



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

“互联网 + 教育”新形态一体化教材

机械制造技术

(第二版)

主 编 贾祥云 刘 清



扫描二维码
共享立体资源

机械制造技术 (第二版)
主 编 贾祥云 刘 清

北京出版集团
北京出版社

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术 / 贾祥云, 刘清主编. — 2 版. — 北京: 北京出版社, 2020.9 (2024 重印)
十二五规划高职
ISBN 978-7-200-16015-4

I. ①机… II. ①贾… ②刘… III. ①机械制造工艺—高等教育—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 209225 号

机械制造技术 (第二版)

JIXIE ZHIZAO JISHU (DI-ER BAN)

主 编: 贾祥云 刘 清
出 版: 北京出版集团
北京出版社
地 址: 北京北三环中路 6 号
邮 编: 100120
网 址: www.bph.com.cn
总 发 行: 北京出版集团
经 销: 新华书店
印 刷: 定州启航印刷有限公司
版 印 次: 2020 年 9 月第 2 版 2024 年 1 月修订 2024 年 1 月第 2 次印刷
成品尺寸: 185 毫米 × 260 毫米
印 张: 16.5
字 数: 334 千字
书 号: ISBN 978-7-200-16015-4
定 价: 49.50 元

教材意见建议接收方式: 010-58572341 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-82685218 010-58572341 010-58572393

目 录

项目一 金属切削加工的认知 1

任务一 车削外圆	1
任务二 刃磨车刀	6
任务三 刀具材料的选择	13
任务四 金属切削加工中主要现象的认识	19
任务五 切削条件的选择	41

项目二 金属切削机床的认知与操作 57

任务一 金属切削机床型号的认识	57
任务二 普通车床的认识与操作	62
任务三 普通铣床的认识与操作	77
任务四 钻床的认识与钻孔的操作	89

项目三 金属切削刀具的认知与选用 97

任务一 车刀的认识与选用	97
任务二 孔加工刀具的认识与选用	105
任务三 铣刀的认识与选用	117

项目四 机械加工工艺的编制 127

任务 零件机械加工工艺规程的编制	127
------------------	-----

项目五 机床夹具的认知与应用	166
任务一 机床夹具的认识	166
任务二 工件定位	169
任务三 基本夹紧装置的认识	179
项目六 典型零件加工工艺分析	191
任务一 轴类零件加工工艺分析	191
任务二 套类零件加工工艺分析	201
任务三 齿轮零件加工工艺分析	208
任务四 箱体零件加工工艺分析	218
项目七 机械零件的精密加工与特种加工	232
任务一 精密加工与超精密加工	232
任务二 认识特种加工技术	240
任务三 认识 3D 打印技术	253
参考文献	258

项目一

金属切削加工的认知

金属切削加工就是利用金属切削机床,使用金属切削刀具对金属材料进行切削加工,从工件上切除多余金属,使之成为具有一定几何形状、尺寸精度和表面质量的工件。在切削加工过程中,除了要有一定切削性能的切削刀具外,还要有机床提供工件与切削刀具间所必需的相对运动,而且这种相对运动还要与工件各种表面形成规律和几何特征相适应。

任务一

··· 车削外圆

任务描述

要完成相应零件表面的加工,首先,离不开机床和刀具之间的相对运动。其次,在切削加工前,必须根据加工阶段的不同,合理确定和计算切削运动参数(切削用量)的大小。加工如图 1-1 所示小轴。通过车削外圆,会分析切削时的切削运动,切削时各运动参数:切削速度、进给量和背吃刀量(切削深度)。

任务目标

- 能进行车削外圆基本操作
- 能在轴类零件的切削过程中认识金属切削加工的运动
- 能选择合理的切削用量
- 培养学生热爱专业、精益求精的工匠精神

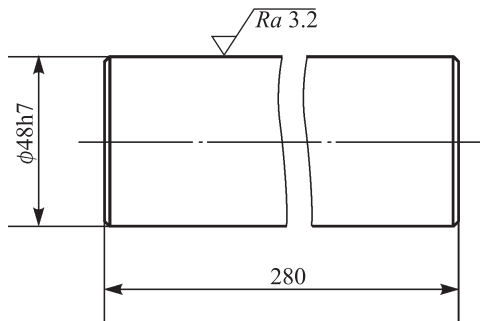


图 1-1 小轴

任务分析

要保证刀具能连续地把工件多余的材料去除,刀具与工件之间必须有相对的运动,这种运动称为切削运动,该运动包括主运动与进给运动。主运动是切下切屑所需的最基本的运动,在切削运动中主运动的速度最高、消耗的功率最大,主运动只有一个。进给运动是多余材料不断被投入切削,从而加工完整表面所需的运动。进给运动可以



有一个或几个。

切削用量是切削时各运动参数的总称,包括切削速度、进给量和背吃刀量(切削深度)。三者要根据不同的工件材料、加工性质和刀具材料来选择,主要用于调整机床,编制工艺路线。切削运动参数的合理与否还影响着切削加工效率、零件加工精度和加工成本。

任务实施

1. 准备车床、轴类零件、外圆车刀。
2. 车削前设定加工时的切削速度和进给量,车削时自行进行背吃刀量(切削深度)。
3. 车外圆。

车外圆时应注意:(1)检查毛坯尺寸,选用切削用量。(2)确定切削长度。选定测量基准后确定加工位置,并做出标记。(3)停止进给后,退回原位。(4)检测工件尺寸。

4. 指出车削外圆时的运动,说明什么是主运动、进给运动和合成运动,并分析三者间的关系。

知识链接



工匠:洪家光

一、切削加工的基本条件

金属切削加工是刀具与工件相互作用的过程,它们之间要有确定的相对运动,并且它们要承受很大的切削力,必须在金属切削机床上进行加工,工件和刀具需通过夹具和刀架与机床可靠的连接,从而带动它们做相对的运动,实现切削加工。这种由金属切削机床、刀具、夹具和工件构成的机械加工封闭系统称为机械加工工艺系统,其中金属切削机床是为金属切削加工提供动力的工作机械,刀具对工件进行切削加工起着直接作用,夹具用来对工件定位和夹紧,使之有正确的加工位置。

为了使切削加工过程能够顺利进行,必须具备下述基本条件:

(1) 刀具和工件间要有形成零件结构要素所需的相对运动。这类相对运动由各种切削机床的传动系统提供。

(2) 刀具材料的性能能够满足切削加工的需要。刀具在切除工件上多余材料时,工作部分将受到切削力、切削热、切削摩擦等的共同作用,且切削负荷很重,工作条件恶劣。因此,刀具材料必须具有适应强迫切除多余材料这一特定过程的性能,例如足够的强度和刚度、高温下的耐磨性等。

(3) 刀具必须具有一定的空间几何结构。多余材料被刀具从工件上切除的本质仍然是材料受力变形直至断裂破坏的过程,只是完成这个过程的时间很短,材料变形破坏的速度很快。为了确保加工质量、尽量减少动力消耗和延长刀具寿命,刀具切削部分的几何结构和表面状态必须能适应切削过程的综合要求。

二、切削加工中的运动及构成

在切削加工形成零件需要表面的全过程中，刀具和工件间的相对运动按作用的不同分为切削运动和辅助运动两类运动。

（一）切削运动

直接完成切除加工余量任务，形成所需零件表面的运动，称为切削运动。这一运动包括主运动和进给运动。

（1）主运动。直接切除工件上的多余材料，使之转变为切屑，从而形成工件新表面的运动，是进行切削最基本、最主要的运动。主运动通常只有一个，且速度最高、消耗功率最大。例如，车床上工件的旋转运动；龙门刨床刨削时，工件的直线往复运动；牛头刨床刨刀的直线往复运动；铣床上的铣刀、钻床上的钻头和磨床上砂轮的旋转运动等都是切削加工时的主运动，如图 1-2 中的 v 。

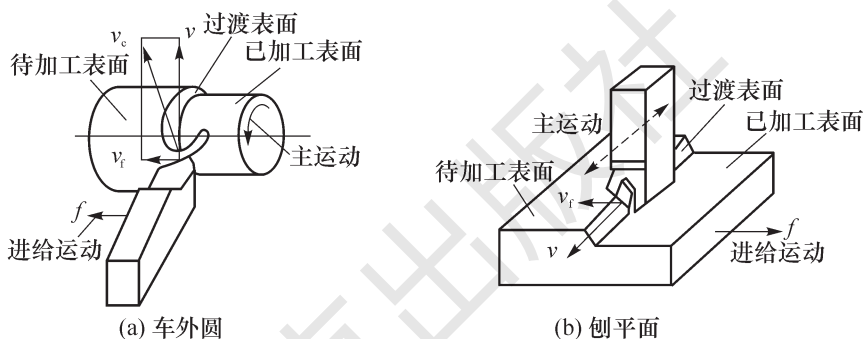


图 1-2 切削过程中的切削运动及加工表面

（2）进给运动。将工件上的多余材料不断投入切削区进行切削以逐渐切削出零件所需整个表面的运动。进给运动可有一个，也可多于一个，且速度和消耗功率较小。例如：车外圆时车刀纵向和横向连续的直线运动，在牛头刨床上刨平面时工件横向间断的直线移动，纵磨外圆时工件的圆周进给运动和轴向直线进给运动等，如图 1-2 中的 f 或 v_f 。

无论是主运动还是进给运动，其基本运动形式均是连续的或间歇的直线运动或回转运动，由两者通过不同形式的组合，则可构成多种符合需要的切削运动；主运动和进给运动可由刀具和工件分别完成（如车削和刨削），也可由刀具单独完成（如钻孔），但很少由工件单独完成；主运动和进给运动可以同时进行（如车削、钻削），也可以交替进行（如刨平面、插键槽）。

（二）辅助运动

除主运动（ v ）和进给运动（ v_f ）外，为完成机床工作循环，还需一些其他的辅助运动。辅助运动不直接参加切除多余材料，但却是完成零件表面加工全过程必不可少的运动。

- （1）空行程运动，刀架、工作台的快速接近与退出工件等，可节省辅助时间。
- （2）切入运动，保证被加工面获得所需尺寸，刀具相对于工件表面的深入运动。



(3) 分度运动, 使工件或刀具回转到所需要的角度, 多用于加工若干个完全相同的圆周均匀分布的表面; 也有在直线分度机上刻直尺, 主要用于工件相对刀具的直线分度运动。

(4) 操纵及控制运动, 包括机床变速、换向、起停及工件装夹等。

三、工件上的加工表面

刀具和工件相对运动过程中, 在主运动和进给运动作用下, 工件表面金属不断被刀具切下转变为切屑从而加工成所需的新表面, 因此被加工的工件上有三个依次变化着的表面, 如图 1-2 所示。

(1) 待加工表面。加工时即将切除的工件表面。

(2) 已加工表面。已被切去多余金属而形成符合要求的工件新表面。

(3) 过渡表面。加工时切削刃在工件上正在形成的那部分表面。过渡表面在切削过程中不断变化着, 它在待加工表面和已加工表面之间。

需指出的是, 在切削加工过程中, 三个表面始终处于不断的变动之中: 前一次走刀的已加工表面, 即为后一次走刀的待加工表面; 过渡表面则随进给运动的进行不断被刀具切除。

四、切削用量

在生产中将切削速度、进给量和背吃刀量统称为切削用量, 切削用量用来定量描述主运动、进给运动和投入切削的加工余量厚度。切削用量的选择直接影响材料切除率, 进而影响生产效率。有关定义如下:

(一) 切削速度 v

切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度称为切削速度, 单位为 m/s 或 m/min 。由于切削刃上各点的切削速度可能是不同的, 计算时常用最大切削速度代表刀具的切削速度。当主运动为旋转运动时, v 可按式 (1-1) 计算:

$$v = \frac{\pi d_w n}{1\,000} \quad (1-1)$$

式中: d_w ——待加工表面直径 (mm);

n ——主运动转速 (r/min 或 r/s)。

(二) 进给量 f

主运动的一个循环或单位时间内刀具和工件沿进给运动方向的相对位移量称为进给量。如图 1-1 所示, 用单齿刀具 (如车刀、刨刀) 进行加工时, 常用刀具或工件每转或每行程刀具在进给运动方向上相对工件的位移量来度量, 称为每转进给量 (mm/r) 或每行程进给量 (mm/str)。

进给量表示进给运动的速度。进给运动速度还可以用进给速度 v_f (单位是 mm/s 或 mm/min) 或每齿进给量 f_z (用于铣刀、铰刀等多刃刀具, 单位是 mm/齿) 表示。对于

连续进给的切削加工, v_f 可按式 (1-2) 计算:

$$v_f = n \times f = n \times z \times f_z \quad (1-2)$$

式中: n ——主运动转速 (r/min 或 r/s);

z ——刀具齿数。

对于主运动为往复直线运动的切削加工 (如刨削、插削), 一般不规定进给速度, 但规定每行程进给量。

(三) 背吃刀量 a_p

背吃刀量 a_p 是在垂直于主运动方向和进给运动方向的工作平面内测量的刀具切削刃与工件切削表面的接触长度。对于外圆车削, 背吃刀量为工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离, 单位为 mm。即

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-3)$$

式中: d_w ——工件待加工表面的直径 (mm);

d_m ——工件已加工表面的直径 (mm)。

职业技能知识点考核

1. 车端面, 并分析车削端面时的主运动和进给运动。
2. 在车床上车削 $\phi 55$ mm 的铸铁件外圆, 转速为 400 r/min, 若再用同样的切削速度精车 $\phi 20$ mm 的外圆, 试完成以下任务:
 - (1) 计算车削 $\phi 55$ mm 外圆的切削速度。
 - (2) 计算切削 $\phi 20$ mm 外圆的主轴转速。
3. 利用切削刀具把工件和毛坯上预留的金属材料切除, 以获得满足零件图纸要求的加工过程称为_____。
4. 切削运动可分为_____和_____。
5. 切削用量三要素为_____、_____和_____。
6. _____、_____、夹具和工件组成了金属切削加工的工艺系统。
7. 观察或操作切削运动, 完成常见机床的主运动与进给运动 (表 1-1)。

表 1-1 机床的主运动与进给运动

机床名称	主运动	进给运动	机床名称	主运动	进给运动
卧式车床			龙头刨床		
钻床			外圆磨床		
卧铣、立铣			内圆磨床		
牛头刨床			平面磨床		



任务二 ··· 刃磨车刀

任务描述

在生产中切削加工的方法很多,所采用的切削刀具种类繁多、形状各异,但仔细分析会发现其切削部分有许多共同之处。普通外圆车刀是最典型的简单刀具,其他种类的刀具都可以视为它的变形或组合。通过刃磨车刀,学习刀具的结构、组成及几何角度。

任务目标

- 能认识刀具的结构、组成及几何角度
- 会刃磨车刀
- 培养学生严谨专注、精益求精的职业精神

任务分析

刀具是切削加工中不可缺少的切削工具,刀具是如何具备切削能力的?刀具的几何形状和切削能力又是如何来描述的?以普通外圆车刀为例,刃磨车刀,来学习刀具切削部分的结构、组成及刀具的几何角度。

任务实施

1. 准备硬质合金焊接车刀、砂轮、量具及油石。
2. 刃磨步骤。

在刃磨前,应先检查刀具,如遇硬质合金刀头有裂痕或焊接面积不足等情况应更换刀具,然后将车刀上存在的焊渣磨平。

- (1) 粗磨。①粗磨主后刀面。②粗磨副后刀面。

注意:在刃磨主后刀面和副后刀面时前刀面朝上。

- (2) 精磨。①精磨主后刀面。②精磨副后刀面。

- (3) 粗精磨前刀面。

- (4) 刃磨卷屑槽。

- (5) 刃磨负倒棱和过渡刃。

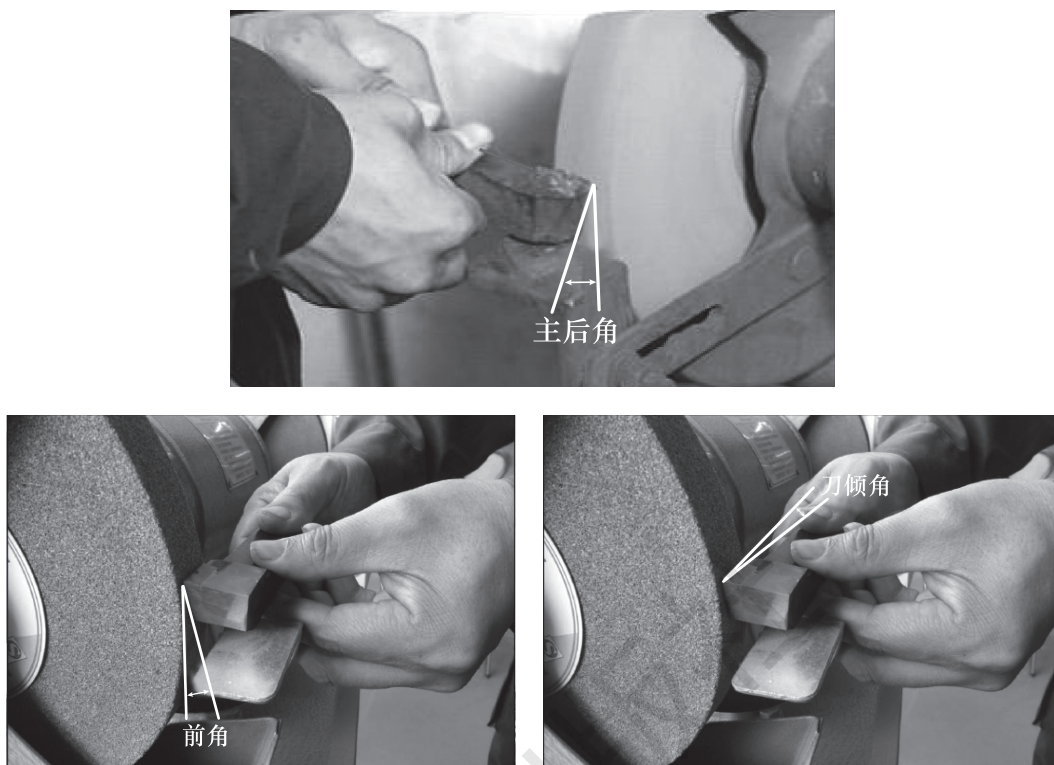


图 1-3 刃磨车刀

3. 刃磨姿势和方法。

刃磨车刀时，操作者应站立在砂轮机的前面，以防砂轮破裂时碎片飞出伤人，还可防止砂粒飞入眼中。双手握车刀，两肘应夹紧腰部，这样可以减少刃磨时的抖动。刃磨时，车刀应放在砂轮的水平中心，刀尖略微上翘 $3^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ，车刀接触砂轮后应做左右向的水平移动；车刀离开砂轮时，刀尖需向上抬起，以免砂轮碰伤已磨好的切削刃。

4. 检测车刀刃磨角度。

注意事项：(1) 刃磨时需戴防护眼镜，操作者应站立在砂轮机的侧面。(2) 刃磨高速钢车刀时，应及时冷却，以防止切削刃退火，致使硬度降低。而刃磨硬质合金焊接车刀时，则不能浸水冷却，以防止刀片因骤冷而崩裂。(3) 刃磨时，砂轮旋转方向必须由刀口向刀体方向转动，以免使切削刃出现锯齿形缺陷。(4) 刃磨时不能用力过大，以免打滑伤手。

知识链接

一、车刀结构

图 1-4 所示为最常用的外圆车刀，它们都由夹持（刀柄）和切削（刀头）两大部分组成。夹持部分一般为矩形（外圆车削）或圆形（镗孔），切削部分根据需要制造成多种形状。车刀



切削部分的结构要素包括三个切削刀面、两条切削刃和一个刀尖,即三面、两刃、一尖。

(1) 前刀面(前面) A_f 。切屑流过的表面。

(2) 主后刀面(主后面) A_a 。刀具上与工件过渡表面相对并相互作用的表面。

(3) 副后刀面(副后面) A'_a 。刀具上与工件已加工表面相对并相互作用的表面。

(4) 主切削刃 S 。前刀面与主后刀面的交线。承担主要切削工作,它在工件上切出过渡表面。

(5) 副切削刃 S' 。前刀面与副后刀面的交线。它配合主切削刃完成切削工作,并最终形成已加工表面。

(6) 刀尖。主切削刃和副切削刃连接处的一段刀刃。它可以是小的直线段或圆弧。刀尖按其连接过渡部分形状不同,分为点状刀尖、修圆刀尖、倒角刀尖,如图 1-5 所示。刀尖是刀具切削部分工作条件最恶劣的部位之一。

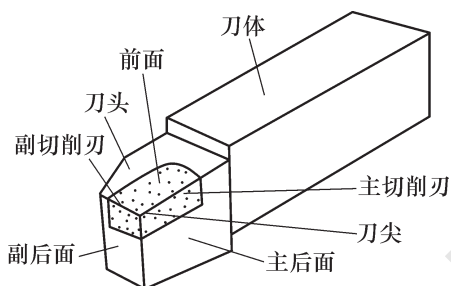


图 1-4 车刀的几何结构

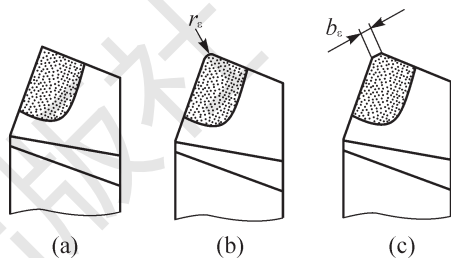


图 1-5 刀尖的结构

二、刀具参考系和刀具的几何角度

为使切削加工过程能够顺利进行,刀具切削部分必须具有一定的几何结构,即刀具切削部分各组成要素如刀尖、主切削刃、副切削刃和前面、后面必须有一定的形状及空间相互位置。为了准确描述和标注刀具切削部分各组成要素在空间上的位置,需建立适当的参考坐标系。

