JINSHU QIEXIAO JIANGZUO

金属切削讲座

黄福来 编著

01

内蒙古人民出版社

引　言

1776年，瓦特发明蒸汽机，开始了第一次工业革命；与之同时，世界上第一台富有成效的金属切削机床——汽缸体镗床问世了。从那时起直至今天，金属切削机床已成为我们时代工业的基础、创造现代文明的直接或间接的手段。

金属切削加工就是人们借助金属切削机床，把工件和刀具联系在一起，并由它提供一定的运动和动力，使刀具从金属制件上切去多余部分，从而获得预定要求的形状、尺寸和表面光洁度的零件的工艺过程。

金属切削过程始终贯穿着刀具和工件的矛盾运动。刀具要从工件上切除金属，形成工件表面，而这部分金属却要反抗刀具的切除，给刀具以磨耗。这样，刀具（带有刃口的工具）的“切削”和工件（金属制件）的“反切削”就构成该工艺过程矛盾运动的特定形式。

随着金属切削过程的进行，那么刀具和工件矛盾双方斗争的前途、结局如何呢？这无非是两种可能：多快好省和少慢差费，或优质高产低消耗和劣质低产多消耗，或刀具低磨耗与高的金属切除率和刀具高磨耗与低的金属切除率。当然，我们应力求前者的结局，而不是后者。“金属切削讲座”的基本任务就在于揭示金属切削过程的基本规律，以便指导生产实践，使加工过程向有利于我们方向转化。这就要求我们从机床、工件及其装夹的具体情况出发，合理地规定

刀具材料、切削角度、切削用量和切削液，以期实现加工过程优质高产低消耗的目的。

随着科学技术的发展和加工对象的千变万化，为了寻求最佳的加工过程，形成了种类繁多的加工方式。但就刀具和工件相互作用的基本特征来说，金属切削加工只有五种基本型式：车削、刨削、钻削、铣削和磨削。详见图0—1。

这五种加工型式又有哪些共同点和不同点，有哪些基本特征呢？

首先，它们各自都必须具备一定的切削运动。所谓切削运动就是指实现切除——成形所必须的运动，即为了切除金属和形成工件表面，刀具和工件必须具有的相对运动。切削运动可分以下两种类型：

主运动——刀具从工件上切除金属所必须的运动，如图0-1中的“n”。车削的主运动是工件的旋转，而铣削（磨削）的主运动却是铣刀（砂轮）的旋转；钻削的主运动是工件或刀具的旋转，而刨削的主运动却是刀具或工件的直线运动。

