

上海机床厂编著

普通磨床

高光洁度磨削

GAO GUANGJIEDU MOXIAO

机械工业出版社

人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完结。在有阶级存在的社会内，阶级斗争不会完结。在无阶级存在的社会内，新与旧、正确与错误之间的斗争永远不会完结。在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。其所以是错误，因为这些论点，不符合大约一百万年以来人类社会发展的历史事实，也不符合迄今为止我们所知道的自然界（例如天体史，地球史，生物史，其他各种自然科学史所反映的自然界）的历史事实。

摘自“周恩来总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告”

出版者的話

周总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告中说：“我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。”上海机床厂的工人和技术人员，以“实践论”、“矛盾论”作指导，不迷信洋人，敢想敢干，在生产实践中，经过反复试验，掌握了高光洁度磨削的规律，创造了用普通外圆磨床，略加调整和改装，进行高光洁度磨削的新技术。

和研磨相比，采用这项新技术，可以提高零件的精度和寿命，减轻体力劳动，提高劳动生产率；推广这项新技术，可以充分发挥现有设备的能力，促进精密机械制造的发展。

为了满足各厂学习的需要，本社编辑人员深入上海机床厂蹲点，以该厂为主，组织了有经验的工人和技术人员，比较系统地总结了这一经验。初稿写出后，我们又在北京、上海一些工厂组织了座谈会，广泛吸取了修改意见。最后由上海机床厂专门组织了生产、科研、机修等部门的有关工人和技术人员，进行了全面的审查修改，并作了新的补充。

本书着重总结了工人的操作经验，同时对工艺参数、机床条件和砂轮特性等因素的影响也进行了分析，并推荐了具体的经验数据。但这些经验和数据不是一成不变的，各厂应根据具体条件，从实际情况出发，吃透经验的精神，灵活掌

握，区别对待，创造性地运用。

毛主席常常教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”随着这项新技术的普遍推广和发展，肯定会有更多的先进成果和实际经验出现。我们希望广大读者多多提出修改补充意见，以便本书再版时，得以进一步充实和完善。

1966年3月10日

目 录

一 概况	1
二 光滑磨削表面的形成及表面质量	3
1 光滑磨削表面的形成	3
2 表面质量的评定	5
三 工艺参数对磨削表面质量的影响	8
1 金刚钻顶角及锋锐性的影响	8
2 金刚钻安装角及安装位置的影响	9
3 修整时工作台速度的影响	11
4 修整时横进给量的影响	12
5 修整时横进给次数的影响	13
6 修整时无横进给纵走刀次数（或光修次数）的影响	13
7 磨削时砂輪綫速度的影响	14
8 工件綫速度的影响	15
9 磨削时工作台速度的影响	16
10 磨削时横进给量与横进给次数的影响	16
11 磨削时无横进给纵走刀次数（或光磨次数）的影响	17
四 机床条件	20
1 工作台低速稳定性	20
2 砂輪主軸轴承的結構性能	25
3 机床振动的的影响及减振防振措施	29
4 横进给机构精度的影响	32
五 砂輪特性及其选择	33
1 砂輪特性对磨削质量的影响	33
2 砂輪特性的选择	35

六 操作方法	37
1 磨削前的准备工作	37
2 砂輪的修整方法	39
3 掌握精磨和超精磨削的工艺方法	42
4 正确使用冷却潤滑液	43
七 表面缺陷的产生及防止	45
1 多角形 (直波形)	45
2 螺旋形	48
3 拉毛 (划伤或划痕)	50
4 烧伤	51
八 內圓精密磨削与超精磨削	52
1 工艺参数的影响	52
2 砂輪与工件內孔直徑比的影响	54
3 內圓磨具精度的影响	54
4 操作注意事項	54
九 加工实例	57
1 大型磨床砂輪箱主軸	57
2 精密軋棍	59
3 基准錐度塞規	63
4 測量主軸錐孔偏摆的錐尾試棒	65
5 莫氏錐度环規的內孔加工	67
附图	73
附表	85

一 概 况

精密磨削, 超精磨削和镜面磨削是近期发展起来的光整加工的新技术。关于什么叫精密磨削、超精磨削和镜面磨削, 目前世界上尚无统一的规定。为了在后面叙述上的方便, 我们暂做这样的规定: 使工件表面获得▽▽▽▽10级以上光洁度的磨削工艺, 通称高光洁度磨削; 获得▽▽▽▽10~▽▽▽▽11级的, 叫做精密磨削; 获得▽▽▽▽12~▽▽▽▽13级的叫做超精磨削; 获得▽▽▽▽14级的叫做镜面磨削。

