

机械制造工艺学

余 敏 主 编

(下册)

武汉工学院机制教研室

一九八五年七月

§ 3—1 概述

机械加工表面的质量是指经机械加工后零件表面的几何形状特征以及表面层金属的物理机械性能。这种表面层的厚度一般只有 $0.05 \sim 0.15$ 毫米。

加工表面的几何形状特征包括宏观几何形状误差、波度和粗糙度（光洁度或微观几何形状误差）。宏观几何形状误差属于加工精度的范围，所以在本章中只讨论表面光洁度和波度。波度是由工艺系统的振动产生的，而表面粗糙度是刀刃在加工表面上形成的凹凸不平的痕迹。表面粗糙度在不同截面内是有区别的，如图 3—1。纵向粗糙度是在切削过程的主运动方向上形成的，而横向粗糙度是在横向进给运动中形成的。一般车削时根据后者来评定。

图 3—1 纵向和横向表面粗糙度 图 3—2 加工表面层沿深度的性质变化

表面层的材料在加工时会产生物理、机械以及化学性质的变化。图 3—2 a) 表示加工表面层沿深度方向的变化。在最外层生成氧化膜或其它化合物，并吸收、渗进了气体、液体和固体的粒子，故称为吸附层。该层的总厚度通常不超过 $80 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ 米)。压缩层为塑性变形区，由切削力造成。厚度约在几十至几百微米内。随着加工方法的不同而变化。其上部为纤维层，它由被加工材料与刀具间的摩擦力造成。另外切削热也会使表面层产生各种变化。如同

淬火、回火一样使材料产生相变以及晶粒大小的变化等。衡量表面层的物理机械性能的方法主要有以下几个方面：

(1) 表面层冷作硬化的深度和程度（参见图 3—2 b）。硬化程度 N 用下式表示：

$$N = \frac{H - H_0}{H_0} \times \% \quad \text{式中 } H \text{——表面层的显微硬度；}$$

H_0 ——原材料的显微硬度。

(2) 表面层中残余应力的大小、方向及分布情况，参见图 3—2 c）。

(3) 微观和宏观裂纹、撕裂和折皱等缺陷。

(4) 表面层金相组织的改变，包括晶粒大小和形状、析出物和再结晶等的变化。

(5) 表面层其它物理机械性能的变化，如极限强度、疲劳强度、导热性、导电性和磁性等。

一般零件的设计图纸上不规定表面层的物理机械性能要求，而只规定光洁度的等级。可以这样来理解，即认为用一般切削加工方法所得到的表面光洁度符合要求时，则表面层的物理机械性能也就符合要求。但对某些重要的机械零件（如传动齿轮、涡轮叶片等）因其在重截、高速下工作，要求有较高的疲劳强度和耐磨性，否则会严重影响其可靠性和使用寿命。这时应规定表面层的物理机械性能要求。

每一种加工方法在获得一定的加工精度的同时，将得到相应的表面光洁度。因此在设计零件时，规定的精度要求和光洁度要求必须协调。

零件的尺寸精度是通过量具的测量工作面与零件表面上粗糙度

的凸峰顶部相接触而确定的。因此从测量的角度来看，表面粗糙，则测量的尺寸不可能精确，这也说明加工精度与表面光洁度有着一定的联系。根据经验，不同尺寸和精度等级的工件，应有最低的表面光洁度要求，如表 3—1。

表 3—1 各种精度等级所要求的最低表面光洁度

直 径 (毫米)	精度等级 (IT)				
	5	6	9	11	12
1~3	▽9	▽9	▽7	▽5	▽4
3~6	▽9	▽8	▽7	▽5	▽4
6~10	▽9	▽8	▽7	▽4	▽3
10~18	▽8	▽8	▽6	▽4	▽3
18~50	▽8	▽8	▽6	▽4	▽3
> 50	▽8	▽8	▽6	▽4	▽2

§ 3—2 表面质量对零件使用性能的影响

零件的表面质量，对于其使用性能，如耐磨性、疲劳强度、抗腐蚀性及配合性质等都有很大的影响。现分别讨论。

一、表面质量对零件耐磨性的影响

机械零件的使用寿命，往往决定其耐磨性。当互相摩擦的零件逐渐磨损，机械的精度及性能也逐渐丧失。因此，在制造零件时，总是力求使其具有较高的耐磨性。

一般说来，表面光洁度高，可以提高耐磨性。当两个零件相互作用时，由于表面粗糙度的存在，起初只是凸峰顶部接触，实际接触面积很小，单位面积上的压力大。当压力超过材料的屈服极限时，

