



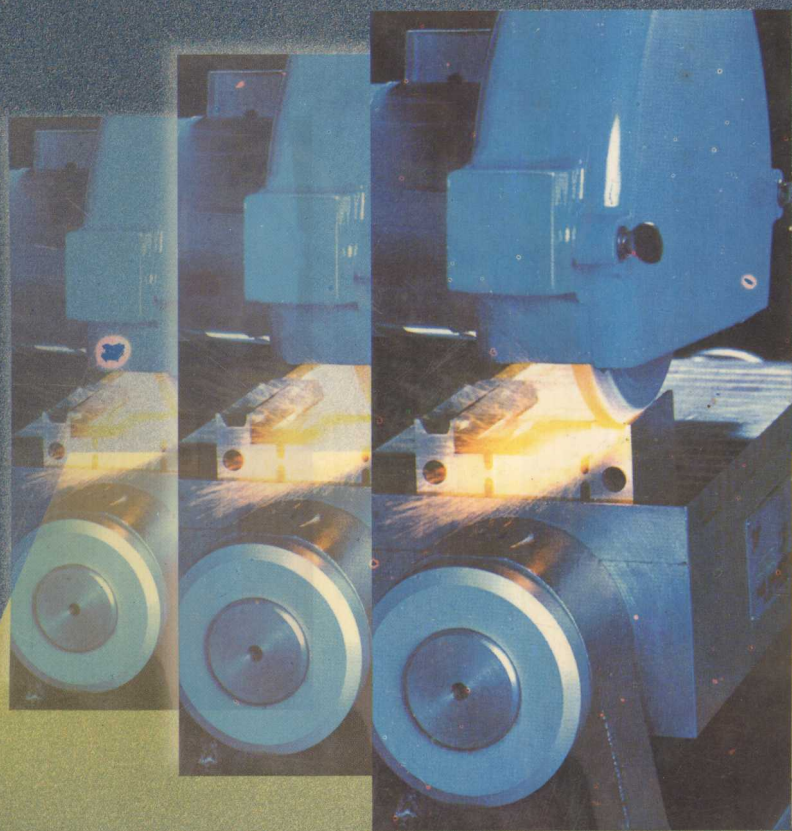
国家教委中等专业学校规划教材

机械维修类专业通用

金属工艺学

(第二版) 下册

黄孟域 主编 郭新民 副主编



高等教育出版社

第 111 (号)

国家教委中等专业学校规划教材

金属工艺学

本教材是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

金 属 工 艺 学

本书共分两册。上册主要介绍金属材料、金属的力学性能、金属的变形与强化、金属的焊接、金属的防腐等。下册主要介绍金属的铸造、金属的切削加工、金属的热处理、金属的粉末冶金、金属的特种加工等。

下 册

(第 2 版)

· 机械维修类专业用 ·

黄孟域 主 编

郭新民 副主编

社 址

本书是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

本书是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

本书是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

本书是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

本书是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

本书是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

本书是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

本书是根据《中等专业学校金属工艺学教学大纲》编写的。在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为中等专业学校机械类专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

高 等 教 育 出 版 社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是在第1版的基础上,根据1987年国家教委审定的中等专业学校工科机械类专业通用《机械工程材料工艺学教学大纲》修订的,修订时仍保持了原书的体系和风格。全书分上、下册,并配有《金属工艺学实验指导书》。

上册内容为钢铁冶炼、金属材料及钢的热处理、非金属材料、金属的腐蚀及其防护方法、铸造生产、金属压力加工、金属的焊接;下册为金属的切削加工、特种加工以及零件生产过程的基本知识。

本书主要用作中等专业学校机械维修、设备运转、设计等类专业的教材,也可供其他相近专业及职工中专、职业高中有关专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学 下册/黄孟域主编.—2版.—北京:高等教育出版社,1994.4(1996重印)

中等专业学校教材 机械维修类专业用

ISBN 7-04-004661-X

I. 金… II. 黄… III. 金属加工-工艺学-专业学校-教材
IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第01049号

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

江苏经中印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 8.25 字数 186 000

1986年8月第1版

1994年4月第2版 1997年7月第4次印刷

印数 71110—91518

定价:6.90元

第 2 版 序

本书是根据国家教育委员会关于调整 1986~1990 年全国中等专业学校教材选题规划的通知精神和中等专业学校工科机械类(不含热加工)《机械工程材料工艺学教学大纲》的要求,在 1986 年第 1 版的基础上修订的。

本书保持了原有的体系和风格,同时,根据教学大纲精神删减了一些过深、过难的内容,增加了一些新内容。全书还按最新国家标准进行订正。

全书分上、下两册出版。上册为工程材料及热加工工艺,下册为金属的切削加工、特种加工及零件生产过程的基本知识。配有《金属工艺学实验指导书》。

本书带有“*”号的部分为选学内容,各校可根据不同的专业、对象、学制加以取舍,对某些教学计划有特殊要求的专业,可根据专业需要适当调整。

本版由铁道部济南铁路机械学校黄孟域(第 2 版序、绪论、第 1 至 10 章、第 15、18 章及上册附录),郭新民(第 11、12、14、19 章),曹方中(第 13 章)和山东经济管理干部学院王旭东(第 16、17 章及下册附录)修订。全书由黄孟域任主编,郭新民任副主编。

本书由全国中专金属工艺学课程组组长、长春水利电力高等专科学校康云武组织审稿,并兼任下册(第 16 至 19 章)主审;南京化工学校罗会昌任上册(第 1 至 15 章)主审。参加审稿会议的还有:四川省农业机械化学学校刘志刚,兰州石油学校石文义,成都无线电机机械学校苏家麟,苏州铁路机械学校胡焕章,南京农业机械化学学校顾平,湖南省机械工业学校陈定乾,山东省机械工业学校陆永昌、马中全。最后经全国中专金属工艺学课程组讨论通过,推荐作为全国中专机械维修、设备运转、设计等类专业金属工艺学教材。

