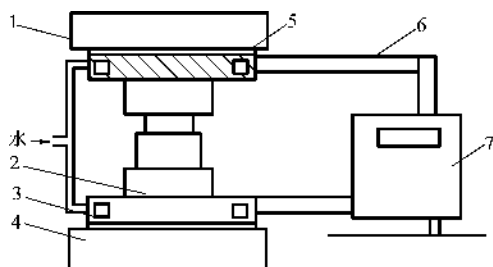


图 1-1-2 热压电阻炉结构示意图

1—压机活动横梁；2—成型模具；3—铜电极；4—压机工作台；
5—隔热绝缘层；6—电极连板；7—控制柜

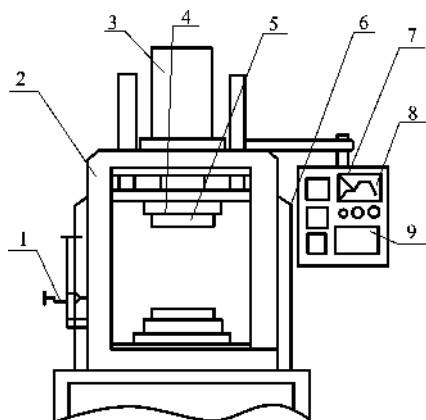


图 8-1-1 低压大电流电阻加热烧结压机

员—非接触测温仪；圆—机架；猿—液压缸；源—铜电极（内通水）；缘—石墨电极；远—大电流变压器；苑—控制箱；愿—彩色液晶显示屏；怨—操作按键

锯节块的形状

金刚石锯切工具用作各种石材、建材等的切割，既要讲究效率、锯切成本（消耗）、被切割物的质量，又要讲究作业环境（噪音）和加工的可持续性（保持锯齿锋利）等等。因此在设计金刚石节块时，除合理选择金刚石质量和金属结合剂外，对节块的形状及其特性也要有所选择。

目前工业生产中应用较为普遍的节块形状结构的种类有三种，见图 8-1-2 中的粤、月、悦，另外三种（图中阅、耘、云）虽不是常用的，但也有一定特色。

（员）通用型节块

无论是大、小直径的圆锯片还是排锯片，最常用的节块形状就是如图 8-1-2 中 粤的通用型节块，它的截面形状呈矩形，当使用一定时间后（特别是锯切硬花岗岩或摩擦性强的材料），节块的

两侧面的直角逐渐磨损，在其截面变成圆弧面，即一条直角边变成了一条圆弧；使用时间越长，这种变形越明显。

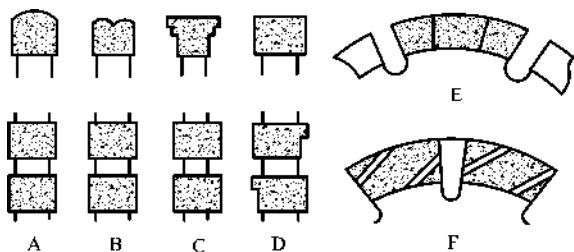


图 圆锥形锯片节块形状

员—通用型节块；圆—夹心型节块；猿—台阶形节块；
源—单侧带台阶形节块；缘—多节曲线节块；远—侧面开槽节块

节块的切割刃边呈圆弧状后，增大了与石材的接触面积，使切割阻力增大，金刚石因不能获得足够的切削力而使切割效率下降。这种状态的切割带来了两大问题：第一，金刚石容易磨钝。因为切割阻力增大后，金刚石不能很深地刻入岩石，而是以磨削的形式和岩石产生作用，使金刚石刃角变钝，长此下去，使切割效率下降太多，不得不停止切割，用开刃工具（一般为摩擦性极强的材料）对锯片修锐；第二，因金刚石易磨钝，操作者为了使磨钝的锯片效率不减，采用加大锯切压力的办法，造成锯片跑偏，使锯片基体产生振动、发热而变形，使加工出的板材厚薄不均匀，锯片基体变形而影响复焊次数，更有甚者会使锯片基体从水口底部产生裂纹。

这种形式节块的优点是制造方便，使用寿命长，适用于一般大理石和软花岗岩加工，因此实际上仍是最为常用的节块形状结构。其压制方法多为垂直压制，即从扇形块的径向压制。

（圆）夹心节块

如图 圆锥形中 月所示，这种形状的节块被形象地称为“三

治刀头”，顾名思义它的结构是多层的（三层或五层）。以三层结构为例，在模具中分次投入三层不同金刚石和结合剂成型料，经预压—热压烧结而成。它的特点是：第一，中间层金刚石粗，浓度小，上、下层则金刚石细，浓度大；或者三层金刚石颗粒度、浓度都一样，而成型料密度不同，中间层密度小，孔隙多，上、下层密度大，孔隙少。第二，由于上述结构原因，使节块在使用时，中间层磨损快，上、下层则磨损慢，因此出现中凹形。第三，这种节块制造时只能采用水平压制的方法，且不能有过渡层，否则会使得模具结构复杂，制造效率极低。

这种形状结构的节块在锯切花岗岩时，工作面逐步拉成凹形，而节块两侧面也相应磨圆，使锯切时，接触面积小，切削阻力变小，金刚石刻入岩石较多，因此切割效率较高。同时，这种锯片稳定性好，因为凹形两侧面所受的力能互相抵消，所以切片厚薄均匀，基体也不易变形，保证了复焊次数。

（猿）台阶形节块

如图 8-10 所示，台阶形节块使锯片在切割中侧面与岩石接触面积比形状 粤和 月要小，因此切割阻力始终较小，所以切割效率高、功耗小、锯片不易变形，保证了石材的加工厚度和平直度。这种台阶形节块最适合于制作特大型锯片，用以切割花岗岩。

台阶形节块也可以制成多层状结构的。它既可以用水平压制，也可以用垂直压制方法制作，但垂直压制更好些。

（源）单侧带台阶形节块

如图 8-11 所示，这种形状的节块简称“蕴”形节块，制作圆锯片时，使台阶沿基体圆周方向呈交替排列，就像锯木头的锯齿齿尖刃成左、右交替排列那样，其作用也相类似，都是为了提高切割效率，因为从锯片总体结构来看，这种结构可以减小节块侧面与加工岩石间的接触面积，因而切割阻力小，锯片不易变形。生产实际显示，这种形状节块的锯片与通用型相比，效率可

提高 10% 左右, 能耗下降 10% 左右。

(缘)多节曲线节块

如图 1-10 中 耘所示, 这种形状的节块分成三部分不同的金刚石和 耘结合剂, 节块在锯切方向上呈流线型。节块中间部分的结合剂较软, 金刚石粗而浓度低。因此锯片工作时, 节块中间部分结合剂磨损快, 金刚石出刃好, 使锯切效率可保持高些, 前后两部分的金刚石出刃差, 以保持节块一定的耐磨性, 保持锯片一定的寿命。

这种结构的节块也用于锯切高硬度花岗岩, 据资料介绍, 其锯切高硬度花岗岩时, 可提高效率 10% , 加工中、低硬度花岗岩时可提高效率 10% 。

(远)侧面开槽节块

如图 1-10 中 云所示, 这种形状的节块是在其两侧开出若干条沿切削方向的沟槽, 目的是减小侧面阻力, 提高对侧面金刚石的冷却效果。这种形式主要用于超大型圆锯片中。

综上所述, 改变锯片节块的形状或结构, 对于提高切割效率和延长锯片的寿命是有益的, 尤其是锯切硬花岗岩效果更为明显。

1.2 节块制造工艺流程

预压—热压烧结工艺流程如图 1-11 所示。

1.2.1 成型料的计算

在制作金刚石节块时, 准确计算每个节块及一批节块所用的过渡层料和工作层料后, 才能开始正式的制造作业。为了讲述方便, 现举例说明。

已知条件: 节块尺寸如图 1-12 所示, 结合剂成型密度为 3.0 g/cm^3 , 金刚石的密度为 3.5 g/cm^3 , 节块所采用的金刚石体积浓度 10% 。要求计算工作层(金刚石和胎体)和过渡层的用料量。

所需结合剂重量为： $Q_{\text{需}} = \frac{Q_{\text{总}}}{K} \times \frac{1}{1 - \alpha}$

工作层总重量为： $Q_{\text{工}} = \frac{Q_{\text{总}}}{K} \times \alpha$

过渡层结合剂重量：

$Q_{\text{过}} = \frac{Q_{\text{总}}}{K} \times \alpha \times \beta$

一批节块的总用量计算：

用相应的节块数量乘上述计算出的单个节块的用量即可。

冷压成型

冷压成型即预压工艺，它是用冷压机压制出节块主坯，供热压烧结时用。

(一) 工艺步骤。

先按节块计算的工作层料和过渡层料，称量工作层料和过渡层料。然后按下列程序操作：模具检查—在和成型料接触的面上涂脱模剂—模具装配—投过渡层料—刮平—用压头轻压—投工作层料—装压头—送入压力机压制—保压—卸压—卸模。将卸出的节块毛坯整齐排列在料盘内待用。

(二) 成型压力选择和计算

① 压力选择

常用冷压成型压力为 $10 \sim 20 \text{ MPa}$ 。冷压时既要保证节块毛坯有一定强度，又要使节块毛坯高度方向尺寸比成品尺寸大 $10\% \sim 15\%$ 。

② 压力计算

计算全模承压面积

$S = \frac{Q_{\text{总}}}{K} \times \frac{1}{1 - \alpha}$

(原式)

式中：杂——全模承压面积， cm^2 ；

灶——全模节块数；

蕴——节块长度， cm ；

月——节块宽度， cm 。

计算总压力和表压

设选用的冷压成型压力为 P ，总压力计算式为：

$$P_{\text{总}} = P \cdot A \quad (8-1)$$

式中： P ——全模压制总压力， N ；

P ——冷压成型单位面积压力， N/cm^2 ；

A ——全模承压面积， cm^2 。

求得全模压制总压力 $P_{\text{总}}$ 后，就可根据总压力选择合适的冷压机。压机选定后，按总压力和压机活塞面积求出压制时的表压。表压计算公式为：

$$P_{\text{表}} = P_{\text{总}} / A_{\text{活}} \quad (8-2)$$

式中： $P_{\text{表}}$ ——压制时的表压， N/cm^2 ；

$P_{\text{总}}$ ——压制总压力， N ；

$A_{\text{活}}$ ——压机活塞面积， cm^2 。

(3) 冷压成型要点

为减少压制压力损失并便于脱模，在模壁上要涂石墨、二硫化钼或硬脂酸锌等脱模剂。为提高节块毛坯密度均匀性，要尽可能采用双向压制。

2. 热压烧结成型

热压烧结成型设备国内外普遍选用自动成型压机，在此着重介绍自动热压烧结的工艺方法。

(1) 工艺步骤

节块热压烧结工艺步骤为：石墨模具检查—在模壁上涂脱模剂—冷压毛坯与模板组装—套上模框—垫上绝热隔板—拧紧固定螺钉—送入热压机预压—通电加热—保温保压—卸压—冷却—卸模。

(2) 压力选择

节块热压单位压力一般为 $10 \sim 20 \text{ N}/\text{cm}^2$ 。当模具尚未通电加热时，先置于一初始压力下，初始压力为热压压力的 $1/3$ 左右。当

模具保溫保壓完畢開始降溫時，其壓力也下調至熱壓壓力的 $\frac{1}{2}$ 左右。

(獨)熱壓燒結工藝要點

①按節塊規格選擇石墨模具、絕緣墊板等，並檢查其尺寸是否符合工藝文件規定。

②在石墨模具與節塊的所有接觸面上塗刷一層脫模劑。

③在專用裝模墊板上將石墨模具與節塊壓坯組裝好，要求石墨壓頭兩端露出鋼模框高度大体相等，留出光學測溫孔。先緊固節塊長度方向上的螺釘，然後緊固寬度方向上的螺釘，緊固時用力要均勻。

④檢查熱壓機石墨電極板的平直度和平面度是否良好，如不符合工藝文件規定，要立即更換。

⑤調整溫度、壓力自動控制儀表，並設定好保溫時間及降溫時間。

⑥清理節塊，測量尺寸及重量。

(源)熱壓石墨模具組裝

熱壓模具組裝見圖 圖源

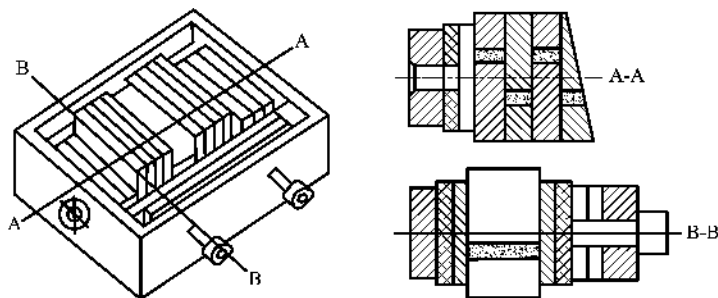


圖 源熱壓模具組裝示意圖

熱壓模具模腔的面積要根據熱壓機的功率及壓力噸位來定，

一般热压机，一次压坯的总承受面积为 1000cm^2 左右。对于坯块厚度较小的，可采用多层组装压制，多层压制必须按模腔深度，合理设计各部位的尺寸。

热压烧结工艺是金刚石坯块制造中最基本、最重要的工序之一，对最终产品的性能起着决定性的作用。烧结的过程表现为粉末颗粒之间发生粘结，坯块胎体体积收缩，强度增加，孔隙度下降，密度提高。从而由粉末颗粒的聚集体变为晶粒的聚集体，使坯块获得所需要的物理、机械性能——强度、硬度、耐磨性和对金刚石的包镶能力等。因此对坯块的热压烧结必需给予足够的重视，严格遵守工艺规程和操作规程。

近年来，用于热压烧结制品的结合剂种类越来越多，因此更加要求对热压工艺进行灵活的控制和调节。不像传统的三步热压烧结工艺(图 4-1 所示)，现在的热压烧结工艺要复杂得多(图 4-2 所示)。靠手工或程序控制已难于适应要求，因此进口热压装置大都装有高级的数控控制器和操纵板，通过精密的数字控制系统可以获得对工艺的高精度控制，并可对故障进行诊断，确保产品质量。

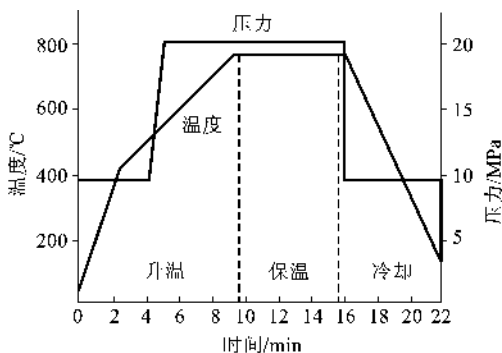


图 4-1 传统热压烧结曲线

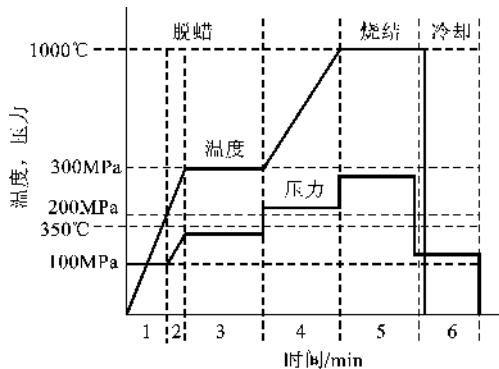


图 愿泉瑶现代典型热压烧结曲线

愿泉瑶滚压和挤压锯片的制造

愿泉瑶滚压锯片制造

滚压锯片的制造工艺流程为：冲载—装夹—外圆铣槽—涂刷金刚石—滚压—拆卸—检验—入库。

滚压锯片所用的金刚石粒度一般为 愿泉瑶目，根据金刚石颗粒的平均直径大小，选用铣外圆槽的切口铣刀厚为 愿泉瑶，铣出槽宽度在 愿泉瑶~愿泉瑶左右，槽深约 愿泉瑶。金刚石用汽油橡胶溶液调成糊状。铣好槽的基体不能拆开，直接用滚压轮将金刚石挤牢在槽中。如图 愿泉瑶所示。由图可知，锯片基体由马达带动头架旋转，头架的顶尖和拔轮带动锯片基体低速转动，钢挤轮紧压在锯片基体上，其挤压力是可调的（可由压力表读出）。由于钢挤轮的挤压作用，使基体外圆发生塑性变形，将涂入槽中的金刚石紧紧地镶嵌牢。

这种锯片的金刚石在槽中呈串接状一颗紧挨着一颗排列着，如图 愿泉瑶所示，因此金刚石切割时，出刃情况较好，切割比较锋利，特别适用于切割红宝石、刚玉、玛瑙等非金属材料。由于

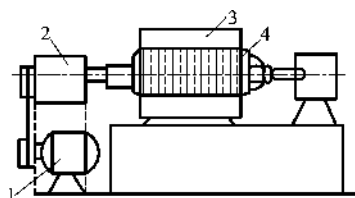


图 4-10 金刚石滚压示意图

1—马达；2—头架；3—钢挤轮；4—基体

锯片基体很薄，所以切割时必须严格掌握进刀和切割速度。

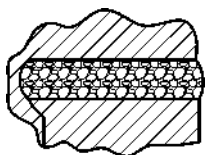


图 4-11 金刚石排列

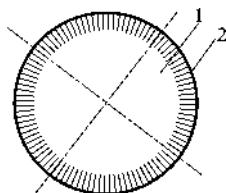


图 4-12 金刚石锯片挤压示意图

1—压头(挤压)；2—齿缝

4.1.2 挤压锯片制造

挤压锯片和滚压锯片一样，都是利用使基体材料变形的工艺方法，将金刚石镶嵌牢固制成的切割工具。挤压锯片的制造工艺流程为：冲载—装夹—线切割开槽—拆装—洗清—涂金刚石—挤压—整形—检验—入库。

这种锯片基体多为软质钢板（冷轧板），孔和外圆一次冲成。将冲成的基体用芯轴串装好，上紧夹板，然后用线切割开槽（也可用切口铣刀铣槽）。槽的宽度一般根据所用金刚石粒度而定，槽宽约比金刚石平均粒径大 0.1mm 左右，槽长 1.5m。铣好槽后，拆开夹具，清洗干净基体，就可以将调成糊状的金刚石用刷子使劲往基体的槽内刷入，注意必须将金刚石刷满槽内，然后

将基体放在专用的挤压机上，每五个齿挤压一下。基体是套在一个芯轴上，每压一次，基体转过一个角度(五个齿的角度)，又挤压一次，再转一角度，直到整个圆周上的齿均受到挤压。挤压的示意图见图 愿原愿。由于挤压头位于两槽中间，挤压力使基体钢材变形，因此挤压完毕后需对锯片进行整形处理。整形处理是在专门的滚压机上进行的，整形示意图如图 猿原猿所示。锯片套在芯轴上，芯轴的位置是可调的，以适应不同直径锯片的整形，两个辊子分别位于锯片的上面和下面，压力可调(由压力表读出)，滚压的部位在锯片离外缘 员猿 的直径处，经滚压后的锯片一方面比较平整，另一方面具有一定的张力，因此在切割工作时，不产生“飘”的现象。

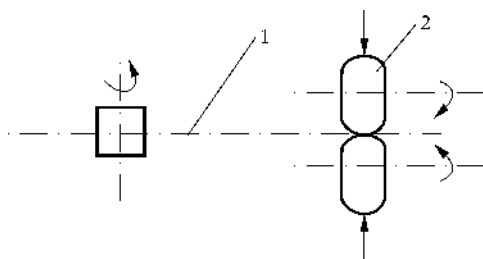


图 愿原愿 摇锯片整形示意图

员—锯片；圆—滚轮

愿原猿 摇镶齿锯片的制造

镶齿锯片在国际上 愿世纪 苑年代十分流行，特别是日本，规格多、产量大、质量好。但近几年来已比较少见到样本和样品，主要被焊接锯片、冷压锯片和滚压锯片等所取代。

我国能生产镶齿锯片的单位并不多，因为其工艺要求高，在外缘的几百个齿中，稍有不注意，就会造成掉齿，影响使用寿命。

1. 基体的制造

镶齿锯片使用时，金刚石齿是随同基体一起磨损的，因此基体的材质必须软而具有韧性，才能在使用中优先于金刚石齿磨损，使齿总是高出基体（在外圆和平面上），保持齿的锋利和切削性能。最常用的基体材料为 45 号钢、20 号钢、15 号钢等低碳类轧钢板，基体表面平滑、无锈蚀。

基体的制造工艺流程为：剪方—夹紧—车内孔—车外圆—铣齿缝—检验。

采用这样的工艺流程，可以保证内孔与外圆的同心度、铣出的齿缝长短一致，保证压齿时齿的密度一致。因圆锯片制成后，不再进行加工，因此要求同心度要好。

当然基体制造也可以采用冲压的方法，将内外圆一次冲出，然后再装夹到一起，用铣床铣齿缝。

2. 模具结构

镶齿锯片的模具根据制造工艺方法的不同分为两类。第一类是先将齿压出，经烧结后，按要求将齿插入基体的缝中，然后进行灌锡处理，将齿和基体焊成一体。这种工艺方法制造过程特别是压齿过程较为方便，制成的锯片在使用过程中能否保证不掉齿关键是看灌锡工艺是否过关。另外，锯齿的断面形状为工字形，如图 4-1 所示，工字开口处的厚度比基体厚度略大些，便于将齿插入基体齿缝中。这类压齿的模具很简单，其结构见图 4-2 所示。外框和模套间利用锥度配合使模套夹紧，形成模腔。上压头和底板借助于压机压力将锯齿成形，由于锯齿很小，因此模具设计要做到能模压若干个齿，以提高成形的生产效率。

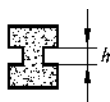


图 愿原猿 摇压齿

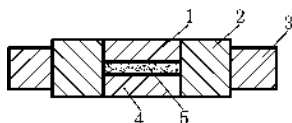


图 愿原猿 摇压齿用压模结构

员—压头；圆—模套；猿—模框；
源—底板；缘—料层

摇摇第二种制造工艺是直接将齿压在锯片的缝中，然后进行烧结。因此压模设计就变得复杂了。其模具结构见图 愿原愿 所示。这种模具的设计，除满足压制时的压力要求外（主要指模套），还必须考虑到压制时的特殊情况，因为锯片的齿是不连续的，所以它所构成的模腔也是不连续的，为了投料的方便，必须使导向板的厚度按成形料的松装密度的值来设计。

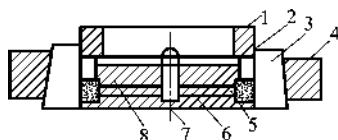


图 愿原愿 摇压齿模具结构图

员—压圈；圆—压片；猿—三半衬瓦；源—模套；
缘—基体；远—底板；苑—螺栓；愿—导向板

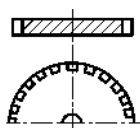


图 愿原愿 摇导向板

摇摇(员)导向板设计

导向板的结构见图 愿原愿 所示。由模具结构图可知，导向板的外径和孔径尺寸应与锯片外径内孔相一致。导向板上的齿缝尺寸、齿缝个数等取决于锯齿尺寸和齿数，因此一旦产品定型，这些尺寸都是固定值。所以导向板的设计关键是其厚度 δ 值的确定，原则上 δ 是与结合剂的松装密度和成形密度相关的。即：

摇摇摇摇 δ 越 $\frac{\gamma_{精}}{\gamma_{泽}}$ · 悦 · 澡 (愿原原)

式中： δ ——导向板厚度，皂皂；

$\gamma_{精}$ ——结合剂的成形密度，取苑愿~愿源皂皂皂；

$\gamma_{泽}$ ——结合剂的松装密度，取圆源皂皂皂；

悦——修正系数，常取员愿~圆园；

澡——锯片成品厚度(指内齿)，皂皂。

悦的值是和齿缝宽度和锯片厚度有关的数值，此外和成形料的干湿程度也有关系。为了增加压制时的变形，一般将导向板制成中间厚、边缘薄的结构形式。

(圆) 底板设计

底板的外径、孔径和导向板一致，其厚度主要考虑到压制时受较大的正压力，一般取厚度缘皂皂左右即可。

为了使压制出的锯片齿的两面突出于基体之外，因此必须在底板上设计有和齿相匹配的小槽，槽的长、宽、个数与锯齿一样，槽的深度一般为圆缘皂皂左右。槽的要求较高，除分度精确外，还必须保证槽的光洁度及槽底的圆弧平滑过渡，否则将会造成压齿时出现夹齿而报废。底板结构见图愿原原。

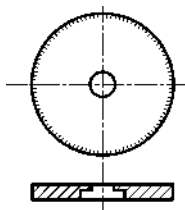


图 愿原原 底板

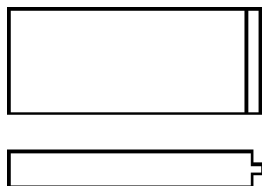


图 愿原原 压片

摇摇(猿) 压片设计

压片是保证锯齿形状尺寸承受压力的部件，而且在锯片压制

过程中最易损坏。其形状如图 愿原所示。它的底部有一圆弧，目的是使压出的上部呈圆弧状，增加齿顶的强度，不致在受到切割冲击力时使齿损坏。

鑲结合剂的组成与配制

镶齿锯片所用结合剂多为青铜结合剂，其主要成分为铜、锡，辅之以镍、锌、银、锑等。由于镶齿锯片使用条件较恶劣，锯片时常受到冲击力，此外切屑产生很多，切割作业产生的热量很多，因此必须保证锯齿和基体间有良好的镶嵌作用，亦即结合剂对基体有良好的浸润作用，并且结合剂的脆性很小。

切割作业追求的第一目标是生产效率，因此选用强度高、晶形好、粒度粗的金刚石有利于得到质量理想的锯片。通常选用 愿目以粗的 愿品级或更佳的人造金刚石。由于这类金刚石晶形较完整，结合剂对金刚石的机械啮合作用力较小；金刚石颗粒粗大，每克拉金刚石的颗粒数少，切割时每颗金刚石上承受的磨削力很大，这就要求结合剂对金刚石必须具有良好的把持力，因此对这类锯片，结合剂对金刚石的浸润性便显得十分重要。为此在结合剂内加入钛（或金刚石表面适当镀钛等）对改善结合剂的浸润性是有益的。

在结合剂中加入一定量的石墨（不超过 缘）可以提高结合剂的润滑性能，减少切割时的摩擦阻力，减少磨削热的生成有一定的好处。

结合剂的混制是按照配方计算各种组元的重量，经准确称量后放入混料机内均匀混合。混制时间不宜过长，以免结合剂发热加速氧化，混制时间过长还将使软金属粉如锡粉碾成片状。

灑压齿成形

成形前，先计算结合剂和金刚石的用量，用天平称出装入瓶内待用。

将基体清洗干净（除去油污及杂质），擦去锈蚀。检查模具无

损坏后,即可将基体模具组装于旋转平台上,拧紧固紧螺帽。注意必须使导向板、基体和底板的齿缝对准。

将金刚石和结合剂放在研钵中混合,混合时应加入临时粘结剂。临时粘结剂多用液体石蜡等,加入量视气候干湿度而定,以金刚石和结合剂不分层为原则。

将混合好的成形料投在导向板上,并用毛刷分成均匀的一圈,然后刷入导向板齿缝中,导向板所有齿缝刷满后,用锤子轻轻振动导向板,料变得稍紧密些,再将导向板上剩余的料均匀刷入齿缝中,投料即可完毕。

将一个个压片插入导向板的缝中,插时要注意齿的方向,否则将“啃”坏三半衬瓦。插完后用铜板将压片捣紧,放上压头,送入压机中加压,压力的计算是根据每个齿的承压面积乘以总齿数,再乘以单位面积压力,即为其总压力。即:

$$\text{摇摇摇摇} \text{责} \text{粤} \text{伊} \text{灶} \text{伊} \text{责} \quad (\text{愿泉缘})$$

式中:责——总压力,贼

粤——齿长,糟;

遭——齿宽,糟;

灶——每个锯片的总齿数,个;

责——单位面积压力,贼^圆。

计算出总压力后,根据选用压机的活塞面积,可以求出压制时的表压。

缘 镶齿锯片的烧结

镶齿锯片烧结常采用钟罩炉,通氮分解的氮气和氢气的混合气体保护。锯片烧结必须用夹具装夹,为防止锯片齿的粘连及夹持变形,锯片基体间必须填以薄铁板作隔离作用。烧成时将装夹好的锯片放在炉座中央,使受热均匀,烧结曲线视结合剂而定。一般采用直升到烧结点温度,保温 愿~ 愿自 随炉冷却到室温即可出炉。出炉温度高时容易引起锯片基体的翘曲变形。

猿缘 镶齿锯片整形

由于锯片基体外径大、厚度薄，在制造、加工、成形和烧结过程中都会引起基体的变形，因此需进行最后的整形处理。目前整形有专用的设备，也可用手工锤击的方法，即在平台上用铜棒锤平。注意锤击时千万不能敲在锯齿上，以免损坏锯齿。

猿远 镶齿锯片的灌锡处理

灌锡处理的目的是为了使锯齿与基体的联结更加牢固。因为焊锡是一种渗透性很强的金属材料，它能在熔融状态下很好地渗入缝中，将缺陷弥补。

一般对于直接将成形料压入齿缝中的工艺方法，因烧结后锯齿和基体已获得了良好的连接，所以灌锡并非必不可少的工序。但对于先将齿形烧结后再镶嵌到齿缝中的工艺方法，本工序就显得特别重要了。

灌锡的工艺方法是：将焊锡熔融于金属舟皿，镶上齿的锯片经清洁处理后薄薄地涂上一层焊料，套在一支带轴承的轴上，转动轴，浸入熔锡舟皿中的锯齿部分即灌上一层焊锡了。

猿源 爱 摇排锯和绳锯的制造

一、金刚石排锯的制造

金刚石排锯主要用于大理石，中、软花岗岩大平板加工。其主要优点有：(员)产量高，切割效率比加砂大锯提高缘~ 猿倍，比金刚石大圆锯片切割每立方米荒料多出 猿平方米毛板；(圆)加工出的平板板材表面光洁度高，后续表面加工工序中可以省去粗磨，只需精磨、抛光或直接抛光；(猿)节省能源，单位产量的能耗大大降低。因此，其综合生产成本低，逐渐替代了加砂大锯。

金刚石框架锯机一般有两种：一种是卧式锯机，排锯条呈水平安装，一般用于大理石的切割加工，每台锯机装有 源~ 猿根锯条；另一种是立式锯机，排锯条上、下垂直安装，一般用于花

岗岩的切割加工, 每台锯机装有 2~4 根排锯条。立式框架锯的最大优点是可使切割产物——岩粉很容易从锯缝中排出, 降低了金刚石的消耗, 因此用于加工研磨性较强的花岗岩更为合适。

金刚石排锯的规格

按照金刚石框架锯锯框的大小, 通常生产的排锯条规格见表 8-1。

表 8-1 金刚石排锯条规格

锯齿长(皂皂)	锯条宽 伊厚(皂皂)	锯齿长 伊宽 伊高(皂皂)	侧隙(皂皂)
100-150	10-15	100-150-150	0.5-1
150-200	15-20	150-200-150	0.5-1
200-250	20-25	200-250-150	0.5-1
250-300	25-30	250-300-150	0.5-1
300-350	30-35	300-350-150	0.5-1
350-400	35-40	350-400-150	0.5-1
400-450	40-45	400-450-150	0.5-1
450-500	45-50	450-500-150	0.5-1

锯条的长度根据设备要求而定, 锯条越长, 其生产能力越大, 但锯条的稳定性越低, 切割震动越大, 排屑能力降低。水平框架排锯比垂直框架排锯长, 但后者使用效果比前者好。

金刚石排锯的制造工艺

金刚石排锯条的制造工艺与前述金刚石焊接锯片的制造工艺基本一样, 同样包括金属粉末、金刚石的计算、称量、混合, 锯齿的冷热压, 焊接面磨削, 锯条基体的准备、清理及最终焊接锯齿等工序。

(1) 排锯齿的制造

① 原材料的选择

■ 金属粉末的选择

同前述金刚石冷压烧结锯片和焊接锯片中所用的金属粉末的技术条件相同。

■ 金刚石的选择

因为金刚石排锯的工作状况与金刚石圆锯片不同，它是随锯机作往复运动，因此，排锯齿金刚石颗粒的受力情况就不同于圆锯片切割，金刚石颗粒作用面(刃)是在运动方向的前后两个面上，不像圆锯片中金刚石颗粒切割面后面有结合剂凸起，将金刚石牢固地镶嵌着，所以除了需要有较强的把持力的结合剂外，还要求金刚石强度高，否则金刚石颗粒切割受力时易破裂，降低了切割力。但是，强度高的金刚石晶形完整率高，表面光滑平整，又难以较长时期地保留在结合剂中，这样就需要使用强度高而表面又粗糙的金刚石。

