

出版者的話

这套全国統一的教材是根据中华人民共和国劳动部于1959年4月在上海召开的全国技工学校工作會議上确定的二年制技工学校培訓目标、課程内容及課时分配等規定进行編写的。初稿由技工学校比較集中的十个省、市劳动厅（局）組織各技工学校的教师編写而成，最后由劳动部会同第一机械工业部、冶金工业部、煤炭工业部、鉄道部等单位組成的全国技工学校教材編审委员会統一审定。

这套教材的主要特点是：1)內容比較完整，每本教材都是在总结技工学校过去的教学經驗基础上由各地与該課有关的教师集体編写成的，选材慎重，內容比較丰富全面；2)切合实际，內容比較切合我国实际情况，其中吸取了苏联技工教材的优点。另外还根据我国技工学校的教学特点增加了不少新的章节。

本书分上、中、下三册出版。本册为中册，內容包括：金屬磨削原理、外圓磨床、內圓磨床、平面磨床等。

本书可供二年制技工学校作为教材。

NO. 3045

1960年12月第一版 1960年12月第一版第一次印刷

850×1163 $1/32$ 字数 242 千字 印張 $9 \frac{8}{16}$ 00,001—32,000 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 全国各地新华书店經售

北京市书刊出版业营业許可証出字第 008 号 定价(7-1) 0.89 元

技 工 学 校 教 材

初 中 毕 业 程 度 适 用

磨 工 工 艺 学

中 册

全 国 技 工 学 校 教 材 编 审 委 员 会 编

机 械 工 业 出 版 社

目 次

第五篇 金屬磨削原理

第一章 金屬切削的基本概念 5

- 1 金屬切削的发展概况 5
- 2 金屬切削过程 6
- 3 車削的基本概念 9
- 4 銑削的基本概念 10

第二章 金屬磨削原理 12

- 1 金屬磨削簡史及磨削过程 12
- 2 磨削最大切屑厚度的計算 15
- 3 各种磨削方式接触弧长的計算 19
- 4 磨削过程中各种因素对切屑厚度和接触弧长的影响 19
- 5 磨削热的产生及其影响 25
- 6 磨削后工件的表面质量 26
- 7 磨削时机动时间的計算 31
- 8 磨屑的总断面积 35
- 9 磨削的切削力和动力的消耗 37

第三章 砂輪 41

- 1 砂輪的概念 41
- 2 磨料 42
- 3 磨料的粒度 46
- 4 結合剂 48
- 5 砂輪的硬度 50
- 6 砂輪的組織 53
- 7 砂輪的几何形状和代号 55
- 8 砂輪的儲藏、运输及保养 60
- 9 砂輪的耐用度 60

第四章 砂輪及切削用量的选择 63

- 1 选择砂輪的基本原則 63
- 2 磨削余量的选择 73
- 3 磨削用量的选择 74

第五章 高速磨削 86

- 基本特性 86

- 高速磨削时机床的准备工作 88

3 高速磨削用的砂輪	91
4 高速磨削时的切削用量	92

第六篇 磨 床

第一章 磨床概述	93
----------------	----

1 磨床在机械制造业中的地位	93
2 磨床在我国历史上的发展简介	94
3 解放后我国机床制造业的发展概况	95
4 金属切削机床的分类和编号	96

第二章 机械传动及磨床的典型传动机构	103
--------------------------	-----

1 磨床传动的概念	103
2 螺紋	104
3 摩擦传动	107
4 皮带传动	114
5 齿輪传动	127
6 鏈传动	142
7 蝸輪蝸杆传动	146
8 輪系	149
9 軸和軸承	159
10 离合器	174
11 凸輪	178
12 磨床机械传动的典型机构	182
13 液压传动	193
14 磨床的操纵设备	215

第三章 外圓磨床	227
----------------	-----

1 一般介紹	227
2 M125W 万能外圓磨床	229
3 M115 型外圓磨床	242

第四章 內圓磨床	255
----------------	-----

1 一般介紹	255
2 虬江 51 型內圓磨床	257
3 3250 型內圓磨床	267

第五章 平面磨床	277
----------------	-----

1 一般介紹	277
2 M7130 型臥式平面磨床	279
3 M7230(3732) 型立式平面磨床	293

第五篇 金屬磨削原理

第一章 金屬切削的基本概念

1 金屬切削的发展概况

根据古代文物判断，人类自鉄器时代起就运用了磨削。而最早运用的还是我們偉大的中华民族。直到十四世紀，中国在力学与机械学方面的成就都超过了西方。

远在皇帝时代我們祖先就发明了指南車，周礼考工記上記載了有关車的制造工序；这是世界上最早的机器制造工艺方面的书籍。汉代的車上就用了金屬的軸与軸承，这就不可避免要經過金屬切削加工。事实上不論运输机械，兵器和首飾，都不免要經過切削加工，至少要經過磨加工。

1668年我国的銑工就已經发展到与目前很类似的型式，还采用了鑲片銑刀。当时的磨工，刃磨刀片的磨床原理与現在一般使用的簡單磨床相同(参看第六篇第一章)，只是后来我国劳动人民淪于帝国主义侵略和封建統治之下，受着残酷的經濟剝削和政治压迫，过着极端貧穷落后的生活，因此，使中国社会发展陷于极端迟緩的状态中。

在資本主义社会开始以前，很难說有过什么金屬切削原理的研究，只是在十九世紀六十年代里，西方資本主义国家中才有人开始研究金屬切削过程，但沒有得到什么正确結論。金屬切削理論的研究历史应当从1870~1877年俄国彼得堡矿业学校基麦教授对金屬切屑形成的研究算起，至今还不到九十年。而金屬切削理論形成一門科学，則是在十月革命以后，是苏联科学家的偉大

貢獻。

苏联在1936年，根据苏共中央在1935年12月全会的决定，成立了金屬切削研究委员会，使切削原理的研究工作进入了一个新的阶段。从此，分散的无組織的研究力量在苏联共产党的领导下汇合成了一支有組織、有目的、有步驟、有統一方法和观点的科学大軍。同时出現了高速切削，这比美国在1944年才出現高速切削，提前了八年。

