

# 高等学校磨料磨具磨削教材

## 有机磨具制造

邹文俊 主编



A0956080

中国标准出版社

## 本套书编者的话

---

以磨料磨具为工具的磨削加工,是机械加工方法中非常重要的一类方法,而且是精密加工和超精加工最基本的和首选的加工方法,在工业上得到广泛的应用。因而磨料磨具作为工业生产中必不可少的工具,具有“工业的牙齿”之誉,与现代工业发展有着密不可分的关系。磨料磨具及其应用技术的发展促进了现代工业的快速发展,而现代工业进一步的发展需求又反过来促进了磨料磨具技术进步和产品品种及应用范围的扩大。磨料磨具的应用已渗透到机床、工具、汽车、船舶、兵器、航空、航天、电子、能源、交通、建筑、地质、冶金、石油、煤炭、化工、轻工、纺织、仪器仪表、医疗器械、工程陶瓷、耐火材料、家具制造、食品加工等各个领域。磨料磨具及磨加工技术不仅影响着机械、汽车、建材、冶金等传统工业的发展,而且影响着新材料、航天航空、信息技术等高新技术及产业的发展。如磨具性能及加工技术影响着工程陶瓷材料的加工效率、加工质量、加工成本及其应用推广速度;导弹端头罩的磨加工精度影响着导弹的制导精度和端头罩的应用;半导体硅片等材料的磨加工技术及质量影响着计算机的进一步发展及信息技术产业的发展。因此,磨料磨具及其磨削应用技术在科技进步和整个国民经济发展中具有极其重要的作用。

当今世界科学技术飞速发展,经济全球化速度明显加快,国际竞争日趋激烈。这种形势对磨料磨具及磨削技术进步和行业从业人员素质提高提出了更高的要求。加强具有创新能力的高素质专业人才的培养,提高磨料磨具行业从业人员的素质,加强高性能新型磨料磨具产品的研究开发,提高磨料磨具制造技术及应用技术水平,为传统工业及高新技术产业发展提供有力的支持,是我们当前面临的迫切任务。

为适应高校磨料磨具和超硬材料及制品等有关专业的教学需要以及有关企业生产及应用发展需要,应广大师生和行业的普遍要求,我们组织了行业有关专家学者、高校教师和企业工程技术人员编写了这套教材。这套教材包括《普通磨料制造》、《超硬材料制造》、《陶瓷磨具制

造》、《有机磨具制造》、《涂附磨具制造》、《金刚石烧结制品》、《超硬材料电镀制品》和《砂轮特性与磨削加工》，共计 8 册。内容涵盖所有磨料磨具的制造及应用技术。这套书可分为三类。第一是磨料类，包括《普通磨料制造》和《超硬材料制造》两部教材，分别介绍了普通磨料刚玉、碳化硅和超硬材料金刚石、立方氮化硼的制造原理、生产工艺及产品检测技术。第二是磨具和其它制品类，包括 5 部教材，其中《陶瓷磨具制造》和《有机磨具制造》分别介绍了以陶瓷和树脂为结合剂的刚玉、碳化硅、金刚石、立方氮化硼磨具的制造原理、生产工艺及产品检测技术；《金刚石烧结制品》和《超硬材料电镀制品》分别介绍了烧结金属结合剂和电镀金属结合剂的超硬材料磨具、锯片、钻头等各种工具的制造原理、生产工艺及产品检测技术；《涂附磨具制造》则专门介绍砂布、砂纸、砂带和砂盘等涂附磨具的制造技术。第三是应用类，即《砂轮特性与磨削加工》一书，该书主要介绍磨具的磨削工艺原理及磨具的科学选择与正确使用使用方法。在编写过程中，我们注意吸收了国内外磨料磨具及相关行业的新工艺、新技术成果和国内磨料磨具专业教学改革及示范性专业建设成果，力求做到书中概念科学、准确，内容系统、实用，能够反映行业新产品、新技术、新工艺及其发展趋势，使其既能面向教学，满足高校专业教学需要，又能面向行业，成为磨料磨具和超硬材料制品制造及选择应用方面具有重要实用价值的技术参考资料。本套书的出版，将结束我国磨料磨具人才培养 40 多年来尚无公开出版成套系列教材的历史，对我国磨料磨具磨削方面的高等教育和行业发展都具有重要意义。

本套书的编写工作得到了郑州工业高等专科学校、国家磨料磨具质量监督与检验中心、郑州磨料磨具磨削研究所、郑州白鸽集团股份有限公司、国家机械工业局第六设计院、中国磨料磨具工业公司、中国第六砂轮厂、第七砂轮厂、国家冶金工业局地勘一局、北京人工晶体研究所、长沙矿冶研究院等单位领导和同志们的重视、关心和大力支持。在编写过程中，国家磨料磨具质量监督与检验中心常务副主任张长伍高级工程师、郑州工业高等专科学校磨料磨具工程系副主任李志宏副教授作了大量的组织协调工作。在此，向所有关心支持本书出版，并为本书出版作出贡献的单位、领导和有关人士表示衷心的感谢！

编 者

2000 年 5 月

# 前 言

---

有机磨具是工业生产应用的重要磨削工具之一,它广泛应用于钢铁、汽车、航空、机床、仪表、量具刀具、化工、建筑、机械等方面的磨削加工。特别在精磨、抛光加工领域具有优越的加工特性。成为磨削加工中不可替代的工具。

随着高分子材料工业的发展,新型胶粘剂的合成与应用,使有机磨具的品种、产量、质量得以迅速扩展和提高。高效率、高精度、高速度、超硬材料有机磨具与数控磨床的成套使用,极大地促进了现代机械加工业的整体发展,在国民经济建设中起到重要作用。