凸峰部分将产生塑性变形。零件作相对运动时，将有剪切变形，凸峰部分折断或产生塑性滑移，亦即表面磨损。在有润滑油的情形下，也因接触部位的单位面积上的压力过大，超过了润滑油膜的临界值，油膜遭到破坏，形成干摩擦。

但是，表面光洁度过高，磨损反而增加。因两个表面都很光洁，中间的润滑油被挤出，产生金属分子间的亲和力，表面容易咬焊，因而急剧磨损。

由此可知，在一定的工作条件下，某种摩擦副有一最优的表面光洁度数值，而且这个最优值随着载荷大小的不同而异，重载工作条件下的最优光洁度要比轻载时的低，如图 3—3 所示。

图 3—3 金属磨损与表面粗糙度的关系；

I—轻载荷；II—重载荷。

在一般工作条件下，最优光洁度之值是很高的，常处于光整加工的范围内。例如拖拉机发动机的汽缸套孔，最优光洁度是 $\nabla 9$ ，活塞销外圆的最优光洁度是 $\nabla 10$ 。对一般的车削、刨削、铣削、铰削、磨削的加工表面来说，常是表面光洁度愈高，则愈耐磨。

未淬火零件表面层的冷作硬化会减小摩擦副接触部分的弹性和塑性变形，因而减小磨损。但若硬化过度，则由于易产生表面裂纹而降低耐磨性。图 3—4 所示为 T7A 钢车削后冷硬程度与磨损量的关系。由图可知，HB = 380 为最优值。

淬火零件在磨削时的烧伤严重降低耐磨性。

三 表面质量对零件疲劳强度的影响

零件的表面愈粗糙，则愈易产生应力集中。应力集中主要发生在粗糙表面的凹谷处。凹谷愈深，凹角圆弧半径愈小，则应力集中愈厉害。在凹谷处的应力，比作用于表面层的平均应力要大 $0.5 \sim 1.5$ 倍。因此受反复载荷的零件，常因应力集中而产生疲劳裂纹。粗糙度高度增加，则疲劳强度降低。提高表面光洁度，特别是提高沟槽或圆角处的表面光洁度，可提高零件的疲劳强度。

通常表面层的冷作硬化（强化），能提高零件的抗拉强度，所以也就提高了抗疲劳强度（当 $\sigma_b < 1400 \text{ MN/m}^2$ 时， $\sigma_t / \sigma_b \approx 0.4 \sim 0.6$ ）。

表面层若有残余压应力，也可以提高零件的疲劳强度残余拉应力则容易使零件表面产生裂纹。零件由疲劳而破坏，是受反复拉

图 3—4 表面层中残余压应力与疲劳强度的关系

应力作用之故，表面层的残余压应力可抵消反复载荷下拉应力的作用，所以就提高了零件的疲劳强度。图 3—4 所示是零件（材料为 40Cr）表面层中残余压应力与疲劳强度的关系曲线。

三 表面质量对抗腐蚀性的影响

表面越粗糙，则聚积在零件表面上的腐蚀性气体或液体也越多，而且通过表面的微观凹谷向表面层渗透，使腐蚀加剧，金属分子断裂而形成新的表面，腐蚀继续进行。凹谷深度愈大，底部角度愈小，则腐蚀作用愈强烈。有些零件按其在机械中的作用并不需要很高的

表面光洁度，但由于工作环境，需要较高的抗腐蚀性，亦须进行表面精加工。

零件表面层若存在残余压应力，则有助于将表面显微裂纹封闭，降低对腐蚀作用的敏感性，因而提高抗腐蚀性。

四 表面质量对配合质量的影响

表面粗糙度对零件配合性质的稳定性有影响。若为间隙配合，表面粗糙则容易磨损，间隙增大，乃至破坏配合性质。特别是在零件尺寸小，公差小的情形下，表面粗糙度的影响更大。若为过盈配合，表面粗糙，则会减小实际有效过盈，降低连接强度。例如直径为180毫米的机车车辆轮轴过盈配合，微观凸峰的最大高度为36.5微米时，虽比微观凸峰的最大高度为18微米时的配合增加了15%的过盈，但连接强度反而降低了45~50%。所以提高零件表面光洁度，可以提高间隙配合性质的稳定性和过盈配合的连接强度。