对提出宝贵意见和建议的审稿老师,以及给予大力支持和帮助的苏州铁路机械学校,在此一并表示感谢。由于修订时间匆促,水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

与本书配套的《金属工艺学实验指导书》同时作了修订。

编 者

1993 年 1 月

第 1 版

前 言

本书是根据 1982 年 2 月原教育部审订的中等专业学校工科机械类专业通用的《金属工艺学教学大纲(试行草案)》中有关机械维修类专业的内容编写的,与本书配套使用的尚有《金属工艺学实验指导书》(工科机械维修类专业用)。

主要包括:钢铁冶炼、金属材料及其热处理、铸造、压力加工、焊接及切割、切削加工等加工工艺以及零件生产过程的基本知识等十八章。

本书在编写过程中,注意了我国四化近期建设与长远目标、传统科学与现代科学的关系;努力贯彻少而精、理论联系实际的原则。为此,对主要内容除阐明现象与结论外,都作了一定的说理分析;对实际的工艺过程除作分析说明外,尽量注重实用,特别是对常用和简便的工艺方法作了适当介绍(例如,简单零件热处理工艺曲线的拟订、自身回火及回火色的应用、火花鉴别等);对新工艺、新材料、新技术也有一定介绍。

为注重培养学生综合运用知识的能力,本书在阐述金属材料及冷、热加工工艺的基础上,将原大纲中“典型零件的选材及热处理”和“工艺过程的基本知识”两部分内容合并为一章,并安排在最后,定名为“零件生产过程的基本知识”。以材料(或毛坯)的选择→加工工艺的配合→产品质量、数量的分析为主线,全面考虑技术与经济的统一,对所学知识进行系统全面地分析、归纳、总结。为便于学生复习巩固所学知识,各章后均附有一定量的复习思考题,以培养学生独立思考、分析和解决问题的能力。

全书计量单位统一采用我国法定计量单位。术语、定义及物理量代号以近期国家标准为准,国家标准没有的,则以《机械工程手册》为依据。为了便于学生阅读“金属工艺学”外文资料,本书下册附有汉英常用专业名词对照表。

本书带有“*”号部分为选学内容,可根据不同专业、对象、学制加以取舍,对某些特殊要求的专业,可根据专业需要适当调整。

本书由铁道部济南铁路机械学校黄孟域同志主编,兰州铁道学院副教授蒋光道同志主审。参加编写的有济南铁路机械学校郭新民同志(第十一、第十二及第十八章),曹方中同志(第十三章),郭宏孝同志(第十四章),山东机械工业学校王旭东同志(第十六、第十七章、下册附录),其余(前言、绪论、第一章至第十章、第十五章、汉英常用专业名词对照表及上册附录)由黄孟域同志编写。本书插图由济南铁路机械学校王渤同志描绘。

本书编写期间收到兄弟学校的不少宝贵意见。在编审过程中,济南交通学校田柏龄同志提出了很多积极建议。在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中的错误及不当之处在所难免,敬希广大读者指正。

编 者

1985 年 6 月

目 录

第 16 章 金属切削加工的基本知识 1

第 1 节 金属切削过程的基本概念 1

第 2 节 金属切削过程的物理现象 7

第 3 节 工件材料的切削加工性 12

第 4 节 切削液 14

第 5 节 已加工表面的粗糙度 15

第 6 节 车刀几何参数的选择 16

第 7 节 硬质合金可转位车刀 18

第 8 节 切削用量的选择原则及方法 20

复习思考题 22

第 17 章 金属切削机床及其加工 23

第 1 节 金属切削机床的分类及型号的
编制方法 23

第 2 节 车床及其加工 25

第 3 节 钻床、镗床及其加工 44

第 4 节 刨床、插床、拉床及其加工 54

第 5 节 铣床及其加工 61

第 6 节 磨床及其加工 71

第 7 节 齿轮加工概述 85

复习思考题 91

第 18 章 特种加工简介 93

第 1 节 概述 93

第 2 节 电火花加工 93

第 3 节 超声波加工 95

第 4 节 激光加工 96

复习思考题 98

第 19 章 零件生产过程的基本知识 99

第 1 节 概述 99

第 2 节 机械零件材料的选择 101

第 3 节 机械零件的毛坯种类及其选择 104

第 4 节 机械零件表面加工方法的选择 106

第 5 节 热处理工序在加工工艺路线中
位置的确定 108

第 6 节 零件的结构工艺性 110

第 7 节 典型零件生产工艺过程 116

复习思考题 122

附录 部分金属切削机床类、组、系

划分表 123

第16章 金属切削加工的基本知识

金属切削加工是利用切削工具(刀具)从工件上切除多余材料,从而使零件(或半成品)获得符合预定技术要求的加工方法。

由于机器零件的精度和表面粗糙度均有较高的要求,除部分零件可以通过轧制、挤压或精密铸造等方法直接获得外,大部分零件要通过切削加工的方法获得。因此,只有了解切削加工的基本原理和常用加工方法,才能合理地设计零件,正确地选用加工方法,以保证零件的加工质量和降低制造成本。

金属切削加工按机械化程度和使用刀具的形式分为手工加工和机械加工两部分。

一般,在钳台上以手工工具为主,对工件进行各种加工的方法称作钳加工,简称钳工。为了减轻劳动强度,提高生产率和加工质量,钳工中的某些工作逐渐地被机械加工所代替。但由于钳工工作灵活方便,在机器装配、维修等工作中仍得到广泛应用。

机械加工是利用机械力对各种工件进行加工的方法,它是利用安装有刀具的机床进行的,主要有车削、钻削、刨削、铣削、磨削和齿轮加工等。

第1节 金属切削过程的基本概念

一、切削运动与切削要素

(一) 切削运动

切削运动是刀具和工件相互接触切下多余金属的相对运动。按其所起的作用可分两类,即主运动和进给运动,如图16.1所示。

1. 主运动

主运动是使工件和刀具产生相对运动以进行切削的最基本的运动。它的速度最高,消耗功率最多。如车削时工件的旋转;钻削时钻头的旋转;刨削时刨刀(或工件)的直线移动;磨削时砂轮的旋转等。