本书系统地介绍了有机磨具制造基本理论,对普通树脂磨具、超硬材料树脂磨具、橡胶磨具制造进行了专门阐述。重点介绍了有机胶粘剂结构和性能、粘接理论,有机磨具原材料的物化性能及作用,有机磨具制造的生产工艺、基本配方、工艺装备及产品质量检测。对各种有机磨具产品的应用范围和使用领域,特别是对有机磨具的新材料、新工艺进行了详细介绍,突出了应用。本书吸收了磨料磨具及相关领域的新技术、新成果,反映了有机磨具制造技术的发展趋势。

本书由郑州工业高等专科学校邹文俊副教授任主编。全书共分十章,其中第一章由邹文俊编写,第二章由杨耘编写,第三、四、六章由彭进编写,第五章由张琳琪编写,第七章由张远胜、邹文俊编写,第八章由李亚萍编写,第九章由邹文俊编写,第十章由李克华编写。全书由邹文俊统稿。

本书由燕山大学博士生导师廖波教授主审。本书在编写过程中得到郑州工业高等专科学校、郑州磨料磨具磨削研究所、郑州白鸽(集团)股份有限公司的领导和专家陈大昭、王文经、江兵、王心善等同志的大力支持,特别是郑州磨料磨具磨削研究所的张长伍高级工程师的热忱帮助。在此谨表以衷心感谢。

本书力求全面系统地反映近代有机磨具制造最新理论和技术,由于内容涉及面广,谬误之处请广大读者批评指正。

编 者

2001年5月

# 目 录

<b>第一章 有机磨具概论</b> .....	1	一、聚合物的强度 .....	44
<b>第一节 绪论</b> .....	1	二、影响聚合物实际强度的因素 .....	49
一、有机磨具的特性 .....	1	<b>第六节 聚合物的高弹性、黏弹性</b> .....	53
二、有机磨具的应用 .....	2	一、高弹性的特点 .....	53
三、有机磨具的发展 .....	4	二、聚合物的力学松弛——黏弹性 .....	55
<b>第二节 树脂磨具的结构与性能</b> .....	5	<b>第七节 聚合物的溶解性</b> .....	56
一、树脂磨具的结构 .....	6	一、聚合物的溶解过程特点 .....	57
二、树脂磨具的主要性能 .....	6	二、聚合物溶剂的选择 .....	58
三、树脂磨具的特征及其标记 .....	9	<b>第八节 聚合物的老化和防老化</b> .....	61
<b>第二章 聚合物结构与性能</b> ..	10	一、聚合物的老化 .....	61
<b>第一节 聚合物基本概念、命名与分类</b> .....	10	二、聚合物的防老化 .....	62
一、基本概念 .....	10	<b>第三章 粘接理论</b> .....	63
二、高分子的结构特点 .....	12	<b>第一节 胶粘剂分类及选择</b> .....	63
三、高分子的性能特点 .....	14	一、胶粘剂的定义和组成 .....	63
四、聚合物的分类和命名 .....	14	二、胶粘剂的分类 .....	65
<b>第二节 聚合物合成与改性</b> .....	19	三、胶粘剂选择条件 .....	66
一、聚合物的合成反应 .....	19	<b>第二节 粘接理论</b> .....	67
二、聚合反应实施方法 .....	23	一、粘过程的界面化学 .....	67
三、聚合物改性 .....	25	二、粘接力 .....	70
<b>第三节 聚合物结构</b> .....	26	三、粘接理论 .....	71
一、链的近程结构 .....	26	<b>第三节 被粘材料的表面状态</b> ..	74
二、链的远程结构 .....	32	一、表面特性与粘接强度 .....	74
三、聚合物的聚集态结构 .....	35	二、表面处理办法 .....	76
<b>第四节 聚合物的热性能</b> .....	39	<b>第四节 胶粘剂的固化技术</b> .....	82
一、聚合物的温度-形变曲线 .....	40	一、热熔胶 .....	83
二、聚合物的耐热性 .....	42	二、溶液胶粘剂 .....	83
<b>第五节 聚合物的力学性能</b> .....	44	三、乳液胶粘剂 .....	83
		四、热固性胶粘剂 .....	84