表面波度使互相配合零件实际接触的面积减小，在间隙配合中将使磨损加剧，在过盈配合中将降低连接强度。表面波度也影响互相配合的零件的密封性。对高速旋转的零件，如高速滚动轴承，还会引起振动和噪音。

§ 3—3 表面光洁度

表面粗糙度，亦即加工表面微观几何形状误差，主要由加工过程中的残留金属、塑性变形、刀瘤、鳞刺以及工艺系统中的高频振动等原因所造成。

下面我们分别讨论切削加工、磨削加工中获得高光洁度的工艺方法。

一、切削加工表面光洁度和工艺方法

利用金属切削刀具如车刀、铣刀、滚刀、刨刀等切出的加工表面，一般光洁度都在 $\nabla 4 \sim \nabla 6$ 级左右。为了提高加工表面光洁度，可采用以下三方面的措施：

1、减小由切削运动形成的微观不平痕迹。这一般是用改进刀具几何形状与减小进给量的方法来实现。

2、减少切削过程中的塑性变形、摩擦以及刀瘤等。这需要改善材料的切削加工性，采用合适的刀具材料，选用合理的切削角度、切削用量以及冷却润滑液。

3、消除工艺系统的振动。

下面从工件材料及其处理、刀具材料及几何形状、切削用量、冷却润滑液和工艺系统振动五个方面加以说明。

工件材料的品种、成份和性质对加工表面光洁度有很大影响。在获得高光洁度方面，有色金属优于黑色金属，碳素钢优于合金钢，普通合金钢优于耐热钢和高强度钢。对同一品种的材料来说，由于化学成分、热处理方法不同，加工效果也可能差别很大。如低碳钢件，为了改善切削加工后的光洁度，在加工前常安排正火处理以提高其硬度。总之，在工件材料一定的情况下，工艺人员应考虑采用合适的热处理方法来改善其加工性，但须以不改变零件最后的机械、物理性能为限。

刀具材料对加工表面光洁度也有一定的影响。如高速钢刀具和含钛硬质合金刀具对钢件进行光整加工时的效果比含钨硬质合金好。刀具角度对加工表面光洁度的影响很大。其中以刀尖圆弧半径、主偏角和副偏角的影响最显著。刀面光洁度对加工表面光洁度也有明显的影响。因此，刀面光洁度应比加工表面所要求的光洁度高1~2

级。在加工过程中刀刃磨钝时，工件表面光洁度将显著降低。

切削用量中，进给量对光洁度的影响最大，它影响切削的残留面积，还会引起切削力和材料塑性变化的变化，所以精加工时一般采用较小的进给量。切削速度也影响光洁度，低速或高速切削时可获得较高的表面光洁度。

在切削过程中冷却润滑液可吸收切削区域内的热量，减少摩擦，对提高工件表面光洁度有很大作用。常用的冷却润滑液为乳化液，含有硫化物的矿物油。某些情形下也采用植物油、煤油等。

振动会使加工表面形成波纹，使光洁度明显变坏。

下面介绍一些用于提高切削加工表面光洁度的光整加工方法。

1. 精车。精车的特点是高速（ $100 \sim 1000$ 米/分），小进给量（ $0.05 \sim 0.10$ 毫米/转）。为了保证零件的尺寸稳定，要求刀具有较高的耐用度，故常用金刚石刀具或硬质合金刀具。所用机床应有较高的转数，刚度要好，并有精确的调刀机构。精车后光洁度可达 $\nabla 9 \sim \nabla 10$ 级，几何形状精度约为 $3 \sim 5$ 微米。

2. 精镗。它和精车一样，也是采用极高的切削速度和很小的进给量。加工有色金属零件时可获得很高的光洁度。所用机床一般为专用的金刚镗床。加工时工件不动，由刀具完成切削运动。随着人工合成金刚石、聚合多晶金刚石和立方氮化硼等刀具材料生产的发展，加工成本有所降低，因此，现已广泛用来加工钢和铸铁。孔径为 $\phi 15 \sim \phi 100$ 毫米时，尺寸偏差将在 $5 \sim 8$ 微米以内，椭圆度小于 $3 \sim 5$ 微米，表面光洁度可达 $\nabla 7 \sim \nabla 10$ 。高速精镗一般需两次走刀，第一次的切削深度约为 $0.1 \sim 0.3$ 毫米，第二次则不超过 0.075 毫米。如果加工短孔，则可在镗杆上装两把镗刀，两次走刀合并进行。镗杆须有足够的刚度。为了使刀具安装