2. 进给运动

进给运动是使主运动能够继续切除工件上多余的金属,以便形成所需工件表面的运动。任何切削加工方法,可以有一个或几个进给运动。如车削外圆时的进给运动包括沿工件轴向的走刀运动和沿工件径向的吃刀运动;刨削(牛头刨)时的进给运动为工件的间隙移动。

主运动和进给运动可以由工件和刀具分别完成,也可以由刀具单独完成。

在切削过程中,工件上会形成三种表面。以外圆车削为例,即将切去切屑的表面称为待加工表面;已切去金属层的表面称为已加工表面;正在被切削的表面,即由刀具主切削刃直接形成的表面称为加工表面。

(二) 切削要素

切削要素分切削用量要素和切削层横截面要素，以表示切削时各运动参数的大小和切削变形量，并依此为根据调整机床完成切削加工。

1. 切削用量要素

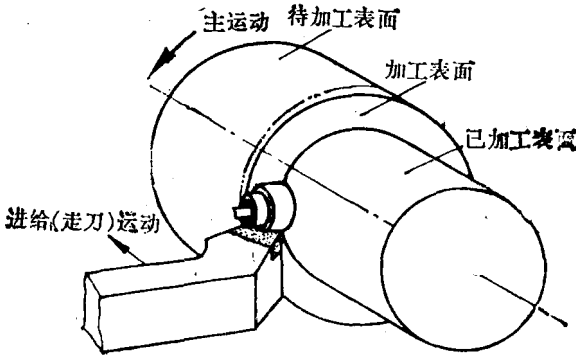


图 16.1 切削运动简图

切削用量要素包括切削速度、进给量和切削深度，统称切削三要素。

(1) 切削速度 v 切削速度是切削刃的选定点相对于工件的主运动的瞬时速度，即刀具相对工件单位时间沿主运动方向走过的距离，是主运动的线速度，单位为 m/min 。当主运动为回转运动时，

$$v = \frac{\pi D n_w}{1000} \quad (\text{m/min})$$

式中 n_w ——工件每分钟转数 (r/min)；

D ——工件或刀具的直径 (mm)。

(2) 进给量(走刀量) f 沿着所要形成的工件表面的进给运动的大小。车削时的进给量为工件每转一转，刀具沿进给(走刀)方向移动的距离，单位为 mm/r (图 16.2)。

(3) 切削深度(吃刀深度) a_p 吃刀的大小称为切削深度，单位为 mm 。车削(内外圆、端面)时的切削深度是待加工表面与已加工表面间的垂直距离(图 16.2)，

$$a_p = \frac{D - d}{2} \quad (\text{mm})$$

式中 D ——待加工表面直径 (mm)；

d ——已加工表面直径 (mm)。

2. 切削层横截面要素

切削层是指每走刀一次(即移动进给量 f 距离)，相邻两加工表面间的金属层。切削层的轴向剖面称切削层横截面，如图 16.2 右图(有阴影线部分)所示的平行四边形为车削时的切削层横截面。

(1) 切削厚度 a_c 走刀 f 后测得的两相邻加工表面间的垂直距离，它表示了主切削刃单位长度上的工作量

$$a_c = f \sin \kappa_r \quad (\text{mm})$$

式中 κ_r ——刀具的主偏角。

(2) 切削宽度 a_w 沿主切削刃方向测得的切削层尺寸，即主切削刃

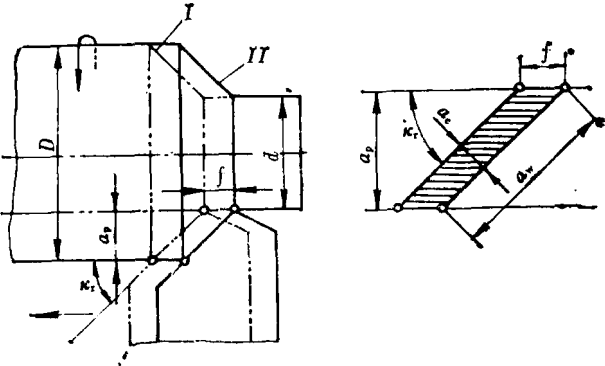


图 16.2 切削要素

参加切削工作的长度,

$$a_w = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (\text{mm})$$

(3) 切削面积 A_c 。切削层横截面的面积,

$$A_c = a_c a_w = f a_p \quad (\text{mm}^2)$$

由上式可知, f 和 a_p 决定了切削面积的大小。同样的切削面积, 切削层的形状随切削刃的形状及其主偏角 κ_r 的大小发生变化, 这时的切削厚度 a_c 和切削宽度 a_w 亦随之变化, 表示了切削刃单位长度负荷和切削刃工作长度的变化。

二、车刀切削部分的几何参数

(一) 车刀的组成

车刀由刀头和刀杆两部分组成。刀头直接担任切削工作, 又称切削部分。刀杆是固定夹紧刀具用的。外圆车刀的切削部分由三个刀面、两个切削刃和一个刀尖组成, 如图 16.3 所示。

前面(前刀面) 直接切入和挤压被切削层并控制切屑沿其排出的刀面。

主后面(主后刀面) 同工件加工表面相对的并相互作用的刀面。

副后面(副后刀面) 同工件已加工表面相对的并相互作用的刀面。

主切削刃(主刀刃) 前面与主后面的相交部位。

副切削刃(副刀刃) 前面与副后面的相交部位。

刀尖 主切削刃和副切削刃之间转折的尖角部分。

切削加工中使用的刀具种类繁多, 但都是由上述几部分组成, 仅刀面、切削刃和刀尖的数目不同。如切断刀由四个刀面、三个切削刃和二一个刀尖组成。多齿刀具的每个刀齿相当于一把车刀, 所以车刀是其它刀具的基础。

