



GAODENG XUEXIAO ZHUANYE JIAOCAI

• 高等学校专业教材 •

陶瓷磨具制造

Ceramic Abrasives Manufacturing

◎ 侯永改 主编



中国轻工业出版社

高等学校专业教材

陶瓷磨具制造

侯永改 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

陶瓷磨具制造/侯永改主编. —北京: 中国轻工业出版社,
2010.3

高等学校专业教材

ISBN 978-7-5019-7463-4

I. ①陶… II. ①侯… III. ①陶瓷结合磨具-制造-高等
学校-教材 IV. ①TG740.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 241744 号

责任编辑: 李建华 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王培燕 责任校对: 李靖 责任监印: 张可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 河北高碑店市德裕顺印刷有限责任公司

经销: 各地新华书店

版次: 2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 21.25

字数: 544 千字

书号: ISBN 978-7-5019-7463-4 定价: 42.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

90584J1X101ZBW

前 言

作为机械加工牙齿的磨具在工业生产中起着非常重要的作用。近年来磨削加工技术的高效、高速和高精的发展趋势对磨具制造技术和人才培养提出了更高的要求。为了满足磨料磨具行业对人才和技术的需求,在以前出版的陶瓷磨具制造教材和其他相关书籍的基础上,我们组织有关专家编写了这本《陶瓷磨具制造》教材,其主要目的有两个:一是满足磨料磨具专业方向本科生和研究生培养的要求,二是论述总结最近几年陶瓷磨具方面的新理论、新技术和新成果。

本书全面系统地论述和总结了陶瓷磨具制备的基本原理、技术工艺、陶瓷磨具的微观结构等基础理论以及陶瓷磨具的发展趋势。和以前适用于技术工人培训、大学专科层次的教材相比,本书的突出特点是加强了陶瓷磨具制造基础理论的论述,引入了比较多的陶瓷磨具最新科研成果。特别是对陶瓷磨具的微观结构、超硬材料陶瓷磨具进行了比较详细的论述。

本书第1章系统论述了磨具的基本概念、结构、主要特性及特征标记。第2章至第5章及第9章重点介绍了陶瓷磨具制造所用原材料的性能及作用,陶瓷结合剂组成与性能的关系,磨具配方制定原则,磨具制造工艺原理、制造技术及过程等。第6章特别分析了陶瓷磨具的微观结构。第7章介绍了特种陶瓷磨具。第8章对超硬磨料(立方氮化硼和金刚石)陶瓷磨具的低温陶瓷结合剂的组成特点与设计、超硬磨料陶瓷磨具制造技术进行了比较详细的介绍。第9章介绍了磨具产品质量检查内容与技术。本书吸收了磨料磨具及相关领域的最新研究成果与技术,反映了陶瓷磨具的发展趋势。

本书可作为高等院校磨料磨具专业方向、超硬材料及制品专业方向学生的教材,适用于专科、本科和研究生不同层次的专业教学。也可作为从事陶瓷磨具制造与应用的工程技术人员技术参考书,对磨料磨具及磨削加工等相关行业从事磨具研究、生产与应用的科技人员和管理人员也具有参考价值。

本书由河南工业大学侯永改任主编,该校材料科学与工程学院的栗正新教授、徐三魁教授、王春华副教授、闫国进副教授、路朋献、马秋花、肖长江、朱贺、樊雪琴老师共同参加编写完成。全书共分9章,第1章由朱贺、徐三魁编写;第2章由闫国进、徐三魁编写;绪论、第3章、第8章由侯永改编写;第4章由王春华编写;第5章的5.1、5.2由马秋花编写,5.3由路朋献编写,5.5由路朋献、徐三魁编写;第5章的5.4、5.6和第9章由栗正新、肖长江和樊雪琴编写;第6章由闫国进、路朋献编写;第7章由王春华、侯永改编写。全书最后由侯永改统稿并修改。

本书由李颖教授主审,郑州磨料磨具磨削研究所的刘明耀教授级高级工程师及河南工业大学的邹文俊教授参加了审稿,他们对本书的编写提出了许多宝贵的意见。本书的编写工作还得到了河南工业大学领导和教材建设委员会专家、国家磨料磨具质量监督检验中心钟彦征高级工程师、全国磨料磨具标准化技术委员会王伟涛工程师、中国轻工业出版社的大力支持,

在此向他们表示衷心的感谢！本书编写时参考和引用了书后所列著作或文献的内容，在此对这些著作及文献的作者或单位表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在错误和疏漏之处，诚望同行专家和广大读者批评指正，并致以衷心感谢。