这项新技术和目前的研磨或超精加工相比, 有如下几个优点:

(1) 可以获得超精加工和研磨不易达到的▽▽▽▽13~▽▽▽▽14级光洁度;

(2) 可以获得高的几何精度(特别是同心度和直线性)和高的尺寸精度, 这一点也正是研磨或超精加工难以达到的;

(3) 生产效率比较高。如果在磨床上装上自动控制尺寸的仪器, 就更加显示出这一优点;

(4) 加工范围较广。比研磨或超精加工广阔。如内外圆柱面(包括不通孔)、内外圆锥面、端面, 以及简单的成形面(如鼓形轧辊、轴承环凹滚道)等都可以采用精密磨削、超精磨削甚至镜面磨削。对于端面和凹滚道的镜面磨削比较困难。

1965年我国试制成功了具有世界先进水平的镜面磨削机

床——MBG1432 高精度半自动万能外圆磨床；在科学实验的过程中，掌握了高光洁度磨削的规律。只要适当地掌握一定的操作技术，用粗粒度砂轮（60[°]或80[°]）经过精细修整，可以获得▽▽▽▽10~13级光洁度；用细粒度砂轮（M20~M10）可以获得▽▽▽▽12~14级光洁度。除MBG1432 镜面磨削机床外，我国制造的MGB1420 和MG1431 也能用做超精磨削甚至镜面磨削用。对普通万能外圆磨床如M131W 略加调整和改装，也能稳定地进行超精磨削。

为了适应高光洁度磨削的需要，我国对砂轮特性也从多方面进行了研究。不但生产碳化硅、普通刚玉和白刚玉磨料，陶瓷结合剂的砂轮，现在还提供了铬刚玉、烧结刚玉和微晶刚玉磨料，树脂和橡胶结合剂，硬度软的，组织密的砂轮。

目前，精密磨削和超精磨削的研究成果，正在全国范围内推广。这项新技术可以应用于关键轴套类零件的加工，如精密机床的主轴、各种精密轧辊、轴承环、液压滑阀、塞规、环规、量棒以及其他零件。对于被加工工件的材料，不仅对GCr15、65Mn、40Cr、45、38CrMoAlA、CrWMn、T8、T10等材料能采用精密磨削、超精磨削，甚至镜面磨削，而且对不锈钢、高磷铸铁、冷铸铁以及铜等材料也能采用精密磨削或超精磨削。

从应用范围来看，目前对精密磨削和超精磨削的需要比镜面磨削广泛，所以本书着重介绍这方面的技术。然而镜面磨削也有部分生产单位需要，同时考虑到它与精密磨削和超精磨削比较，除少数技术稍有差别之外，其余是相同的，所以在关键之处将附带提提。

二 光滑磨削表面的形成 及表面质量

1 光滑磨削表面的形成

要了解高光洁度磨削加工怎样使工件形成光滑表面，需要首先看看磨粒切刃在砂轮表面上的分布状态。在砂轮表面上，各磨粒切刃的分布，不但杂乱无章，而且参差不齐，好像地面上的山峰一样，是起伏不平的。如果我们以砂轮的最外圆周作为基准圆，则砂轮各磨粒切刃的顶峰不是都正巧位于基准圆上，而是有好多磨粒切刃的顶峰在基准圆里边，并且距基准圆有远有近（如图1所示）。磨粒切刃分布的这种性质称为微刃的不等高性。

