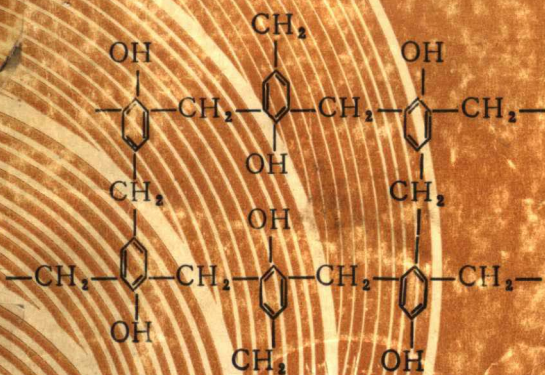


《磨料磨具制造》丛书之五

# 树脂磨具制造



# 前 言

本丛书在国家劳动总局和机械工业部的倡导下，为适应全员培训的需要，我们组织磨料磨具磨削研究所、第一砂轮厂、第二砂轮厂、第四砂轮厂、第六砂轮厂和第七砂轮厂等科研生产单位中有较丰富实践经验和相当理论水平专业技术人员，编写了这套《磨料磨具制造》丛书。全书共八卷，包括《刚玉制造》《碳化硅制造》《陶瓷磨具制造》《橡胶磨具制造》《金刚石制造》《金刚石磨具制造》《树脂磨具制造》和《涂附磨具制造》。

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

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

机械工业部机床工具工业

一九八四

## 编者的话

本书旨在对我国树脂磨具制造的基本理论、生产工艺、工艺装备作一个粗略的描述。编写之前，由于条件的限制，未能进行详尽的考察搜集资料，内容就难免存在局限性和片面性。

编写本书始于八一年下半年，八二年八月审稿之后，又经过修定和充实，直至现在才定稿交付排印。限于时间和精力，对近年来本行业出现的新工艺、新方法、新成果未能一一补充进去。

本书由四位同志编写：第一章至第三章之第一节由李敬民编写；第三章第二节至第四章由陈义辉编写；第五章至第七章由李纯铭编写；第八章至第九章由王尊荣编写。由于我们水平有限，谬误之处在所难免，切望同志们批评指正。

在编写本书的过程中，引用了兄弟单位的一些资料和数据，在此谨致谢意。又承蒙磨料磨具磨削研究所李孝宽同志、第一砂轮厂王锦定同志、郑州机械制造专科学校陈大钊同志认真审阅并提出许多宝贵意见，谨向他们表示衷心的感谢。

1984年10月于第二砂轮厂

# 目 录

<b>第一章 概 论</b> .....	( 1 )
第一节 树脂磨具发展概况.....	( 1 )
第二节 树脂磨具的特点.....	( 3 )
第三节 树脂磨具的主要应用范围.....	( 5 )
第四节 树脂磨具工艺简介.....	( 8 )
<b>第二章 树脂磨具的结构与性能</b> .....	( 9 )
第一节 树脂磨具的结构.....	( 9 )
第二节 磨具的硬度.....	( 10 )
第三节 磨具的组织.....	( 11 )
第四节 砂轮的平衡度.....	( 14 )
第五节 砂轮的回转强度.....	( 19 )
第六节 树脂磨具的类型.....	( 25 )
<b>第三章 原材料</b> .....	( 33 )
第一节 磨料.....	( 33 )
第二节 结合剂.....	( 45 )
一、概述.....	( 45 )
二、酚醛树脂.....	( 56 )
三、环氧树脂.....	( 88 )
四、几种新型结合剂的介绍.....	( 109 )
五、树脂磨具生产过程中对毒性物质的 防护.....	( 122 )

第三节	附加材料	(125)
<b>第四章</b>	<b>磨具配方</b>	(139)
第一节	概述	(139)
第二节	磨具配方的制订	(141)
第三节	主要树脂磨具配方简介	(150)
<b>第五章</b>	<b>配混料</b>	(157)
第一节	配料	(159)
第二节	混料	(161)
第三节	影响粉状树脂成型料混料比例的因素	(177)
第四节	配混料过程中常见的废品分析	(181)
<b>第六章</b>	<b>磨具成型</b>	(183)
第一节	磨具成型的意义和方法	(183)
第二节	模具与工具	(185)
第三节	模压法成型设备简介	(201)
第四节	模压法成型工艺	(225)
第五节	热压法成型工艺	(250)
第六节	擀压法成型工艺	(256)
第七节	浇注法成型工艺	(260)
第八节	成型过程中常见的废品分析	(275)
<b>第七章</b>	<b>磨具硬化</b>	(278)
第一节	磨具硬化的目的和特征	(278)
第二节	硬化设备	(279)
第三节	装炉	(284)
第四节	硬化方法	(287)
第五节	硬化规范	(289)
第六节	树脂磨具硬化程度的检查	(296)