编 者

2009. 10

目 录

绪论	1
0.1 磨具的概念及分类	1
0.2 磨具及磨削加工特点	2
0.3 磨具的发展	2
0.4 陶瓷磨具的发展趋势	3
第1章 磨具的结构与特征性能	5
1.1 磨具的结构	5
1.2 磨具的主要特性	5
1.3 磨具的特征标记	15
第2章 陶瓷结合剂磨具的原材料	17
2.1 磨料	17
2.2 陶瓷结合剂的原材料	23
2.3 辅助原料	40
第3章 陶瓷结合剂的组成及性能	48
3.1 陶瓷结合剂的组成及表示方法	48
3.2 陶瓷结合剂的性能	52
3.3 常用结合剂简介	73
第4章 陶瓷磨具配方设计	82
4.1 普通磨具配方设计	82
4.2 计算机辅助磨具配方设计与管理	109
第5章 陶瓷磨具制备的工艺原理	113
5.1 陶瓷结合剂的制备	113
5.2 磨具的成型	114
5.3 陶瓷磨具干燥	163
5.4 陶瓷磨具的粗加工	176
5.5 陶瓷磨具的烧成	181
5.6 陶瓷磨具精加工	222
第6章 陶瓷磨具显微结构及缺陷	242
6.1 陶瓷磨具显微结构	242
6.2 陶瓷磨具常见废品及预防	245
6.3 陶瓷磨具的应用	248
6.4 陶瓷磨具的研究方法	250
第7章 特种陶瓷磨具	254
7.1 高速砂轮的制备	254

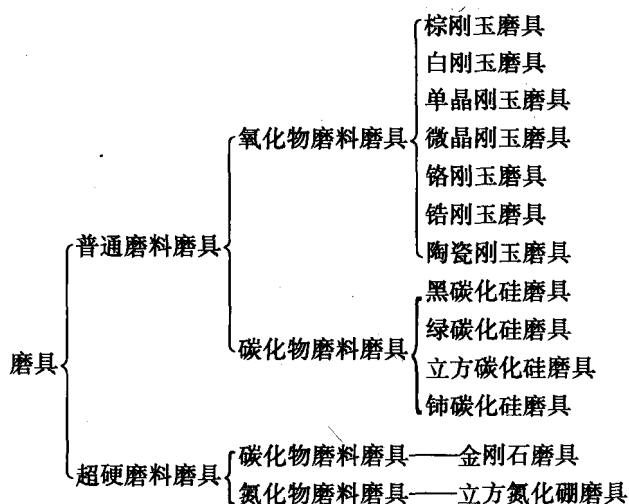
7.2 多孔磨具的制备	257
7.3 磨钢球砂轮的制备	259
7.4 菱苦土结合剂磨具的制备	264
7.5 代金刚石修整磨具的制备	268
7.6 烧结刚玉磨具的制备	271
7.7 陶瓷导电砂轮的制备	274
7.8 陶瓷微晶磨料磨具的制备	276
第8章 超硬材料陶瓷磨具	279
8.1 超硬材料陶瓷磨具概述	279
8.2 超硬材料陶瓷磨具的原材料	282
8.3 超硬磨料陶瓷磨具用低温陶瓷结合剂	286
8.4 超硬磨料陶瓷磨具配方的制定	287
8.5 超硬磨料陶瓷磨具的制备原理	290
8.6 超硬磨料陶瓷磨具微观结构分析及常见废品	299
8.7 超硬磨料陶瓷磨具的应用	302
第9章 陶瓷磨具质量标准与检查	304
9.1 磨具产品的质量标准及检查项目	304
9.2 磨具尺寸与形位公差检查	305
9.3 磨具外观缺陷的检查	312
9.4 砂轮静不平衡的检查	315
9.5 磨具硬度的检查	318
9.6 砂轮回转强度检查	327
9.7 磨具的验收与保管	329
参考文献	331

绪 论

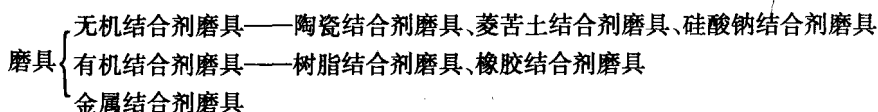
0.1 磨具的概念及分类

磨具属于工具范畴,是加工工具。广义地讲,凡是在加工工序中起磨削、研磨和抛光作用的工具,都称为磨具(grinding tools or abrasive tools)。狭义上的磨具是指用结合剂或黏结剂将许多细小的磨粒黏结成固结或非固结状态能够对工件进行磨削、研磨和抛光加工的一类工具。在一定的压力下,磨具与其表面硬度不一致的被加工材料之间通过发生相对运动而产生磨削、研磨、抛光等作用。磨具的品种很多,一般有如下几种分类方法:

(1) 按磨料的种类分类

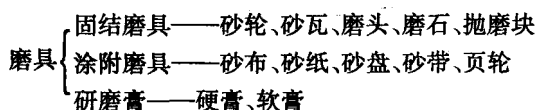


(2) 按结合剂种类分类



无机结合剂磨具也是广义上的陶瓷结合剂磨具。本书所介绍的陶瓷结合剂磨具就是按结合剂进行分类命名的一类磨具,是以陶瓷材料为结合剂的一类磨具,其英文名称为 Ceramic Bond Grinding Tools 或 Vitrified Bond Grinding Tools。

(3) 按磨具的基本形状和使用方法分类



除了上述分类方法之外,还可以根据磨具的专门用途分类,如把磨具分为牙科砂轮、磨米砂轮、磨齿轮砂轮、磨螺纹砂轮、磨钢球砂轮、磨曲轴砂轮、磨轴承砂轮等。也可以按磨具的特征性能进行分类,如把磨具划分为粗粒度磨具、细粒度磨具、高速砂轮、高硬度磨具、大气孔磨具、烧结刚玉磨具等。