进给运动——使新的金属层连续投入切削，以便切出整个工件表面来的运动，如图0-1中的“f”、“V_f”。

主运动的速度远比进给运动速度高，所以主运动要消耗机床的主要动力——这是其基本特征，而进给运动消耗的动力可以忽略不计。

对于各种切削加工型式，主运动只有一个，而进给运动可以多于一个。

为了便于实现，通常主运动只有直线和旋转两种形式。直线运动需要回程，回程冲击限制了直线运动速度的提高，所以旋转运动较直线运动用得广泛。然而，就刀具刃口与工

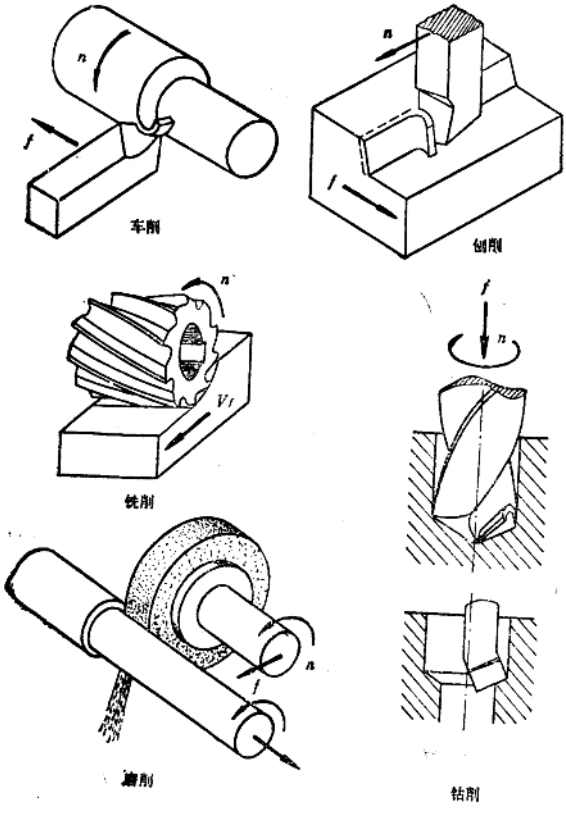


图0-1　金属切削加工的基本型式

件接触处的瞬时相对运动情况来看，旋转运动和直线运动没有什么原则区别，例如，工件作旋转运动的车刀瞬时切削运动情况，俨然与工件作直线运动的刨刀瞬时切削运动情况相当。

其次，它们所用的刀具也各有特点。车、刨刀属于单齿刀具，钻头（相当于两把沿径向相反安装的内孔车刀）和铣刀（相当于沿铣刀体圆周或端面布置的多把车刀）属于多齿刀具，而砂轮相当于齿数极多的铣刀。由此可知，车、刨刀是构成其他各种切削刀具的基础型式。

刀具区别于其他工具之处，主要在于有刃口，有刃刃起切割作用。从这点观察，普通车、刨刀的特征是具有两条刃刃（主刃刃和副刃刃），而每条刃刃又可比作一把切断刀（切槽刀）的刃形；更确切地说，每条刃刃相当于一把宽刃平头刨刀（图0-2中"V"代表主运动方向和快慢一切削速度）。

既然各种切削过程瞬时主运动情况类似于刨削，而宽刃平头刨刀又是各种刀具的最基础型式，那么宽刃平头刨刀的切削过程就成为各种金属切削过程的最基础模式。

基于以上分析可知，要想了解各种切削加工过程，应从车、刨、钻、铣、磨等五种基本型式着手；要想了解车、刨、钻、铣、磨，就必须从宽刃平头刨刀的切削过程着手；要想了解宽刃平头刨刀的切削过程，就必须揭示金属切削过程中各种物理现象及本质；要想把这些基本规律应用到各种特定的加工方法上，就必须分析该情况下的切削用量和切削（过程几何运动学）要素。这些就是本书在阐述金属切削知识所要遵循的基本途径。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.

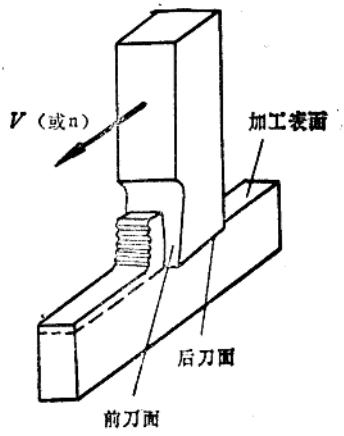


图0-2　宽刃平头刨刀

本书共分六章：金属切削过程的物理现象及其本质，切削用量、切削要素及其实际意义，刀具切削部分材料及其合理选择，刀具切削角度及其合理选择，切削用量的合理选择，提高已加工表面光洁度的途径。前两章，重点在概念，辅以实际技术知识；后四章，重点在实际技术知识，辅以基本概念。