第七节	硬化过程中常见的废品分析·····	( 296 )
<b>第八章</b>	<b>树脂磨具的机械加工·····</b>	<b>( 300 )</b>
第一节	树脂磨具的平面加工·····	( 300 )
第二节	树脂磨具的孔径加工·····	( 308 )
第三节	树脂磨具的外径加工·····	( 315 )
第四节	异型树脂磨具的加工·····	( 321 )
第五节	树脂油石的加工·····	( 323 )
<b>第九章</b>	<b>成品检查·····</b>	<b>( 326 )</b>
第一节	树脂磨具的外观检查·····	( 326 )
第二节	树脂磨具的静平衡检查·····	( 328 )
第三节	树脂磨具的强度检查·····	( 330 )
第四节	树脂磨具的硬度检查·····	( 338 )

# 第一章 概 论

## 第一节 树脂磨具发展概况

磨具是工业生产的重要工具之一，也是国民经济不可缺少的组成部份，许多重要工业如钢铁、航空、汽车、造船、机床、仪表、量具刀具、轴承等，都离不开磨具。正是因为磨削加工在机械加工中越来越显得重要，所以一些国家常把磨加工在机械加工中所占的比重，作为衡量机械加工工艺水平的一个标志。目前各工业部门都在向着高速度、高精度、高效率方面发展，磨削加工工艺的应用范围将越来越广，磨具的产量、质量、品种等必须不断提高和扩大，才能适应这种发展的要求。

磨具工业是随着整个工业的发展而发展起来的。在古代，人们利用天然岩石进行研磨，便是最早的磨削，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，天然岩石已不能适应磨削的要求，人们才开始着手研究新的磨料。1901年棕刚玉问世，1910年白刚玉开始生产。在磨床方面除了外国磨床，已出现内圆磨床，轧辊磨床和万能磨床等。基本的加工车间已列入磨削工艺。1949年以后，各种较精密磨床相继出现，由于加工精度要求愈来愈高，自动化程度已具有相当高的水平。到了1956年，工业发达的国家磨床产量已占整个切削机床的百分之二十左右。从磨具产量来看，1955年，美国是206,000吨，西德是34,500吨，英国是25,000吨，日本是16,799吨。以后随着工业的发展要求，各国的磨具产量都有不同程度的增加。

人造树脂结合剂磨具是出现比较晚的一种磨具，它是随着化

学工业的发展而发展起来的。从用天然树脂到用人造树脂取代天然树脂作结合剂，也经历了一段过程。由于树脂结合剂的独特优点，在许多磨削工艺中，它取代了陶瓷或橡胶结合剂磨具，得到了迅速的发展。从国际总的发展状况来看，它和陶瓷结合剂磨具的百分比逐步有所变化，如1950年为25比75，1960年为40比60。1970年为50比50。不少工业比较发达的国家如日本、美国、西德等，树脂磨具的产量都和陶瓷磨具的产量不相上下，甚至超过陶瓷结合剂磨具的产量。日本就是个典型的代表，情况如表（1—1）所示。

表(1—1) 日本历年陶瓷和树脂磨具产量对比

年 份	陶瓷磨具 (%)	树脂磨具 (%)
1955	97	3
1960	70	30
1965	57	43
1968	48	52
1972	36	64
1976	34	66
1978	31	69

在我国，人造树脂磨具是全国解放后，随着社会主义建设事业的发展，随着机械加工工艺的不断改进和有机合成工业的不断壮大而逐渐发展起来的。近三十年来，工艺技术和产品质量不断得到发展和完善，生产了许多具有国际水平的产品，如镜面磨砂轮，磨轧辊砂轮、磨轴承滚子球基面砂轮及高速增强砂轮等，已