0.2 磨具及磨削加工特点

磨削是用不确定的刀刃来切削加工。由于磨具所具有的独特优势,磨具磨削与其他加工方法相比有其显著的特点:

①参与切削的有效磨粒数不确定:磨具工作表面的磨粒数很多,相当一把密齿刀具。据资料介绍,不同粒度和硬度的砂轮,1cm² 面积的磨粒数为 60 ~ 1400 个。在磨削过程中,有一部分磨粒起切削作用,为有效磨粒,根据砂轮的特性及工作条件不同,有效磨粒数占砂轮表面总磨粒数的 10% ~ 50%;其余部分磨粒在工作表面刻划出沟痕或与工件表面起滑擦作用。

②磨削加工能够获得较高的工件精度和较小的表面粗糙度:磨削加工时,磨削层的厚度为 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ mm,切下体积不大于 10^{-3} mm³,为铣削时每个刀齿所切下体积的 1/5000 ~ 1/4000,因此,磨削加工能够获得较高的工件表面质量。

③磨削过程磨具有自锐作用:在切削加工过程中,如果刀具磨损了,切削就不能正常地进行,必须重新刃磨刀具。磨削加工的情况则不同,磨粒磨钝时就会从磨具表面脱落,露出新的磨粒微刃进行切削。这种重新获得锋锐切刃的作用称为自锐作用(self-dressing)。

④磨削速度很高,磨削温度高:根据磨削要求,砂轮的磨削速度可达 60m/s 或更高,为普通刀具的 10 倍以上。磨粒与被加工工件的接触时间很短,为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ s。在极短时间内产生大量磨削热,磨削区产生 400 ~ 1000℃ 的高温,因而,磨削淬火钢工件易烧伤,产生残余应力及裂纹。磨削区的高温也会使磨粒发生物理化学变化,造成氧化磨损和扩散磨损,减弱了磨料的磨削能力。这是磨削过程需要特别引起注意的问题。

0.3 磨具的发展

磨具是一种十分广泛的通用加工工具。我国早在新石器时代就有了石针、石斧,在秦汉时代就出现了铜镜。石针磨细、石斧磨锋、铜镜磨亮,都是用天然的磨料和磨具进行加工的。据目前的一些资料介绍,真正人工制造磨料磨具的历史并不太长,只有 200 多年的时间。

1756 年,比利时人使用天然金刚石切割宝石。

1760 年,法国出现用天然磨料制造砂纸的作坊。

1825 年,印度出现用虫胶和树胶结合剂制作磨具。

1846 年,出现第一台外圆磨床,使用的是天然矿石砂轮。

1857 年,比利时采用天然橡胶结合剂做成砂轮。

1877 年,美国用黏土作结合剂制成天然磨料的陶瓷砂轮。

1880 年,美国制备出树脂结合剂砂轮。此前制备砂轮所用磨料均为天然的。

1891 年,美国 Carborundum 公司生产出碳化硅。

1897 年,美国 Norton 公司生产出刚玉磨料。从此磨具制备由天然磨料转为人造磨料。

1900 年,磨床已进入基本加工车间,磨具应用渐趋广泛。

1910 年,开始生产白刚玉磨料。此时,已相继出现内圆磨床、外圆磨床、轧辊磨床、万能工具磨床。

1920 年,螺纹磨床出现。陶瓷结合剂磨螺纹砂轮的使用大大提高了螺纹工具的精度。

1925 年,齿轮磨床出现。

1930 年,磨具生产开始控制组织,陶瓷磨具的使用开始组织号的选择。出现天然金刚石树脂砂轮。

1934 年,美国生产出碳化硼(B_4C)磨料。

1936 年,美国制成天然金刚石的金属结合剂砂轮。

1940 年,出现砂带磨床和陶瓷结合剂金刚石砂轮。

1946 年,美国研制成功单晶刚玉。

1948 年,纤维增强树脂砂轮开始生产。

1953 ~ 1954 年,人造金刚石研制成功。

1957 年,人造金刚石磨料工业化生产,立方氮化硼研制成功。

1962 年,出现铬刚玉和烧结刚玉。

1963 年,锆刚玉出现。

20 世纪 60 年代末,出现树脂结合剂立方氮化硼砂轮。

20 世纪 70 年代,陶瓷结合剂立方氮化硼砂轮出现。

可以看出,进入 20 世纪以后,随着磨床的发展和应用日趋广泛,对磨具的需求量越来越大,对磨具质量的要求也越来越高,这促使磨料磨具制造技术迅速发展,使其技术水平不断提高,产品品种不断增加,产品质量不断改进。磨料磨具的发展又促使一系列磨削加工迅猛发展并在各个工业领域中广泛应用。20 世纪 50 年代是世界上工业发达国家磨料磨具发展最快并达到比较完整的年代。到 1956 年,工业发达国家磨床产量占整个切削机床的 20% 左右,当时美国的磨具产量为 206000t,原联邦德国为 34500t,英国为 25000t,日本为 167799t。到 1987 年,世界普通磨料总产量达 150 ~ 160 万 t,其中用作固结磨具的约 70 万 t,用作涂附磨具的约为 13.5 万 t。