(一) 刀具参考系

刀具设计时标注、刃磨、测量角度最常用的是正交平面参考系。

正交平面参考系由以下三个平面组成:

(1) 基面 P_r 。为过切削刃选定点而和该点假定主运动方向 v_c 垂直的平面。车刀的基面可理解为平行刀具底面的平面。

(2) 切削平面 P_s (P'_s)。为过切削刃上选定点与切削刃相切并垂直于基面 P_r 的平面。选定点在主切削刃上者为主切削平面 P_s , 选定点在副切削刃上者为副切削平面 P'_s 。未特别说明的, 切削平面即是指主切削平面。

(3) 正交平面 P_o (P'_o)。它又称正交剖面或主剖面, 过切削刃上选定点并同时垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 的平面(或过切削刃选定点并垂直于切削刃在基面 P_r 上的投影的平面)。选定点在主切削刃上者为主正交平面 P_o , 选定点在副切削刃上者为副正交平面 P'_o 。

如图 1-6 所示。

(二) 刀具几何角度与标注

刀具的几何角度是指刀具上的切削刃、刀面与参考系中各参考面间的夹角，用以确定切削刃、刀面的空间位置。由于切削刃上各点的主运动方向可能不同，因此据其建立的参考系的方位也是变化的，所以定义的角度必须指明是切削刃上选定点的角度；凡未经特殊注明的，均指切削刃上与刀尖毗连的那一点的角度。在刀具参考系中度量标注的角度通称刀具角度，如图 1-7 所示，分别定义如下：

(1) 主偏角 κ_r 。即在基面内测量的主切削刃在基面上的投影与进给运动方向的夹角。主偏角一般为正值。

(2) 副偏角 κ'_r 。即在基面内测量的副切削刃在基面上的投影与进给运动反方向的夹角。副偏角一般为正值。

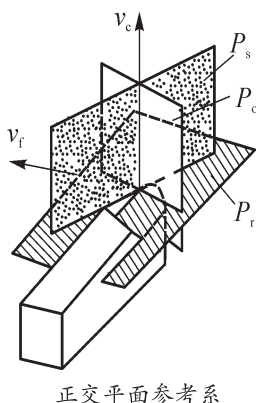


图 1-6 刀具静止参考系

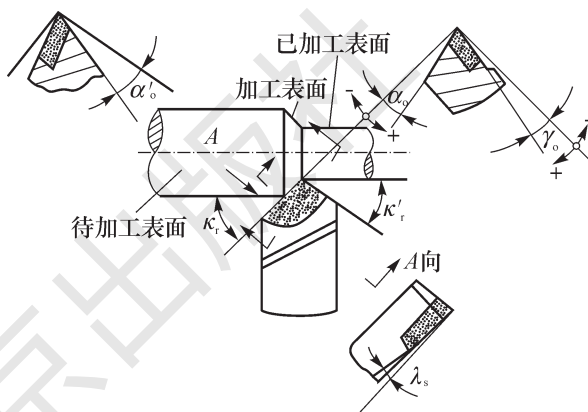


图 1-7 车刀的主要标注角度

(3) 前角 γ_o 。即在正交平面 P_o (主剖面) 内测量的前刀面与基面之间的夹角。前角表示前刀面的倾斜程度，有正、负和零值之分。在正交平面 P_o 中，当前刀面 (前面) A_f 在基面 P_r 之上时规定 $\gamma_o < 0^\circ$ ；当前刀面 (前面) A_f 在基面 P_r 之下时规定 $\gamma_o > 0^\circ$ ；当前刀面 (前面) A_f 和基面 P_r 重合时则 $\gamma_o = 0^\circ$ 。

(4) 后角 α_o 。即在正交平面 P_o (主剖面) 内测量的主后刀面与切削平面之间的夹角。后角表示主后刀面的倾斜程度，一般为正值。

(5) 副后角 α'_o 。即在副正交平面 P'_o (副剖面) 中测量的副后刀面与切削平面之间的夹角。以主 (副) 切削平面为界，当主 (副) 后面位于和工件上的过渡表面 (已加工表面) 相对的一侧时，规定后角 α_o (或副后角 α'_o) 为正，反之为负。后角均取正值，因负值后角刀具无法工作。

(6) 刃倾角 λ_s 。即在切削平面 P_s 内测量的主切削刃与基面之间的夹角。当主切削刃呈水平时， $\lambda_s = 0^\circ$ ；刀尖为主切削刃最低点时， $\lambda_s < 0^\circ$ ；刀尖为主切削刃上最高点时， $\lambda_s > 0^\circ$ 。可简记为“抬头为正，低头为负”。



此外,在刀具参考系中为了比较切削刃、刀尖的强度,刀具上还定义了楔角 β_o 和刀尖角 ε_r 两个角度,它们也属派生角度。

① 楔角 β_o 。在正交平面 P_o 中,前刀面与主后刀面之间的夹角。显然有

$$\beta_o = 90^\circ - (\alpha_o + \gamma_o) \quad (1-4)$$

② 刀尖角 ε_r 。主切削刃与副切削刃在基面上投影之间的夹角,即

$$\varepsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-5)$$

为了确定刀具切削部分的几何构造,一般情况下,刀具工作图上需要标注的角度有主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 、前角 γ_o 、后角 α_o 、副后角 α'_o 和刃倾角 λ_s 。对于前刀面、后刀面、副后刀面为平面的刀具(例如车刀、刨刀等),当这六个角度确定后,刀具切削部分的空间形体便是唯一的。也就是说,其他角度可以派生出来,在刀具设计图样上,可以不标注。而上述六角度则是在正交平面参考系中,确定车刀三个刀面(前刀面 A_f 、主后刀面 A_a 、副后刀面 A'_a)、两个刀刃(主切削刃 S 、副切削刃 S')的位置所必需的、独立的六个基本刀具角度,缺一不可。

三、刀具的工作参考系及工作角度

如前所述,刀具的标注角度是在忽略进给速度 v_f 的影响,且刀具安装在理想工作位置的情况下确定的。在实际的切削加工中,当刀具进入工作状态后,由于刀具安装位置和进给运动的影响,选定点的实际切削速度的方向以及刀具的实际安装位置相对于假定的理想状态发生了改变,即上述标注角度会发生一定的变化。而刀具角度变化的根本原因是切削平面、基面和正交平面位置的改变,因此,研究切削过程中的刀具角度,必须以刀具与工件的相对位置、相对运动为基础建立参考系,这种参考系称为工作参考系。用工作参考系定义的刀具角度称为工作角度。

由此而建立的工作参考系(动态参考系)相对于标注参考系(静态参考系)在空间位置上也相应改变,因此刀具的实际切削角度(即刀具的工作角度)和标注角度不一样。下面分别探讨这些条件变化对刀具工作角度的影响规律。

(一) 进给运动的影响

横向走刀车槽或切断时,如图1-8所示,切削刃上选定点 A 的实际切削速度 $v_c = v + v_f$ 。在假定工作平面(进给平面) P_f 内, v_c 相对于 v 偏转角度 μ_f ; A 点的运动轨迹为阿基米德螺旋线,其螺旋倾角为 μ_f 。

$$\tan \mu_f = \frac{v_f}{v} = \frac{nf}{n\pi d} = \frac{f}{\pi d} \quad \text{或} \quad \mu_f = \arctan \frac{f}{\pi d} \quad (1-6)$$

式中: d ——工件选定点直径(mm);

f ——进给量(mm/r)。

由于 v 方向的偏转,由选定点 A 处的工作基面和工作切削平面组成的参考系 $P_{re} - P_{sc}$ 相对于 $P_r - P_s$ 参考系在 P_f 内相应偏转角度 μ_f ,而此时车槽刀(切断刀)的前、后面

位置并不改变。故选定点 A 处的工作前、后角有下式成立：

$$\gamma_{oe} = \gamma_{fe} = \gamma_o + \mu_f \quad (1-7)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_{fe} = \alpha_o - \mu_f \quad (1-8)$$

由上式可知，在横进给车削中，当进给量 f 一定时，随着切削刃不断趋近工件中心（即 d 不断减小），其工作前角 γ_{oe} 不断增大，工作后角 α_{oe} 不断减小。当刀尖接近工件中心时，工作后角 α_{oe} 迅速减小，最容易因后面和工件过渡表面剧烈摩擦而崩刃，应当引起充分重视。以横进给为主工作的刀具（如切断刀、车槽刀和径向成形车刀等），应当适当加大标注后角。

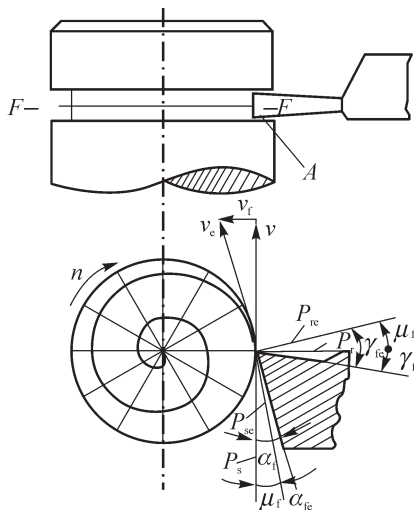


图 1-8 横向进给运动对工作角度的影响

在纵车外圆时，由于工件进给量相对于直径很小，所以因纵向进给运动而引起的刀具角度变化也很小，往往可以忽略不计；但在车螺纹（尤其是车多头螺纹）时，由于 f 相对于 d 较大，纵向进给运动对刀具角度的影响就不容忽视，应该适当加大主切削刃后角和副切削刃前角，或者采用斜刀垫使刀具后面偏离工件过渡表面。

（二）安装位置的影响

当刀具的安装位置与假定的理想位置不符时，刀具的工作角度也将发生变化。

（1）刀尖高低的影响。纵走刀车外圆时，刀尖应该安装在工件中心等高处。当安装位置高于（或低于）工件中心（如图 1-9 所示为安装位置偏高的情况， $\lambda_s = 0^\circ$ ）时，即使不考虑进给运动的影响，该点主运动速度方向也将在背平面 P_p 内相对于工件中心高处偏转角度 θ_p ，从而导致工作基面和工作切削平面组成的参考系 $P_{re} - P_{sc}$ 相对于 $P_r - P_s$ 参考系在 P_p 内相应偏转角度 θ_p ，而

$$\tan \theta_p = \frac{h}{\sqrt{(d/2)^2 - h^2}} \quad \text{或} \quad \theta_p = \arctan \frac{h}{\sqrt{(d/2)^2 - h^2}} \quad (1-9)$$

式中： h ——选定点高（或低）于工件中心的距离（mm）；

d ——选定点的工件直径（mm）。

则选定点的工作前角 γ_{oe} 和工作后角 α_{oe} 为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o \pm \theta_p \quad (1-10)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o \mp \theta_p \quad (1-11)$$

当安装位置偏高时，用上边符号；当安装位置偏低时，用下边符号。而在车、镗内孔时，切削刃上选定点安装位置高低引起的工作角度变化和车外圆刚好相反。

（2）刀杆位置的影响。如图 1-10 所示，刀杆轴线在基面 P_r 内不垂直于进给运动方



向,则直接引起工作主偏角 κ_{re} 和工作副偏角 κ'_r 的变化,即

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm G \quad (1-12)$$

$$\kappa'_r = \kappa'_r \mp G \quad (1-13)$$

式中: G ——刀杆中心线与进给运动方向垂线的夹角。

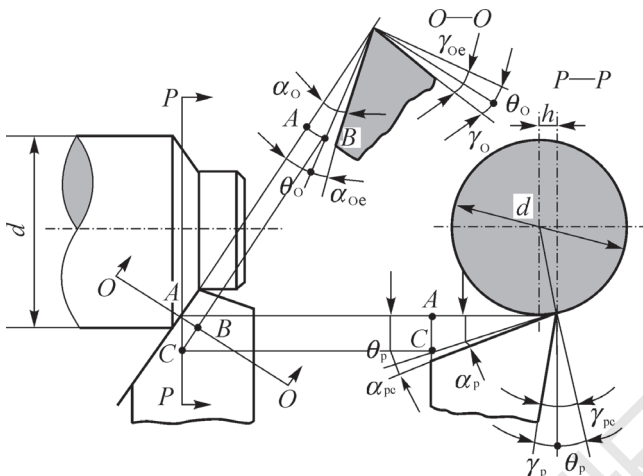


图 1-9 刀具安装偏高对工作角度的影响

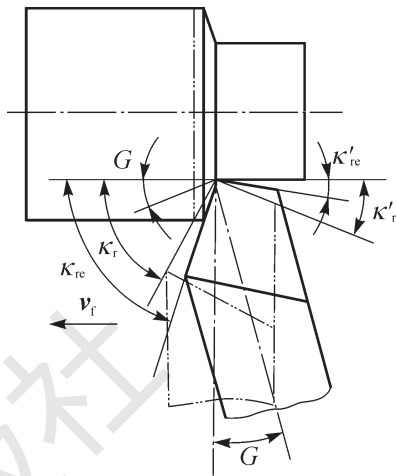


图 1-10 刀杆安装位置对工作角度的影响

此外,若刀杆轴线在背平面 P_p 内倾斜,则直接引起工作刃倾角 λ_{se} 的变化。由不同参考系下的角度换算公式可知,主偏角和刃倾角的变化,必将引起各坐标平面中的前角和后角相应变化,只是这种变化是间接的,变化量也比较小。

职业技能知识点考核

- 车刀刃磨程序:先磨(),然后磨(),最后磨()。
A. 主、副后刀面 B. 前刀面 C. 刀尖圆弧 D. 底面
- 加工阶梯轴外圆车刀, $\gamma_0 = 20^\circ$, $\alpha_0 = 8^\circ$, $\alpha'_0 = 5^\circ$, $\kappa_r = 60^\circ$, $\kappa'_r = 10^\circ$, $\lambda_s = 5^\circ$ 。
画图标出该车刀的标注角度,并计算刀尖角 ε_r 、楔角 β_0 。
- 根据刀具工作的具体条件说明刀具应具备的性能。
- 刀尖角 $\varepsilon_r = 180^\circ - (\quad)$,主、副偏角在 $\quad$ 内度量。
- 车削()材料时,车刀可选择较大的前角。
A. 塑性 B. 脆性 C. 软 D. 硬
- 减小()可以减小工件的表面粗糙度。
A. 主偏角 B. 副偏角 C. 刀尖角 D. 刃倾角
- 前角有什么功用?如何选择车刀的前角?

任务三 刀具材料的选择

任务描述

性能优良的刀具材料是保证刀具高效工作的基本条件。刀具材料选择不当,则无论刀具结构如何先进、几何参数如何合理,都是无法正常工作的。在车床上以 70 m/min 的切削速度精加工如图 1-11 所示的零件,已知零件材料为 45 钢,为该任务选用合理的刀具材料。

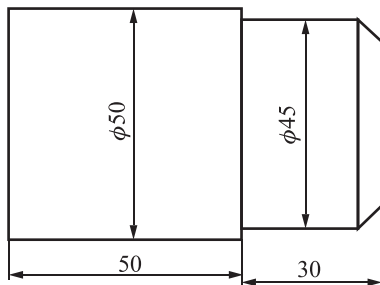


图 1-11

任务目标

- 能够根据具体加工情况选择不同牌号的刀具材料
- 能识别常用刀具材料(如高速钢、硬质合金)
- 培养学生良好的自我学习及信息获取能力

任务分析

刀具切削性能的好坏,主要取决于刀具材料的切削性能的优劣和刀具切削部分的结构与几何参数的选择是否合理。通常所说的刀具材料是指刀具切削部分直接承担金属切除任务的材料,它的性能直接影响刀具的耐用度和生产率的高低、刀具消耗和成本的多少、加工精度和表面质量的优劣等,它是保证刀具高效工作的基本条件。

任务实施

1. 完成技能知识点的填空。

(1) 刀具材料应具备以下几方面性能:() () () ()。

注意:上述几项性能之间可能相互矛盾(如硬度高的刀具材料,其强度和韧性较低)。没有一种刀具材料能具备所有性能的最佳指标,而是各有所长。所以在选择刀具材料时应合理选用。

(2) 刀具材料可分为() (包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢)、()、()等。目前广泛应用的刀具材料有()和()。



2. 根据加工任务选择刀具材料。

在任务中要求精加工一个 45 钢零件,且切削速度为 70 m/min。因为其要求高速车削,所以选择硬质合金作刀具材料较为适宜。又由于工件材料为 45 钢,所以最好选择 YT 硬质合金作为刀具材料。

3. 习题:要求以 50 m/min 的切削速度粗加工一个铸铁件,试选择恰当的刀具牌号。



知识链接

刀具材料可分为工具钢(包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢)、硬质合金、陶瓷和超硬材料等。目前广泛应用的刀具材料有高速钢和硬质合金。随着生产率的不断提高和难加工材料的日益广泛应用,也不断涌现出如陶瓷、立方氮化硼以及金刚石(人造)等超硬刀具材料。



刀具材料

一、刀具材料应具备的性能

刀具在切削过程中,和工件直接接触的切削部分要承受很大的切削力,尤其是切削刃及紧邻的前、后刀面,长期处在切削高温环境中工作。并且切削中的各种不均匀、不稳定因素,还将对刀具切削部分造成不同程度的冲击和振动。例如,切削钢材时,切屑对前刀面的挤压应力高达 $2 \sim 3 \text{ GPa}$;高速切削钢材时切屑与前刀面接触区的温度常保持在 $800 \sim 900 \text{ }^{\circ}\text{C}$,中心区甚至超过 $1\,000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。为了适应如此繁重的切削负荷和恶劣的工作条件,刀具材料应具备以下几方面性能:

(一) 高的硬度和耐磨性

硬度是刀具材料应具备的基本性能。刀具硬度应高于工件材料的硬度,常温硬度一般须在 60 HRC 以上。耐磨性是指材料抵抗磨损的能力,它与材料硬度、强度和组织结构有关。材料硬度越高,耐磨性越好;组织中碳化物和氮化物等硬质点的硬度越高、颗粒越小、数量越多且分布越均匀,则耐磨性越高。

(二) 足够的强度与韧性

切削时刀具要承受较大的切削力、冲击和振动,为避免崩刀和折断,刀具材料应具有足够的强度和韧性。

(三) 较高的耐热性和传热性

耐热性是指刀具材料在高温下保持足够的硬度、耐磨性、强度和韧性、抗氧化性、抗黏结性和抗扩散性的能力(亦称为热稳定性)。通常把材料在高温下仍保持高硬度的能力称为热硬性(亦称为高温硬度、红硬性),它是刀具材料保持切削性能的必备条件。刀具材料的高温硬度越高、耐热性越好,允许的切削速度越高。

刀具材料的传热系数越大,越有利于将切削区的热量传出,降低切削温度。

（四）较好的工艺性和经济性

为了便于刀具加工制造，刀具材料要有良好的工艺性能，如热轧、锻造、焊接、热处理和机械加工等性能。刀具材料的选用应立足于本国资源，注重经济性，力求价格低廉。

应当指出，上述几项性能之间可能相互矛盾（如硬度高的刀具材料，其强度和韧性较低）。没有一种刀具材料能具备所有性能的最佳指标，而是各有所长。所以在选择刀具材料时应合理选用。

二、工具钢

（一）碳素工具钢

碳素工具钢是含碳量为 0.65% ~ 1.3% 的优质碳素钢，常用钢号有 T7A、T8A、T10A、T12A 等。这类钢工艺性能良好，经适当热处理，硬度可达 60 HRC ~ 64 HRC，有较高的耐磨性，价格低廉。最大缺点是热硬性差，在 200 ~ 300 °C 时硬度开始降低，故允许的切削速度较低（5 ~ 10 m/min）。因此，只能用于制造手用刀具、低速及小进给量的机用刀具。

（二）合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢中加入适当的元素铬（Cr）、硅（Si）、钨（W）、锰（Mn）、钒（V）等炼制而成的（合金元素总含量一般不超过 3% ~ 5%），提高了刀具材料的韧性、耐磨性和耐热性。其耐热温度高达 325 ~ 400 °C，所以切削速度（10 ~ 15 m/min）比碳素工具钢提高了。合金工具钢用于制造细长的或截面积大、刃形复杂的刀具，如铰刀、丝锥和板牙等。

（三）高速钢

高速钢是富含 W、Cr、Mo（钼）、V 等元素的高合金含量工具钢。在工厂中常称为白钢或锋钢。

与碳素工具钢、合金工具钢相比，高速钢突出的性能特点是热硬性很高，在切削温度高达 500 ~ 650 °C 时，仍能保持 60 HRC 的高硬度，因此允许切削速度可提高 1 ~ 2 倍（25 ~ 30 m/min）。同时，高速钢还具有较高的耐磨性以及较高的强度和韧性。