和调整准确、方便，可采用如图3~5所示的对刀表座。为了节省对刀时间，可使用图3~6所示带游标刻度盘的微调镗刀。

图3—5 对刀表座

图3—6 微调镗刀

1—镗杆 2—套筒 3—刻度套筒 4—带小螺旋螺纹的微动刀杆
5—不重磨刀片 6—垫圈 7—夹紧螺钉 8—弹簧 9—键

3. 浮动镗。浮动镗是一种用浮动镗刀块进行低速切削的镗孔方法。其切削速度 $V = 3 \sim 10$ 米/分；进给量比较大， $f = 0.3 \sim 0.7$ 毫米/转；预镗时的切削深度为 $a_{p1} = 0.07 \sim 0.12$ 毫米，精镗时的切削深度为 $a_{p2} = 0.03 \sim 0.07$ 毫米。

浮动镗刀块 是一种定直径 刀具，适于对半精加工后的孔进行精加工，由于刀具浮动，故不能纠正孔的位置误差，但能使孔径获得6~7级精度（H6~H7）。又由于它有较长的副刀刃（或称校准刃），故加工表面的光洁度可达 $\nabla 6 \sim \nabla 8$ 。这种镗刀块具有调整方便，装夹简单和生产率高等特点。

图3—7是一种最典型的双刃浮动镗刀块的结构图。这种镗刀块的校准刃长，校准刃两边的切削刃对称，均可作主切削刃使用，所以两个方向都可以切削。上刀片3和下刀片2，以刀体上的矩形

槽彼此相配，用两个螺钉 4 压紧。转动紧固螺钉 5 可调整上、下刀体的相对位置。以保证镗孔尺寸。

图 3—7 双刃浮动镗刀块

1—硬质合金刀片 2—下刀片 3—上刀片 4—螺钉
5—紧定螺钉

三 磨削加工表面光洁度

磨削光洁度一般为 $\nabla 7 \sim \nabla 10$ ，最高可达 $\nabla 14$ 级。影响磨削表面光洁度的因素主要有以下三个方面：

1、砂粒刻划而造成的残留痕迹 它比一般切削加工复杂，在工件的一小块表面上经历许多次砂粒的切削和刻划。残留痕迹与砂轮的粒度、弹性、砂轮的修整、砂粒的崩落、磨钝、砂粒的切削厚度等有关。

2、金属表面的塑性变形 磨削时工件表面局部温度很高，表面层可能软化，而使塑性变形抗力下降（强度降低），在相同的受力条件下，变形增加，致使光洁度下降。温度过高，甚至可造成工件表面微熔、烧伤，导致表面质量及机械性能恶化。

3、工艺系统的振动 砂轮不平衡、主轴振摆、工件台的爬行以及砂轮的钝化和堵塞所引起的较大的摩擦力等等都是产生振动，从而导致磨削表面微观不平度变大的原因。

提高磨削的表面质量常从下列途径入手：

首先分析工件材料的性质。工件材料的硬度、塑性、导热性对表面光洁度有显著的影响。太硬、太软、韧性大的材料都不容易磨光。太硬的材料使砂粒易磨钝，表面易烧伤而发生裂纹。铝、铜合金等软材料易堵塞砂轮。韧性大，导热性差的耐热合金易使砂粒早期崩落。砂轮表面不平，也会降低磨削光洁度。

其次是正确选用砂轮的磨料、结合剂、粒度、硬度、组织等：修正砂轮时要获得平整表面，在砂粒上形成微刃。另外要注意砂轮的平衡。

第三就是正确选择磨削用量。实验证明，当磨削温度不太高，工件表面无微熔和烧伤时，加工表面粗糙度主要受刻划出的残留痕迹的影响。在这种情形下，切削用量各参数对光洁度的影响程度基本上是相同的。当工件表面出现微熔金属的涂沫点时，切削深度对光洁度的影响就比较大。一般说，砂轮速度高，则光洁度好。光磨次数对提高工件表面光洁度的影响也很大。

最后就是正确选用冷却润滑液和仔细检查机床主轴的振摆，调整主轴轴承的间隙，采用性能好的机床润滑油，设法提高工艺系统的刚度以避免振动等。

为了进一步提高磨削的光洁度，直接磨成 $\nabla 1.1 \sim \nabla 1.4$ 级。目前国内出现了不少高光洁度磨削方法，如精密磨削（ $\nabla 1.0 \sim \nabla 1.1$ ）、超精磨削（ $\nabla 1.2 \sim \nabla 1.3$ ）和镜面磨削（ $\nabla 1.4$ ）。