五、胶粘剂的固化新技术 .....	85	理 .....	137
<b>第五节 粘结工艺及设备 .....</b>	<b>85</b>	五、环氧树脂的改性 .....	146
一、粘结工艺 .....	85	<b>第三节 双马来酰亚胺树脂 .....</b>	<b>148</b>
二、涂胶工具及设备 .....	86	一、BMI 的物理化学性能 .....	149
<b>第六节 影响粘接强度的物理因素 .....</b>	<b>87</b>	二、BMI 树脂的改性 .....	151
一、弱界面层 .....	87	<b>第四节 聚氨酯 .....</b>	<b>155</b>
二、内应力 .....	88	一、原料 .....	155
三、热应力 .....	89	二、聚氨酯胶粘剂的分类 .....	160
<b>第四章 磨料 .....</b>	<b>91</b>	三、聚氨酯胶粘剂的化学反应及合成工艺 .....	160
<b>第一节 磨料的分类 .....</b>	<b>91</b>	四、聚氨酯胶粘剂的结构及特性 .....	162
一、普通磨料 .....	92	<b>第五节 聚乙烯醇和聚乙烯醇缩醛胶粘剂 .....</b>	<b>165</b>
二、超硬磨料 .....	92	一、聚乙烯醇胶粘剂 .....	165
<b>第二节 磨料的处理 .....</b>	<b>94</b>	二、聚乙烯醇缩醛胶粘剂 .....	166
一、选用专门的工艺制造磨料 .....	94	<b>第六节 不饱和聚酯 .....</b>	<b>168</b>
二、磨料的煅烧处理 .....	94	<b>第六章 辅助材料 .....</b>	<b>172</b>
三、表面涂附处理 .....	94	<b>第一节 填充剂 .....</b>	<b>172</b>
四、金刚石表面镀膜处理 .....	96	一、有利于磨削作用的活性填料 .....	173
<b>第五章 树脂结合剂 .....</b>	<b>97</b>	二、可溶性的活性填料 .....	174
<b>第一节 酚醛树脂 .....</b>	<b>99</b>	三、促进树脂固化的填料 .....	174
一、制造酚醛树脂的原料 .....	99	四、非活性填料 .....	175
二、缩聚反应机理和酚醛树脂结构 .....	102	五、超硬树脂磨具填料 .....	176
三、酚醛树脂的制造 .....	112	<b>第二节 润湿剂 .....</b>	<b>178</b>
四、酚醛树脂的性质及其对磨具机械性能的影响 .....	117	<b>第三节 增塑剂 .....</b>	<b>180</b>
五、制造磨具所用酚醛树脂的技术要求及其测定 .....	121	<b>第四节 偶联剂 .....</b>	<b>181</b>
六、酚醛树脂的改性 .....	124	一、偶联剂的作用机理 .....	181
<b>第二节 环氧树脂 .....</b>	<b>130</b>	二、偶联剂的种类及其应用范围 .....	183
一、环氧树脂的分类 .....	130	三、偶联剂表面处理方法 .....	184
二、双酚 A 型环氧树脂的制造原理及其主要产品牌号 .....	132	<b>第五节 润滑剂 .....</b>	<b>186</b>
三、双酚 A 型环氧树脂的性质及特点 .....	136	<b>第六节 脱模剂 .....</b>	<b>186</b>
四、环氧树脂的固化剂及固化机		<b>第七节 着色剂 .....</b>	<b>187</b>

<b>第七章 普通树脂磨具制造</b> ...	192	<b>第八章 超硬材料树脂磨具制</b>	
<b>第一节 配方设计</b> .....	192	<b>造</b> .....	226
一、磨具配方及其表示方法 ...	192	<b>第一节 超硬材料树脂磨具的一</b>	
二、配方设计的要求 .....	193	<b>般特性</b> .....	226
三、树脂磨具配方的基本规律		一、磨料 .....	227
.....	194	二、粒度 .....	227
四、配方设计的方法步骤 .....	195	三、结合剂 .....	227
五、树脂磨具配方举例 .....	196	四、浓度 .....	228
<b>第二节 成型料的配制</b> .....	196	五、超硬树脂磨具的特点与用途	
一、配料 .....	196	.....	228
二、混料设备 .....	199	<b>第二节 制造工艺流程</b> .....	229
三、混料工艺 .....	200	<b>第三节 配方设计</b> .....	230
四、影响成型料混制均匀的因素		一、配方设计原则 .....	231
.....	203	二、配方的表示方法 .....	232
五、成型料干湿度的调节 .....	205	三、配方设计方法 .....	235
六、成型料均匀程度的检查 ...	206	<b>第四节 配混料工艺</b> .....	239
七、成型料混配过程中常见的废		一、结合剂的配混 .....	239
品 .....	206	二、成型料的配混 .....	240
<b>第三节 树脂磨具成型</b> .....	206	<b>第五节 成型工艺</b> .....	242
一、模压法成型 .....	207	一、工艺原理 .....	242
二、热压法成型 .....	212	二、设备与模具 .....	242
三、擗压法成型 .....	214	三、基体 .....	243
四、滚压法成型 .....	215	四、成型工艺 .....	245
五、浇注法成型 .....	215	<b>第六节 固化工艺</b> .....	246
六、振动法成型 .....	216	一、固化机理 .....	246
七、成型过程中常见废品分析		二、固化方法 .....	246
.....	216	三、固化设备及装炉 .....	247
<b>第四节 树脂磨具的硬化</b> .....	217	四、固化规范 .....	247
一、硬化设备 .....	218	<b>第七节 废品分析与加工检查</b> ...	248
二、硬化方法 .....	219	一、废品分析 .....	248
三、装炉 .....	220	二、加工检查 .....	249
四、硬化规范 .....	222	三、酚醛树脂砂轮废品中金刚	
五、树脂磨具硬化程度的检查		石的回收 .....	250
.....	224	<b>第九章 橡胶磨具制造</b> .....	251
六、硬化过程中常见的废品分		<b>第一节 橡胶磨具特性与分类</b> ...	251
析 .....	224	一、橡胶磨具的特性 .....	251
		二、橡胶磨具的用途 .....	252