与硬质合金相比，高速钢的最大优点是可加工性好并具有良好的综合力学性能。高速钢的退火硬度为 207 ~ 255 HBS，与优质中、高碳钢的退火硬度相近，能够用一般材料刀具顺利切削、加工出各种复杂形状；在加热状态下（900 ~ 1 100 °C）能反复锻打制成所需的毛坯；高速钢的抗弯强度是硬质合金的 3 ~ 5 倍，冲击韧性是硬质合金的 6 ~ 10 倍；经过仔细研磨，高速钢的刀具钝圆半径可小于 15 μm，其锋利性比硬质合金优良。表 1-2 列出了常用高速钢的种类、牌号及主要性能。



表 1-2 常用高速钢的种类、牌号及主要性能

钢 号	牌 号	硬度 /HRC			抗弯强度 /GPa	冲击值 / (MJ/m ²)
		常温	500 °C	600 °C		
普 通	W18Cr4V	63 ~ 66	56	48.5	2.94 ~ 3.33	0.172 ~ 0.331
高速钢	W6Mo5Cr4V2	63 ~ 66	55 ~ 56	47 ~ 48	3.43 ~ 3.92	0.294 ~ 0.392
高性 能高 速钢	高碳	95W18Cr4V3	67 ~ 68	59	≈ 2.92	0.166 ~ 0.216
	高钒	W6MoCr4V3	65 ~ 67	—	≈ 3.136	≈ 0.245
	含钴	W6Mo5Cr4V2Co8	66 ~ 68	—	≈ 2.92	≈ 0.294
		W2Mo9Cr4VCo8	67 ~ 70	60	2.65 ~ 3.72	0.225 ~ 0.294
	含铝	W6Mo5Cr4V2Al	67 ~ 69	60	2.84 ~ 3.82	0.225 ~ 0.294
		W10Mo4Cr4V3Al	67 ~ 69	60	3.04 ~ 3.43	0.196 ~ 0.274

综上所述,高速钢的切削性能比工具钢好得多,而可加工性能又比硬质合金好得多。因此到目前为止,高速钢仍是世界各国制造复杂、精密和成形刀具的基本材料,是应用最广泛的刀具材料之一。

三、硬质合金

(一) 硬质合金的组成与特点

硬质合金是将一些难熔的、高硬度的合金碳化物的微米数量级粉末与金属黏结剂按粉末冶金工艺制成的刀具材料。常用的合金碳化物有 WC、TiC、TaC、NbC 等,常用的黏结剂有 Co 以及 Mo、Ni 等。

合金碳化物是硬质合金的主要成分,具有高硬度、高熔点和化学稳定性好等特点。因此,硬质合金的硬度、耐磨性、耐热性均超过高速钢,切削温度达 800 ~ 1 000 °C 时仍能进行切削,且切削速度可提高 4 ~ 10 倍。其缺点是抗弯强度低,为 W18Cr4V 的 1/4 ~ 1/2;冲击韧性差,为 W18Cr4V 的 1/4 ~ 1/3。由于硬质合金的常温硬度很高,除磨削外,很难采用切削加工方法制造出复杂的形状结构,故可加工性差。

硬质合金的性能取决于化学成分、碳化物粉末的粗细及其烧结工艺。碳化物含量增加时,则硬度增高,抗弯强度降低,适于粗加工。黏结剂含量增加时,则抗弯强度增高,硬度降低,适于精加工。

(二) 常用硬质合金的分类、性能及应用

硬质合金按化学成分可分为四类:钨钴类(YG 类)、钨钴钛类(YT 类)、含添加剂的硬质合金(YW 类)、TiC 基硬质合金(YN 类)。其中前面三类的主要成分为 WC,可统称为 WC 基硬质合金。

(1) 钨钴类硬质合金。这类合金的常用牌号有 YG3、YG6X 和 YG8 等。YG 代表钨钴类硬质合金,后面的数字表示 Co 的含量,如 YG6 表示含钴 6%。细颗粒的硬质合金有较高的抗弯强度和耐磨性,一般硬质合金(如 YG6 等)均是中等颗粒。

YG 类硬质合金主要用于加工形成短切屑的铸铁、有色金属及非金属等脆性材料。

加工铸铁等脆性材料时，切屑呈崩碎状，对切削刀的冲击较大，切削力与切削热都集中在刀尖附近。而 YG 类硬质合金抗弯强度和韧性及导热性较高，故可满足要求。

(2) 钨钴钛类硬质合金。这类硬质合金常用牌号有 YT5、YT14、YT15 和 YT30 等。YT 代表钨钴钛类硬质合金，数字表示 TiC 的含量，如 YT15 中 TiC 含量为 15%。与 YG 类硬质合金相比，YT 类硬质合金中由于含有硬度较高的 TiC，故该类硬质合金的硬度、耐磨性和抗氧化能力较强，但其导热性能、抗弯强度和韧性、可磨削性和可焊性较低。

YT 类硬质合金主要用于加工形成长屑的钢材等塑性材料。通常，粗加工时选用韧性较高（含 Co 量较多）的硬质合金；精加工时选用硬度较高（含 Co 量较少）的硬质合金。

当加工淬硬钢、高强度钢和奥氏体不锈钢等难加工材料时，由于切削力大，且集中在切削刃附近，如选用 YT 类硬质合金易造成崩刃，故选用 YG 类硬质合金更为合适。

(3) 含添加剂的硬质合金。它是在 YG 类、YT 类硬质合金的基础上加入适当的添加剂（合金碳化物 TaC、NbC）所形成的硬质合金新品种。这类硬质合金有 YA6、YW1 和 YW2 等几种，其中 YW 类又称为通用硬质合金。这类硬质合金较 YG 类和 YT 类硬质合金有更高的硬度、高温硬度、韧性及耐磨性，故主要用于钢料和难加工材料的半精加工和精加工。

(4) TiC 基硬质合金。TiC 基硬质合金是以 TiC 为主体，Ni 与 Mo 为黏结剂，并加入少量其他碳化物而形成的一种硬质合金。这类硬质合金的典型牌号是 YN10 和 YN05。TiC 基硬质合金具有比 WC 基硬质合金更高的耐磨性、耐热性和抗氧化能力，其主要缺点是热导率低和韧性较差。YN 类硬质合金适用于工具钢的半精加工和精加工及淬硬钢的加工。

由上可知，各种硬质合金的性能有所不同，只有根据具体条件合理选用，才能发挥硬质合金的效能。各种硬质合金的应用范围见表 1-3。

表 1-3 硬质合金的应用范围

牌号	使用说明	使用场合
YG3X	属细颗粒合金，是 YG 类合金中耐磨性最好的一种，但冲击韧性差	铸铁、有色金属的加工，合金钢、淬火钢及钨等材料精加工
YG6X	属细颗粒合金，耐磨性优于 YG6，强度接近 YG6	铸铁、冷硬铸铁、合金铸铁、耐热钢、合金钢的半精加工、精加工
YG6	耐磨性较好，抗冲击能力优于 YG3X、YG6X	铸铁、有色金属及合金、非金属的粗加工，半精加工
YG8	强度较高，抗冲击性能较好，耐磨性较差	铸铁、有色金属及合金的粗加工，可断续切削
YT30	YT 类合金红硬性和耐磨性最好，但强度低，不耐冲击，易产生焊接和磨刀裂纹	碳钢、合金钢连续切削时的精加工



续表

牌号	使用说明	使用场合
YT15	耐磨性和红硬性较好, 但抗冲击能力差	碳钢、合金钢连续切削时的半精加工和精加工
YT14	强度和冲击韧性较高, 但耐磨性和红硬性低于 YT115	碳钢、合金钢连续切削时的粗加工, 半精加工和精加工
YT5	它是 YT 类合金中强度冲击韧性最好的一种, 不易崩刃但耐磨性差	碳钢、合金钢连续切削时的粗加工, 可用于断续切削
YG6A	属细颗粒合金, 耐磨性和强度 YG6X 相近	硬铸铁、球铸铁、有色金属及合金、高锰钢、合金钢、淬火钢的半精加工、精加工
YG8A	属中颗粒合金, 强度较好, 红硬性较差	硬铸铁、球铸铁、白口铁、有色金属及合金, 不锈钢的粗加工、半粗加工
YW1	红硬性和耐磨性较好, 耐冲击, 通用性较好	不锈钢、耐热钢、高锰钢及其他难加工材料的半精加工、粗加工
YW2	红硬性和耐磨性低于 YW1, 但强度和抗冲击韧性较高	不锈钢、耐热钢、高锰钢及其他难加工材料的半精加工、粗加工

四、其他刀具材料

(一) 陶瓷材料

陶瓷材料是以氧化铝为主要成分在高温下烧结而成的。刀具材料常用的陶瓷有纯 Al_2O_3 陶瓷和 $\text{TiC}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 混合陶瓷两种。

陶瓷材料优点是: 有很高的硬度和耐磨性; 有很好的耐热性, 在 $1\,200\text{ }^\circ\text{C}$ 高温下仍能进行切削; 有很好的化学稳定性和较低的摩擦因数, 抗扩散和抗黏结能力强。

陶瓷刀具最大的缺点是强度低、韧性差, 抗弯强度仅为硬质合金的 $1/3 \sim 1/2$; 导热系数低, 仅为硬质合金的 $1/5 \sim 1/2$ 。

陶瓷刀具适用于钢、铸铁及塑性大的材料(如紫铜)的半精加工和精加工。对于冷硬铸铁、淬硬钢等高硬度材料加工特别有效, 但不适于机械冲击和热冲击大的加工场合。

(二) 金刚石

金刚石刀具有三种: 天然单晶金刚石刀具、人造聚晶金刚石刀具和金刚石复合刀具。天然金刚石由于价格昂贵等原因, 应用很少。人造金刚石是在高温高压和其他条件配合下由石墨转化而成。金刚石复合刀片是在硬质合金基体上烧结一层厚度约 0.5 mm 的金刚石, 形成了金刚石与硬质合金的复合刀片。

金刚石刀具有很好的耐磨性, 可用于加工硬质合金、陶瓷和高铝硅合金等高硬度、高耐磨材料, 刀具耐用度比硬质合金提高几倍甚至几百倍; 金刚石有非常锋利的切削刃, 能切下极薄的切屑, 加工冷硬现象较少; 金刚石抗黏结能力强, 不产生积屑瘤, 很适于精密加工。但其耐热性差, 切削温度不得超过 $700\text{ }^\circ\text{C} \sim 800\text{ }^\circ\text{C}$; 强度低、脆性大, 对振动很敏感, 只宜微量切削; 与铁的亲和力很强, 不适于加工黑色金属材料。

金刚石目前主要用于磨具及磨料，作为刀具多在高速下对有色金属及非金属材料进行精细切削。

（三）立方氮化硼

立方氮化硼(CBN)是由六方氮化硼在高温高压下加入催化剂转变而成的，是20世纪70年代出现的新材料，硬度高达8 000～9 000 HV，仅次于金刚石，耐热性却比金刚石好得多，在高于1 300℃时仍可切削，且立方氮化硼的化学惰性大，与铁系材料在1 200～1 300℃高温下也不易起化学作用。因此，立方氮化硼作为一种新型超硬磨料和刀具材料，用于加工钢铁等黑色金属，特别是加工高温合金、淬火钢和冷硬铸铁等难加工材料，具有非常广阔的发展前景。

（四）涂层刀片

涂层刀片是在韧性和强度较高的硬质合金或高速钢的基体上，采用化学气相沉积(CVD)、物理化学气相沉积(PVD)、真空溅射等方法，涂覆一薄层(5～12 μm)颗粒极细的耐磨、难熔、耐氧化的硬化物(TiC、TiN、TiC-Al₂O₃)后获得的新型刀片。

涂层刀片具有较高的综合切削性能，适合于各种钢材、铸铁的半精加工和精加工，也适合于负荷较小的精加工。涂层硬质合金刀具的耐用度较普通刀具至少可以提高1～3倍，涂层高速钢刀具的耐用度则可以提高2～10倍。加工材料的硬度越高，则涂层刀片的效果越好。

职业技能知识点考核

1. 根据刀具工作的具体条件说明刀具应具备的性能。
2. T8A、W18Cr4V、YT15和YG8各属于何种刀具材料？适于加工何种工件材料？应用于什么场合？
3. 试按下列条件选择刀具材料或牌号。

(1) 45钢锻件粗车()	(2) 200铸件精车()		
(3) 低速精车合金钢蜗杆()	(4) 高速精车调质钢长轴()		
(5) 中速车削淬硬钢轴()	(6) 加工冷硬铸铁()		
A.YG3X	B.W18Cr4V	C.YT5	D.YN10
E.YG8	F.YG6X	G.YT30	

任务四

··· 金属切削加工中主要现象的认识

任务描述

金属切削过程是指从工件表面切除多余金属形成已加工表面的过程，即切削的形成过程。伴随着切削的形成，产生切削变形、积屑瘤、表面硬化、切削力、切削热和



刀具磨损等现象。调研金属加工中的现象,对这些现象进行研究,揭示其机理,探索和掌握金属切削过程的基本规律。

任务目标

- 认识切削的形成及其分类,能在实际加工中采取有效的断屑措施
- 能合理利用与控制积屑瘤
- 能了解金属切削过程的基本物理现象及其变化规律
- 认识切削力的来源及分解
- 培养学生追求真理、勇于探究与实践的科学精神

任务分析

金属切削过程是指将工件上多余的金属层,通过切削加工被刀具切除成为切屑从而得到所需要的零件几何形状的过程。在这一过程中,始终存在着刀具切削工件和工件材料抵抗切削的矛盾,从而产生一系列现象,如切削变形、切削力大小变化、切削热与切削温度以及有关刀具的磨损与刀具寿命、卷屑与断屑等。通过现象的分析,认识切削加工的本质和规律,从而主动地加以有效的控制,对保证加工精度和表面质量,提高切削效率,降低生产成本和劳动强度具有十分重大的意义。

任务实施

在调研中发现切削加工 20 钢圆棒料时,有时会产生断屑困难,加工后表面粗糙度达不到要求,试分析为什么会出现这种情况,以及避免这种情况出现的措施。

分析如下:切削时刀具挤压切削层,使之与工件分离变成切屑,获得所需的表面,这个过程为切削过程。切削的形状与切削力引起的分离层金属变形情况有关,加工后表面粗糙度达不到要求与积屑瘤的形成有关,积屑瘤的形成与切削温度有关。

1. 断屑困难的主要原因。

- (1) 20 号钢,金属塑性好,不易断裂。
- (2) 切屑变形不够大,切屑内的剪切应力小于材料的强度极限,切屑不会断裂。
- (3) 加工塑性金属如碳钢、合金钢等,当切削厚度较小、切削速度较高、刀具前角较大时,一般常得到这类切屑。

避免措施:

- (1) 改善工件的切削加工性能,通过正火提高硬度,降低塑性。
- (2) 减少前角或在前刀面上开断屑槽、适当增加切削厚度、降低切削速度,加大切屑变形程度。

2. 加工后表面粗糙度达不到要求的主要原因。

在中速切削低碳钢等塑性较好的金属材料时产生了积屑瘤。积屑瘤的产生改变了背吃刀量, 由于积屑瘤是周期性产生的, 所以是变化的, 就可能引起振动, 影响加工精度和粗糙度。此处积屑瘤破碎后, 碎片会黏附在工件已加工表面上, 影响工件表面粗糙度和质量。

在精加工时防止产生积屑瘤, 可采取下列措施:

- (1) 避免采用产生积屑瘤的速度切削, 即宜采用低速或高速切削。
- (2) 采用润滑性能良好的切削液, 减少摩擦。
- (3) 采用大前角刀具切削, 以减少刀具与切屑接触的压力。
- (4) 提高工件硬度, 减少加工硬化倾向。

知识链接



金属切削过程

一、切削变形

毛坯上多余的金属被切除下来, 从而形成具有所需形状和精度的合格零件。那么这个切削的过程究竟是怎样实现的呢? 过去人们曾认为像斧子劈开木材那样, 刀具是将工件金属劈开的。直到 19 世纪末, 在大量实验的基础上人们发现, 金属切削过程实质是指通过切削运动, 材料受到刀具前刀面挤压后, 产生弹性变形、塑性变形和剪切滑移, 使切削层与母体断裂分离, 最终形成切屑和已加工表面的过程。

(一) 切屑的形成及变形区的划分

如图 1-12 所示, 图中未变形的切削层 $AGHD$ 可看成是由许多个平行四边形组成的, 如 $ABCD$ 、 $BEFC$ 、 $EGHF$ ……当这些平行四边形受到前刀面推挤时, 便沿着 BC 方向向斜上方滑移, 形成另一些平行四边形, 即 $ABCD \rightarrow A'B'C'D'$ 、 $BEFC \rightarrow B'E'F'C'$ 、 $EGHF \rightarrow E'G'H'F'$ ……由此可以看出, 金属切削过程是切削层金属在刀具的前刀面推挤下, 发生以剪切滑移为主的塑性变形而形成切屑的过程。

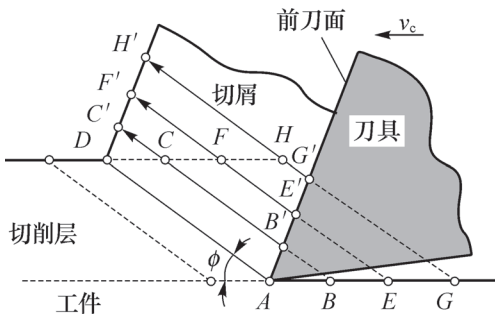


图 1-12 切削过程示意图

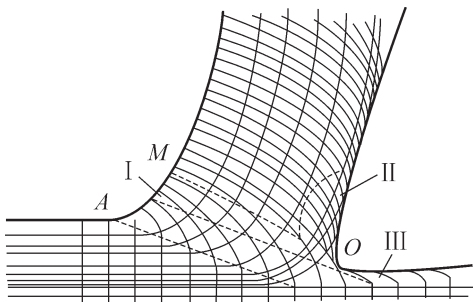


图 1-13 金属切削过程中的流线与三个变形区示意图

根据如图 1-13 所示的金属切削过程中的流线, 即被切削金属的某一点在切削过程



中流动的轨迹,可以大致划分出三个变形区。

(1) 第一变形区。材料在刀具前刀面挤压作用下,从图中 OA 线开始发生塑性变形,到 OM 线晶粒的剪切滑移基本完成,这一区域称为第一变形区(I),亦称剪切区。

(2) 第二变形区。切屑沿前刀面滑移排出时紧贴前刀面的底层金属进一步受到前刀面的挤压阻滞和摩擦,再次剪切滑移变形而纤维化,其方向基本上和前刀面平行,这一区域称为第二变形区(II),亦称摩擦变形区。

(3) 第三变形区。已加工表面受到切削刃钝圆部分和后刀面的挤压、摩擦与回弹,造成纤维化与加工硬化。这一区域的格子线变形也是较密集的,称为第三变形区(III)。

这三个变形区汇集在切削刃附近,该处应力比较集中而且复杂,被切金属在此与材料本体分离形成切屑和已加工表面。

(二) 衡量切屑变形程度的方法

切削变形是材料微观组织的动态变化过程,因此,变形量的计算很复杂,但为研究切削变形的规律,通常用相对滑移 ε 、变形系数 ξ 和剪切角 ϕ 的大小来衡量切削变形程度。

影响切削变形的主要因素:

(1) 工件材料。工件材料的强度和硬度越高,塑性越小,则变形越小。

(2) 前角。增大前角 γ_0 , 变形减小。

(3) 切削速度。如图 1-14 所示。在产生积屑瘤的速度范围内 ($3 \sim 20 \text{ m/min}$), 积屑瘤的高度随切削速度的增加而增高,使刀具实际前角增大,变形逐渐减小;超过此范围时 ($v \approx 20 \text{ m/min}$), 积屑瘤逐渐消失,刀具实际前角减小,变形增大;速度更高时 ($v > 40 \text{ m/min}$), 切削温度随切削速度增大而增高,摩擦减小,故变形减小。

(4) 进给量。改变进给量 f 实际是改变了切削厚度。切削厚度增大能使摩擦系数 μ 减小,引起剪切角 ϕ 增大,使变形减小。

(三) 积屑瘤

切削钢、球墨铸铁和铝合金等塑性金属时,在切削速度不高,而又能形成带状切屑的情况下,常有一些从切屑和工件上来的金属冷焊(黏结)并层积在前刀面上,形成硬度很高的楔块,它能够代替刀面和切削刃进行切削,这个楔块称为积屑瘤,如图 1-14 所示。可以看到积屑瘤包围着切削刃,并将前刀面和切屑隔离开来。积屑瘤具有比工件材料和切屑都高的硬度,积屑瘤硬度可达工件材料硬度的 $3 \sim 4$ 倍。

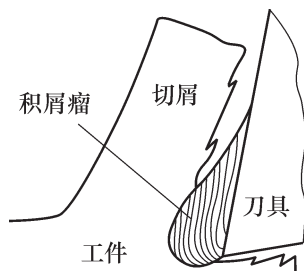


图 1-14 积屑瘤

切削速度不同,积屑瘤所能达到的最大尺寸也是不同的。切削速度与积屑瘤高度的关系如示意图 1-15 所示。根据积屑瘤的有无以及积屑瘤高度的增长情况,可以把切削速度划分为四个区域。在 I 区里形成粒状切屑或节状切屑,这时没有积屑瘤出现。在 II 区里形成带状切屑,有积屑瘤生成。积屑瘤的高度随着切削速度的提高而增大,