在砂轮表面上，通常每颗磨粒具有好几个切刃同时参加切削工作，这种性质称为磨粒的微刃性（如图2所示）。

在磨削过程中，上述微刃是不断发生变化的（如图3所示）。开始是锐利的，称锐利期（图3a），

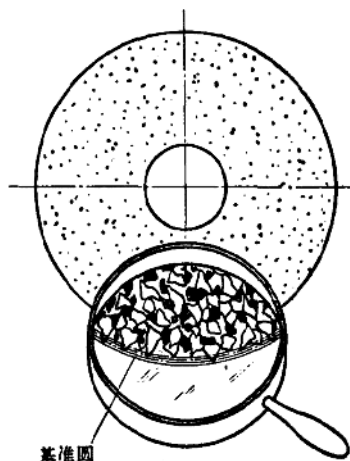


图1 微刃的不等高性。

逐渐磨损而变得稍钝，称为半钝化期（图 3 b），继续磨损后完全变钝，称钝化期（图 3 c）。

在精密磨削、超精磨削和镜面磨削过程中，形成光滑表面的基本作用是微刃的切削作用和摩擦抛光作用。

因为在高光洁度磨削时，砂轮经细修整，磨粒切削分布的不等高程度很小，即等高性好，并且微刃性也好，因而能在工件表面上切下微细的切屑，形成较光滑的表面。或者，在适当的磨削压力下，半钝态微刃与工件表面发生适当的摩擦抛光，使之形成光滑表面。当用粗粒度砂轮经细修整进行磨削时，微刃切



图 2 磨粒的微刃性。

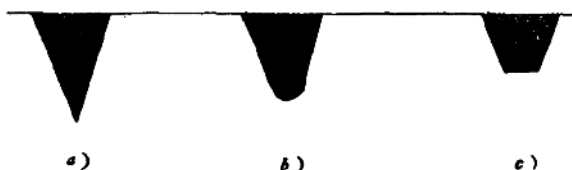


图 3 微刃的变化过程示意图。

削能力强，切削作用占上风，则主要由微刃切削作用形成光滑表面；当用细粒度树脂结合剂砂轮经细修整进行磨削时，微刃切削作用减弱了，适当的摩擦抛光作用突出了，则可以形成更光滑的表面。因此，可以采用粗粒度砂轮，通过细修整，借助等高性好的微刃的切削作用进行精密磨削；同样可以采用粗粒度砂轮或细粒度砂轮，通过精细修整，借助等高性好的微刃的切削作用和一定的摩擦抛光作用进行超精磨削；可以采用卸

粒度砂轮，通过精细修整，借助等高性好的半钝态微刃，在适当压力下充分的摩擦抛光作用进行镜面磨削。而结合剂的弹性作用，是充分发挥摩擦抛光作用的重要条件之一，因而对镜面磨削来说，结合剂的作用也是不可忽视的。

磨粒的微刃性和微刃的等高性靠修整工具、修整用量和细修整方法来保证。当然，以选好砂轮为前提（磨料的韧性和砂轮硬度都要适当选择，以便保证微刃长期保持不被破坏）。

微刃切削作用或摩擦抛光作用的充分发挥，靠操作者合理控制磨削用量来保证。

2 表面质量的評定

经过精密磨削、超精磨削或镜面磨削的工件，其表面质量主要以表面光洁度的高低和表面缺陷来评定。

目前常用三种标准，即 H_{cp} 、 H_{ck} 或 R_a 来衡量表面光洁度的高低。在这些标准中，将表面光洁度分成 14 级，每一级又分为 3 等。在表 1 中，列出各种标准（ H_{cp} 、 H_{ck} 及 R_a ）的数值与光洁度等级的对应关系（关于光洁度的详细介绍可参考机械工业出版社出版的机械工人活页学习材料“谈表面光洁度”）。

高光洁度磨削可以获得非常光洁的工件表面。但是，也会由于各种原因，产生各种各样的缺陷，如多角形、螺旋形、烧伤、拉毛，它们会降低零件表面的质量。

如图 4 所示，零件表面沿母线方向存在一条条直线痕迹，若从工件的横断面来看，周边呈现近似正弦波的曲线，这是磨削过程中比较容易出现的缺陷，称为多角形，也叫多棱形或直波形。

如图 5 所示，在工件表面上存在像螺纹一样的痕迹，这

表1 各种标准的数值与光洁度等级的对应关系表

光洁度级别	等	R_a (微米)不大于	H_{cp} (微米)	H_{ek} (微米)
▽▽▽9	a	0.32	>1.25~1.6	>0.32~0.4
	b	0.25	>1~1.25	>0.25~0.32
	c	0.20	>0.8~1	>0.2~0.25
▽▽▽▽10	a	0.16	>0.63~0.8	>0.16~0.2
	b	0.125	>0.5~0.63	>0.125~0.16
	c	0.10	—	>0.1~0.125
▽▽▽▽11	a	0.08	>0.4~0.5	>0.08~0.1
	b	0.063	>0.32~0.4	>0.063~0.08
	c	0.05	>0.25~0.32	>0.05~0.063
▽▽▽▽12	a	0.04	>0.2~0.25	>0.04~0.05
	b	0.032	>0.16~0.2	>0.032~0.04
	c	0.025	>0.12~0.2	>0.025~0.032
▽▽▽▽13	a	0.02	>0.1~0.12	—
	b	0.016	>0.08~0.1	—
	c	0.0125	>0.06~0.08	—
▽▽▽▽14	a	0.01	>0.05~0.06	—
	b	0.008	>0.04~0.05	—
	c	0.006	~0.04	—

