

- 913723

精密研磨

王忠志 编著



中国计量出版社

封面设计：赵松年

〔科技新书目：206-029⑦〕

ISBN 7-5026-0279-8/TB·230

定 价： 4.60 元



精密研磨

王忠志 编著

中国计量出版社

内 容 提 要

精密研磨用于高精度工件的最终加工工序。工件经过精密研磨后,可获得极高的尺寸精度、极高的表面粗糙度、极准确的几何形状精度和位置精度。

本书从生产实际出发,系统地介绍了精密研磨的原理、特点和应用范围;研磨工具及其设计;分析了影响研磨质量的各种因素;在多年实践的基础上,从理论上着重分析了各种研磨运动的轨迹和速度;研磨时的压力和研磨余量;手工研磨的特点及诀窍;超精密研磨以及典型工件的研磨工艺等。书中论述的原理、计算公式和数据都是经过长期实践考验的,可供有一定技术水平的研磨工人和技术人员参考。

精 密 研 磨

王忠志 编 著

责任编辑 朱桂兰

—

中国计量出版社出版

北京和平里11区7号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—

开本 787×1092/32

印张 10.75 字数 240 千字

1989年12月第1版

1989年12月第1次印刷

印数 1—6500

ISBN 7-5026-0279-8/TB·230

定价 4.60 元

绪 言

随着我国工业、农业、国防和科学技术现代化的发展,精密研磨在航天技术、电子工业、精密仪器制造业和精密量具制造业中的应用越来越广泛。不仅有平面、内孔、外圆、球面的研磨,还有了螺纹、齿轮、各种曲面的研磨以及配制各种偶件的配合研磨。能研磨的工件材料也不仅是碳素工具钢、渗碳钢、合金工具钢、氮化钢、铸铁、铜、硬质合金,还可以是玻璃、单晶硅、天然油石、石英等。

虽然精密研磨这种工艺方法可以使工件获得极高的精度,但由于影响精密研磨质量的因素甚多,工艺难度大,因此到目前为止,很多部门和单位尚不能很好地掌握。目前有关精密研磨方面有实用价值的参考资料甚少,为了进一步推广和提高精密研磨的工艺水平,收集总结多年实践经验的基础上编著了这部书。书中论述的有关原理、计算、数据和工艺方法以及某些技术诀窍都是经过长期的实践考验的、是完全可靠的。

书中除全面论述影响精密研磨质量的诸因素外,还论述了量块等多种典型精密零件的研磨的工艺方法。

本书除了可供有一定技术水平的研磨工人和有关技术人员阅读外,还可以供大专院校有关专业的师生参考。

由于编著者的经验不足,水平有限,加之时间仓促,本书在内容上会有不足之处,恳请广大读者给予批评指正。

编 著 者

1984年6月

20091107

目 录

第一章 精密研磨概述	(1)
第一节 研磨的原理	(1)
第二节 研磨的分类	(6)
第三节 研磨的特点	(12)
第四节 研磨的应用范围	(15)
第二章 研磨工具	(16)
第一节 研磨工具的作用及对研磨工具的要求	(16)
第二节 研磨工具的材料	(20)
第三节 铸铁研磨工具	(22)
一、铸铁研磨工具的优点	(22)
二、铸铁的金相组织对其嵌砂性能的影响	(22)
三、几种典型的铸铁研磨工具的技术要求	(28)
四、研磨量块用铸铁研磨平板实例	(31)
第四节 铸铁研磨平板的校正	(34)
一、采用手工校正研磨平板	(37)
二、在专用平板研磨机上校正研磨平板	(38)
三、在圆盘研磨机上采用校正片校正研磨平板	(41)
四、在圆盘研磨机上采用偏心法校正研磨平板	(42)
五、校正研磨平板的注意事项	(45)
第五节 铸铁研磨平板的嵌砂	(46)
一、“赶”砂	(46)