三、橡胶磨具的分类 .....	252	四、硫化工艺 .....	313
四、橡胶磨具的特征及标志 .....	253	五、硫化曲线 .....	314
<b>第二节 橡胶结合剂</b> .....	254	<b>第十节 橡胶磨具的废品分析</b> .....	315
一、橡胶的主要性能 .....	254	<b>第十章 专用有机磨具制造简介</b> .....	317
二、橡胶的化学组成和结构对其性能的影响 .....	258	<b>第一节 高速重负荷磨钢坯砂轮</b> .....	317
三、天然橡胶 .....	260	一、高速重负荷磨钢坯砂轮的主要特点 .....	317
四、丁苯橡胶 .....	262	二、高速重负荷磨钢坯砂轮制造工艺 .....	317
五、丁腈橡胶 .....	264	<b>第二节 高速树脂薄片切割砂轮</b> .....	320
<b>第三节 橡胶配合剂</b> .....	266	一、高速树脂薄片切割砂轮的特点 .....	320
一、硫化剂 .....	267	二、高速树脂薄片切割砂轮的配方 .....	320
二、促进剂 .....	269	三、高速树脂薄片切割砂轮的制造工艺 .....	320
三、硫化活性剂 .....	274	四、压制高速树脂薄片切割砂轮装备选型 .....	322
四、增塑剂 .....	275	五、后固化曲线 .....	322
五、补强剂和填充剂 .....	277	<b>第三节 钹形砂轮</b> .....	322
六、防老剂 .....	279	一、钹形砂轮的特点 .....	322
七、偶联剂 .....	280	二、钹形砂轮的制造工艺 .....	322
<b>第四节 橡胶磨具专用磨料</b> .....	281	<b>第四节 PVA 砂轮</b> .....	323
<b>第五节 橡胶磨具的配方</b> .....	283	一、PVA 砂轮的主要特点 .....	323
一、配方的表示方法 .....	283	二、PVA 砂轮的基本配方举例 .....	324
二、配方制定的原则和方法 .....	284	三、PVA 砂轮的基本工艺流程 .....	324
<b>第六节 橡胶结合剂的加工与准备</b> .....	286	四、PVA 砂轮制造工艺 .....	325
一、生胶的加工 .....	286	五、影响 PVA 砂轮质量的因素 .....	326
二、配合剂的加工和处理 .....	290	<b>第五节 橡胶导轮</b> .....	326
<b>第七节 橡胶磨具成型料的混制</b> .....	291	一、橡胶导轮的特点 .....	326
一、开放式炼胶机的混料 .....	292	二、橡胶导轮的基本配方 .....	327
二、松散混料机的混料 .....	295	三、橡胶导轮制造工艺 .....	327
三、逆流混料机的混料 .....	296		
<b>第八节 橡胶磨具的成型</b> .....	297		
一、滚压法成型 .....	297		
二、叠压法成型 .....	300		
三、模压法成型 .....	300		
四、压铸法成型 .....	303		
<b>第九节 橡胶磨具的硫化</b> .....	303		
一、橡胶磨具的硫化历程 .....	304		
二、正硫化及正硫化条件 .....	305		
三、硫化设备 .....	311		



<b>第六节 金刚石树脂砂轮</b> .....	331	用范围	.....	335
一、金刚石树脂砂轮的特点	... 332	二、具体应用举例	.....	335
二、金刚石树脂砂轮的使用范 围和压制工艺流程	..... 332	三、废品回收	.....	336
三、具体应用举例	..... 332	<b>参考文献</b>	.....	337
<b>第七节 立方氮化硼树脂砂轮</b> ...	335			
一、立方氮化硼树脂砂轮的使				

## 第一章 有机磨具概论

树脂磨具是工业生产过程中应用的重要工具之一。它是随着整个工业的发展而发展起来的。在古代人们用可磨削物质、硬矿石和粗磨粒作为磨锐工具、用具和武器的简易手段。这就是最早的磨削。随着社会的发展,磨削工艺逐渐复杂,对磨具的要求愈来愈高。1825年印度人开始用天然树脂虫胶做结合剂,以金刚砂为磨料制造出天然树脂磨具,并用它来研磨钢材。随着化学工业和冶炼工业的发展,1901年棕刚玉冶炼成功,1910年白刚玉也开始生产。1907年发明工业酚醛树脂,并于1923年将酚醛树脂作为结合剂,制备成酚醛树脂磨具。1946年制成环氧树脂结合剂,20世纪50年代初实现了工业生产化,它具有强度高、种类多、适应性强等优点,至今在有机磨具结合剂中主要是以酚醛树脂和环氧树脂为基础。随着化学工业中高分子材料工业的发展,使人工合成树脂在磨具制造工业得到应用,从而开创了树脂磨具迅速发展的时期。如今树脂磨具品种繁多、规格齐全、应用领域广泛,在一些工业发达国家树脂磨具的产量已超过陶瓷磨具。

### 第一节 绪 论

有机磨具是指以有机高分子化合物做结合剂,将一颗颗磨粒固结在一起,形成一种具有一定刚性(强度和硬度)的磨削工具。有机磨具包括以天然和合成树脂做结合剂所制成的树脂磨具,以及由天然或合成橡胶结合剂所制成的橡胶磨具。

#### 一、有机磨具的特性

有机磨具使用范围广,具有一定的弹性和较高的结合强度,并具有良好抛光性能。在粗、精、细、抛等磨削工艺中均得到应用,其树脂磨具具有下列特点:

##### 1. 结合强度高

与陶瓷结合剂相比,树脂结合剂结合强度高,其树脂砂轮磨削线速度达 $80\sim 120\text{ m/s}$ ,并可承受较大的磨削压力。重负荷砂轮磨削压力高达 $10\times 10^4\sim 40\times 10^4\text{ N}$ ,广泛应用于钢铁工业,如各种钢锭、钢坯等荒磨工序。高速重负荷专用砂轮等粗磨加工具有操作安全,适合高速磨削和大进给磨削,磨削效率高。

##### 2. 具有一定的弹性

相对陶瓷磨具树脂磨具具有良好的韧性,有一定的可塑性和延展性。其弹性模量( $E$ )比陶瓷低几十倍。所以,树脂磨具适宜于制备各种规格的薄片砂轮和高速切割砂轮。同时,由于有一定的弹性变形,可以缓冲磨削力的作用。因而磨削效果好,有抛光效果,能提高加工表面的粗糙度。