■ 钢锯条的选择

排锯条的钢带在安装时，需要施加张紧力，其大小平均为愿~员吨，在如此大的张紧力下使用，要求钢带锯条有一定的刚性和强度，钢材的抗拉强度为(员~员)晕，硬度为匀~源，材质一般为透碳钢。

② 锯齿的设计

■ 锯齿规格尺寸

排锯锯齿长度较短，通常为圆皂，主要是使排锯的锯齿有较大的单位压力，以保证一定的锯切效率。锯齿高度一般为苑皂。锯齿不能太高，过高的锯齿在锯切时切割力对锯齿焊接面的扭矩较大，影响锯齿的焊接强度。

■ 锯齿的几何形状

为了减少金刚石锯齿与被切岩石的接触面，降低切割横向力和摩擦力，刀头两侧面应制成梯形，正面磨削后呈凹槽状，在切

割过程中只有刀头正面和正面的两侧棱与岩石接触,减少了摩擦力,同时由于磨削后刀头正面出现凹槽状,改善了刀头横向挤压状况,提高了切割效率和切割质量,防止切割跑偏,还可以提高使用寿命。

3.2 结合剂

结合剂的根本任务是牢固地把持着金刚石磨粒,但是在切割过程中,结合剂应不断被磨损,以便使金刚石有较好的出露,没有结合剂的磨损,也就不可能产生切割。但是,结合剂的这种磨损率应与所切石材的性质相适应,结合剂磨损过快则金刚石没有完全发挥作用就过早脱落,造成锯齿寿命下降;反之,结合剂磨损过慢,金刚石出刃太低,影响锯齿的切割效率,同时消耗功率过大,浪费电力,严重时导致电机过早烧坏。锯齿的切割效率低也会导致锯机切割过程中震动过大,从而引起锯条跑偏,造成切割板材质量下降。由于各类石材性质和研磨性相差很大,因此,必须在保持金刚石的牢固度和结合剂的耐磨性之间找出一个合适的平衡关系。

3.3 金刚石的浓度和粒度

排锯所用金刚石浓度通常在 10%~20% 之间。原则上讲,采用优质高品级金刚石时,浓度可选低些,反之则选择高浓度。在制造排锯时,考虑到其线速度很低,加工过程以磨削为主,因此金刚石粒度一般选择 100~200 目等。

③ 烧结工艺

与一般的焊接锯片刀头的烧结工艺相同。

④ 锯齿滚抛及焊接面磨削

锯齿热压成型后,都带有一些毛刺,为便于焊接,首先应在滚抛机中滚抛,将毛刺去掉,然后在砂轮上磨削焊接面,使焊接面露出新鲜胎体层并保持平滑为止。

(5) 排锯条的焊接

①焊接方法

将排锯条基体准备好，并固定到特制的架子上，量出锯条的有效长度，并将焊齿的部位用记号笔标明。检查焊接部位有无锈迹，如生锈需要用锉刀打磨干净，以免影响焊接强度。用酒精等将焊接部位的油污清除干净，开始焊接。焊接过程中同金刚石圆锯片一样，为防止基体受热变形，可间隔分部焊接。

②锯齿的齿数与分布

锯条上锯齿的间距是不等的，可以规则排列，也可以不规则排列。一般中间的锯齿分布较密集，而两边的较稀疏。锯齿在钢带上呈长短间距交替分布，使相邻的两个锯齿振动的频率大小不同，这是为了避免在锯切过程中出现有害的谐振现象，减弱整根锯条的振动。金刚石锯齿间距取决于石材接触面锯齿数，间距有一定的范围，每个锯齿都要有一个足够的压力，如果锯齿间距太小，锯条基体和整个机械设备的刚性不足，达不到每个锯齿所需的压力，降低了切割效率；反之，锯齿间距过宽，锯齿所受负荷太大，使出露的金刚石易发生碎裂。

锯条上锯齿的齿数是由锯齿间距和锯条的有齿长度计算出来的。对于水平运动的框架锯来说，锯割软质石材时，齿间距约 苑园 ~ 苑肆皂，锯割硬质石材时，齿间距为 怨缘 ~ 员零皂。

二、金刚石绳锯的制造

圆金刚石绳锯的基本构造

绳锯除钢绳外，它的组成部分为：(员)金刚石串珠；(圆)弹簧；(猿)垫圈；(源)固定环。一般每缘个金刚石串珠为一个切割单元组合。每米绳锯所含金刚石串珠数有 缘颗、猿颗、源颗、缘颗等几种，常用的为每米 猿颗。金刚石串珠直径也因用途不同而有下列规格： ϕ 苑 ϕ 愿 ϕ 怨 ϕ 园 ϕ 员和 ϕ 圆

随着金刚石绳锯用途及加工对象的扩大，其规格、结构和串珠品种等也愈来愈多样，图 愿原圆 是近期国外商品金刚石绳锯

的组装形式示意图。由图可知，串珠两端不用垫圈，而是将串珠的两端台阶加长，弹簧和串珠的台阶均被注塑塑料套固定封闭在钢丝绳上。这种新结构的绳锯由于塑料套的封闭作用，使绳锯在作业过程中产生的岩屑和冷却水不会进入钢绳表面上，因此较少造成钢绳的锈蚀和脆断。而图 8-10 的结构则不同，岩屑和冷却水穿过弹簧的缝隙大量进入钢绳，特别是岩粉阻塞在弹簧内，使钢绳失去弹性和挠性，极易使钢绳脆断。而图 8-11 结构的串珠是被固定在钢绳上的，为解决串珠的不均匀磨损，可对注塑型串珠绳预加载，使其切割加工石材时自身转动。

8.1.2 金刚石串珠制造方法

金刚石串珠的制造方法有两种，即电镀法和热压烧结法，前者主要用于大理石的开采和切割，后者则用于花岗岩加工。

(1) 电镀法制造金刚石串珠

绳锯的切割效率、使用寿命、经济效益等，金刚石串珠是决定因素。因此对串珠基体材质、形状结构及金刚石质量、电镀工艺等都要认真地进行选择。

镀层金属是串珠的胎体，金刚石的结合剂。因此它的作用除对金刚石产生牢固的镶嵌结合外，同时要在使用中无数次经受岩石的摩擦和冲击，这就要求镀层金属具有较高的硬度、耐磨性和韧性，实验证明 羰基镍合金镀层可兼有这几种特性，所以，电镀串珠较多地选用 羰基镍合金作镀层金属。

镀层金属作为结合剂，既要保证串珠的使用寿命，又要使金刚石获得较好的出刃，即兼顾寿命和效率，因此对单层金刚石的串珠来说，镀层厚度要适中。如果镀层太薄，金刚石被埋入较少，粘结牢度就欠佳，使用过程中金刚石就未能充分发挥作用即产生脱落，绳锯寿命太短；相反，如镀层太厚金刚石几乎完全被埋入镀层中，则金刚石没有出刃，锯切效率很低，直到岩石不断摩擦镀层金属，使其磨损到一定值，绳锯才具备了正常的切削速

度。所以,镀层厚度要适当,通常认为镀层厚度相当于所镀金刚石平均粒径的 猿~4 倍比较合适,也就是说,金刚石有 员~2 层高度露在镀层金属之外。

串珠的电镀与一般金刚石电镀制品基本相同,略有区别的是,串珠较小,如何提高工作效率的问题。一般可以将串珠基体穿装在一夹具上,两端用螺母拧紧,不镀部位用塑料布包扎绝缘。穿装成一串的基体多少可根据电镀槽的大小来定,如果槽子允许的话,一次可同时镀上百颗甚至更多。另外上砂、加厚最好在不同的镀槽中进行。上砂要水平旋转串珠(夹具),而加厚时则可垂直放置,可以镀得更多。

(圆) 热压烧结法制造串珠

热压烧结金刚石串珠主要用作花岗岩及水泥制品切割。串珠直径小,金刚石层薄,一条绳子的串珠数量有很多,因此采用热压烧结法制造,需解决的三个关键问题是:第一,结合剂的选择。国外较多采用钴基结合剂(以纯钴为多)。国内多采用多元合金结合剂,基本组元为 云藻 悦燥 悦怎。第二,工艺上要保证金刚石层厚度 \leq 员~2 层,这就给模具的结构和寿命造成困难。国外的解决办法是先冷压成环坯状(每个串珠分成两个环坯),然后套上基体,装入石墨模具中,送去热压。第三,料的混合、称量、冷压和热压四个工序的生产效率问题。

① 基体

可用 源钢的无缝钢管,在半自动管子车床上车成。为了提高结合剂的粘结强度,基体上要镀一层厚约 圆~4 层的铜层。

② 冷压坯环

如用自动成型冷压机时,将串珠冷压模具装配到压机上并调试好。将混制好的结合剂倒入自动冷压机的料斗内,调整好自动称料系统,进行自动压制。注意,每个串珠压制成两个环坯,两环坯的总高度约比成品串珠高 猿~4 倍。

③ 热压

将两个环坯套在基体上，基体露出环坯的两端部分基本相同，装入石墨模中，紧固好模框螺钉，送入热压机中热压烧结。

④ 机加工

热压好的串珠毛坯送去机加工，主要是车去基体长度方向的多余部分。热压串珠外圆柱面上的黑皮可经打磨或喷砂处理除去，同时金刚石也略有出刃。

獠金刚石绳锯的组装

(员) 组装部件原材料选择

① 钢绳

钢绳质量对绳锯的正常使用和寿命保障非常重要，因此，要求钢绳有高的抗断强度、低的延伸率。

② 弹簧和垫圈

这两个部件在绳锯中只起到间隔串珠，并使串珠在钢绳上有一定的位移，其性能并无特别要求。

③ 固定环

固定环比较重要，它的作用是把绳锯分隔成若干切割单元，防止串珠在整根绳子上串动。特别是当钢绳断裂时，不会使串珠丢失。一般五个串珠成一组，用固定环固定住。绳锯在组装时，当将一组串珠及相应的弹簧、垫圈装上钢绳后，将距离调整好，用千斤顶将固定环固定于钢绳上，因此要求固定环有一定的强度和延展性。

(圆) 组装

按常用獠颗獠串珠的规格，每獠颗金刚石串珠组成一切割单元，其组装过程如下：

① 按用户要求长度截断钢绳，注意不要将钢绳端头扭松；

② 将钢绳一端在砂轮机上打磨成圆锥状，以便于各部件穿入；

③ 将已准备好的各种部件按有关组装形式从钢缆圆锥端一一穿入并平移至另一端；

④ 当穿完一切割单元的所有部件后，压紧弹簧，调整好一切割单元的长度；

⑤ 向前推动固定环使其压紧弹簧，将手钳临时夹住钢缆紧靠固定环处，使其不被移动，将固定环置于专用千斤顶的月牙口内，启动千斤顶，施压，上下压头闭合，使固定环被压变形，紧紧地夹牢钢缆；

⑥ 重复上述员~缘的操作，使第二组单元装配完毕，继续直到整条完成；

⑦ 在钢缆两端装配上连接用的螺旋接头，涂上防锈油。

对于改进后的组合形式，部件较少，组装时简单，但对每个弹簧都要用塑料套封闭，封闭采用注塑机注塑的方法，也可以套上半熟塑料套管，加热使其熟化并将弹簧和串珠的台阶封闭。

愿缘 摇锯切工具的磨弧、焊接、开刃、整形

愿缘 摇锯切工具的磨弧

为提高节块在锯片基体上的焊接牢度，对节块的焊接面要进行磨弧处理。其作用有二：(员)使节块的焊接面的弧度与基体焊接面的弧度一致；(圆)去除节块热压烧结过程中形成的氧化皮。

愿缘 磨弧设备

根据节块焊接面要求，选用不同的磨弧方法和磨弧设备。

(员) 砂轮机

当节块没有弧度的严格要求，而仅以除去氧化皮为主要目的，可手持节块直接在砂轮机上打磨直至全部露出新鲜的金属光洁面。

(圆) 国产磨弧设备

国产磨弧设备有两种基本类型：一类为砂轮磨弧机，如图 8-10 所示；另一类为砂带磨弧机。砂带磨弧时比较锋利，磨削效率高，磨出的弧度比较正确，因为磨削轮不会因磨损而产生直径变化。但砂带寿命短，需常更换。

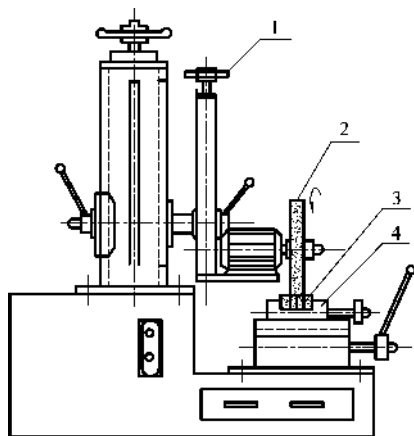


图 8-10 国产磨弧机

1—调整臂长手轮(调节所磨弧度)；2—砂轮；3—工件；4—夹紧台阶

(猿) 进口磨弧设备

图 8-11 是弗里奇公司的 猿型磨弧机，它是用杯型砂轮对节块摆动磨弧的。猿型磨弧机加工节块的弧度范围为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ (圆锯直径 $\phi 100 \sim 150$ mm)。通过选用不同的砂轮，可磨削加工青铜结合剂、钢或钴基结合剂以及硬金属合金结合剂的节块。夹具可同时夹装 2 个节块，通过砂轮稍许的摆动运动，将节块磨成等高和相同的弧度。设备装有冷却系统，既适合于干磨，也可作湿磨。

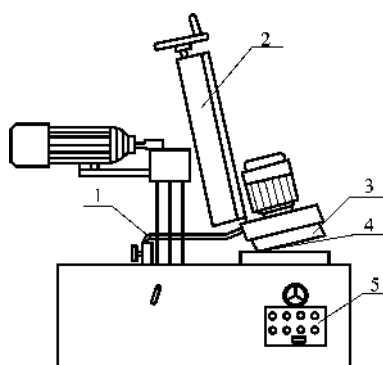


图 愿原愿瑶弗里奇公司 猿鄞II 型磨弧机
猿-软管；圆-调节丝杠；猿-砂轮；源-工件；缘-开关板

愿鄞磨弧用砂轮

见表 愿原愿所列。

表 愿原愿瑶节块磨弧用砂轮规格

用途	磨料	粒度	结合剂	规格 轴皂
进口机	粤	源鄞垣鄞	灾	月鄞圆伊鄞圆伊鄞圆伊鄞圆伊鄞圆伊鄞圆
国产机	宰粤	愿鄞	灾	月鄞圆伊鄞圆伊鄞圆伊鄞圆

猿鄞磨弧操作规程

(员) 节块磨弧前, 先手持节块在砂轮上将热压烧结形成的毛刺、废边打磨掉。

(圆) 用肉眼或卡尺将节块按高度分成不同等级。

(猿) 将高度相近的节块弓背部朝向夹钳口底部, 预夹紧后, 用专用木锤轻敲节块中部, 使每个节块都能紧贴钳口底部基准面, 再用力夹紧之。

(源) 调整砂轮立轴支架和丝杠, 使砂轮摆动弧度与节块要求

的磨弧一致，开启冷却泵，开动砂轮磨弧。

（缘对没有弧度要求的大型锯片节块和排锯节块，可直接在砂轮上打磨，去除毛刺、废边和氧化皮。

缘缘 锯切工具的焊接

无论是圆锯、排锯或带锯，其锯齿节块经过磨弧加工后，接下来就是将其牢固地与基体焊接成一体，才能真正成为锯片。

焊接是锯切工具制造过程中一道极其重要的工序，对焊接工艺提出了严格的要求：①节块和基体间要有足够的焊接牢度；②节块焊接位置要正确，除相对于基体在端面的对称性好外，节块和水槽间的位置的对称度也要适当；③焊接温度不宜太高，至少不能高于节块的热压烧结温度；④焊接时间要短，以免引起基体的局部变形。

锯切工具的焊接作业一般都由锯片制造厂完成。焊接现场可以是锯片生产车间，也可在锯片的使用现场。

焊接作业用得最多的形式是高频焊接。随着激光技术的开发，激光焊接已在国内外锯切工具的焊接作业中获得了一定的应用。激光加工是一种新兴的科技产业，目前已成为提高产品质量、生产效率和自动化程度的重要生产技术之一。激光焊接具有能量密度高、焊缝深宽比高、变形和热应力区域小、焊缝质量可靠、便于实现自动化等优点，因此是锯片焊接的高技术作业之一。特别对于干切用锯片，其焊合处不会因切割温度高而掉齿。国外干切锯片和部分小锯片均已采用激光焊接，随着激光设备功率（或能量）的增加，不久的将来，大型锯片的激光焊接也会投入实际使用。虽然激光焊接设备价格昂贵，但其焊接单位成本仅为高频焊接的缘缘左右。

要使激光焊接得到广泛应用，还有一些问题需要解决，如：①投资费用高（激光设备费用）；②基体与节块的配合精度要求

高,因此要解决好基体制造精度和节块的磨弧加工问题;③节块及基体材料的选择有严格的要求,如要求基体用低碳钢等;④节块要制成带过渡层的;⑤操作技术要求高。

电阻钎焊是一种传统的焊接方法,在金刚石带锯焊接中仍然是一种比较好的焊接方法。

焊接牢度和焊接温度及时间与焊接时选用的焊料和工艺方法密切相关。对高频焊接工艺而言,焊接材料为银焊片(银合金),焊接温度 $2100^{\circ}\text{C} \sim 2500^{\circ}\text{C}$ 。焊接时间与焊机的功率、工件大小、操作者的熟练程度等有关。

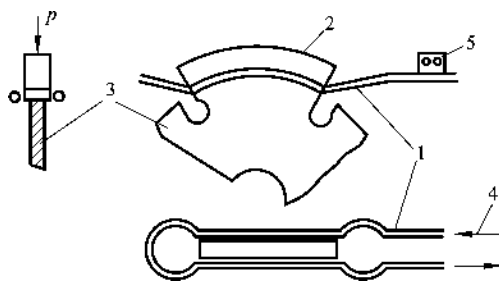


图 愿原猿 高频节块焊接示意图

员—感应圈;圆—节块;猿—基体;源—冷却水;缘—接高频电源接头

愿原 焊接基本原理

(员) 高频焊接原理

当前高频焊接仍是国内制造锯切工具的最主要的焊接方法,图 愿原猿是锯片节块焊合于基体上的示意图。主要的焊接元件是感应圈,感应圈用空心的紫铜管制成,截面以方形为好,用圆形的也可以。感应圈做成中空,是因为焊接时要通水冷却以便将焊接热带走,防止感应圈烧坏。

感应圈的形状常做成两端呈圆环状且向上翘起,中间为一窄缝的结构形式,使能量集中在中间,使焊接区域内的焊料很快达

到熔融状态,完成焊接作业。两端翘起是为了避免相邻已经焊接好的锯齿松动。

根据直线电流的磁场形成原理,在直线窄缝区集中了最密集的磁力线,磁力线穿过导体,应产生电流,导体本身有电阻存在,因而使电量转化为热能,加热导体。感应圈接在高频电源上,感应出来的也是高频交变磁场。高频电流频率越高,电流愈集中在导体表面,因此高频加热时表面温度上升很快,往往几秒到几十秒钟即能使被焊物温度达到焊接所需温度。感应圈的缝隙愈窄,能量就愈集中,升温也愈快。一般锯片焊接选用的高频焊机功率为 $100\sim 200\text{ kW}$, 振荡频率为 $100\sim 200\text{ kHz}$ 。

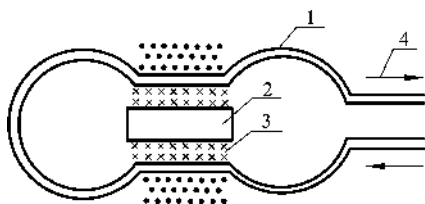


图 8-10 感应圈高频焊接原理示意图

1—感应圈; 2—被焊件; 猿—磁力线; 源—高频电流方向

(圆) 激光焊接原理

激光技术是 20 世纪 50 年代初发展起来的新的科学技术,它的出现不仅使光学焕发出新的生命力,而且几乎对整个科学技术领域起了重大的改革和推动作用,这是因为激光具有高亮度性、高方向性和高单色性。

下面对激光的产生作简单介绍。

倘若处在激发态能级上的原子,在它发生自发辐射之前,受到外来的能量 $h\nu_0$ (满足 $h\nu_0 = E_2 - E_1$) 的光子的刺激作用,就有可能从 E_2 跃迁到 E_1 ,同时辐射出一个与外来光子同频率、同周期、同偏振态、同传播方向的光子,这一过程称为受激辐射,如

图 愿原猿 所示。由于在受激辐射中输入一个光子，所得为两个相同光子的输出，而且这两个光子可再刺激其他原子产生受激辐射，如此类推，就能在一个入射光子作用下，获得大量特征完全相同的光子。这就是激光的产生过程原理。

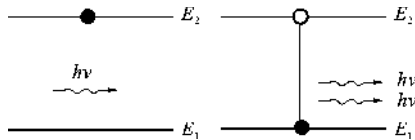


图 愿原猿 激光的受激辐射

在一个原子系统中存在着处于低能态(E_1)的原子数 N_1 和处于高能态(E_2)的原子数 N_2 ， N_2 跃 N_1 时，光被吸收；当 N_1 跃 N_2 时，便使光得到放大。在一般的系统中，室温下 $N_1 \gg N_2$ ，说明 $N_1 \geq N_2$ 。为了使 N_2 跃 N_1 ，必须从外界输入能量，使系统中尽可能多的粒子处于激发态(即 E_2 能阶)。此外，系统还要有适当的能级结构，才能实现 N_2 跃 N_1 (称为粒子数反转)。下面以 匀藻原晕藻激光器为例说明。

匀藻原晕藻激光器如图 愿原猿 所示，它是以特薄的氦气与氖气按(源员~ 员园 员)比例混合作为工作物质，放入抽空的玻璃管中，管两端装有反射镜，并在端部附近封入电极，加上千伏以上高压，产生气体放电。放电时在电场中受到加速的电子与 匀藻原子碰撞，并使 匀藻原子激发到一些较高能态上，见图 愿原猿 其中有一个能级 E_2 其平均寿命较长。 N_2 也有一个激发能级 E_2 与 匀藻的 E_2 接近。激发到 E_2 上的 匀藻原子在与 晕藻碰撞时，就会把能量传递给 晕藻使大量 晕藻原子激发到 E_2 能阶。晕藻原子还有一个较低能态 E_1 ，但因 匀藻原子没有与之相近的能态，因而不可能使 晕藻激发到 E_1 能态上。因而最后使得在 E_2 能级上的 晕藻原子比在 E_1 能级上的 晕藻原子多，从而造成了 晕藻原子在 E_2 和 E_1 能

级上的粒子数反转。只要有一个 氦原子发生 $2^1S \rightarrow 2^3S$ 的自发辐射，该光子就能刺激受激态的 氦原子产生受激辐射。由于起始自辐射光子不可能只有一个，那么受激辐射得到的光放大仍是周相、方向、偏振并不一致的光束。激光器管内两端用反射镜封住，气体产生的受激发射光子，凡是其传播方向偏离管轴方向的，就逸出管外而淘汰掉，只有那些沿管方向传播的光子经过反射镜来回反射，在工作物质中不断得到放大增强，并从部分反射镜一端输出，所以可得到方向性很好的激光束。

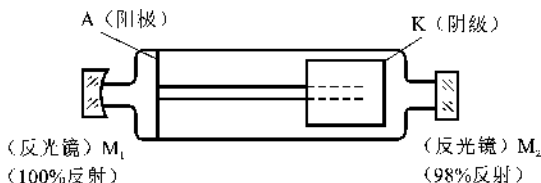


图 8-1 氦氖管内腔式均匀激励氦氖激光器

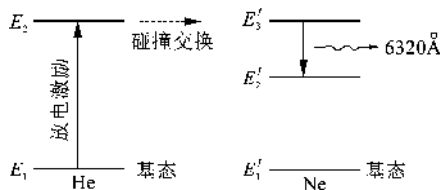


图 8-2 氦氖原子能级示意图

此外激光器中的反射镜都镀有多层反射膜，只要选择每层反射膜的厚度使之等于所要输出的激光在这膜中波长的 $\lambda/4$ ，就可使所需要的波长得到最大限度的反射，而限制了其他波长光的反射。两片反射镜间距离经精心设计，使之恰好等于所要输出的激光半波长的整数倍，这样就使所需波长或频率的光才可在腔内形

成稳定的振荡而不断得到加强。这些措施都有利于进一步提高激光束的单色性。

当用激光来进行焊接作业时，是利用透镜将平行激光来进行聚集，这样激光束的能量就高度集中在很小的范围内，就可以产生很高的温度，将金属材料熔化，当激光束以快速移动方式照射金属时，焊接作业就得以实现。

高频焊接设备与工艺

(一) 焊接设备

高频焊接设备通常称为高频焊机，其主要由两部分组成：①高频感应加热装置；②焊接装置(包括加热感应圈和焊接夹具、机械传动装置)。

高频感应加热装置的电原理如图 愿原缘所示。

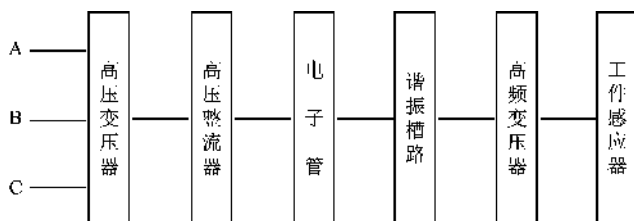


图 愿原缘 高频焊电原理框图

高频电源的产生过程如下述：

电容和电感并联形成振荡回路，电容和电感在充放电时形成振荡。但要维持不间断的等幅振荡，就必须有外电源不断地补充能量，图 愿原远中的电子管 好比是一个能与 基本频率大致相同的发电机，补充 中消耗之能量。图 愿原远是 的振荡电路图。其中 为阳极阻流管，为使直流通畅无阻，高频成分不让回入电源而设置。悦 为隔直流电容为防止直流高压经 对地短路，但却要高频成分畅通无阻而设。砸 是自激振荡产

生负偏压的元件,直流电压靠电容充电维持。电感为负载,即工作对象加热感应圈,也就是由前面振荡电路形成的高频振荡电流输入感应线圈,使加工对象产生交变磁场而在短时间内达到几百上千度的高温(如约几秒钟可使节块温度上升到 1000℃ 左右)。

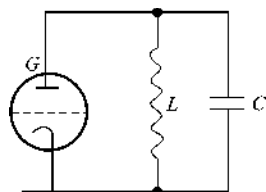


图 8-1 简单的振荡电路原理

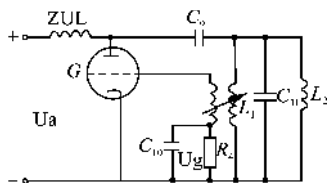


图 8-2 高频电源的振荡部分

国产高频焊机的产品类型很多,概括起来分三种:①通用型高频加热设备,由锯片制造厂配制各种金刚石工具的焊接夹具、感应圈等;②专用于金刚石锯片(工具、刀具等)的固定型高频焊机;③手提式高频焊机,比较轻便。目前使用最多的是第三种焊机,其特点是节能,安全性好,操作方便,运行稳定可靠,价格低廉,维修和修理方便。

(四) 焊接工艺

① 焊接工艺流程

锯切工具的焊接工艺流程如图 8-3 所示。

焊接因所选用的设备不同而分成自动焊接和手工焊接两种,但其工艺流程基本一致。当采用自动焊接时,每焊一片锯片,只要将第一个所焊的节块调整好,以后的作业就自动进行下去,直到这片锯片的最后一个节块焊完,自动停机。因此焊接效率高,焊接质量和精度有保障。当采用手工焊接时,每一个节块都要由操作者认真调正位置,开机停机,效率比较低,质量和精度与操作人员的熟练程度和水平相当密切。

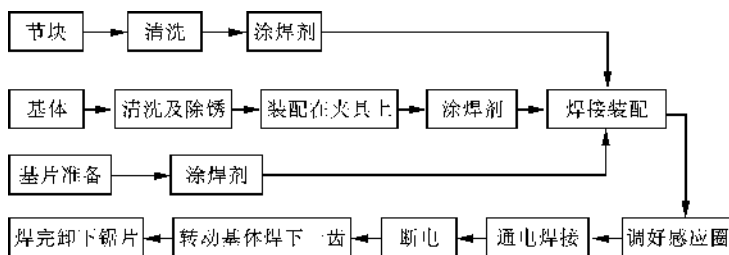


图 愿原猿 锯片焊接工艺流程

②焊接前的准备工作

①节块准备

节块已经过磨弧处理，其焊接面上已将氧化皮磨掉，弧度也已符合工艺要求。接下来的工作有两项：第一，根据节块高度进行分组，以便焊好的锯片尽可能地圆；第二，用丙酮或汽油等清洗节块并晾干，以确保焊牢。

②基体准备

基体上存在有大量油污（防锈油脂），甚至有锈蚀，需要认真清洗干净，用砂布打去两平面部位的锈。在磨板机上对焊接面进行磨削，以去除毛刺、锈蚀，确保焊接牢固。

③焊片、焊剂的准备

选择焊料是一项重要的工作，焊料要满足如下要求：（员）焊料的熔化温度低于节块的热压烧结温度，一般低 $100^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 左右。如果这一温差太小，有可能在焊接时使节块胎体中的低熔点成分熔融（或挥发），影响焊接质量和节块质量；（圆）焊料对节块和钢基体的可焊性均较好；（猿）焊料熔融后流动性要好，表面张力要小，这样一来才能充满被焊部位，使焊接牢固；（源）经济性好，货源充足；（缘）符合环保要求。

焊接锯切工具时常用的焊料有三种，见表 愿原圆

表 8-1 摇金刚石锯切用银基钎料

牌号	主要成分	熔点(℃)	钎焊强度(%)
YJ1	银 70, 铜 20, 锌余量	200~210	80
YJ2	银 60, 铜 30, 锡 5, 锌 5	210~220	85
YJ3	银 60, 铜 30, 锡 5, 锌 5	210~220	85

焊料一般轧制成带状,裁成约 10~15mm 宽的带,盘成盘状,便于自动焊机使用,厚度多用 0.5~1mm 的。如用手工焊接,可用剪刀裁制成所需尺寸。

为了使焊接工作进行顺利,焊接接触面上(节块、基体及焊片)都要均匀涂上一层银钎焊剂,目的是促使各焊接物接触面上氧化物的还原,促进焊片熔融,改善焊片熔融物的流动性等。

常用的银钎焊剂牌号为 YJ1、YJ2,一般调为糊状,以方便涂刷。

③ 焊接工艺操作规程

① 按照生产要求检查基体内外径、厚度及齿数,检查节块规格、数量及弧度。然后在修整设备上修磨基体外圆倒角。用丙酮等清洗干净基体和节块焊接面,并涂上钎焊剂。

② 按施工要求中锯片规格选择与之相适应的焊片,焊片宽度一般比基体厚度大 1~2mm,直径 ϕ 15mm 以上锯片焊接时选择焊片厚度 1~2mm;直径 ϕ 15mm 以下锯片焊接时选择焊片厚度 0.5~1mm。

③ 装上基体,调节好位置,拧紧固定螺钉,放上冷却夹板,调整好节块推送装置及节块夹子,按工艺要求调好焊接温度、保温和降温时间,进行焊接。

④ 用高频设备焊接锯片时,每焊一个节块,转动基体 180°,这样对称地进行焊接,以免基体过热产生退火或局部变形。

猿在焊接排锯时，按布齿图将节块一一焊在规定位置上。

猿焊完一片锯片，都要进行自检。要查验每一个节块有无虚焊、焊缝不饱满、焊接不正等，确认合格后方能从焊接夹具上取下，转下道工序。

④焊接质量的检测

除对节块的焊缝进行认真检查外，还应对节块的对称度和焊接牢度进行检测。

对称度即指相对于基体的对称程度，包括下述三项含义：第一，长度方向相对两水口的距离是否基本相等。第二，节块中线与基体中线是否平行（中线指厚度上的二等分线）。第三，节块相对于基体两侧的高度是否相等。前两项通过目测确定，第三项则通过金刚石锯片对称测量仪测定。