为磨加工工艺填补了空白，在满足我国国民经济生产建设需要的同时，并已进入了国际市场。

## 第二节 树脂磨具的特点

从上节可以知道，树脂磨具近三十年来有了飞速的发展。但它为什么发展这么快，分析起来主要因为树脂磨具有以下几个特点：

1. 结合强度高。比较起来，树脂结合剂有较好的结合强度，可在较高的速度下使用，可承受较大的磨削压力，因而广泛用于钢铁、汽车、轴承等大型企业的粗磨工序。且随着加工工艺的不断改进，磨削负荷和磨削速度不断提高，砂轮的内部结构正在作较大的改进和改革，如钢铁工业中钢锭、钢坯等荒磨工序已由过去的手提式砂轮机，悬挂式砂轮机发展到今天的高速重负荷专用修磨机床，砂轮使用速度已由过去的35—40米/秒，发展到今天的50—100米/秒，砂轮磨削负荷也由过去的30—50公斤，发展到1000公斤以上。这些都是靠树脂结合剂砂轮来完成的。

2. 能制成各种特殊形状的磨具。由于树脂结合剂磨具硬化温度较低，收缩率较小，可制成各种复杂形状和特殊需要的磨具，如为了提高强度可在砂轮内加入玻璃丝、尼龙丝及各种金属丝等。为了便于散发热量，排除磨屑，可直接作成带沟槽的砂轮或多孔砂轮。为了改善磨削条件，改进磨削工艺，可直接把紧固件，如钢碗、螺帽等镶入砂轮内，作成多种用途的螺栓紧固砂轮。为了进行电解磨削，常在砂轮内加入一些导电性能比较好的材料，如铜粉、铝粉、石墨粉等。为了提高被磨工件的光洁度，常在砂轮内加入石墨粉或三氧化二铬等。所有这些不同的磨具，把磨加工工艺引向广阔的领域，使树脂磨具的适用范围步入新的阶段。

3. 树脂, 尤其是酚醛树脂结合剂具有良好的可塑性和延展性, 适于制造各种规格的薄片砂轮。它比金属锯条的切削效率大为提高, 在许多金属加工部门的切割工序中得到广泛的应用。用于开槽的薄片砂轮的最小厚度为0.2—0.1毫米, 是某些机械加工工序的关键工具。高速切割工艺问世之后, 又把薄片砂轮引向新的发展阶段。

4. 由于树脂结合剂属于有机材料, 耐热性较低, 可减少或避免烧伤工件现象。因为工件在磨削过程中产生的高热, 首先使树脂碳化, 促使钝化了的磨粒自动脱落, 露出新的锋利磨粒, 降低了磨削区域的热量, 避免烧伤工件, 这对于提高磨加工的质量和生产效率是有益的。因此在相同磨削条件下, 选择树脂砂轮的硬度要比陶瓷砂轮高一些。

5. 树脂结合剂有一定的弹性, 这有利于提高工件表面光洁度。因此, 在精磨和抛光工序多选用树脂结合剂磨具。在同样要求下, 树脂磨具的粒度可比陶瓷磨具适当放粗些。

6. 由于树脂磨具是低温硬化, 生产周期短、设备简单, 投资少, 见效快, 对于迅速发展生产, 加速资金流转, 提高生产效率, 实现专业化生产都是有利的。

7. 有充分的原材料。随着有机合成工业的发展, 作为结合剂用的人造树脂, 不仅从数量上有了充分的供应, 在品种上也得到了迅速的发展。据介绍, 目前在世界范围内可用作结合剂的树脂, 除了酚醛树脂醛外, 还有环氧树脂, 新酚树脂, 聚苯树脂、脲醛树脂, 聚氨酯树脂, 醇酸树脂, 聚酰胺树脂和聚乙烯醇缩醛等三十余种。至于通过改性以提高结合剂性能的品种牌号更是难以统计。这样便可以不同的树脂特性适应各种磨加工的要求促进树脂磨具的发展。