二、嵌砂的程序.....	(47)
三、嵌砂的要点.....	(50)
第六节 研磨工具的设计	(51)
一、平面研磨工具的设计.....	(51)
二、圆柱研磨工具的设计.....	(53)
三、圆柱孔研磨工具的设计.....	(54)
四、内螺纹研磨工具的设计.....	(56)
五、圆锥孔研磨工具的设计.....	(57)
第三章 研磨剂	(59)
第一节 研磨粉的种类	(59)
第二节 研磨粉的粒度	(64)
一、研磨粉的分类及标志	(64)
二、粒度的组成.....	(66)
第三节 影响磨料性能的主要因素	(68)
一、磨料的硬度	(69)
二、颗粒的形状	(69)
三、基本粒的数量.....	(71)
第四节 研磨液	(73)
第五节 辅助填料	(75)
第六节 研磨混合剂	(76)
一、液态研磨混合剂	(76)
二、固态研磨混合剂	(77)
第七节 研磨粉的制造工艺	(78)
一、制造研磨粉所用的主要设备	(78)
二、制造研磨粉所用的材料.....	(78)
三、研磨粉的制造工艺过程 (W 0.5~W 28)	(79)
第四章 研磨运动的轨迹	(84)
第一节 对研磨运动轨迹的要求	(84)

第二节	直线研磨运动的轨迹	(85)
第三节	正弦曲线式研磨运动的轨迹	(90)
第四节	短幅内摆线研磨运动的轨迹	(94)
一、	短幅内摆线研磨运动轨迹的形成原理	(94)
二、	短幅内摆线研磨运动轨迹的方程	(95)
三、	短幅内摆线研磨运动轨迹一拱的曲线弧长	(97)
四、	短幅内摆线研磨运动轨迹的重复性	(101)
五、	短幅内摆线研磨运动轨迹的实例	(103)
六、	短幅内摆线研磨运动轨迹的分析	(105)
第五节	短幅外摆线研磨运动的轨迹	(106)
一、	短幅外摆线研磨运动轨迹的形成原理	(106)
二、	短幅外摆线研磨运动轨迹的方程	(108)
三、	短幅外摆线研磨运动轨迹一拱的曲线弧长	(109)
四、	短幅外摆线研磨运动轨迹的重复性	(111)
五、	短幅外摆线研磨运动轨迹的实例	(111)
六、	短幅外摆线研磨运动轨迹的分析	(113)
第六节	三偏心外摆线式研磨运动的轨迹	(114)
一、	三偏心外摆线式圆盘研磨机的设计原理	(114)
二、	三偏心外摆线式圆盘研磨机行星齿轮公转和自转转数的 计算	(116)
三、	三偏心外摆线式圆盘研磨机运动轨迹的方程	(120)
四、	三偏心外摆线式研磨运动轨迹一拱曲线弧长的计算	(123)
五、	三偏心外摆线式研磨运动轨迹的重复性	(127)
六、	三偏心外摆线式圆盘研磨运动轨迹的实例	(127)
七、	三偏心外摆线式圆盘研磨机运动轨迹的分析	(131)
第七节	三偏心内摆线式研磨运动的轨迹	(132)
一、	三偏心内摆线式研磨机的设计原理	(132)
二、	三偏心内摆线式的圆盘研磨机行星轮 O_2 公转和自	

转转数的计算.....	(133)
三、三偏心内摆线式圆盘研磨机运动轨迹的方程	(138)
四、三偏心内摆线式圆盘研磨机运动轨迹一拱的曲线弧长 ...	(140)
五、三偏心内摆线式圆盘研磨机运动轨迹的重复性	(141)
六、三偏心内摆线式研磨运动轨迹的实例	(142)
七、三偏心内摆线式圆盘研磨运动轨迹的分析.....	(145)
第八节 单偏心圆盘研磨运动的轨迹	(147)
一、单偏心圆盘研磨机的结构原理.....	(147)
二、单偏心圆盘研磨机轨迹的方程及轨迹一拱的曲线弧长 ...	(149)
三、单偏心圆盘研磨机运动轨迹的重复性	(151)
四、单偏心圆盘研磨运动轨迹的分析	(151)
第九节 研磨圆柱面的运动轨迹	(153)
第十节 圆锥面的研磨运动轨迹	(155)
第十一节 工件的表面粗糙度和研磨运动轨迹	
之间的关系	(157)
第五章 研磨运动的速度	(159)
第一节 对研磨运动速度的要求	(159)
第二节 直线研磨运动的速度	(160)
第三节 正弦曲线研磨运动的速度	(162)
第四节 短幅内摆线研磨运动的速度	(165)
一、短幅内摆线研磨运动的速度的计算	(165)
二、短幅内摆线研磨运动速度的计算实例.....	(168)
三、短幅内摆线研磨运动速度的分析	(169)
第五节 短幅外摆线研磨运动的速度	(169)
一、短幅外摆线研磨运动的速度计算	(169)
二、短幅外摆线研磨运动速度的计算实例.....	(171)
三、短幅外摆线研磨运动速度的分析	(173)
第六节 三偏心外摆线式研磨运动的速度	(173)