为检测锯片节块焊接强度问题，可采用扭矩扳手作检测工具。具体使用方法是：

猿将锯片水平放置或旋转，用夹具稳住基体。

猿将扭矩扳手选用一适当量程，用夹头夹住节块，用力压扳手，当听到“咔嚓”一声即为合格。如果焊接处出现裂纹、断齿或掉齿等即为不合格。

猿对于不同规格直径的锯片，扭矩扳手的量程应选用不同的值。

图 猿猿猿为锯片的焊接强度检测示意图。检测时可以将节块的受力状态简化为悬臂梁，如图 猿猿猿 其受力可按下述公式分析得：

$$\sigma = \frac{M}{W} \approx \frac{M}{\frac{1}{6}bh^2} \quad (猿猿猿)$$

式中：M——扭矩；

l——节块长度；

h——基体厚度。

式中的抗拉许用应力 $[\sigma]$ 取焊接抗拉强度的 园缘倍, 则上公式变为: σ 越 $\frac{\text{运} \cdot \text{源} \cdot \text{缘}}{\text{猿} \cdot \text{运}}$

由该式即可确定不同节块大小(表征锯片规格的不同)所选用的扭矩 酝的大小。

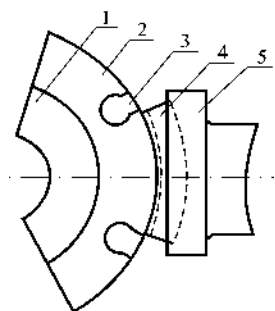


图 愿原缘瑶扭矩扳手检测焊接强度示意图

员-锯片夹具;圆-基体;猿-夹具;源-节块;缘-扭矩扳手夹头

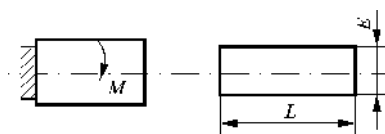


图 愿原愿瑶节块简化受力状态示意图

猿原 激光焊接方法

(员) 激光焊接设备

用激光作焊接设备的加热源, 焊接金刚石锯片, 节块与基体的焊接强度较高, 即使在干切或极恶劣的条件下工作的锯片, 往往不会在焊缝处折断而极有可能是节块的自身折段, 因而它特别适用于对安全性、可靠性及防止节块脱落的危险性要求越来越高

的使用场合。

我国在 1974 年制成了第一只激光发生器至今已有 20 年历史，但将激光用于金刚石锯片焊接还是近年来的事。目前已有国产激光焊机可供使用。

德国弗里奇公司为激光焊接金刚石锯片生产两种激光焊机，一种是全自动焊机和一种是半自动焊机。全自动激光焊机采用计算机控制的激光激光器，电脑数控，将锯片用小車推进后，全部焊接过程自动化。可焊接 $\phi 100 \sim 150$ 毫米的直径锯片，节块长 100 毫米，高 10 毫米，厚 1.5 毫米。锯片直径公差 ± 0.05 毫米，节块焊前须进行磨弧处理。

(圆) 激光普通焊接方法

最初激光焊接金刚石锯片采用如图 1 所示的方法。锯片固定在一个钢盘上，节块通过活动夹具固定，使之同时靠紧在基体边缘和钢盘上，然后移动激光光束，实施焊接。这种方法的缺点是人工成本高，每一种规格、型号的锯片都要有相应的固定装置，而且要求基体的公差很紧，否则就使焊接质量难以保证。

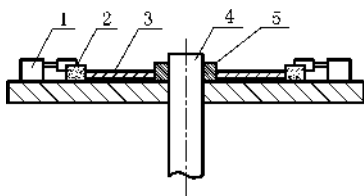


图 1 半自动激光焊接夹具示意图

(猴) 激光自动焊接方法

为了改进上述不足，采用如图 2 所示新的焊接方法。其工作过程为：首先用自动装置对锯片基体进行测量，再转送到固定装置上固定；同时节块也被固定在支撑体上并靠紧在基体边

缘。然后数控装置沿两条轴线的方向操纵激光光束沿施焊线移动。待激光关闭后,基体与节块均被松开,新的节块又被夹具固定,基体则转动到新的焊接部位;直至该锯片焊接完成为止,又自动装上新的待焊锯片基体。

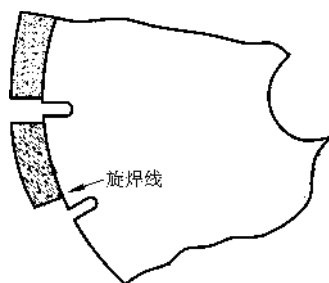


图 8-10 摇光学系统移动的焊接方法

(源) 两种焊接方法的比较

两种焊接方法最重要的差别是,采用旧方法(第一种)时锯片一边焊接一边转动,而新方法(第二种)主要是光学系统移动,锯片仅在焊完一个节块时,才移动一个齿位。另一区别为聚焦系统作了改进,现在则用反射光学系统,见图 8-11 所示。在透射系统里,透镜因受激光束加热,其光学性能发生变化,镜体形状及折射率的改变导致焦点漂移。当焦距为 f 时,焦点漂移距离可达 f 以上。因此焊缝的外观及结构都将受到影响。在反射光学系统里,反射镜受背面的冷却水冷却,具有热稳定性和较高的能量传输率。

(缘) 影响激光焊接的因素

材料性质对激光焊接效果有重要影响。由于焊缝非常狭窄,并在极短的时间内受热,所以熔化后瞬间即可冷却。温度梯度越高,冷却速度越快,其效果相当于淬火。当激光束通过某施焊点

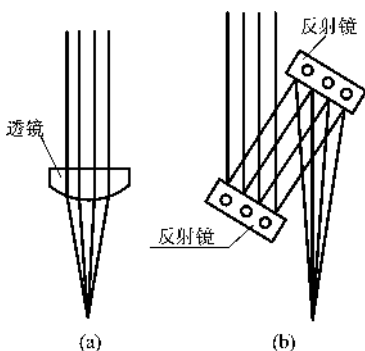


图 愿原透磁激光光学系统

后，紧靠该点附近未受热的区域便将焊接点内的热量吸收掉。标准钢经淬火后脆性大，强度低，易断裂，解决这一问题的方法是采用特殊的低碳钢。

节块胎体材料也影响焊接质量，若选择不当，不仅影响焊接强度，而且影响焊缝形状和表面性能。通常的选择是使用那些含特殊添加物、有特殊粒度、形状和特殊工作条件的钴基合金。

进行激光焊接时，惰性气体的选择也十分重要。当激光束照射到液态金属上时，几乎被它全部反射掉，因而选择合适的焊接惰性气体，可减少金属蒸发量。

焦点在垂直方向及水平方向上的位置以及入射角度等都是焊接时必须遵守的规则。垂直方向上的焦点位置由“焦点高度”描述。在现有功率条件下，焦点高度大约为基体厚度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。为了减少节块内易挥发组分的散失，应保证焦点在距基体边缘处约 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 偏距，这就要求基体的同心度不得超过 $\frac{1}{3}$ （当激光束的焦点宽度为 $\frac{1}{3}$ 时）。

考虑到焊接工件有各种各样的尺寸，激光束应以一定角度即所谓发射角射向焊接部位，以便在焊接边缘处实现良好的填角

焊, 发射角一般为 30° 。

另外的重要因素是焊接功率和焊接速度。如果焊接功率为 1000W , 那么焊接件厚度一般不应超过 1mm , 此时的焊接速度大约为 1m/min 。厚度越小焊速越快。但只有实施深熔焊, 才能使焊接效果最佳。此外, 如果减小焊缝截面及切口效应会明显降低焊接强度。因此要想提高焊接强度, 就要实施深焊, 同时提高焊接速度。图 8-10 为激光焊接时光线的入射位置。

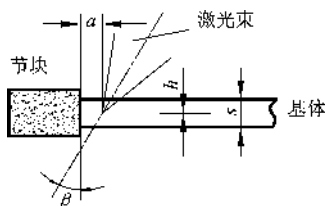


图 8-10 激光入射位置示意图

β —入射角; α —偏距; h —焦点高度; ζ —基体厚度

金刚石锯切工具的修整

金刚石圆锯片焊接完成后, 为使用目的需对其进行修整和开刃。修整和开刃是两种不同的作业方式。修整是通过磨加工作业, 使锯片的尺寸(厚度及直径)、外圆和端面跳动达到规定的公差值, 满足用户使用要求。假如一张锯片, 其节块厚薄不均或基体不对称, 或者外圆或端面跳动太大, 将会在使用中产生间断式切削, 使锯切时加大震动、发出尖厉的叫声, 恶化劳动环境, 加大切缝, 甚至使节块脱落, 导致切割无法继续下去。因此, 锯片修整加工是锯片制造的一道重要工序。修整是在锯片修整开刃机上完成的。

下面以德国弗里奇公司生产的 1000mm 修整开刃机为例说

明锯片的修整操作规程。

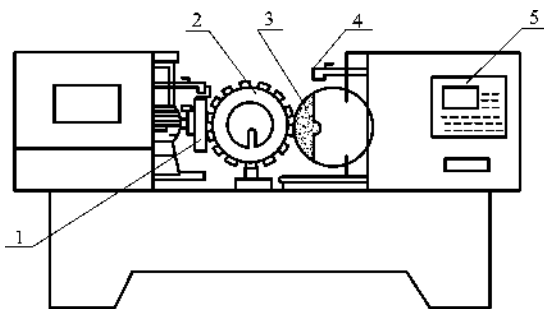


图 愿京缘裁员圆修磨开刃机结构原理图

员—侧面修整砂轮；圆—锯片；猿—端面修整砂轮；源—冷却液喷射口；缘—操作板

(员)修磨前必须检查电磁吸盘、垫圈、冷却液是否达到工艺要求。确认合格后再将吸盘、垫圈锯片基体孔和吸盘接触的面擦拭干净。

(圆)先修磨基体与节块焊接处两侧面，再修磨节块两侧面，然后再修磨锯片外圆。要求节块侧面、外圆 $\frac{1}{2}$ 以上面积被磨到。

(猿)修磨基体和节块两侧面时，调整两砂轮位置，使两砂轮的进刀量相等。修磨外圆时进刀量不宜太大，特别是宽水槽锯片，进刀量尽可能小些。

(源)外圆开刃是在修整作业后才进行的。使基体顺时针方向旋转，用外圆修整的同一砂轮对节块开刃。开刃后的锯片应在面向操作者这一面上用箭头指向顺时针方向，代表该锯片按此方向作为其切割石材时的旋转方向。

(缘)锯片上节块倒梯形的修磨。在锯片较快速度旋转下，两侧面砂轮压力由小到大，然后由大到小(指修磨砂轮从锯片外向心部运动修整，再由心部向外缘运动修整)，重复 源~ 缘次上述动

作后,使节块截面成一倒梯形(即外缘大于焊接处),锥角约 10° 。这种锯片侧面摩擦阻力较小,有利于高速切削。

愿愿愿 摇锯切工具的开刃

开刃过程一般分为两步进行:第一步是开两侧刃,需要一片一片地开刃,将锯片装在开刃机上,使锯片与砂轮一起旋转。调整砂轮与锯片的位置,使其逐渐接近,间断接触,直至锯齿一侧面金刚石全部出刃。将锯片反装,然后用同一方法开另一侧面刃,并使金刚石全部出刃。侧刃开好后,将锯片按开刃方向放好,并串到开刃机轴上开立刃。此时应特别注意保持锯片的两侧刃与立刃方向一致,否则影响锯片的使用性能。

焊接圆锯片在修整以后,即要对其节块进行开刃。它是在修磨开刃机上,由修磨和开刃并在一道工序上完成的。

作为锯片制造商和使用者,都可以利用自身条件对锯片进行开刃。例如直径小于 $\phi 100$ 的圆锯片,可以利用外圆磨床,甚至车床进行修磨和开刃。锯片用户在使用过程中,因种种原因使锯片变钝,切割效率下降,切割功率明显上升,甚至产生剧烈震动,此时表明锯片需要进行重新开刃,以恢复金刚石良好的出刃。石材厂多采用水泥砌块、砂石或耐火砖等作为开刃工具。将开刃工具夹持在原来装载石材的小车上,用磨钝的锯片锯切这些摩擦性极强的材料,切割时因锯片节块胎体与被切物强烈摩擦而磨损,使金刚石重新出刃。

对于排锯和带锯的修磨和开刃还没有专用的设备,因此只能在用户的石材等的切机上用特制的水泥砌块、砂石或耐火砖等进行修磨和开刃。

愿愿愿 摇锯切工具的整形

锯切工具的整形分锯片制造厂对锯片出厂前的整形和石材加

工厂使用中因锯片基体变形的校正。整形均包含两层意思：其一，由于各种加工作业而使锯片基体平面性变坏，因此需要通过校平恢复其平面度；其二，调整锯片的内应力(或者张力)。

猿圆 锯片基体产生内力的原因

锯片产生内应力的原因大体上有下述几点：

(员)钢材的热轧加工，制造基体的钢板是通过热轧而制得的。

(圆)水槽的冷加工(铣削或冲压)。

(猿)各种工作面的磨削加工。

(源)金刚石节块的焊接加工。

(缘)滚压张紧及校平加工，等等。

猿圆 应力校正的方法

首先要确定应力的情况，即应力是否过大或过小，应力的分布是否均匀等等，最常用的方法如图 愿原猿圆 所示，这种方法只适用于等厚基体。图 愿原猿圆 葬 表示测定基体应力的方法，将基体下缘支承在一个平台上，将另一端吊起，然后用一平尺在基体表面上推移。图 愿原猿圆 遭 表示基体应力不足，此时的基体中心部位向上鼓起。图 愿原猿圆 糟 为应力合适的基体，它的整个平面紧贴平尺。图 愿原猿圆 凿 为应力过高的基体，它正好和图 愿原猿圆 遭 相反，中间凹两缘翘。当然用这种方法来确定应力并不十分精确，因为有时应力是局部的。

应力校正常用两种方法：

(员)锤击法

为增加应力(即图 愿原猿圆 凿 的情况)，锤击时从基体的中心部位开始，结束于直径 圆猿 处，见图 愿原猿圆 葬。锤击的锤子是圆头的，在这一范围的所有各处，均施以相同的锤击力和落锤点。锤击时先锤定一个面，再翻转基体锤另一个面，方法同第一面。

为减少应力，锤子和锤击方法同上，锤击部位从基体外缘直到离外缘 圆猿 直径处的所有环面上，见图 愿原猿圆 遭。

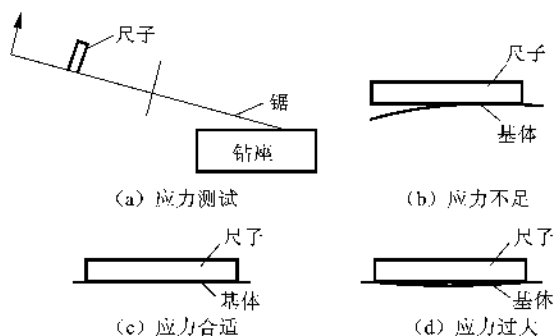


图 8-1 金刚石锯基体应力检测及结果示意图

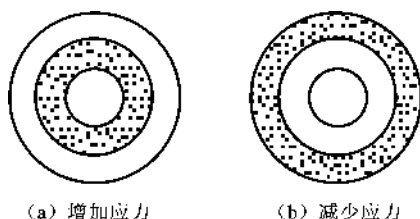


图 8-2 锤击法校正应力

(圆) 辊压法

图 8-3 为辊压机校正基体的原理。这种设备是由两根平行的轴，轴上装有相同直径的辊轮。轴由同一马达带动，以使其转速绝对同步，但旋转方向相反。辊轮紧压在基体上，其压力值是可调的，压力可以是机械的或液压的。

增加应力：如图 8-3(a) 所示，用辊轮在离基体中心一定直径处这一区间表面辊压数次。

减少应力：如图 8-3(b) 所示，用辊轮在接近基体外边缘部位辊压数次。

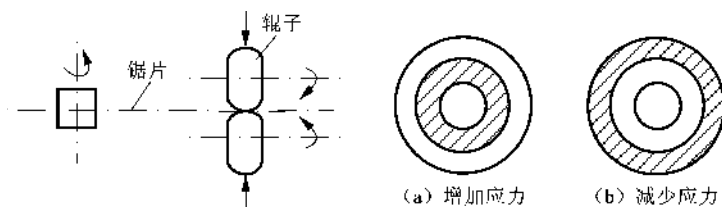


图 愿原源 磁辊压法校正应力原理图

猿原缘 基体变形的校正

将基体用法兰盘夹紧，无间隙地装配于轴上，见图 愿原源。法兰盘与轴的装配垂直度为 园原园皂，用百分表检验基体变形量。百分表指针位置固定于距水槽底部 缘皂处，转动基体，测出偏移量，并用粉笔做好标记，再用尺子完成校验。变形情况大体分为下列三类：

(员) 径向变形

这种变形与基体局部组织不均匀有关。变形隆起由基体中心开始，辐射到边缘。校正方法是用十字锤锤击隆起处(如图 愿原源所示)。

(圆) 横向变形

用十字锤在变形隆起处锤击(如图 愿原源所示)。

(猿) 局部变形

变形从外缘一边开始，但未达到另一边。用十字锤锤击变形隆起(如图 愿原源所示)。

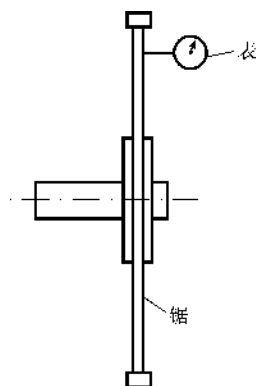


图 愿原源 基体变形测定

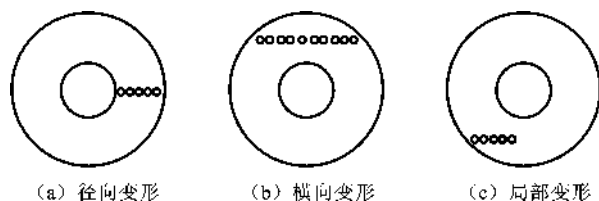


图 8-10 锯片基体变形及校正

张力和平直度测试及校验设备

图 8-11 为德国匀基姆公司生产的张力和平直测定仪，由电子控制的张力测定仪可以对每一件锯片基体的应力和平直度作出客观性的测量，并将测量值绘制成图形，随同该基体一起发给用户。

我国目前也有很多单位生产金刚石锯片应力校正机。

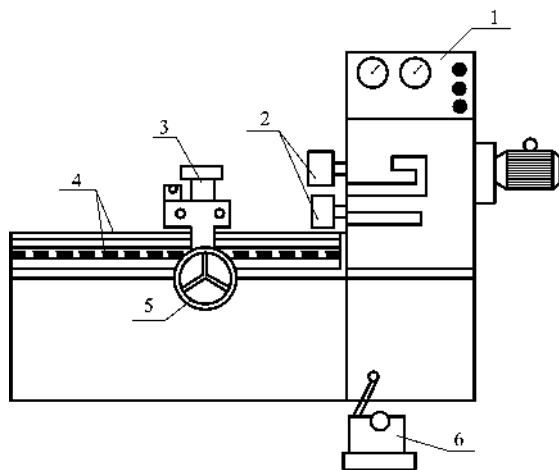


图 8-11 匀基姆公司生产张力和平直测定仪

表 愿原 摇岩石名称、硬度和组织情况

试样 编号	平均莫 氏硬度	岩石类型	矿物成分及含量、矿物粒度						
			石英 (豫)	粒度 (皂皂)	斜长 石豫	粒度 (皂皂)	正长 石豫	粒度 (皂皂)	其他 (豫)
员	缘猿远	灰色花岗岩	员缘	员-源	源圆	员缘	猿缘	猿-源	源圆
圆	远猿缘	粉红色花岗岩	圆圆	圆缘-缘	圆圆	圆苑-圆	猿	猿	缘
猿	远猿猿	花岗岩	猿	猿	猿	猿	愿圆	源苑	圆
源	远猿缘	粗粒红色花岗岩	猿圆	猿-愿	员猿	员-源	缘圆	员缘	苑
缘	源猿远	花岗岩	圆	圆-源	源	圆缘 ~员缘	猿	猿	猿
远	远猿缘	花岗岩	猿	猿	缘	员-愿	猿	猿	缘
苑	远猿圆	红色花岗岩	圆缘	圆缘-猿	圆	员-愿	猿	猿	缘
愿	猿猿员	砂岩	猿	圆缘-猿 ~圆缘	猿	猿	猿	猿	猿

表 愿原 摇锯片单位磨耗与岩石力学性质间的关系

试样 编号	单位 磨耗 (皂皂转 皂)	试样 编号	肖氏 硬度 (泽 姆)	试样 编号	压痕 硬度 (晕 洛)	试样 编号	岩石 研磨性 (精 糙)	试样 编号	岩石抗 压强度 (配 皂)	试样 编号	岩石抗 张强度 (配 皂)
源	圆缘源	源	猿缘	源	员猿源	苑	猿缘	远	圆缘	远	员缘
员	圆缘缘	苑	猿苑	远	员猿源	远	猿缘	缘	员缘	缘	员缘
苑	圆缘源	圆	猿源	猿	员猿源	圆	猿缘	猿	圆缘	苑	员缘
远	圆缘缘	猿	猿缘	员	员猿缘	猿	猿缘	苑	圆缘	猿	愿缘
圆	圆缘源	员	猿缘	苑	员猿圆	员	猿源	圆	员缘	员	愿缘
猿	圆缘缘	远	愿缘	缘	猿缘	远	猿圆	员	员缘	圆	苑缘
缘	圆缘圆	缘	愿缘	圆	苑缘	源	圆缘	源	员缘	源	远缘
愿	圆缘缘	愿	源缘	愿	圆缘	愿	圆缘	愿	愿缘	愿	源缘

从表 愿愿源可以看出，只有肖氏硬度与锯片的单位磨耗的相关性较接近，其他的岩石性能指标与锯片的单位磨耗没有建立什么相关性。为此，人们赞同采用模拟装置来测定锯切时的垂直切削力，以反映岩石锯切的难易程度。图 愿愿源为测量切削力的模拟装置示意图。

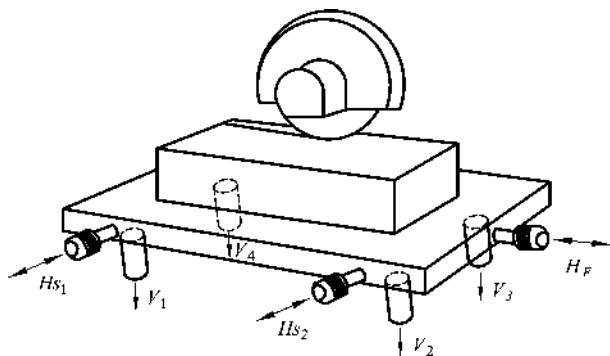


图 愿愿源 模拟装置示意图

灾灾灾灾—测量垂直力的传感器；

匀匀—测量水平力的传感器；匀匀，匀匀—水平位移传感器

试验结果如图 愿愿源所示。可见垂直切削力与锯片单位磨耗的相关性相当好。它综合地反映了岩石锯切的难易程度。

愿愿源 切割参数对锯片锯切的影响

愿愿源 锯片线速度

如果进刀量和走刀速度不变，金刚石锯片的单位径向磨耗 择取决于锯片的圆周速度 灾线速度)。对于大多数岩石，存在着一个最佳线速度，图 愿愿源为采用 杂牌型，源美国目的金刚石切割黑色花岗岩时所获得的典型结果。当切割效率为 愿愿愿 转，最佳切割的线速度为 猿猿猿

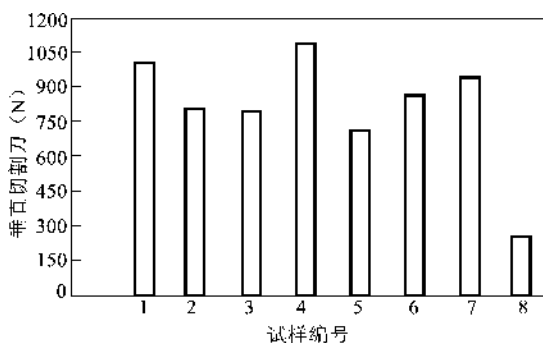


图 8-10 垂直切削力与试样的关系

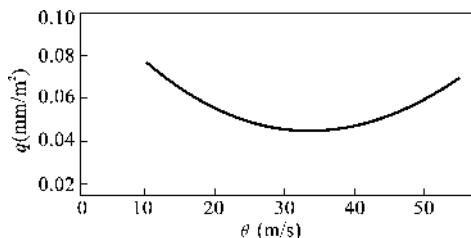


图 8-11 线速度与单位径向磨耗的关系

金刚石锯片的单位径向磨损 的形式有两种：

(1) 冲击磨损：由于金刚石与岩石的冲击而造成的磨损；

(2) 机械磨损：由于金刚石切削岩石的磨耗，见图 8-10

当切割硬质岩石时，冲击磨损是主要因素，导致最佳线速度在较低的区段内。反之，当切割软质岩石时，冲击磨损就显得不突出了，最佳线速度就处于较高的区段内。对于切割不同材料的线速度可参考表 8-1

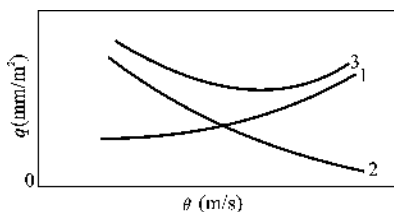


图 愿原猿 金刚石切削的磨损形式
 员—冲击磨损；圆—机械磨损；猿—总磨损

表 愿原猿 金刚石切削材料与线速度的关系

材料名称	电瓷，刚玉， 石英，硬花岗岩	软花岗岩， 铸石，陶瓷	大理石， 玻璃	混凝土
线速度(皂转/皂)	猿缘- 猿园	猿缘- 源园	源园- 缘园	源园- 源猿

愿原猿 走刀速度和进刀量

切割速度等于走刀速度和进刀量之积，即：

$$v = v_f \cdot a_p \quad \text{(愿原猿)}$$

式中：v——切割速度；

v_f——走刀速度；

a_p——进刀量(切割深度)。

走刀速度或送料速度可参考表 愿原猿 进刀方式通常采用分层切的方式，进刀量 a_p 一般为 猿皂左右。

表 愿原猿 金刚石切削材料与进刀速度的关系

材料名称	硬花岗岩	大理石	混凝土	刚玉	玻璃钢， 石棉水泥板
走刀速度(皂转/皂)	猿缘- 猿猿	猿园- 猿猿	猿缘- 猿猿	猿园- 猿猿	猿缘- 猿猿

冷却液

(1) 冷却系统

石材锯切作业几乎全部采用 截型冷却系统，这种两面的冷却系统由弯头和穿孔管道组成。对这种冷却液供给系统的要求：

① 管道系统必须引入锯片中心部分，使从管道中流出的冷却液，从锯片的切向方向流到锯片上；

② 管子上的孔眼必须被定位，使冷却液不是以直角而是以 45° 至 60° 的角度流向锯片中心部分；

③ 必须选择合适的眼数，以便冷却液不断地流过管子整个长度，并以 10 至 15 公斤/厘米² 的压力喷到锯片中心部分；

④ 为了交替深切，使冷却液覆盖成扇形的面积，见图 4-15 所示，通过改变叉形接头长度、截形管的形状或孔眼的分布，可以使冷却液覆盖较小的扇形面积或成为单面扇形冷却面积。

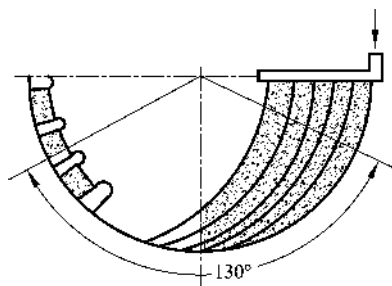


图 4-15 冷却液覆盖面积

(2) 冷却液量计算

冷却液量 Q 可以按下式计算：

$$Q = \frac{\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{\frac{Q}{\rho}}}{\rho} \quad (4-15)$$

式中： μ ——液体的摩擦阻力系数，对于水为 0.025；

μ ——面积减小系数，一般为 0.5~0.7;

A ——管子横断面积， cm^2 ;

g ——重力加速度;

P_0 ——孔眼的出口压力，一般为 0.5~1.0 MPa;

ρ ——冷却液密度。

冷却液量 Q 按照经验公式计算如下：

$$Q = 0.001 \pi D^2 v \rho \quad (1)$$

式中： D ——锯片直径， mm ;

v ——冷却液类型

在石材锯切作业中，相当长的时间内几乎全部使用自流或循环水冷却锯片及排出岩屑，到了 20 世纪 70 年代开始研究和使用的冷却液。

在我国目前使用的润滑冲洗液可以分为两类：

1. 水溶性润滑剂——可溶于水中的钠皂。如葵脂钠皂、松香钠皂等。

2. 乳化型润滑剂——其主要成分为表面活性剂和基础油。如目前工业上常用的皂化溶解油。

乳化型润滑剂加入水中即成为水包油型乳状液，其润滑剂用量一般为冲洗液量的 0.5%~1.0%。对于锯片切割花岗岩普遍采用阴离子型表面活性剂。

第 10 章 金刚石磨具

10.1 概述

10.1.1 金刚石磨具的概念和特点

磨具是用于磨削、研磨、抛光等工作的磨料制品的总称。根据磨具形状和使用方式的不同,广义地可将磨具分为两大类,即砂轮、油石、砂瓦、磨头、涂附磨具(砂带)和研磨膏等。

金刚石磨具是指用金刚石作为磨料,用各种不同结合剂将其粘结成具有一定几何形状或膏状的磨料制品的总称。如金刚石砂轮、金刚石磨头、金刚石油石等。

金刚石磨具早在 19 世纪 40 年代就已出现,在 20 年代得到了大力发展和普及。一方面,人造金刚石的出现,解决了金刚石磨料以较合理的价格大量供应问题;另一方面,科技的发展也对发展金刚石磨具提出了客观要求。如硬质合金的大量应用,被称之为“空间时代”的陶瓷、金属陶瓷和超硬合金等新型材料的发展,“高、精、尖”技术提出的更高水平的加工要求等,均为金刚石磨具的发展提供了用武之地。而金刚石磨具不但在难加工材料领域取得了不可替代的重要地位,而且迅速进入过去曾属于碳化硅、刚玉等普通磨料类磨具的加工领域,还有一个更为重要的原因,在于金刚石磨具本身优异的技术经济指标。

由于金刚石磨料具有硬度高、强度大以及优异的耐磨性能等力学特性,使得金刚石磨具与普通磨具相比,具有明显的优越

性,它不但磨削效率高,磨削力小,而且磨削温度较低,可避免工件表面的烧伤和开裂;不但磨削质量好,加工精度高,而且磨具消耗少、寿命长,加工成本低;不但改善设备、工具和工件的加工工况,减少能源消耗,而且改善了工人的劳动条件;不但能胜任其他类型磨具无法解决的难加工材料的加工问题,而且为开发新材料、新机具提供了有利条件。

猿源猿 金刚石磨具的结构

金刚石磨具与金刚石钻头、金刚石锯片等类似,一般亦由工作层、过渡层和基体三部分组成。图 猿源猿 为一金刚石砂轮结构图。

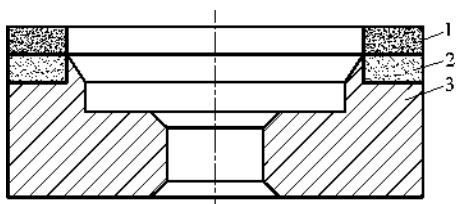


图 猿源猿 金刚石砂轮结构图

员—工作层;圆—过渡层;猿—基体

工作层(金刚石层):它由金刚石磨粒、结合剂和气孔三部分构成,是磨具起磨削作用的部分。金刚石是磨削行为的主体;结合剂将磨粒粘结成具有一定几何形状的磨具;气孔表征磨具的密实程度,它对磨削效率和工件质量有直接影响。气孔还起散热和容屑作用。金刚石磨具工作层的厚度一般均较小,金刚石砂轮工作层厚度在 员缘—猿皂 之间。