我国在新中国成立前没有磨料磨具工业,只有日本人在沈阳苏家屯留下的一个砂轮生产作坊。新中国成立后,在党和政府正确领导下,磨料磨具工业在我国取得迅速发展。首先在苏家屯砂轮旧厂址扩建成立了原第一砂轮厂,接着于 1956 年开始创建了第二砂轮厂和郑州砂轮制造学校,此后又分别创建了郑州磨料磨具磨削研究所、第六设计院和其他的骨干生产企业,形成了生产、科研、设计、人才培养几个方面相互配合的完整格局。到 20 世纪 70 年代末,我国形成了较完备的磨料磨具工业生产体系。我国固结磨具产量 1975 年达到 52530t,1985 年达到 82932t,1995 年达到 108892t,1997 年达到 905021t。到现在为止,我国磨料磨具不但满足了国内大部分用途的需要,还有相当数量的出口,为国家创造了大量外汇。但国内在磨料磨具生产技术水平、磨具质量等方面与工业发达国家还存在较大差距。

0.4 陶瓷磨具的发展趋势

磨料磨具在国民经济发展及人民生活中都占有非常重要的地位,已广泛应用于各行各业、各个领域。钢铁、机械、建筑、航空、航天、军工、化工、轻工、石油、采矿、林业、交通运输、食品加工以及人民日常生活等各个方面都离不开磨料磨具。它曾被形象地比喻为“工业的牙齿”,这也体现了它与现代工业发展密不可分的关系,说明它是工业发展所必不可少的工具。

为了提高精度,提高效率,降低成本,各磨料磨具厂商不断开发新产品,提高各自的竞争能力。总体来看磨料磨具的发展趋势有以下几个方面:

①向超硬材料磨具方向发展:高性能、长寿命的金刚石和立方氮化硼(CBN)磨具工业化生产应用,并呈现出部分取代普通磨具的趋势,出现了所谓 B(Borazon 指 CBN)取代 A(Aluminium Oxide)、D(Diamond)取代 C(Silicon Carbide)的现象。超硬材料磨具在难加工材料磨削(如硬质合金、陶瓷、玻璃、石材、难磨钢材等)方面具有很大优势,在普通材料的高效、数控磨削加工方面也具有很显著的优点。

②向高性能磨料磨具发展:陶瓷刚玉磨料(SG 磨料)磨具、锆刚玉磨具等新型高效磨具等应用范围正在不断扩大。

③向高速、高效、高精专用磨具方向发展:高效、高精、数控、自动化生产方面所需高档专用磨具正在不断发展。高速砂轮正在从 60、80、100m/s 向 125、200m/s 以及更高速度发展。重负荷砂轮发展和推广使用 8000 ~ 10000N 及以上负荷的高速砂轮(80m/s)。数控机床配套用高精度、高效率专用磨具呈较大幅度上升趋势。

④涂附磨具的产量和种类增多,有机结合剂磨具种类增多,磨具构成比例变化。

⑤生产技术水平、工艺装备水平不断提高:电子计算机的广泛应用,较大幅度提高了生产管理水平和工艺控制水平。先进设备的出现和应用提高了磨具产品的生产、加工和检测水平。

固结磨具主要包括陶瓷结合剂磨具、树脂结合剂磨具、橡胶结合剂磨具等。与其他结合剂相比,陶瓷结合剂虽然存在脆性大、生产周期长等缺点,但是其具有良好的化学稳定性、耐水性、耐油性、耐酸碱性、耐热性,较高的强度,磨耗小,自锐性好,磨具内有较多的气孔而有利于排屑和散热,结合剂原材料成本较低等一系列优点,可以适应各种冷却液条件下的粗精磨削加工,应用范围很广。从过去到现在,陶瓷磨具在磨具总的构成中一直占主要地位,在磨具总产量中占有较大比例。作为磨具的一个重要种类,陶瓷磨具也在不断发展进步,其趋势表现在如下几方面:

①进一步开发陶瓷结合剂 CBN 和金刚石砂轮:如德国 Krebs & Riedel 公司,每年以 20% 的速度,特别是 2005 年以来以 40% 的速度增长。

CBN 磨料的热稳定性、不亲铁性和耐磨性好,硬度高,用它生产的砂轮,磨削效率高,加工表面质量好,特别是加工较硬的工件有更广泛的应用。陶瓷结合剂金刚石砂轮硬度高、磨削能力大、磨削热小,在硬脆材料(如超硬材料聚晶、超硬材料复合片等)的磨削加工中有突出的优势。且陶瓷结合剂金刚石和 CBN 砂轮可按需要进行修整,修整容易,可满足大批量、高精度生产的需要,也可依据加工工件的要求,生产硬度不同的砂轮,适应加工的需要。

②研发新型陶瓷结合剂,生产大气孔和高速砂轮:研究发展和正确选择合适的结合剂和填充剂,生产有较好耐磨性的大气孔砂轮。在深磨和强力磨削过程中,多气孔和大气孔是必不可少的,它有利于排屑,将切屑液输送到磨削接触区,避免烧伤工件,在成型磨削和精密磨削时,能保证砂轮的成型性。