一、三偏心外摆线式研磨运动的速度计算.....	(173)
二、三偏心外摆线式研磨运动的计算实例.....	(176)
三、三偏心外摆线式研磨运动速度的分析.....	(179)
第七节 三偏心内摆线式研磨运动的速度	(180)
一、三偏心内摆线式研磨运动的速度计算	(180)
二、三偏心内摆线式研磨运动的速度计算实例	(182)
三、三偏心内摆线式研磨运动速度的分析	(184)
第八节 单偏心研磨运动的速度	(185)
第九节 几种研磨运动的轨迹和运动速度的 比较	(189)
第六章 研磨时的压力	(195)
第一节 湿研磨时的压力	(195)
第二节 干研磨时的压力	(197)
一、对研磨压力的要求	(197)
二、在机械研磨中造成工件所受压力不等的因素	(198)
三、研磨压力对研磨过程和工件质量的影响	(200)
四、减少研磨过程中工件所受压力不等的措施.....	(201)
第七章 研磨的预加工和研磨余量	(204)
第一节 研磨的预加工方法	(204)
第二节 研磨余量	(206)
第八章 手工研磨	(212)
第一节 手工研磨的特点	(212)
第二节 手工研磨平面	(213)
第三节 手工研磨中影响工件平面性的因 因素	(220)
一、作用力对工件平面性的影响	(221)
二、温度对工件平面性的影响	(223)
三、研磨平板的平面性对工件平面性的影响	(224)

第九章 超精密研磨	(227)
第一节 超精密加工概述	(227)
第二节 实现超精密研磨应遵循的原则	(228)
第三节 量块的超精密研磨	(231)
第十章 典型工件的研磨工艺	(236)
第一节 量块的制造工艺	(236)
一、量块的技术要求	(236)
二、量块的制造工艺	(239)
三、重点工序及有关问题的说明	(245)
第二节 多面棱体的制造工艺	(269)
一、多面棱体的技术要求	(270)
二、多面棱体的制造工艺过程	(271)
三、重点工序工艺方法的说明	(271)
第三节 角度块规的制造工艺	(279)
一、角度块规的技术要求	(280)
二、角度块规的制造工艺	(281)
三、重点工序的说明	(286)
第四节 量针和量柱的制造工艺	(291)
一、量针的技术要求	(292)
二、量针的制造工艺	(293)
三、重点工序的说明	(298)
第五节 螺纹环规的制造工艺	(299)
一、螺纹环规的技术要求	(299)
二、螺纹环规的制造工艺	(301)
三、重点工艺问题的说明	(306)
第六节 多齿分度盘的制造工艺	(306)
一、概述	(306)
二、多齿分度盘的结构设计	(308)

三、多齿分度盘的粗加工	(311)
四、多齿分度盘的精化	(312)
第七节 精密丝杠的制造工艺	(320)
一、精密丝杠工艺过程拟定的原则	(321)
二、精密丝杠的研磨	(324)

第一章 精密研磨概述

精密研磨是一种历史悠久的机械加工工艺方法，常用于高精度零件的最终加工，以使零件获得极高的尺寸精度，极高的表面粗糙度，极高的相互位置精度和极准确的几何形状。

由于科学技术的发展，对机械加工精度的要求越来越高。从机械加工的极限精度的提高过程就可以看出这一点。据统计，从19世纪初开始，机械加工极限精度几乎是每五十年提高一个数量级，即由1800年的1mm级提高到1850年的0.1mm级；1900年的0.01mm级和1950年的0.001mm，即1 μm 级。而从二十世纪五十年代起，提高的步伐更加迅速。如1970年，机械加工的极限精度已达到0.1 μm 级。而目前由于航天工业、大规模集成电路、激光技术以及精密仪器制造业和精密量具制造业的发展，使机械加工的极限精度正在向0.01 μm 级进军。