##### 3. 能制成各种复杂形状和特殊要求的磨具

由于树脂结合剂磨具硬化温度低,可常温硬化,收缩率较小,可制成各种复杂形状和特殊要求的磨具。如:采用玻璃纤维增强的树脂砂轮,易排屑、散热性好的多孔树脂砂轮和带沟

槽砂轮;改善磨削工艺条件的螺栓紧固砂轮、电解磨削砂轮、抛光砂轮;以及筒形、碗形、蝶形等异形砂轮。

#### 4. 适用范围广

由于新型树脂结合剂品种多,可以制成各种强度和性能的树脂磨具。因而,可广泛用于荒磨、粗磨、切割、半精磨、精磨、抛光等工序。树脂磨具结合强度高,使用速度高,耐冲击,适于粗磨和荒磨加工;树脂磨具具有良好的韧性,适用于切割加工工序;树脂磨具弹性好,有一定的抛光性,可用于精磨和抛光加工。树脂磨具耐热性较低,易磨损,适用于平面磨和精磨加工。

#### 5. 有利于防止被磨削工件产生烧伤

树脂结合剂耐热性较低,可减少或避免烧伤工件现象。工件在磨削过程中产生的热量,首先使树脂炭化,促使钝化了的磨料自动脱落,露出新的锋利的磨粒,降低了磨削区域的热量,避免了工件烧伤。

#### 6. 树脂磨具硬化温度低,生产周期短,设备简单

有利于专业化生产。

不足之处在于:

树脂磨具耐碱性、耐水性较差,易老化。一般有效存放期为一年。因此,不能长期存放。

树脂磨具耐热性较低,磨削加工时,磨耗较大,不适于定型成形磨削。

树脂磨具气孔率低,加工有气味,应注意环境污染问题。

## 二、有机磨具的应用

树脂磨具主要用于钢铁、汽车、轴承、铁道、车辆、造船、化工、仪表、航空航天、建材及其它机械加工工业。可用于加工各种非金属材料 and 金属材料。如:木材、橡胶、塑料、玻璃、陶瓷、石材、铜、铝、铸铁、钢材等,以及硬质合金、高速钢、高钒钢、钛钢、不锈钢等。此外,在粮食加工,医学及地质勘探等领域都得以应用。

根据加工目的和用量不同,可以进行荒磨、粗磨、半精磨、精磨、细磨和高精度低粗糙度磨削。同时,可根据加工对象的不同,进行外圆磨削、内圆磨削、平面磨削、工具磨削、专用磨削、电焊磨削、珩磨、超精加工、研磨及抛光等。

### 1. 粗磨加工应用

粗磨是指以高效切削大量多余材料为主要特征的磨削方法。荒磨则是许多种粗磨加工广泛使用的俗称。

粗磨加工应用领域:

(1) 用树脂荒磨砂轮和高速重负荷树脂砂轮,粗磨退火或不退火优质合金钢或不锈钢坯的精整加工。用于表面外观缺陷(焊缝、裂纹、氧化层等)的磨削加工。

(2) 用树脂荒磨砂轮对铸件的浇口、冒口和坯缝进行磨削加工和一般性精整加工。

(3) 用树脂荒磨砂轮对模锻、锻件的大毛刺或浇口整修后留下来的飞边,进行彻底的磨除。

(4) 在焊接操作时,残留在焊件表面上的焊缝要采用荒磨平整焊缝和倒圆磨削。

(5) 对大型板材气割成圆形或其它复杂形状时,气割所产生的熔渣,要采用便携式荒磨机磨除。如:大型热轧建筑型钢和管切的粗切加工等。

## 2. 手持磨削加工应用

手持磨削是磨削方法的综合概括。它们的共同特征是:无论是工件还是磨削机械的支承使工件与磨具相接触,制导和移动等均直接依靠手工进行。

手持磨削又分为固定式手持磨削和移动式手持磨削。将磨削机械固定,手持加工工件进行磨削的方式,称为固定式手持磨削。加工时采用的手持砂轮机进行可移动的磨削方式,称为移动式手持磨削。

手持磨削主要应用领域:

(1) 用手提式树脂荒磨砂轮,加工庞大而笨重难以在磨床上安装的工件。如:大型铸件的粗磨。

(2) 用高速钹形砂轮或钢纸磨片,加工已装配有其它零件的工件。如:重型建筑构件和船舶构件。

(3) 对小型调整时需要进行的磨削加工。如:在常见大型部件的有限部位上校正装配件。

(4) 用高速钹形砂轮等,对工件最终成形或对工件与邻接部位接合处的倒圆,对已经装配或已经焊接的工件进行磨削。如:对汽车车体的加工。

(5) 用于形状不规则表面上的雕塑加工。如:模具的加工。

(6) 工件光整加工。即要求对工件进行倒圆或光整磨削,使其表面美观,性能满意,而对形状和尺寸无严格要求。如:用可弯曲钹形砂轮加工不锈钢制品,用PVA砂轮加工石材等。

(7) 在工件表面的有限面积上做少量磨削,以便形成一种特殊的形状。例如:各种刀具的锐磨等。

## 3. 切割加工应用

树脂薄片砂轮主要用于冶金工业的钢棒、钢管、扁钢、角铁、槽钢、钢轨、钢板等金属材料的切割加工;半导体工业的硅、锗、蓝宝石、铁素体、石墨、陶瓷、石英等金属和非金属材料的精密超薄切片加工;以及建筑材料工业、化学工业、航空航天工业、机械工业、汽车工业、船舶工业的金属和非金属材料的切割加工。

在金属材料切割加工中,采用树脂薄片砂轮切割,具有以下优点:

(1) 切割速度快。在切割金属材料时,切割砂轮的切割速度是其它切削方法(如锯、车切)的10倍。

(2) 切割尺寸精度高。采用砂轮切割,其切口宽度和切割面的平整度,一般来说比金工锯切要好。

(3) 切割表面平滑。砂轮切割后其表面经常不须进行精加工,而锯切后的切断面很明显。

(4) 可用于硬质材料的切割加工。如淬硬钢和金属碳化物以及硬脆非金属材料的切割加工。

(5) 磨具使用过程中,自锐性好,不需要修整。

(6) 成本低。使用砂轮切割所需成本明显低于其它切割方法。

(7) 其它方面的应用。如窄槽切口,或者淬硬钢或超硬非金属加工件的切缝等。

树脂磨具切割加工所具有的这些特性,使其在许多金属加工业和非金属加工业,以及在工业生产的其它领域得到广泛应用。

#### 4. 常规磨削加工应用

(1) 用树脂砂轮在外圆磨床或万能磨床上对轴类、套筒以及其他类型零件的圆柱面、圆锥面和肩端面进行磨削加工。

(2) 用树脂砂轮外圆周面或砂轮的端面,如螺栓紧固砂轮、大气孔砂轮、开槽砂轮、多孔砂轮和多孔带沟槽砂轮,以及多用杯形砂轮、筒形砂轮的端面等,对机械零件的各种平直为满足平直度、表面粗糙度和平面之间相互位置精度等要求而进行平面磨削加工。

(3) 用树脂砂轮的外圆面或树脂磨头,在内圆磨床、万能磨床或专用磨床上,对表面质量要求较高的通孔、盲孔、台阶孔、锥孔和轴承内沟道等部件进行内圆磨削加工。

(4) 用树脂砂轮、树脂和橡胶导轮,在无芯磨床上,采用柔性定位的方式,使用砂轮的外圆周面,对旋转对称的内圆或外圆表面进行无心磨削加工。

(5) 用专用树脂砂轮磨螺纹砂轮。在螺纹磨床上,对高精度及表面粗糙度的传动螺纹,测量机件的螺纹,工量具螺纹和淬硬处理的螺纹部分进行螺纹加工。如螺纹、蜗杆、丝锥、滚刀、量规等带锥螺纹、多头螺纹、平行螺纹等磨削加工。

(6) 用环氧树脂珩磨轮以及双锥面、蝶型、双蝶型、蜗杆式砂轮等,在齿轮磨床上,对经淬硬处理的齿轮进行齿轮磨削加工。

(7) 用树脂强力磨砂轮,在工具磨削上,对具有较高的硬度热硬性,耐磨性与足够的强度和韧性的切削工具材料,如碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金等,进行工具磨削加工,以达到理想的精度,表面粗糙度和正确的几何形状,使切削刀具具有较高的锋利性和耐用度。

#### 5. 其它专用磨削加工中的应用

(1) 用树脂磨钢轨砂轮,在专用钢轨修磨列车上,对钢轨进行修磨加工。

(2) 用导电树脂砂轮,在电解磨床上,对一些高硬度的零件,如各种硬质合金刀具、量具、挤压拉丝模具、轧辊等,以及普通磨削很难加工的小孔、深孔、薄壁筒、细长杆零件和复杂型面的零件,进行电解磨削加工。其中电解作用占加工量的95%。磨料的机械加工作用仅占5%。因此,电解磨削比普通磨削加工效率高。

(3) 用PVA(聚乙烯醇)抛光轮,PU(聚氨酯)抛光轮、无纺布抛光轮等,在抛光机上,对石材、玻璃、不锈钢等进行抛光加工。

(4) 磨录音机磁头、钟表、仪器行业所用的精磨抛光砂轮。如FBB(耐水聚乙烯醇)砂轮等。

### 三、有机磨具的发展

我国树脂磨具的生产起始于原沈阳第一砂轮厂,1953年开始生产液体酚醛树脂磨具,四十多年来,经过磨料磨具行业广大工程技术人员共同努力,其树脂磨具在产量上、产品规格和生产技术上都有很大的发展,为国民经济建设和发展起到了重要作用。

根据国内外发展情况,为了及时调整树脂磨具产品结构和提高产品质量,应从以下几个方面来考虑:

#### 1. 发展高效、高韧性磨料及其相应的磨具

重点生产和发展锆刚玉、单晶刚玉、微晶刚玉和烧结刚玉磨料以及相应的磨具。生产出质量优良的高速重负荷砂轮,磨钢轨修磨砂轮,整体磨削刀具用强力磨砂轮等。发展锆刚玉、

烧结刚玉、微晶刚玉,是为了制备高速重负荷砂轮和强力磨砂轮。发展微晶刚玉是解决轴承钢的磨削问题。烧结刚玉主要用于磨不锈钢的重负荷砂轮。锆刚玉用于钢轨修磨砂轮以及合金钢、不锈钢和钛钢的磨削。

### 2. 发展精密磨具

提高磨削齿轮、螺纹、丝杆、轧辊、内孔、导轨、样板、刀具、发动机轴、销类、轴承、钢球等系列化砂轮,以及超精、珩磨等精密磨具品种加工的先进性、适应性、稳定性和成套性。特别是精加工数控磨床使用的精密磨具的标准化、系列化与互换性,提高精加工整体水平。

### 3. 发展超硬材料树脂磨具

随着高品质人造金刚石与立方氮化硼及其聚晶体的生产应用,超硬材料树脂磨具发展迅速,特别是立方氮化硼树脂磨具,在平面磨削、外圆磨削、工具磨削和内圆磨削中得到应用。并可应用较高速度(如45~60 m/s)。随着砂轮速度提高,法向磨削力相应减小,砂轮磨损下降,磨削比增大,加工表面粗糙度低。所以,立方氮化硼树脂砂轮逐渐采用高速磨削。镀衣金刚石树脂砂轮提高了树脂对金刚石的粘结力,增强了砂轮耐用度,在加工硬质合金方面得到广泛应用。