普通磨具工作速度为 60 ~ 80m/s,高速砂轮如 CBN 砂轮的工作速度大于 100m/s,在发达国家已比较广泛应用,特别是一些专用磨床,如 Junker 的曲轴和凸轮轴磨床用 Krebs & Riedel 公司的砂轮,其工件速度达到 125m/s。

③生产功能性强、几何形状复杂的多面砂轮:根据磨料的粒度和性质,加工特殊工件的砂轮采用新型磨料、混合磨料,不同加工面采用不同磨粒。陶瓷结合剂新型刚玉磨料磨具、新型锆刚玉磨料磨具等在专用磨削加工有突出的优势。如 Krebs & Riedel 公司在曲轴磨床上,同一片砂轮的两个面用不同的 CBN 磨料磨具,大大提高了生产效率,降低了单件的生产成本,特别适合大批量的曲轴、凸轮轴和导轨磨削加工。

④磨具生产工艺向低温烧成工艺和快速烧成工艺方向发展,向生产工艺及设备自动化方向发展,节约能源,提高效率,减轻劳动强度,改善劳动强度。

由于生产砂轮的复杂性、不确定性和影响砂轮生产质量的因素很多,各批次砂轮的质量都有变动。生产质量稳定的砂轮是各厂家所争取做到的。提高和稳定砂轮的质量,一直是人们努力的目标。

第1章 磨具的结构与特征性能

1.1 磨具的结构

磨具(固结磨具)一般由磨粒、结合剂和气孔三部分构成,它们对磨具的各项性能有重要的影响,因而磨粒、结合剂和气孔这三者通常被称为磨具的三要素。在磨具的三要素中,磨粒是构成磨具的主要原料,它构成磨具的骨架,是磨具起磨削作用的主要物质,其暴露在磨具表面上的众多棱角是加工工件的切削刃。结合剂是磨具中起主要黏结作用的物质,它把磨粒黏结在一起,使之成为具有一定形状和强度的磨具,并使磨粒在磨削过程中具有一定的自锐作用。气孔是磨具中磨粒之间、磨粒与结合剂之间,以及结合剂内部存在的空隙,它在磨具磨削过程中具有容屑、排屑、增强散热和冷却的作用,磨具内气孔的大小和气孔的多少可以根据磨削用途通过调整配方来控制。

也有人提出把磨具的结构要素扩展,理由是磨具的其他组成部分(如金刚石砂轮的基体、磨头的黏结把等)起着重要作用。但是,在这些情况中,磨具的工作部分以三要素相称依然是成立的。不过对于经过浸渍处理的磨具来说,其工作部分的确是由磨料、结合剂、气孔、浸渍剂等四部分构成,浸渍处理对提高磨具在加工表面的润滑和冷却作用方面效果比较显著,能够起到从配方方面调整磨具结构所达不到的作用,因此人们将浸渍剂称为第四要素也是合适的。现在用浸渍剂充填在特殊用途的陶瓷磨具气孔中,以改善磨具的磨削性能的现象较为常见。

1.2 磨具的主要特性

在磨具的各项性能中,人们一般认为最能反映磨具内在特性及使用性能的有:磨具硬度、磨具强度、磨具的组织、磨具的平衡性等。

1.2.1 磨具的硬度

(1) 磨具硬度的定义

有关磨具硬度(grade of abrasive tool)的定义,常见的有两种说法。第一种说法是“磨具硬度是指结合剂在外力作用下抵抗磨粒从磨具表面脱离的抵抗力”,或简称为“磨粒从磨具表面脱落的难易程度”。第二种说法是“磨具的硬度是指结合剂和磨粒在工作过程中由于抵抗外力而从砂轮表面上破裂时的综合强度”。第一种说法着重考虑到结合剂把持磨粒的强度,第二种说法不仅考虑到结合剂把持磨粒的强度,也考虑到磨粒本身的强度,因此后一种说法更全面一些。但由于磨粒的硬度通常都比较大,实际上磨具硬度的大小主要取决于结合剂把持磨粒的强度,因而文献上多采用第一种说法。

根据上述定义可知,磨具的硬度反映的是结合剂把持磨粒的能力,而不是磨粒本身的硬度。也就是说:磨具硬度与磨粒本身的硬度无关。硬度不高的磨粒,可以制成硬度高的磨具;硬度高的磨粒,也可以制成硬度低的磨具。影响磨具硬度的因素主要是结合剂的性质和数量、

成型密度与热处理工艺等。

(2)磨具硬度的划分及代号

中华人民共和国国家标准将普通磨具硬度分为七大级十九小级,以英文字母表示,从 A、B、C、D、E、F、G 到 Y,所对应的硬度由软到硬,具体如表 1-1 所示。各个国家的硬度测定方法和硬度标准不尽相同。我国磨具硬度与外国磨具硬度近似对照表也参考表 1-1。