过渡层(非金刚石层):该层不含金刚石,由结合剂和其他材料组成。其作用是将工作层牢固地结合在基体上,并保证工作层

的完全使用。为简化制造工艺，有时亦可不要过渡层，工作层直接与基体粘接，如较小的平形砂轮和电木基体的砂轮就没有过渡层。

基体：它承载工作层，并使磨具固定于砂轮机和磨床上。根据结合剂种类的不同，金刚石磨具可用钢、铝合金、电木等材料作基体。一般，金属结合剂磨具用钢作基体，树脂结合剂磨具用铝合金、电木或酚醛加铝粉等材料作基体。基体在能够保证强度和刚度的前提下，愈轻愈好，所以铝基体最常见。

9.1.2 金刚石磨具的分类

金刚石磨具通常按结合剂分类，亦可按磨削方式和形状分类，分别如图 9-10、图 9-11、图 9-12。

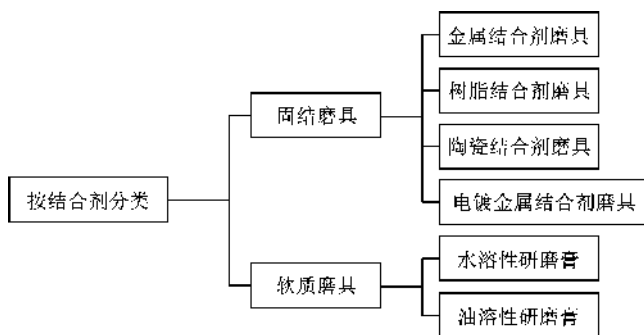


图 9-10 按结合剂分类

9.1.3 金刚石磨具特征标记方法

按照 GB 15577-1995 规定，金刚石磨具产品应有下列特征标志。

特征标志书写顺序

形状 尺寸 磨料 粒度 结合剂 浓度

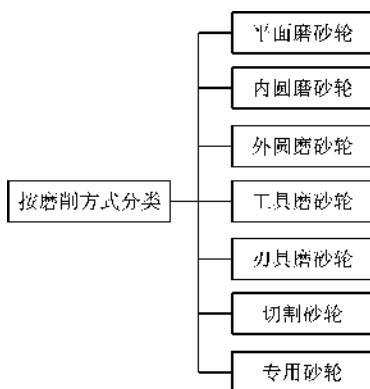


图 2-1-1 按磨削方式分类

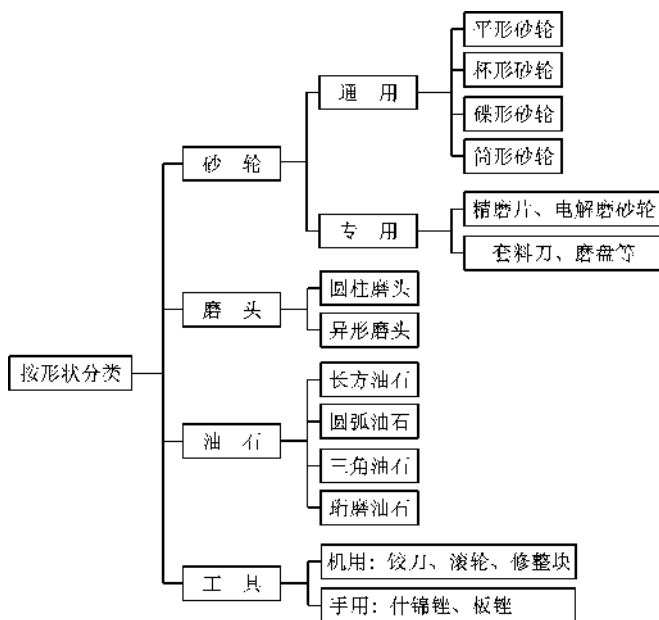


图 2-1-2 按形状分类

尺寸书写顺序

直径 总厚度 孔径 磨料层厚度 磨粒层深度

特征标记举例

图 8-1-1 给出了平形砂轮的特征标记示例；图 8-1-2 给出了带柄平形油石的特征标记示例。

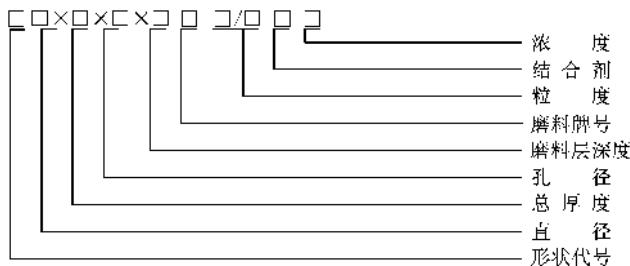


图 8-1-1 平形砂轮的特征标记

金刚石磨具特性与结构

金刚石磨具特性与结构参数包括磨料、粒度、硬度、结合剂、浓度、形状和尺寸等方面。对于各种不同的磨削加工目的，要取得好的技术经济指标，必须对上述参数进行合理选择。

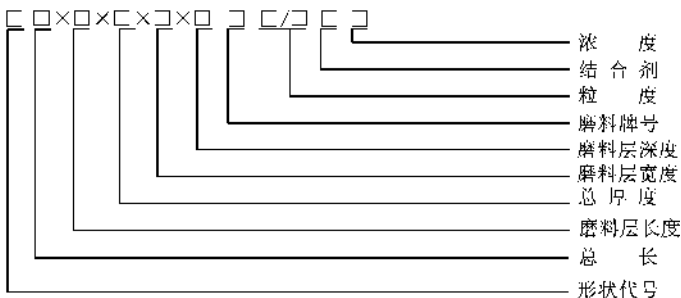


图 8-1-2 带柄平形油石的特征标记

怨园爱磨料

金刚石磨具的磨料可选用人造金刚石或天然金刚石。金刚石的特点是硬度极高、耐磨性好、有锋利的切削刃。天然金刚石表面光滑、韧性较好，强度较高，但其自锐性不及人造金刚石好，并且产量有限，价格昂贵，我国主要靠进口，因此使用不多。人造金刚石强度、韧性和耐磨性略逊色于天然金刚石，但其粗糙的表面，不完整的晶形和较大的脆性却带来了自锐性好，磨削效率高的优点，其成本较低，来源充足。因此，金刚石磨具主要使用人造金刚石磨料。

砸文阅类：该类金刚石适用于制造树脂结合剂及陶瓷结合剂磨具。主要用于硬质合金刀具的刃磨，硬质合金工具的半精磨和精磨，半导体材料的精磨、倒角等。

配月阅类：它主要用于制造金属结合剂和陶瓷结合剂磨具，以及一般的电镀工具。可用于硬质合金粗磨、成型磨和玻璃、陶瓷等非金属材料的加工。

孺阅类：这种高品级金刚石只在修整滚轮和电镀金属结合剂金刚石砂轮中才少量使用，大多用于石材切割锯片和硬岩地质勘探钻头。

近来国内外新发展了多种镀金属层的金刚石。砸文阅金刚石表面镀铜或镍用于加工硬质合金，取得良好效果；在配月阅或孺阅金刚石表面涂覆一层钛，可延长金刚石磨具的使用寿命。

怨园爱磨粒度

金刚石粒度选择，首先应考虑加工要求，粗磨时，用较粗颗粒，精磨时用较细颗粒；其次应考虑结合剂的种类，一般对金刚石粘结较牢固的结合剂宜采用较粗颗粒，粘结强度较差的结合剂适用于较细颗粒；此外，还应考虑磨削效率，在可以满足加工要

求, 结合剂强度足够的条件下, 可选用较粗粒度的金刚石, 以提高磨削效率。表 9-1 为不同磨削要求下一般使用的粒度。

表 9-1 金刚石磨具粒度选择参考表

粒度号	磨削硬质合金工件的粗糙度 (μm)		主要用途
	树脂结合剂	青铜结合剂	
100 ~ 150		0.8 ~ 1.6	粗磨
150 ~ 200		0.8 ~ 1.6	粗磨
200 ~ 250	1.6 ~ 3.2	1.6 ~ 3.2	粗磨、半精磨
250 ~ 300	3.2 ~ 6.3	1.6 ~ 3.2	半精磨、精磨、细磨
300 ~ 400	6.3 ~ 12.5		半精磨
400 ~ 500	12.5 ~ 25		细磨、超精磨
500 ~ 600	25 ~ 50		研磨、抛光
600 ~ 800	50 ~ 100		研磨、抛光、镜面磨

9.2 金刚石硬度

金刚石磨具的硬度是指结合剂粘结磨粒的牢固程度。金刚石磨具的硬度直接影响加工效率和磨具寿命(参见表 9-2), 同时也会影响磨削质量。因此应根据具体情况合理选择磨具硬度。

表 9-2 金刚石砂轮硬度对磨削比的影响

砂轮硬度	在再	在
砂轮面宽度(皂皂)	磨削比	磨削比
缘	远	獠
远	愿	濶
缘	远	缘

(负)磨削硬材料, 磨粒易磨钝, 为使磨粒及时脱落和自锐, 应选用较软磨具。磨削较软材料, 则正好相反。但若磨削特别软

而韧的材料时，为避免堵塞磨具，应选较软磨具。

(圆)磨削温度高，冷却又较差的情况下，为避免工件烧伤，应选用较软的磨具。

(猿)磨粒受力大，如磨削断续表面、纵向进给量大等情况下，磨粒容易脱落，应选用硬度较大的磨具。

(源)成型磨削以及母线几何形状要求高时，为保持磨具外形轮廓，磨具硬度应适当提高。

金刚石磨具硬度等级见表 猿，需要指出的是，金刚石磨具硬度一般均高于普通磨料类磨具，其分级也没有普通磨料细。如树脂砂轮硬度只按表 猿分大级，金属结合剂磨具分级更粗，甚至无严格分级。

表 猿 金刚石磨具硬度等级

硬度等级	超软	软	中软	中	中硬	硬	超硬
代号	悦	砸	在	在	在再	再	悦

猿 结合剂

结合剂是磨具特性的最主要影响因素之一。磨具强度、硬度、抗冲击能力、耐热性、耐腐蚀性等均取决于结合剂，此外它还影响磨削质量。

目前生产金刚石磨具常用的结合剂有四种，即树脂结合剂、金属结合剂、陶瓷结合剂以及电镀结合剂。按照它们对金刚石粘着力大小和耐磨性强弱，可依下列顺序排列：

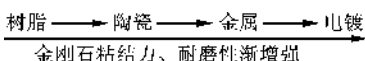


图 猿 结合剂性能排列顺序图

现将四种结合剂的特性、用途分述如下：

(夂)树脂结合剂(代号 月)

主要有酚醛树脂。它由苯酚与甲醛按一定比例在催化剂作用下聚合而成。它的主要特点是自锐性好，富有弹性和良好的抛光性能，不易堵塞和发热，磨削效率高、质量好，易于修整。广泛用于硬质合金材料的半精磨、精磨和抛光等工序。该种结合剂不足之处是耐磨性差，且不适合大负荷磨削。

(圆)金属结合剂(代号 酏)

金属结合剂中使用最多的是青铜结合剂。该类结合剂的特点是粘结强度高，耐磨性好，可承受较大的负荷，且导热性能良好。主要用于非金属脆性材料的加工，如陶瓷、玻璃、石材、混凝土以及宝石、半导体材料等，适于粗磨、半精磨、成型磨以及切割、磨边等。这种结合剂的缺点是自锐性差，磨削效率不及树脂结合剂，使用不当会造成发热和堵塞，且较难修整。

金属结合剂是一种广义的结合剂，除青铜类外，还有以碳化钨为骨架的硬质合金结合剂，以铁镍为主的铁基结合剂等，它们各具特点，分别适用于不同的加工目的。

(獠)陶瓷结合剂(代号 灾)

用于制作金刚石磨具的陶瓷结合剂属低熔陶瓷。其特点是刚性强，耐热性、耐腐蚀性好，不易堵塞和发热，磨削效率高，修整方便。该类磨具金刚石消耗介于金属结合剂磨具与树脂结合剂磨具之间。陶瓷结合剂的缺点是质地脆，加工质量较差，金刚石回收困难，其应用范围较小，一般限于硬质合金的粗磨和半精磨。

同时在陶瓷和金属结合剂基础上发展起来的一种新型结合剂——金属陶瓷结合剂，这种结合剂的金刚石磨具磨削效率高，磨具消耗低于树脂结合剂，磨削质量亦有所提高，特别是磨削硬质合金和钢材组合工件，可获得平整光滑的表面。该种磨具适合于硬质合金刀具、模具及其他工件的粗磨、半精磨，以及高强耐

热合金钢、碳钢等材料的磨削。

(源电镀金属结合剂

电镀金属结合剂通过镍或镍钴合金的电沉积方法得到。其特点是结合力很强,加工表面质量好,磨粒分布均匀,有很强的适应性,可制成厚度很小、形状复杂、精度高的各种磨具,如牙医磨头、异形磨头、内圆切割片、什锦锉、套料刀、修整滚轮等。其不足之处是工作厚度小,金刚石多为单层分布,磨具寿命不长。

猿猿猿 浓度

金刚石磨具浓度是指金刚石体积与磨具工作层体积的百分比。当该百分比等于 猿猿 时,将磨具浓度定义为 猿猿。浓度是金刚石磨具中的一个重要参数,浓度过高或过低都会导致磨粒过早脱落,增加磨耗,加工质量也变差。因此,应根据磨料粒度、结合剂种类、磨具形状、加工工序及其要求进行合理选用。一般选择原则如下:

(员)磨料细,浓度应低。因为在工件精磨时才选细磨料,且常用具有良好抛光性能的树脂结合剂磨具加工,精磨工件的磨削余量少,树脂结合剂的结合力弱,均不适合高浓度。

(圆)结合剂粘结强度越高,可牢固粘结金刚石的数量越多,浓度越高。电镀金属结合剂的粘结力最强,其浓度可高达 猿猿 ~ 猿猿。结合剂与浓度之间的关系见表 猿猿

表 猿猿 磨具结合剂与浓度之间的关系

结合剂种类	公称浓度(猿)	金刚石含量(猿猿)
树脂	猿~ 猿	猿~ 猿
陶瓷	猿~ 猿	猿~ 猿
青铜	猿~ 猿	猿~ 猿
电镀	猿~ 猿	猿~ 猿

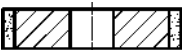


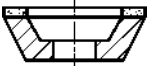
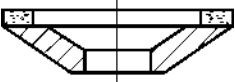
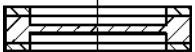
(猿)要求较好外形轮廓的磨具,浓度要高。如成形磨具、工作面较宽的磨具、磨槽砂轮等。

(源)磨削质量要求低,磨料浓度可以高,以提高磨削效率。

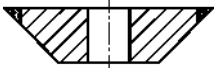
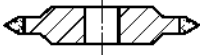
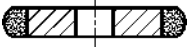

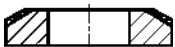




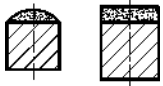
怨缘 金刚石形状与尺寸

金刚石磨具的形状和尺寸取决于加工方式、工件形状、加工质量以及磨床类型等因素。磨具形状和尺寸规格均已标准化。常用金刚石磨具的形状、代号及用途列于表 怨缘。为满足实际生产中的特殊需求,各制造厂家还发展了若干非标准规格的产品,可供用户选用。

表 怨缘 常用金刚石磨具形状、代号与用途

序号	名称	断面形状图	代号	使用范围
员	平形砂轮		员缘员	用于外圆、平面刃磨
圆	平形小砂轮		员缘圆	用于内圆磨
猿	杯形砂轮		员缘猿	用于刃磨、平面磨
源	碗形砂轮		员缘源	用于刃磨、平面磨
缘	碟形砂轮		员缘缘	主要用于刃磨
远	双面凹砂轮		员缘远	主要用于磨量具和砂轮机磨削

续表

序号	名称	断面形状图	代号	使用范围
苑	平形砂轮		源苑	用于仿型磨、刃磨等
愿	平形加强砂轮		源愿	主要用于螺纹磨
怨	平形带弧砂轮		源怨	用于圆弧面成型面磨削
园	切割砂轮		源园	用于非金属材料切割
员	光学磨边单斜边砂轮		源员	专用于光学玻璃磨边
员	光学磨边平形砂轮		源员	专门用于光学玻璃磨边
员	带柄长方油石		源员	用于手工打光和修磨
员	带柄圆弧油石		源员	用于手工打光和修磨
员	带柄三角油石		源员	用于手工打光和修磨
员	弧面、长方形磨油石		源员	专门用于各种形磨

9.2.2 金属结合剂金刚石磨具制造

金属结合剂金刚石磨具的制造与地质钻头、金刚石锯片刀头的制造方法类似。冷压法和热压法是两种主要生产方法，其工艺流程见图 9-10。冷压法由于成型压力高，不能成型形状复杂的磨具，且工艺复杂、废品率高等原因，目前使用减少。热压法成型压力很小，烧结温度较低，能成型形状复杂的产品，且工艺较简单，产品质量能够保证，因而成为主要的生产方法。

9.2.2.1 原材料

1. 金属粉末

金属粉末在结合剂中的作用有两个：一是起粘结相作用，如青铜磨具中的铜锡合金；二是改善结合剂的性能，如电镀磨具中加入银粉，改善导电性。金属粉末的选择必须考虑产品性能、工艺性能和经济因素，这些因素与金属粉末的生产方法有关。一般，电解法能够得到纯度较高、粒度范围变化较大的粉末，但成本较高，还原法和雾化法则与之相反。

表 9-1 常用金属的酸碱溶解性和氧化性能

金属	铜	镍	钴	银	锌	锡	铅
硝酸	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶
盐酸	不溶	溶	溶	沉淀	溶	溶	不溶
硫酸	溶	溶	溶	溶	溶	不溶	不溶
氢氧化钠	不溶	不溶	不溶	不溶	溶	溶	溶
空气中的氧	氧化	不溶	不溶	不溶	不溶	不溶	氧化

(1) 金属粉末的酸碱溶解性

从金刚石磨具废品中回收金刚石,是通过溶解结合剂实现的,因此,金属粉末的酸碱溶解性是金刚石磨具制造中最关心的化学性质。表 猿猿列出了几种常用金属的酸碱溶解性和氧化性能。

对于在空气中易氧化的金属粉末,如铜、钴、铅等,使用前往往需要进行还原处理。采用预合金粉末作粘结剂,可防止金属粉末的氧化,且能避免结合剂烧结后的偏析,从而改善产品质量。

(圆)金属粉末技术条件

原材料技术条件是根据产品性能和工艺要求提出的,列出技术条件的是那些对产品质量和工艺过程影响较大的性能指标。金属结合剂所用粉末技术条件列于表 猿猿

表 猿猿 金属粉末的技术条件

金属	铜粉	银粉	锡粉	镍粉	钴粉	青铜粉	锌粉	钨粉
制取方法	电解	电解	还原	还原	还原	雾化	还原	还原
金属含量(豫)	猿猿	猿猿	猿猿	猿猿	猿猿	猿	猿	猿
粉末粒度(目)	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿
粉末色泽	红色	银色	灰白	铁灰	青灰	淡红	浅灰	青灰

猿 碳化钨

粉状碳化钨和颗粒状的铸造碳化钨是金刚石工具中常用的两种原料。它们在结合剂中起骨架和耐磨相的作用。粉状碳化钨用于高硬度制品和修整工具的制造,铸造碳化钨主要用于钻头的制造。

碳化钨的主要特点是硬度高,弹性模量大,耐磨性好。镍、钴、钛等多种金属和合金对它有良好的浸润性,适合制造高硬度制品。

猿 非金属材料

石墨是最常用的非金属材料,其次是四氧化三铁等。

石墨是一种非极性材料,它本身不能烧结,在结合剂中是以自由形态存在的。细粒度的石墨分散度很高,加入结合剂中能起

到多种有益的作用。青铜结合剂中往往需要加入石墨调节其性能。三氧化二铁不如石墨用得普遍，其主要作用与石墨类似。

猿 青铜结合剂

猿 结合剂的种类

金属结合剂按其合金种类大致可分为四大类，即青铜类、钴镍类、钨合金类和硬质合金类。其中，青铜结合剂是用得最多的一类。为了适应各种不同的加工对象和加工方法，青铜结合剂又有很多种，根据金属组元的多少，分为二元合金系、三元合金系和多元合金系。

(员) 二元合金系

青铜结合剂中最基本的二元合金结合剂是由铜和锡两种金属，外加一定量的石墨构成。如悦悦缘，杂缘，外加缘的石墨，是国内使用过的二元合金配方。德国温特公司试制的一种脆青铜结合剂为悦悦缘~缘，杂缘~缘，另加一定量的石墨粉。

(圆) 三元合金系

它是在二元合金基础上加入第三组元金属构成的。根据结合剂性能要求，最常用的第三组元有银、锌、铅、镍等粉末。如前苏联高浓度(悦悦缘~缘)的珩磨油石采用悦悦缘，杂缘，缘缘缘配比；美国曾采用悦悦缘，杂缘，外加缘缘缘的的配比制造砂轮。我国使用过的三元合金结合剂也有多种，如悦悦缘~缘，杂缘~缘，粤缘~缘，多用于玻璃切割锯片等。

(猿) 多元合金系

金属组元超过三的称为多元合金。它的构成仍以二元合金为基础加入第三、第四组元。我国使用的多元合金结合剂有悦悦缘，杂缘，缘缘缘，在缘，此外还有远缘青铜粉等。

猿 结合剂性能调整

为保证金刚石磨具产品的使用性能和制造工艺性能，对金属

结合剂主要性能提出的基本要求与对金刚石钻头和金刚石锯片粘结剂提出的要求有类似之处。为达到这些性能要求,可通过改变结合剂配方和加入其他添加剂加以调整。

(猿) 锡青铜的机械性能

在二元锡青铜中,锡的加入量对青铜强度 $\sigma_{\text{遭}}$ 和塑性 δ 的影响如图 猿原愿 所示。从图中可以看出,当锡含量为 缘缘 ~ 远缘 时,合金塑性最好,但强度却很低;当锡含量增加到 员圆缘 时,合金塑性急剧下降,机械强度明显增加;当锡含量增加到 圆缘缘 ~ 圆猿缘 时,青铜机械强度最高,但塑性却变得很小,脆性很大;当锡含量超过 猿猿缘 时,合金机械强度迅速下降到很低值。青铜作为金刚石砂轮结合剂,希望有较高的机械强度和适当的脆性,所以,一般情况下结合剂中锡的含量都在 员圆缘 ~ 圆猿缘 之间。这样的结合剂配之以合理的烧结参数,脆性是足够的,但若烧结温度过高或保温时间太长,由于 α 固溶体的过多形成或锡的偏析,会使结合剂的脆性降低,砂轮的使用性能变差。

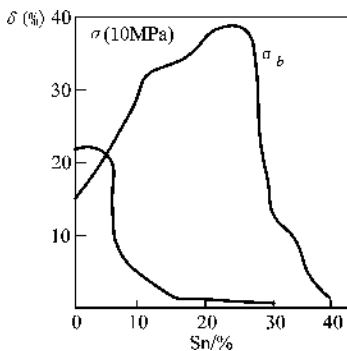


图 猿原愿 锡含量对青铜强度 $\sigma_{\text{遭}}$ 和塑性 δ 的影响

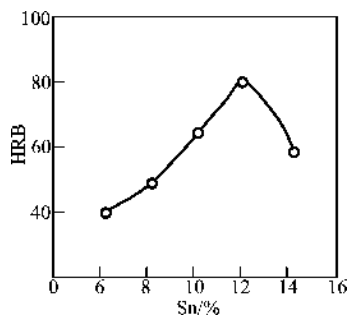


图 猿原怨 锡含量对青铜硬度的影响

锡含量对青铜合金硬度的影响如图 8-1 所示。从图中可以看出,锡含量在 10% 左右时,青铜硬度最高。

磨具对结合剂性能的要求是多方面的,只靠简单的二元合金配比是难以达到的,必须采用多元合金结合剂才能实现。

(3) 第三组元对合金性能的影响

在铜锡二元合金中加入铅,可以提高合金的耐磨性、密实性和抗蚀性,这些性能对提高磨具耐用度有一定的好处,但是加铅结合剂的机械强度有所降低,所以加铅量必须控制适当,以确保磨具安全使用。

加镍能够同时提高合金的耐磨性和机械强度。镍弥散在合金中,起细化合金晶粒的作用。

在锡青铜中,少量地加锌,其作用与锡相似。它能代替锡存在于铜中,这时 1% 的锌相当于 2% 的锡,这是图 8-2 二元合金平衡状态图中 α 固溶体的组成。

表 8-1 银对结合剂性能的影响

序号	结合剂配比(%)			结合剂抗折强度(MPa)		
	Cu	Sn	Pb	Ag	Ag	Ag
1	10	10	0	10	10	
2	10	10	1	10	10	10
3	10	10	2	10	10	10
4	10	10	3	10	10	10

银粉也常常加入锡青铜中,它除了能改善导电性,还可大幅度提高结合剂抗折强度。表 8-1 列出了银对结合剂性能影响的试验数据。

(4) 其他添加剂

石墨是青铜结合剂中最常用的添加剂。它还是一种很好的固

体润滑剂，常被用作脱模剂。把它加入结合剂中，能降低金属粉末颗粒间的摩擦，改善合金的压制性能。石墨在高温状态下与氧作用，对金刚石和结合剂合金起保护作用；石墨呈弥散状态分布在结合剂中，形成微气孔，有助于冷却和磨屑的排出，且提高结合剂的脆性，防止磨具变形；小颗粒石墨还能润滑磨削面，降低磨削力，提高磨削效果。

石墨的加入形式有两种：粉末状和颗粒状。早期多采用粉末状加入，用量一般不大，约占结合剂量的 员豫 ~ 缘豫；近年来有很大提高，约占结合剂的 员园豫 ~ 源园豫。国外还出现了加颗粒状碳粒的青铜结合剂。由于碳粒不能烧结，大量加入会引起强度明显下降，所以采用在碳粒外镀金属衣的方法，保证结合剂的机械强度。据介绍，这种结合剂的磨具，切削力和磨削热都很低。

四氧化三铁是一种氧化物，它的脆性大，加入结合剂中有助于提高结合剂的脆性，从而克服磨具易堵塞的缺点。四氧化三铁的加入量较小，一般为青铜量的 猿豫 ~ 苑豫。

猿猿 磨具成型

猿猿.1 成型方法

(员) 冷压法

冷压法的工艺流程如图 猿猿.1 所示。流程中带基体成型的磨具有杯、碗、碟、单面凹、双面凹和单、双面斜边等形状的砂轮，它们以非金刚石层作过渡，将含金刚石的工作层压在钢基体上，不带基体成型的磨具，平形砂轮就是最好的代表。

(圆) 热压法

根据烧结设备不同，热压工艺有两种。一种是在马弗炉或钟罩炉中烧结，它在烧结前先用较小压力预压一次，然后送入烧结炉中烧结，达到保温时间后取出模具立即进行第二次压制。另一种是用中频感应加热或特殊结构（带压机或其他加压装置）的电

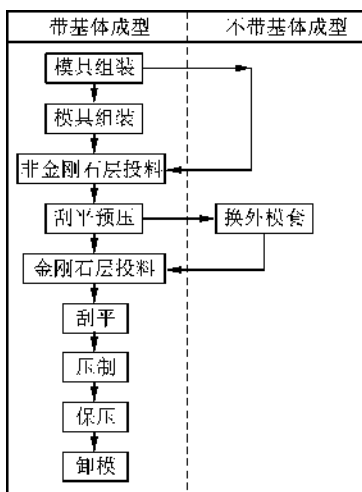


图 9-5-1 摇冷压成型工艺流程

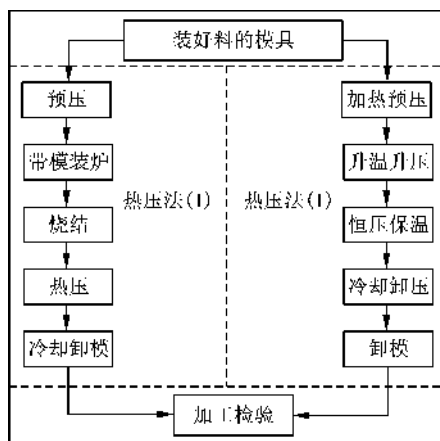


图 9-5-2 两种热压工艺流程图

阻炉加热,装好料的模具在炉中边烧结边加压,并在恒压下进行保温烧结。这两种热压工艺流程如图 怨原原所示。

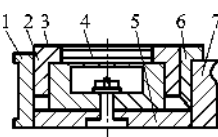
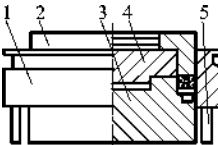
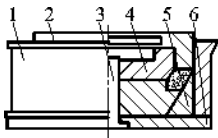
比较这两种工艺可以看出,它们是各有特点的。前者炉腔大,较适合大规格磨具的制造,不足之处是操作工艺较麻烦,生产效率也低,并且成型压力大,需要较大吨位的压机,此外,保温时间长、温度较高,对金剛石强度影响较大。后者不但操作简单,成型烧结速度快,而且成型压力小,保温时间短,温度也较低。规格不大的磨具,用这种工艺方法更有优越性。

模具与基体设计

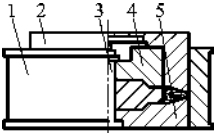
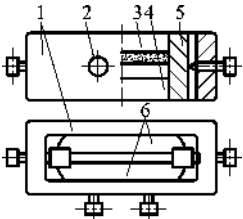
(员)成型模具

金剛石模具形状多种多样,其模具也较复杂,表 怨原列出了几种比较典型的成型模具结构。

表 怨原 几种典型模具结构

序号	砂轮形状	模具结构	模件名称
员	平形砂轮模具结构(直径跃员毫皂)		圆非金剛石层模套 圆非金剛石层压环 猿芯体摇源芯棒摇 缘垫板 源金剛石层压环 苑底金剛石层模套
圆	杯、碗、碟、筒形,单面凹砂轮模具结构		圆模套摇圆压环 猿基体摇源芯体
猿	碗形二号、碟形二号砂轮模具结构		圆模套摇圆压环 猿芯棒摇源芯体 缘环摇源底板

续表

序号	砂轮形状	模具结构	模件名称
源	双斜边砂轮 模具结构		模套 压环 芯棒 芯体 底板
缘	方形、弧形 油石模具 结构		模套 上压块 下压块 堵头 边块

金刚石砂轮的成型模具，通常由模套、压环、芯棒、芯体和底板等几部分组成。它们的形状及模件数目则因砂轮类型及压制方法而异。如当磨具的非金刚石层和金刚石层呈径向分布时，需要对应的两个模套和压环，分别用于压制非金刚石层和金刚石层（表 9-3 中平形砂轮模具即是）。

模具的不同模件，作用的不同受力情况也不一样，因此选材要求也有差别。表 9-4 列出了冷压模具部件材料及加工技术要求。

表 怨原五 冷压模具部件材料及加工技术要求

部件	模具材料	加工技术要求
模套 和芯体	①碳素工具钢：栽，栽； ②合金工具钢：郧，悦，悦； ③高速钢：宰，悦，宰	①热处理硬度：匀； ②平磨后退磁； ③工作面粗糙度：匀； ④配合等级：匀； ⑤径向跳动、不平行度、不垂直度均为匀
压坯	①碳素工具钢：栽，栽； ②合金工具钢：郧，悦，悦	①热处理硬度：匀； ②其他要求同模套
芯棒	栽	①热处理硬度：匀； ②表面粗糙度：匀； ③配合等级：匀
底板	同芯棒或模套	①热处理硬度：匀； ②平磨后退磁； ③表面粗糙度：匀

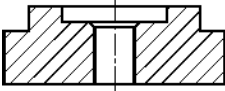
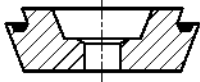
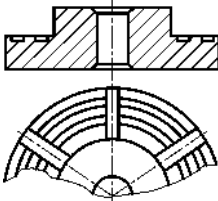
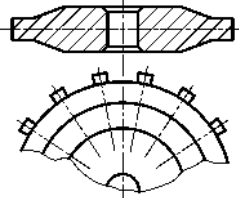
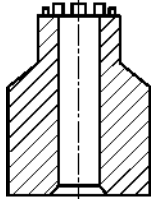
热压模具除了需要满足冷压模具的一些要求，它还应具有优良的耐热性能。早期曾使用耐热钢制造，它具有耐热性能好，寿命长等优点，但由于这种模具材料来源缺，成本高，加工难度大，近年已很少用。目前使用石墨和铸铁制造热压模具，效果较好，获得广泛应用。