在我国，解放前根本談不到自己的机器制造业，全国机床数目很少，只能做些零星的修配工作。解放后，我国人民在党的英明领导下和在苏联及其他人民民主国家的帮助下，胜利地完成了第一个五年計劃，初步奠定了社会主义工业化的基础。金屬切削技术在学习苏联先进經驗的基础上得到了迅速地发展，高速切削曾在全国範圍内推广，硬质合金刀已被广泛采用，同时还开始了对陶瓷刀的研究和試用。通过1958年的大跃进，在我国普遍地建立了各有关研究所和實驗室，形成了一个群众性的向技术革命和文化革命的大进军。

我們坚信，在党的领导下和在苏联及其他人民民主国家的帮助下，我們一定能够迅速地实现机械化、半机械化、自动化、半自动化，逐步地把我国建成一个具有現代工业、現代农业和現代科学文化的偉大的社会主义国家。

2 金屬切削过程

金屬切削过程，是从工件上切下多余金屬层的过程，以使工件的尺寸、几何形状和表面光洁度达到預先规定的技术要求。我們把切下的金屬叫做切屑。

研究金屬切削过程(包括磨削过程在內)，首先是从研究切屑怎样形成开始的。切屑的形成与刀具本身的几何形状有关。尽管刀具的几何形状有所不同，但是切屑的形成过程基本上是相类似的。所以我們可以从简单的刀具——刨刀做为例子来进行討論。

图 1-1 所示为刨刀切削金属的情形，把它与尖楔(图 1-2)来比较一下，我们可以发现刨刀或其它刀具的切削部分跟尖楔有许多相似的地方。例如有刀刃、工作表面，能劈入材料并把材料分离开来，所以说，尖楔的两个工作面跟作用力的方向是对称的，对被劈材料也有相同的作用。而刀具与此恰好相反，它的工作表面跟切削力方向不对称，作用亦不同，所以把它分为前面、主后面、副后面和底平面等。