高光洁度磨削就是把砂轮精细修整后，形成等高的微刃切削作用和适当接触压力的摩擦抛光作用，使工件表面获得高的光洁度。

1965年我国就试制成功镜面磨床 MBG 1432（高精度半自动万能外圆磨床）。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号或80号）经过精细

修整，可以获得 $\nabla 1.0 \sim \nabla 1.3$ 光洁度；用细粒度砂轮（M20~M10），可以获得 $\nabla 1.2 \sim \nabla 1.4$ 光洁度。

此外，为了得到高的表面光洁度，还可采用珩磨、超精磨光和研磨等光整加工方法。

珩磨是最常见的孔的光整加工方法。

它是利用带有磨条的专门工具——珩磨头进行工作。珩磨的工作原理见图3—8。珩磨头上的磨条（一般有2~12根）以一定的压力压在工件的加工表面上，它由机床主轴带动旋转并作往复运动（工件不动）。在珩磨头运动时，磨条便从工件上切去极薄的一层金属。为了获得良好的表面光洁度，应使磨条在整个加工过程中的切削轨迹交叉而又不相重复。经验证明，当加工轨迹线之间的夹角 $\alpha = 30^\circ \sim 60^\circ$ 时表面最为耐磨。为此应使珩磨头的旋转速度3~4倍于其直线运动速度（一般直线速度为5~15米/分）。

图3—8 珩磨工作原理图

图中1表示磨条行程的超出量（约为2~5毫米），2为磨条完成一循环后的错位距离。假定磨条从位置3开始工作，则经过半个工作循环后磨条处于位置4，到终结时磨条回到5的位置。

珩磨使用的冷却润滑液为煤油与机油的混合油，用以润滑、冷却，并冲洗切屑和砂粒，改善表面光洁度。

珩磨通常用精镗或磨削作为预备工序。预加工时要保证孔的位

置精度孔的几何形状误差经过珩磨可以减小。珩磨余量一般为 $0.03 \sim 0.04$ 毫米，可以分粗、精两次珩磨。此法可获得IT5~IT6级精度和 $\nabla 8 \sim \nabla 12$ 的光洁度。孔的椭圆度和锥度可达 $0.003 \sim 0.005$ 毫米。

珩磨的加工范围很广，孔的直径可自5毫米到1100毫米；可加工长径比为10的深孔。

珩磨的缺点是不能改善孔的位置精度，不宜加工塑性大的有色金属，因为它会很快把磨条堵塞。

超精磨光是提高零件表面光洁度的一种高生产率的光整加工方法，主要用于加工轴类零件的外圆表面。

图 3—9 超精磨光

图 3—9 为超精磨光的示意图，它由两种运动组成。磨条 1 作快速而短促的往复摆动（振幅一般为 $2 \sim 6$ 毫米，频率为 $300 \sim 2500$ 次/分）；工件作缓慢的旋转运动（ $10 \sim 50$ 米/分）。如果工件加工表面较长，超过了磨条长度和振幅值之和时，还需要有磨条沿加工表面的纵向进给运动。

超精磨光与珩磨都是用磨条进行加工，磨条的砂粒越细，加工表面光洁度就越高。超精磨光过程中的高速往复摆动加长了每一砂粒在单位时间内的切削长度，提高了生产率。由于砂粒不断改变运动方向，使微刃正反切削时改善工作条件，并使形成的切屑易于清除，不致在加工表面上造成划痕。

超精磨光所用磨条的粒度很细（粒度号在300以上），使用的

工作压强很小 ($5 \sim 30$ 牛/厘米²)，冷却润滑液一般用煤油与锭子油的混合油 (粘度不能太大)。整个工作过程如下：在开始阶段，磨条与工件表面上微观不平的波峰接触，这时接触面积很小，单位压力很大，故这些凸出的波峰被迅速地切去。随后磨条与加工表面的接触面积逐渐增大，单位压力降低，此时引起磨条自锐的作用力逐渐减小，切削液开始在加工表面上形成油膜，使磨削作用削弱。于是磨条逐渐变钝，气孔堵塞，磨条表面亦趋平滑，原来的磨削过程逐步变为光整过程，加工表面的质量获得进一步改善。最后由于接触面积更加增大，单位压力极其微小，以致不能破坏在加工表面上形成的油膜，此时磨条与工件之间即为油层所分开，整个加工过程即告終了。这时工件表面极为平整。