目前，也有采用后加工的方法制造各种异形模具。这种方法对模具要求不严格，模具结构可简化，精度也可降低，模具材料只要能保证强度即可。这种方法可降低模具成本。

模具的结构一定要符合制造工艺要求，在设计冷压模具时，

如果模套高度超过 $\frac{1}{2}$ 孔径, 则要将模套内圆高度的 $\frac{1}{4}$ 处做成 $\frac{1}{4}$ 锥度, 以便于卸模。

表 9-1 摇冷压成型磨具基体结构

序号	基体名称	图形	备注
I	杯、碗形一号、碟形一号, 直径大于 $\frac{1}{2}$ 孔径光学筒形磨具基体		
II	碗形二号、碟形二号砂轮基体		磨基体材料: 铁或碳钢。
III	宽环单面凹砂轮基体		磨金刚石层环宽尺寸与孔的同轴度偏差不得超过 $\frac{1}{100}$ 磨基体的压制面要粗糙。
IV	双斜边砂轮基体		磨尺寸公差: 外径按基孔制 $H7/k6$ 配套。
V	直径小于 $\frac{1}{2}$ 孔径光学筒形基体		其他尺寸控制在 ± 0.01 以内。

(圆)磨具基体结构

规格较小的青铜结合剂磨具,用料少,成型压力小,可采用金属粉末压制基体的方法制造。如直径小于 愿皂的平行、弧形、单、双面砂轮和油石等产品,均采用粉末基体。而直径大于 员皂的平行砂轮,均采用镶套基体的方法,它对基体结构无特殊要求。但是大多数青铜结合剂产品是带基体成型的。在冷压成型工艺中,普通的平直钢体表面压上金刚石层,其结合强度非常有限。为保证磨具有足够的结合强度,需要对基体结合面进行合理的结构设计。表 怨原员是冷压成型磨具经常采用的基体结构类型。

在 I, II 类基体中,采用径向单燕尾槽和轴向凹槽相结合的结构形式,其连接的牢固程度足以满足工作要求。III 类基体结构是在金刚石层宽度较大时采用的,它除有轴向槽外,还有径向沟槽,这种纵横交错的沟槽使坯体的结合强度明显增加。IV, V 类基体采用外凸的楔形断续环结构,其机械啮合作用较好。若结合面较窄,无法在上面开槽,采用滚花的方法,也可以增加结合强度。

但必须注意,沟槽的深度不能超过 员皂。过深的沟槽,在压制过程中会因传导不好而使槽中密度降低很多,强度很差,反而不利于增加结合强度。

采用热压工艺时,磨具基体结合面上一般无需开槽(但 IV, V 类结构仍是需要的),就有足够的结合强度。在黏结强度要求特别高的某些特殊磨具中,钢基体表面可镀一层铜,再采用热压工艺制造,可以得到更理想的黏结。

猿原压制原理

冷压成型压制过程的实质是成型料粉末颗粒在压制压力作用下发生位移、变形、接触面积增加,气孔减少,从而密实成具有一定形状、尺寸、密度和强度的坯体的过程。

(员) 粉末压制过程中坯体密度 ρ 的变化规律

磨具坯体在压制过程中的变化大体可分为三个阶段,如图 9-1 所示。

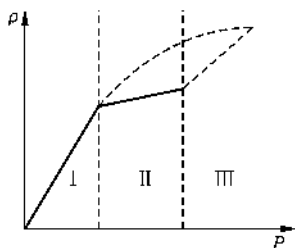


图 9-1 摇金磨具坯体密度 ρ 与压力 P 的关系

第 I 阶段摇粉末颗粒发生位移, 充填孔隙, 压力递增时, 密度增加很快。此阶段称为滑动阶段, 其特点是粉末颗粒在压力作用下的不均匀移动。

第 II 阶段摇压力继续增大时, 坯体密度增加很少, 这是由于经第 I 阶段压缩其密度已达到一定值, 粉末体内产生一定的压缩阻力。该阶段特点是位移已大大减小, 而粉末变形又尚未开始。

第 III 阶段摇成型压力超过粉末临界应力后, 粉末颗粒开始发生变形, 使坯体密度继续增加, 该阶段特点是粉末的弹性变形、塑性变形及脆性断裂以及少量的位移同时发生作用, 但随压力的不断增大, 密度的增加逐渐平缓下来。

实际上, 上述三个阶段是人为划分的, 磨具的实际压制过程是复杂的, 阶段之间并无明显界限。第 I 阶段虽以粉末位移为主, 但也会有少量的变形; 第 II 阶段对硬而脆的粉末是明显的, 而对塑性大的粉末, 这个阶段是不明显的; 第 III 阶段致密化固然是以粉末变形为主, 但也存在位移现象。

(圆) 坯体强度的形成

3. 保护介质

为防止制品中的金刚石和金属粉末在烧结过程中发生氧化，可采用气体、固体介质或真空加以保护，这对冷压制品的烧结尤其重要。

对青铜结合剂磨具来说，使用某些保护介质，还可将原料粉末中带入的少量氧化物在一定程度上加以还原，从而取得更好的烧结效果，提高制品性能。

气体保护介质主要有氢气、煤气、氢氮混合气体等还原性气体。固体保护介质目前主要使用木炭，木炭具有很高的活性，且安全可靠，价格低廉，在青铜结合剂制品中被广泛采用。

(1) 木炭

用木炭作保护介质，要将其破碎成缘~缘皂的炭粒。装炉时将炭粒充填在磨具四周的空间(一般不直接接触磨具)，起隔离空气的作用。炭粒在受热过程中与密封在烧结炉膛内的空气起燃烧反应，由于反应在氧气不足的条件下进行，生成物为悦韵，反应式：悦韵垣悦韵越悦韵。

悦韵的还原性很好，它对氧的亲合力比大多数金属都要大，因此当它渗入到制品的气孔中时，能将金属氧化物还原成纯金属，如将氧化铜还原为铜等。而新还原的金属原子活性较大，能促进烧结的进行。悦韵还原金属的反应式为：悦韵垣悦韵越悦韵垣悦韵。

充填的木炭除了要求较细的粒度，以增加表面积，改善隔离空气的效果外，它还必须是不含水分的干燥木炭，否则起不到保护作用，或者将削弱保护作用。

(2) 煤气

煤气的成分随其种类的不同而有较大差异。对于发生炉煤气，起保护作用的成分主要是悦韵和氢气。氢气和空气中的氧反应生成水蒸气，其反应式为：悦韵垣悦韵越悦韵。氢气还原金属的

反应式为： $\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C} + 3\text{H}_2$

(猿分解氢)

分解氢的成分是 C_2H_2 、 H_2 的混合气体， H_2 不参与反应， C_2H_2 是还原剂，其作用原理与煤气中的氢一样。

(源真空气氛)

真空烧结实际上是一种减压烧结，真空度愈高，愈接近中性气氛，即与烧结制品发生反应的机会愈低。真空气氛烧结可有效防止有害气体对制品的反应，如氧化、脱碳等，并可排除制品的吸附气体及其他杂质，起提纯作用，有利于烧结的顺利进行。

圆烧结工艺

(员装炉方式)

对于冷压工艺来说，装炉方式对制品烧结效果有重要影响。磨具形状和大小不同，装炉方式也有差别。形状复杂、规格较大的磨具产品通常用夹具夹固进行烧结，如图 怨原猿所示。

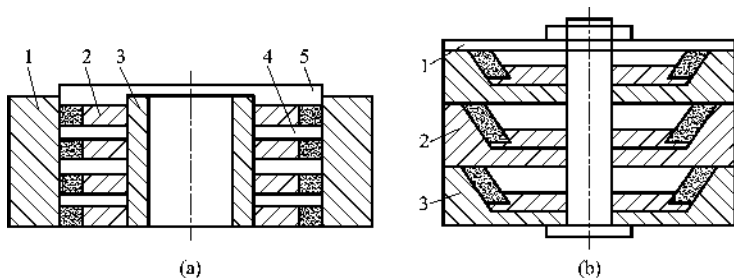


图 怨原猿 磨具的夹固方法

(猿) 平形砂轮 员—外套；圆—砂轮；猿—内套；源—隔板；缘—压板

(遭) 碟形砂轮 员—盖板；圆—砂轮；猿—形板

青铜磨具在烧结过程中的变化主要是收缩和膨胀。在自由状态下，制品各部分的收缩和膨胀是不均匀的，容易产生变形。磨具加上夹具后，制品的变形受到限制，从而保证产品的形状和尺寸。磨具形

状不同,变形规律也不一样。较大的平形砂轮,其烧结变形部位主要是外径和内径,所以装炉时要套住内外径[图 9-1-1],再加上平面方向的压重,各向变形都受到了限制。异形砂轮均带基体成形,又有一定的外倾角度,其烧结变形表现为往外塌边,用相应的形板将其托住,即可防止变形[图 9-1-2]。

夹固烧结能有效防止制品变形,但若处理不当,容易产生粘连废品,因此夹具与制品接触面要撒上一层石墨粉,使二者隔离。

做夹具的最好材料是铸铁,它的热膨胀系数比钢小,制品烧结后的尺寸比较准确。夹具在烧结膨胀力影响下,它的尺寸会逐渐变大,所以使用时要检查尺寸,发现不合格及时更换。

烧结制品在炉中的位置也对制品质量有重要影响。如对于钟罩炉来说,它的热源在四周,当制品装炉往一边偏时,制品四周受热不均匀,而磨具各部位受热不均是产生烧结废品的重要原因,有可能出现一部分欠烧,而另一部分过烧。因此,钟罩炉较适合烧结大规格产品。装炉时磨具放在炉内中心位置,不能偏向一边,如图 9-1-3 所示。

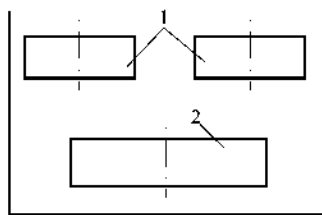


图 9-1-3 摇金装炉部位示意
员—不正确;圆—正确

(圆) 烧结曲线

烧结曲线是用于反映磨具在烧结过程中温度随时间变化的相

应关系的。制定烧结曲线要以结合剂性能、磨具尺寸以及制造工艺等因素为依据。冷压烧结和热压烧结是两种不同的工艺方法，所以它们的烧结曲线也不一样。

①冷压烧结曲线

尽管金刚石磨具种类和规格极其繁多，所要求的性能千差万别，但其烧结曲线的构成基本一样，都包括升温、保温和冷却三部分，如图 怨原缘 所示。

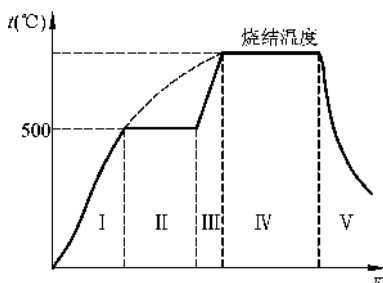


图 怨原缘 冷压烧结曲线

I—升温；II—保温；III—升温；IV—保温；V—冷却； τ —时间； t —温度

缘原益前属烧结第一阶段，制品坯体中发生的主要变化有，颗粒表面氧化物开始还原，吸附气体逐渐解吸并被排除，成型过程中加进的临时粘结剂挥发或分解，结合剂中易熔组分开始熔化，坯体中出现少量液相，等等。但此时磨具性能并无根本性变化。

缘原益保温的目的有两个，一是让坯体内粉末颗粒表面的氧化膜在还原性气氛作用下得到充分还原，使粉末颗粒表面具有更多活性原子，为坯体烧结做好准备；二是使快速升温下产生的坯体各部分之间的温差得以平衡，从而消除坯体内的应力。同时随保温时间延长，液相量也不断增加，并开始溶解固相物。但在烧结小规格磨具时，各部分温度及变化差异较小，就不需要缘原益保温阶段，如图 怨原缘 虚线所示。

缘园 达到烧结温度这一升温阶段,坯体中的主要变化是液相量显著增多,粉末体在液相表面张力作用下的移动、重排趋于完结,而粉末体的高能部位大量地溶解于液相中,使溶解度逐渐趋于饱和状态,以至坯体有较显著的收缩。

在烧结温度下进行保温,其目的是使坯体各部位的变化趋于平衡。同时,处于饱和状态的溶液开始向粉末颗粒表面的低能部位沉淀析出,至保温终点时,粉末颗粒表面一方面被溶解,一方面又被结晶析出,达到动态平衡。这个动态过程随保温时间的延长而不断伸向颗粒内部,同时坯体内的液相量也有所增加。因此过分延长保温时间,会使液相量过多,易造成低溶成分的偏析,影响烧结质量。

冷却过程也是烧结曲线的一个组成部分,冷却过程是液相结晶的过程。冷却快慢对制品的硬度、强度都有一定影响。这主要与晶体的类型和大小有关。冷却速度快,晶粒来不及长大,晶体比较细小,坯体强度相应提高。同时,快速冷却与平衡冷却不同,对青铜合金来说,在平衡状态下冷却, α 固溶体中锡含量达 员豫,而 α 固溶体多,坯体硬度低,塑性好。在不平衡状态下冷却, α 固溶体区域大大减小,金属电子化合物(β 相)较多,坯体脆性较大。这一性质对青铜磨具来说,至为宝贵。所以,青铜磨具的冷却,总是以较快的速度进行。此外,快速冷却节省时间和保护气体的消耗(若使用保护气体)。

出炉温度在某种意义上说,比冷却温度更重要。一般磨具在 苑园~ 愿益 出炉不会有问题。可是,像薄片切割砂轮,面积大,厚度小,很容易产生热变形,这样的产品必须冷却至室温才能出炉。

② 热压烧结曲线

热压烧结曲线如图 怨原远 所示。在热压工艺中,坯体预压只有在较低的压力下进行,磨具坯体的密度比冷压低得多,这时粉末特性(如颗粒形状、粒度组成、表面状态等)对烧结影响不显

著，坯体密度的提高不在于压坯内部自由烧结的毛细管力的作用，而在于接近烧结温度下的外力作用，使坯体发生塑性流动和扩散蠕变等复杂变化。

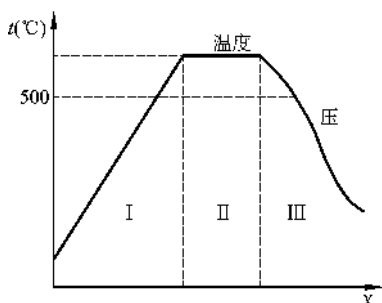


图 猿原猿 热压烧结曲线

I—升温；II—保温；III—冷却

热压烧结温度通常比冷压低 猿缘% 左右，保温时间也略为缩短。

青铜结合剂磨具的热压压制点温度一般在 缘园益左右。在烧结温度下压制，液相量较多，容易被挤出；低于 缘园益压制，塑性变形较困难，需加大成型压力。这两种情况对产品性能均有不利影响，所以必须掌握好施压时机。

猿原猿 树脂结合剂金刚石磨具制造

树脂结合剂金刚石磨具是以树脂粉为粘结材料，并加入填充材料，经热压、硬化及机加工等工艺制成的，具有一定形状的金刚石磨削加工工具。由于这种磨具具有弹性好、耐冲击、自锐性好、磨削效率高等优点，在机械加工行业得到推广应用。在目前生产的各类结合剂的金刚石磨具中，树脂结合剂磨具所占比重最

大。国外，硬质合金工件的磨削是用这种磨具加工的，它正在逐步取代碳化硅磨具。国内树脂金刚石磨具的品种和产量也逐年增加，质量不断提高，应用日益广泛。

树脂磨具原材料

磨料

制造树脂结合剂金刚石磨具的金刚石磨料主要有两类：

(1) 天然金刚石

这种金刚石表面粗糙，多呈不规则的针状或片状，其强度虽不高，但自锐性好。

(2) 镀金属衣的金刚石

天然金刚石表面镀镍或铜或钛。

结合剂

目前使用的树脂结合剂主要有酚醛树脂、聚酰亚胺树脂和环氧树脂、黑胶木粉以及其他新开发的品种等。

(1) 酚醛树脂

它是一种白色或淡黄色半透明固体粉末，在空气中易吸收水分而结块，比重 1.25，能溶于酒精和丙酮。未加入乌洛托品前是热塑性树脂；加入乌洛托品后，加热到 150℃ ~ 180℃ 就能成为热固性树脂，约 200℃ 开始分解，250℃ 以上碳化。其抗弯强度可达 100 MPa，压缩强度 80 MPa，莫氏硬度 3~4，线胀系数 0.00015/℃ ~ 0.00018/℃。强酸、强碱对其有一定影响。用于金刚石磨具制造的酚醛树脂粉的技术条件见表 9-1。

表 9-1 树脂磨具酚醛树脂粉技术条件

色泽	比重	固体含量	游离酚	软化点	含水量	粒度	抗拉强度
白色至淡黄	1.25	≥95%	≤0.5%	150~180℃	≤0.5%	≤100μm	≥100 MPa

(圆)聚酰亚胺树脂

常温下它是一种深黄色固体粉末,至猿园益~猿园益仍可保持良好的机械性能,比重员源,不溶于有机溶剂,能耐强酸,对于强碱较敏感,抗拉强度员圆孕葬,是一种耐热性好的新型树脂。

(猿)员原园黑胶木粉

它是一种以酚醛树脂为粘结剂,加入木粉、矿物填料以及其他添加剂,经混合、辊压、粉碎等工艺过程制成的压塑粉。

表 怨原猿 员原园黑胶木粉末技术条件

色泽	比重	粒度	计算收缩率	高压耐热	静弯曲强度
黑色、棕色	约员源	愿~员圆目	园缘~园怨	员缘益	苑圆孕葬

(源)乌洛托品

学名六次甲基四胺,呈白色结晶粉末状或无色有光泽的晶体状,加热不熔而升华,同时有部分分解。其比重员源,易吸潮而结块,溶于水和乙醇,水溶液呈碱性。在加热情况下分解为氨和甲醛,对皮肤有刺激作用。它是热塑性酚醛树脂的硬化剂。

表 怨原源 员原园乌洛托品技术条件

色泽	比重	粒度	纯度	水分	灰分
白色结晶粉末	员源	员圆目	跟跟缘	约园跟缘	约园跟缘

(缘)填充料

常用的有铜粉、铝粉等金属粉末和 猿韵,云韵,悦韵等金属氧化物及石墨、二硫化钼等固体润滑材料。各种填料可使磨具的硬度、强度得到提高,改善导热性能。氧化物类填料除可改善磨具强度、硬度、导热性外,还使磨具获得一定的抛光性能,改善磨具的吸湿性等。固体润滑材料的加入改善磨具的磨削性能,特别在干磨时,作用尤为突出。各种填料对磨具性能的影响见图 怨原苑至图 怨原园

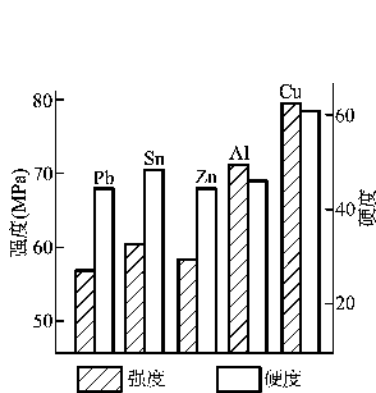


图 9-1 摇金不同金属填料
(均加 5%) 与砂轮强度、
硬度的关系

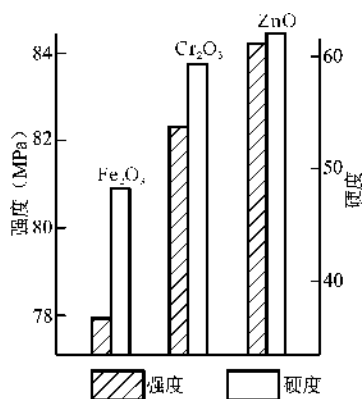


图 9-2 摇金不同金属氧化物填料
与砂轮强度、硬度的关系

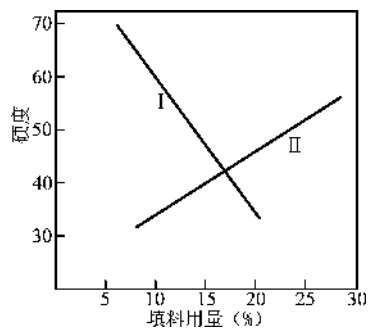


图 9-3 摇金填料与砂轮
硬度的关系
I—石墨；II—其他填料

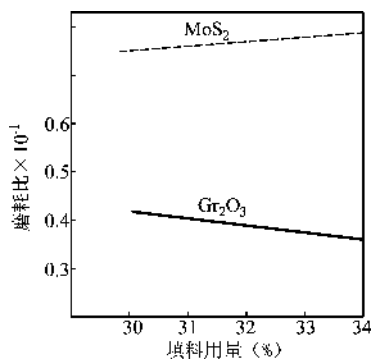


图 9-4 摇金填料用量与
砂轮磨耗比的关系

摇摇各种填料的技术条件见表 怨原缘

表 怨原缘 摇摇填料技术条件

填料名称	色泽	化学式	纯度(豫)	密度(早精 ^圆)	粒度(目)
铜粉	玫瑰红	悦	怨	愿	约愿
铝粉	银白	粤	怨	愿	约愿
氧化锌	白色	在	工业纯	缘	约愿
石墨	黑色	悦	怨	愿	约愿
氧化铁	土红	云	怨	缘	约愿
氧化铬	绿色	悦	怨	缘	愿
二硫化钼	黑色	酉	怨	源	愿

怨原缘 摇摇结合剂与成型料的配制

愿 结合剂应具备的条件

(员)粘性好。它应能均匀分布于磨料表面,将磨粒牢固地结合于磨具中。树脂具有较好的粘性。

(圆)强度高。树脂虽然粘性好,但流动性大,性能脆,本身强度较低,因此必须加入某些填料,以提高其强度。

(猿)硬度适当。结合剂的硬度必须与金刚石磨料的磨损速度相适应。树脂金刚石砂轮硬度一般在 在再~ 再之间。

(源)尽可能高的耐热性。树脂耐热性差是一大缺点。选用耐热性好的树脂并加入适当填料以提高结合剂的耐热性非常重要。

(缘)磨削效率高,加工光洁度高。

(远)结合剂中的填料应能溶于酸或碱,以便磨具报废后,从中回收金刚石。

愿 结合剂的配制

(员)将干燥的树脂放入球磨机内球磨,然后加入乌洛托品粉

混合，过 100 目筛网 圆 猿遍，装入干燥器皿内。

(圆)按配方要求分别称取各种填料，装入混料机内均匀混合 员~ 圆燥，过 100 目筛 圆遍，装入干燥器皿内。

(猿)将已混合均匀的树脂粉及填料装入瓷球磨罐内进行混合，混料介质采用较轻的瓷球，球料比为 员员，混料时间视混料量多少及粘壁情况而定，既要混合均匀，又要防止因混合时间过长而结块。然后过 100 目筛网 圆 猿遍，装入干燥器皿内待用。

猿 成型料的配制

成型料是由金刚石磨料、结合剂、润湿剂组成的。润湿剂又称临时粘结剂，其作用在于润湿磨粒及结合剂，使之有良好的成型性，及防止磨料与结合剂分层。树脂金刚石磨具常用的润湿剂有甲酚、三乙醇胺、稀树脂液等。

(员)成型料以甲酚、三乙醇胺为润湿剂的配混过程如图 怨原 圆所示。

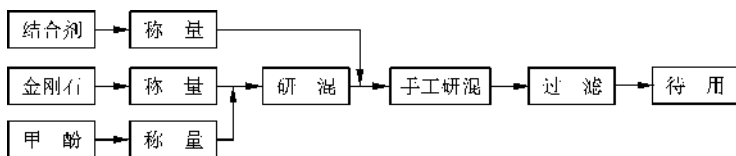


图 怨原 圆 以甲酚、三乙醇胺为润湿剂的配混过程

这个配混过程，需事先用机混法将结合剂配制好，适合批量生产。

(圆)成型料以稀树脂液为润湿剂的配混过程如图 怨原 猿所示。

该工艺过程中填料和粘结剂未预先混合，适合单件生产。

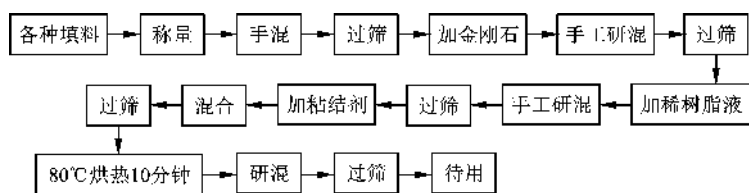


图 猿源 猿源 以稀树脂液为润湿剂的配混过程

猿源 猿源 热压成型

树脂金刚石磨具成型方法有热压法和冷压法两种，但冷压法很少使用。热压法是指在压制过程中同时加热磨具，使结合剂快速熔化，并在保压时间内缩聚硬化或半硬化。

猿源 猿源 工艺步骤

(员) 基体的准备

铝基体在加工过程中带有油污和杂质，使用前必须用汽油或二甲苯将其清理干净，然后在基体与料接触的部位，涂上环氧树脂液或液体酚醛树脂，以保证基体与磨具的牢固结合。

(圆) 模具装配

将模具与成型料接触部分涂上脱模剂，如二硫化铝、硬脂酸锌、肥皂液等能起润滑作用的物质，以免砂轮被模壁粘坏。然后和基体一起装在转动台上。

(猿) 非金刚石层压制

在模具转动的情况下将非金刚石层料投入模具内，刮平捣实，放上压环进行冷压。

(源) 金刚石层热压

取出金刚石层压环，并清理干净，将非金刚石层与金刚石层接触面打毛，涂上一层环氧树脂粘结剂，重新装配金刚石磨具，然后投料、刮平，加压环和垫铁，置于热压机上热压。

(缘)卸模

热压完毕,将磨具从热压机取出急速冷却,将模套、芯棒、压环等卸除。

圆热压规程

(员)热压压力

由于结合剂中的树脂粘结剂在温度作用下处于熔融态,流动性好,易于充满模腔各部位,因此热压压力不高,一般在 猿~远 MPa。

(圆)热压温度

酚醛树脂一般为 员缘益~员缘益;聚酰亚胺树脂为 圆缘益~员缘益;新开发的产品一般都会有温度说明。温度过高,变硬速度太快,易造成成型困难、基体与结合剂粘结差,有时甚至使磨具产生裂纹。温度太低,压制时间延长,生产效率低。

(猿)热压时间

热压时间与磨具大小、形状、厚度、模具结构、加热方式等因素有关。

怨 游 游 游 硬化

热塑性酚醛树脂与乌洛托品在加热情况下变成热固性酚醛树脂,使砂轮坯体具有一定强度和硬度的过程称为硬化。

圆硬化原理

(员)酚醛树脂硬化过程

第一阶段是热塑性树脂与乌洛托品发生化学反应,生成含二甲氨基氨基桥的中间产物;第二阶段是这些产物继续与树脂分子反应,生成庞大的网状结构的热固性树脂,并分解出氨和胺。硬化过程中,乌洛托品不仅与热塑性酚醛树脂作用,而且与游离酚作用生成热固性树脂。此过程不要求任何催化剂,加热到一定温度即可进行。

(圆) 聚酰亚胺树脂硬化过程

它是一个不加硬化剂的内聚过程。其聚合过程亦分两步。第一步是双马来酰亚胺与 猿 源 二胺基二甲烷预聚成可溶性聚酰亚胺；第二步是将预聚物在较高温度下环化成不溶性聚酰亚胺。

猿 硬化工艺

(员) 硬化方法

树脂结合剂磨具有两种硬化方法，即一次硬化法和二次硬化法。磨具在热压机上加热硬化 猿 源 即成为成品称为一次硬化法。它适用于小的、薄的及异形砂轮。为得到硬化完全的产品，一些大规格的，厚度大的砂轮虽在热压机上进行初步硬化，但仍需要在电烘箱内进行二次补充硬化。

(圆) 硬化规程

① 最高硬化温度。酚醛树脂结合剂磨具的最高硬化温度在 猿 源 益 ~ 猿 陆 益 范围为佳。低于 猿 陆 益 硬化不完全，化学稳定性差；高于 猿 陆 益 将伤害磨具的机械性能，使磨具强度、硬度及耐水性降低。聚酰亚胺树脂结合剂的硬化需要在高温下脱水，生成环化聚酰亚胺，以增加分子刚度，变为不熔塑料，故其硬化温度较高，可达 猿 陆 益。温度太低，环化反应不易进行，制品硬度低。

② 升温速度。升温速度与结合剂种类、在热压机上的硬化时间、磨具形状、粒度等因素有关。

热塑性酚醛树脂的聚合温度为 猿 陆 益，而聚酰亚胺预聚温度更高，前者在 猿 陆 益、后者在 猿 陆 益 前可自由升温。前者在 猿 陆 益 后与硬化剂有固化反应，后者在 猿 陆 益 后预聚合，故均应慢速升温。

在热压机上硬化时间较长的磨具，挥发物已基本排出，可以快速升温；反之，二次硬化应慢速升温。冷压磨具挥发物多，升温速度更应放慢。

磨具形状复杂、粒度细的应采用慢速升温；反之，则可快速

升温。

③保温时间。保温时间与最高硬化温度有关。硬化温度高，时间可短；反之则长。酚醛树脂磨具在 员益保温 缘即可，聚酰亚胺树脂磨具一般需在 缘益保温 缘。

表 怨源 摇 酚 醛 树 脂 金 刚 石 磨 具 二 次 硬 化 曲 线 表

温度(益)	约 员益	员益	员益	员益	员益	员益保温
时间(瀑)	员益	圆益	猿益	源益	缘益	缘益~ 苑益

为了得到硬化均一的产品，往往制定出升温曲线。酚醛树脂金刚石磨具升温曲线按表 怨源 绘制。聚酰亚胺树脂金刚石磨具升温曲线按表 怨源 绘制。

表 怨源 摇 聚 酰 亚 胺 树 脂 金 刚 石 磨 具 硬 化 曲 线 表

温度(益)	约 圆益	圆益	圆益~ 圆益	圆益	圆益~ 圆益	圆益
时间(瀑)	自由升温	保温 员益	自由升温	保温 员益	自由升温	保温 源益

怨 缘 摇 陶 瓷 结 合 剂 金 刚 石 磨 具

陶瓷结合剂由于化学稳定性好，弹性变形小，脆性大，硬度允变范围宽，因而在普通磨料磨具制造中广泛应用。但是，无论国内国外，金刚石磨具使用陶瓷结合剂者还不多（但用陶瓷结合剂制造 悦鼻砂轮的却比较多），其主要原因在于：（员）陶瓷结合剂脆性大，抗冲击、抗疲劳性能差；（圆）适合制造金刚石磨具的低温烧成陶瓷结合剂的制造工艺过程要比树脂结合剂复杂得多；（猿）从陶瓷结合剂磨具废品中回收金刚石很困难；（源）陶瓷结合剂金刚石磨具的磨削能力介于树脂和金属两种结合剂的磨具之间，因而很多情况下被这两种磨具替代。

近年来,人们正在努力开拓和发展陶瓷结合剂金刚石和悦磨磨具。因为它不但能用于磨削超硬材料,还能加工金刚石烧结体、天然单晶、硬质陶瓷、金属等材料。在加工这类材料时,陶瓷结合剂磨具的使用寿命、磨削效率和锋利程度均优于树脂和金属结合剂磨具。

陶瓷结合剂金刚石磨具的制造过程也是由原材料准备、配混、烧成和机加工等工序所组成。

猿缘 陶瓷结合剂原材料

猿缘.1 磨料

陶瓷结合剂金刚石磨具含有两种磨料,即主磨料金刚石和辅助磨料碳化硅。

(员) 金刚石

陶瓷结合剂的机械强度及其对金刚石的粘结强度均优于树脂结合剂,故选用的金刚石性能应比树脂结合剂的好,可选用低品级的悦月级金刚石。但过高的品级金刚石也无必要,因为陶瓷结合剂脆性大,耐磨能力有限,高质量金刚石尚未充分发挥磨削作用即可能脱落。故有时也可选用砸阅类金刚石。

(圆) 绿碳化硅

作为辅助磨料,要求它有一定的切削能力,而绿碳化硅是唯一对硬质合金类材料有切削能力的普通磨料。故金刚石层中总是选用绿碳化硅作为辅助磨料。在非金刚石层中,辅助磨料实际上只起骨架材料的作用,故可选用价格较低的磨料,如刚玉,只要满足烧成后的强度要求即可。但由于碳化硅的多种物理性能接近金刚石,且工作层中含碳化硅,故非工作层中使用绿碳化硅也是可以的。