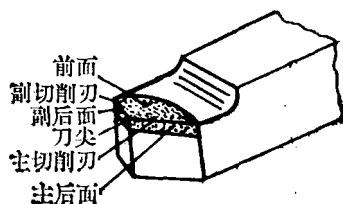


图 16.3 车刀的组成

(二) 辅助平面

为确定车刀各刀面和切削刃的空间位置, 需要选择必要的辅助平面作为基准面和测量面。

基面 P_r 通过主切削刃选定点, 垂直于该点的切削速度方向的平面。

切削平面 P_c 通过主切削刃选定点, 与工件加工表面相切, 且垂直于该点基面的平面。

主切削刃上同一点的切削平面与基面垂直, 它们构成了确定刀具几何角度的坐标平面系, 如图 16.4 所示。

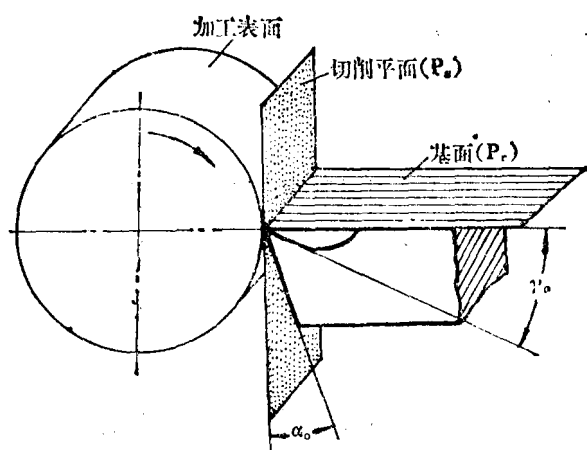
主剖面 P_s 通过主切削刃选定点, 垂直于基面和切削平面的平面, 为刀具几何角度的测量面。

(三) 车刀切削部分的几何角度

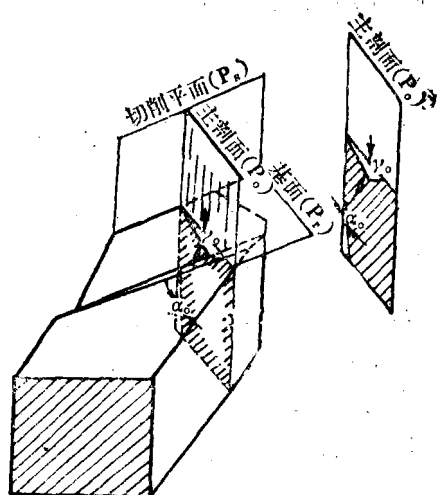
车刀切削部分的几何角度见图 16.5。

在主剖面内测量的角度有:

(1) 前角 γ 。前面与基面的夹角。它决定了刀具的锋利程度。前角愈大, 切削愈轻快,



a) 基面与切削平面



b) 基面、切削平面和主剖面

图 16.4 主要辅助平面间的关系

但会降低刃口的强度。

(2) 后角 α 。主后面与切削平面的夹角。后角增加,可减少后刀面与加工表面的摩擦。后角过大亦会降低刃口强度。

(3) 楔角 β 。前面与主后面的夹角。它的大小决定了主切削刃的强度。其值由后角 α 和前角 γ 决定, $\beta_0 = 90^\circ - \gamma_0 - \alpha_0$ 。

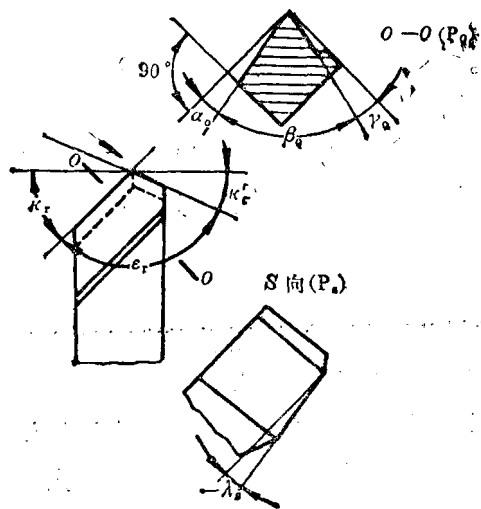


图 16.5 车刀的几何角度

在基面内测量的角度有:

(4) 主偏角 κ_r 。主切削刃在基面上的投影与走刀运动方向的夹角。它决定了主切削刃的工作长度、刀尖强度和径向力。

(5) 副偏角 κ'_r 。副切削刃在基面上的投影与走刀运动相反方向的夹角。它主要影响已加工表面的粗糙度。

(6) 刀尖角 ϵ_r 。主切削刃和副切削刃在基面上投影的夹角, $\epsilon_r = 180^\circ - \kappa_r - \kappa'_r$ 。它表示了刀尖的强度和散热条件。

在切削平面内测量的角度:

(7) 刃倾角 λ_s 。主切削刃与基面的夹角。它影响了切屑的流向、切削刃的强度和实际工作前角的大小。

规定刀尖在最高点 λ_s 为正值,切屑流向待加工表面;刀尖在最低点 λ_s 为负值,切屑流向已加工表面,如图 16.6 所示。

γ_0 、 α_0 、 κ_r 、 κ'_r 和 λ_s 是车刀切削部分独立的基本角度,均应标注在图纸上。 β_0 和 ϵ_r 均由基本角度所定,统称派生角,不需标注在图纸上。

(四) 车刀的工作角度

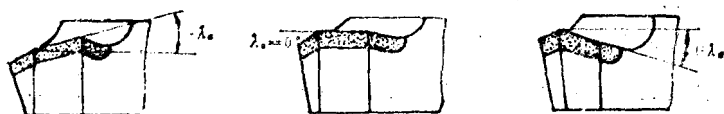


图 16.6 车刀的刀倾角

刀具图上标注的角度是假定刀尖对准工件中心线、进给量为零的条件下规定的角度。刀具的安装位置及进给量变化,其工作角度发生变化。

1. 安装位置对车刀角度的影响

车削外圆时,当刀尖安装位置高于工件的中心线时,则前角工作角度增大,后角工作角度减小;当刀尖低于工件的中心线时,则前角工作角度减少,后角工作角度增大。

镗孔时,刀尖安装的高低对角度的影响恰好与外圆车削时相反。

安装时,若刀杆轴线不垂直于工件的母线,会引起主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r 的变化。