当磨条重新加工另一工件时，已经变钝的磨条与工件上突出的凸峰相接触，在很大的单位压力下发生自锐作用，于是新的循环过程又重新开始。

超精磨光的加工余量很小，通常为 $0.005 \sim 0.02$ 毫米。超精磨光前的预加工工序为磨削，这时应保证工件的尺寸与形状精度。

超精磨光的光洁度可达 $\nabla 10 \sim \nabla 13$ ，由于切削速度及压强均不大，不会烧伤工件，也不会使工件产生变形。表面变形层非常薄 (小于 0.25 微米)，表面耐磨性好。这种方法可加工硬度高的淬火钢工件，也可加工有色合金工件。

研磨是最常用的一种光整加工方法，用于研磨平面、圆柱面、螺纹等。尺寸精度可达 $0.003 \sim 0.001$ 毫米 (IT 5 级以上)。表面光洁度约为 $\nabla 10 \sim \nabla 14$ ，还可提高零件的几何形状精度。工作时研具在一定的压力下与加工面做复杂的相对运动，磨粒从工件表面上切除极细小的切屑。金属的切除，可能单纯地由于磨粒的

机械切削和挤压作用，也可能兼有物理和化学作用，视研磨剂成分而定（研磨剂包含磨料和研磨液两部分）。一般精密零件均经研磨以达到规定的技术要求。

研磨方式分手工研磨和机动研磨两种。现以研磨外圆为例说明其方法。

1. 手工研磨：将工件装夹在车床卡盘中或顶尖上作低速旋转。研具图(3—10)套在工件上，适当拧紧螺钉，使研套与工件表面均匀接触。在研套与工件间涂上研磨剂，然后用手推动研具做往复运动。粗研用的研套工作面一般开一些交叉或螺旋沟槽，以积存磨粒，提高效率。

图 3—10 手工研磨工具

2. 机械研磨：研磨机原理见图 3—11。研具由上下两块铸铁研盘 1 与 2 组成，下面的研盘 2 与机床转轴刚性连接，上面的研盘 1 则是浮动连接，以便于按下方的研盘自动调位。在上研盘上有作用压力 P 。两研盘之间有夹盘 4，夹盘上开有专为装夹工件

图 3—11 机械研磨装置

3 用的槽。它与中心线成一定的夹角 ($5^{\circ} \sim 15^{\circ}$)。夹盘中心与研盘的转动轴线有一定的偏心距。工作时下研盘旋转，同时夹盘

4 作偏心运动。因此工件具有滚动和滑动，从而获得复杂的运动轨迹，保证均匀地切除加工余量。研磨作用的强弱，主要与工件和研具间的相对滑动速度有关。

研具一般用比工件还软的材料制成，如研磨钢件时研具可用铸铁材料。研磨时在研具和工件间加研磨剂，其中磨料会嵌到研具上起切除很薄一层金属的作用。除了这种机械作用外，在研磨剂中常加有粘性较大的油酸和脂肪酸，它们都是弱的有机酸，当它们吸附在工件表面时，使工件表面很薄的一层被腐蚀氧化，起着化学作用。研磨开始时，工件表面凸起处的氧化膜由于和研具的接触面积小，压力大，而首先被磨粒刮去。新的金属表面又很快被氧化，接着又被磨粒切去，如此反复进行，工件表面的凸峰就被逐渐磨平，所以化学作用加速了整个研磨过程的进行。

由于研具与工件的相对运动复杂，因此每一磨粒不会在工件表面上重复自己的运动轨迹，这就保证均匀地切除工件表面上的凸峰。

研磨时速度小（精研时为 $6 \sim 12$ 米/分）、压强低（ $5 \sim 30$ 牛/厘米²），工作时工件温度较低，所以研磨的表面质量较好。

当加工有色金属及其合金的零件时，为了得到高的表面光洁度和镜面光泽，采用软的磨料（如氧化铬），而研具的硬度要比零件高（如用淬火钢）。在研磨过程中，磨料处于自由状态，不嵌入研具的表面。

研磨的精度和光洁度，很大程度上决定于研磨前工序（如磨削）的加工质量。研磨的加工余量一般不大（例如为 $0.01 \sim 0.02$ 毫米）。如余量较大，应分几个工步进行（即粗研、精研等）。当工件的表面光洁度要求为 $\nabla 1.1 \sim \nabla 1.2$ 时，一般需进行 $2 \sim 3$ 次研磨；当要求的光洁度为 $\nabla 1.3 \sim \nabla 1.4$ 时，就要进行 $4 \sim 5$ 次研磨。