表 1-1 国内外磨具硬度分级对照表

硬度级别		中国	美国	日本	英国	ISO
大级	小级	GB/T2484—1994	(诺顿公司)	JIS	(环球公司)	
超软	超软	A、B、C、 D、E、F	A、B、C、 D、E、F、 G	A、B、 C、D、 E、F、 G	E F G H I	A、B、C、 D、E、F
软	软 1	G	H、I、J、K	H	J、K、L	G、H、I
	软 2	H		I		
	软 3	J		J		
中软	中软 1	K	—	K	M、N、O、P	J
	中软 2	L		L		K
中	中 1	M	L、M、N、O	M	Q R S	L
	中 2	N		N		M
中硬	中硬 1	P	—	O	T、U、V、 W、X、Y、 Z	N
	中硬 2	Q		P		O
	中硬 3	R		Q		P
硬	硬 1	S	P、Q、R、S	R		Q
	硬 2	T		S		R
超硬	超硬	Y	T、U、V、 W、X、Y、 Z	T、U、V、 W、X、Y、 Z		T、U、V、 W、X、Y、 Z

(3)磨具硬度对磨具磨削性能的影响

在磨具所有的物理性能和力学性能中,磨具硬度能在较大程度上反映磨具的磨削性能和磨具的使用寿命。一般而言,磨具的硬度高,磨粒从磨具表面脱落难,磨削时磨具磨耗小;磨具硬度低,磨钝磨粒容易脱落,磨具磨削时的锋利性好,磨耗大。磨具硬度,即磨粒脱落的难易程度,也直接决定着磨具的自锐性能。所谓磨具的自锐性(selfsharpening)是指磨具在磨削过程中磨具表面的磨粒自我更新的性能。磨具在磨削时随着磨具工作面上的磨粒切削刃磨耗逐步变钝,导致其磨削力逐步增加,进而促使变钝的磨粒崩裂或脱落而露出新的磨粒或锋利的切削刃。这种磨具自锐作用的难易,较大地影响着磨具的磨削锋利程度、磨削力、磨削效率、磨削表面粗糙度、磨具的耐用度及使用寿命等一系列性能。不同的磨削材料、磨削工件对磨具硬度也有不同的要求。磨具硬度的选择与被加工材料的物理机械性能及磨削条件之间的关系如表 1-2所示。

表 1-2

磨具硬度选择与工件性质以及磨削条件的关系

硬度选择趋向	软←磨具硬度→硬
工件性质	硬←工件硬度→软
	大←工件抗张强度→小
	小←工件塑性→大
	小←工件导热性→大
磨削条件	大←接触面积→小
	粗←加工表面精度→精
	大←砂轮工作速度→小

一般来说,当用磨具加工表面硬度很高的工件时,磨具工作表面的磨粒比较容易磨损变钝,要求被磨钝的磨粒较快地自动脱落,以便露出新的锋利的磨粒,使磨削得以继续进行。所以磨具需要选用较软的硬度,以使磨粒容易从磨具表面脱落。反之,如果加工工件的表面硬度较低,磨粒不易变钝,这种情况下磨具中把持磨粒的结合剂就不必过早破裂,所以就要采用较硬的磨具,使磨粒一直保持工作到磨钝为止,然后才自动脱落,这样组成磨具的磨粒才能得到充分而有效的利用,达到最佳经济效果。应该说明的是,如果被加工工件是导热性较差的材料,在磨削时容易产生裂纹和工件烧伤,应选用硬度较低的磨具。

除了被加工工件的性能即内因对磨具硬度选择的影响,一些外因如磨削时的条件对磨具硬度选择也有一定的影响。磨削时接触面积大,磨粒的切削路程长,容易钝化,并且冷却条件差,磨削区温度较高,加工工件表面容易发生烧伤等变质层,从而引起加工表面质量下降,因此应选用较低的磨具硬度。粗加工要求磨削效率高,因此要选用较低的硬度,以保持磨粒锋利。加工工件表面精度要求较高,要求磨具形状保持性好,所以应选用较高的硬度。

1.2.2 磨具的组织

(1) 磨具组织的定义

所谓磨具组织(structure of abrasive tool)就是反映在磨具内起主要磨削作用的磨粒分布的疏密程度,也可以说是磨粒在磨具中的体积分布,以磨粒占磨具的体积百分比表示。磨粒在磨具中所占体积百分比称为磨粒率。

磨粒是磨具中对被加工工件表面起磨削作用的主要要素。磨粒率的高低,决定着磨削区间内单位面积磨具上参与磨削的磨粒数,因而很大程度上影响着磨具的磨削性能及磨削质量。美国学者 M. C. Shaw 在 20 世纪 70 年代就提出,平面磨削未变形磨屑厚度 t 与其他参数具有如下关系:

$$t = \left[\frac{4v_1 \left(\frac{d}{D} \right)^{\frac{1}{2}}}{v_2 CY} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-1)$$

式中: v_1 ——工作台速度(m/s);

v_2 ——砂轮速度(m/s);

C ——单位面积有效切削刃数;

Y ——磨削的宽度与厚度平均比值;

d ——砂轮切削深度(mm);

D ——砂轮外径(mm)。

从式(1-1)可以看出,对于未变形磨屑厚度 t ,除了各项磨削工艺参数(切削深度、工件速度、砂轮速度等)外,砂轮单位面积上的有效磨粒数 C 是影响 t 的主要因素,它影响到磨削过程中的比能、表面质量、磨削热、磨削力、磨削效率等一系列磨削性能指标。因此,在磨具制造过程中,有必要对磨粒分布的疏密程度给予控制,于是也就引入了磨具组织的概念。