目　录

引　言……（1）
第一章　金属切削过程的物理现象及其本质……（1）
第一节　切屑的形成过程及收缩……（2）
第二节　加工表面的形成过程及冷硬现象……（6）
第三节　切削过程中的作用力和反作用力……（8）
第四节　切削热的来源和传散……（13）
第五节　积屑瘤（刀瘤）的产生和消失……（14）
第六节　刀具的磨损过程及原因……（17）
第二章　切削用量、切削要素及其实际意义……（24）
第一节　切削用量和切削要素……（24）
第二节　切削力、切削功率及其估算……（37）
第三节　切削图形和刀具革新……（63）
第三章　刀具切削部分的材料及其合理选用……（81）
第一节　刀具切削部分材料应具备的基本性能……（81）
第二节　高速钢（又名锋钢、白钢）……（83）
第三节　硬质合金……（85）
第四节　刀具切削部分材料发展概况……（90）
第五节　不重磨刀片……（94）
第四章　刀具的切削角度及其合理选择……（105）
第一节　刀具有哪些切削角度……（105）
第二节　刀具切削时的工作角度……（121）
第三节　刀具切削角度的合理选择……（127）
第四节　断屑方法……（154）
第五节　刀具切削角度分析法举例……（161）

第六节　不重磨车刀切削角度图解法……（171）
附：车刀各截面前角算解法……（180）
第五章　切削用量的合理选择……（183）
第一节　切削用量对刀具耐用度的影响……（183）
第二节　选择切削用量的基本原则……（188）
第三节　车削用量的选取方法……（191）
第四节　铣削用量……（197）
第五节　钻削用量……（199）
第六节　优选法在金属切削中的应用……（201）
第六章　提高已加工表面光洁度的途径……（207）
第一节　减小残留面积高度……（207）
第二节　改善已加工表面的金属变形……（213）
第三节　消除积屑瘤和鳞刺……（218）
第四节　选用合适的切削液……（221）
第五节　机床振动简介及其消除方法……（222）
第六节　提高已加工表面光洁度的其他方法……（230）
附录　常用新旧符号对照表……（233）

第一章　金属切削过程的物理现象及其本质

金属切削过程的物理现象，主要包括切屑和加工表面的形成过程、切削过程中的作用力、切削热、积屑瘤和刀具磨损等问题。

以上这些问题，都与切削过程中的金属变形紧密相连。例如用双手弯曲铁丝，在弯度很小时，去掉外力，铁丝立即会弹回原样，这叫弹性变形；如果所加外力较大，铁丝弯曲变大，去掉外力，铁丝不会弹回原样，成折弯状态，这叫塑性变形。弹性变形和塑性变形就是金属变形两种不同性质的现象。如果再反过来，把经过塑性变形(折弯)的铁丝在原处再弯成平直的，这时所需的外力，就较原来折弯时的大。这说明铁丝折弯处的金属抗弯强度提高了。象这种经过塑性变形后的金属强度提高的现象称为变形强化，或叫冷作硬化。变形强化后，材料硬度提高了，脆性却变大了，本来塑性好而不易折断的铁丝，经过反复几次弯曲后，折弯处的金属脆性大增，最后在很小的弯度下就会折断。另外在折断处还会发热，这就是人手对铁丝所作的“功”，通过金属变形转化成热量。这些就是金属变形的简单概念，及其与力、热之间的简单联系。金属切削过程中的物理现象也基于这个事实，只不过情况变得远为复杂就是了。