猿缘.2 玻料

玻料对陶瓷结合剂的性能具有决定性影响,如烧成温度、膨

胀性能、对金刚石的浸润性能、抗冲击性能，等等。

低温烧成是金刚石磨具陶瓷结合剂的主要特性，含硼玻璃熔化温度低，适合于制造陶瓷金刚石磨具，如硼锌玻璃、硼钡锂玻璃等，组成玻璃体的原料主要是各自相应的纯氧化物，部分是含相应氧化物的矿物。

含硼原料主要是硼酸，其熔点极低，只有 170°C ，易溶于水，加热脱水而成硼酐，它在硼玻璃中以 B_2O_3 的形式存在，它和氧化锌、硅石等形成硼硅酸盐玻璃。该系玻璃的结合剂对金刚石具有良好的润湿性能，有和金刚石非常接近的膨胀系数。在生产上工业纯的硼酸就可以选入原料。

含锌原料主要是氧化锌，氧化锌本身的熔点高达 2750°C ，当它和硼硅形成玻璃时，就成为一种较好的助熔剂，在磨具烧成时起催熔作用。生产上选择工业纯的氧化锌为原料。

含氧化硅的原料主要是石英，自然界中最常见的是 β 原石英，作为原料的石英要求 SiO_2 含量大于 99% 。

在结合剂中需含锂成分时，要加入含有氧化物的矿物，如锂云母、 β 原辉锂石等，此外加入 1% 亚锰酸锂的结合剂，可使烧成温度降低 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

非玻璃料

非玻璃料主要起调节结合剂耐火度的作用。假如结合剂中只有玻璃体，虽然烧成温度可降低，但其熔融温度范围窄、粘度小、易流淌，加入非玻璃质（一般为粘土）后，由于粘土中的 Al_2O_3 的作用，使结合剂的软化温度范围变宽，易于控制。

粘土是一种土状矿物，具有许多重要特性，如可塑性、吸水性、收缩性和耐火性等。

着色剂

着色剂是金刚石磨具中常用的一种原料。一般着色剂都加在金刚石层中，以使其有明显的标志。常用的着色剂有两种，红色

的 云 和 绿色的 悦。

缘 临时粘结剂

临时粘结剂只在磨具成型阶段起提高磨具半成品强度的作用，有利于半成品的工序。可作临时粘结剂的材料有糊精、水玻璃和液体树脂。

怨 磨料原料的加工处理

圆 粘土和石英的加工处理

加工粘土和石英的目的都是为了获得粒度、水分合格的原料，一般要求原料粒度细于 圆 目，水分含量低于 员。

粘土和石英在性能上尽管不同，但加工过程及所用设备相同。其加工过程都由干燥、粉碎、风选、收集等工序组成。

(员) 干燥

自然干燥是最简单的干燥方法，但其缺点是周期长，较先进的干燥方法是使用回转干燥炉。物料在炉中翻动着前进，热气流逆向送入炉内，在热气流的作用下，物料中的水分得以蒸发。干燥温度一般控制在 员 左右。

(圆) 粉碎

在大规模生产条件下，粘土和石英的主要粉碎加工设备是摆辊式环—辊磨机(即雷蒙机)，它适用于细磨中等硬度的物料。这种磨机有固定的底盘，及旋转运动的辊子。辊子在绕机器纵向几何中心线作旋转运动时，靠离心力的作用紧压在底盘的边环上，处于底盘边环和辊子之间的物料，由于受到研磨作用而被磨成细粉。

(猿) 风选和收集

雷蒙机自身带风选设备。磨机内已被磨细的物料被鼓风机吹起，随气流上升，在经过机内分级叶片时，大颗粒物料被挡出，离开气流下落到磨机内重新磨细。小颗粒物料继续随气流上升，

进入旋风收集器中(见图 4-10),旋风收集器能把气流中的绝大多数物料脱离出来落入底部,由出料口排出收集。气流从旋风收集器顶部排出,重新送回雷蒙机中。调整鼓风机的风量就能控制物料所需粒度。

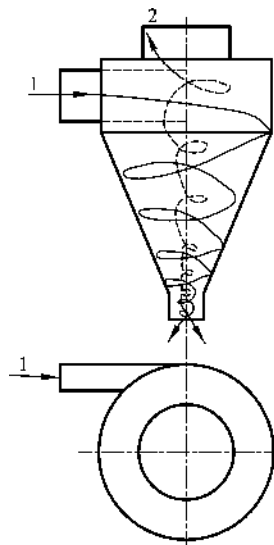


图 4-10 旋风收集器

1—来自雷蒙机的气流;2—返回雷蒙机的气流

玻璃料的加工

(一) 玻璃料熔炼

将组成玻璃体的原料按比例配混均匀,然后在 1200℃ ~ 1500℃ 高温下熔融制成玻璃。

(二) 玻璃体破碎

玻璃体破碎是在球磨机中进行。这是因为玻璃体性质硬而脆,用量不大的情况下,球磨效率较高。球磨后的玻璃粉粒度应为 0.1~0.2mm。

1. 金刚石表面的加工处理

在金刚石表面包涂一层硅酸盐物质, 可使其与陶瓷结合剂获得牢固的结合。包涂物为硼硅酸盐熔融体, 其成分由 SiO_2 , B_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , Li_2O 或 PbO , ZnO 和 CaF_2 (或 SrF_2 , BaF_2) 组成。熔融后的玻璃对金刚石的润湿角 θ 小于 90° 。红外光谱研究表明, 包涂层与金刚石界面形成 Si-O-C 的桥键和 Si-O-Si 的桥键双电子层结构。

包涂方法是將玻璃碎至 $10\sim 15\mu\text{m}$, 然后以一定比例与金刚石混合, 加热至 $1200\sim 1400^\circ\text{C}$, 保温 $10\sim 30\text{min}$, 冷却至室温即形成坚固的玻璃—金刚石结合体。再将其破碎成所需的金刚石团, 即可用常规方法制成陶瓷结合剂磨具。

2. 陶瓷结合剂与成型剂的配制

2.1 结合剂应具备的条件

(1) 强度

结合剂的强度通常用磨具的抗拉强度表示。磨具抗拉强度与结合剂本身强度及结合剂用量有密切关系。为保证磨具使用安全, 结合剂的强度必须足够高。

(2) 耐火度

结合剂的耐火度决定磨具的烧成温度。金刚石磨具需在低温下烧成, 则结合剂的熔融温度应低于金刚石的氧化和石墨化温度。通常把结合剂的耐火度控制在 $1200\sim 1400^\circ\text{C}$ 。

(3) 润湿性

磨料在磨具中的把持强度, 与结合剂对磨料的润湿性能直接有关, 润湿性好, 把持强度高, 反之则低。当润湿角 θ 小于 90° 时, 表明熔融体对固体有较好的润湿能力。而对同种结合剂来说, 温度越高, 其润湿性越好, 即润湿角越小。由于金刚石耐高温性差, 常在结合剂中加入由硼、锂、钡的氧化物组成的玻璃体,

以获得较低温度下的较好润湿性。

(源)热膨胀性

对结合剂的热膨胀性能有两方面要求,一是要求结合剂与金刚石之间的热膨胀系数尽量接近,以使制造过程中热胀冷缩变化尽可能一致,从而保证金刚石与结合剂之间有牢固的粘结。从这个角度出发,结合剂的热胀系数略小于金刚石的热胀系数,有利于提高结合剂对金刚石的包镶力。二是要求金刚石层与非金刚石层之间的热膨胀性能尽量接近,否则,在其相互联结处易发生开裂。

匚结合剂与成型料的配制

(员)结合剂的配制工艺步骤与树脂结合剂相似,也是由配料、球磨混料、过筛和质量检查等步骤组成,不再赘述。

(圆)磨具配方

表 8-1 为陶瓷结合剂金刚石磨具配方表的一种常见形式。配方表中各种成分是以重量百分比的形式表示含量的。从表中可以看出,配方表除包括各组分含量外,还列出了磨具部分结构参数和性能指标,如磨具粒度、硬度、成型密度等。同时,配方表还注明了该配方的适用范围,以供生产时选用。

表 8-1 陶瓷结合剂金刚石磨具配方表

浓度	粒度	硬度	金刚石	碳化硅	结合剂	糊精	增塑剂	成型密度
员%	愿~员愿	再	源	远	猿	员	圆	猿

摇摇注:此配方适用于 员~愿,远,员~圆砂轮

(猿)成型料的配制要点

① 均匀性。混合料的均匀性由球磨混料工艺保证,通常应控制好混合量、料球比和混合时间三个参数。金刚石的均匀性由手工操作来保证,可采用混合过筛的反复进行来实现。

② 干湿度。成型料的干湿度对成型的影响十分明显，物料湿度大，容易粘模，成型困难；物料湿度小，成型强度差，对后道工序带来困难。在采用定模成型时，干湿度还影响磨具的密度。

③ 成型料保存。若混好的成型料不能直接成型使用完毕，应将其盛放在带盖的塑料盒中储存，以免物料中的水分蒸发而变干，影响磨具质量。

猿缘 陶瓷冷成型与干燥

猿缘.1 冷成型

陶瓷结合剂金刚石磨具的成型为冷压成型法。与金属结合剂及树脂结合剂金刚石磨具冷压成型的差别仅在于，陶瓷磨具坯体强度较差。陶瓷结合剂本身几乎形成不了强度，只能靠糊精水溶液或水玻璃等临时粘剂形成很有限的强度，因此，操作过程中必须十分小心，确保磨具坯体不受损害。

此外，由于陶瓷结合剂成型料中含一定水分（一般含水量在猿缘~猿缘之间），属半干成型。其单位成型压力应根据磨具硬度及干水量多少加以调整，一般在 园. 猿~ 员. 猿 兆帕范围内。成型压制的预压阶段，采用定压成型，最后采用定模成型保证坯体密度和尺寸。

猿缘.2 干燥

由于陶瓷结合剂属于半干成型，所以必须进行干燥，以排出磨具坯体中的水分，提高坯体强度，从而保证装炉和烧成过程的顺利进行。

目前常用的干燥方法有自然干燥法和加热干燥法两种。自然干燥法，坯体内不存在温度梯度，而只有水分梯度对干燥起作用，水分的排出不受热扩散力的影响，因此坯体在自然干燥条件下，不会出现裂纹废品，但其缺点是干燥过程周期长、速度慢。大规格、较厚的磨具可采用这种方法干燥。这种方法的一个显著特点是不消耗能源，节省资金。

加热干燥法又有对流传热干燥和红外辐射干燥两种方式。对流传热干燥是利用热气流和坯体接触将热量传给坯体，同时又将坯体蒸发出来的湿气带走。这种干燥方式需在专门设施中进行。对流传热干燥由温度梯度和水分梯度共同作用，两者必须配合适当，否则易出现干燥废品。坯体升温不能过快是这种干燥方法的关键，即必须使水分梯度的作用大于温度梯度的作用。红外辐射干燥是一门新的干燥技术。红外光的热效应比其他光线都强，而其中的远红外光的热效应又比近红外光强。用远红外光干燥物体，能使物体内外一起加热，从而使物体受热均匀，干燥效率高，质量好。

陶瓷坯体烧成

陶瓷结合剂金刚石磨具的烧成特点是在氧化性或中性气氛中、较低温度下烧成，所以烧成可在一般的电炉中进行，既不要求炉子密闭，也不要求保护气体。对炉子的惟一特殊要求是较好的保温性能，以延缓冷却过程。因为陶瓷是一种脆性材料，冷却速度太快会使坯体炸裂，产生烧成废品。

陶瓷烧成曲线

陶瓷结合剂金刚石磨具的烧成曲线如图 8-1 所示。

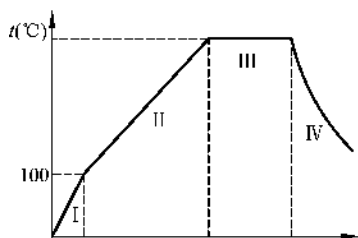


图 8-1 陶瓷结合剂金刚石磨具烧成曲线

I—自由升温；II—平均升温；III—保温；IV—自由冷却

在 猿园益以前是自由升溫階段。因為坯體經過乾燥，自由水分排出，坯體不再有大變化的。從 猿园益後至燒成溫度這個階段，溫升高，坯體內的理化變化大，如有機物的分解、結合水的排除、低熔點物的熔融、液相的流動等，故該階段採用平均的升溫速率。保溫階段是在燒成溫度下保溫，以使坯體內的變化更加充分，不同部位趨於一致。冷卻階段是磨具從燒成溫度降至室溫的過程，一般採取控制冷卻或自由冷卻。

圓磨具在燒結中的變化

磨具從低溫到高溫的整個燒成過程中，要發生複雜的物理化學變化，在不同的溫度階段，有不同的變化內容。

在 猿园益 ~ 猿园益 溫度區段，吸附水被排除。到了 猿园益 ~ 猿园益 溫度區段，坯體內的原料結合水從緩慢排除到劇烈進行，且粘結劑開始分解，磨具強度略有降低。到 猿园益 以後，一方面由於臨時粘結劑繼續分解，使坯體強度降低到最低點；另一方面低熔點成分開始熔融。當溫度繼續升高至燒成溫度，熔融物數量不斷增加，粘度有所降低，產生蠕變流動。在保溫階段，熔融物數量隨時間延長而增多，粘度進一步降低，流動性提高，原先分散的各部分塊狀液相逐漸聯結成面。至保溫結束時，液相基本包圍了磨粒，並聯成一体，磨具硬度、強度和氣孔達到最終燒成狀態。

猿冷卻

冷卻的關鍵在於控制液相的結晶速度。在結晶溫度之前，可採用快速冷卻。達到結晶溫度後，冷卻速度則與結晶速度相適應。冷卻過快，各部分結晶率不一致，坯體產生內應力，當應力大於坯體強度時即產生裂紋。即使不產生裂紋，內應力聚集也導致磨具強度下降，磨具高速回轉時易發生破裂。冷卻過慢，易造成晶粒生長過大，同樣降低坯體強度。

陶瓷結合劑金剛石磨具由於採用裝舟埋砂燒結，隨爐自然冷

却,冷却速度一般较理想,可以得到令人满意的产品。

金刚石磨具的质量检查

金刚石磨具质量检查的主要项目包括外观、几何尺寸、平衡性和磨削性能检查等。

外观检查

磨具外观检查是指用肉眼借助于放大镜来观察磨具表面是否有缺陷,其主要内容包括金刚石层的组织、色泽是否一致,金刚石层表面是否有斑点、气孔、发泡、夹杂、起层、裂纹、哑声和边棱损坏等现象。

用带刻度的 10 倍放大镜观察金刚石磨具的工作表面时,应该有金刚石尖刃露出,而且分布均匀,工作表面的每个凹坑面积不得超过 1mm^2 ,并不得有原始表皮、发泡、夹杂等。青铜结合剂金刚石磨具表面应呈均匀亮黄色,不许有暗红色氧化斑点或其他斑点。

金刚石磨具敲击时不能出现哑声。判断方法常采用听音的方法,即通过敲击磨具,若发出哑声则说明磨具内部或金刚石层与过渡层间、压制层与基体间的结合处可能有隐裂隙存在。

磨具的边棱损坏情况可通过角尺配合游标尺沿周边、高度和直径方向测量。形状有严格要求的磨具不允许有边棱损坏的情况;对形状要求不严的一般磨具的每处掉边的最大长度不得超过圆周长的 $1/10$,对磨具厚度不大于 10mm 者,其掉边总长不得超过圆周长的 $1/5$,而磨具厚度大于 10mm 者,其掉边总长不得超过圆周长的 $1/10$ 。

对于组合磨具,其组装螺钉顶端不得高于基体表面。

几何尺寸检查

金刚石磨具的外径、厚度、孔径、金刚石层的厚度、宽度,各

种异型磨具的角度、弧度以及金刚石磨具的形位公差均要进行检查。

金刚石磨具的外径、厚度、孔径、金刚石层的厚度、宽度均用精度为 0.01mm 的游标卡尺测量,孔径也有用塞规、内径量表或内径千分尺测量。磨具的外径和厚度尺寸属于非配合尺寸,尺寸精度一般取自由尺寸公差或按各生产厂家和加工图纸精度要求测量。

孔径的公差带配合精度一般按 $IT7$ 标准孔,表面粗糙度取 $Ra0.4$ 以下,但当磨具孔径较小(如在 0.1mm 以下),厚度较薄时,配合精度相应高些,常选用 $IT6$ 或 $IT5$ 。

磨具角度检查多采用角度尺或样板,用角度尺能测出准确角度,但较麻烦;样板实际是一个用钢板制成的标准角度,用于检查磨具角度非常直观,但测不出角度的实际偏差,一般要求角度偏差在 0.1° 以内。

形位尺寸误差检查主要包括不平度、不直度和圆跳动检查。对于一些平面状磨具如薄片砂轮、切割砂轮,必须检查其不平度,检测时是将磨具放置在平板上,然后用平尺和塞尺配合测量。

对于金刚石层很厚的磨具,一般需限制直线度。直线度误差可用百分表检测,即让百分表的针杆尖端垂直地顶在磨具外圆表面上并沿轴向移动,指针读数的最大变动量即表示磨具的不直度,一般应从不同的位置重复测几次,取最大差值作为模具的直线度。

磨具的圆跳动包括径向跳动和端面跳动。径向跳动反映磨具的不圆度或外圆与孔径的不同轴度情况;端面跳动反映了磨具的不平度或端面与孔径的不垂直度情况。圆跳动的测量是在偏摆仪上进行的。

动平衡检查

磨具在高速旋转时，若砂轮的重心偏移中心过大，就会产生较大的离心力，从而引起磨床的振动，使加工产品质量下降，磨具寿命降低。对一些较厚的磨具有时静平衡是合格的，但有可能出现动不平衡，因此，对于厚度较厚、直径较大以及组合式的金刚石磨具轮都必须进行动平衡检查。

磨具的动平衡检查一般是在专门的动平衡机上进行的。利用动平衡机测出磨具轮的不平衡部位和不平衡量之后，就可以用钻孔支重法或加重法进行校正，但钻孔最多不得超过三处。

第 4 章 电镀金刚石工具

4.1 金属电镀的基本理论

在电镀槽中，将浸在镀液中的被镀件与直流电源负极相连接（组成阴极），将要镀覆的金属与直流电源的正极相连接（组成阳极），镀槽里的镀液中含有镀层金属的离子，接通电源，镀液中的金属离子便在阴极上沉积形成镀层。

4.1.1 电沉积过程

金属在阴极上电沉积可以分为三个过程。电沉积示意图见图 4-1。首先，阳极金属表面的离子与水分子结合成水化离子，水化离子向阳极扩散，由镀液内部移到阴极表面上；其次，金属水化离子脱水并与阴极电子反应生成金属原子，即：

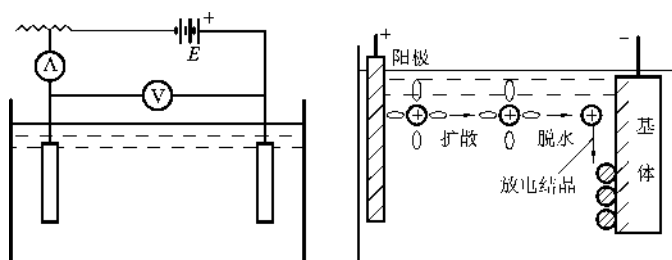


图 4-1 电沉积示意图

最后,金属原子在阴极上排列生成一定形状的金属晶体,并与基体相结合。

金属离子是由于阳极金属板失去电子进入镀液而获得的,即:



4.1.2 阴极极化和阴极反应所需能量

当金属电极置于电解液中时,在金属与电解液截面形成所谓双电层而产生电位差,该值称为金属在它的盐溶液中的电位,亦为金属给出电子能力的电学位能。平衡电位取决于溶液中离子的浓度或活度和溶液的温度,一般把在标准状态下含有单位离子活度的电位称为标准电极电位,通常用 φ^\ominus 表示。不同金属的标准电极电位是不同的。

当金属电极置于含有同种金属离子的电解液中,金属与该溶液之间就进行离子交换,交换达到平衡时的电极电位称为金属的平衡电位。

电沉积必须靠外部电源给系统提供能量,因此,必须给系统通以电流。所谓极化,是当电流通过电极时,电极电位偏离平衡电位的现象。极化现象使阴极电位从原来的平衡电位向负方向移动,从而使阴极获得过电位。

4.1.3 金属共沉积的条件

在阴极上同时发生多个还原反应中,如果至少有两个是属于金属沉积反应,则这个过程称为共沉积。共沉积得到的合金镀层具有单金属层所不能达到的性能,如硬度、致密性、耐磨性、耐高温性等都比单金属镀层好。电镀金刚石制品一般都是采用合金镀层,如镍钴、镍锰、镍铁等镀层。

金属共沉积的基本条件是两种金属的析出电位要相近,即两

种金属同时在阴极上沉积出来的必要条件取决于两种金属的标准电极电位、溶液中金属离子的活度和阴极极化三个因素。

电沉积电结晶过程的动力学

电流流过固—液界面，金属沉积的速度与电流成正比。由于电极界面有扩散层存在，扩散层便叠加于电极过程中。在电沉积过程中，扩散步骤和电化学反应步骤进行得较慢，因而控制着电沉积的速度。

金属电沉积的速度

根据法拉第定律知道，电流通过电解质溶液时，在电极上析出或溶解的物质的量与通过的电量成正比。这样，金属沉积速度仅与通过的电流有关。因此，在电镀过程中，沉积速度取决于阴极电流密度的大小。阴极电流密度不能超过规定的范围。电流密度过高得到的沉积物将是粉末。

扩散速度

电沉积过程中，阴极表面不断发生离子放电，使离子不断消耗。这种消耗被从溶液中扩散来的金属离子所补偿，金属离子的扩散速度为：

$$v_{\text{增}} = \frac{D \cdot (c_{\text{悦}} - c_{\text{悦}_0})}{\delta} \quad (\text{伏原员})$$

式中：增——金属离子的扩散速度；

噪——扩散系数；

粤——阴极面积；

δ ——扩散层的厚度；

悦——溶液中离子浓度；

悦₀——阴极表面离子浓度。

晶核生成几率与阴极过电位的关系

在电结晶过程中，结晶时分两个步骤进行，结晶核心的形成

和结晶核心的成长。晶核形成的速度和晶核形成后成长的速度决定了所得的结晶的粗细。如果晶核的速度较快，而晶核形成后的成长速度较慢，则生成的结晶数目较多，晶粒较细；反之，晶粒就较粗。

电结晶与过饱和溶液的结晶有些相似，在过饱和溶液的结晶中，过饱和的程度愈大，则晶核形成的速度愈快。金属电沉积时，只有当电极电位偏离平衡电位到某一负值时，才有可能成核。电位的偏离值就是过电位，随着过电位的增大，新晶核形成的几率迅速增大，也就是新晶核形成速度愈快，晶核的数目也迅速增多，所得的镀层结晶就愈细。

灑 电流效率、镀层厚度和电镀时间计算

(夙)槽电压在电镀过程中，除了极化现象引起的超电压外，还有电解质溶液的电阻所引起的电压降，电镀槽各接点和导体的电阻引起的电压损失。因此槽电压等于这些值的总和。

(圆)电流效率由于在电镀过程中出现了副反应和镀槽漏电等现象，因而有一个电流效率的问题。电流效率就是一定电量析出的产物的实际质量与通过同样电量理论析出的产物的质量之比。

(猿)镀层厚度与电镀时间从物理学可知，金属的质量等于金属的体积乘以它的密度，即：

$$\text{灑} \text{ 越} \text{ 灾} \text{ 越} \text{ 杂} \text{ 越} \text{ 匀} \quad (\text{夙} \text{ 圆} \text{ 猿})$$

式中：灑——金属的质量(导)；

灾——金属的体积(糟)；

ρ ——金属的密度(导糟)；

杂——金属镀层的面积(糟圆)；

匀——金属镀层的厚度(糟)。

由于 灑 越 灾 越 杂 越 匀，代入上式得：匀 越 $\frac{\text{灑}}{\rho \text{ 杂}}$ ，用 阅 表示阴极电流密度，阅 越 杂 越 匀，可得到：

摇摇摇摇匀越^悦贼^噪 (摇摇原)

摇摇摇摇贼越^匀 (摇摇原)

式中：匀——镀层厚度(皂皂)；

悦——电化当量；

贼——时间(澡)；

$\eta_{噪}$ ——阴极电流效率；

ρ ——镀层金属的密度(早捷^噪)。

摇摇影响镀层质量的因素

除极化作用对镀层的影响外，影响镀层质量的因素还有电镀液的组成、电镀规范等。

摇摇电镀液组成的影响

电镀液的组成包括主盐种类和浓度，有机或无机添加剂等。

电镀生产中所采用的电镀液，可以分为两类，即主要金属以简单离子形式存在的镀液和主要金属离子以络合离子形式存在的镀液。电镀金刚石制品所采用电镀液一般都是硫酸、盐酸的简单盐类，如硫酸镍、硫酸钴等。通常这些溶液都是呈中性或酸性，且金属都是以阳离子形式存在。简单盐类镀液的特点是成本低，允许开大电流。

在简单盐溶液中沉积金属，会形成粗大晶粒的镀层，因为在这样的溶液中晶体的生长过程较快。降低盐的浓度，镍、钴等金属会以细小晶粒的形态沉积出来。

主盐浓度的影响

主盐浓度是电镀工艺中主要控制的参数之一，当温度、电流

密度以及其他条件不变时,随着电镀液主盐浓度的增大,生成晶核的可能性减少,晶粒粗大。

当主盐浓度较高时,尽管有可能在电镀刚开始的一段时间形成较多的生长中心,但随着晶体成长表面的增大,真实电流密度(电流强度不变)随之降低,当降低到某一数值时,部分晶体便开始钝化和停止生长,能够继续生长的只有其中一部分晶体。电镀液中主盐浓度愈高,所含钝化剂(杂质)就可能越多,因此,晶体数目减少,晶粒变粗。但不能由此得出结论,认为电镀液的主盐浓度越稀越好。采用过稀的电镀液,极限电流密度降低,易导致形成海绵状沉积层;反之,从加快沉积速度来说,常采用主盐浓度较高的电镀液。由于浓度较高而造成的镀层结晶较粗的影响,可以提高电流密度或加入添加剂的方法克服。

5.1.3 添加剂的影响

添加剂是指少量的某种物质,它在镀液中不会明显地改变镀液的电性能,但会明显改善镀层的性质。添加剂可分为无机和有机添加剂。电镀金刚石工具工艺中广泛采用了有机添加剂,有机添加剂还具有整平、光亮及润湿作用。

5.1.4 电铸电镀规范对镀层质量的影响

除电镀液组成影响镀层质量外,电镀规范对镀层结构也有影响,分别简述如下:

5.1.4.1 电流密度的影响

电流密度对镀层结晶粗细影响较大。当电流密度低于允许电流密度的下限时,镀层的结晶比较粗大,这是因为电流密度低,过电位很小,晶核形成速度很低,只有少数晶粒长大所致。随着电流密度增大,过电位增加,当达到允许电流密度的上限时,晶核形成的速度显著增加,镀层结晶细致。若电流密度超过允许电流密度上限时,由于阴极附近放电金属离子贫乏,一般在棱角和

凸出部位放电,出现结瘤或枝状结晶。

一般来说,主盐浓度增加,赉 η 值降低(对弱酸电镀液),温度升高,搅拌强度增加,允许电流密度的上限增大。

源固温度的影响

电镀液的温度对镀层的影响比较复杂,因为温度的变化将使电镀液的电导,离子活度,溶液的粘度,金属和氢析出的过电位发生变化。升高温度会降低阴极极化,促使形成粗晶粒的镀层。提高温度也有有利的一面,如果在恰当提高温度的同时,合理地改变其他条件(例如适当提高电流密度),那么,不但不影响镀层的质量,还能减少镀层的脆性和提高沉积速度,一般温度不超过源固。

源固搅拌的影响

搅拌也像升温那样可使阴极极化降低,这是因为搅拌促使电镀液发生对流和扩散层厚度变薄,从而降低浓差极化。采用搅拌的方法同样能提高允许的电流密度上限。在搅拌时,必须定期地或不断地过滤电镀液,以除去阳极脱落下来的残渣或其他悬浮物,避免它们落在阴极上而影响镀层的质量

搅拌还能开发新的电镀工艺和方式,如复合镀、高速电镀以及金刚石表面覆膜等。

源固赉 η 值的影响

电镀的赉 η 值对镍的沉积过程及所得镀层性质是有很大影响的。一般控制在源固-源固范围内。实际上,对镍沉积过程及镀层质量影响较大的是阴极扩散层中镀液的赉 η 值,这个赉 η 值往往比主体镀液要高出一个单位左右。不同的电镀液,都应有一个规定的赉 η 值范围,其允许变化的幅度不能大,一般在源固-源固之间。

源固氢析对镀层的影响

在任何电镀中,不论赉 η 值如何,由于水分子的离解,永远存

在一定的氢离子。因此，在条件适当的情况下，在阴极上与金属析出的同时，往往有氢气析出。造成氢气析出的条件是，金属离子的沉积电极较负；氢的过电位低。氢气析出不一定要具备上述两个条件，但具备了上述两个条件，氢更容易析出。析出的氢气会使镀层质量变坏，出现氢脆、起泡、针孔等现象。

电镀锌件的镀前处理

电镀生产中出现的质量事故，大部分是由于镀件镀前表面准备不良造成的。因此，镀件镀前的表面处理是十分重要的环节。

镀件镀前的表面准备工艺包括下列几个方面：

机械处理：将粗糙表面整平。

除油：包括有机溶剂除油、化学除油及电化学除油。

浸蚀：包括强浸蚀、电化学浸蚀和弱浸蚀。

电镀锌机械处理

机械处理包括磨光、抛光和喷砂处理等。电镀制品的基体经机械加工后，局部地方可能会存在毛刺，要进行清除。毛坯存放时间过长，表面锈污较多，可用零号砂布处理。被镀件表面不宜太光滑。

电镀锌除油

镀件的表面粘附油污几乎是不可避免的，因为，加工过程中会接触到油。用手接触镀件也会使镀件沾有油污。这些油污不外乎三种，即矿物油、植物油和动物油。按油脂的化学性质可把它们分成两大类，即可皂化油和不可皂化油。无论是何种油污，都必须在镀前把它们清除掉。

有机溶剂除油

有机溶剂除油是使可皂化油和不可皂化油在有机溶剂中的溶解过程。这种除油方法的优点是除油速度快，对金属镀件无腐蚀。其缺点是油污不能彻底除去，因为当附着在金属镀件表面上的溶解油脂的有机溶剂挥发后，油污不能挥发掉，就会留下一薄层油污，所以，用有机溶剂除油后，往往还要进行化学或电化学补充除油。因此，有机溶剂除油多用于油污严重的镀件的预先除油。另一点是价格贵，易燃和有毒。

常用的有机溶剂有煤油、汽油、丙酮等。

化学除油

目前，生产上大量使用的除油是在碱性溶液中化学除油。采用这种除油工艺的优点是无毒，不会燃烧，设备简单，价格便宜。除油时间比有机溶剂除油长些。这种方法除油的实质是靠皂化和乳化作用，前者可除去动植物油，后者可除去矿物油。

电化学除油

把除油的镀件置于除油液中，将镀件作为阳极或阴极，且通以直流电的除油方法，称为电化学除油或电解除油。电化学除油溶液组成和化学除油溶液大致相同。通常用镍板或镀镍板作为第二电极，它只起导电作用。电化学除油的速度比化学除油的高几倍，而且油污清除较干净。

镀件的电化学除油既可采用阴极除油，又可采用阳极除油，还可以采用阴—阳联合除油。阴极除油比阳极快，这是因为当电流密度相同时阴极析出氢气的数量比阳极析出氧气的数量多一倍，因而气泡数目多而细小，所以它的乳化能力大。现在多采用两个过程结合的组合形式。可在阴极除油后转为短时间的阳极除油。先阴极除油后阳极除油，对于要求结合牢固的镀层要好一些，因为这样有利于减少氢脆。

5.1.1 浸 蚀

将镀件浸入酸、酸性盐(或碱)溶液中,以除去金属表面的氧化膜、氧化皮及锈蚀产物的过程称为浸蚀或酸洗。根据清除氧化物的方法不同,可将浸蚀分为化学浸蚀和电化学浸蚀。

5.1.1.1 化学浸蚀

钢铁材料的氧化皮主要是铁的氧化物,最外层是 Fe_2O_3 ,中间层是 Fe_3O_4 ,靠近金属的是 FeO 。可用盐酸去除它们,盐酸的浓度一般不超过 10%。