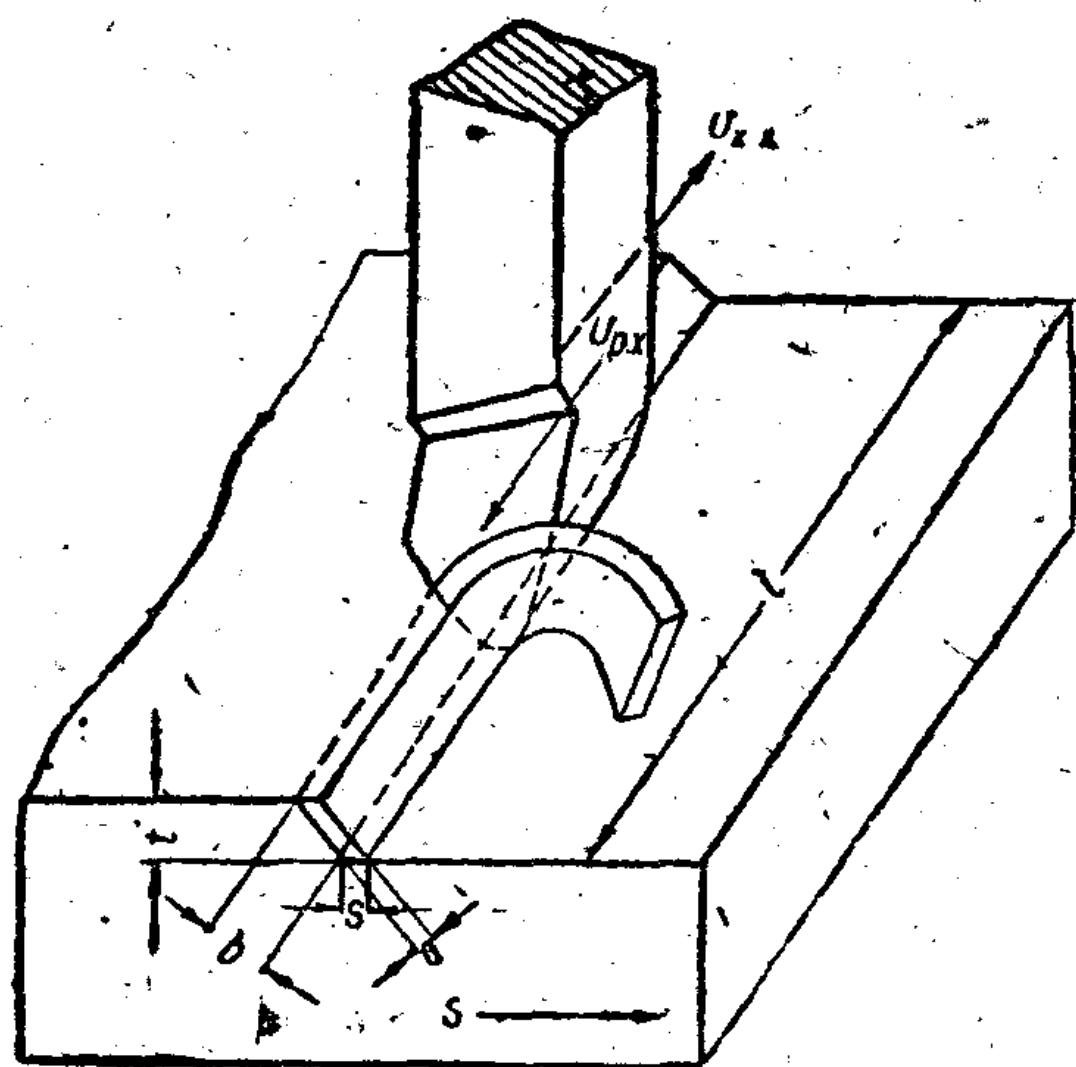


图1-1 刨削过程。

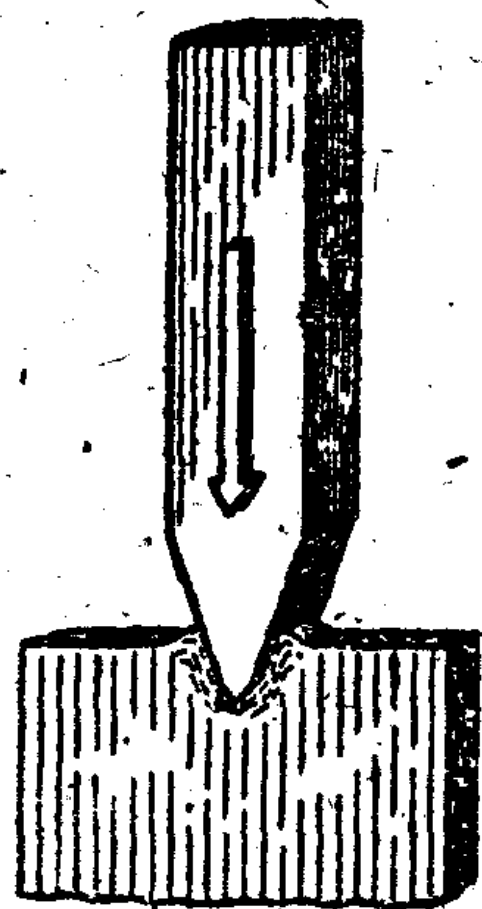


图1-2 楔的作用。

刀具的前面和后面与切削过程有很大关系，其位置视刀具的结构不同而定。

图 1-3 示出了刨刀的各主要角度：前角(γ)、后角(α)、楔角(β)和切削角(δ)。

当刨刀对工件作相对运动时，在切削力 P 的作用下，压入工件上要切去的金属层里，如图 1-3 所示。当刀具继续向前运动时切削层受到了压缩而产生弹性和塑性变形，使金属分子之间发生相对移动，如图 1-3 丙所示。

随着刨刀的推进，金属变形也急剧增加，直到金属发生局部

破裂为止，也就是变形的小块金属被剪断切掉为止。这种小块叫做切屑单体。刨刀继续推进时，下一部分金属小块发生变形，然后又被剪断切下。刀具切入金属产生挤压和剪刀作用，迫使金属产生变形和相对工件移动，形成切屑单体。连续形成切屑单体的过程就是切削过程。