第一节　切屑的形成过程及收缩

一、切屑的形成过程及种类

当刀具从工件上切下金属，形成切屑时，其过程与小刀削苹果和斧子劈木头大不相同。它不是单纯地劈下或削下来的，而主要是挤压下来的（见图1-1），是由前刀面推挤切

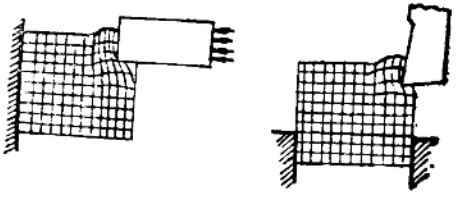


图1-1　切削与挤压的比较

削层金属，使之产生塑性变形而切掉的过程。

如果以切削塑性金属（例如软钢）为例，切屑的具体形成过程历经四个阶段：弹性变形、塑性变形、挤裂和切离。在刀具开始与工件接触时，接触处的金属发生弹性变形（见图1-2*a*），这就是第一阶段——弹性变形阶段。随着刀具继续推进，金属内部应力逐渐增大，而进入塑性变形阶段（其实质就是在剪应力的作用下，使材料沿一定的斜面进行滑移见图1-2*b*）。随着塑性变形不断进行和变形强化的结果，材料不断硬化和脆化，直至应力达到材料强度极限，就产生了挤裂，进入了第三阶段（见图1-2*c*）。然后切屑在前刀面经过剧烈摩擦而离开了刀具，完成了第四阶段的切离。这是所观察那部分金属的变形过程，而其他金属也是依次如此

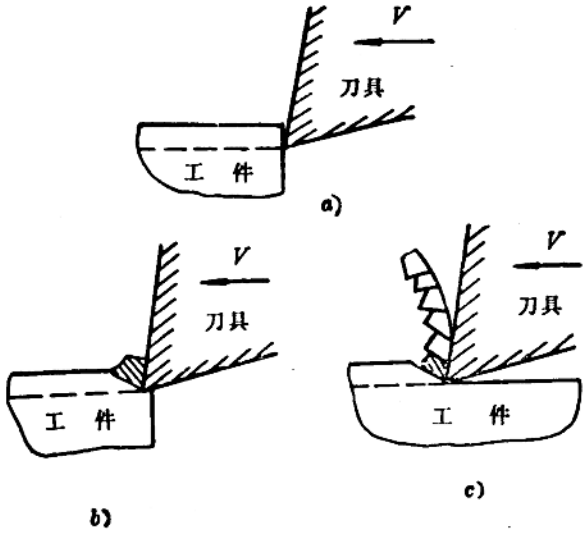


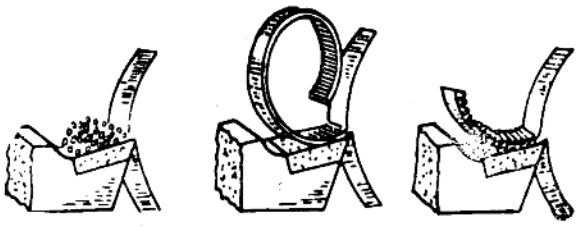
图1-2 切屑的形成过程

变形，如在第二阶段，即塑性变形阶段，位于正在进行塑性变形金属前方的金属，正经历着弹性变形阶段，这样所有被切削金属依次经历同样的过程而变成切屑。

随着塑性变形程度和工件材料承受塑性变形能力的不同，会形成不同的切屑。一般切屑可分为三大类（见图1-3）：

挤裂切屑——上述典型变化过程所形成的切屑。常见于低速切削中等硬度的钢材。切屑的背面和侧面都有明显的裂痕，呈节状，也称节状屑。如果挤裂面充分破裂，还可形成粒状切屑。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.



a)崩碎屑　b)带状屑　c)节状屑

图1-3　切屑的种类

带状切屑——常见于高速切削各种钢材，切屑背面呈毛茸状，看不出挤裂的痕迹。

崩碎切屑——常见于切削铸铁等脆性材料。切屑是零碎不整的粉末和碎粒。

不同切屑类型对加工过程有着不同的影响。带状切屑形成过程比较平稳，切削力波动不大，加工光洁度较高；但容易缠绕在工件或刀具上，妨碍工作，危及安全，因此必须采取断屑措施。崩碎切屑的压力集中在刃口附近，刀刃容易损坏。挤裂切屑介于上述两者之间。