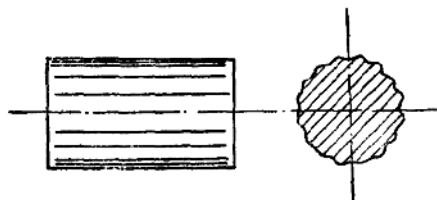


图4 多角形示意图。

也是磨削过程中容易出现的缺陷，称为螺旋形。

如图6所示，在工件表面上存在黄褐色或黑色的形迹，这种形迹往往随着螺旋形缺陷同时出现而呈螺旋形（如图6a所示）；或者随着多角形缺陷同时出现而呈点线状（如图6b所示）。这些形迹称为烧伤或烧焦。

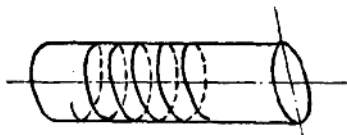
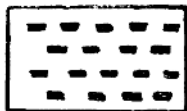


图5 螺旋形示意图。



a)



b)

图6 烧伤缺陷示意图。

如图7所示，有时在工件表面上会出现一种划痕，这种划痕比工件光滑表面的沟纹要深一些，宽一些，俗称为拉毛或划伤。这种划痕常见的有沿砂轮与工件相对运动方向很有规律地排列着的，也有突然出现一个两个的，也有密密麻麻的。

以上是精密磨削、超精磨削和镜面磨削中容易出现的缺陷，这些缺陷产生的原因及消除措施到第七节中再详细讲。

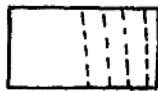
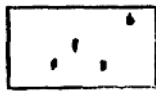


图7 拉毛痕迹示意图。

三 工艺参数对磨削表面质量的影响

影响精密磨削，超精磨削和镜面磨削表面质量的因素主要有四大方面：

- (1) 工艺参数；
- (2) 机床条件；
- (3) 砂轮特性；
- (4) 操作技术。

这一节主要分析工艺参数的影响，后三方面的因素在以后各节中分别叙述。

1 金刚钻顶角及锋锐性的影响

当其它因素不变时，工件表面光洁度随着金刚钻顶角（如图8所示）的减小和尖峰的锐利而提高；随着金刚钻顶角的增大和尖峰的变钝而降低，这两种情况下获得的工件表面光洁度往往会相差一大级。这是因为较小的顶角和锐利的尖峰能保证砂轮工作面上磨粒的微刃性和微刃的等高性。但不是说金刚钻顶角越小越好，而当小到一定程度之后，就不会再提高工件表面光洁度，而且会导致金刚钻使用寿命的降低。所以金刚钻顶角为 70° 至 80° 较合适，且应保持锋

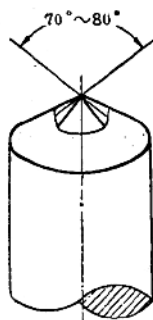


图8 金刚钻顶角。

利（修粗砂轮时，对金刚钻锋利性要求可低一些）。经验证明，当金刚钻尖峰变得太钝之后，不但使工件表面光洁度下降，而且容易把砂轮修钝，导致多角形的加剧。

2 金刚钻安装角及安装位置的影响

金刚钻的安装角从 0° 变到 15° 时，对工件表面光洁度无显著影响。但是，如果装成适当的角度，一个方向磨钝了，换一个方向又是锋利的，因而能够提高金刚钻的使用寿命。一般安装金刚钻时，多取 10° 左右的安装角（如图 9 所示）。