2. 进给运动对车刀角度的影响

车削时,切削刃上任一点切削运动的轨迹是主运动和进给运动的合成。横向切削时,工件旋转而车刀横向移动,切削刃上选定点相对于工件的运动轨迹为一螺旋线,加工表面是螺旋面。此时的刀具前角工作角度比标注角度增大,后角工作角度减小。纵向切削时,工件旋转,车刀纵向移动,前、后角的变化同横向切削。

一般车削时,进给量较小,前、后角变化值约为 $30' \sim 1^\circ$,可忽略不计。但在车削大螺距螺纹或多头螺纹时,前、后角变化值较大,在刃磨刀具时应考虑它对工作角度的影响进行修磨。

三、刀具材料的选择

1. 刀具材料的要求

金属切削刀具是在较大的压力和较高的温度条件下工作,必须具有良好的切削性能。硬度应达到 $HRC > 60$; 具有较高的热硬性(红硬性),使刀具在较高温度的工作条件下仍保持切削所需要的硬度;具有一定的强度和韧性以承受冲击振动;具有良好的耐磨性以提高刀具抵抗磨损的能力。除此以外,还应具有良好的热处理性能、加工工艺性能和刃磨性能。

2. 常用的刀具材料

(1) 碳素工具钢 淬火后有较高的硬度,可达 $HRC 59 \sim 64$; 刃磨性能好;价格低廉;热硬性较差,仅耐 200°C 左右;切削速度为 8 m/min 。淬透性差,热处理变形大。一般适用形状简单的低速手用刀具,如锯条、锉刀等。

(2) 合金工具钢 具有较高的热硬性,可耐 $250 \sim 300^\circ\text{C}$; 切削速度比碳素工具钢提高 $(20 \sim 40)\%$; 淬透性好,热处理变形小。适用形状较复杂的低速手用或机用刀具。

(3) 高速钢 钢中含有大量的合金碳化物,热处理后硬度为 $HRC 62 \sim 65$; 耐磨性好; 耐热温度为 560°C 左右; 切削速度比碳素工具钢高 $2 \sim 4$ 倍; 热处理性能好; 有较高的强度和良好的刃磨性能。适用各种机用刀具和成形刀具。

(4) 硬度合金 它是以难熔的高硬度金属碳化物微粉为基体,以钴或其它金属为粘结剂烧结而成的。硬度可达 $HRA 87 \sim 92$; 耐热温度高达 $900 \sim 1000^\circ\text{C}$; 切削速度是高速钢的 $4 \sim$

10 倍。但抗弯强度仅为高速钢的 1/3; 不耐冲击振动。硬质合金是实现高速切削的良好材料。切削加工用硬质合金根据 GB 2075—80《切削加工用硬质合金分类、分组代号》按其适于加工对象的范围分为三个主要类别, 分别以字母 P、M、K 表示, 并以相应的颜色标志加以区别。

- P——适于加工长切屑黑色金属, 以蓝色作标志。
- M——适于加工长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属, 以黄色作标志。
- K——适于加工短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料, 以红色作标志。

根据被加工的材质及适应的加工条件不同, 将硬质合金按其具体用途进行分组, 其代号由在主要类别代号后缀一组阿拉伯数字组成, 如 P01、M10、K20、……。在每一类别中, 数字愈大, 耐磨性愈低而韧性愈高。代号 P01、M10、……等只表示硬质合金的应用范围和适应的加工条件, 不是硬质合金牌号。用途分组代号与硬质合金牌号见表 16.1。

钨钴类(YG)硬质合金适于加工铸铁等脆性材料; 钨钛钴类(YT)硬质合金适于加工钢等塑性材料; 钨钛钽(铌)钴类(YW)既适于加工脆性材料, 又适于加工塑性材料。

对难加工材料的切削加工, 可采用在韧性较好的硬质合金或高速钢刀具基体上, 涂覆一薄层(约 4~5 μm)耐磨性好的难熔金属化合物的涂层刀具。如在硬质合金基体上涂厚 4~5 μm 的 TiC, 其表层硬度可达 2500~4200 HV; 在高速钢钻头、丝锥、滚刀等刀具上涂厚 2 μm 的 TiN, 硬度可达 HRC 80。此外, 陶瓷材料(Al_2O_3 、 Al_2O_3 -TiC)硬度高达 HRA 91~95, 热硬性

表 16.1 用途分组代号与硬质合金牌号对照表

用途分组代号	硬质合金牌号	性能提高方向	
		切削性能	合金性能
P 01	YT 30	↑ 度	↑ 性
P 10	YT 15	↓ 重	↓ 性
P 20	YT 14	↑ 速	↑ 磨
P 30	YT 5	↓ 结	↓ 磨
P 40		↑ 切	↑ 韧
P 50		↓ 进	↓ 韧
M 10	YW 1	↑ 度	↑ 性
M 20	YW 2	↓ 重	↓ 性
M 30		↑ 速	↑ 磨
M 40		↓ 结	↓ 磨
K 01	YG 3 X	↑ 度	↑ 性
K 10	YG 6 X, YG 6 A	↓ 重	↓ 性
K 20	YG 6, YG 8 N	↑ 速	↑ 磨
K 30	YG 8, YG 8 N	↓ 结	↓ 磨
K 40		↑ 切	↑ 韧
		↓ 进	↓ 韧

注: 摘自 GB 2075—80《切削加工用硬质合金分类、分组代号》。

高于 1200°C, 切削速度比硬质合金提高 2~5 倍。此外, 在具有特殊要求的情况下, 可选用金刚石、立方氮化硼等刀具材料。

第 2 节 金属切削过程的物理现象

金属切削过程中会出现变形、切削力、切削热和刀具磨损等物理现象。研究它们的发生和变化, 从中找出规律, 有助于正确地选用切削用量, 合理设计和选用刀具, 对提高生产率和零件的加工质量有重要的指导意义。