目前，要突破和掌握0.01 μm 级的长度加工技术，0.1 μm 的分度技术，粗糙度不大于 R_a 0.01 μm 的镜面加工技术，0.01 μm 级的圆度加工技术以及1 $\mu\text{m}/\text{m}$ 级直线度加工技术和4级精度丝杠等重点精密加工项目，实践证明，精密研磨是实现上述目标的重要工艺方法之一。

第一节 研磨的原理

研磨就是将磨料及其附加剂涂于或嵌在研磨工具表面上，在一定的压力的作用下，借助于研磨工具和被研磨工件

之间的相对运动，从被研磨工件表面上除去极薄的金属层，从而使工件获得极高精度的一种工艺方法。由此可见，被研磨工件的质量主要决定于所选用的研磨方法、磨料、附加剂、研磨工具，研磨时的压力、研磨运动和工件研磨前的预加工等方面的因素。

研磨过程的物理本质曾有过很多种说法。

有人认为，研磨和磨削是一样的道理，只不过是用极细的磨粒的尖角在工件表面上除去极薄的金属层而已。因为磨粒极细，运动方向又不断的改变，所以可使被研磨表面获得极高的表面粗糙度。

也有人认为，研磨时，被研磨表面发生塑性变形，由于金属的塑性流动，使得粗糙表面的凸起部分被“压平”填充到凹陷处，而后形成极高的表面粗糙度。

还有人认为，被研磨表面曾出现过化学变化过程。金属表面在化学活性物质的作用下，覆盖一层化合物薄膜，此膜形成很快，而且可以被磨料除掉，研磨过程就是工件表面凸起部分的化合物膜不断去除和形成的过程，最后可以获得极高的表面粗糙度。

最后，有人认为，研磨过程不是上述某一因素单独作用的结果，而是由于磨粒的切削作用、研磨表面微小起伏的塑性流动和表面活性物质的化学作用的综合结果。

实践证明，最后一种说法是比较全面的。在研磨过程中，磨粒的切削作用是主要的。图 1—1 和图 1—2 所示为在直线研磨机上，分别采用 W 1 和 W 2 的金刚砂 (Al_2O_3) 研磨的，由钢 GCr 15 制成的粗糙度 $R_a 0.016 \mu m$ 和 $R_a 0.032 \mu m$ 的量块，在电子显微镜下拍摄取得的表面研磨条纹照片 ($\times 3000$)。图 1—3 为采用研磨粉碳化硼和碳化硅 ($B_4C + SiC$) 研磨的硬质合金 (G 8) 量块在电子显微镜下拍摄取得的

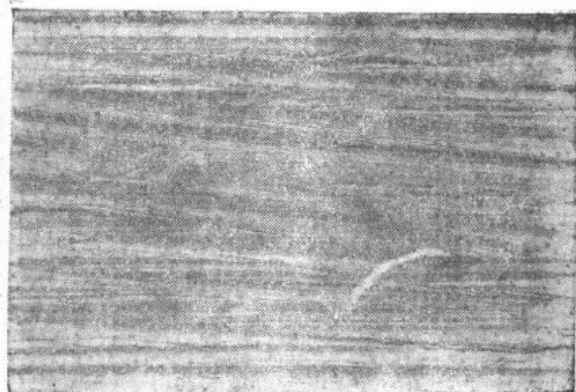


图 1—1 量块研磨条纹照片
($R_a 0.016 \mu\text{m}$) $\times 3\,000$

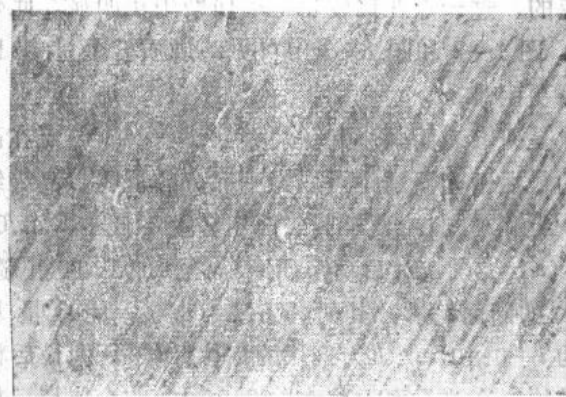


图 1—2 量块研磨条纹照片 $\times 3\,000$
($R_a 0.032 \mu\text{m}$)