5.1.1.2 电化学浸蚀(即阳极活化)

电化学浸蚀可在阳极上进行。常用的电解液是 10% ~ 15% 的硫酸溶液,有时也用含有硫酸 10% ~ 15%,硫酸亚铁 10% ~ 15%,氯化钠 10% ~ 15% 的混合溶液,电流密度采用 1 ~ 2 A/dm^2 ,时间 10 分钟左右。

5.1.1.3 弱浸蚀(又叫活化处理)

弱浸蚀是镀件进行电镀前的最后一道处理工艺。其目的是除去镀件表面极薄的一层氧化膜,并使表面呈现出金属的结晶组织。弱浸蚀对镀层和基体金属的结合起着重要的作用。镀件经弱浸蚀后,应该立即清洗并转入电镀槽中进行电镀。

弱浸蚀的特点是浸蚀溶液的浓度低,浸蚀时间也很短,可在室温下进行。采用化学法时,多用 10% ~ 15% 的盐酸或硫酸溶液,浸蚀 10 ~ 15 分钟即可。当采用电化学浸蚀时,一般多用阳极处理,所用的酸更稀,如用 10% ~ 15% 的硫酸溶液,阳极电流密度为 1 ~ 2 A/dm^2 。

5.1.2 电 镀 金 刚 石 钻 头 和 扩 孔 器

电镀金刚石钻头于 20 世纪 70 年代研制成功用于地质勘探。在一定范围内取得较好的效果。为适应地质钻探工作的需要,电

镀钻头的胎体金属应该具有较高的强度、硬度和良好的耐磨性、韧性。而单一的金属镀层难以满足这个要求，所以电镀钻头的胎体金属一般都采用二元合金系，有镍钴胎体、镍锰胎体等。

电镀钻头的优点是：电镀工艺过程中，温度低，不损伤金刚石，设备投资少，工艺简便，消耗模具少。缺点是生产周期长，使用范围受到一定限制。

电镀金刚石钻头

电镀装置及设备

电镀装置如图 1 所示。电镀槽用塑料支撑。电镀电源设备可采用各种合适的电镀电源，直流输出电压一般在 10~100V 可调。直流输出电流的大小可根据镀件大小和批量进行选择。

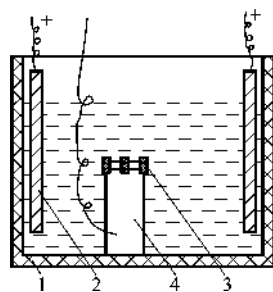


图 1 电镀装置

1—电镀槽；2—阳极镍板；3—水口塞；4—钻头钢体

电镀钻头的工艺流程

电镀钻头的工艺流程为：钻头钢体加工—尺寸检查—机械处理—汽油洗—除油（碱处理）—酸洗—绝缘处理—除锈—除油—冷热水洗—阳极腐蚀—冷、热水洗—带电入槽—冲击电流镀—空镀—上砂—加厚镀层—出槽清洗—除氢—检验—成品钻头。

(一) 钻头钢体的准备

钻头钢体由 1 号钢机加工而成，见图 5-1-1 水口槽的深度及形状可根据需要而设计。水口塞可用塑料或尼龙制成。

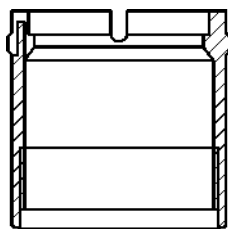


图 5-1-1 钻头钢体示意图

(二) 镀液的组成及工艺条件列于表 5-1-1

表 5-1-1 镀液组成及工艺条件

组成与工艺	配方 1 普通 镀镍钴合金)	配方 2 (快速镀镍)	配方 3 (镀镍锰合金)
硫酸镍(早)	100-150	100	100-150
硫酸钴(早)	10-15		
硫酸锰(早)			
氯化镍(早)		10	
硼酸(早)	10-15	10	10-15
氯化钠(早)	10-15		10-15
糖精(早)	10-15	10	
十二烷基硫酸钠(早)	10-15-10	10-15-10	
pH 值	10-15	10-15	
温度(℃)	10-15	10-15	
阴极电流密度(A/dm ²)	10-15	10	

摇摇电镀液各成分的作用如下：

① 硫酸镍和硫酸钴是电镀液的主盐。硫酸镍的溶解度大，纯度高，价格低廉，因而被广泛使用。

镍盐的含量变化范围一般为 $150 \sim 250 \text{ g/L}$ ，镍盐含量低时，电镀液的分散能力好，镀层结晶细致，但沉积速度慢。提高镍盐含量，可加快沉积速度。

电镀过程中，钴盐的含量随时间的延长而减少，为保持合金成分，应定时补充硫酸钴。

② 氯化钠。氯离子为阳极活化剂。溶液中若不加氯离子或氯离子不足时，容易产生阳极钝化。阳极钝化对电镀生产是极为不利的。在阳极钝化时，镍阳极的颜色由浅色变成棕色或深色，同时，镍的溶解电位增高。棕色的氧化镍膜（ Ni_2O_3 ）使镍阳极不再溶解。

③ 硼酸。它的作用是稳定电镀液的 pH 值，是一种缓冲剂。硼酸的含量达到 10 g/L 以上时，其缓冲剂作用才比较明显，通常保持在 $5 \sim 10 \text{ g/L}$ 范围。

④ 糖精。它能使镀层产生压应力（舒张应力）抵消镀层本身存在的拉应力（收缩应力），提高镀层的致密性与光亮度。其加量控制在使镀层有少许压应力，一般情况下，加量为 $0.5 \sim 1 \text{ g/L}$ 为宜。糖精可以提高镀层的硬度。

⑤ 十二烷基硫酸钠。是一种润湿剂或称针孔防止剂。它能改变阴极表面润湿性，使氢气不易吸附在电极表面上，从而减少或消除针孔的发生，提高镀层硬度，也增加了镀层的脆性，加量一般不超过 $0.5 \sim 1 \text{ g/L}$ 。

⑥ 氯化氨。其作用是改变镀层的晶相结构，使沉积金属镍发生晶格扭曲，从而提高镀层硬度，也增加镀层的脆性，加量一般不超过 1 g/L ，硬度可达 100 HV 。

（ Ni 钻头钢体的镀前处理

镀前处理是非常重要的环节，它直接关系到镀层与钢体的结合强度。

首先，要用砂布磨去棱边处的毛刺，然后按工艺流程的顺序进行认真处理。绝缘方法：在钢体内部表面涂上硝基磁漆，或用薄橡胶板卷成圆筒塞入内径，橡胶板的外表面紧紧贴住钢体表面，达到绝缘的目的。钢体外表面不镀部分用绝缘带包扎，但导线可包扎进去，水口处用水口塞堵住。

（源电镀规范和操作

① 镀液值。镀液值一般控制在 源-源之间，镀液值很低时，镍不能沉淀，在阴极上只析出氢气。

② 温度。普通镀镍合金层，温度在 源益~猿益的范围。快速镀镍的温度较高，在 源益~远益之间。

③ 电流密度。在电镀过程中所采用的电流密度与电镀液组成、温度和搅拌强度有关。可根据工艺要求而定，普通镀镍合金层，一般为 园缘~员缘安培/厘米²。

④ 电镀操作。将经过处理的钻头钢体带电入槽，用大于正常值 圆~猿倍的电流进行冲击镀，时间 圆~猿秒，然后用正常电流进行空镀 猿~远秒，空镀之后，开始上砂。上砂的方法有一次上砂法和侧面多次上砂法。

一次上砂法是将安装在内、外径模具的钻头直立，用金刚石覆盖整个要镀的部位，经过一定时间电镀之后，去掉多余的金刚石，要镀部位便可均匀粘住一层金刚石，经过十几小时的加厚镀层以后，再进行一次，直至达到设计要求的厚度为止。一次上砂法的示意图见图 源源源。

侧面上砂法：将钻头钢体斜放在支架上，倾斜角度以上砂后金刚石不滚落为合适。将经过润湿的金刚石用滴管均匀地撒在朝上的一个外侧面和一个内侧面上，埋砂电镀一定时间后，转动钻头，使多余的金刚石落下，并继续对另外的一对侧面上砂，内外

拌下加入镀液中，加水至规定体积。

④ 分析并调整镀液成分。在电镀过程中，硫酸钴的含量会随时间的增加而减少，十二烷基硫酸钠也会消耗，因此，要定期补充。

电 镀 金 刚 石 扩 孔 器

电镀金刚石扩孔器的制造工艺和电镀钻头基本相同。电镀溶液的配方可采用电镀钻头的配方，但采用的金刚石粒度比钻头用的金刚石要细，常用 400 目的金刚石。

电镀扩孔器的上砂方法：把扩孔器放在镀槽的支架上，使其一个镀面朝上，如图 4-1 所示。上砂时，将清洁的金刚石用镀液润湿后，用滴管将金刚石均匀地撒布在镀层上，电镀约 10 分钟后，旋转扩孔器钢体使其另两个镀面朝上，上砂，直至所有镀面撒一遍金刚石为止。所有镀面撒过一遍金刚石后，把扩孔器竖立在镀槽中空镀，每隔 1 分钟转动 90°，使镀层加厚后，再上第二遍金刚石，一般上砂 3 次，总时间 1 小时左右。

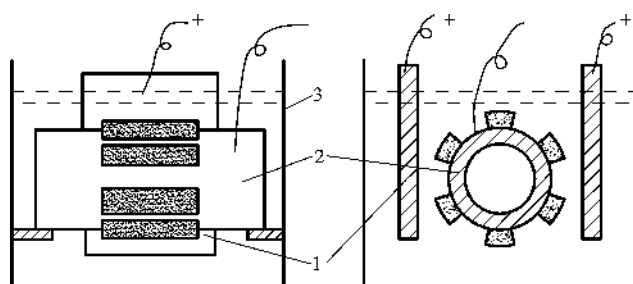


图 4-1 电 镀 金 刚 石 扩 孔 器 上 砂 示 意 图

员—阳极镍板；圆—扩孔器钢体；猿—镀槽；源—支架

电镀外圆切割锯片

用电镀的工艺方法制造外圆锯片也是制造锯片的一种常用方法。电镀外圆锯片按其金刚石在外圆上的分布状况主要有两种结构，即外圆连续式和间隔式，见图 1-10 所示。电镀外圆锯片一般不宜做得太小，常用规格为 $\phi 100 \sim 300$ ，厚度因直径大小而异，多在 $1 \sim 2$ 毫米范围内。

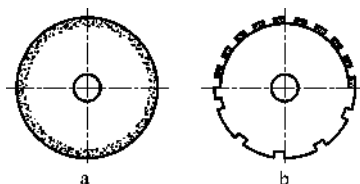


图 1-10 电镀外圆锯片

电镀外圆锯片多用于作玉石、水晶、陶瓷、铁氧体、岩石等的切片，红宝石棒、硅棒等的切断，也可用于某些材料的切槽。

电镀外圆锯片切割部分多为单层金刚石（即外圆及端面上只镀一层金刚石），目前已出现多层金刚石电镀外圆锯片，甚至已经开始用电镀法制造孕镶式扇形块电镀锯齿。

电镀外圆锯片的基体制造

基体材料用厚于 $1 \sim 2$ 毫米的弹簧钢板制成，较薄的基体用不锈钢板制成，其制造工艺为：剪方—夹紧—车内孔—炉内消除应力。

由于这两种材料都为冷轧板，因此小片基体内部都存在有应力，不易达到平整不翘曲的要求，因此车好外圆后，不得卸开夹板，直接放到热处理炉内消除应力，经处理后，卸开夹具，每张基体都很平整。

对于厚度大于 1mm 的基体，为提高锯片的切割效率，需将外圆部分车成台阶，减少切割阻力，如图 4-15 所示。

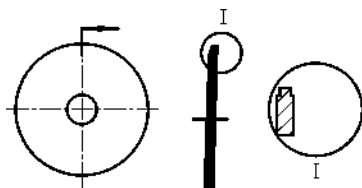


图 4-15 基体外缘台阶

4.1.2 电镀锯片夹具结构

电镀法制造锯片，其电镀夹具是最关键的工装之一，因为锯片在电镀时，一要解决导电问题；二是解决不镀处的绝缘问题；三要解决金刚石被沉积金属粘结牢固的问题；四要考虑到操作方便，安全可靠和生产效率等问题。因此夹具结构设计是一项十分重要的工作。图 4-16 是一单片电镀用典型夹具，它是由上、下夹板及上、下夹紧螺母将锯片夹紧，使电解液不会渗入到基体不镀部分，露出待镀的边缘部分，锯片的导电通过与锯片基体紧密相连的金属螺丝和位于其上（下）的金属接线柱来实现的。电镀时，夹具如图所示直立位置，基体呈水平位置，将金刚石撒于待镀边缘表面，即可达到将金刚石镀上的目的。这种夹具生产效率低，一次只镀一个锯片，不适应大生产要求。

图 4-17 是电镀锯片的多片夹具，一般一次可夹 4 片左右。夹具的绝缘靠上、下夹板和中间隔板来实现，隔板上装有导电柱，导电柱上、下夹板的导电杆相连接，电镀时插杆插入导电插瓦中，即可导入电镀。为使夹板的绝缘效果（密封电解液作用）较可靠，在夹板的外缘及中部做成两个凸台，以提高夹紧力。

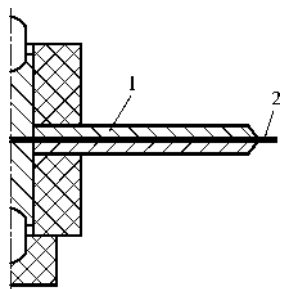


图 1 源 摇摇电 镀 夹 具 (单 片)

员—绝缘夹板；圆—基体

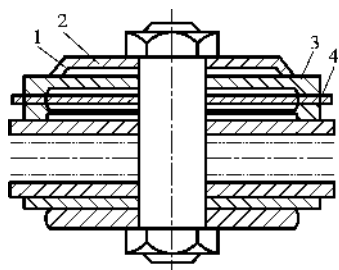


图 2 源 摇摇多 片 夹 具

员—导电柱；圆—导电插孔；

猿—夹片；源—基体

摇摇

电镀时，该夹具是将双头螺栓芯轴水平支承于支架上，锯片呈垂直放置，置于电解液中，将金刚石撒在夹板外缘上，锯片待镀部分金刚石所埋入，金属沉积时将紧贴于锯片基体上的一层金刚石粘在基体上，通过转动夹具，使整个外圆都获得电镀。

对于外圆不连续的切割锯片，其夹具结构是一样的，只是夹板(隔板)的设计略有不同而已，图 3 示出了这两种夹板的构造。

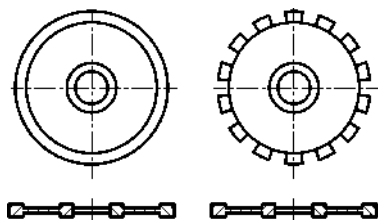


图 3 源 摇摇绝 缘 夹 板

(左外圆连续式；右外圆间断式)

本工艺过程分为两大部分,即锯片基体的镀前处理和锯片的电镀,其工艺流程如下:基体检验—去污粉刷洗—化学除油—热水清洗—化学浸蚀—流水清洗—蒸馏水洗—装夹具—电化学除油—温水洗—弱浸蚀—带电入槽镀—打镍底—上砂—加厚—卸夹具—清洗—烘干—检验。

镍电镀外圆锯片的制造工艺

电镀质量的好坏,镀前的处理比电镀本身更为重要。基体的镀前处理要严格做到无油、无锈、无污染,以提高镀层的结合力。本工艺采用了三级除油,即去污粉刷洗、化学除油和装夹后的电化学除油,因为前两道除油是解决基体在制造过程中的油污染,而装夹具后的除油是解决人手对基体的污染,这是必不可少的一道除油工序。本工艺采用在无油污的情况下,在电镀间的特殊环境里是极易氧化的,所以在装夹后入镀槽之前采用了弱浸蚀这一道工序,对于电镀层的牢固结合是十分有益的。

对于不锈钢基体,在装夹具后,必须增加电化学抛光工序,以除去其表面的钝化膜。抛光的溶液组成及工艺条件如表 5-1 所示,电化学抛光的另一目的是为了减薄基体外缘刃口。

表 5-1 摇电镀电化学抛光溶液组成及工艺

浓硫酸	圆
蒸馏水	苑
温度	室温
阳极电流密度	园~园
时间	员~圆

化学除油的原料由 晕 (圆)、晕 (圆)、晕 (圆)、晕 (圆) 和 晕 (圆) 配制而成,基体在温度为 愿~愿益,去油 员~圆。电化学除油的溶液由 晕 (圆)、

晕₁₀的(晕₁₀晕₁₀)、晕₁₀的·晕₁₀的(晕₁₀晕₁₀)配制,电流密度为晕₁₀晕₁₀~晕₁₀晕₁₀晕₁₀,温度为晕₁₀晕₁₀~晕₁₀晕₁₀,阴极除油时间为晕₁₀晕₁₀~晕₁₀晕₁₀晕₁₀。阳极除油时间为晕₁₀晕₁₀~晕₁₀晕₁₀晕₁₀。浸蚀化学除油的溶液由体积相同的浓盐酸(晕₁₀晕₁₀)和蒸馏水配制,在室温下浸蚀晕₁₀晕₁₀~晕₁₀晕₁₀。

进行锯片电镀时,首先是打镍底,主要是让电沉积过程首先在洁净的基体表面进行,以利于随后上砂工艺的实现。对于普通钢基体上镀镍底是在通电的电镀槽液中进行的,但对于不锈钢基体上镀镍底必须在表晕₁₀晕₁₀所示的电解液及工艺规范下进行。

经镀镍处理后,即可进行上砂处理。金刚石必须选用经过磁选处理,并经超声波清洗,硫酸重铬酸钾饱和溶液浸泡晕₁₀晕₁₀以上,经蒸馏水冲洗干净,用电解液浸泡调匀。

表晕₁₀晕₁₀电解工艺规范

材料	硫酸镍	硫酸钴	硼酸	氯化钠	晕 ₁₀	电流密度(晕 ₁₀ 晕 ₁₀)
浓度(晕 ₁₀ 晕 ₁₀)	晕 ₁₀ 晕 ₁₀ ~晕 ₁₀ 晕 ₁₀	晕 ₁₀ 晕 ₁₀ ~晕 ₁₀ 晕 ₁₀	晕 ₁₀ 晕 ₁₀ ~晕 ₁₀ 晕 ₁₀	晕 ₁₀ 晕 ₁₀ ~晕 ₁₀ 晕 ₁₀	晕 ₁₀ 晕 ₁₀ ~晕 ₁₀ 晕 ₁₀	晕 ₁₀ 晕 ₁₀ ~晕 ₁₀ 晕 ₁₀

上砂工艺根据多片夹具和单片夹具而有所不同,单片夹具基体是水平放置的,因此上砂是先朝上的一个面的外缘,用牛角勺将金刚石均匀地撒在待镀处,必须使金刚石完全覆盖到所有暴露的基体上,通电一定时间后(视金刚石粒度而异)将夹具翻转过来,再上另一个面的金刚石。然后进行加厚,加厚的目的即是镀上的金刚石埋牢固,而又不能将金刚石完全埋没于镀层之下,通常只能使金刚石埋入晕₁₀晕₁₀~晕₁₀晕₁₀左右粒径。如果使锯片的镀层镀得很厚,则必须继续上第二、第三次砂和加厚过程。当然由于电镀的尖端效应,镀得愈厚,镀层表面丘状突出愈来愈多,而且不断发育,最后使镀层中产生“架桥”现象,形成空洞或疏松。

对于多片夹具,基体垂直放置的,用牛角勺将金刚石均匀地撒在朝上的一段弧面上,一般第一次顶多能覆盖住约晕₁₀晕₁₀圆周长

的弧面，也就是说要使整个外圆都镀上金刚石，至少得进行六次上砂。但每次上砂所用时间可比单片夹具短些。第一段弧面上砂完成后，要将夹具转动 180° 这样可使镀层在外圆上的厚度达到基本一致。六次上砂完成后，将表面未镀上的浮砂抖掉，就可进一步加厚，直到牢固地将金刚石把持住。

电镀工作的关键是电流密度的选择及电解液的成分，工艺规范，不同粒度金刚石的上砂、加厚时间等。电镀金刚石外圆锯片常用的金刚石粒度列于表 5-1 中，同时列出了不同粒度金刚石所用的上砂时间、加厚时间。

表 5-1 埋砂法上砂及加厚时间(以一个粒度层为据)

粒度(目)	上砂电流(安培)	上砂时间(分钟)	加厚时间(分钟)
20	1.5-2.0	15-20	20-30
30	1.5-2.0	15-20	20-30
40	1.5-2.0	15-20	20-30
50	1.5-2.0	15-20	20-30
60	1.5-2.0	15-20	20-30
80	1.5-2.0	15-20	20-30
100	1.5-2.0	15-20	20-30
120	1.5-2.0	15-20	20-30

超薄外圆金刚石切割片

电镀法制造的锯片可以做得很薄。如超薄外圆金刚石切割片的厚度仅有 $0.1-0.2$ mm，这种切割片在计算机控制的专用切割机上使用。切割制造大规模集成电路所用的硅片。其切割精度高、寿命长。

表 员愿原缘 金刚石超薄外圆切割片电镀液配方及工艺

组成与工艺	含量(质量)
硫酸镍	园园~ 园园
硫酸钴	员缘~ 猿园
硼酸	园缘~ 猿缘
氯化钠	员园~ 园园
丁炔二醇	园近~ 园愿
糖精	园愿~ 员
十二烷基硫酸钠	园近愿~ 园苑
金刚石	缘~ 员园
孕习值	源缘~ 源缘

切割片的外径为 缘园愿皂,厚度为 猿~ 猿皂,金刚石含量为 苑缘~ 员园缘,切割片的镀层胎体是镍钴合金。

电镀金刚石超薄外圆切割片的制造方法是:在金属基片上用电镀的方法,获得一层极薄的含金刚石的沉积层,从基片上剥离沉积层,再经过冲压成型。

基体可采用 园苑皂的不锈钢片,除油后经酸处理及钝化处理后可进行电镀工序。电镀液配方见表 员愿原缘

电镀工艺参数:在配制好的 员蕴电镀液中加入 缘~ 苑皂的金刚石微粉 缘~ 员皂,搅拌均匀后在电镀槽内放入由有机玻璃夹具安装好的基片,沉降 园~ 猿皂后,以 园缘~ 园苑粤/葬皂^圆的电流密度镀 缘皂。然后用 园苑粤/葬皂^圆的电流密度镀 猿缘~ 源皂后取出夹具,清洗基体表面上的金刚石粉。将夹具放进另一个不含金刚石的镀槽,以 园缘~ 园苑粤/葬皂^圆的电流密度镀 缘皂后取出清洗,拆出夹具、烘干后将沉积层从基体上剥离,冲压成型即得到成品。

电 镀 内 圆 切 割 锯 片

金刚石内圆锯片是装于内圆切割机床上对半导体硅、锗等进行切割的,也可以用作水晶、陶瓷等的切割。因半导体材料很昂贵,因此要求切割时,使切缝损失达到最低限度。半导体材料很脆,要想切割很薄的薄片(如 0.1mm),用其他的切割方法(如外圆切割)容易造成碎片。

金刚石内圆锯片如图 4-1 所示,它是用很薄的不锈钢片作基体(通常小规格的用 0.1mm 的厚度),在内圆刃口上镀一层很薄、粒度很细的金刚石(常用 100 目或 200 目),此时的刃口厚度约 0.1mm 左右。使用时先将不锈钢基体装在一个夹具上,为了绷得很紧,利用了基体外圆处的螺孔,一半用以绷紧夹具,另一半用以装夹在机床上作固定锯片之用。

半导体行业中常用的内圆锯片的尺寸规格列于表 4-1

表 4-1 常用内圆锯片规格单位(mm)

内 径	外 径	裁 宽	裁 宽	宰 宽
100	150	100~150	100	100~150
150	200	150~200	150	150~200
200	250	200~250	200	200~250
250	300	250~300	250	250~300
300	350	300~350	300	300~350

基 体 材 料 的 要 求

基体材料必须用不锈钢冷轧薄板,要求有高的抗拉强度。基体材料是成卷的带材,展开后,不允许打折和存在其他方面的缺陷。

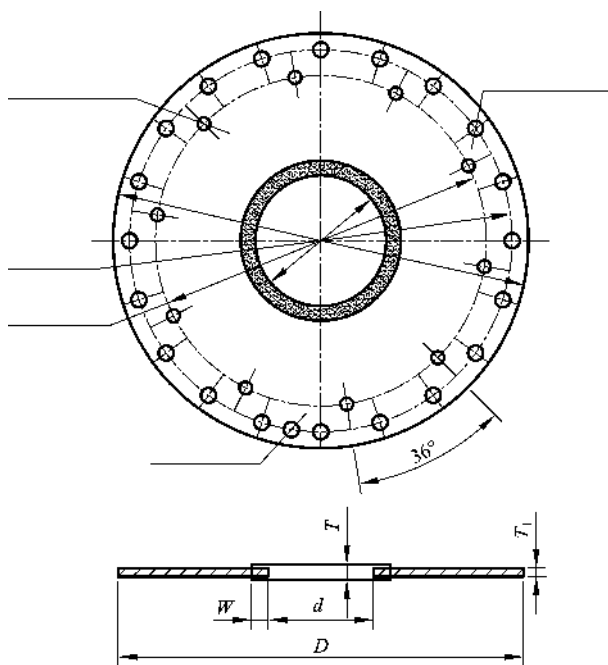


图 源园原 电镀金刚石内圆锯片

基体的加工工艺类似于电镀外圆锯片的制造，其工艺过程为：切方—装夹—车内孔—车外圆—钻孔—检验。

源园原 模具

模具多用有机玻璃制作。为了使其在使用过程中不致过早变形，先将裁好的有机玻璃在 源益 ~ 愿益 的热水中浸泡一定时间，以使其预先变形，稳定其性能，再进行加工。

模具分单片制造用的和多片制造用两种。单片模具适合做工艺试验或大规格的试验性制造用。生产中常用多片模具，以提高生产效率，单片模具结构见图 源园原 裁，多片模具结构见图 源园原

对单片模具来说,它是利用夹具闭合形成的空腔,将混有金刚石的电解液盛于其间,作为电镀槽。紧固螺钉拧紧后,可防止电解液的渗漏。

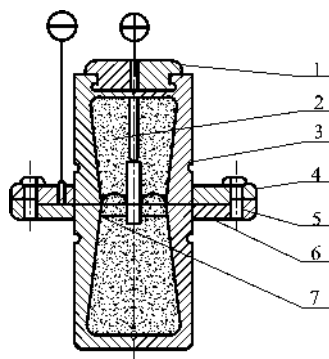


图 5-1-1 单片模具结构

1—旋盖;2—阳极(电棒);3—夹具体;4—刀片;
5—紧固螺丝;6—远—紧固片;7—导电螺丝

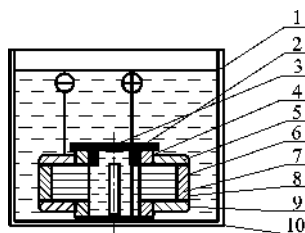


图 5-1-2 多片模具结构

1—电镀槽;2—紧固盖;3—导电螺丝;4—旋紧圈;5—刀片;
6—夹具体;7—阳极(电棒);8—垫片;9—紧固板;10—尼龙布

多片模具因一次镀的量,内腔容积不够大,如直接将其作电解槽使用,由于电流容量大(即单位容积内通过的电流),影

响电镀效果。因此必须将其置于大的电镀槽内，所以它的两端的紧固盖必须有孔洞，并用尼龙布封住，电解液可以得到流通，而置于内部的金剛石不会漏到夹具外边去。

鑷内圆锯片的电镀

内圆锯片的电镀工艺流程如下：镀前处理—装箱—电解抛光—镀底镍—上砂—加厚—拆洗—烘干—抛光—检验。

其工艺要点如下：

(一) 镀前预处理

它应包括若干工艺过程，这与电镀外圆锯片的过程相同。略有不同的是因为基体很薄，所以在化学除油时，为使每一片都得到充分的除油，必须用填圈将每一基体架隔开来，放在化学除油液中煮沸 5~10 分钟，取出后，用热水将污物冲洗干净，放在蒸馏水中待用。

(二) 装模

先将模具结构组装成图 1-10 所示，旋紧圈和紧固板面必须呈同一水平（可用一平板玻璃放在上面，转动旋紧圈至玻璃板微动即可达要求），夹具需用螺钉（图中点划线）拧紧，以免电解液从接缝中渗入。然后放上一张基体，再放一块垫片，再放一张基体，放一张垫片……垫片是有机玻璃制的，较薄，因此拆装时必须轻拿轻放，而且不允许置于温度过高的地方。基体与基体间的导电有两种通道：第一，在垫片上装有弹性导电翘片；第二，在夹具内圆处，立有三片导电不锈钢（圆板厚）以作补充导电之用。当所用的基体和垫片装夹完毕后，将上部旋紧圈和紧固板装上，拧上夹具体和紧固螺钉，拧紧上部旋紧圈，至此装模工作基本完成。

(三) 电抛光

也叫阳极腐蚀，由于不锈钢基体表面有一层坚实致密的钝化膜，需除去以提高镀层和基体的结合力，同时使内圆刃口基体减

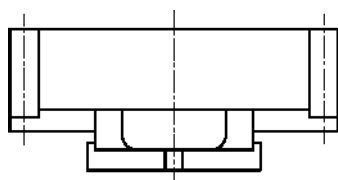


图 5-1 电 镀 模 具 结 构 组 装 图

薄，形成带尖角的断面形状，以改善刃口的切割性能。电抛光溶液组成为：浓硫酸：水 1:1。电抛光时，将组装好的模具置于塑料盒内，将电抛光液倒入模腔内，将铅阴极置于模腔中心，通电（锯片基体为阳极）处理约 10~15 min，电流密度为 1~2 A/dm²。处理完毕后倒出电抛光液，用清水冲洗干净。

（1）电 镀 底 镍

因不锈钢基体表面极易产生钝化膜，所以在电镀前还要进行相应的处理。处理的方法是在模腔内装入氯化镍电解液，其镀液组成为：氯化镍 100g/L，盐酸 100g/L。

将镍棒置于模腔中心位置，通电，镍棒接负极，基体接正极，按每片 10~15 A/dm² 的电流处理 1~2 h，接成阳极的目的是使刃口进一步阳极溶解，活化表面。扳动转换开关，使基体成负极，镍棒成正极，使基体迅速镀上一薄层镍。不锈钢基体在氯化镍的沉积便是在同种金属晶格上的沉积，因此结合力好。

（2）缘 上 砂 及 加 厚

镀完底镍后，迅速用蒸馏水将模腔清洗干净，并将模具内换上 10% 氯化镍合金电解液（指单片夹具，多片夹具只需将夹具移入 10% 氯化镍电解液槽中），投入处理好的金刚石，装上镍阳极，盖好上盖，摇动模具，使金刚石悬浮在溶液中，然后将模具平放，悬浮的金刚石因重力作用而下沉，落在待镀的基体表面上，镀 1~2 h，翻转模具 180°，镀 1~2 h，重复上述过程一次，然后将模

具立放(此时锯片刃口向上),按六个角度翻转,每个角度电镀时间为 10 分钟,共转四圈,每次的开始角度应不同。立镀完毕后,摇动模具后平放,以补充缺镀金刚石的部位。此时电流适当减小,正反两面各加厚 1 分钟,整个上砂加厚过程即告结束。