一、切削过程中金属的变形

1. 切屑的形成

切削时, 前刀面推挤切削层, 使之产生弹性变形和塑性变形, 将切削层从工件上分离形成切屑 (图 16.7)。刀具与工件开始接触时, 材料产生弹性变形。随推挤力的增大, 材料将沿 45° 的剪切面滑移, 即产生塑性变形。剪切力随滑移量的增加而增加, 当剪应力超过工件材料的强度极限时, 切削层便与母体分离。滑移变形区称第 I 变形区。

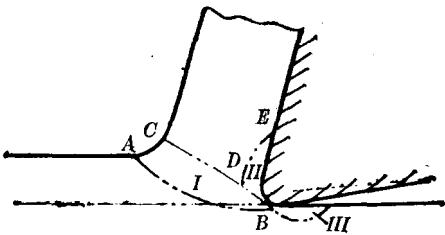


图 16.7 切屑的形成

切削形成后沿前刀面移动一段距离, 由于前刀面的推挤和摩擦, 切屑底层比外层变形大, 底层长度大于外层长度而发生卷曲。这一变形区域称第 II 变形区。

在切削过程中, 后刀面对已加工表面的表层金属也有推挤和摩擦作用, 从而产生变形。这一变形区域称第 III 变形区。

2. 切屑的种类

工件材料的塑性不同, 切削时的变形程度也不同, 因而产生不同的切屑, 如图 16.8 所示。

当切削层变形区发生最大塑性变形未达破裂就被切离母体, 此时形成连续不断无裂痕的带状切屑, 这种情况下工作平稳, 工件表面粗糙度小。当材料在剪切面的某些部位产生破裂, 形成背面有不贯穿裂痕的节状切屑, 这种情况变形较大, 工作不如带状切屑平稳。当剪切面上全部破裂, 裂纹贯穿整个断面, 形成切屑层分离为颗粒状的单元切屑。以上三种切屑, 一般在切削塑性材料时产生, 以带状切屑最省力。

切削脆性材料时, 切削层发生弹性变形后不经塑性变形就崩裂形成碎小的崩碎切屑。这

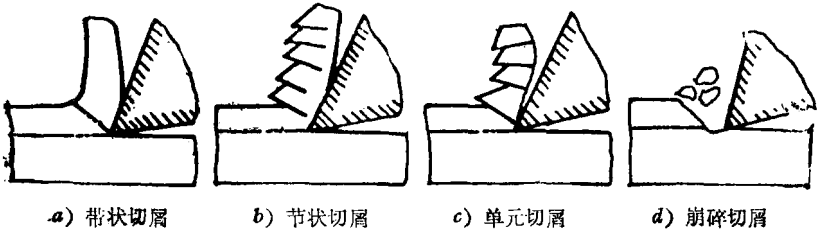


图 16.8 切屑的种类

种情况应力集中在切削刃附近,要求刀具材料具有较好的强度和韧性。

3. 积屑瘤

切削塑性材料(如钢)时,常在切削刃上粘附不稳定的小金属块,其组织性能既不同于刀具材料,也不同于工件材料,这样的小金属块称为积屑瘤,见图 16.9。

切屑流经前刀面时,切屑底层受前刀面摩擦,流动速度低,这层金属称为滞流层。在高温高压的条件下,滞流层的外摩擦大于内摩擦时,其上的部分金属发生剧烈变形的同时脱离切屑,留在前刀面上形成积屑瘤,其硬度约为工件的 2~3 倍。积屑瘤粘附在切削刃上,有保护刃口并增大工作前角的作用,但由于积屑瘤不稳定,使切削深度忽大忽小,引起振动而影响加工质量。

切削速度对积屑瘤的影响较大,随着切削速度的增加,切削温度也随之增加。加工中碳钢时,温度增加到 300℃,摩擦系数达最大值,积屑瘤的高度也最大,这时的切削速度约为 15~30 m/min。当切削速度再增加时,切削温度也相应增加,使切屑底层呈微熔状态,反而减小了摩擦,降低积屑瘤高度(见图 16.10)。

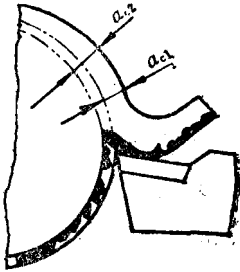


图 16.9 积屑瘤的形成

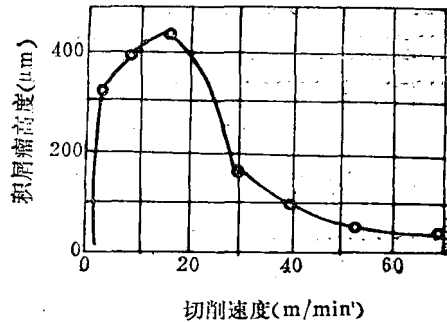


图 16.10 切削速度对积屑瘤的影响

为避免积屑瘤的产生,可以采用较高或较低的切削速度;减小刀面的粗糙度或加切削液以减小摩擦系数;增大前角,减少正压力使切削轻快;降低进给量以减小切削厚度等措施均可使积屑瘤减少或消失。

4. 加工硬化现象

由于切削刃有一定的刃口圆弧半径 r_n ,切削层内 O 点以下的金属并未同母体分离,刃口附近的一层金属产生急剧的挤压变形留在已加工表面形成加工硬化(图 16.11)。它会使表面产生裂纹,降低材料的疲劳强度和耐磨性,使下道工序的加工困难,加剧刀具的磨损。在切削加工中,减小刀具的刃口圆弧半径和切削变形,减小摩擦等均可削弱加工硬化现象。