同时积屑瘤前端越来越像楔子,越来越深入地楔入切削层与工件之间。当切削速度增大到Ⅱ区的右边界时,积屑瘤的高度达到最大值。在Ⅲ区里,积屑瘤的高度随着切削速度的提高逐渐减小,而且积屑瘤的顶部逐渐趋于与前刀面平行。当 v_c 增大到Ⅲ区右边界之值时,积屑瘤便消失。在Ⅳ区里积屑瘤不再生成,此时切屑底层高度纤维化,纤维的方向几乎与前刀面平行。这样的切屑底层称为滞流层。

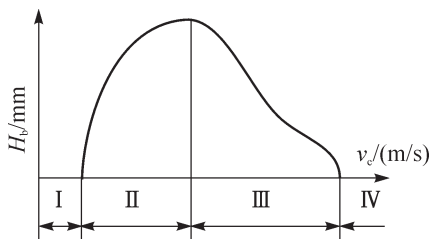


图 1-15 v_c-H_b 关系曲线

从实验得知,在不同的切削用量、工件材料和刀具几何参数情况下,对应于积屑瘤出现和消失的切削速度是不相同的,积屑瘤所能达到的高度也不一样。例如,强度较高的金属在切削速度非常低的情况下也有积屑瘤形成,甚至没有Ⅰ区。

一般来说,塑性材料的加工硬化倾向愈强,愈易产生积屑瘤;当温度与压力较低时,不会产生积屑瘤;当温度较高时,产生弱化作用,也不会产生积屑瘤。对于碳素钢来说,约在 $300 \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时积屑瘤最高,到 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时趋于消失。

积屑瘤的特点:

- (1) 化学性质与工件材料相同,说明积屑瘤来自于工件材料(切屑底层)逐渐堆积。
- (2) 硬度是工件材料的 $3 \sim 4$ 倍,稳定时可代替刀刃进行切削。
- (3) 积屑瘤是一个动态结构,不稳定,产生、成长、脱落反复进行。

积屑瘤对加工的影响有以下几个方面:

(1) 稳性的积屑瘤可以代替切削刃和前刀面进行切削,从而保护切削刃和前刀面,减少刀具的磨损。

(2) 积屑瘤的存在使刀具在切削时具有更大的实际前角,减小了切屑的变形,并使切削力下降。

(3) 积屑瘤具有一定的高度,其前端伸出切削刃之外,如图 1-16 所示,使实际的切削厚度增大。

(4) 在切削过程中积屑瘤是不断地生长和破碎的,所以积屑瘤的高度也是在不断地变化的,从而也导致了实际切削厚度不断地变化,引起局部过切,使零件的表面粗糙度增大。同时部分积屑瘤的碎片会嵌入已加工表面,影响零件表面质量。

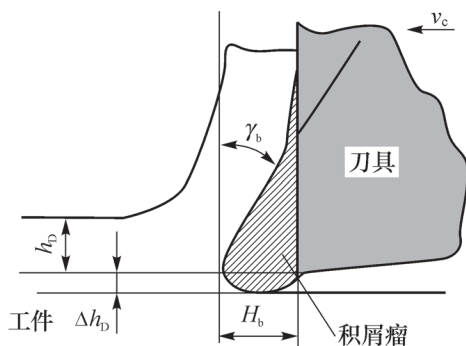


图 1-16 积屑瘤前角 γ_b 和伸出量 Δh_b



(5) 不稳定的积屑瘤不断地生长、破碎和脱落, 积屑瘤脱落时会剥离前刀面上的刀具材料, 造成刀具的磨损加剧。

积屑瘤对加工的影响有利有弊, 弊大于利, 精加工时应尽量避免。常用的方法有:

(1) 选择低速或高速加工, 避开容易产生积屑瘤的切削速度区间。例如, 高速钢刀具采用低速宽刀加工, 硬质合金刀具采用高速精加工。

(2) 采用冷却性和润滑性好的切削液, 减小刀具前刀面的粗糙度等。

(3) 增大刀具前角, 减小前刀面上的正压力。

(4) 采用先预热处理, 适当提高工件材料硬度、降低塑性, 减小工件材料的加工硬化倾向。

(四) 切屑的基本类型

由于工件材料不同, 切削条件不同, 切削过程中的变形程度也就不同, 因而所产生的切屑种类也就多种多样。归纳起来, 可分为以下四种类型, 如图 1-17 所示。从左到右依次为带状切屑、节状切屑、粒状切屑及崩碎切屑。

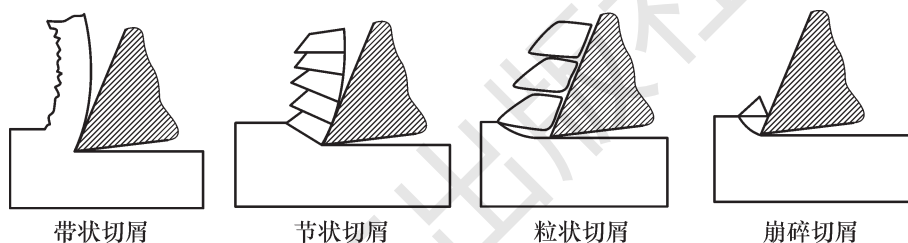


图 1-17 切屑的类型

1. 带状切屑。

带状切屑是最常见的一种切屑。它的内表面是光滑的, 外表面是毛茸的。用显微镜观察, 在外表面就可以看到剪切面的条纹, 但每个单元很薄, 用肉眼看起来大体上是平整的。一般在加工塑性大的金属材料时, 采用较小的切削厚度和较高的切削速度, 在刀具前角较大时往往得到的是这类切屑。它的切削过程比较平稳, 切削力波动较小, 已加工表面粗糙度较小, 但容易划伤工件。

2. 节状切屑。

节状切屑又称挤裂切屑。外形和带状切屑不同之处在于外表面呈锯齿形, 有明显裂痕, 内表面有时有裂纹, 并未断开。这种切屑在加工中等塑性金属材料时, 切削速度较低, 切削厚度较大, 并在较小刀具前角的情况下产生。它的切削力波动较大, 已加工表面粗糙度较高。

3. 粒状切屑。

在切屑可塑性差的金属时, 如果整个剪切面上切应力超过了材料的破裂强度, 则整个单元被切离, 成为梯形的粒状切屑。由于各粒形状相似, 所以又被称为单元切屑。它是在加工塑性更差的金属时, 使用更低的切削速度、更大的切削厚度、更小的刀具

前角的情况下产生的。它的切削力波动更大，已加工表面粗糙度更高，甚至有鳞片状毛刺出现。

4. 崩碎切屑。

切削脆性金属时，由于材料的塑性很小、抗拉强度较低，刀具切入后，切削层内靠近切削刃和前刀面的局部金属未经明显的塑性变形就在拉应力作用下脆断，形成不规则的碎块状切屑。工件材料越是硬脆，切削厚度越大时，越容易产生这类切屑。崩碎切屑的切削力波动越大，已加工表面越容易凹凸不平，容易造成刀具损坏，对机床不利。

前三种切屑是在切削塑性金属时得到的。在生产中一般最常见到的是带状切屑，当切削厚度大时得到节状切屑，粒状切屑比较少见。在形成节状切屑的情况下，进一步减小前角，或加大切削厚度，就可以得到粒状切屑。反之，如果加大前角，提高切削速度，减小切削厚度，则可得到带状切屑。这说明切屑的形态是可以随切削条件的变化而转化的。

（五）切屑的控制

影响切屑的处理和运输的主要因素是切屑的形状，随着工件材料、刀具几何形状和切削用量的差异，所生成的切屑的形状也会不同。切屑的形状大体有带状屑、C形屑、崩碎屑、螺卷屑、长紧卷屑、发条状卷屑和宝塔状卷屑等，如图 1-18 所示。

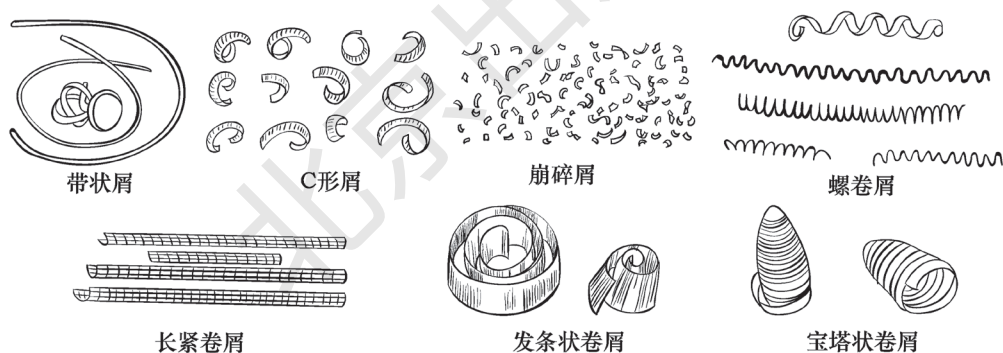


图 1-18 切屑的各种形状

车削一般碳钢和合金钢工件时，采用带卷屑槽的车刀易形成 C 形屑。C 形屑不会缠绕在工件或刀具上，也不易伤人，是一种比较好的屑形。但 C 形屑多数是碰撞在车刀后刀面或工件表面上折断的，如图 1-19 所示，切屑高频率的碰撞和折断会影响切削过程的平稳性，对工件已加工表面的粗糙度也有一定的影响。所以，精车时一般多希望形成长螺卷屑，如图 1-20 所示，使切削过程比较平稳。

由此可见，切削加工的具体条件不同，要求切屑的形状也应有所不同。脱离具体条件，孤立地评论某一种切屑形状的好坏是没有实际意义的。



图 1-19 C 形屑折断过程

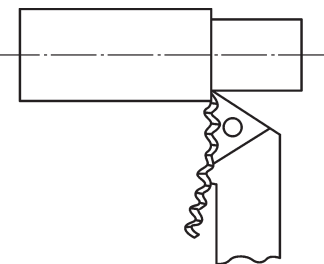
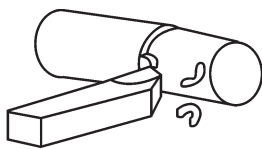
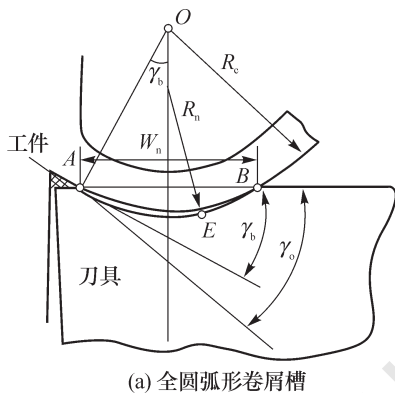
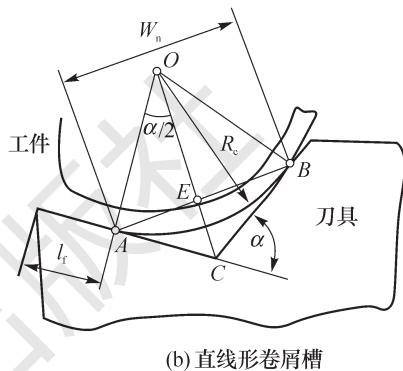


图 1-20 精车时的长螺卷屑

控制断屑最常用的方法,是在前刀面上磨制断屑槽,或在刀具前面安装断屑器。断屑槽的形状如图 1-21 所示。



(a) 全圆弧形卷屑槽



(b) 直线形卷屑槽

图 1-21 断屑槽的形状

断屑槽的形式有折线形、直线圆弧形、全圆弧形三种。

折线形和直线圆弧形断屑槽适用于切削碳钢、合金钢、工具钢等,一般前角 γ_o 为 $5^\circ \sim 15^\circ$ 。全圆弧形适用于切削紫铜、不锈钢等高塑性材料,前角 γ_o 可增大到 $25^\circ \sim 30^\circ$ 。

影响断屑的因素还有工件材料、刀具角度和切削用量等。

- (1) 被切削材料的屈服极限强度越小,则弹性恢复少,越易折断。
- (2) 被切削材料的弹性模量大时,容易折断。
- (3) 被切削材料塑性越低,越容易折断。
- (4) 切削厚度 a_c 越大,则应力增大,容易断屑,而薄切屑则难断。
- (5) 背吃刀量 a_p 增加,则断屑困难增大。
- (6) 切削速度 v 提高时,断屑效果降低。
- (7) 刀具前角 γ_o 越小,切屑变形越大,容易折断。

二、切削力和切削功率

在切削过程中,切削层金属之所以会产生变形,主要在于刀具给予力的作用,这个作用在工件或刀具上的力就叫切削力。切削力使切削层金属产生变形,这个过程消耗了功,产生了切削热,使刀具磨损变钝,影响已加工表面质量和生产效率,同时,

切削力也是机床电动机功率选择、机床主运动和进给运动机构设计的主要依据。切削力的大小，可以作为衡量工件和刀具材料的切削加工性指标之一，也可以作为切削加工过程适应控制的可控因素。

（一）切削力的来源

切削加工时，工件材料抵抗刀具切削所产生的阻力称为切削力。它与刀具作用在工件上的力大小相等，方向相反。

可以知道，切削力来源于两个方面：一是切削层金属、切屑和工件表面层金属的弹性变形、塑性变形所产生的抗力；二是刀具与切屑、工件表面间的摩擦阻力，如图 1-22 所示。

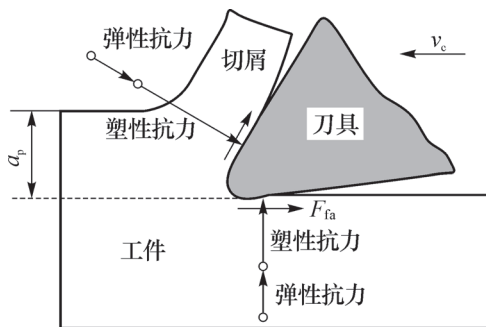


图 1-22 切削力的来源

弹性变形抗力和塑性变形抗力，在切削中的三个变形区中均存在，但以第一变形区中的抗力最大。

（二）切削合力及分力

如果不考虑副切削刃的切削作用以及其他造成流屑方向改变的因素的影响，车削外圆时，作用在刀具上所有的力可合成为合力 F ，如图 1-23 所示。为了测量和应用的方便 F 可以分解为相互垂直的三个分力，即进给 F_f 、背向 F_p 和主切削力 F_c 。

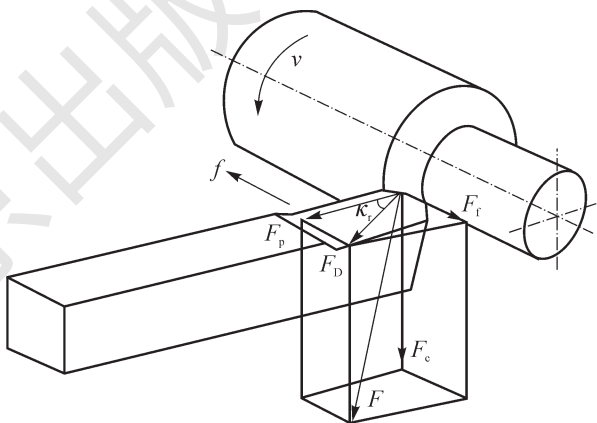


图 1-23 切削合力和分力

一般情况下，切削 F_c 最大， F_p 、 F_f 小一些。随着刀具几何参数、刃磨质量、磨损情况和切削用量的不同， F_p 、 F_f 相对 F_c 的比值在很大的范围内变化：

$$F_p = (0.15 \sim 0.7) F_c$$

$$F_f = (0.1 \sim 0.6) F_c$$

在应用中， F_c 和 F_p 很重要。 F_c 是计算切削功率和设计机床的主要依据。车削外圆时， F_p 虽不做功，但能使工件变形或造成振动，对加工精度和已加工表面质量影响较大。 F_f 作用在机床进给机构上，常用以设计机床进给机构或校核其强度。

（三）切削力经验公式的建立

利用测力仪测量切削力，在大量实验的基础上，用数学方法对所得数据进行处理，可以获得计算切削力的经验公式。目前，在生产实际中计算切削力的经验公式可以分



为两类：一类是指数公式；另一类是利用单位切削力进行计算。

1. 指数公式。

利用指数公式计算切削力在金属切削中应用广泛，常用的指数公式如下所示。

$$\left. \begin{aligned} F_c &= C_{Fc} a_p^{x_{Fc}} f^{y_{Fc}} v_c^{n_{Fc}} K_{Fc} \\ F_p &= C_{Fp} a_p^{x_{Fp}} f^{y_{Fp}} v_c^{n_{Fp}} K_{Fp} \\ F_f &= C_{Ff} a_p^{x_{Ff}} f^{y_{Ff}} v_c^{n_{Ff}} K_{Ff} \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

式中： C_{Fc} 、 C_{Fp} 、 C_{Ff} ——工件材料和切削条件对三个分力的影响系数；

x_{Fc} 、 x_{Fp} 、 x_{Ff} ——背吃刀量 a_p 对三个分力的影响指数；

y_{Fc} 、 y_{Fp} 、 y_{Ff} ——进给量 f 对三个分力的影响指数；

n_{Fc} 、 n_{Fp} 、 n_{Ff} ——切削速度 v_c 对三个分力的影响指数；

K_{Fc} 、 K_{Fp} 、 K_{Ff} ——各种因素对三个分力影响的修正系数的乘积。

经验公式中地系数、指数，在《切削用量手册》表中可以查到，如表 1-4 所列，可以较系统、全面地查出，应用指数公式计算 F_c 、 F_p 、 F_f 。必须注意，如实际切削条件与试验中切削条件有差异时，则应在公式后面乘相应的修正系数。

计算出 F_c 后代入式 (1-17) 可以计算出切削功率 P_c 。

2. 利用单位切削力计算。

单位切削力是指单位面积上的切削力，用 k_c 表示。如果单位切削力是已知的，可查表，则可以利用式 (1-15) 计算出切削 F_c 。

$$F_c = k_c \times A_c = k_c \times a_p \times f = k_c \times a_c \times a_w \quad (1-15)$$

式中： k_c ——单位切削力 (N/mm^2)；

A_c ——切削层公称横截面积 (mm^2)；

a_c ——切削层公称厚度 (mm)；

a_w ——切削层公称宽度 (mm)；

a_p ——背吃刀量 (mm)；

f ——进给量 (mm/r)。

表 1-4 车削时切削力及切削功率计算公式

计算公式		
切削力 F_c	$F_c = 9.81 C_{Fc} a_p^{x_{Fc}} f^{y_{Fc}} (60 v_c)^{n_{Fc}} K_{Fc} (N)$	式中 v_c 的单位为 m/s
背向力 F_p	$F_p = 9.81 C_{Fp} a_p^{x_{Fp}} f^{y_{Fp}} (60 v_c)^{n_{Fp}} K_{Fp} (N)$	
进给力 F_f	$F_f = 9.81 C_{Ff} a_p^{x_{Ff}} f^{y_{Ff}} (60 v_c)^{n_{Ff}} K_{Ff} (N)$	
切削时消耗的功率 P_c	$P_c = F_c v_c \times 10^{-3} (kW)$	

续表

计算公式														
公式中的系数和指数														
加工 刀具	刀具 材料	加工形式	系数和指数											
			切削力 F_c				背向力 F_p				进给力 F_f			
			C_{Fc}	X_{Fc}	Y_{Fc}	n_{Fc}	C_{Fp}	X_{Fp}	Y_{Fp}	n_{Fp}	C_{Ff}	X_{Ff}	Y_{Ff}	n_{Ff}
结构钢 及铸钢 $\sigma_b =$ 0.637 GPa	硬质 合金	外 圆 纵 车、 横车及车孔	270	1.0	0.75	-0.15	199	0.9	0.6	-0.3	294	1.0	0.5	-0.4
		切槽及切断	367	0.72	0.8	0	142	0.73	0.67	0	—	—	—	—
		切螺纹	133	—	1.7	0.71	—	—	—	—	—	—	—	—
	高速 钢	外 圆 纵 车、 横车及车孔	180	1.0	0.75	0	94	0.9	0.75	0	54	1.2	0.65	0
		切槽及切断	222	1.0	1.0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
		成形车削	191	1.0	0.75	0	—	—	—	—	—	—	—	—
不锈钢 141 HBS	硬质 合金	外 圆 纵 车、 横车及车孔	204	1.0	0.75	0	—	—	—	—	—	—	—	—
灰铸钢 190 HBS	硬质 合金	外 圆 纵 车、 横车及车孔	92	1.0	0.75	0	54	0.9	0.75	0	46	1.0	0.4	0
		切螺纹	103		1.8	0.82	—	—	—	—	—	—	—	—
	高速钢	外 圆 纵 车、 横车及车孔	114	1.0	0.75	0	119	0.9	0.75	0	51	1.2	0.65	0
		切槽及切断	158	1.0	1.0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
可锻铸铁 150 HBS	硬质 合金	外 圆 纵 车、 横车及车孔	81	1.0	0.75	0	43	0.9	0.75	0	38	1.0	0.4	0
	高速钢	外 圆 纵 车、 横车及车孔	100	1.0	0.75	0	88	0.9	0.75	0	40	1.2	0.65	0
		切槽及切断	139	1.0	1.0	0	—	—	—	—	—	—	—	—