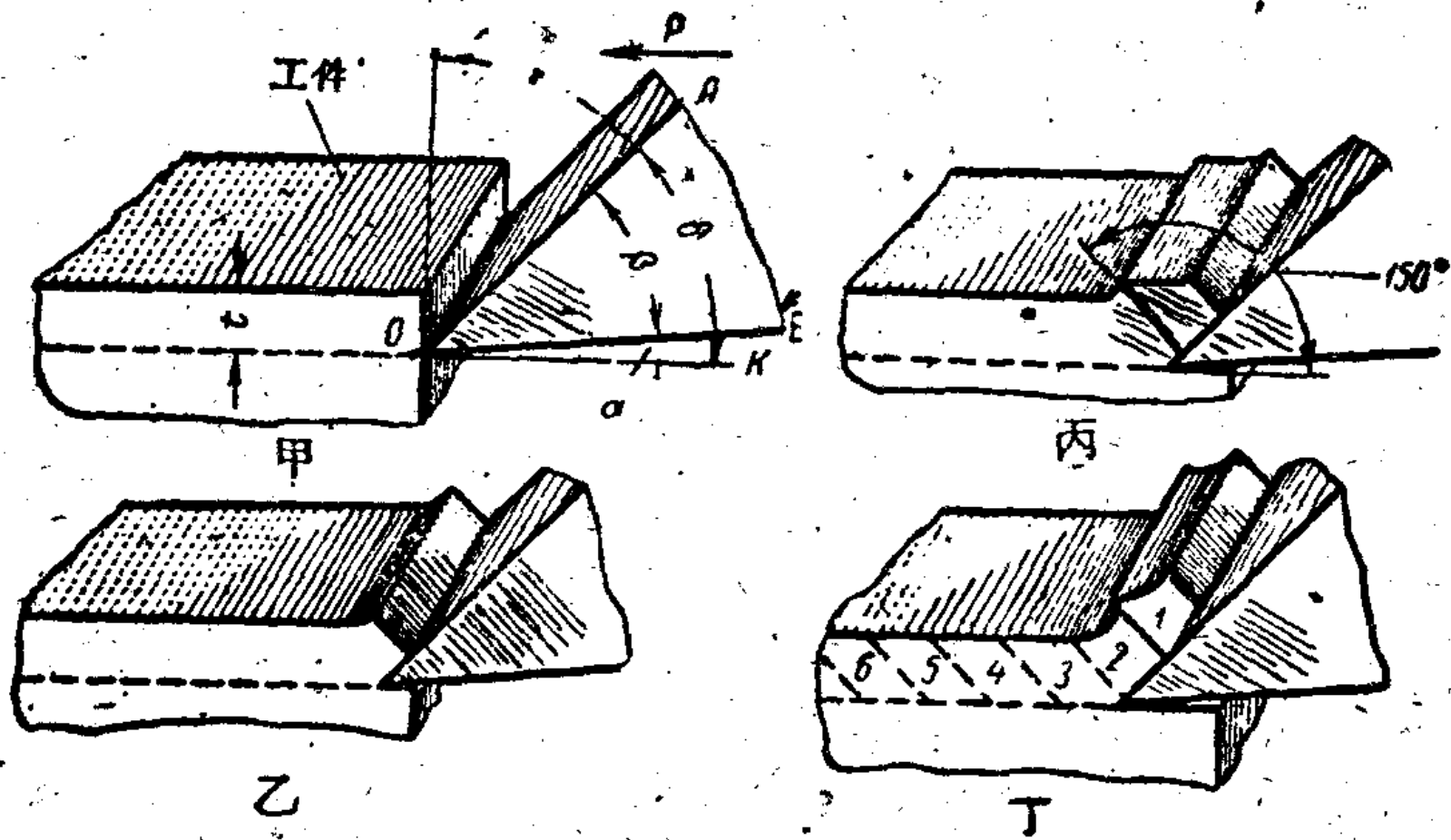


图1-3 切屑形成过程。

在金属切削过程中，由于刀具的几何形状、切削用量、被加工材料的不同，而形成的金属屑亦有所不同。当切削中等硬度的材料时，所产生的切屑单体彼此结合得相当紧密，成阶梯形，故谓之断裂切屑或阶段状切屑(图 1-4 甲)；而切削软金属时，切屑单体之间结合得非常紧密，很难将它们一块一块的区别开来，而且形成很长的带状，故谓之带状切屑(图 1-4 乙)。但当用普通切削速度和切削角度很大的刀具加工脆性金属时，切屑则以单一的小碎块出现，则这种切屑叫做碎断切屑(图 1-4 丙)。例如加工铸铁和其它脆性金属时，一般都得到碎断切屑。

在形成各种切屑的过程中，同时产生切屑变形、加工表面硬化和切削热的现象，而且都与我們实际工作有重要关系。因此进一步地深入学习切削原理具有很大的意义。

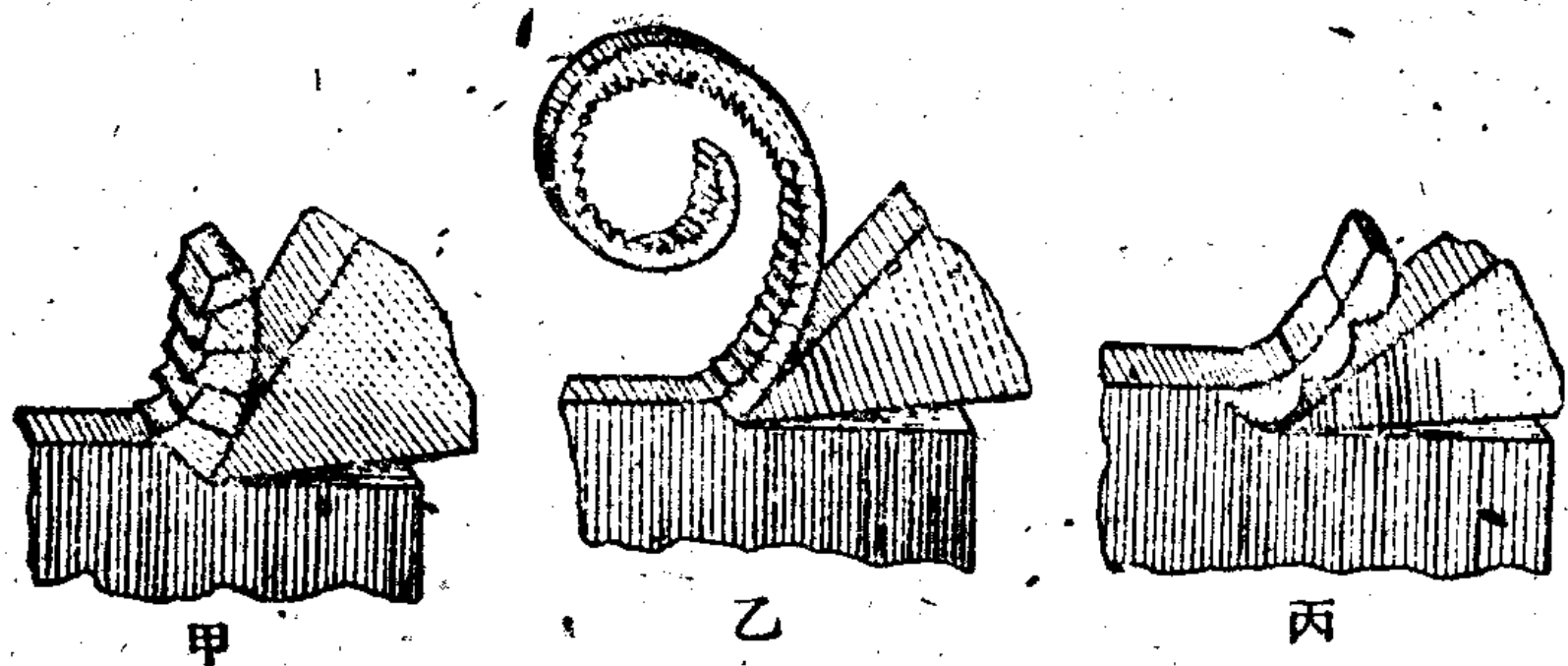


图1-4 切屑的形状:

甲—断裂切屑；乙—带状切屑；丙—碎断切屑。

3 車削的基本概念

車削是金屬切削加工中最基本的应用最广泛的一种加工方法。

車削是利用車刀在車床上对工件进行加工。用这种方法，可以加工內、外圓柱形、內外圓錐形和特形表面的旋轉体，此外还可以加工各种螺紋等。例如軸、軸套、圓盘、垫圈、齿輪毛坯、法兰盘、螺釘、螺帽、絲杠等等。

車削工作是由两种运动来完成，即主切削运动和走刀运动。主切削运动（工件旋轉运动）使刀具从工件表面上切下切屑；車削的主切削运动即是工件的旋轉运动，它与切削速度不同，切削速度取决于工件直径大小和車床主軸的轉速，其关系可由下式表示：