(2) 磨具组织的划分和表示方法

磨具组织的划分是以磨具内所含磨粒率的多少来分级的,组织号以数字符号来表示。0表示磨粒率最高,1、2、3……数字依次递增,磨具的磨粒率依次递减,即磨具组织由紧密到疏松。

0~4号组织为紧密组织,磨具中含有大量磨粒;5~8号组织为中等组织;9~14号组织为疏松组织,磨具中含有较少磨粒。图1-1为磨具组织示意图。

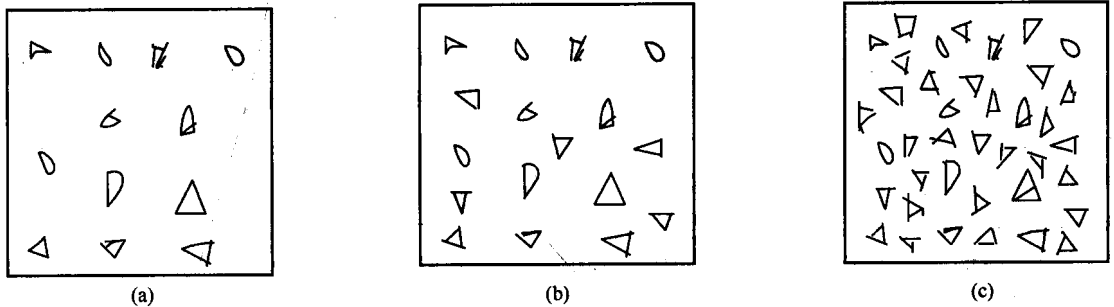


图 1-1 磨具组织疏密示意图
(a)疏松组织 (b)中等组织 (c)紧密组织

我国国家标准把(普通)磨具组织划分为15个等级,组织号与磨粒率的关系可用下式表达:

$$V_c = 62 - 2N \quad \text{或者} \quad N = (62 - V_c) / 2 \quad (1-2)$$

式中: V_c ——磨粒率(%);
 N ——组织号。

当磨具磨粒率 $V_c = 62$ 时, $N = 0$,称之为0号组织;当 $V_c = 60$ 时, $N = 1$,称之为1号组织。磨粒率每递减2%,组织号放松一级。组织号与磨粒率对应值如表1-3所示。

表 1-3 磨具组织号与磨粒率对照表

组织号 N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
磨粒率/%	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34

关于磨具组织需要进一步说明的是:

①磨具组织的表示实际上是以磨具中磨粒的数量和磨粒分布密度为基础的。每一种组织,无论磨具的硬度与粒度如何,均对应于一定的磨粒率,对于粒度一定的磨具来说,如组织号相同,则其单位体积或单位表面积内的磨粒数量应该相同;若组织号不同,则其单位体积或单位表面积内的磨粒数量应该不同,而与硬度无关。

②磨具组织的松紧与磨粒粒度有关。对于同一粒度而言,组织号越小,磨粒率越大,磨粒间距就越小,组织就越紧密。反之,组织号越大,组织就越疏松。对于同一组织号(即磨粒率相同)来说,粗粒度磨具中单位体积或单位面积上磨粒颗粒数少,而细粒度磨具中磨粒数较多,因此粗粒度磨具组织显得较疏松,细粒度磨具组织显得较紧。如7号组织对F30粒度来说

是疏松组织,而对于 F240 却是紧密组织。

③磨具组织实质上关系到磨具中磨粒、结合剂和气孔三者间的体积关系:

$$V_G + V_B + V_P = 100\%$$
 (1-3)

- 式中: V_G ——磨粒率(%);
 V_B ——结合剂所占磨具体积百分比(%);
 V_P ——气孔所占磨具体积百分比(%)。

因此要想得到某些性能的磨具,可以通过适当调整其中一些参数来达到。

④对于一般的磨具,上述组织号的划分方法都适用。但对于某些特殊磨具,其组织号及划分方法有特殊规定。例如,菱苦土砂轮,行业标准将其组织号规定如表 1-4 所示。

表 1-4 菱苦土砂轮组织号的规定

组织号	1S	2S	3S	4S	5S
磨粒率/%	50 ~ 60	40 ~ 49	30 ~ 39	20 ~ 29	10 ~ 19

⑤关于磨具组织的划分,我国、日本和俄罗斯等国家采用的方法与 ISO 标准相同。但国外的某些公司,其组织划分与国内不尽相同。如诺顿公司以磨粒率 55.5% 为起点作为 0 号组织,而每递增一个组织号,磨粒率递减 1.5%,其关系式如下:

$$V_G = 55.5 - 1.5N \quad \text{或} \quad N = (55.5 - V_G)/1.5$$
 (1-4)