(四) 切削功率

功率是力和力作用方向上的运动速度的乘积。切削功率是各切削分力消耗功率的总和。在外圆车削中, F_c 方向的运动速度就是切削速度 v_c ; F_p 方向的运动速度等于零; F_f 方向的运动速度是转速 n_o 和进给量 f 的乘积, 即 $n_o \times f$ 。因此, 切削功率 P_c 可按式计算:

$$P_c = (F_c \times v_c + \frac{F_f \times n_o \times f}{1000}) \times 10^{-3} \text{ (kW)} \quad (1-16)$$

式中: F_c ——主切削力 (N);

v_c ——切削速度 (m/s);

F_f ——进给力 (N);

n_o ——工件的转速 (r/s);

f ——进给量 (mm/r)。

由于 F_f 远远小于 F_c , 而 F_f 方向的运动速度又很小, 因此 F_f 所消耗的功率, 对比于 F_c 所消耗的功率是微不足道的 (一般小于 1%), 可以略而不计。一般地, 切削功率根据 F_c 和 v_c 计算就可以了, 即



$$P_c = F_c \times v_c \times 10^{-3} \text{ (kW)} \quad (1-17)$$

式中: F_c 单位为 N, v_c 单位为 m/s。

根据切削功率选择机床电动机, 还要考虑机床的传动效率。机床电动机的功率 P_E 应满足

$$P_E \geq \frac{P_c}{\eta_m} \quad (1-18)$$

式中: η_m ——机床的传动效率, 一般取 0.75 ~ 0.85。

(五) 影响切削力的因素

在切削过程中, 有很多因素都对切削力产生了不同程度的影响, 归纳起来除了工件材料、切削用量和刀具参数三个方面外, 还有刀具材料、后刀面磨损、刀具刃磨质量及切削液等方面的影响。这些因素的影响程度和影响规律在切削力的理论公式和经验公式中都有较全面的体现。

简而言之, 凡影响切削过程变形和摩擦的因素均影响切削力, 现介绍其中主要因素对切削力的影响规律。

1. 工件材料

工件材料强度、硬度越高, 则工件材料的剪切屈服强度越大, 切削力也随之增大。但是由于强度增高, 摩擦系数 μ 降低, 摩擦角 β 减小, 使得剪切角 ϕ 增大, 所以变形系数 ξ 减小, 切削力有所减小。综合上面两种影响可见, 切削力仍然增大, 但与强度的增加不成正比。

工件材料的强度、硬度相近时, 塑性越大的材料, 发生的塑性变形也越大, 所以产生的切削力也越大。切削脆性材料时, 切削层塑性变形很小, 形成的崩碎切屑与前刀面的摩擦力也很小, 因此脆性材料产生的切削力一般小于塑性材料。例如, 45 钢(中碳钢)的切削力高于 A3 钢(低碳钢); 调质钢和淬火钢高于正火钢; 1Cr18Ni9Ti 不锈钢高于 45 钢; 铸铁和铜、铝合金低于钢材料; 紫铜高于黄铜。

2. 切削用量

切削深度 a_p 和进给量 f 的大小决定切削面积的大小。因此, a_p 和 f 的增加均会使 F_c 增大, 但两者的影响程度不同。 f 不变, a_p 增大, F_c 成线性增大。 a_p 不变, f 增大, F_c 成非线性增大。

这是由于 a_p 增大 1 倍, 切削宽度 a_w 增大 1 倍, 故 F_c 也增大 1 倍。 f 增大 1 倍时, 切削厚度 a_c 也增大 1 倍, F_c 应随之增大 1 倍。但是 a_c 的增加将使变形系数 ξ 下降, 导致 F_c 也有所下降。综合考虑, F_c 的增长要慢于 f 的增长。在车削力的经验公式中, 加工各种材料, a_p 的指数 $x_{F_c} \approx 1$, 而 f 的指数 y_{F_c} 为 0.75 ~ 0.9。即当 a_p 加大 1 倍时, F_c 约增大 1 倍; 而 f 加大 1 倍时, F_c 只增大 68% ~ 86%。因此, 在切削加工中, 如果从切削力和切削功率来考虑, 加大进给量比加大切削深度有利。

3. 刀具几何参数

(1) 前角 γ_0 。前角 γ_0 对切削力的影响最大。前角 γ_0 加大, 被切金属的变形减小, 因此切削力显著减小。一般加工塑性较大的金属时, 前角对切削力的影响比加工塑性较小的金属更显著。

研究表明切削塑性金属时, γ_0 变化 1, F_c 将变化 1.5% 左右, 而且塑性越大, 变化的幅度越大。这是由于前角 γ_0 增加, 剪切角 ϕ 增大, 变形系数 ξ 减小, 剪切力减小。例如, 车刀前角 γ_0 每加大 10° , 加工 45 钢的 F_c 约降低 1%, 加工紫铜的 F_c 降低 2% ~ 3%, 而加工铅黄铜的 F_c 仅降低 0.4%。图 1-24 给出了车削 45 钢时, 前角 γ_0 对三向切削力的影响规律, 可以看出, 前角 γ_0 对 F_f 和 F_p 的影响要比对 F_c 的影响大。

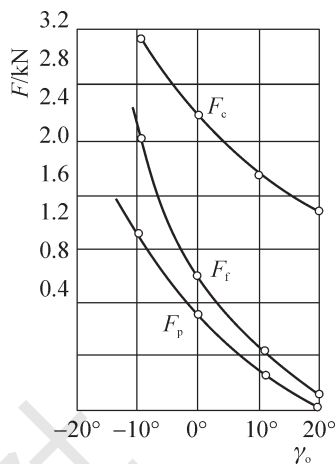


图 1-24 γ_0 对三向切削力的影响曲线

(2) 主偏角 κ_r 。主偏角 κ_r 对 F_c 的影响不大, 对 F_p 、 F_f 的影响较大。研究表明, κ_r 为 $60^\circ \sim 75^\circ$ 时, F_c 出现最小值。 κ_r 主要通过切削厚度 a_c 的变化影响切削力 ($a_c = f \sin \kappa_r$)。由于 $F_p = F_D \cos \kappa_r$, $F_f = F_D \sin \kappa_r$, 所以, κ_r 增大, F_p 减小, F_f 增大。当 κ_r 、 f 、 a_p 一定时, r_e 增大, F_c 变化不大, 但 F_f 减小, 而 F_p 增大。这是由于曲线切削刃上各点的 κ_r 减小所致, 所以为防止在切削过程中工件弯曲变形及振动, 应使刀尖圆弧半径 r_e 尽量减小。 F_c 的变动范围不大, 无论减小或增大, 都在 10% 以内。

(3) 刃倾角 λ_s 。刃倾角 λ_s 变化时, 将改变合力 F 的方向, 因而影响各分力的大小。 λ_s 对 F_c 影响不大, 而对 F_p 、 F_f 影响较大。刃倾角 λ_s 增大, 使 F_p 减小较多, F_f 有所增大; 反之, F_p 增大, F_f 减小。在非自由切削的情况下, 刃倾角 λ_s 在 $10^\circ \sim 45^\circ$ 的范围内变化时, F_c 基本不变。

(4) 刀尖圆弧半径 r_e 。在一般的切削加工中, 刀尖圆弧半径 r_e 对 F_p 、 F_f 的影响较大, 对 F_c 的影响较小。当刀尖圆弧半径 r_e 在 0.25 ~ 2 mm 范围内变化时, 随着 r_e 的加大, F_p 增大, F_f 减小, F_c 仅略有增大。

4. 其他因素

(1) 刀具材料的摩擦系数越小, 切削力越小。各类刀具材料中, 摩擦系数按高速钢、YG 类硬质合金、YT 类硬质合金、陶瓷、金刚石的顺序依次减小。

(2) 前刀面磨损会使刀具实际前角增大, 切削力减小。后刀面磨损, 刀具与工件的摩擦增大, 切削力增大。前后刀面同时磨损时, 切削力先减小, 后逐渐增大。 F_p 增加的速度最快, F_c 增加的速度最慢。

(3) 刀具的前后刀面刃磨质量越好, 摩擦系数越小, 切削力越小。

(4) 使用润滑性能好的切削液, 能有效减少摩擦, 使切削力减小。



三、切削热和切削温度

切削热和由它导致的切削温度是影响金属切削状态的重要物理因素之一,切削时所消耗能量的 97% ~ 99% 转化为热能。大量的热能使切削区的温度升高,直接影响到刀具的寿命和工件的加工精度及表面质量。因此研究切削热和切削温度对生产实践有着重要的指导意义。

(一) 切削热的产生和传出

切削温度的高低取决于切削热产生的位置和多少,以及切削热传递和散失出去的速度快慢。因此控制切削温度不仅要想办法减少切削热的产生,还要设计合理有效的热量散失途径。

1. 热源。

切削热的来源主要有两个方面,一个是切屑与前刀面、工件与后刀面之间的摩擦,它们是切削热的主要来源。另一个是切削层金属在刀具的作用下发生弹性变形和塑性变形。与此相对应,切削热产生在三个区域,即剪切面、切屑与前刀面接触区、工件与后刀面接触区,如图 1-25 所示。

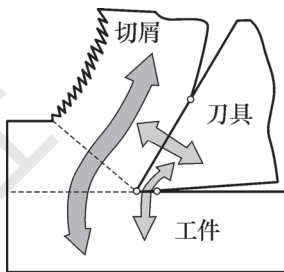


图 1-25 切削热的来源

由于后刀面上的摩擦通常远远小于前刀面上的摩擦,同时进给运动所做的功也远远小于主运动所做的功。因此,为了简化问题,可忽略后刀面上摩擦所做的功和进给运动所做的功,并假定主运动所做的功全部转化成了热能,则可以得到单位时间内产生的切削热 P_c 的公式。

$$P_c = F_c \times v_c \quad (1-19)$$

式中: P_c ——每秒产生的切削热 (J/s);

F_c ——切削力 (N);

v_c ——切削速度 (m/s)。

2. 切削热的传播。

切削热传散出去的媒介主要是切屑、工件、刀具和周围介质(如空气、切削液等),影响热传导的主要因素是工件和刀具材料的导热系数以及周围介质的状况。工件材料的导热系数大时,由切削区传导到切屑和工件的热量较多。由于切屑不断地脱离刀具和工件,因此热量传导给切屑不会对切削过程造成不利影响。而传递到工件的热量会引起工件发生热变形,从而影响工件的加工精度和表面质量。刀具材料的导热系数大时,切削区传递给刀具的热量较多,这会引起刀具温度上升,发生热变形,影响加工精度,此外还会导致刀具的磨损加剧。通过使用切削液、采用喷雾冷却法等手段改善周围介质的条件,可以使更多的切削热通过周围介质散失掉,这部分热量对切削过程没有不利的影响。

切屑与刀具的接触时间也会影响切削温度,这是由于剪切面上的剪切滑移消耗的变形功,以及前刀面与切屑的相对运动在切屑底层形成的内摩擦所消耗的摩擦功,这

些功转化的热能从切屑里传递出来需要时间。例如，在高速铣削中，由于切削速度很高，切屑内的热量还没有来得及大量传递给刀具，就已经被切除了下来，因此表现为切削速度上升，切削温度反而下降。又如，进行钻削加工时，切屑形成后仍与刀具和工件接触，切屑带走的热量再次传递给刀具和工件，致使切削温度上升。

不同的切削加工方法，切削热沿不同传导途径传递出去的比例也各不相同，见表 1-5。切削速度越高，切削厚度越大，切屑带走的热量就越多。

表 1-5 不同加工方法切削热传导比例

传导途径	干车削	钻削
切屑	50% ~ 86%	28%
工件	3% ~ 9%	52%
刀具	10% ~ 40%	15%
周围介质	1%	5%

（二）切削温度及其分布

切削温度是指切削过程中切削区的平均温度，用 θ 表示，一般用前刀面与切屑接触区域的平均温度近似代替。该区温度的高低取决于切削热量产生的多少和传递扩散的快慢。研究切削温度的目的在于设法控制刀具上的最高温度，以延长刀具的使用寿命。

工件、切屑和刀具上各点的温度分布情况，亦称温度场，可以采用理论计算的方法求出，但是数学方法复杂、计算量大，实际中多采用实验的方法求出。

图 1-26 是车削、切削钢料时，主剖面内前、后刀面以及切屑上的温度分布情况。通过对理论及实验的研究，可以归纳出一些温度分布的规律：

（1）剪切面上各点的温度基本一致，由此可以推断剪切面上各点的应力应变规律基本上变化不大。

（2）前刀面和后刀面上的最高温度都处在离切削刃有一定距离的地方，这是摩擦热沿刀面不断增加的缘故。温度最高点出现在前刀面上。

（3）在剪切区域内，垂直剪切方向上温度梯度较大，这是由于剪切滑移的速度很快，热量来不及传导出来，从而形成较大的温度梯度。

（4）垂直前刀面的切屑底层温度梯度大，距离前刀面 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ ，温度就可能下降一半。这说明前刀面上的摩擦集中在切屑的底层，因此切削温度对前刀面的摩擦系数有较大影响。

（5）后刀面的接触长度很小，因此温度的升降是在极短时间内完成的，导致已加工

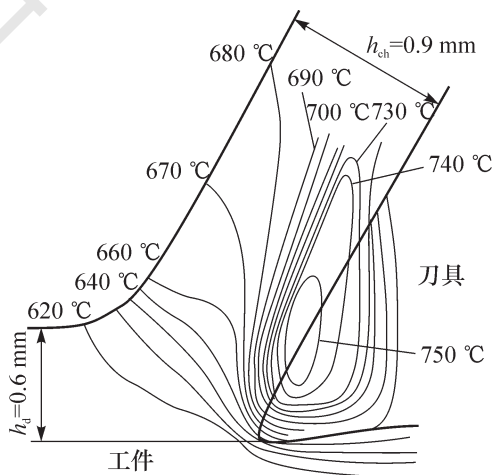


图 1-26 二维切削中的温度分布



表面受到一次热冲击。

(6) 工件材料塑性越大, 前刀面上的接触长度越大, 切削温度的分布就越均匀。工件材料脆性越大, 最高温度所在的点离切削刃就越近。

(7) 工件材料导热系数越低, 刀具的前、后刀面的温度就越高。

四、刀具磨损与破损

在刀具将多余的金属从毛坯上撕裂下来, 使毛坯变成零件的过程中, 刀具也不可避免地遭到损耗。当刀具的损耗积累到一定的程度后, 会使工件的加工精度降低, 表面粗糙度增大, 并导致切削力和切削温度增加, 甚至产生振动, 不能继续正常切削, 即刀具失效, 这时就要更换新的切削刃或换刀、磨刀。

刀具的失效形式可分为磨损和破损两类, 前者表现为连续地、逐渐地发生; 后者表现为突然发生, 如崩刃、碎断、剥落和卷刃等。刀具的磨损程度主要取决于刀具材料、工件材料的机械物理性能和切削条件, 与一般的机械零件磨损相比, 有着不同的特点: 与前刀面接触的切屑底面是活性很高的新鲜表面, 不存在氧化膜等的污染; 前、后刀面上的接触压力很大, 接触面温度很高(如硬质合金刀具加工钢, 温度可达 $800 \sim 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$)。因此刀具磨损时存在着机械、热和化学作用, 表现为摩擦、扩散和黏结等现象。

刀具的磨损、破损及其使用寿命(也称耐用度)关系到切削加工的效率、质量和成本, 因此它是切削加工中极为重要的问题之一。

(一) 刀具磨损的形式

切削时, 刀具的前刀面与切屑、后刀面与工件常常相互挤压和剧烈摩擦, 产生很高的温度。因此磨损发生在刀具的前刀面和后刀面上, 前刀面磨损形成月牙洼, 后刀面磨损形成磨损带, 通常前、后刀面的磨损是同时发生, 相互影响的。

1. 前刀面磨损。

加工塑性金属时, 当刀具材料的耐热性、耐磨性不足, 切削速度较高, 切削厚度较大(大于 0.5 mm)时, 常在前刀面上发生磨损。由于切屑底面和刀具前刀面在切削过程中是化学活性很高的新鲜表面, 在接触面的高温高压作用下, 接触面积的 80% 以上是空气和切削液较难覆盖的, 切屑沿前刀面的滑动逐渐在前刀面上磨出一个月牙形凹窝(图 1-27), 所以这种磨损形态又常称为月牙洼磨损。

起初月牙洼的前缘距离主切削刃还有一小段距离, 随着切削过程的进行, 月牙洼逐渐向前、后扩展, 深度不断增大, 其深度最大的位置就是切削温度最高处。其宽度取决于切屑的宽度, 在磨损过程中变化不大。当月牙洼发展到其前缘与切削刃之间的棱边很窄时, 切削刃强度下降, 容易导致崩刃。前刀面磨损值以月牙洼的最大深度 K_T 表示, 如图 1-28 所示。

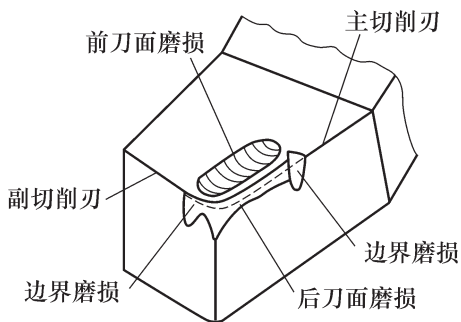


图 1-27 刀具的磨损形态

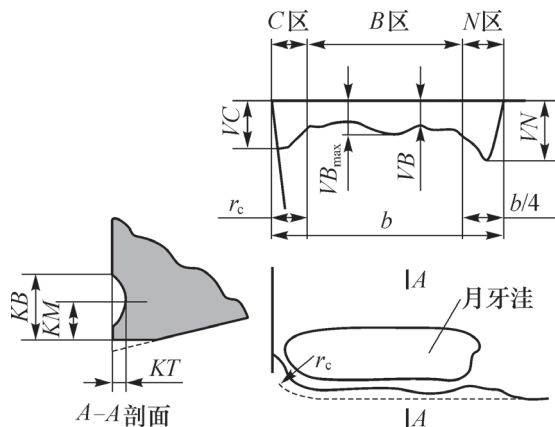


图 1-28 刀具磨损的测量

2. 后刀面磨损。

切削时，工件的新鲜加工表面与刀具后刀面接触，并相互摩擦，从而引起后刀面磨损。后刀面虽然有后角，但由于切削刃不如理想中的锋利，存在一定的钝圆，后刀面与工件表面的接触压力很大，存在着弹性和塑性变形。因此，后刀面与工件实际上是小面积接触，磨损就发生在这个接触面上，形成后角为零的小棱面，如图 1-26 所示。以较小的切削厚度（小于 0.1 mm），较低的切削速度切削塑性金属以及切削铸铁时，主要发生这种磨损。

后刀面磨损往往不均匀，如图 1-28 所示。刀尖部分（C 区）强度较低，散热条件又差，磨损比较严重，其最大值为 VC 。主切削刃靠近工件外皮处的后刀面（N 区），在此处磨出较严重的深沟，以 VN 表示。在后刀面磨损带的中间部位（B 区）上，磨损比较均匀，平均磨损带宽度以 VB 表示，而最大磨损宽度以 $VB_{\max}$ 表示。

3. 前刀面和后刀面同时磨损。

当以中等切削速度、中等切削厚度（0.1 ~ 0.5 mm）切削塑性金属时，容易发生前、后刀面同时磨损。这是一种兼有上述两种情况的磨损形式。

（二）刀具磨损的原因

为了减小和控制刀具的磨损，研制新的刀具材料，必须研究刀具磨损的原因和本质。切削过程中的刀具磨损具有下列特点：

- （1）刀具与切屑、工件间的接触表面经常是新鲜表面。
- （2）接触压力非常大，有时超过被切削材料的屈服强度。
- （3）接触表面的温度很高，对于硬质合金刀具可达 800 ~ 1 000 ℃，对于高速钢刀具可达 300 ~ 600 ℃。

在上述条件下工作，刀具磨损经常是机械、热、化学的作用的综合结果，可以产生磨粒磨损、黏结磨损、扩散磨损和化学磨损等。

在不同的工件材料、刀具材料和切削条件下，磨损原因和磨损强度是不同的。



图 1-29 所示为硬质合金刀具加工钢料时,在不同的切削速度(切削温度)下各类磨损的强度。由图可知,对于一定的刀具材料和工件材料,切削温度对于刀具磨损具有定性的影响。切削温度低时,由工件材料中硬质点的刻划作用导致的磨粒磨损占主导地位。切削温度高时,受切削温度影响较大的热、化学磨损占主导地位。

下面列举刀具受磨损的四个类型。

(1) 磨粒磨损。磨粒磨损又称为硬质点磨损,主要是由于工件材料中的杂质、基体组织中的硬质点以及积屑瘤碎片等,在刀具表面上划出条条沟纹造成的磨损。硬质点有碳化物(如 Fe_3C 、 TiC 、 VC 等)、氮化物(如 TiN 、 Si_3N_4 等)、氧化物(如 SiO_2 、 Al_2O_3 等)和金属间化合物。工具钢(包括高速钢)刀具的这类磨损比较显著。硬质合金刀具由于具有很高的硬度,它的这类磨损相对较小。