### 第三节 树脂磨具的主要应用范围

目前我国树脂磨具主要用于钢铁、汽车、轴承、铁道车辆、船舶制造、仪表和其他机械加工等部门，而且在某些工业部门，树脂磨具的应用范围正在不断扩大。现重点加以介绍。

#### 1. 荒磨砂轮

荒磨砂轮是树脂磨具的主要产品之一，

从产量看，它居于各种树脂磨具的首位。它主要用于钢铁工业中对钢锭、钢坯、钢板的修磨（尤其是不锈钢、锋钢的修磨）以及各种铸造件的表面清理等。以前多采用陶瓷结合剂砂轮，由于树脂砂轮具有较高的回转强度和冲击强度，使用起来较为安全。磨削效率也较高，现在多采用树脂砂轮，在两者的用量比例中，后者日渐增大，大有取代陶瓷砂轮之势。

但到目前为止，我国修磨工艺仍以悬挂式修磨机为主。这种修磨机的缺点是磨削压力小，磨削效率低，修磨质量差，难以实现钢坯的“全扒皮”作业；另外，还有劳动强度大，影响操作者的健康等。毋容讳言，这是一种落后的工艺方法，它与钢铁工业的现代化生产是不相适应的。国外为解决钢坯修磨的机械化问题，首先创造了高速重负荷磨削工艺。这种方法的特点从设备方面来讲，是使用大马力的修磨机（200—250马力），磨削负荷大（200~1200公斤），操作实现机械化和自动化，因而磨削效率明显提高（每小时磨除金属量达300—450公斤，较之原来方法提高十倍以上）；从砂轮的制造来讲，则是采用10\*~12\*的特粗磨粒，要求砂轮能满足50~80米/秒的使用速度，砂轮规格大（直径达610~760毫米），硬度达到超硬级。在磨料方面，已由过去的棕刚玉、微晶刚玉发展到今天的矾土烧结刚玉和锆刚玉制成的重负荷砂轮，这四种磨料的相应磨削比为1:1.6:3.8:5.0。另

外，高速重负荷砂轮的热态磨削也已开始采用，所谓热态磨削是指把钢坯的修磨作业直接联在热轧生产线上，在钢坯温度较高的情况下进行磨削。它较之常温磨削能提高生产效率和减少砂轮消耗，并能提高磨削表面的光洁度，避免产生表面裂纹等。当然，对所使用的砂轮的要求较之一般的重负荷砂轮还要高。可以这样说，高速重负荷修磨方法是荒磨工艺的一项重大革新，是发展的方向。

在我国，重负荷磨削已得到钢铁工业部门的普遍重视，荒磨设备已在悬挂式砂轮机的基础上进行了改革，试制出了一些中速中负荷磨钢坯磨床，要求砂轮的使用速度为50—60公尺/秒，磨削负荷为250公斤。这就向树脂磨具制造行业提出了新课题，它已引起我国磨具制造行业的特别注意，几个主要砂轮厂已相继试制出来，个别单位已纳入正式工艺生产，满足一些用户的需要。尽管重负荷磨削在我国还处于初期阶段，使用面不广、发展不平衡，但相信在不久的将来，我国钢铁工业和锻铸工业的荒磨工艺将有一个全面的大改进，与之相适应的高速重负荷砂轮必将有一个大发展。

2. 高速增强砂轮是磨加工对树脂磨具的一个特殊要求。所谓增强就是在砂轮制造过程中，通过加入玻璃丝、尼龙丝和金属丝等纤维材料，以提高砂轮的抗拉、抗冲和抗弯曲强度。目前在国际范围内应用最广泛的为高速磨片和高速切割砂轮。高速磨片直径从100到230毫米，使用速度为每秒60~80公尺，这种砂轮广泛用于冶金、化工、船舶制造和其它机械加工等行业的打磨焊缝、清理铸件毛刺和金属表面等工序。高速切割砂轮是根据磨削工艺要求在普通树脂切割砂轮的基础上发展起来的，使用速度为每秒60至100公尺，比较起来，它比普通切割砂轮具有切削效率高，抗冲击和抗弯曲性能好等优点。目前它已由切割小型金属材料发展到切割大规格型钢和钢板，砂轮的规格越来越多。国外切割砂轮外径已达到1400毫米以上。在我国，高速切割方法已引起各有关