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ 米/分,}$$

式中 D ——工件直径(毫米)； n ——車床主軸轉速(转/分)。

切削速度是工件表层相对車刀移动的速度；走刀运动以工件每轉一轉刀具沿纵向进給的多少表示，即走刀量 S 。走刀量的大小对切屑大小有很大影响，如图 1-5 所示。

切屑厚度 $a = S \cdot \sin \varphi$ (毫米)，

切屑寬度 $b = t \cdot \frac{1}{\sin \varphi}$ (毫米)，

式中 s ——走刀量(毫米/轉); t ——切削深度(毫米); φ ——車刀主偏角(度)。

當車刀以 v 、 s 、 t 的切削用量切入工件時，金屬反抗刀具切入，這就是切削抗力，而刀具切削

工件的作用力稱切削力；切削力和切削抗力（阻力）二者大小相等方向相反。它們的大小由 v 、 s 、 t 的大小決定。

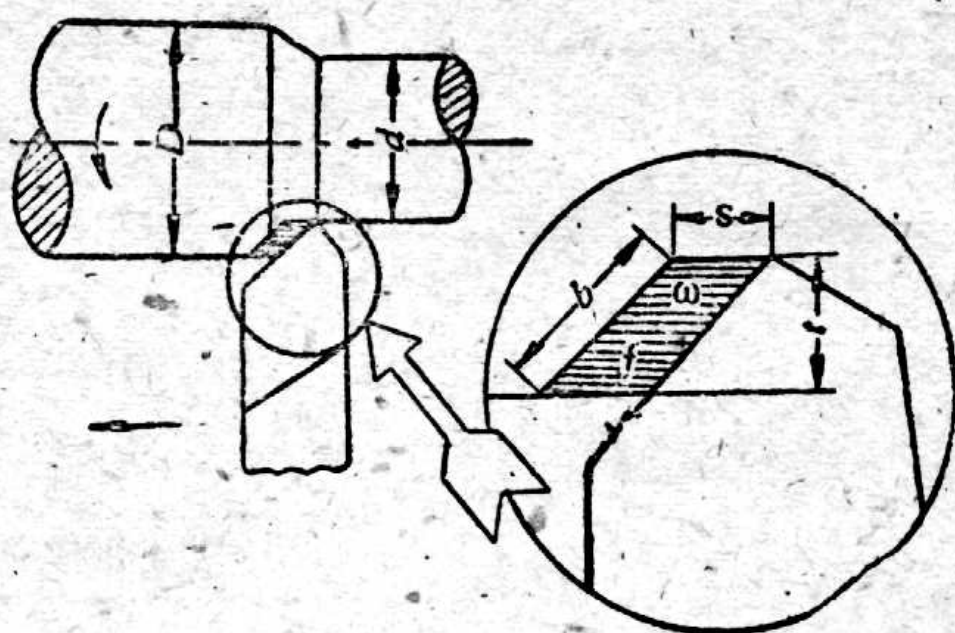


图1-5 車削因素及切屑面积。

4 銑削的基本概念

銑削系用各種銑刀在銑床上进行切削加工的一種方法。它可以加工平面、成形面、沟槽、螺紋、齒輪、切斷材料等。

銑刀是一種多刃刀具。圖 1-6 的圓圈中示出了銑刀的一個刀齒，它實際上就是一把車刀，在圖中還表示出它的各個角度，都相當於車刀的各個角度。

銑切時，銑刀繞自己的心軸旋轉，而工件迎着銑刀的旋轉方向向左移動。當銑刀的刀齒

处在垂直綫 OC 上時，就開始切削金屬，而切屑厚度從零逐漸增加至最大，且成為「撇狀」。一次行程所銑去金屬層的厚度 t 叫銑切深度。

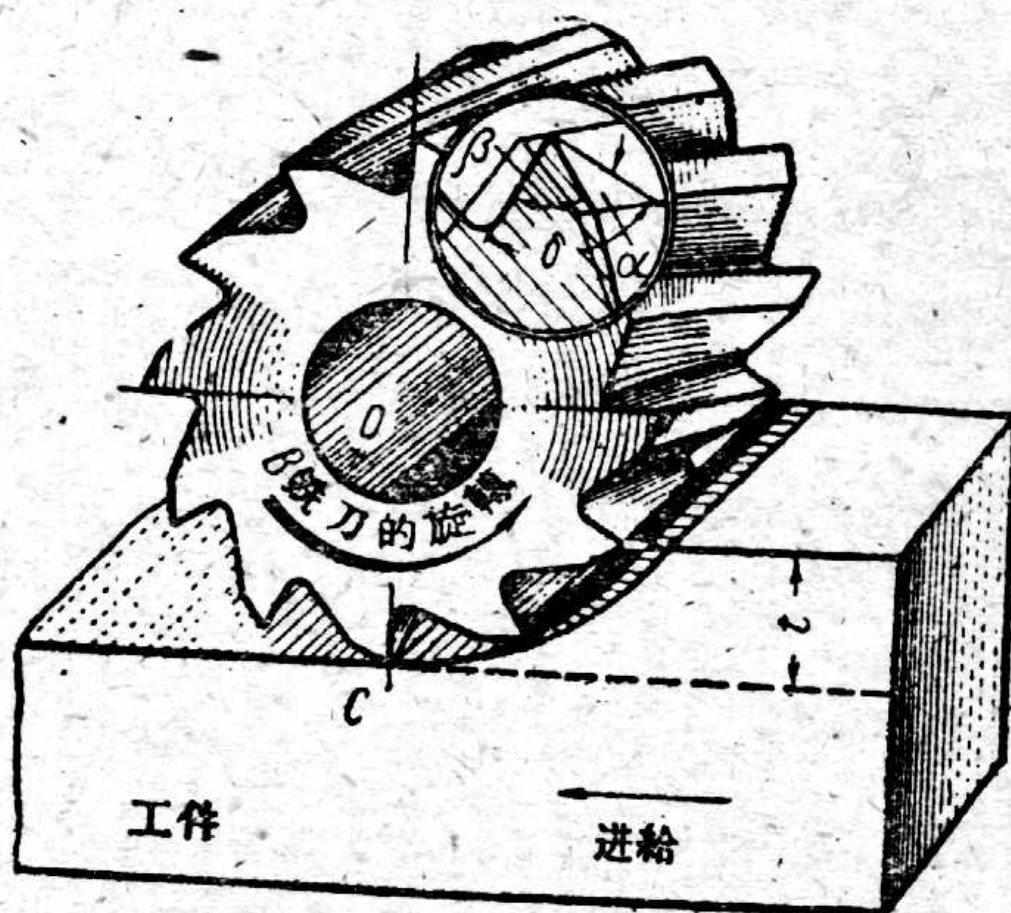


图1-6 銑切过程。

如果用 D 表示銑刀直徑， n 表示銑刀轉速，則銑削速度 v 可

按下式計算：