(3)磨具组织对磨削性能的影响

磨具组织的松紧,决定着磨具中气孔的多少,单位体积内磨粒的数量和单位面积上有效磨削刃的疏密。组织松的磨具,磨粒之间的间距大,单位面积、单位时间内参与磨削的磨粒数少,磨削时产生的热较少,且磨具中气孔较多,磨具容屑空间大,排屑容易,能够减少磨削过程中的堵塞。而且磨具中的气孔还能将磨削液或空气带入磨削区,起到散热的作用,有利于降低磨削点温度,减少工件的热变形和烧伤、裂纹等加工变质层的产生。反之,组织紧密的磨具,气孔小,容屑的空间少,排屑比较困难,磨具容易被堵塞。但是组织紧密磨具的表面上单位面积内的磨粒数较多,磨具的轮廓形状的保持性好,故加工工件时加工效率高,有利于降低工件表面粗糙度和提高工件表面精度。

鉴于磨具的组织对磨削热、磨削效率、表面质量等一系列磨削性能的影响,磨具组织的选择应综合考虑加工工件材料的性质、加工方式、与工件的接触面积及磨削条件等相关因素。具体可大致参考表 1-5。

表 1-5 磨具组织选择与工件性质及磨削条件的关系

组织选择趋向	松←磨具组织→紧
工件性质	软而黏←工件材料→硬而脆 大←热膨胀系数→小 差←导热性→好
磨削条件	细←磨具粒度→粗 粗加工←加工方式→精加工 大←接触面积→小

当粗磨和磨削韧性大而硬度不高的材料时,砂轮易堵塞,影响磨削效率,还会导致磨削热增加,容易造成工件烧伤,此时应选用疏松组织。当磨削硬度高、延伸率小的工件时,不易产生堵

塞,宜选用较紧密组织,并且还可以有较多的切削刃参加切削,增加磨削效率。当进行紧密磨削和成型磨削时,应选用较紧密组织,以利于砂轮工作面的形状保持性好和获得较高的精度。当加工材料导热性能差,材料黏性大,磨削接触面积大的情况下,排屑和冷却散热均比较困难,为避免磨削区域过热,应采用疏松组织。另外对于不同粒度的磨具,考虑到单位面积内可能参加磨削的磨粒数,为了增加磨削效率,粗粒度磨具应采用较紧密组织,细粒度磨具应采用较疏松组织。

1.2.3 磨具的强度

磨具在磨削加工过程中,会受到各种应力,如振动应力、装卡应力、切削应力、张应力、热应力等的作用,这就要求磨具具有一定的强度(strength of abrasive tool)。如果磨具不具有足够的强度,就很难用于进行磨削加工。特别是磨具在高速旋转时离心力很大,使磨具中产生很大的张应力。若磨具强度不高时,就会使磨具破裂,导致设备破坏和人身伤亡事故发生。国家标准规定,对于直径大于150mm的砂轮都要进行回转强度试验,其目的就是保证砂轮具有足够的使用强度,以保证磨具使用的安全性。

(1) 磨具强度的概念

磨具强度主要包括抗拉强度、抗折强度、抗压强度和抗冲击强度。

磨具抗拉强度反映了磨具抵抗拉伸应力的能力,它是磨具制造与使用上的一个重要指标。该指标直接与磨具在高速回转时可能破裂的程度有关。

磨具抗折强度反映了磨具抵抗弯曲应力的能力。在磨具用作成型磨削时,如螺纹磨削、曲轴磨削及各种类型的切入磨削等,都要求磨具具有良好的抗折强度,使得磨具能够抵抗磨削时产生的弯曲应力。

磨具抗压强度反映了磨具抵抗压应力的能力,它决定着磨具在增大径向负荷磨削时磨粒磨钝断裂及磨具发生破裂的可能程度。

磨具抗冲击强度反映了磨具在动负荷下抵抗冲击应力的能力,它表明磨具韧性的能力。

陶瓷磨具的抗折强度一般比抗拉强度高1~2倍,而抗压强度比抗拉强度高4~8倍,因而,一般情况下磨具强度主要考察抗拉强度。

(2) 砂轮在回转过程中的应力分布

理论模型:假定砂轮材料是连续、均质、各向同性的,应力分布是二维的,也就是说,砂轮厚度与外径相比很小,应力沿轴向是不变化的(如图1-2所示)。

根据这个假设,把砂轮简化成弹性理论中的回转圆盘问题(属于二维极坐标问题)。那么根据这个模型,在砂轮任意半径处的径向应力 σ_r 和切向应力 σ_θ 可表达如下:

$$\sigma_r = \frac{3+\mu}{8} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot \omega^2 \left(r_i^2 + R^2 - r^2 - \frac{r_i^2 R^2}{r^2} \right) \quad (1-5)$$

$$\sigma_\theta = \frac{3+\mu}{8} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot \omega^2 \left(r_i^2 + R^2 - \frac{1+3\mu}{3+\mu} \cdot r^2 + \frac{r_i^2 R^2}{r^2} \right) \quad (1-6)$$

或者写成:

$$\sigma_r = \frac{3+\mu}{8} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot \omega^2 R^2 \left[1 + k^2 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 - \left(\frac{r_i}{r} \right)^2 \right] \quad (1-7)$$

$$\sigma_\theta = \frac{3+\mu}{8} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot \omega^2 R^2 \left[1 + k^2 - \frac{1+3\mu}{3+\mu} \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^2 + \left(\frac{r_i}{r} \right)^2 \right] \quad (1-8)$$

式中: σ_r ——径向应力(MPa);