金刚钻的安装高度对砂轮修整得坏有一定的影响。如果使金刚钻的尖峰安装在砂轮上的 O_1 点或正好装在 O 点上，砂轮对金刚钻的作用力

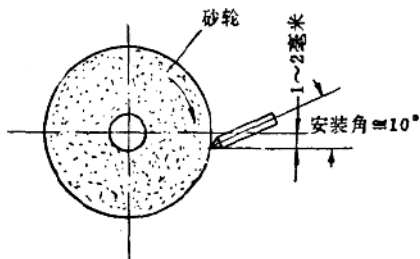


图 9 金刚钻的安装高度及安装角。

都比尖峰安装在 O_2 点的大，即 $P_1 > P_0 > P_2$ （如图 10 所示）。

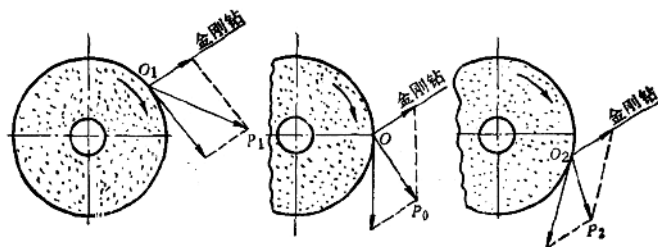


图10 金刚钻安装在不同高度的受力情况。

这样一方面容易使金刚钻尖峰往砂轮里钻，另一方面加剧金刚钻的振动，结果可能达不到磨粒的微刃性和微刃的等高性要求，使工件表面光洁度下降。因此，将金刚钻尖峰安装在低于砂轮中心 1~2 毫米的位置较合适。如果低得太多，就发挥不了金刚钻尖锐的作用。

另外，金刚钻安装的位置，应使砂轮在修整时和磨削工件时位置相近(如图 11 a 所示)。若位置相差太多(如图 11 b 所示)，如果砂轮架导轨与床身导轨不垂直或本身偏斜，就会使砂轮在磨削时出现单面接触，引起螺旋形缺陷。

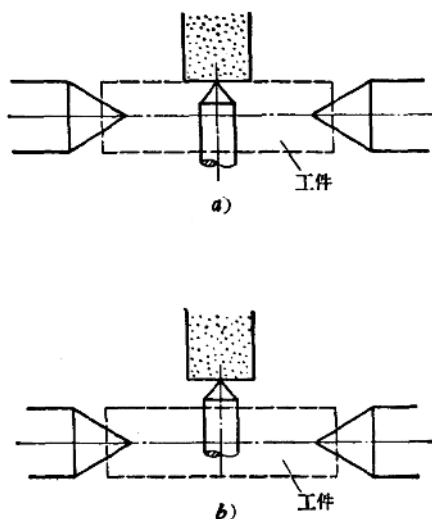


图11 金刚钻的安装位置。

3 修整时工作台速度的影响

砂轮工作面上磨粒的微刃性和微刃的等高性与修整时工作台速度有极为密切的关系。随着工作台速度的降低，磨粒的微刃性和微刃的等高性则好，反之则差。可以设想，金刚钻以一定速度修整砂轮时，有些象在车床上切螺纹一样，走刀越慢，螺纹越细（如图 12 所示），也相当于砂轮越光滑，使磨出工件的表面光洁度随之提高。因而，在其他条件一定

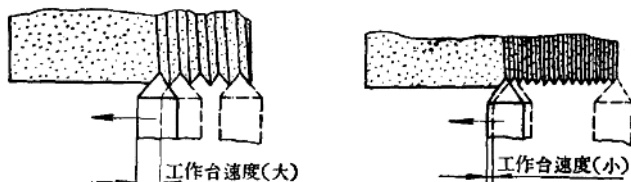


图12 工作台速度对砂轮工作面的影响。

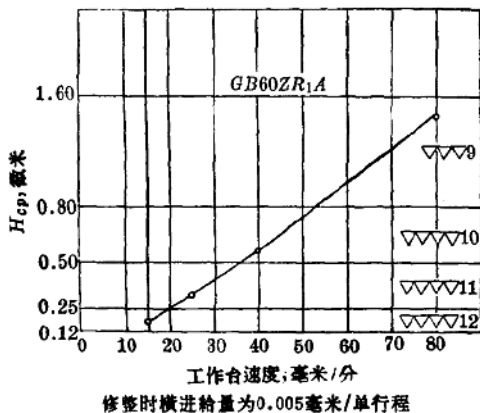


图13 修整时工作台速度对光洁度的影响。