刀具在各种切削速度下都存在硬质点磨损,但硬质点磨损在低速刀具(如拉刀、板牙、丝锥等)的磨损中是主要的。这是由于在低速切削时,切削温度较低,其他形式的磨损还不显著。一般认为,由硬质点磨损产生的磨损量与刀具—工件相对滑动距离或切削路程成正比。

(2) 黏结磨损。黏结是在摩擦面的实际接触面上,在足够大的压力和高温作用下,刀具和工件材料间距达到原子间距离时发生结合的冷焊现象。两摩擦表面的黏结点因相对运动将发生撕裂而被对方带走,如果黏结处的破裂发生在刀具这一方,就会造成刀具的损耗,这就是刀具的黏结磨损。

切削温度是影响黏结磨损的主要因素。

(3) 扩散磨损。切削温度较高时,刀具表面始终与被切出的新鲜表面接触,使其具有巨大的化学活泼性。当刀具与工件材料的化学元素浓度相差较大时,这些化学元素就会在固态下互相扩散到对方中去,引起摩擦面两侧刀具和工件材料化学成分的改变,使刀具材料性能下降,从而造成刀具磨损,这种磨损称为扩散磨损。例如,当切削温度达到 800°C 以上时,硬质合金中的 C 、 W 、 Co 等元素扩散到切屑中被带走,而切屑中的 Fe 元素扩散到硬质合金表层形成了新的脆性的低硬度复合碳化物,硬质合金中的 WC 中的 C 扩散出去造成贫碳,使硬度降低,同时因为 Co 的扩散使其含量减少,从而降低了 WC 、 TiC 等碳化物与基体的结合强度,这些都使刀具的磨损加剧。但是 TiC 的扩散能力不如 WC ,高温下反而会在表层生成 TiO_2 保护层,从而阻碍扩散的进行,所以在高速切削钢件时,宜采用 YT 类硬质合金。

(4) 化学磨损。切削时在一定温度下,刀具与周围介质的某些成分(如空气中的氧,切削液中的极压添加剂硫、氯等)起化学作用,在刀具表面形成的一层硬度较低

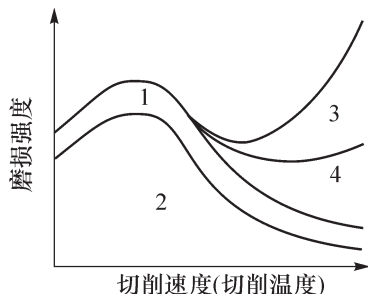


图 1-29 切削速度对刀具磨损强度的影响

1—磨粒磨损; 2—黏结磨损; 3—扩散磨损; 4—化学磨损

的化合物,被切屑带走,加速了刀具的磨损,或者因为刀具材料被某种介质腐蚀,造成刀具损耗,这些被称为化学磨损。例如,高速钢刀具车削钼合金时($a_p=1\text{ mm}$, $f=0.1\text{ mm/r}$, $v_c=10\sim 50\text{ m/min}$),切削液及周围介质的化学活性越好,刀具磨损越快。又如,硬质合金 YT14 刀具加工 18-8 型不锈钢(含 18%Cr、9%Ti),在切削速度 $v_c=120\sim 180\text{ m/min}$,采用硫化、氯化切削油时,由于硫和氯的腐蚀作用,刀具耐用度反而比干切削时低。

一般空气不易进入刀-屑接触区,化学磨损最容易在主、副切削刀的工作边界处形成,在这里的后刀面(有时在前刀面)上划出较深的沟槽,这是造成“边界磨损”的原因之一。

总之,在不同的工件材料、刀具材料和切削条件下,磨损原因和磨损强度是不同的。对于一定的刀具和工件材料,切削温度对刀具磨损具有决定性的影响。高温时扩散和化学磨损强度高;在中低温时,黏结磨损占主导地位;磨粒磨损则在不同的切削温度下都存在。

(三) 刀具的破损

在切削加工中,刀具时常会不经过正常的磨损,就在很短的时间内突然损坏以致失效,这种损坏类型称为破损。破损也是刀具损坏的主要形式之一,多数发生在使用脆性较大的刀具材料进行断续切削或者加工高硬度材料的情况下。据统计,硬质合金刀具具有 50%~60% 的损坏是破损,破损在陶瓷刀具的损坏中比例更高。

1. 常发生于脆性较大的硬质合金和陶瓷刀具上的破损现象。

(1) 崩刃。在切削刃上产生小的缺口(一般缺口尺寸和进给量相当或比进给量稍大一些)时,切削刃还能继续进行切削。陶瓷刀具切削时,在早期最常发生这种崩刃。硬质合金刀具进行断续切削时,也常发生崩刃现象。

(2) 碎断。在切削刃上发生小块碎裂或大块断裂时,不能继续正常切削。前者发生在刀尖和主切削刃处,一般还可以重磨修复再使用,硬质合金和陶瓷刀具断续切削时,常在早期出现这种损坏。后者是发生于刀尖的大块断裂,刀具不能再重磨使用,大多是断续切削较长时间后,没有及时换刀,因刀具材料疲劳而造成的。

(3) 剥落。在前、后刀面上几乎平行于切削刃而剥离下一层碎片,剥离位置随刀面上受冲击的位置的变化而不同,此时经常会将切削刃一起剥离。这是断续切削时的一种早期破损现象,硬质合金低速断续切削时会发生这种现象,尤其是当刀具具有切屑黏结在前刀面上再切入时,或者因积屑瘤脱落而剥去一层碎片时。如果剥离层较厚,则刀具难以重磨继续使用。

(4) 裂纹破损。在较长时间断续切削后,由于疲劳,引起裂纹扩展而导致的一种破损。有因热冲击引起的垂直于或倾斜于切削刃的热裂纹,也有因机械冲击导致的平行于切削刃或网状分布的机械疲劳裂纹。当这些裂纹不断扩展、合并,就会引起切削刃的碎裂或断裂。



2. 常发生于塑性较大的高速钢刀具上的破损现象。

(1) 卷刃。刀具切削刃部位的材料由于后刀面和工件与加工表面的摩擦,沿后刀面向所受摩擦力的方向流动,形成切削刃的倒卷,称为卷刃。这种现象主要发生在工具钢、高速钢等刀具材料进行精加工或切削厚度很小的切削时。产生卷刃后,刀具不能继续进行切削工作。

(2) 刀面隆起。在采用大的切削用量以及加工硬材料的情况下,刀具前、后刀面的材料发生远离切削刃的塑性流动,致使前、后刀面发生隆起。工具钢、高速钢以及硬质合金刀具都会发生这种损坏。

五、刀具磨损过程、磨钝标准及刀具耐用度

刀具磨损到一定程度就不能继续使用,否则会降低工件的尺寸精度和加工表面质量,同时也会增加刀具的消耗和加工成本。那么刀具究竟磨损到什么程度就不能再使用了呢?这就需要有一个磨损标准,因此就需要先来研究一下刀具的磨损过程。

(一) 磨损过程

刀具的磨损随着切削时间的延长而逐渐加大,通过实验可以得到如图 1-30 所示的刀具磨损过程典型曲线。该图的横坐标为切削时间,纵坐标为后刀面磨损量 VB (或前刀面磨损月牙洼深度 KT)。由图可知刀具的磨损过程大致可以分为三个阶段。

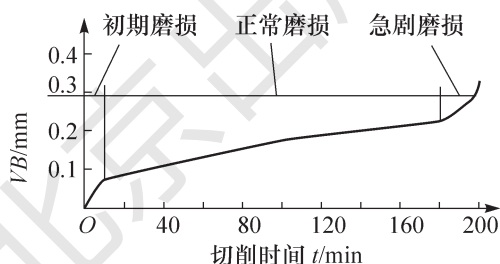


图 1-30 刀具磨损过程的典型曲线

1. 初期磨损阶段。

该阶段磨损曲线的斜率较大,这意味着刀具磨损很快。这是由于新刃磨的刀具后刀面与加工表面之间的实际接触面积很小,压强很大,造成磨损很快。此外新刃磨刀具的后刀面上的粗糙不平以及刃磨造成的微裂纹、氧化或脱碳层等缺陷,也是引起初期阶段磨损较大的原因。通常初期磨损量为 $VB=0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$,经过研磨的刀具初期磨损量小,而且会比较耐用。

2. 正常磨损阶段。

经过初期磨损后,刀具的后刀面上被磨出一条狭窄的棱面,使所受压强减小。同时刀具的表面已经被磨平,磨损量的增加减缓并稳定下来,刀具进入正常磨损阶段。这个阶段也是刀具的有效工作阶段,该阶段时间较长,磨损曲线基本上是一条上行的直线,其斜率代表刀具正常工作时的磨损强度,这是一个用来衡量刀具切削性能的重要指标。

3. 急剧磨损阶段。

刀具经过正常磨损阶段后，切削刃明显变钝，引起切削力、切削温度迅速增大。这时进入急剧磨损阶段，这一阶段磨损曲线斜率很大，表现为刀具磨损速度很快。如果此时刀具继续工作，非但不能保证工件的加工质量，刀具材料的损耗也很大，经济上不合算，所以应避免刀具的磨损进入这个阶段。在这个阶段到来之前，就要及时换刀或更换新切削刃。

（二）磨钝标准

刀具磨损后将影响切削力、切削温度和加工质量，因此必须根据加工情况规定一个最大的允许磨损量，这就是刀具的磨钝标准。

一般刀具的后刀面上都有磨损，它对加工精度和切削力的影响比前刀面磨损更显著，另外后刀面的磨损量比较容易测量，因此在刀具管理和科学研究中多根据后刀面的磨损量来制定磨钝标准，国际标准组织规定以 $1/2$ 背吃刀量处后刀面上测定的磨损带宽度 VB 作为刀具的磨钝标准。自动化生产中使用的精加工刀具，常根据工件的精度要求来制定磨钝标准。在这种情况下，常以沿工件径向的刀具磨损尺寸作为衡量刀具磨钝的标准，称为刀具的径向磨损量 NB (图 1-31)。

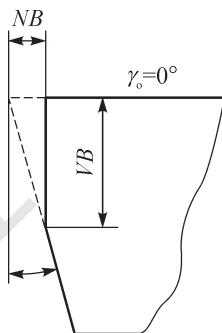


图 1-31 刀具的径向磨损量

磨钝标准的制定既要顾及刀具的合理使用，又要保证加工精度，还要考虑工件材料的切削加工性、刀具制造和刃磨的难易程度等诸多因素的影响。因此，不同的加工条件下，具体磨钝标准也各不相同。例如，精加工时磨钝标准可制定低些；粗加工磨钝标准可以制定得高些。工艺系统刚性差时，应考虑在磨钝标准内的加工是否会产生振动。

根据生产实践中的调查资料，硬质合金车刀的磨钝标准推荐值见表 1-6。

表 1-6 硬质合金车刀的磨钝标准

加工条件	后刀面的磨钝标准 VB/mm
精车削	0.1 ~ 0.3
合金钢粗车削，粗车削刚性较差的工件	0.4 ~ 0.5
碳素钢粗车削	0.6 ~ 0.8
铸铁件粗车削	0.8 ~ 1.2
钢及铸铁件大件低速粗车削	1.0 ~ 1.5

国际标准组织已经规定了外圆车刀耐用度实验中的刀具磨钝标准，这个标准只用于切削实验，实际生产中除精加工外，刀具磨钝标准往往要大一些。

（三）刀具耐用度

刀具耐用度是一个表征刀具材料切削性能优劣的综合指标。在相同的切削条件下，耐用度越高，表明刀具材料的耐磨性越好。在比较不同的工件材料切削加工性时，刀具耐用度也是一个重要的指标，刀具耐用度越高，表明工件材料的切削加工性越好。



工件材料、刀具材料的性能对刀具耐用度影响最大。在切削用量中,影响刀具耐用度最主要的因素是切削速度,其次是进给量、切削深度。此外,刀具几何参数对刀具耐用度也有重要影响。

1. 刀具耐用度的定义。

刃磨后的刀具从开始使用,直至磨损量达到磨钝标准为止时的纯切削时间(不包括对刀、测量、快进和回程等非切削时间)称为刀具耐用度,用 T 来表示。在一些情况下,也可以使用达到磨钝标准前的刀具切削行程 l_m 来衡量刀具耐用度, l_m 等于切削速度 v_c 和耐用度 T 的乘积。精加工时,也可以用加工完的工件数量或走刀次数来衡量刀具耐用度。

2. 刀具耐用度与刀具寿命的关系。

刀具寿命是指一把新刀具从投入使用直到报废为止的总的切削时间,其中包括多次重磨,因此刀具的寿命等于刀具耐用度与重磨次数的乘积。

3. 切削用量与刀具耐用度的关系。

切削用量与刀具耐用度有着紧密的关系,直接影响机械加工的生产效率和加工成本。

在切削用量三要素中,切削速度 v_c 对刀具耐用度的影响最大,其次为进给量 f ,背吃刀量 a_p 的影响最小,这与三者对切削温度的影响程度顺序是一致的。因此从减少刀具磨损的角度来考虑,为提高切削效率,选择切削用量时,应首先选择大的背吃刀量 a_p ,其次根据加工条件和要求选择尽可能大的进给量 f ,最后在刀具耐用度和机床功率允许的情况下选择切削速度 v_c 。

由于切削温度对刀具的磨损具有决定性影响,因此凡是影响切削温度的因素都会对刀具耐用度造成影响。

职业技能知识点考核

- 粗车加工时,为了减少切削热量常选用()。
A. 5% ~ 15% 的乳化液 B. 硫化切削油
C. 水 D. 煤油(75%)加油脂或植物油(25%)
- 减小()可以减小工件的表面粗糙度。
A. 主偏角 B. 副偏角 C. 刀尖角 D. 刀倾角
- 精车时加工余量较小,为提高生产率,应选择()大些。
A. 切削速度 B. 进给量
C. 切削厚度 D. 背吃刀量
- 车削()材料时,车刀可选择较大的前角。
A. 塑性 B. 脆性 C. 软 D. 硬
- 切削时的切削热大部分由()传散出去,有利于切削加工。
A. 刀具 B. 夹具
C. 工件 D. 切屑

6. 切削液的主要作用是____、____、____、____，精加工钢件时应选择的切削液是_____。

7. 刀具磨损原因有哪些？刀具材料不同，其磨损原因是否相同？为什么？

8. 从切屑形成的机理可把切屑分为哪些种？各有何特点？

9. 为什么当切断车刀切到实心工件最后时，工件不是被切断的，而是被挤断的？

任务五 ··· 切削条件的选择

任务描述

根据工件的加工特点，参考有关工艺手册，对刀具的类型、角度、切削用量等参数进行合理的选择。任务：在普通卧式车床上车削 45 钢小轴，如图 1-32 所示。加工时配合使用弹性顶尖，试确定刀具的几何参数以及车削外圆的切削用量。

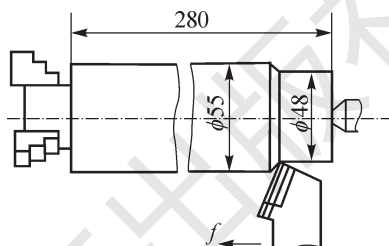


图 1-32 车削外圆的工件尺寸图

任务目标

- 能合理选择刀具的几何角度
- 能正确掌握切削用量的选择与计算
- 培养学生踏实敬业、严谨专注等工匠精神

任务分析

金属切削加工质量是一个综合因素决定的结果，包括工件材料切削加工性的好坏、刀具几何参数的合理与否、切削用量的合理与否、加工工艺的合理与否、加工机床的精度高低及操作者的水平。通过完成切削条件的选择任务，初步具有解决实际生产问题的能力。

任务实施

已知：工件材料 45 钢， $\sigma_b = 0.598 \text{ GPa}$ 锻件。加工要求：车外圆至 $\phi 48 \text{ mm}$ ，表



面粗糙度值 $Ra=3.2\ \mu\text{m}$, 尺寸精度 IT7。机床为 CA 6140 型卧式车床。刀具为焊接式 YT15 硬质合金外圆车刀, 刀杆尺寸为 $16\ \text{mm} \times 25\ \text{mm} \times 150\ \text{mm}$ 。

一、刀具几何参数的选择

分析加工特点, 根据加工特点选择合理的刀具几何参数。

工件材料为 45 钢, 加工性能好, 该工件的轴向尺寸与径向尺寸之比较大, 为保证工艺系统刚性, 避免加工过程产生弯曲和振动, 因此要尽量减小背向力。具体分析和选择如下:

- (1) 取 $\gamma_o = 20^\circ \sim 22^\circ$, $\kappa_r = 75^\circ$, 减小背向力。
- (2) 为保证工件已加工表面的表面质量, 取 $\kappa'_r = 10^\circ$ 。
- (3) 由于前角较大, 为增加刃口的强度, 车刀应修磨出负倒棱, 取 $b_{\gamma_1} = 0.5\ \text{mm} \sim 1.0\ \text{mm}$, $\gamma_{o1} = -10^\circ$ 。后角和刃倾角不能太大, 取 $\alpha_o = 6^\circ$, $\lambda_s = 2^\circ$ 。
- (4) 由于主偏角较大, 为增强刀尖的强度, 采用修圆刀尖, 取 $r_\epsilon = 0.8 \sim 1.2\ \text{mm}$ 。
- (5) 为保证断屑可靠, 前刀面应磨出宽 $L_{\text{Bn}} = 4 \sim 6\ \text{mm}$, 圆弧半径 $r_{\text{Bn}} = 2.5\ \text{mm}$ 的卷屑槽。

二、切削用量的选择和计算

由于被加工表面有一定的粗糙度值和尺寸精度要求, 所以分粗车和半精车两道工序完成。

(一) 粗车

(1) 确定背吃刀量 a_p 。由任务图中知, 单边余量为 $3.5\ \text{mm}$ 。根据前面所讲的选取原则, 粗车取 $a_p = 3\ \text{mm}$, 半精车时取 $0.5\ \text{mm}$ 。

(2) 确定进给量 f 。被加工工件的材料为 45 钢锻件, 加工直径为 $55\ \text{mm}$, 刀杆尺寸为 $16\ \text{mm} \times 25\ \text{mm}$, 确定的背吃刀量 $a_p = 3\ \text{mm}$ 。由表 1-9 查得 $f = 0.5 \sim 0.7\ \text{mm/r}$ 。按机床的实际进给量, 取 $f = 0.61\ \text{mm/r}$ 。

(3) 确定切削速度 v_c 。切削速度可由式 (1-21) 计算 (式中各系数的值可参考相关的手册, 也可以从表中查得)。现由表 1-10 查得 $v_c = 1.5 \sim 1.83\ \text{m/s}$ ($90 \sim 110\ \text{m/min}$), 然后求出机床主轴转速为

$$n = \frac{1\ 000 v_c}{\pi d_w} = \frac{1\ 000 v_c}{3.14 \times 55} = 521 \sim 636 (\text{r/min})。$$

根据选择切削速度的原则及 CA 6140 型车床的实际参数, 取主轴转速 $560\ \text{r/min}$, 故实际切削速度为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1\ 000} = \frac{3.14 \times 55 \times 560}{1\ 000} = 96.7 (\text{m/min})。$$

(4) 校验机床功率。查《机械加工工艺手册》得单位切削力 $P = 1\ 962\ \text{N/mm}^2$, 所以切削功率 P_m 为

$$P_m = \frac{P \times a_p \times f \times v_c}{1\,000} = \frac{1\,962 \times 3 \times 0.61 \times 96.7}{1\,000 \times 60} = 5.8(\text{kW})。$$

CA 6140 型车床电机功率为 $P_E = 7.5 \text{ kW}$ 。若取机床传动效率 $\eta_m = 0.80$ ，则

$$\frac{P_m}{\eta_m} = \frac{5.8}{0.8} = 7.25 \leq P_E，$$

所以机床的功率满足切削加工的要求。

（二）半精车

（1）确定背吃刀量 $a_p = 0.5 \text{ mm}$ 。

（2）确定进给量 f 。根据表面粗糙度值 $Ra = 3.2 \mu\text{m}$ ， $r_e = 0.9 \text{ mm}$ ，查《机械加工工艺手册》得 $f = 0.25 \sim 0.3 \text{ mm/r}$ ，按机床的实际进给量，取 $f = 0.28 \text{ mm/r}$ 。

（3）确定切削速度。由已知条件和已经确定的进给量和背吃刀量值，由表 1-9 选 $v_c = 2.17 \sim 2.67 \text{ m/s}$ ($130 \sim 160 \text{ m/min}$)，然后求出机床主轴转速为

$$n = \frac{1\,000 v_c}{\pi d_w} = \frac{1\,000 v_c}{3.14 \times (55 - 6)} = 845 \sim 1\,040 (\text{r/min})。$$

根据 CA 6140 型车床的实际转速，取主轴转速为 $900 (\text{r/min})$ ，则实际切削速度为

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{1\,000} = \frac{3.14 \times (55 - 6) \times 900}{1\,000} = 138.5 (\text{m/min})。$$

所以，切削用量选取的最终结果为

粗车： $a_p = 3 \text{ mm}$ ， $f = 0.61 \text{ mm/r}$ ， $v_c = 96.7 \text{ m/min}$ ；

半精车： $a_p = 0.5 \text{ mm}$ ， $f = 0.28 \text{ mm/r}$ ， $v_c = 138.5 \text{ m/min}$ 。