部门普遍注意，高速砂轮切割机已能大批量生产，相信随着金属切割工艺的不断改进和发展，以及对外贸易的不断扩大，高速磨片和高速切割砂轮必将有一个大发展。

3. 螺栓紧固砂轮的普遍采用是平面磨削工艺发展的一个突出特点。过去在立式平面磨削中多采用陶瓷砂轮。随着磨削工艺的不断改进逐渐为树脂砂轮所代替。目前在汽车、拉拖机和轴承等磨加工中，螺栓紧固砂轮已得到普遍应用，它主要用于双端面磨削，也用于一般的平面磨削，常用规格为外径300到900毫米。为了提高工件精度，避免烧伤，除对磨具的基本特性进行考虑外，还在砂轮平面上采取多种结构形式：如大气孔砂轮、开槽砂轮、多孔砂轮或多孔带沟槽砂轮等。这些不同形状的砂轮，程度不同地改善了砂轮的磨削性能。

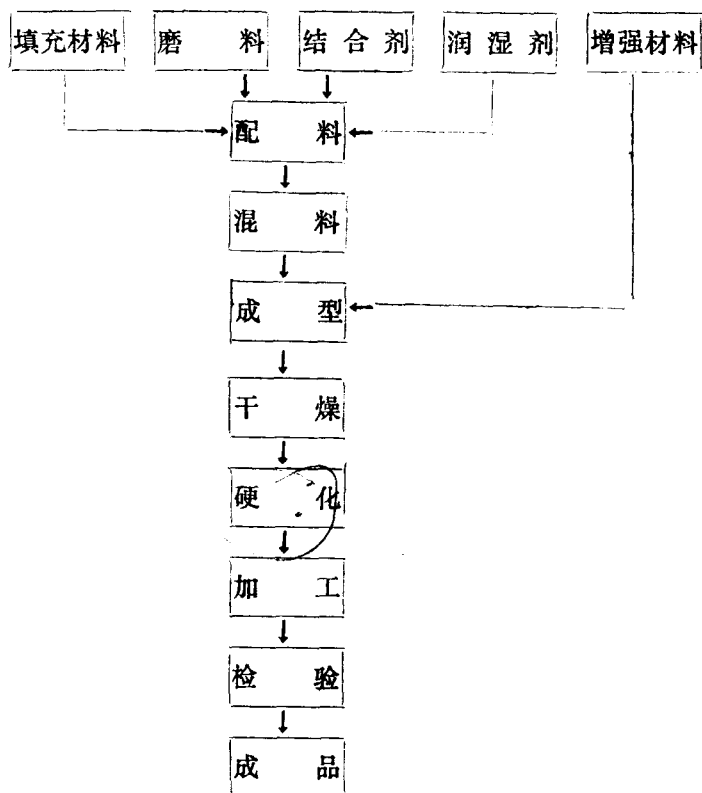
4. 对于各种轧辊的磨削，陶瓷砂轮的使用数量逐渐减少，而树脂砂轮的需用量日益增加。在钢铁工业部门的热轧，冷轧工艺过程中，用树脂砂轮修磨轧辊的优越性已为大多数工厂所承认。对于精密轧辊的研磨大多是靠加石墨填料或专门的树脂结合剂来完成的。其他方面，如汽车减震器，活塞销、连杆和阀门等的精磨或粗磨；在轴承行业中，轴承的滚针、圆柱滚子及滚道、档边的磨削，过去所用的陶瓷或橡胶砂轮，已全部或部分地为树脂砂轮所代替。

此外，如石墨镜面磨砂轮，磨注射针斜口的铜粉电解砂轮，磨录音机磁头的粗磨和精磨砂轮，钟表、仪器行业所用的精磨和抛光砂轮，以及最近新发展起来并广泛应用于精磨和抛光的PVA砂轮，大多数是根据某种树脂的特性，用专门的工艺制造出来的。所有这些促进了树脂磨具的飞速发展。相信随着我国社会主义建设事业日新月异的变化，随着树脂合成工业的发展，随着磨削工艺的不断改进，我国树脂磨具的应用范围将越来越广，它在整个磨具中所占的比例必将迅速增加。

## 第四节 树脂磨具工艺简介

在制造树脂磨具时，随着树脂结合剂的种类，性质和对磨具的不同要求而采用不同的工艺方法和工艺装备。如按混合料的性状分，有液体料、粉状料和浆状料等；按成型方法分，有热压成型、冷压成型、擀压成型和浇注成型等。在硬化工序又分为常压硬化和加压硬化两种。但归纳起来，所有树脂磨具在制造过程中，基本上遵守以下工艺程序：