### 4. 提高树脂磨具的平衡性、硬度均匀性以及几何尺寸精度,加强对工艺设备的研究

- (1) 研究成型料混制均匀的新型混料机。
- (2) 研究松散成型料的配方与混料工艺。
- (3) 研究成型料混料均匀的检测方法,成型过程的工模具结构及摊料装置。
- (4) 研究成型工艺和压机精度及其辅助装置的结构,参数对砂轮平衡和硬度均匀性的影响。
- (5) 研究砂轮加工工艺,银孔材料及银孔方法,提高砂轮尺寸精度。

### 5. 注重有机磨具产品的先进性、适应性、稳定性和成套性

- (1) 先进性 有机磨具产品在产品结构和产品性能方面,要达到国际先进水平具备国际市场竞争力和国内市场产品一定的占有率。
- (2) 适应性 根据用户不同磨加工发展的需要,在提高基本系列产品质量的基础上,要发展专用系列产品和多种复合型系列产品。
- (3) 稳定性 在同类型的批量产品之间的各个产品,要求质量均匀一致,稳定、可靠,重复性好。
- (4) 成套性 首先要使产品满足各类磨床,特别是数控精密磨床,以及新型磨削工艺的配套需要。积极为汽车、轴承、冶金、机床工具、农机、航空、航天、军工、建材、交通、轻纺、机械制造等工业,提供高质量的产品。

总之,随着高分子材料工业的发展,新型树脂结合剂不断涌现,以及数控磨床专用磨床的不断更新,树脂磨具的应用范围将越来越广,已成为机械加工行业必不可少的重要加工工具。

## 第二节 树脂磨具的结构与性能

树脂磨具是利用树脂做结合剂,将磨料粘结在一起形成具有不同形状的磨削工具。树脂磨具属于固结磨具之一。根据树脂磨具的形状可分砂轮、砂瓦、磨石、磨头、抛磨块。

## 一、树脂磨具的结构

磨具是由磨粒、结合剂、辅助材料和气孔四要素所构成的。

**磨粒** 磨粒的切削刃同车刀、铣刀的刀刃一样,是磨削主导因素。磨具实际上就是磨粒的集合体,能进行切除工件表面的切屑,达到磨削的目的。

**结合剂** 结合剂将磨粒与辅助材料粘结在一起,经过固化,成为具有一定形状和强度的磨具。并且,磨削过程中,磨粒的切削刃尖端钝化,磨削力增加。当磨削力超过磨粒的强度或结合剂的把持力时,磨粒出现破碎或脱落现象。生成新的切削刃,产生自锐作用。

**辅助材料** 为了改善磨具某些性能,如增加强度,提高磨削性等,以适应某些特殊磨削加工需要。

**气孔** 气孔起排屑或冷却作用。

## 二、树脂磨具的主要性能

### 1. 树脂磨具的硬度

磨具的硬度是指磨粒在外力作用下从磨具表面脱落的难易程度。一般而言,硬度高的磨具,磨粒难以脱落,自锐性较差;硬度低的磨具,磨粒容易脱落,自锐性好。由于磨具在磨削时主要是磨粒对工件产生力的相互作用,当磨粒受外力作用后,必然使结合剂同时受到一定的外力作用。因此,磨具硬度是磨粒和结合剂受外力的综合反映,以结合剂把持磨粒从表面脱落的难易作判断。所以,决定磨具硬度主要不是磨粒本身的硬度,而是结合剂把持磨粒的能力。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。

磨具硬度是衡量磨具质量的重要指标之一,在磨具的所有物理机械性能中,它较能正确地反映磨具磨削的性能。目前,国内外测定磨具硬度的方法很多,其中手锥法、机械锥法,喷砂法和洛氏法是应用最广泛的方法。此外,还有声频法,超声法等测定方法。

根据机械行业标准 JB/T 7992—1995《磨具的检查方法》,精度为 F36~F150 树脂磨具,用喷砂硬度机检验硬度,精度为 F180~F1200 树脂磨具,用洛氏硬度计检验硬度。

根据国家标准 GB/T 2484—1994 规定,磨具硬度代号按软至硬顺序分为 A、B、C、D、E、F、G、H、J、K、L、M、N、P、Q、R、S、T、Y,共 19 级。

但是,对于树脂磨具来说,由于本身具有较大的弹性,直接影响到硬度测定的准确性。特别是对于弹性较大的树脂磨具,现行磨具硬度测定方法已不能真实反映出树脂磨具硬度。

### 2. 树脂磨具的组织

磨具是由磨粒、结合剂、辅助材料和气孔四要素组成,而磨粒是磨具对被加工工件表面起切削作用的主要要素。所谓磨具组织,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,以磨粒占磨具体积分数来表示,也称为磨粒率。

根据国家标准 GB/T 2484—1994 规定,磨具组织号按磨粒率从大到小顺序为 0~14,其磨具组织号与磨粒率的关系式如式(1-1)所示:

$$V_g = 2 \times (31 - N) \quad (1-1)$$

式中:  $V_g$ ——磨粒率,%; 允差为  $\pm 1.55\%$ ;

$N$ ——组织号(从 0~14 或更大)。

磨具组织松紧与磨粒粒度有关。粗粒度磨具,由于磨粒颗粒尺寸大,所占体积分数也大,即磨粒率高,所以一般粗粒度磨具组织比较紧密,组织号在0~5范围内。反之,细粒度磨具,其颗粒尺寸小,表面积大,同样硬度时,所用结合剂量要比粗粒度磨具多,单位体积内磨粒所占体积较少,故组织比较疏松,组织号较大。