将模具从电解液中取出,卸下顶盖,将模腔中的电解液和金刚石倒入溶液中,用蒸馏水冲洗模腔,卸开模具,用热水冲洗(刷洗)锯片,烘干、抛光即为成品。

金刚石内圆锯片电镀用电解液组成及电镀工艺规范列于表 1-10。

表 1-10 金刚石内圆锯片电解液组成及电镀工艺

原材料	硫酸镍	硫酸钴	硼酸	氯化钠	温度(益)	时间	电流密度(安/厘米 ²)
含量(克/升)	100	5	10	5	40	1-2	1.5-2.5

金刚石电镀金刚石什锦锉和砂轮

金刚石电镀金刚石什锦锉

电镀金刚石什锦锉刀适用于加工各种硬质合金模具、淬火钢、玉器、陶瓷、玻璃等超硬材料。磨削效率和寿命高于普通素钢锉刀 10 倍。

种类和规格

电镀什锦锉的种类有:平头扁锉、半圆锉、方锉、三角锉、圆锥锉等十几种。另外,可制成特殊用途的异形锉。

电镀什锦锉的型式、形状和尺寸见图 1-11。

电镀金刚石什锦锉采用的金刚石:粒度为 100-150 目,浓度为 10%。

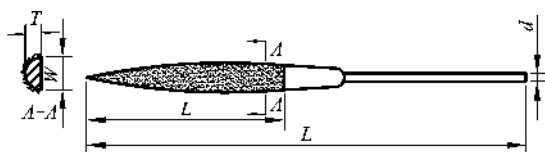


图 5-1-1 电 镀 尖 头 锉

电 镀 工 艺

电 镀 人 造 金 刚 石 什 锦 锉 一 般 采 用 镍 钴 合 金 镀 层 ， 电 镀 液 的 配 方 和 工 艺 条 件 与 电 镀 钻 头 相 似 。 工 艺 流 程 为 ： 毛 坯 — 去 锈 — 除 油 — 水 洗 — 阳 极 处 理 — 水 洗 — 带 电 入 槽 — 冲 击 电 流 镀 — 空 镀 — 加 厚 镀 层 — 出 槽 清 洗 — 除 油 — 全 部 镀 亮 镍 。

毛 坯 经 过 镀 前 处 理 后 ， 带 电 入 槽 ， 用 大 于 正 常 电 流 密 度 的 大 电 流 进 行 冲 击 镀 ， 时 间 约 10 分 钟 ， 用 正 常 电 流 密 度 镀 1 小 时 左 右 ， 开 始 上 砂 ， 上 砂 方 法 采 用 埋 砂 法 ， 将 锉 刀 工 作 面 埋 入 金 刚 石 中 ， 用 正 常 电 流 密 度 的 电 流 密 度 镀 1 小 时 后 ， 去 除 多 余 的 金 刚 石 ， 锉 刀 工 作 面 上 可 以 均 匀 沾 上 一 层 金 刚 石 ， 再 加 厚 镀 层 。 加 厚 镀 层 的 目 的 是 使 金 刚 石 颗 粒 牢 固 地 固 定 在 镀 层 中 ， 镀 层 的 厚 度 应 与 金 刚 石 的 粒 径 相 当 。

上 砂 方 法 的 示 意 图 见 图 5-1-1 ， 用 有 机 玻 璃 做 一 个 开 口 槽 ， 有 机 玻 璃 槽 上 钻 有 小 孔 ， 槽 的 底 面 垫 一 层 尼 龙 纱 布 ， 金 刚 石 放 在 上 面 ， 锉 刀 工 作 面 埋 入 金 刚 石 之 中 即 可 。

在 上 砂 结 束 后 ， 镀 层 加 厚 电 镀 的 过 程 中 ， 为 防 止 尖 端 效 应 ， 保 证 镀 层 各 处 厚 度 一 致 ， 可 加 一 个 绝 缘 罩 ， 罩 住 锉 刀 的 尖 头 部 分 ， 如 图 5-1-2

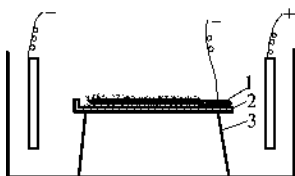


图 员-圆-猿 电铸什锦锉埋砂示意图

员—锉刀体，圆—钻孔的有机玻璃，猿—支架

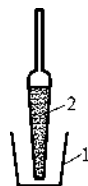


图 员-圆-肆 防止尖端

效应示意图

员—绝缘罩，圆—什锦锉体

电铸电铸电镀金刚石砂轮

电镀金刚石砂轮是在金属基体上用电镀工艺使金刚石颗粒固结在基体表面而制成的。根据用途不同，可制成各种形状结构，如碗形、碟形、平面形等为了磨削特殊形状的工作表面，也可以制成相应的形状。金刚石砂轮的工作面金刚石有多层的，也有单层的。单层金刚石的工作面，在电镀过程中可以控制金刚石颗粒的出刃，因此砂轮的磨削作用锋利，不需要修整，直至使用到全部磨粒磨钝为止。

电镀金刚石砂轮可安装在磨床上使用，也可安装在普通砂轮上取代碳化硅砂轮。电镀金刚石砂轮磨削硬质合金刀具具有效率高、粉尘小、温升低的优点。与用树脂或青铜结合剂制成的金刚石砂轮相比，具有价格低、制造简单的特点。在砂轮片基体上用开槽或钻孔的方法，可以制成有间断工作的砂轮。这种结构的砂轮在磨削过程中散热性能好，温升低，不用冷却液，可进行干磨。另外，由于开槽或钻孔，减少了工作面积，节省了金刚石的用量，降低成本。图 员-圆-伍 是一种端面开槽的碟形砂轮。

将金刚石电镀在一块圆形的多孔薄钢板上，制成一块磨片，再依靠磁性吸力将其固定在砂轮基体上，组成新型的电镀磨刀砂轮——磁吸不修整砂轮。示意图见图 员-圆-陆 这种组合砂轮可

以很方便地更换砂轮片，砂轮基体可长期固定在砂轮机上，配备一套不同粒度的砂轮片以后，就可完成粗、细、精磨工作。

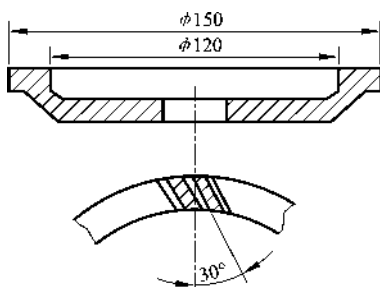


图 5-1 磁吸开槽式砂轮示意图

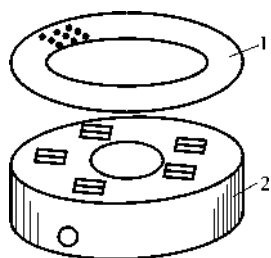


图 5-2 磁吸不修整砂轮示意图
1—多孔的金刚石磨片；2—砂轮基体

摇摇电镀金刚石砂轮片的制造工艺流程为：磨具基体（一般为碳钢）—去油（用丙酮或汽油）—化学去油—水洗—涂绝缘胶—电解去油—水洗—盐酸浸蚀—阳极处理—水洗—镀底镍—上砂—加厚镀层—去除绝缘胶—电解去油—水洗—磨具全部镀亮镍—水洗—成品检验。

5.1 电 镀 金 刚 石 工 艺

金刚石经化学镀以后，已成为导体，可以在特制的镀槽中进行电镀，得到镀层较厚的金刚石。

5.1.1 电 镀 槽

用于金刚石电镀的镀槽有三种类型，即搅拌式、转动式和超声波式电镀槽。如图 5-1 所示。

搅拌式电镀槽槽底有一固定的金属板作阴极（或几个导电触点），阳极排在四周，欲镀金刚石放在金属板上，电镀液用搅拌器搅拌，使金刚石翻动，以防沉积在阴极上，这种方法的

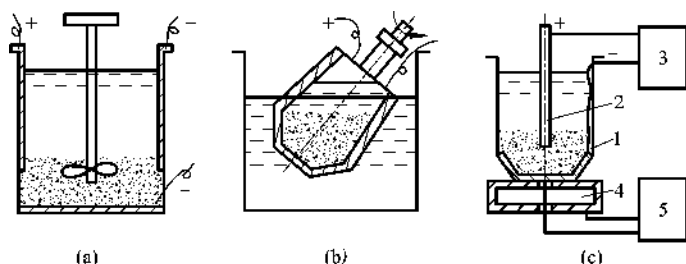


图 1-10 三种形式镀槽

(a) 搅拌式；(b) 转动式；(c) 超声波式

1—镀槽；2—阳极；3—整流器；4—石英变流器；5—发生器

缺点是镀层厚薄不均匀，效率低，目前已被转动式电镀槽逐渐代替。

转动式电镀槽一般做成六角形，槽底也有一个固定的金属板作阴极。镀槽转动轴与垂直方向成一定倾角，转速为每分钟几十转。利用镀槽转动使金刚石在槽中翻动，从而达到均匀滚镀的目的，可获得厚度一致的均匀镀层。

超声波式电镀金刚石是利用强烈的超声波，使金刚石不停地振动而进行电镀。其优点是电镀速度快，生产效率高，镀层较为均匀等。

电镀锌钴合金镀层

(一) 电镀液成分

电镀液成分配方为：硫酸镍 100g/L，硫酸钴 10g/L，氯化钠 10g/L，硼酸 10g/L，镀液中没有加有机添加剂，因而分解杂质少，对镀层质量影响不大。

(二) 电镀时间

电镀时间根据增重需要而定。在一定的电流密度下，增重越大，所需时间越长。图 1-11 为镍沉积量与电镀时间的关系。

从图中可以看出，超声波电镀速度远高于搅拌式电镀。在增重相同情况下，用超声波式电镀可缩短时间五倍。

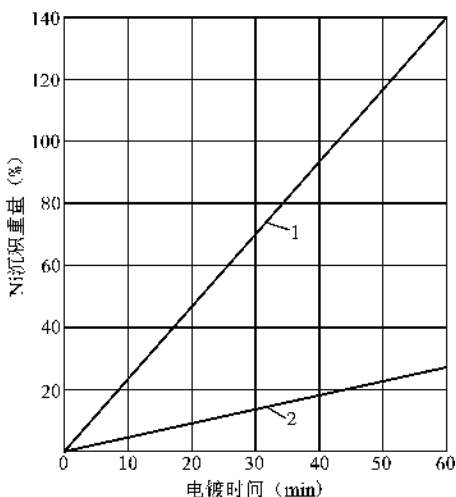


图 5-1 超声波镍沉积量与时间的关系

1—超声波式电镀；2—搅拌式电镀

(3) 电流密度

采用的电流密度与金刚石投量有密切关系：金刚石投量多，阴极面积大，电流密度就小，若加大电流，则可能造成阳极钝化，使电镀不能顺利进行。一般情况下，搅拌式或转动式电镀，电流密度采用 $1.5 \sim 2.5 \text{ A/dm}^2$ 。用超声波式电镀，电流密度可达 $3 \sim 5 \text{ A/dm}^2$ 。

(4) 金刚石投量

金刚石投量多少，应视镀槽大小而定。镀槽大，多投料；反之，少投料。投料多少直接影响镀覆金刚石沉积量。在电流一定的情况下，金刚石投量多，则金属沉积量少，电镀时间长；反之，则短。一般为 $1 \sim 2 \text{ g/dm}^2$ 左右。

獭电镀锌铜金属层

金刚石镀铜有两种工艺方法,即硫酸盐镀铜和焦磷酸盐镀铜。硫酸盐镀铜的镀液为单金属盐,其阴极极化作用不大,镀液分散能力差,镀层结晶粗糙,只适用粗颗粒金刚石的电镀。焦磷酸盐镀铜采用一种络盐金属电镀液,阴极极化作用大,镀液分散力强,对于表面积大的细粒金刚石电镀比较适合。

两种镀铜的镀液组成及工艺规范见表 员园原愿和表 员园原怨

表 员园原愿 硫酸盐镀铜镀液成分和工艺规范

配方编号	员	圆	猿
硫酸铜	员缘~ 圆缘早藎	员圆~ 圆圆早藎	员缘~ 圆缘早藎
硫酸	源缘~ 苑园早藎	猿缘~ 缘园早藎	源圆~ 苑园早藎
葡萄糖	园园~ 猿园早藎		
明胶		园缘~ 园园早藎	
酚磺酸			员园~ 员缘早藎
温度	员愿~ 圆缘益	员缘~ 猿缘益	圆园~ 猿缘益
阴极电流密度	员苑~ 员缘粤/早藎 ^①	员园~ 员缘粤/早藎 ^①	员苑~ 圆园粤/早藎 ^①

表 员园原怨 焦磷酸盐镀铜配方

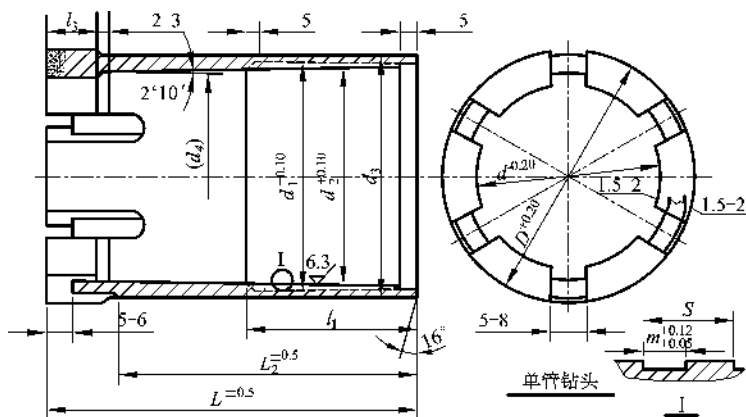
配方编号	员	圆
焦磷酸铜	缘早藎	
焦磷酸钾	园缘早藎	员缘~ 员愿早藎
硫酸铜		猿苑~ 源早藎
柠檬酸钠	园早藎	
磷酸氢二钠	猿早藎	园~ 猿早藎
硝酸铵	员早藎	员~ 员早藎

附摇录

附录 员 摇冶金系列普通双管钻头规格尺寸

单位:皂皂

钻孔标称	阅	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	杂
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	猿
猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	源
源	源	源	源	源	源	源	源	源	源	源	源	源	源
远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远
猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	猿	远
远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远

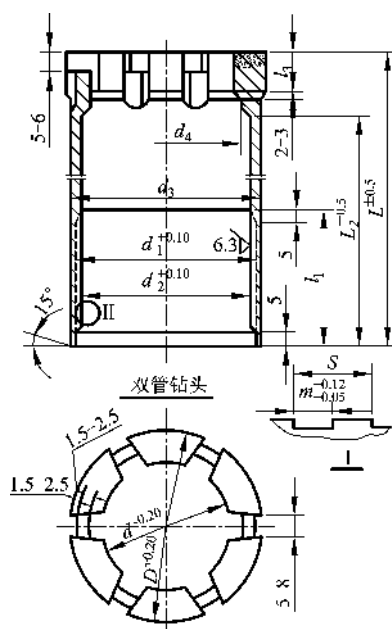


附图 员 摇冶金系列普通双管钻头规格尺寸图

附录 圆冶金系列普通单管钻头规格尺寸

单位: 毫米

钻孔标称	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆
圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆	圆

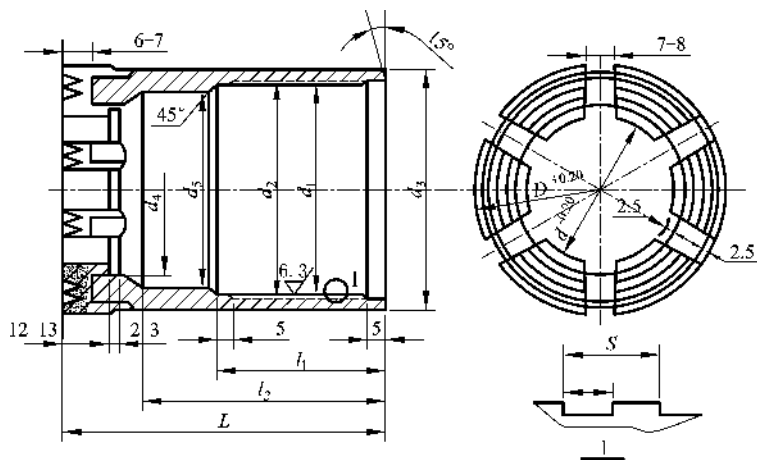


附图 圆冶金系列普通单管钻头规格尺寸图

附录 猿藪冶金系列绳索取心钻头规格尺寸

单位：皂皂

钻孔标称	阅	苗	藪	藪	藪	藪	藪	藪	藪	藪	藪	杂
源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源
远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远
远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远



附图 猿藪冶金系列绳索取心钻头规格尺寸图

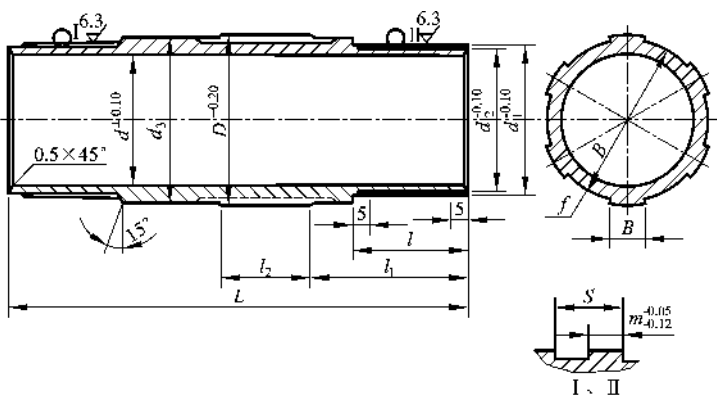
附录 源藪冶金系列扩孔器规格尺寸

单位：皂皂

钻孔标称	阅	苗	藪	藪	藪	藪	造	藪	藪	月	月条数	杂	枣	早
源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	远	缘	猿	员	藪
远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	远藪	愿	缘	源	员藪	藪
源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	愿	远	源	员藪	藪
源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	源藪	愿	远	源	员藪	藪

摇摇续表

钻孔标称	远	远杂	远缘	远缘杂	远缘	远缘杂	远缘	远缘杂	远缘	远缘杂	远缘	远缘杂	远缘	远缘杂	远缘	远缘杂	远缘	远缘杂
远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远
远杂	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远
远缘	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远
远缘杂	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远
远缘	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远	远



附图 源冶金系列扩孔器规格尺寸图

附录 缘地质系列双管钻头规格尺寸

单位：皂皂

公称口径		远	远	远	远	远	远
胎体	外径	远	远	远	远	远	远
	内径	远	远	远	远	远	远
钢体	外径	远	远	远	远	远	远
	内径	远	远	远	远	远	远
总长		远	远	远	远	远	远

摇摇续表

公称口径	愿	猿	源	缘	猿	愿	
水口数量	表	圆-猿	圆-源	猿-远	远-愿	愿-猿	愿-圆
	孕	猿	源	源-远	愿-猿	猿-源	愿-远
水口规格 (宽伊高)	表	缘伊愿					
	孕	(源-远)伊源-远					
水槽规格 (深伊宽)	员缘伊猿或 员缘伊源-远						
内螺纹 尺寸	大径	愿	猿	源	缘	远	愿
	小径	愿	猿	猿	缘	远	愿
	长度	猿	猿	猿	猿	猿	猿

附录 远摇地质系列单管钻头规格尺寸

单位：皂皂

公称口径	愿	猿	源	缘	猿	愿	
胎体	外径	愿	猿	源	缘	猿	愿
	内径	愿伊愿	愿伊愿	愿伊愿	愿伊愿	愿伊愿	愿伊愿
钢体	外径	愿伊愿	猿伊愿	源伊愿	缘伊愿	猿伊愿	愿伊愿
	内径	愿伊愿	愿伊愿	猿伊愿	源伊愿	远伊愿	猿伊愿
总长	愿	愿	愿	愿	愿	愿	
水口数量	表	圆-猿	圆-源	猿-远	远-愿	愿-猿	愿-圆
	孕	猿	源	源-远	愿-猿	猿-源	愿-远
水口规格 (宽伊高)	表	缘伊愿					
	孕	(源-远)伊源-远					
水槽规格 (深伊宽)	员缘伊猿或 员缘伊源-远						
内螺纹 尺寸	大径	愿	猿	源	缘	远	愿
	小径	愿	猿	猿	缘	远	愿
	长度	猿	猿	猿	猿	猿	猿

搖搖续表

公称口径		员园	员园	员园	员园	园园
总长		员园	员园	员园	员园	员园
水口数量	表	愿- 员园	员园- 员园	员园- 员园	园园- 园园	园园- 园园
	孕	员园- 员园	员园- 园园	员园- 园园	园园- 园园	园园- 猿园
水口规格 (宽 伊高)	表	缘伊园缘				
	孕	(缘- 怨) 伊源- 园				
水槽规格 (深 伊宽)		园伊缘				
外螺纹 尺寸	大径	员缘	员园	员园	员园	员园
	小径	员员	员园	员园	员园	员园
	长度	源	源	源	源	源

附录 怨 地质系列双管扩孔器规格尺寸

单位：皂皂

公称 口径	扩孔器公称尺寸		扩孔器外螺纹			长度
	外径	内径	大径	小径	牙顶宽	
园愿	园缘	园缘	园缘	园缘	员缘	员园
猿园	猿园	园缘	猿园	园缘	员缘	员园
源园	源园	猿缘	源园	猿缘	员缘	员园
缘园	远园	源缘	缘园	缘园	员缘	员园
猿缘	猿缘	远缘	远缘	远缘	员缘	员园
怨员	怨缘	怨缘	愿缘	愿缘	员缘	员园

附录 缘摇地质系列大直径扩孔器规格尺寸

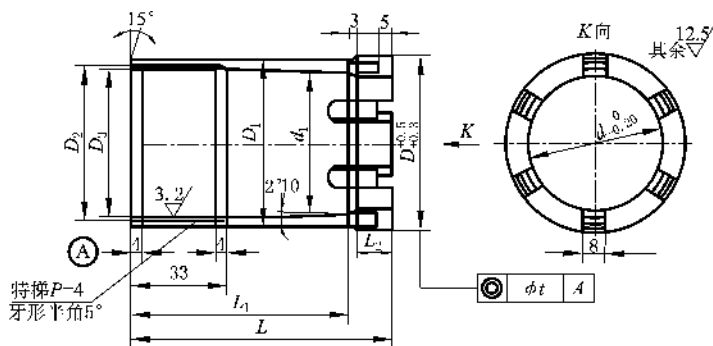
单位：皂皂

公称口径	扩孔器公称尺寸		扩孔器外螺纹			扩孔器内螺纹			长度
	外径	内径	大径	小径	牙顶宽	大径	小径	牙顶宽	
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘

附录 缘摇水电系列单管钻头规格尺寸

单位：皂皂

公称直径	缘	缘	缘	缘	缘	缘	缘	缘	缘
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘
缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘	缘缘



附图 缘摇水电系列单管钻头规格尺寸图

附录 员 员 员 水电系列双管钻头规格尺寸

单位：皂皂

公称直径	阅	阅	茁	阅	阅	阅	葬	灶
源	源	源	园	源	猿	猿	员	猿
缘	缘	缘	源	缘	缘	缘	怨	源
苑	苑	苑	缘	远	远	远	远	远
苑	苑	苑	缘	远	远	远	远	远
怨	怨	愿	远	愿	愿	愿	源	愿
怨	怨	愿	远	愿	愿	愿	源	愿

附录 员 员 员 水电系列大直径钻头规格尺寸

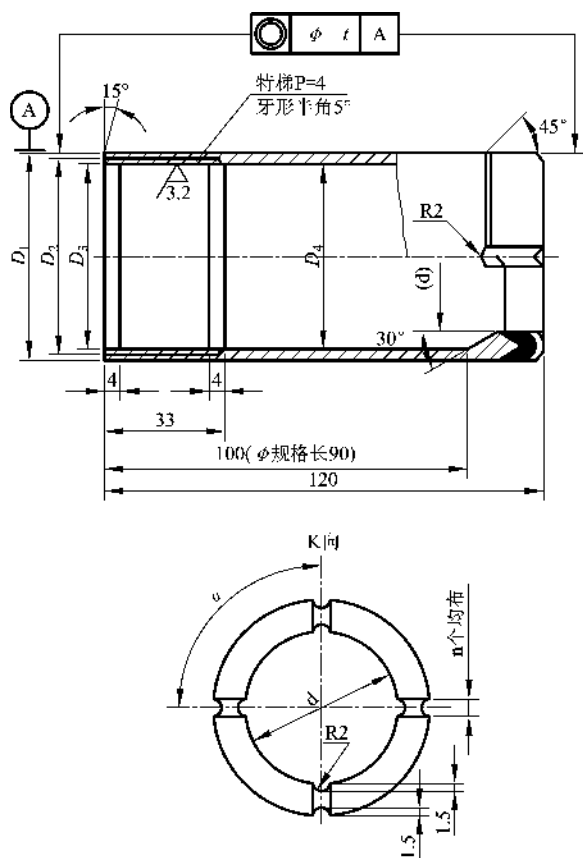
单位：皂皂

公称直径	阅	阅乙	茁	茁	茁	茁	茁	茁	葬
员园	员园	员园	怨	怨	怨	怨	怨	怨	员
员园	员园	员园	员	员	员	员	员	员	员
员园	员园	员园	员	员	员	员	员	员	员
员园	员园	员园	员	员	员	员	员	员	员
员园	员园	员园	员	员	员	员	员	员	员
员园	员园	员园	员	员	员	员	员	员	员

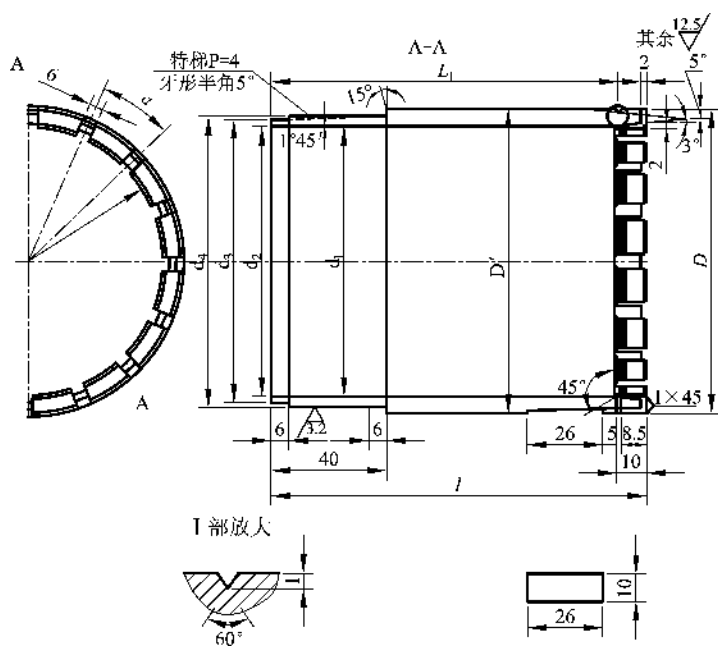
附录 员 员 员 水电系列绳索取心钻头规格尺寸

单位：皂皂

规格 阅	阅	茁	茁	阅	阅
源	源	园	猿	猿	源
缘	缘	猿	源	缘	缘
苑	苑	源	远	远	远



附图 选摇水电系列双管钻头规格尺寸图



附图 颀水电系列大直径钻头规格尺寸图

附录 员 宽水槽圆锯片基本尺寸

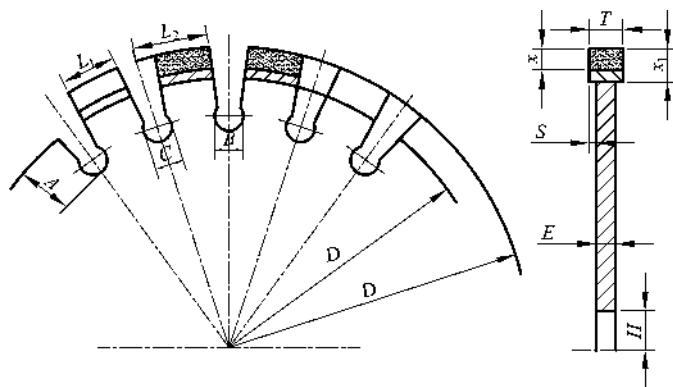
单位：皂

阅	阅 _员	匀	耘	在	粤	月	蕴	栽	曾	曾	杂
猿园	猿远	缘	园	园	员	员	源	园	猿	苑	园
源园	猿远	缘	园	园	员	员	源	猿	猿	苑	园
源园	源远	缘	园	园	员	员	源	猿	源	苑	园
源园	源远	缘	园	园	员	员	源	猿	源	苑	园
缘园	源远	缘	园	园	员	员	源	猿	源	苑	园
缘园	源远	缘	园	园	员	员	源	猿	源	苑	园
缘园	源远	缘	园	园	员	员	源	猿	源	苑	园
缘园	缘远	缘	园	园	员	员	源	源	缘	远	园
缘园	缘远	缘	园	园	员	员	源	源	缘	远	园
缘园	缘远	缘	园	园	员	员	源	源	缘	远	园
远园	缘远	缘	园	园	员	员	源	源	缘	远	园
远园	缘远	缘	园	园	员	员	源	源	缘	远	园
远园	缘远	缘	园	园	员	员	源	源	缘	远	园
远园	远远	缘	园	园	员	员	源	源	缘	远	园
远园	远远	缘	园	园	员	员	源	源	缘	远	园
苑园	远源	缘	园	园	员	员	源	缘	远	远	园
苑园	远源	缘	园	园	员	员	源	缘	远	远	园
苑园	远源	缘	园	园	员	员	源	缘	远	远	园
苑园	苑源	缘	园	园	员	员	源	缘	远	远	园
苑园	苑源	缘	园	园	员	员	源	缘	远	远	园
苑园	苑源	缘	园	园	员	员	源	缘	远	远	园
愿园	苑源	缘	园	园	员	员	源	缘	远	远	园
怨园	愿源	缘	园	园	员	员	源	缘	远	远	园

附录 圆锥窄水槽圆锯片基本尺寸

单位：毫米

阅	阅	匀	耘	在	粤	月	悦	蕴	栽	曾	尊	杂
源远	猿远	缘远	员远	员猿	员缘	猿远	远	源远	圆源	缘	苑	园猿远
源远	源远	缘远	员愿	员苑	员缘	猿远	远	源远	圆愿	缘	苑	园猿远
猿远	源远	缘远	圆源	圆员	员缘	猿远	远	源远	猿源	缘	苑	园猿远
猿远	源远	缘远	圆缘	圆员	员缘	猿远	远	源远	猿源	缘	苑	园猿缘
猿远	猿远	缘远	圆愿	圆源	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园苑
源远	猿远	猿远	圆源	圆愿	员缘	猿远	愿	源远	猿源	缘	苑	园猿缘
源远	猿远	猿远	圆缘	圆愿	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园猿远
源远	猿远	猿远	圆源	圆愿	员缘	猿远	愿	源远	猿源	缘	苑	园猿远
源远	源远	猿远	圆缘	猿源	员缘	猿远	愿	源远	猿源	缘	苑	园猿缘
源远	源远	猿远	圆愿	猿源	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园猿远
源远	源远	猿远	圆源	猿源	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园猿远
源远	源远	猿远	圆缘	猿源	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园猿缘
源远	源远	猿远	圆愿	猿源	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园猿远
缘远	源远	猿远	圆缘	猿远	员缘	猿远	愿	源远	猿源	缘	苑	园猿缘
缘远	源远	猿远	圆源	猿远	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园猿远
源远	缘远	猿远	圆源	源远	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园猿远
源远	缘远	猿远	圆缘	源远	员缘	猿远	愿	源远	缘远	缘	苑	园猿远
源远	缘远	猿远	圆源	源远	员缘	猿远	愿	源远	源远	缘	苑	园猿远
苑远	源远	猿远	圆源	缘远	员缘	猿远	愿	源远	源源	缘	苑	园猿远
苑远	源远	猿远	圆缘	缘远	员缘	猿远	愿	源远	缘远	缘	苑	园猿远
苑远	源远	猿远	圆源	源远	员缘	猿远	愿	源远	缘远	缘	苑	园猿远



附图 圆锯窄水槽圆锯片基本尺寸

图书在版编目(CIP)数据

金刚石与金刚石工具 张绍和主编, —长沙: 中南大学出版社, 2007

Ⅰ. 张... Ⅱ. 张... Ⅲ. 金刚石—工具

Ⅰ 张绍和 Ⅱ 张绍和 Ⅲ 金刚石 ② 金刚石—工具
Ⅳ ① 张绍和 ② 张绍和

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第 000000 号

金刚石与金刚石工具

主编张绍和

责任编辑 陈应征

责任印制 文桂武

出版发行 中南大学出版社

社址: 长沙市麓山南路 邮编 410012

发行科电话 0731-85224000 传真 0731-85224000

印装 中南大学印刷厂

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 10 字数 200千字

版次 2007年 10月第 1版 2007年 10月第 1次印刷

书号 978-7-5519-0000-0

定价 15.00元

图书出现印装问题, 请与出版社调换