二、切屑的收缩

衡量切削层金属(或切屑)塑性变形程度大小的指标是切屑收缩系数。所谓切屑收缩系数就是切屑长度$l_{屑}$比相应切削层长度l_c缩短的倍数关系，或是切屑厚度$a_{屑}$比切削层厚度a_c(见图1-4)变厚的倍数关系，通常用ξ代表，即

$$\xi = \frac{l_c}{l_{屑}} = \frac{a_{屑}}{a}$$

切屑收缩系数 ξ 总是大于 1 的。通常切削中碳钢，$\xi =$

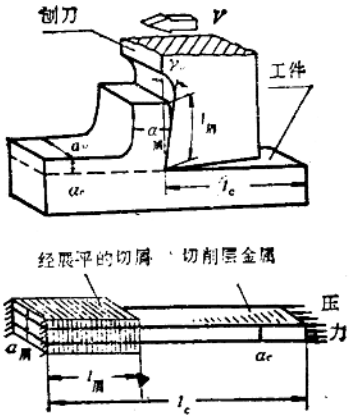


图1-4　切屑的收缩现象

2～3；而切削低碳钢 ξ 可达5～6。例如用手动走刀切断45号钢棒料时，用卡尺侧得 $a_{屑}=0.3$ 毫米，这时实际走刀量应该是0.1～0.15毫米／转，决不是0.3毫米／转。

切屑收缩现象进一步证明了切屑形成过程的实质是一种塑性挤压。它好比切削层金属在锤头挤压下，长度缩短、断面变粗的冷态金属镦粗过程（见图1-4），只不过由于受到工件基体金属的制约，宽度 a_w 未变就是了，其实更象一种偏挤压。

由此可知，切屑收缩系数将影响切削力、切削热和加工

光洁度，对切削过程有着重要影响。

切屑收缩系数是随着切削条件而改变的。工件材料塑性越大，切屑收缩越大；刀具前角γ_o（见图1-4）越大，切屑收缩越小；切削速度V（主运动快慢）对切屑收缩系数的影响如图1-5所示。高速切削的优点之一，就在于可以减小切屑收缩，减小金属变形和力，提高加工光洁度。

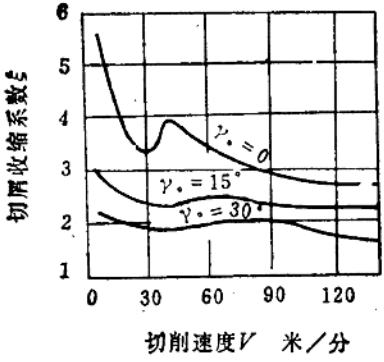


图1-5 切削速度v和前角γ。对切屑收缩的影响

第二节 加工表面的形成过程及冷硬现象

加工表面并不是由刀刃直接“切”出的，而是经过复杂的塑性变形而形成的。究其原因有三。第一，在前刀面推挤切削层金属转变成切屑的同时，在切削层和基体金属分裂处的加工表面金属也遭到牵连变形（见图1-1）。第二，刀具刃口并非绝对尖锐，刀刃不会是理想的直线，实际上是以r_n