照片 ($\times 3\,000$)。由图 1—1、图 1—2 和图 1—3 可见, 研磨过的表面象耕过的田垄一样, 这说明研磨过程磨粒的切削作

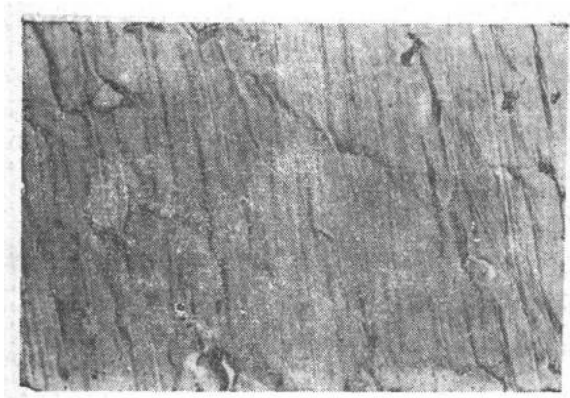


图 1—3 硬质合金量块研磨条纹 $\times 3\ 000$

用是主要的。这一点在比较粗糙的研磨中更明显。此外，从图 1—1、图 1—2 和图 1—3 中可见，硬质合金量块比钢制量块研磨更困难。

其次是研磨表面微小起伏的塑性流动。这一点在高等级的量块的最后精密研磨中可以得到充分的证明。高等级的量块（如 0 级和 00 级），要求其表面粗糙度不低于 $R_a 0.01\ \mu\text{m}$ 。图 1—4 (a) 为量块最后精密研磨前经预加工的粗糙度 $R_a 0.032\ \mu\text{m}$ 的断面轮廓，其研磨条纹为直纹。此时量块的中心长度为 $l + 0.10\ \mu\text{m}$ (l 为量块的标称尺寸)，即最后精密研磨时，量块每个测量面上将去除 $0.05\ \mu\text{m}$ 的金属层。如果只有切削作用，当从量块表面上除去 $0.05\ \mu\text{m}$ 的金属层时，量块表面应是图 1—4 (b) 所示的情况，其直研磨条纹的深度仍为 $0.03 \sim 0.05\ \mu\text{m}$ 。但实际上，量块精密研磨过程中，当每个测量面上除去的金属层的厚度达到 $0.05\ \mu\text{m}$ 时，其上直线研磨条纹已完全消失，仅有新产生的无定向的研磨条纹，

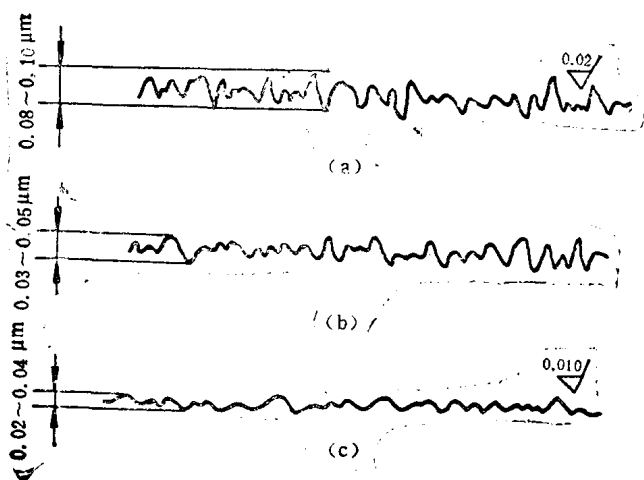


图 1—4 量块精研磨时断面轮廓
变化示意图

粗糙度达到图 1—4 (c) 所示的 $R_a 0.010 \mu\text{m}$ 的水平。由此可见，量块精密研磨时从量块表面除去的金属层的厚度小于预加工时的研磨条纹的深度，而此时预加工研磨条纹已经完全消失，这就是研磨过程中被研磨表面微小起伏有塑性流动的结果。

最后，在精密研磨过程中，加入某些活性物质，如硬脂酸 ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$)、油酸 ($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$)、脂肪酸 ($\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$) 等，由于化学作用的结果可明显提高工件的表面粗糙度。图 1—5 为采用某种较强的活性物质研磨的粗糙度 $R_a 0.010 \mu\text{m}$ 以上的量块表面粗糙度照片 ($\times 3440$)，其上可见化学活性物质所起的作用。

综上所述，研磨的实质是由于磨粒的切削作用、研磨表面微小起伏的塑性流动和表面活性物质的化学作用的综合结