树脂磨具生产工艺流程



## 第二章 树脂磨具的结构与性能

树脂磨具属于固结磨具，它是利用树脂将磨料粘结在一起的具有不同形状的磨削工具，用于磨削、研磨和抛光等加工工序。根据形状和使用方法的不同，树脂磨具可分为砂轮、砂瓦、油石、磨头。

### 第一节 树脂磨具的结构

磨具主要由磨粒、结合剂和气孔三部份组成，它们构成磨具的总体。有时为了某种目的常在磨具中加入一些附加材料，这些附加材料除了在硬化过程中逸出外也是构成磨具的成份。图（2-1）是磨具结构放大示意图。



图（2-1）磨具结构放大示意图

磨粒——构成磨具的主要成份，起着切削刃的作用。暴露在磨具表面的棱角像无数个利刃切削被加工物的表面。因此，要求磨

粒必须满足下列要求：硬度高，耐磨性好；颗粒的尺寸和几何形状均匀整齐；有适当的抗破碎性，使磨粒的切削刃磨钝后有适当的自锐性；能耐高温，在磨削高温下能保持硬度和强度；与被加工材料不起化学反应等。

结合剂——粘结磨粒使之成为具有一定形状和硬度的磨具。在磨削过程中把持磨粒，因此要求结合剂必须有充分的粘结能力，以保证磨具在磨削时有足够的强度和较好的磨削性能。根据磨削工艺的不同要求可以有多种结合剂。

气孔——磨粒和结合剂之间的空隙，磨削过程中有助于容纳和排除磨屑，散发热量，促进冷却液的流动。磨具的气孔率及气孔本身的大小，可根据磨削要求通过调正配方和投料数量来控制。

## 第二节 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。一般言之，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，自锐性较好。

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。磨具硬度的均匀性与准确性对磨削性能有较大的影响。目前，国际上测定磨具硬度的方法很多，其中手锥法、机械锥法，洛氏法和喷砂法是应用最广泛的方法，它们的共同特点是对磨具表面都有损伤作用。声频法已在欧美一些国家采用，超声法目前尚处于研究阶段，这两种方法对于磨具表面不起破坏作用。根据国家标准 GB2490—81和GB2491—81规定，36\*—150\*用喷砂机测定硬度允许按原级 $\pm 0.5$ 小级，180\*及更细用洛氏硬度计测定硬度，180\*—240\*允许按原级 $\pm 1$ 小级。280\*及更细允许按原级 $\pm 0.75$ 小级。对于树脂结合剂磨具来说，由于本身具有较大的弹性，直



接影响着硬度测定的准确性。这种弹性的大小，随着树脂的种类和加工制造的工艺条件而异。尤其用于磨具结合剂的树脂牌号日渐增多，现行磨具硬度的测定方法已不能反映树脂磨具的真实质量，对于100<sup>#</sup>及更细粒度磨具表现得尤为突出。如何改进这种状况是今后需要进一步研究的一个问题。

影响树脂磨具硬度的主要因素是树脂的性质和数量、成型密度的大小及硬化的时间和温度等。在一定范围内，树脂量增多，成型密度增大，磨具的硬度偏高，反之则硬度降低。适宜的硬化时间和温度对于保证树脂磨具硬度的准确性也是一个至关重要的问题。

磨具的硬度和磨削加工的关系极为密切，不同材质的工件对磨具硬度有不同的要求。因而各个国家或部门多把磨具硬度划分为不同的等级，以示磨具软硬程度的差异。在我国，把磨具硬度划分为七大级十四小级。表（2—1）列出了我国与各主要工业国磨具硬度代号及硬度对照。

### 第三节 磨具的组织

磨具的组织是指磨粒、结合剂和气孔这三部份在磨具中的体积关系。磨具组织的疏松或紧密直接影响着磨加工的效果。因此，按磨粒在磨具中分布的疏密程度来确定磨具组织是有重要意义的。

目前表示磨具组织的方法有两种：一种是以气孔的体积（气孔率）表示——气孔率大，则组织疏松，反之则组织紧密，这种方法只能反映磨具中气孔率的大小，不能表示磨粒和结合剂的比例范围，尤其单位体积内磨粒的数量，这对于了解磨具的性能有一定的限度；另一种方法是用磨具中磨粒体积百分数来表示磨具的组织、百分数的大小用编号来表示，称为组织号。磨具中磨粒的数量