为半径的圆柱弧面（见图1-6）。r_n叫刃口圆弧半径，它是在刃磨时自然形成的（刚经磨锐的新高速钢刀，$r_n=0.01$～

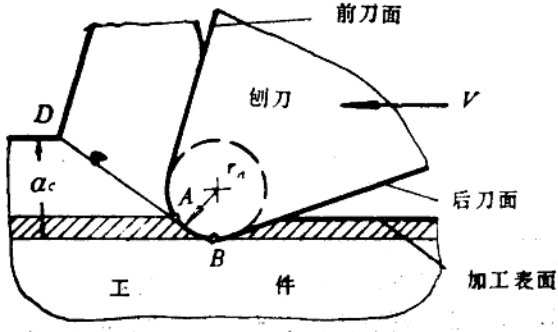


图1-6　加工表面金属变形

0.018毫米；硬质合金刀，$r_n=0.018$～0.032毫米；用钝的旧刀r_n变大）。由于刃口圆弧的存在，切削层和基体金属的分裂处不在刃口的最低点B，而是在某点A处。A点以下金属无法切下，在刀具往前运动时，将经受刃口B处的再次挤压。第三，在刀刃切过以后，加工表面金属由于弹性变形的恢复，将会隆起(图1-6中加工表面的阴线部分)，形成后刀面与加工表面的摩擦，导致金属的再次变形。特别当后刀面磨损成后角为零的棱面以后，摩擦变形将进一步加剧。加工表面在经受上述三种塑性变形后，表层金属硬度提高了（见图1-7)，塑性下降了，造成加工表面的“冷硬现象”，破坏了加工光洁度，并造成一定残留应力。

表层硬度可高达工件原硬度的1.2～2倍，冷硬层深度可

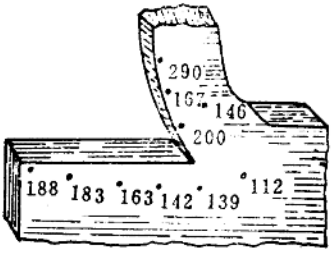


图1-7　表面冷硬（图中的数字表示该处的硬度）

达0.05～0.5毫米。表层还常出现残留拉应力，重者会形成微裂。这些会影响零件的使用性能、下道工序的加工，或工件的变形。如加工冷硬现象比较严重的不锈钢一类材料，该问题更需引起注意。

工件材料塑性越大，刀具前角γ_o越小，切削厚度a_c越大，刃口圆弧半径r_n越大，冷硬现象越严重。钝刀可较锐利的新刀冷硬增加2～3倍。此外，在$r_n > a_c$时，冷硬变得更为严重，甚或切不下切屑，成了冷挤压。

第三节　切削过程中的作用力和反作用力

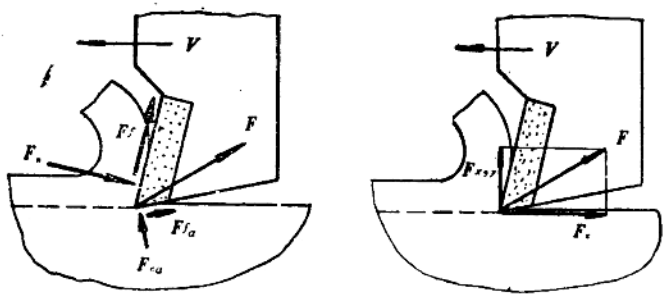
一、切削力的来源

前已述及，切削层和加工表面金属会发生变形，就会出现变形抗力；同时刀具和工件有相对运动，就会形成摩擦力。具体说来，切削力有四个来源（见图1-8a）。

垂直于前刀面的正压力F_n——前刀面推挤切削层金属引起的变形抗力。

前刀面的摩擦力F_f——切屑沿前刀面流动引起的摩擦力。其大小应等于前刀面的正压力和摩擦系数的乘积。应该指出，这里的摩擦与通常的滑动摩擦远不一样。由于切屑与前刀面间的压应力很大，当切削温度高到一定程度，刀—屑间的润滑膜就会被破坏，造成刀—屑表面新鲜金属分子相接触的条件，借助于分子间的吸力，切屑底层金属会粘结（冷焊）在刀刃附近的前刀面上，切屑上层金属将在粘结部分的上方滑过，这时的摩擦力就相当于切屑底层材料的抗剪切强度。所以，刀—屑间的摩擦系数远较一般为大，甚至可以超过1；而且它随着切削温度在很大的范围内变化，存在着摩擦系数最大的切削温度（切45号碳钢时，该温度约为300℃），当切削温度高于或低于该值时，摩擦系数都将变小。

图1-8中摩擦力F_f和正压力F_n的反作用力共同压向切削层，引起切屑的收缩。



a）切削力的来源和合力F　　b）切削合力F分解为各切削分力

图1-8　切削力的来源和分解

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.