知识链接

在切削加工中，有些材料容易切削，有些材料却很难切削。判断材料切削加工的难易程度、改善切削加工性，对提高生产率和加工质量有重要意义。

工件材料切削加工性是指在一定切削条件下，对工件材料进行切削加工的难易程度。材料加工的难易，不仅取决于材料本身，还取决于具体的切削条件。

一、工件材料的切削加工性

根据不同的加工要求，衡量切削加工性的指标有以下几种。

（一）相对加工性

在相同切削条件下加工不同材料时，刀具使用寿命较长或在保证相同刀具耐用度的前提下，切削这种工件材料所允许的切削速度 v_T 较高的材料，其加工性较好。刀具的使用寿命较短或 v_T 较小的材料，加工性较差。

v_T 的含义是：当刀具耐用度为 $T (\text{min 或 s})$ 时，切削该种工件材料所允许的切削速



度值。一般情况下可取 $T=60\text{ min}$; 对于一些难切削材料, 可取 $T=30\text{ min}$ 或 $T=15\text{ min}$; 对于机夹可转位刀具, T 可以取得更小一些。如果取 $T=60\text{ min}$, 则 v_T 可写作 v_{60} 。

生产中通常采用相对加工性来衡量工件材料的切削加工性, 即以强度 $\sigma_b = 0.637\text{ GPa}$ 处于正火状态下 45 钢的 v_{60} 为基准, 写作 $(v_{60})_j$, 其他被切削的工件材料的 v_{60} 与之相比的数值, 记作 K_r , 这个比值 K_r 称为相对加工性, 即

$$K_r = v_{60} / (v_{60})_j \quad (1-20)$$

$K_r > 1$ 的材料, 比 45 钢容易切削; $K_r < 1$ 的材料, 比 45 钢难切削。在实际生产中, 一定耐用度下所允许的切削速度是最常用的指标之一。目前常用的工件材料, 按相对加工性 K_r 可分为 8 级, 见表 1-7。由表 1-7 可知: K_r 越大, 切削加工性越好; K_r 越小, 切削加工性越差。

表 1-7 工件材料的相对切削加工性等级

加工性等级	名称及种类		相对加工性 K_r	代表性工作材料
1	很容易切削材料	一般有色金属	>3.0	5-5-5 钢铝合金, 9-4 铝钢合金, 铝镁合金
2	容易切削材料	易切削钢	$2.5 \sim 3.0$	退火 15Cr $\sigma_b=0.373 \sim 0.441\text{ GPa}$ 自动机钢 $\sigma_b=0.392 \sim 0.490\text{ GPa}$
3		较易切削钢	$1.6 \sim 2.5$	正火 30 钢 $\sigma_b=0.441 \sim 0.549\text{ GPa}$
4	普通材料	一般钢及铸铁	$1.0 \sim 1.6$	45 钢, 灰铸铁, 结构钢
5		稍难切削材料	$0.65 \sim 1.0$	2Cr13 调质 $\sigma_b=0.828\text{ GPa}$ 85 钢轧制 $\sigma_b=0.882\text{ GPa}$
6	难切削材料	较难切削材料	$0.5 \sim 0.65$	45Cr 调质 $\sigma_b=1.03\text{ GPa}$ 60Mn 调质 $\sigma_b=0.931\text{ GPa}$
7		难切削的材料	$0.15 \sim 0.5$	50Cr 调质, 1Cr18Ni9Ti 未淬火, α 相钛合金
8		很难切削材料	<0.15	β 相钛合金, 镍基高温合金

(二) 切削力或切削温度

在粗加工或机床动力不足时, 常用切削力或切削温度指标来评定材料的切削加工性。即相同的切削条件下, 切削力大、切削温度高的材料, 其切削加工性就差; 反之, 其切削加工性就好。某些导热性差的难加工材料, 也常以切削温度来衡量。

(三) 已加工表面质量

精加工时, 用被加工表面粗糙度值来评定材料的切削加工性。对有特殊要求的零件, 则以已加工表面变质层深度、残余应力和加工硬化等指标来衡量材料的切削加工性。凡是容易获得好的已加工表面质量的材料, 其切削加工性较好, 反之则切削加工性较差。

(四) 断屑的难易程度

在自动机床、组合机床及自动线上进行切削加工时, 或者对如深孔钻削、盲孔钻

削等断屑性能要求很高的工序，采用这种衡量指标。凡是切屑容易折断的材料，其切削加工性就好；反之，则切削加工性较差。

影响工件材料切削加工性的因素及改善切削加工性的途径有以下几个方面。

1. 工件材料物理力学性能对切削加工性的影响。

工件材料的切削加工性能主要受其本身的物理力学性能的影响，材料的物理力学性能主要是指材料的强度、硬度、塑性、韧性和热导率等。一般来说，工件材料的力学性能越好，其切削加工的难度就越大。

2. 改善工件材料切削加工性的途径。

为了改善工件材料切削加工性以满足实际生产的需要，通常采用以下两种方法：

(1) 调整材料的化学成分。在不影响工件的使用性能的前提下，在钢中适当添加一些化学元素，如 S、Pb 等，能使钢的切削加工性得到改善，可获得易切钢。易切钢的良好切削加工性主要表现在：切削力小、容易断屑，且刀具耐用度高，加工表面质量好。另外在铸铁中适量增加石墨成分，也能改善其切削加工性。这些方法常用在大批量生产中。

(2) 进行适当的热处理。低碳钢由于塑性过高，通过冷拔或正火处理，可以适当降低其塑性，提高硬度，改善其切削加工性；高碳钢和工具钢的硬度偏高，且有较多的网状和片状渗碳体组织，较难切削。通过球化退火，能降低其硬度，并能得到球状渗碳体组织，有利于切削加工；马氏体不锈钢通常要通过调质处理到 HRC28 左右，硬度较低时，塑性较大，不易得到较小的表面粗糙度值，硬度较高时，则切削会使刀具磨损增大；热轧状态的中碳钢，组织不均匀，有时表面还有硬皮，也不容易切削。通过正火处理可以使其组织和硬度均匀，从而改善了其切削加工性。有时中碳钢也可退火后加工，铸铁件一般在切削前都要安排退火处理，以降低表层硬度，消除内应力，改善其切削加工性。

(3) 选择合适的毛坯成形方式和刀具材料，确定合理的刀具角度和切削用量，安排适当的加工工艺过程等，也可以改善材料的切削加工性能。

二、切削液

在切削加工中，合理地使用金属切削液能降低切削时的切削力以及刀具与工件之间的摩擦，及时带走切削区内产生的热量以降低切削温度，减少刀具磨损，提高刀具耐用度，同时能减少工件热变形，抑制积屑瘤和鳞刺的生长，从而提高生产效率，改善工件表面粗糙度，保证工件加工精度，达到最佳经济效益。因此，了解切削液的作用，合理地选用切削液对实际生产具有重要的意义。

(一) 切削液的分类

切削加工中最常用的切削液可分为水溶性切削液、非水溶性切削液和固体润滑剂三大类，下面列出常用切削液的种类。

(1) 水溶性切削液。主要有水溶液和乳化液。水溶液是由基础油（或不含基础油）、



防锈添加剂、表面活性剂、水以及其他添加剂复配而成,使用时根据加工情况加水配成一定浓度的稀释液进行使用。乳化液是由矿物油、乳化剂及其他添加剂配制而成,用水稀释后即成为乳白色或半透明状的乳化液,为了提高其防锈和润滑性能,可再加入一定的添加剂。水溶性切削液有良好的冷却性能和清洗作用,还有一定的防锈与润滑作用。

(2) 非水溶性切削液。主要是切削油,其中有各种矿物油(如机械油、轻柴油和煤油等)、动植物油(如豆油和猪油等)和加入油性、极压添加剂配制的混合油,不含水,在使用时不需要用水稀释。它主要起润滑作用。

(3) 固体润滑剂。在攻螺纹时,常在刀具或工件上涂上一些膏状或固体润滑剂。膏状润滑剂主要是含极压添加剂的润滑脂。固体润滑剂主要是二硫化钼蜡笔、石墨、硬脂酸皂、蜡等。用二硫化钼蜡笔涂在砂轮、砂盘、带、丝锥、锯带或圆锯片上,能起到润滑作用并降低工件表面的粗糙度,减少毛刺或金属的熔焊,并延长砂轮和刀具的使用寿命。

(二) 切削液的功用

(1) 冷却作用。通过切削液的对流和汽化作用把因切削而发热的刀具(或砂轮)、切屑和工件间的切削热从刀具和工件处带走,从而有效地降低切削温度,减少工件和刀具的热变形,提高加工精度和刀具耐用度。在切削速度高、刀具和工件材料导热性差、热膨胀系数较大的情况下,切削液的冷却作用尤为重要。

(2) 润滑作用。切削液能渗入到刀具与切屑、加工件表面之间,形成润滑膜或吸附膜,可以减小前刀面与切屑,后刀面与已加工件表面间的摩擦,从而减小切削力、摩擦和功率消耗,降低刀具与工件坯料摩擦部位的表面温度和刀具磨损,改善工件材料的切削加工性能。

(3) 清洗作用。在金属切削过程中,切削液可以冲走切削区域和机床上的细碎切屑、脱落的磨粒和油污,防止划伤已加工表面和导轨,使刀具或砂轮的切削刃口保持锋利,不致影响切削效果。

(4) 防锈作用。在切削液中加入防锈剂,可在金属表面形成一层保护膜,起到防锈作用。防锈作用的强弱,取决于切削液本身的成分和添加剂的作用。

(5) 其他作用。除了以上四种作用外,切削液应具备良好的稳定性,在储存和使用中不产生沉淀或分层、析油、析皂和老化等现象,对细菌和霉菌有一定抵抗能力,不易因发霉及生物降解而导致发臭、变质。

另外,切削液还要不损坏涂漆零件,对人体无危害,无刺激性气味;在使用过程中无烟雾或少烟雾;便于回收,低污染,排放的废液处理简便,废液经处理后能达到国家规定的工业污水排放标准等。

(三) 切削液的选择和应用

在选用不同的切削液时,首先要根据工件材料、刀具材料、加工方法和要求精度

等条件进行选择,同时还要综合考虑安全性和环保等限制项目。如果要强调防火的安全性,就应考虑选用水溶性切削液,当选用水溶性切削液时,就应该考虑废液的排放问题,企业应配备废液处理的设施等。

1. 从工件材料方面考虑。

在切削普通结构钢等塑性材料时,要采用切削液,而在加工铸铁等脆性材料时,可以不用切削液。切削材料中含有铬、镍、钼、锰、钛、钒、铝、铌、钨等元素时,对切削液的冷却、润滑作用都有较高的要求,此时应尽可能采用极压切削油或极压乳化液。加工铜、铝及其合金不能用含硫的切削液。精加工铜及其合金、铝及其合金或铸铁时,主要是要求达到较小的表面粗糙度,可选用离子型切削液或 10% ~ 12% 的乳化液。

2. 从刀具材料方面考虑。

高速钢刀具粗加工时,应选用以冷却作用为主的切削液,主要目的是降低切削温度;硬质合金刀具粗加工时,可以不用切削液,必要时也可以用低浓度的乳化液或水溶液,但必须连续地、充分地浇注,否则刀片会因冷热不均而产生裂纹。

3. 从加工要求方面考虑。

粗加工时,切削用量较大,产生大量的切削热,容易导致高速钢刀具迅速磨损。这就要求降低切削温度,此时应选用以冷却性能为主的切削液,如离子型切削液或 3% ~ 5% 的乳化液。在较低速切削时,刀具以机械磨损为主,宜选用以润滑性能为主的切削油;在较高速度切削时,刀具主要是热磨损,要求切削液有良好的冷却性能,宜选用离子型切削液或乳化液。

精加工时,切削液的主要作用是减小工件表面粗糙度和提高加工精度。对一般钢件加工时,切削液应具有良好的渗透性、润滑性和一定的冷却性。在较低速度(6.0 ~ 30 m/min)时,为减小刀具与工件间的摩擦和黏结,抑制积屑瘤,以减小加工粗糙度,宜选用极压切削油或 10% ~ 12% 的极压乳化液或离子型切削液。

4. 从加工方法方面考虑。

铰削、拉削、螺纹加工、剃齿等工序的加工刀具与已加工表面摩擦严重,应选用润滑性能好的极压切削油或高浓度的极压乳化液。因为成形刀具、齿轮刀具价格昂贵,要求刀具使用寿命长,故采用极压切削油。磨削加工时,温度较高,工件容易烧伤,还会产生大量的碎屑,这些碎屑连同脱落的砂粒会划伤已加工表面,因此要求切削液应具有良好的冷却和清洗作用,常用乳化液。但选用离子型切削液效果更好,而且价格也较便宜。磨削难加工材料,宜选用润滑性能较好的极压乳化液或极压切削油。

在实际生产中,切削液的施加方法,以浇注法用得最多。使用此法时,切削液流量应充足,浇注位置应尽量接近切削区。车、铣时,切削液流量为 10 ~ 20 L/min;车削时,从后刀面喷射浇油比在前刀面上直接浇油,刀具耐用度提高 1 倍以上。

三、刀具合理几何角度的选择

刀具的合理几何角度的选择是否合理,对刀具使用寿命、加工质量、生产效率和



加工成本等有着重要影响。所谓刀具的合理几何角度,是指在保证加工质量的前提下,能够满足刀具较长使用寿命、较高生产效率、较低加工成本的刀具几何角度。

(一) 前角的选择

从金属切削的变形规律可知,前角是切削刀具上重要的几何参数之一,它的大小直接影响切削力、切削温度和切削功率,影响刃区和刀头的强度、容热体积和导热面积,从而影响刀具使用寿命和切削加工生产率。

合理前角的选择原则:

(1) 工件材料的强度、硬度低,应取较大的前角;工件材料强度、硬度高,应取较小的前角;加工特别硬的工件(如淬硬钢)时,前角应很小甚至取负值。例如加工铝合金时; $\gamma_0 = 30^\circ \sim 35^\circ$,加工中硬钢时; $\gamma_0 = 10^\circ \sim 20^\circ$;加工软钢时, $\gamma_0 = 20^\circ \sim 30^\circ$ 。

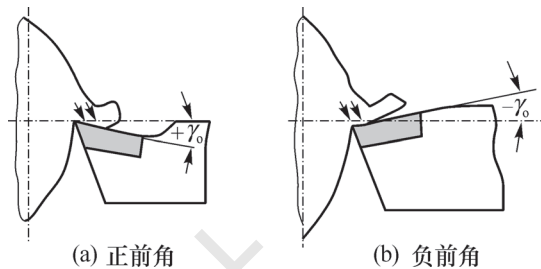


图 1-33 前角不同时刀具的受力性质

用硬质合金车刀加工强度很大的钢料($\sigma_b=0.8 \sim 1.2$ GPa)或淬硬钢,特别是断续切削时,应从刀具破损的角度出发来选择前角,这时常需采用负前角($\gamma_0=-20^\circ \sim -5^\circ$)。材料的强度或硬度越高,负前角的绝对值越大。这是因为工件材料的强度或硬度很高时,切削力很大,采用正前角的刀具,切削刃部分和刀尖部分主要受到的是弯曲和剪切应力[图 1-33(a)],硬质合金的抗弯强度较低,在重载下容易破损。采用负前角时,切削刃和刀尖部分受到的是压应力[图 1-33(b)],因硬质合金的抗压强度比抗弯强度高 3~4 倍,所以切削刃不易因受压而损坏。抗弯强度更差的陶瓷和立方氮化硼刀具,也经常采用负前角。

(2) 加工塑性材料时,尤其是冷加工硬化严重的材料,应取较大的前角;加工脆性材料时,可取较小的前角;用硬质合金刀具加工一般钢料时,前角可选 $10^\circ \sim 20^\circ$ 。

切削灰铸铁时,塑性变形较小,切屑呈崩碎状,它与前刀面的接触长度较短,与前刀面的摩擦不大,切削力集中在切削刃附近。为了保护切削刃不致损坏,宜选较小的前角。加工一般灰铸铁时,前角可选 $5^\circ \sim 15^\circ$ 。

(3) 粗加工,特别是断续切削,刀具要承受冲击性载荷,或对有硬皮的铸锻件粗切时,为保证刀具具有足够的强度,应适当减小前角;但在采取某些强化切削刃及刀尖的措施之后,也可增大前角至合理的数值。

(4) 成形刀具和前角影响刀刃形状的其他刀具,为防止刃形畸变,常取较小的前角,甚至取 0° ,但这些刀具的切削条件不好,应在保证切削刃成形精度的前提下,设法增大前角,例如有增大前角的螺纹车刀和齿轮滚刀等。

(5) 刀具材料的抗弯强度较大、韧性较好时,应选用较大的前角,如高速钢刀具比硬质合金刀具,允许选用的前角更大(可大 $5^\circ \sim 10^\circ$)。

(6) 工艺系统刚性差和机床功率不足时,应选取较大的前角。

(7) 数控机床和自动生产线所用刀具, 应考虑保障刀具尺寸公差范围内的使用寿命及工作的稳定性, 而选用较小的前角。

(二) 后角的选择

后角 α_o 的主要作用是减小后刀面与过渡表面之间的摩擦。由于切屑形成过程中的弹性、塑性变形和切削刃钝圆半径 r_e 的作用, 在过渡表面上有一个弹性恢复层。后角越小, 弹性恢复层同后刀面的摩擦接触长度越大, 它是导致切削刃及后刀面磨损的直接原因之一。从这个意义上来看, 增大后角能减少摩擦, 可以提高已加工表面质量和刀具使用寿命。

表 1-8 为硬质合金车刀合理前角、后角的参考值, 高速钢车刀的前角一般比表中的值大 $5^\circ \sim 10^\circ$ 。

表 1-8 硬质合金车刀合理前角、后角的参考值

工作材料种类	合理前角参考值 / $^\circ$		合理后角参考值 / $^\circ$	
	粗车	精车	粗车	精车
低碳钢	20 ~ 25	25 ~ 30	8 ~ 10	10 ~ 12
中碳钢	10 ~ 15	15 ~ 20	5 ~ 7	6 ~ 8
合金钢	10 ~ 15	15 ~ 20	5 ~ 7	6 ~ 8
淬火钢	-15 ~ -5		8 ~ 10	
不锈钢(奥氏体)	15 ~ 20	20 ~ 25	6 ~ 8	8 ~ 10
灰铸铁	10 ~ 15	5 ~ 10	4 ~ 6	6 ~ 8
铜及铜合金(脆)	10 ~ 15	5 ~ 10	6 ~ 8	6 ~ 8
铝及铝合金	30 ~ 35	35 ~ 40	8 ~ 10	10 ~ 12
钛合金($\sigma_b \leq 1.177 \text{ GPa}$)	5 ~ 10		10 ~ 15	

(1) 实验证明, 合理的后角 α_o 主要取决于切削厚度(或进给量)。当切削厚度很小时, 磨损主要发生在后刀面上, 为了减小后刀面的磨损和增加切削刃的锋利程度, 宜取较大的后角。当切削厚度很大时, 前刀面上的磨损量加大, 这时后角取小些可以增强切削刃及改善散热条件; 同时, 由于这时楔角较大, 可以使月牙洼磨损深度达到较大值而不致使切削刃碎裂, 因而可提高刀具耐用度。但若刀具已采用了较大负前角则不宜减小后角 α_o , 以保证切削刃具有良好的切入条件。当 $f \leq 0.25 \text{ mm/r}$ 时, 取 $\alpha_o = 10^\circ \sim 12^\circ$; 当 $f > 0.25 \text{ mm/r}$ 时, 取 $\alpha_o = 5^\circ \sim 8^\circ$ 。

(2) 工件的强度、硬度较高时, 为增加切削刃的强度, 应选择较小的后角。工件材料的塑性、韧性较大时, 为减小刀具后刀面的摩擦, 可取较大的后角。加工脆性材料时, 切削力集中在刃口附近, 应取较小的后角。

(3) 粗加工或断续切削时, 为了强化切削刃, 应选较小的后角。精加工或连续切削时, 刀具的磨损主要发生在刀具后刀面, 应选较大的后角。

(4) 当工艺系统刚性较差, 容易出现振动时, 应适当减小后角。为了减小或消除切削时的振动, 还可在车刀后面上磨出 $b_{al} = 0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$, $\alpha_{ol} = 0^\circ$ 的韧带, 韧带不但可以



消振,还可以提高刀具耐用度,起稳定和导向作用,主要用于铰刀、拉刀等有尺寸精度要求的刀具上。或磨出如图 1-34 所示的 $b_{a1}=0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$, $\alpha_{o1}=-5^\circ \sim -10^\circ$ 的消振棱。消振棱可以使切削过程稳定性增加,有助于消除切削过程的低频振动,同时强化了切削刃,改善了散热条件,从而提高了刀具耐用度。