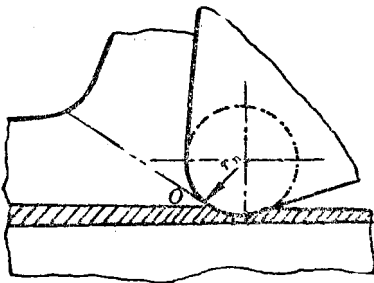


图 16.11 加工硬化现象

二、切削力

1. 切削力的分解

切削时工件要产生一系列的弹性变形和塑性变形,因此有变形抗力作用在刀具上,该种抗力称为切削力

(F_r)。它是一个空间力,为了便于测量和研究,将切削力分解为相互垂直的三个分力(F_x 、 F_y 、 F_z),如图 16.12 所示。

(1) 主切削力(切向分力) F_z 作用在切削速度方向上的分力。力的方向与主运动方向一致,是最大的分力,占机床功率的 90%。主切削力使车刀承受弯矩,使工件产生扭转,是计算机床功率、刀具强度和机床夹具夹紧力的主要依据。

(2) 吃刀抗力(径向分力) F_y 作用在吃刀方向上的分力。它使车刀离开工件,车刀反作用力使工件弯曲。吃刀抗力作用在刚度不足的地方,会引起振动,影响加工质量和造成加工误差,如图 16.13 所示。它是分析工件刚度不可忽视的力。

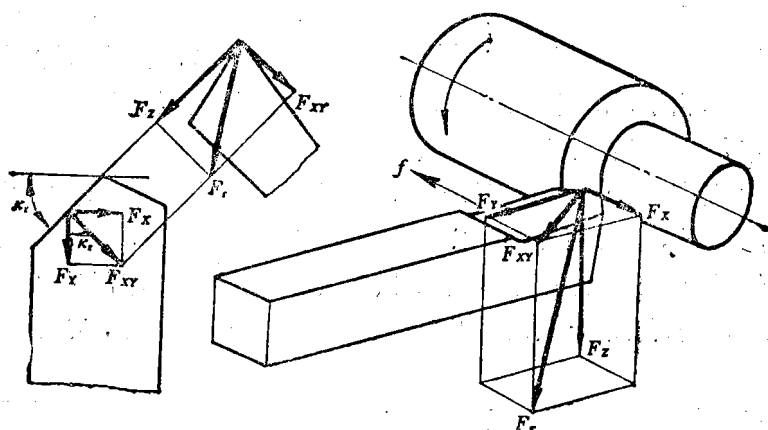


图 16.12 切削力的分解

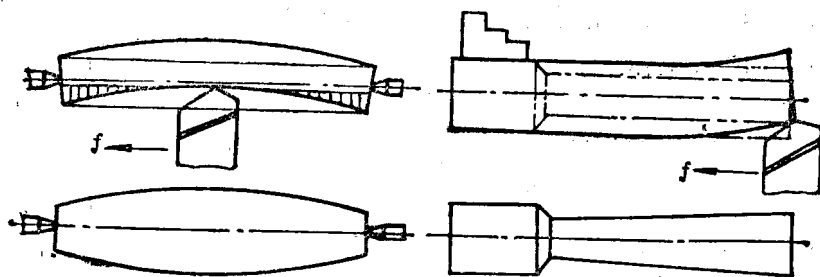


图 16.13 吃刀抗力的反力对加工精度的影响

(3) 走刀抗力(轴向分力) F_x 作用在走刀方向上的分力。走刀抗力作用在机床走刀机构上,是校验机床走刀机构的依据。

2. 影响切削力的因素

工件材料强度愈大,变形抗力愈大,因此切削力增大;塑性、韧性大的材料,由于切削变形大,硬化现象严重和摩擦系数增加,切削力也较大。实验证明,当切削深度 a_p 增加 1 倍,切削宽度 a_w 增加 1 倍,这时切削变形增加 1 倍,所以切削力也增加 1 倍(图 16.14 左图)。当进给量 f 增加 1 倍,切削厚度 a 增加 1 倍,因为切屑底层的变形最严重,靠近切屑上层的变形逐渐减小。虽然整个切削面积增加了 1 倍,但在切屑底层发生严重变形处的厚度 a_{cy} 并未增大。所以切削平均变形增加不到 1 倍,这时的切削力仅增加 70% 左右(图 16.14 右图)。切削速度对

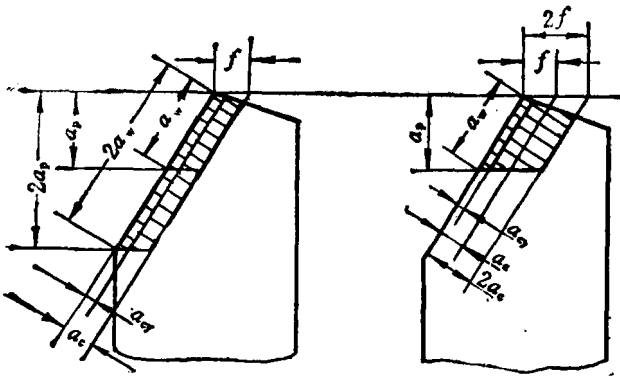


图 16.14 切削深度和进给量对切削力的影响

切削力影响不明显。增大刀具前角，可减小切削变形，从而使切削力减小。主偏角 κ_r 的大小除影响切削宽度 a_w 和切削厚度 a_c 的大小，同时影响吃刀抗力 F_Y 和走刀抗力 F_X 之间的比例关系，由图 16.15 可知：

$$F_Y = F_{XY} \cos \kappa_r$$

$$F_X = F_{XY} \sin \kappa_r$$

三、切削热与切削温度

1. 切削热的产生和传导

在切削过程中，由于切削变形和摩擦，机床消耗能量大部分转变为热能，这些热称为切削热。切削热是第 I 变形区的变形热和第 II、III 变形区的摩擦热的总和。加工塑性材料，切削速度不高时，主要是变形热；切削速度较高时，变形较小，主要是摩擦热。加工脆性材料时，切屑是崩碎切屑，变形小，后刀面与已加工表面的摩擦热是主要热源，比加工塑性材料产生的切削热少得多。切削所产生的热量被切屑、工件、刀具和介质吸收。车削时大部分热量被切屑传导走，吸收 (50~86)% 的热量；其次是工件，吸收 (10~40)% 的热量，刀具和介质仅吸收 (4~10)% 的热量。