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ 米/分。}$$

在調整机床时，通常利用这公式計算所需的轉数以获得規定的切削速度。

銑削时的进刀量可以分为三种：每齿进刀量，每轉进刀量和每分钟进刀量。

銑刀每旋轉一个齿距，也就是每轉过相邻二个刀齿之間的角度时，被加工工件所移的距离（毫米）叫做每齿进刀量 S_z ，如图1-7所示。

銑刀旋轉一轉，被加工工件所移动的距离叫做每轉进刀量 S_0 ，以毫米/轉計算：

$$S_0 = S_z \cdot Z \text{ 毫米/轉。}$$

每分钟走刀量 S_n 是工件在每分钟内移动的距离，可用下式表示：

$$S_n = S_0 \cdot n = S_z \cdot Z \cdot n$$

毫米/分。

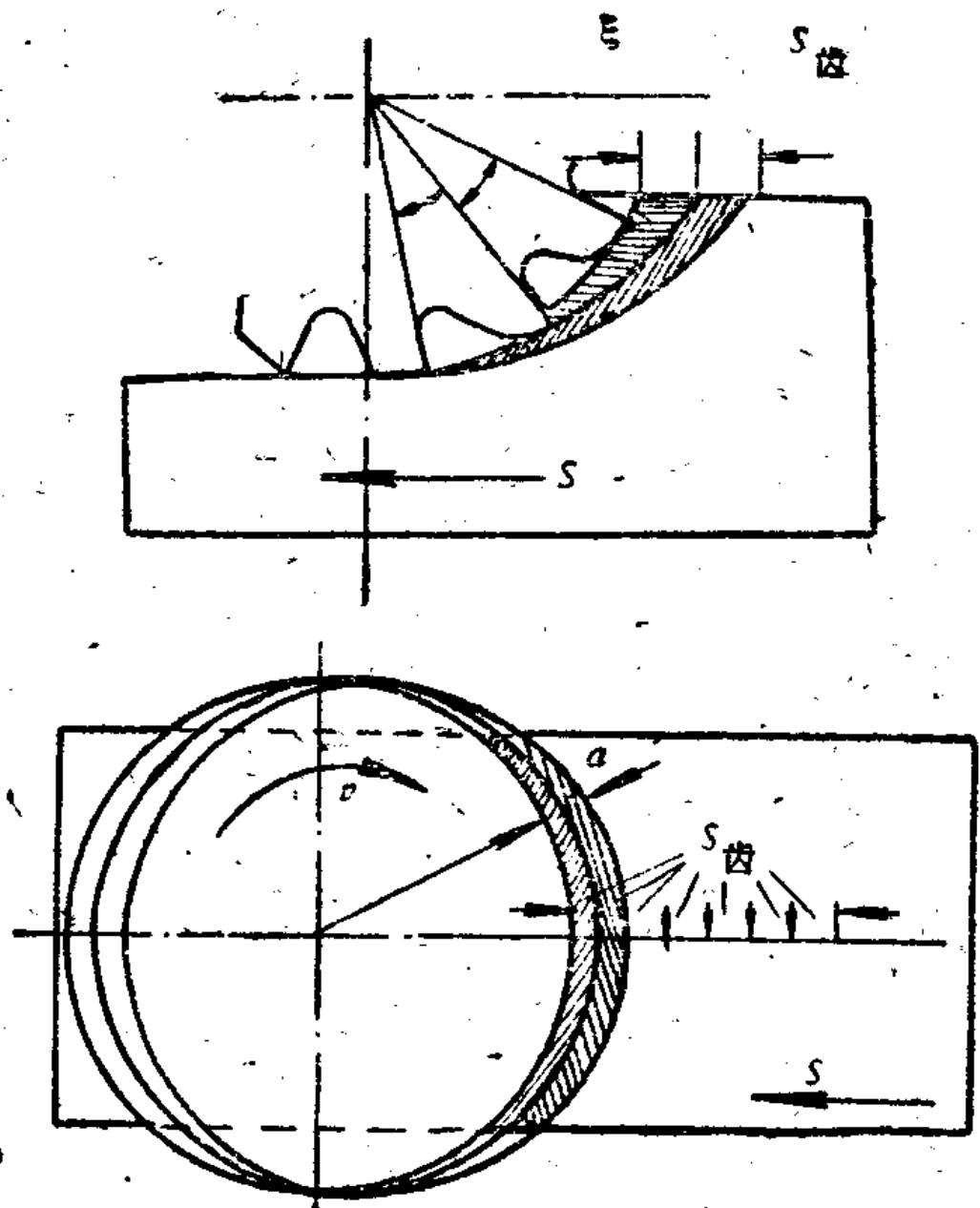


图1-7 平面銑削。

为了加工工件，銑刀应当克服切削抗力——切削力。

切削力大小的数值，对于不同的加工条件來說，具有很重要的实际意义，在某些情况下，譬如說粗銑鋼件时，切削力可以达到好几吨，精銑生鉄或輕合金的工件时切削力則低到几十公斤。

对于沉重的銑削工作应采用較精加工时剛性更强的机床、刀具和夹具。

在选择铣刀的几何形状和构造时，一定要考虑到加工的性质，以及切削力的大小。通晓各种金属的切削抗力便能正确选择切削用量和更充分的发挥机床和刀具的工作能力。

复 习 题

1. 试述金属切削的发展概况。
2. 简述金属切削过程。
3. 试述车削因素及其对切屑面积的影响。
4. 比较铣削和车削有何异同之处？
5. 铣削因素及其对切屑面积的影响是什么？

第二章 金属磨削原理

1 金属磨削简史及磨削过程

前章讲过，人类自铁器时代起就运用了磨削。但是作为一种加工方法，甚至还要更早一些。远在石器时代，人类的祖先为了保证自身的安全和猎取野兽的需要，他们便把石头互相磨削，使它变成尖锐锋利的武器；不过那时候不是磨削金属而已。