(5) 在尺寸精度要求较严情况下,为限制重磨后刀具尺寸变化,一般选用较小的后角。

(6) 在一般条件下,为了提高刀具耐用度,可加大后角,但为了降低重磨费用,对重磨刀具可适当减小后角。

刀具的副后角主要用来减少副后面与已加工表面的摩擦,它对刀尖强度也有一定的影响。为使制造、刃磨方便,一般取 $\alpha'_o = \alpha_o$ 。

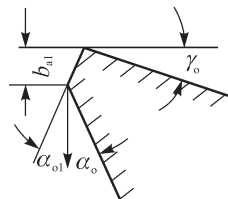


图 1-34 带有消振棱的车刀

(三) 主、副偏角的选择

1. 主偏角的功用

主偏角对刀具耐用度影响很大,并且可以在很大范围内变化。随着主偏角的减小,刀具耐用度得以提高。当背吃刀量和进给量不变时,减小主偏角会使切削厚度减小,切削宽度增加,使单位长度切削刃上的负荷减轻。同时,刀尖角增大,使刀尖强度提高,刀尖散热体积增大,从而提高了刀具耐用度。减小主偏角还可使工件表面残留面积高度减小,从而使已加工表面粗糙度减小。

但是减小主偏角会导致径向分力 F_y 增大,轴向分力 F_x 减小,当工艺系统刚度不足时,将会引起振动,使已加工表面粗糙度值增大,导致刀具耐用度下降。

因此,合理选择主偏角主要按以下原则:

(1) 工艺系统的刚度较好时,主偏角可取小值,如 $\kappa_r = 30^\circ \sim 45^\circ$,在加工高强度、高硬度的工件时,可取 $\kappa_r = 10^\circ \sim 30^\circ$,以增加刀头的强度。当工艺系统的刚度较差或强力切削时,一般取 $\kappa_r = 60^\circ \sim 75^\circ$ 。

(2) 综合考虑工件形状、切屑控制等方面的要求。车削细长轴时,为了减小径向力,可取 $\kappa_r = 90^\circ \sim 93^\circ$;车削阶梯轴时,可取 $\kappa_r = 90^\circ$;用一把车刀车削外圆、端面和倒角时,可取 $\kappa_r = 45^\circ \sim 60^\circ$;镗盲孔时,可取 $\kappa_r > 90^\circ$ 。较小的主偏角易形成长而连续的螺旋屑,不利于断屑,故对于切削屑控制严格的自动化加工,宜取较大的主偏角。

2. 副偏角的功用与选择

副切削刃的主要作用是最终形成已加工表面。副偏角 κ'_r 越小,切削刀痕理论残留面积的高度越小,已加工表面粗糙度值越小,同时小的副偏角 κ'_r 还可以增强刀尖强度,改善散热条件。但副偏角 κ'_r 过小,会增加副切削刃参加切削工作的长度,增大副切削刃后刀面与已加工表面的摩擦和磨损,使刀具耐用度降低。此外,副偏角太小,也易引起振动,反而会增大表面粗糙度值。

副偏角 κ'_r 的大小主要根据工件已加工表面的粗糙度要求和刀具强度来选择,在不引起振动的情况下,尽量取小值。一般精加工时,取 $\kappa'_r = 5^\circ \sim 10^\circ$;粗加工时,取 $\kappa'_r =$

$10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。当工艺系统刚度较差或从工件中间切入时,可取 $\kappa'_r = 30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。在精车时,可在副切削刃上磨出一段 $\kappa'_r = 0^{\circ}$ 、长度为 $1.2f \sim 1.5f$ 的修光刃,以减小已加工表面的粗糙度值。用带有修光刃的车刀切削时,径向分力 F_y 很大,因此工艺系统刚度必须很好,否则容易引起振动。

(四) 刃倾角的选择

刃倾角的功用有以下几个方面。

(1) 影响切削力的大小与方向。刃倾角对径向力和轴向力的影响较大。当负刃倾角绝对值增大时,径向力会显著增大,将导致工件变形和工艺系统振动。例如,当 λ_s 从 0° 变化到 -45° 时,径向力 F_y 增大约 1 倍,轴向力 F_x 减小约 $1/3$,主切削力 F_z 基本不变。

(2) 影响刀尖强度和散热条件。图 1-35 所示为用 $\kappa_r = 90^{\circ}$ 的刨刀刨削平面的情况,当 $\lambda_s < 0^{\circ}$ 时,切削过程中远离刀尖的切削刃处先接触工件,刀尖可免受冲击,同时,切削面积在切入时由小到大,切出时由大到小逐渐变化,因而切削过程比较平稳,大大减小了刀具受到的冲击,并减少了崩刃现象的产生。而当 $\lambda_s = 0^{\circ}$ 时,切削刃全长与工件同时接触,切削力在瞬间由零增至最大,因而冲击较大。当 $\lambda_s > 0^{\circ}$ 时,刀尖首先接触工件,冲击作用在刀尖上,容易崩尖。

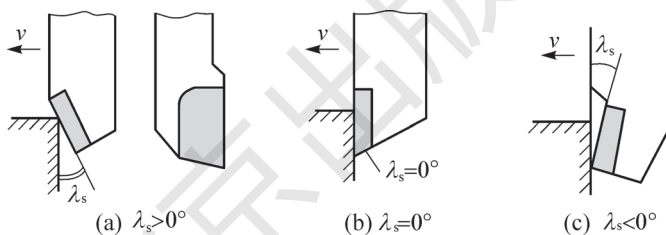


图 1-35 刃倾角对刀尖强度的影响 (以 $\kappa_r = 90^{\circ}$ 的刨刀为例)

由图 1-35 也可以看出, $\lambda_s < 0^{\circ}$ 的车刀的刀头强度较高,散热条件较好。因此,在粗加工时,特别是冲击较大的加工中,常采用 $\lambda_s < 0^{\circ}$ 的刀具。

(3) 影响切屑的流出方向。图 1-36 所示为外圆车刀主切削刃倾角对切屑流向的影响。当 $\lambda_s = 0^{\circ}$ 时,切屑沿主切削刃方向流出;当 $\lambda_s > 0^{\circ}$ 时,切屑流向待加工表面;当 $\lambda_s < 0^{\circ}$ 时,切屑流向已加工表面,容易划伤工件表面。

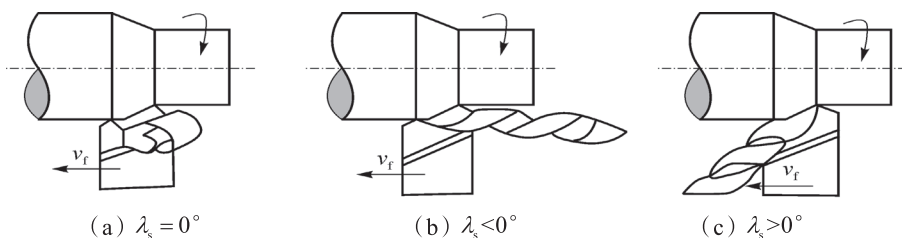


图 1-36 刃倾角对切屑流向的影响

(4) 影响切削刃的锋利程度。当刃倾角 $\lambda_s \geq 15^{\circ}$ 时,刀具的工作前角和工作后角都



随 λ_s 的增大而增大。而切削刃钝圆半径 r_c 则随 λ_s 的增大而减小, 增大切削刃的锋利性。因此, 对于微量精车刀和精刨刀常采用 $45^\circ \sim 75^\circ$ 的刃倾角, 切下极薄的切屑。

因此在加工钢件或铸铁件时, 粗车取 $\lambda_s = -5^\circ \sim 0^\circ$, 精车取 $\lambda_s = 0^\circ \sim 5^\circ$; 有冲击负荷或断续切削时取 $\lambda_s = -15^\circ \sim -5^\circ$ 。加工高强度钢、淬硬钢或强力切削时, 为提高刀头强度, 取 $\lambda_s = -30^\circ \sim -10^\circ$ 。当工艺系统刚度较差时, 一般不宜采用负刃倾角, 以避免径向力增加时产生的振动现象。

四、切削用量的选择

切削用量三要素对切削力、刀具磨损、刀具耐用度和产品加工质量等都有直接的影响。只有选择合适的切削用量, 才能充分发挥机床和刀具的功能, 最大限度地挖掘生产潜力, 降低生产成本。

(一) 制定切削用量的原则

制定切削用量就是确定工序中的背吃刀量 a_p 、进给量 f 、切削速度 v_c 以及刀具耐用度的大小。

(1) 切削用量对生产率的影响。以外圆切削为例, 在粗加工时, 毛坯的余量较大, 加工精度和表面粗糙度值要求均不高, 在制定切削用量时, 要在保证刀具耐用度的前提下, 尽可能地以提高生产率和降低加工成本为目标。切削用量三要素 v_c 、 f 、 a_p 中的任何一个参数增加一倍, 都可使生产率增加一倍。通常背吃刀量不宜取得过小, 否则, 为了切除余量, 可能使进给次数增加, 这样, 会增加辅助时间, 反而会使金属切除率降低。

(2) 切削用量对刀具耐用度的影响。在切削用量三要素中, 切削速度 v_c 对刀具耐用度的影响最大, 进给量 f 的影响次之, 背吃刀量 a_p 的影响最小。因此, 从保证合理的刀具耐用度来考虑时, 应首先选择尽可能大的背吃刀量 a_p ; 其次按工艺和技术条件的要求选择较大的进给量 f ; 最后根据合理的刀具耐用度, 用算法或查表法确定切削速度 v_c 。

(3) 切削用量对加工质量的影响。在切削用量三要素中, 切削速度 v_c 增大时, 切屑变形和切削力有所减小, 已加工表面粗糙度值减小; 进给量 f 增大, 切削力将增大, 而且表面粗糙度值会显著增大; 背吃刀量 a_p 增大, 切削力 F_c 成比例增大, 使工艺系统弹性变形增大, 并可能引起振动, 因而会降低加工精度, 使已加工表面粗糙度值增大。因此, 在精加工和半精加工时, 常常采用较小的背吃刀量 a_p 和进给量 f 。为了避免或减小积屑瘤和鳞刺, 提高表面质量, 硬质合金车刀常采用较高的切削速度 (一般 $v_c = 80 \sim 100 \text{ m/min}$), 高速钢车刀则采用较低的切削速度 (如宽刃精车刀 $v_c = 3 \sim 8 \text{ m/min}$)。

(二) 背吃刀量的选择

切削加工一般分为粗加工、半精加工和精加工。

粗加工 ($Ra = 12.5 \sim 50 \mu\text{m}$) 时, 应尽量用一次走刀就切除全部加工余量。在中等功率机床上, 背吃刀量可达 $8 \sim 10 \text{ mm}$ 。半精加工 ($Ra = 3.2 \sim 6.3 \mu\text{m}$) 时, 背吃刀量取为 $0.5 \sim 2 \text{ mm}$ 。精加工 ($Ra = 0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$) 时, 背吃刀量取为 $0.1 \sim 0.4 \text{ mm}$ 。

粗加工时, 当加工余量太大, 工艺系统刚性不足, 或者加工余量极不均匀, 以致引起很大振动时, 可分多次走刀。多次走刀时, 应将第一次走刀的背吃刀量取大些, 一般为总加工余量的 $2/3 \sim 3/4$ 。而且最后一次走刀的背吃刀量要取小一点, 以使精加工工序有较高的刀具耐用度和加工精度以及较小的表面粗糙度值。

在加工铸、锻件或不锈钢等加工硬化严重的材料时, 应尽量使背吃刀量大于硬皮层或冷硬层的厚度, 以保护刀尖, 避免过早磨损。

精加工时, 背吃刀量的选取应该根据表面质量的要求。在用硬质合金刀具、陶瓷刀具、金刚石和立方氮化硼刀具精细车削和镗孔时, 可以取 $a_p = 0.05 \sim 0.2 \text{ mm}$, $f = 0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$, $v_c = 240 \sim 900 \text{ m/min}$, 这时表面粗糙度值可达到 $Ra = 0.32 \sim 0.1 \mu\text{m}$, 精度达到或高于 IT5 (孔达到 IT6 时), 可以代替磨削加工。

(三) 进给量的选择

粗加工时, 由于工件的表面质量要求不高, 进给量的选择主要受切削力的限制。在机床进给机构的强度、车刀刀杆的强度和刚度以及工件的装夹刚度等工艺系统强度良好, 硬质合金或陶瓷刀片等刀具的强度较大的情况下, 可选用较大的进给量值。当断续切削时, 为减小冲击, 要适当减小进给量。

在半精加工和精加工时, 因背吃刀量较小, 切削力不大, 进给量的选择主要考虑加工质量和已加工表面粗糙度值, 一般取的值较小。

表 1-9 硬质合金及高速钢车刀粗车外圆和端面时进给量的参考值

工件材料	车刀刀杆尺寸 $B \times H/\text{mm}^2$	工件直径 mm	背吃刀量 mm				
			≤ 3	$>3 \sim 5$	$>5 \sim 8$	$>8 \sim 12$	>12
			进给量 mm/r				
碳素结构钢和合金结构钢	16×25	20	$0.3 \sim 0.4$	—	—	—	—
		40	$0.4 \sim 0.5$	$0.3 \sim 0.4$	—	—	—
		60	$0.5 \sim 0.7$	$0.4 \sim 0.6$	$0.3 \sim 0.5$	—	—
		100	$0.6 \sim 0.9$	$0.5 \sim 0.7$	$0.5 \sim 0.6$	$0.4 \sim 0.5$	—
		400	$0.8 \sim 1.2$	$0.7 \sim 1.0$	$0.6 \sim 0.8$	$0.5 \sim 0.6$	—
	20×30 25×25	20	$0.3 \sim 0.4$	—	—	—	—
		40	$0.4 \sim 0.5$	$0.3 \sim 0.4$	—	—	—
		60	$0.6 \sim 0.7$	$0.5 \sim 0.7$	$0.4 \sim 0.6$	—	—
		100	$0.8 \sim 1.0$	$0.7 \sim 0.9$	$0.5 \sim 0.7$	$0.4 \sim 0.7$	—
		600	$1.2 \sim 1.4$	$1.0 \sim 1.2$	$0.8 \sim 1.0$	$0.6 \sim 0.9$	$0.4 \sim 0.6$
16×25 、 20×30 、 25×25 、 25×40		60	$0.6 \sim 0.9$	$0.5 \sim 0.8$	$0.4 \sim 0.7$	—	—
		100	$0.8 \sim 1.2$	$0.7 \sim 1.1$	$0.6 \sim 0.9$	$0.5 \sim 0.8$	—
		1 000	$1.2 \sim 1.5$	$1.1 \sim 1.5$	$0.9 \sim 1.2$	$0.8 \sim 1.0$	$0.7 \sim 0.8$



续表

工件材料	车刀刀杆尺寸 $B \times H/\text{mm}^2$	工件直径 /mm	背吃刀量 /mm				
			≤ 3	$>3 \sim 5$	$>5 \sim 8$	$>8 \sim 12$	>12
			进给量 / (mm/r)				
铸铁及 铜合金	16×25	40	$0.4 \sim 0.5$	—	—	—	—
		60	$0.6 \sim 0.8$	$0.5 \sim 0.8$	$0.4 \sim 0.6$	—	—
		100	$0.8 \sim 1.2$	$0.7 \sim 1.0$	$0.6 \sim 0.8$	$0.5 \sim 0.7$	—
		400	$1.0 \sim 1.4$	$1.0 \sim 0.2$	$0.8 \sim 1.0$	$0.6 \sim 0.8$	—
	20×30 25×25	40	$0.4 \sim 0.5$	—	—	—	—
		60	$0.6 \sim 0.9$	$0.5 \sim 0.8$	$0.4 \sim 0.7$	—	—
		100	$0.9 \sim 1.3$	$0.8 \sim 1.2$	$0.7 \sim 1.0$	$0.5 \sim 0.8$	—
		600	$1.2 \sim 1.8$	$1.2 \sim 1.6$	$1.0 \sim 1.3$	$0.9 \sim 1.1$	$0.7 \sim 0.9$

在实际生产中,进给量 f 常常根据经验或查表法确定。粗加工时,根据加工材料、车刀刀杆尺寸、工件直径以及已确定的背吃刀量按表 1-9 来选择进给量。在半精加工和精加工时,则根据表面粗糙度值的要求,按工件材料、刀尖圆弧半径、切削速度的大小不同来选择进给量(具体数据可查阅《机械加工工艺手册》)。

(四) 切削速度的确定

当背吃刀量 a_p 和进给量 f 选定后,应该在此基础上再选出最大的切削速度 v_c ,此速度主要受刀具耐用度的限制。因此,在一般情况下,要根据已经选定的背吃刀量 a_p 、进给量 f 及刀具耐用度 T ,按式(1-21)计算出切削速度 v_c 。

$$v_c = \frac{C_{v_c}}{T a_p^{x_{v_c}} f^{y_{v_c}}} K_{v_c} \quad (1-21)$$

式中各系数和指数可查阅切削用量手册。切削速度也可以由表 1-10 来选定,在取切削速度时应注意:一般地,粗加工时,取小值,精加工时,取大值。

表 1-10 硬质合金外圆车刀切削速度参考值

工作材料	热处理状态	$a_p=0.3 \sim 2 \text{ mm}$	$a_p=2 \sim 6 \text{ mm}$	$a_p=6 \sim 10 \text{ mm}$
		$f=0.08 \sim 0.3 \text{ mm/r}$	$f=0.3 \sim 0.6 \text{ mm/r}$	$f=0.6 \sim 1 \text{ mm/r}$
		$v/(\text{m/s})$		
低碳钢	热轧	$2.33 \sim 3.0$	$1.67 \sim 2.0$	$1.17 \sim 1.5$
易切钢				
中碳钢	热轧	$2.17 \sim 2.67$	$1.5 \sim 1.83$	$1.0 \sim 1.33$
	调质	$1.67 \sim 2.17$	$1.17 \sim 1.5$	$0.83 \sim 1.17$
合金结构钢	热轧	$1.67 \sim 2.17$	$1.17 \sim 1.5$	$0.83 \sim 1.17$
	调质	$1.33 \sim 1.83$	$0.83 \sim 1.17$	$0.67 \sim 1.0$
工具钢	退火	$1.5 \sim 2.0$	$1.0 \sim 1.33$	$0.83 \sim 1.17$
不锈钢	—	$1.17 \sim 1.33$	$1.0 \sim 1.17$	$0.83 \sim 1.0$
高锰钢	—	—	$0.17 \sim 0.33$	—

续表

工作材料	热处理状态	$a_p=0.3\sim 2\text{ mm}$	$a_p=2\sim 6\text{ mm}$	$a_p=6\sim 10\text{ mm}$
		$f=0.08\sim 0.3\text{ mm/r}$	$f=0.3\sim 0.6\text{ mm/r}$	$f=0.6\sim 1\text{ mm/r}$
		$v/(\text{m/s})$		
铜及铜合金	—	3.33 ~ 4.17	2.0 ~ 3.0	1.5 ~ 2.0
铝及铝合金	—	5.1 ~ 10.0	3.33 ~ 6.67	2.5 ~ 5.0
铸铝合金	—	1.67 ~ 3.0	1.33 ~ 2.5	1.0 ~ 1.67

在实际生产中,选择切削速度的一般原则是:

(1) 粗车时,背吃刀量 a_p 和进给量 f 均较大,故选择较低的切削速度;精加工时,背吃刀量 a_p 和进给量 f 均较小,故选择较高的切削速度,同时应尽量避免开积屑瘤和鳞刺产生的区域。

(2) 加工材料的强度及硬度较高时,应选较低的切削速度;反之则选较高的切削速度。材料的加工性越差,例如加工奥氏体不锈钢、钛合金和高温合金时,切削速度也选得越低。易切钢的切削速度则较同硬度的普通碳钢要高。加工灰铸铁的切削速度较中碳钢要低。而加工铝合金和铜合金的切削速度则较加工钢的要高得多。

(3) 刀具材料的切削性能越好时,切削速度也选得越高。

(4) 在断续切削或者是加工锻、铸件等带有硬皮的工件时,为了减小冲击和热应力,要适当降低切削速度。

(5) 加工大件、细长轴和薄壁工件时,要选用较低的切削速度;在工艺系统刚度较差的情况下,切削速度就应避开产生自激振动的临界速度。

在切削用量选定后,应当校验机床功率能否满足式(1-22)的要求:

$$P_m = \frac{F_z \times v_c}{1\ 000} = \frac{P \times a_p \times f \times v_c}{1\ 000} \quad (1-22)$$

式中: P_m ——切削功率(kW);

F_z ——切削力(N);

v_c ——切削速度(m/s);

P ——单位切削力(N/mm²)。

机床功率校验应满足式(1-23):

$$\frac{P_m}{\eta_m} \leq P_E \quad (1-23)$$

式中: P_E ——机床电动机功率,可从机床说明书上的技术规格中查到;

η_m ——机床传动效率,一般取值为0.75~0.85。新机床取大值,旧机床取小值。

如果不满足式(1-23),则可适当降低切削速度 v_c ,以降低切削功率。

如果满足式(1-23),则选择的切削用量是可以在该机床上应用的。如果远小于



P_E ，则说明机床的功率没有充分发挥，这时可取较小的刀具耐用度或者采用切削性能较好的刀具材料，以提高切削速度，充分利用机床功率，最终达到提高生产效率的目的。

职业技能知识点考核

1. 切削用量中对切削温度影响最大的是()。
A. 切削深度 B. 进给量 C. 切削速度 D. 背吃刀量
2. 在切削用量相同的条件下，主偏角减小会使切削温度()。
A. 增高 B. 降低 C. 不变 D. 稍微增高
3. 切削温度是指()表面的平均温度。
A. 刀尖与前刀面 B. 工件 C. 切屑 D. 机床
4. 刀具上刀尖圆弧半径增大会使径向力()。
A. 减小 B. 不变 C. 增大 D. 相同