切削热可以改变前刀面的摩擦系数；改变工件材料的性能；影响积屑瘤的大小和加工质量；加剧刀具的磨损并限制了切削速度的提高等。

2. 切削温度

切削温度一般指切削区的平均温度。加工塑性材料前刀面温度高于后刀面；加工脆性材料后刀面的温度高于前刀面。生产中常以切屑的颜色判断切削温度。银白色切屑温度最低，在 200℃ 左右，深蓝色切屑的温度约为 600℃ 左右。切屑的颜色愈深，切削温度愈高。

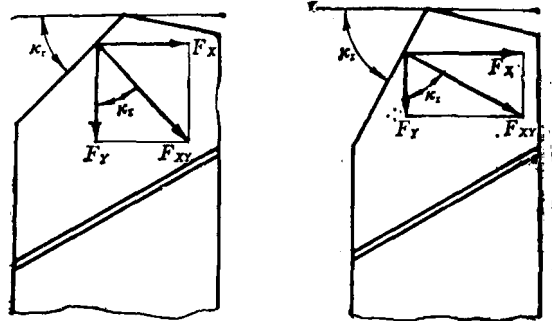


图 16.15 主偏角对切削力的影响

工件材料强度愈高，切削时消耗的能量愈多，则切削温度愈高。加工耐热钢，其强度高而导热性差，切削温度高加剧了刀具的磨损。对导热性能好的工件高温切削后，工件冷却会引起尺寸的变化。切削速度对切削温度影响最大，进给量次之，切削深度影响最小；主偏角 κ_r 增大，主切削刃工作长度减小，散热条件差，温度有所增加；选用较大的前角，减小摩擦会使切削温度明显下降。

四、刀具的磨损和耐用度

1. 刀具磨损的原因

由刀具与工件的相对运动引起的磨损称为机械磨损；由切削热引起的磨损称为热效应磨

损。

机械磨损是因刀具上高低不平的表面与工件的相对运动、工件的硬质点对刀具表面的刻划和产生粘结现象而引起的。热效应磨损是因高温下刀具材料金相组织变化和化学成分的变化而引起的。一般低速刀具主要发生机械磨损，高速刀具主要是热效应磨损并伴有机械磨损。

2. 刀具的磨损方式

根据刀具磨损部位的不同可分为后刀面磨损、前刀面磨损和前后刀面磨损。

(1) 后刀面磨损 切削脆性材料或者以较小的切削厚度 ($<0.1\text{ mm}$) 切削塑性材料时，因切屑同前刀面接触少，前刀面上的压力和摩擦力不大，温度较低；同时因刃口圆钝，切削时发生严重的挤压，此时磨损部位主要在后刀面上。后刀面磨损后，使切削刃附近形成后刀面接近于零度的小棱面。其磨损程度用后刀面磨损带高度 VB 表示，如图 16.16 a 所示。

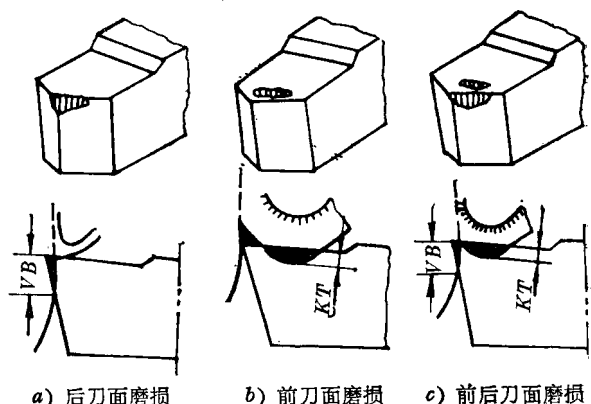


图 16.16 刀具磨损的形式

VB ——后刀面磨损带高度； KT ——前刀面月牙洼深度

(2) 前刀面磨损 用高速钢刀具不用切削液加工塑性材料时，切屑对前刀面压力大，摩擦剧烈，温度高；切削刃附近有积屑瘤存在，所以在前刀面上磨出月牙洼，而后刀面未被磨损。磨损程度用前刀面月牙洼深度 KT 表示，如图 16.16 b 所示。这种磨损较少。

(3) 前后刀面磨损 以大于 0.1 mm 的切削厚度切削塑性材料时，经常发生这种磨损，如图 16.16 c 所示。前后刀面磨损将使刃口圆弧半径增大，刀具逐渐磨损钝化。

刀具的磨损量以后刀面为最大，通常以磨损限度 $VB_{\max}$ 值作为磨损标准，因为它是决定最优切削条件的依据。但是在高速切削形成带状切屑的材料时，刀具磨损标准应包括月牙洼磨损。

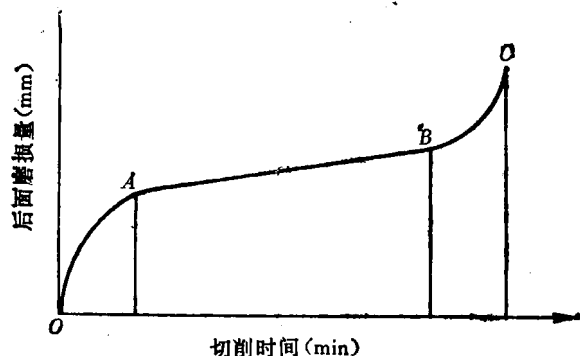


图 16.17 刀具的磨损过程

OA——初期磨损阶段 AB——正常磨损阶段 BC——急剧磨损阶段

3. 刀具磨损过程

根据刀具磨损程度，把磨损分为三个阶段，如图 16.17 所示。

(1) 初期磨损阶段 新磨制的刀具，在比较短的时间内发生较快的磨损阶段，主要由于刀面不平整所致。

(2) 正常磨损阶段 刀面经过初期磨损变得较平整，接触面积增大，平均磨损值随时间的增加而缓慢增加，磨损量与时间成正比，磨损曲线较平