树脂磨具组织号的测定方法见机械行业标准 JB/T 8339—1996。

### 3. 砂轮的不平衡

砂轮在旋转或运动时,由于本身的质量中心和它的旋转轴中心不相重合,而引起振动,称为砂轮不平衡。振动力的大小,以g(克)来表示,称为不平衡值。砂轮的不平衡分为静不平衡、动不平衡和综合不平衡三类。静不平衡是指砂轮的重心与旋转中心线在同一平面上,但位于该中心线的一侧。因此,作静平衡检查时,重的一边停留中心轴线的下面。

动不平衡:是指砂轮重心与旋转中心线在同一平面上,其总重心位于旋转中心线上,因而,砂轮处于静止状态时是平衡的,但是,由于砂轮内部质量分布不匀,旋转时即会产生力偶,这种力偶在砂轮旋转时才发生,使砂轮出现动不平衡。

综合不平衡:是指砂轮同时存在静不平衡和动不平衡。砂轮不平衡大多数属于这种情况。

砂轮的平衡度反映了砂轮内部质量的分布状况,也反映了它在平衡过程中重心位置的变化。凡是具有正确的几何形状,内部质量分布均匀的砂轮,其平衡度也一定是好的;反之,由于砂轮内部质量分布不大均匀,会出现大小不同的不平衡值,这种不平衡值的大小直接影响着砂轮的回转强度。因此对于砂轮的不平衡值应该严格控制。对砂轮静平衡检查根据国家标准 GB/T 2492—1984 进行。

砂轮静不平衡值,通常以放置在砂轮周边某一选择位置为使其平衡而补偿的质量来表示。允许的最大静不平衡数值  $m_a$ ,按式(1-2)计算:

$$m_a = K \sqrt{M} \quad (1-2)$$

式中:  $m_a$ ——砂轮允许极限不平衡值;

$M$ ——砂轮的质量;

$K$ ——与砂轮特性和使用条件有关的经验系数。 $K$ 值列于表 1-1。

表 1-1 砂轮特征经验系数  $K$  值

磨削方法	机 床	砂轮名称	$D$	$K$ 值		
			mm	$v \leq 40$	$40 < v \leq 63$	$63 < v \leq 100$
粗 磨	手提砂轮机	平形砂轮	—	0.40	0.32	0.25
		斜边砂轮				
		锥形砂轮				
磨	双头砂轮机 摆动式砂轮机	平形砂轮	—	0.63	0.50	0.40
		重负荷树脂 荒磨砂轮	—	0.80	0.63	0.50



续表 1-1

磨削方法	机 床	砂轮名称	D	K 值		
			mm	$v \leq 40$	$40 < v \leq 63$	$63 < v \leq 100$
精 磨	平面磨床	平形砂轮	$\leq 305$	0.25	0.20	0.16
	外圆磨床	斜边砂轮				
	齿轮磨床	平形带锥砂轮	$> 305 \sim 610$	0.32	0.25	0.20
	螺纹磨床	碟形砂轮	$> 610 \sim 1100$	0.40	0.32	0.25
	工具磨床	单、双面	$> 1100$	0.50	0.40	0.32
	无心外圆磨床	凹砂轮				
切断 或 开槽	手提砂轮机	平形砂轮	—	0.40	0.32	0.25
		铍形砂轮				
	固定式砂轮机	平形砂轮	$\leq 305$	0.50	0.40	0.32
		摆动式砂轮机	铍形砂轮			

注：v—砂轮的最高工作速度，m/s。

#### 4. 磨具的强度

磨具强度包括抗拉强度、抗折强度、抗压强度和抗冲击强度。

磨具抗拉强度反映磨具在最大张力下的强度。它是磨具制造、使用上的一个重要指标，直接与磨具在高速旋转时可能产生破裂的程度有关。

磨具抗折强度反映磨具的最大弯曲应力或弯曲极限。它与磨具磨削中成型磨削性能有关，例如螺纹磨削、曲轴磨削及各类型的切入磨削等，都要求磨具有较好的抗折强度。

磨具抗压强度反映在压力作用下磨具的强度极限，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程度与抗压强度有关。

磨具抗冲击强度反映磨具在动负荷下抵抗冲击力的性能。

磨具强度取决于磨具制造工艺，结合剂性能和磨具规格。影响磨具强度的因素有：磨料的种类、粒度，结合剂种类及性能，磨具的硬度、组织、密度、混料及固化工艺条件，磨具形状，砂轮外径与孔径之比等。其中在磨具特性及规格给定之后，结合剂性能及固化工艺条件最重要。

磨具抗拉强度小于抗折强度，而它又是反映磨具在高速旋转时的抗破裂能力，为保证磨具的使用安全，磨具抗拉强度将是磨具十分重要的性能。

砂轮的回转强度是指砂轮旋转时在离心力作用下抵抗破裂的能力，反映了砂轮抗张应力的大小和回转速度的高低。抗拉强度是通过拉力试验机把“8”字块试样拉断测定的，砂轮的破裂速度则是在砂轮回转过程中造成砂轮破裂时的速度。根据平均应力学说其关系式如式(1-3)：

$$p = \frac{1}{3} (R^2 + Rr + r^2) \frac{\rho v^2}{gR^2} \quad (1-3)$$

式中：p——最大抗拉强度值，MPa；

R——砂轮半径，cm；

r——砂轮内孔半径，cm；

$\rho$ ——砂轮密度，g/cm<sup>3</sup>；