到了铜器、铁器时代，人类采用了金属生产工具，石器互相磨锐就变成金属磨削了。例如刀子钝了，人们就想办法把它在磨石上磨利，物件表面毛了，用磨石把它磨光等。古人有「鋼梁磨锈针」的说法，可见磨削的方法在很早很早的时代就为人类所了解和应用了，磨削是金属切削加工方法中最原始和最普遍的一种。

1668年中国发明了平面磨床和刀片磨床（参看第六篇磨床概况一章），金属磨削加工便得到了新的发展。磨床由手摇、脚踏、马拉，以至逐渐改变为电力传动，最后发展成为现代各种型式的磨床。不过在当时的磨床上用的磨轮都是天然磨石，到了资本主义时代，人类才掌握了利用天然磨料制造砂轮，因而促进了砂轮制

造工业的发展，大大地扩大了磨削的应用范围。十九世纪以后，人造磨料的采用，更加速了磨削的发展。近世纪机械工业方面的许多新的发明、创造和改进，更充实了磨削工艺。

苏联十月革命后，磨削工艺得到了空前的发展。苏联的磨料生产和磨床制造业的提高，更促使磨削工艺向前推进。例如在1951年掌握了绿色碳化硅生产新的工艺方法。磨料工业保证能制造出各种各样的砂轮，细磨金属和其他材料用的微粒磨粉。苏联磨床类型的数目现在已达到约为金属切削机床类型总数的5%。

磨削加工今后的发展是自动化和高速磨削。最近二、三年内在苏联所建立的一些自动线中，磨削加工的比重约占70~80%，我国建立的自动生产线，磨削加工亦占很大比重。自动磨床在苏联已广泛生产，在我国也开始制造。在高速方面，我国已获得了很大的成就。……诸类事实证明，我们赶上和超过英美水平的時間已經不远了。

如前所述，磨削是历史最久、用得很广泛的切削加工方法之一。但是因为磨削速度很高（30~50米/秒），切屑很薄（几个微米），切削温度较高（1000~1500℃），切削过程历时很短（万分之一秒左右），因此磨削理论方面的研究比其他加工方法困难些，也不及其他几种加工方法研究得透彻。

但磨削所具有的优点仍已为人们普遍认识：

1. 磨削可以获得较高的精度（1~2级）和光洁度（▽▽▽7~▽▽▽▽12）。

2. 磨削加工余量可以很小，以节省材料。

3. 磨削可以加工淬火钢、硬质合金及用其它金属切削刀具不能加工的其他较硬的材料。因此磨削不但可以用在精加工上，还

可以用在粗加工上。

磨削所用的工具是砂輪，它是由磨料用特种物质粘結而成。我們將砂輪磨削时放大（图 2-1）就可以看出在砂輪的表面上杂乱无章地布满很多棱形多角的顆粒——磨粒。在磨粒之間除有結合剂外，尚有一定的空隙。

磨削工作就是依靠这些小顆粒来切削工件表面的，所以它和其他一般金屬切削：如車、

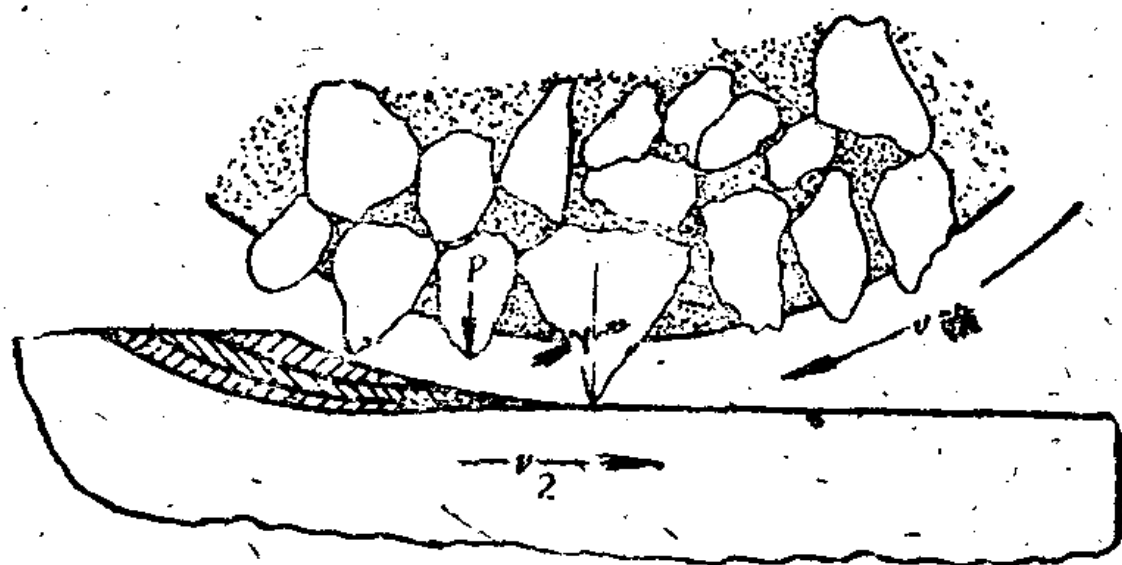


图2-1 磨削过程示意图。

銑、刨……等作用一样，这些鋒利的磨粒，也正如車刀、銑刀等的刀刃。同时砂輪在切削时，切削速度很高，因此可以說，磨削是一种多刀多刃的高速切削方法。

磨削时砂輪按順时針方向作高速旋轉，而工件向右移动。这时我們用放大鏡观察就会清楚地看到，当磨粒由右面轉到最低点时，磨粒就会与工件接触，由于砂輪旋轉和工件向右移动，磨粒就会用它鋒利的尖刃首先切入零件表面，紧压在金屬层上；当压力不断增加，超过了金屬内部的分子結合力时，磨粒就会从工件表面上切下小条条的金屬磨屑，而这样連續不断工作的結果，砂輪就会从工件表面上切除很薄的一层金屬，完成工件的磨削工作。从上面情况可以观察到，砂輪的切削过程和銑削过程基本上是相似的。

但是由于組成砂輪的磨粒，在砂輪表面的分布是无規則的，而且突出砂輪表面高度也不一样，特別是磨粒的本身形状更与銑刀刀齿不同，故磨削过程有以下几个主要特点：

1. 砂輪上每顆磨粒可看做一个刀齿，但因每个刀齿的形状无法選擇和安排，故其前角 γ 多半是負值，所以切削过程中引起較大的徑向力。

2. 因磨削的切屑很薄，而磨粒并非绝对尖锐(一般來說，磨削前磨粒的刃口半徑 R 約为 $8\sim 14$ 微米)，所以磨屑变形較大，且引起摩擦很大。同时磨粒有压光金屬的作用，故磨削过的表面光洁度和精度很高。

3. 砂輪有自动磨鋒或部分自动磨鋒性能，这就保证了砂輪的切削性能。而且耐磨性高，耐热性好，适于高速切削。

4. 因切屑很薄，所以磨削过程的切削力較小。但单位面积上切削力很大，約为 $7000\sim 20000$ 公斤/毫米²。又因为切削速度很高，故磨床所需动力亦較大。

5. 因为砂輪表面上磨粒高低不平，且分布不規則，所以每顆磨粒切削情况(切屑厚度及切削深度)各不相同。

6. 磨削过的工件表面冷硬层約为 2 微米，硬度达 $H_{RC}=69$ 。在磨削中的表面有的地方有冷硬层有的地方并未冷硬，同时表面有退火現象，退火层有时达 $10\sim 20$ 微米。冷硬及退火层下面約有 $25\sim 60$ 微米的金屬結晶格子发生了变形，約有 $0.1\sim 0.35$ 毫米的金屬有残余应力。最高残余应力可达 35 公斤/毫米² 以上。磨削后的表面还可能出現很細微的裂縫。因此要获得更高的表面质量，磨过的表面还須再經過研磨。

2 磨削最大切屑厚度的計算

在讲磨削过程时，曾經把砂輪比做銑刀，实际上两者是有很大的差別的。因为砂輪磨粒排列不規則，形状也不規則。但把砂輪切削过程比作一把多齿銑刀的切削过程，对研究切削过程以及分析各种因素对切削过程的影响，就可大大簡化。我們研究磨削过程假定以下条件：

1. 把砂輪想象成多齿銑刀；
2. 磨粒之間的距离相等，而均匀地分在砂輪表面上，且凸出砂輪表面高度一样；
3. 砂輪切入金屬时无滑动。

在这样假想的条件下,我們首先研究磨削过程及切屑厚度,从而研究各因素对切削力、砂輪耐用度、加工表面质量的影响。

这里我們着重研究一下外圓磨削的情况。

外圓磨削的最大切屑厚度如图2-2所示。假定工件中心不动,在这种情况下砂輪除繞自己的軸綫旋轉外,还应沿工件的外圓滾动,即砂輪中心 O_1 以工件的中心 O_2 为圓心,以 R_0 为半徑作圓周运动(行星运动)。所以

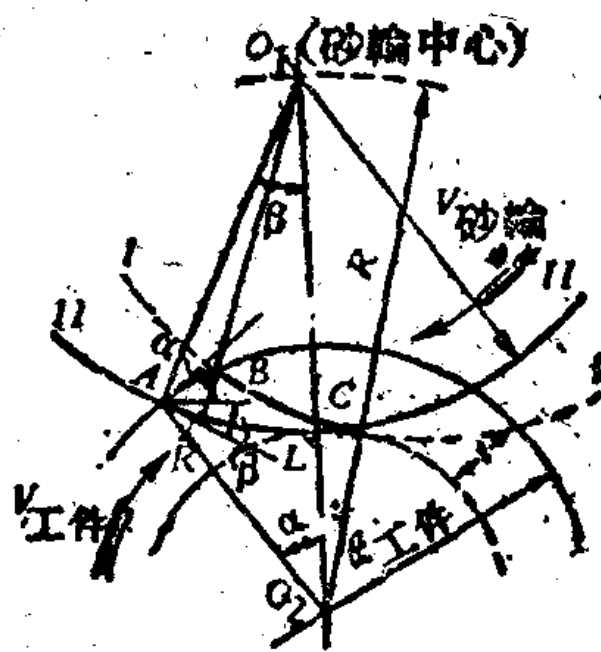


图2-2 磨屑厚度。

$$R_0 = \frac{D_{\text{砂輪}}}{2} + \frac{d_{\text{工件}}}{2} - t, \quad (1)$$

式中 t —— 橫向进給量(磨削深度), 以毫米計。

当砂輪位置由 I 到 II 时砂輪上一顆磨粒的圓周进給量等于工件外表面上的弧长 AB 。

則这顆磨粒切下的切屑如图上 $CLABC$ 表示。

显而易见, 切屑的最大厚度 ($a_{\text{最大}}$) 是沿砂輪半徑方向量得的长度 BK 。

近似的把 ABK 看成三角形可知:

$$a_{\text{最大}} = BK = AB \sin(\alpha + \beta). \quad (2)$$

又因弧长 AB 为砂輪外圓表面一顆磨粒的圓周进給量 S_z 。

$$\text{所以 } a_{\text{最大}} = S_z \cdot \sin(\alpha + \beta). \quad (3)$$

砂輪每顆磨粒圓周进給量 S_z 为:

$$AB = S_z = \frac{v_{\text{工件}}}{60 \times v_{\text{砂輪}}} \times \left(\frac{\pi D_{\text{砂輪}}}{z} \right)$$

如用 t_0 代表砂輪表面磨粒之間的距离則得:

$$t_0 = \frac{\pi D_{\text{砂輪}}}{z}$$

$$AB = S_z = \frac{v_{\text{工件}}}{60 \times v_{\text{砂輪}}} t_0 \quad (4)$$

把公式 (4) 代入 (2) 或 (3) 式后則得: