

洗

工

实

践

《洗工实践》编写组
上海科学技术出版社

铣工实践

《铣工实践》编写组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 常熟第七印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 19.75 插页 4 字数 520,000

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印数: 1—2,300

ISBN 7-5323-1485-5 / TG·51

定价: 10.40 元

内 容 提 要

本书介绍了铣削的基本原理，及各种常用铣削方法——各种型面、螺旋面、刀具容屑槽的开槽及齿轮的加工。并对常用铣床的规格、维护、分度装置、分度方法以及扩大铣床使用等作了较详细的介绍。

本书内容丰富，理论结合实际，便于自学，是作者在多年实际生产经验的基础上编著的。因此在各种加工方法的介绍中，结合典型实例，并对如何保证工件的加工质量进行了分析。

本书可供工人，技术人员和高等院校有关专业师生参考。

前 言

铣削是机械加工领域中生产效率较高的一种切削加工手段，由于它所适应加工的零件范围非常广，因此一直是主要的加工方法。在长期生产实践中，广大铣工和工程技术人员，积累了丰富的经验，为了让实践经验在生产中发挥作用，在长沙市经委的组织下编写了本书。

本书主要介绍了铣工实践中常用的铣削工艺，力求结合生产实际，应用图、文、表格，把实践经验上升为理论知识。同时把国内近年来有关铣削加工方面的新颖内容尽可能有机地编写进来。如等螺旋角锥度铣刀容屑槽的铣削，立铣展成链轮的方法，坐标法铣大模数、少齿数齿轮的工艺以及等距短幅外摆线齿轮铣削等。对生产有较好的指导作用。

本书编写组负责人：长沙市经委高振范、刘建箴。主编余慧安，副主编陈一堂、柳逸智。

参加编写的人员：中南工业大学余慧安，航空航天工业部南方动力机械公司长沙摩托车厂陈一堂，长沙重型机器厂柳逸智，长沙汽车电器厂罗树延，长沙化工机械厂杨兆镛，中南工业大学夏桂云，长沙拖拉机配件厂杨传敏。

书中错误和不足之处，恳请广大读者批评指正，以求不断修改和完善。

编者 1989年8月

目 录

前 言

第一章 铣刀	1
第一节 铣刀的基本知识	1
一、铣刀的类型和铣削加工的工作范围	1
二、铣削运动与加工表面	3
三、铣刀切削部分的基本定义	5
第二节 铣削刀具材料	18
一、铣削加工对刀具材料的要求	19
二、铣削刀具的常用材料	20
第二章 铣削基础知识	34
第一节 铣削过程概述	34
一、切屑形成	34
二、切屑的形态	36
三、切屑变形的变化规律	37
四、铣削切削层参数	39
第二节 铣削方式	44
一、周铣法	44
二、端铣法	47
第三节 铣削力及铣削功率	49
一、铣削力的分解	49
二、铣削力与铣削功率的计算	51
第四节 铣刀的磨损、耐用度和铣削用量的选用	54
一、铣刀的磨损形式	54
二、铣刀磨损的原因	56
三、铣刀的磨钝标准和耐用度	59
四、铣削用量的合理选择	67

第五节 铣刀几何参数的合理选择	74
一、前角的合理选择	75
二、后角的合理选择	77
三、刃倾角的合理选择	78
四、主偏角和副偏角的合理选择	81
第六节 可转位硬质合金端铣刀的刀片定位与夹紧机构	83
一、可转位铣刀刀片的定位	84
二、可转位刀片的夹紧方式	84
第七节 工件的装夹	86
一、工件的定位	87
二、工件的夹紧	102
三、铣床夹具的对定	108
第三章 铣床的型号规格和使用维护	117
第一节 铣床的型号及规格	118
一、铣床的型号	118
二、几种国产铣床的主要规格	121
第二节 铣床的精度检验	131
一、主轴精度检验	131
二、平行度检验	132
三、垂直度检验	133
第三节 铣床的使用与维护	134
一、点检	134
二、一级保养	135
三、铣削质量与铣床的关系及对策	136
第四章 分度头	138
第一节 分度头的种类	138
一、简单分度头	138
二、万能分度头	140
三、光学分度头	143
第二节 分度法	146
一、单式分度法	146

二、角度分度法	148
三、差动分度法	166
四、近似分度法	172
第三节 其它分度装置及其使用方法	175
一、自动分度头	175
二、谐波分度器	177
三、端面齿分度盘	180
四、钢球定位分度盘	182
第五章 平面的铣削	185
第一节 平面的概念	185
第二节 平面的铣削	187
一、基准的选择	187
二、安装的选择	190
三、铣削方法的选择	197
四、铣刀的选择	201
第三节 复合斜面的铣削	204
第四节 平面铣削的质量分析	213
第六章 角度槽的铣削	219
第一节 角度的概念及计算	219
一、斜度和锥度	219
二、圆周等分计算	222
第二节 角度的测量	226
一、角度的相对测量	227
二、角度的直接测量	229
三、角度的间接测量	232
第三节 燕尾槽的铣削	236
一、燕尾槽上下宽度互算法	236
二、燕尾槽宽度及角度测量计算	237
三、燕尾槽的铣削方法	239
四、硬质合金燕尾槽铣刀	241
五、铣斜燕尾槽的调整计算	243
第四节 T形槽的铣削	245

一、工件的安装和校正	245
二、铣削中间槽	247
三、铣削底槽	248
四、倒角	248
第五节 离合器的铣削	248
一、矩形齿离合器的铣削	249
二、梯形、尖齿形、锯齿形离合器的铣削	252
第六节 棘轮的铣削	256
一、棘轮机构的种类与齿形	257
二、棘轮各部分的名称和计算	258
三、棘轮的铣削	261
四、成形法滚切棘轮	262
第七节 键槽的铣削	262
一、键槽的基本要求	262
二、键槽铣刀的选择	263
三、铣刀几何参数的选取	264
四、键槽铣削时工件的安装	265
五、键槽铣削时的对刀方法	265
六、键槽铣削时的测量	268
七、铣削键槽时冷却润滑液的选择	269
第八节 花键轴的铣削	269
一、花键定心的分类	269
二、在普通铣床上铣削矩形长花键轴	270
三、在普通铣床上用通用铣刀铣削内径定心花键轴的方法	272
四、花键等分性测量算法	273
第七章 刀具容屑槽的铣削	275
第一节 直齿圆柱铣刀容屑槽的铣削	276
一、前角 $\gamma_0 = 0^\circ$ 的刀齿铣削	276
二、前角 $\gamma_0 > 0^\circ$ 的刀齿铣削	278
三、试切追踪法铣削	282
四、铣折线齿背	283
第二节 端面齿刀具容屑槽的铣削	286

一、铣直齿刀具的端面齿槽	287
二、铣螺旋齿刀具的端面齿容屑槽	291
第三节 锥面齿刀具容屑槽的铣削	293
一、工作铣刀的选择	293
二、偏移量 S 值的计算	293
三、分度头倾斜角度的计算	294
第四节 铰刀容屑槽的铣削	316
一、铰刀的结构参数	316
二、圆柱直齿不等分铰刀容屑槽的铣削	318
三、圆锥直齿铰刀容屑槽的铣削	319
第五节 圆柱螺旋齿刀具容屑槽的铣削	324
一、工作铣刀的选择	325
二、工作台转角的确定	329
三、工作台横向偏移量 S 及升高量 H	330
四、错齿三面刃铣刀圆柱齿容屑槽的铣削特点	332
第六节 麻花钻容屑槽的铣削	334
一、麻花钻头和开槽铣刀	334
二、麻花钻头的铣削	335
第七节 滚刀容屑槽的铣削	336
一、齿轮滚刀的结构	337
二、容屑槽的铣削	338
第八节 圆锥螺旋齿刀具容屑槽的铣削	341
一、圆锥螺旋线的性质	342
二、圆锥等导程螺旋刀具容屑槽的铣削	343
三、圆锥等螺旋角刀具容屑槽的铣削	344
第八章 直齿轮与链轮的铣削	351
第一节 直齿圆柱齿轮的铣削	351
一、直齿圆柱齿轮各部名称和几何计算	351
二、直齿圆柱齿轮的铣削	354
三、直齿圆柱齿轮的测量	359
四、直齿圆柱齿轮的铣削特例	367
第二节 直齿圆锥齿轮的铣削	380

一、直齿圆锥齿轮各部名称、代号及其计算	380
二、直齿圆锥齿轮的铣削	382
三、直齿圆锥齿轮的测量	385
第三节 齿条的铣削	385
一、齿条各部名称及其计算	386
二、齿条的铣削及分度方法	386
三、齿条的测量	390
第四节 链轮的铣削	390
一、链轮传动概述	390
二、链轮各部名称及其几何计算	390
三、链轮的铣削	390
四、链轮的测量	398
第九章 螺旋铣削	399
第一节 螺旋面的种类及成形原理	399
一、螺旋面的种类	399
二、圆柱螺旋线的几何要素	401
第二节 螺旋铣削时交换齿轮的布置及计算	402
一、交换齿轮的通用规则	402
二、螺旋成形传动链的布置及计算	404
三、交换齿轮的选择	406
第三节 斜齿轮的铣削	425
一、标准斜齿轮的几何尺寸计算	425
二、斜齿轮铣刀刀号的确定	425
三、交换齿轮的计算特点及换算公式	427
四、斜齿轮的测量	443
五、铣削斜齿轮质量分析	451
第四节 圆柱蜗轮铣削	453
一、圆柱蜗杆传动基本几何尺寸计算	453
二、蜗轮铣削	453
第五节 凸轮螺段的铣削	471
一、凸轮的种类及其特点	471
二、等速盘形凸轮的铣削	474

三、等速圆柱形凸轮螺段的铣削	483
四、铣削凸轮时的注意事项	484
五、铣削过程的工艺分析	484
第十章 等距短幅外摆线齿轮的铣削	487
第一节 等距短幅外摆线	487
一、齿形曲线概述	487
二、摆线轮的齿形曲线	489
三、等距短幅外摆线的参数方程	489
四、外摆线和短幅外摆线的作图	492
第二节 摆线轮的铣削	494
一、用成形铣刀单齿分度铣削	494
二、利用专用夹具在普通铣床上铣削	498
第三节 摆线轮的测量	503
一、圆柱法测量齿廓	503
二、公法线长度测量	506
第四节 摆线齿轮的修正	513
第十一章 特形面的铣削及其它特种铣削	518
第一节 在普通铣床上铣削特形面	521
一、划线用手动进给铣削	521
二、用成形铣刀及组合铣刀铣削	521
三、用回转工作台铣削	522
四、用靠模铣削	523
第二节 在仿形铣床上铣削特形面	525
一、在平面仿形铣床上铣削特形面	526
二、在立体仿形铣床上铣削特形面	527
第三节 内外球面的铣削	533
一、铣削球面的原理	533
二、球面的铣削	536
三、铣削球面的主要调整	544
四、球面的检测	545
五、铣削球面常见的毛病及其原因	545
第四节 椭圆孔的铣削	546

一、椭圆孔的铣削原理	546
二、椭圆孔的铣削计算和加工方法	547
第五节 大半径内外圆弧的铣削	548
一、近似铣削法	549
二、采用专用装置铣削大圆弧面	550
第六节 弧齿锥齿轮的铣削	551
一、在普通立式铣床上用切齿专用夹具加工弧齿锥齿轮	551
二、在铣床上用综合方法加工弧齿锥齿轮	567
第七节 刻线	571
※ ※ ※ ※ ※ ※	
附表1 1~5000 因子分解表	574
附表2 三角函数表	599
附表3 渐开线函数表	611

第一章 铣 刀

铣削加工是机械加工中最常用的一种切削加工工艺。铣削时，铣削刀具高速旋转，工件缓慢移动(或转动)，从而实现了对零件的加工。为了获得一定加工精度和表面质量的零件，安装在铣床上的铣刀与工件之间的相对运动轨迹和运动精度、铣刀的结构、刀具的几何参数及其制造质量等，必须符合技术要求。如果在铣削加工中采用不同形状、结构的铣刀，应用铣床附件或其它工艺装备(如铣床夹具等)，就能适应多种型面工件的加工，铣削加工的范围则可大为扩大。

由于硬质合金等刀具材料的不断发展，提高了刀具的切削性能，不但能提高铣削加工的效率，而且也能使工件的表面质量得到改善。

第一节 铣刀的基本知识

一、铣刀的类型和铣削加工的工作范围

铣削刀具是一种多刃刀具，同时参加切削的切削刃总长度较长，铣削时的主运动是铣刀的旋转运动，所以铣刀的形体结构大都做成回转体形状，铣刀的切削刃一般都分布在回转体的表面上，如圆柱铣刀即分布在其圆柱表面上，如图1-1(a)所示。有的则分布在其回转体表面和一个端面上，如端面铣刀(图1-1(b)、(c))、T形槽铣刀(图1-1(d))、角度铣刀(图1-1(e))和键槽铣刀(图1-1(f))等。

铣削加工中，由于采用了各种不同类型的铣刀，分别在卧式或立式铣床上加工，它不仅加工平面和组合平面的工件表面，而且还能加工平面与曲面组合的工件表面以及成形面结构的工件。

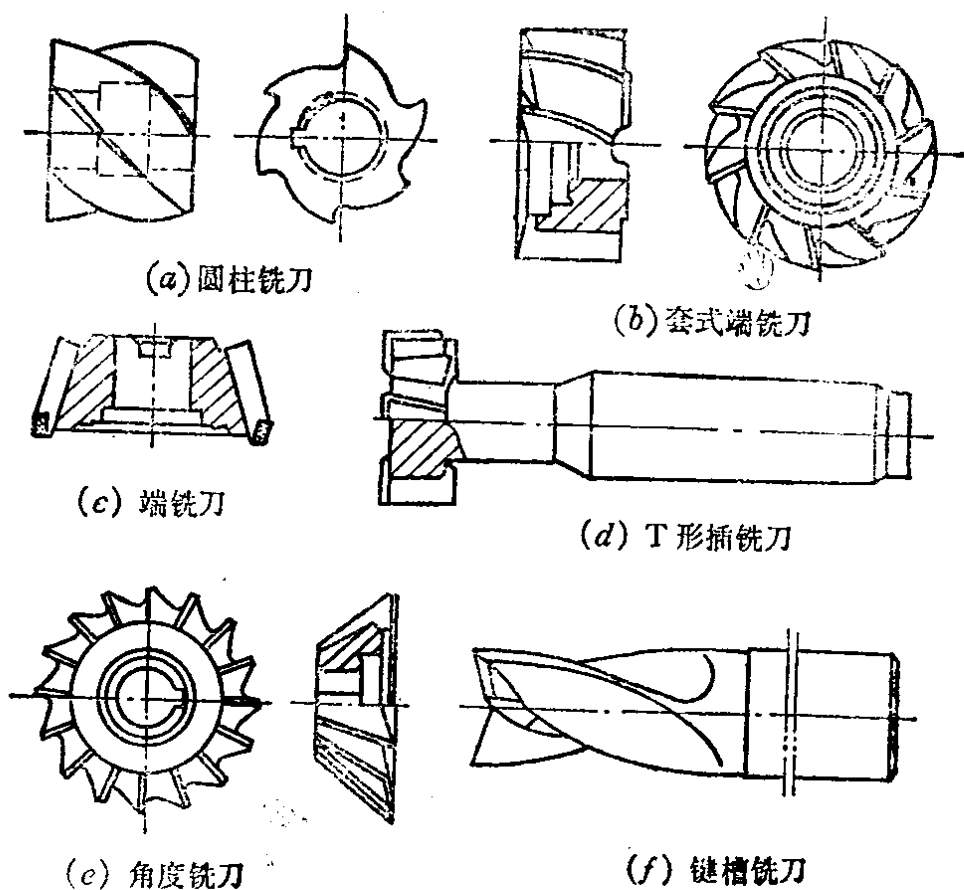


图 1-1 常用部分铣刀的类型和结构
 (a) 圆柱铣刀; (b) 套装式端铣刀; (c) 端铣刀;
 (d) T 型槽铣刀; (e) 角度铣刀; (f) 键槽铣刀

如图 1-2 所示。

如图 1-2(a) 所示,它用圆柱铣刀在卧式铣床上加工平面。圆柱铣刀可采用直齿或螺旋形刀齿。

如图 1-2(b) 所示,它是用两把两面刃或三面刃铣刀,组合起来铣削方头工件。

如图 1-2(c) 所示,它是用错齿三面刃铣刀铣削直槽。

如图 1-2(d) 所示,它是用键槽铣刀在立式铣床上铣削加工轴上键槽表面。

如图 1-2(e) 和 (g) 所示,它们都是利用成形铣刀(齿轮铣刀)在卧式铣床上铣削加工成形表面的工件。

如图 1-2(f) 所示,它是用螺旋槽成形铣刀,在卧式铣床上利用铣床附件(如分度头等)铣削工件上的螺旋槽表面。

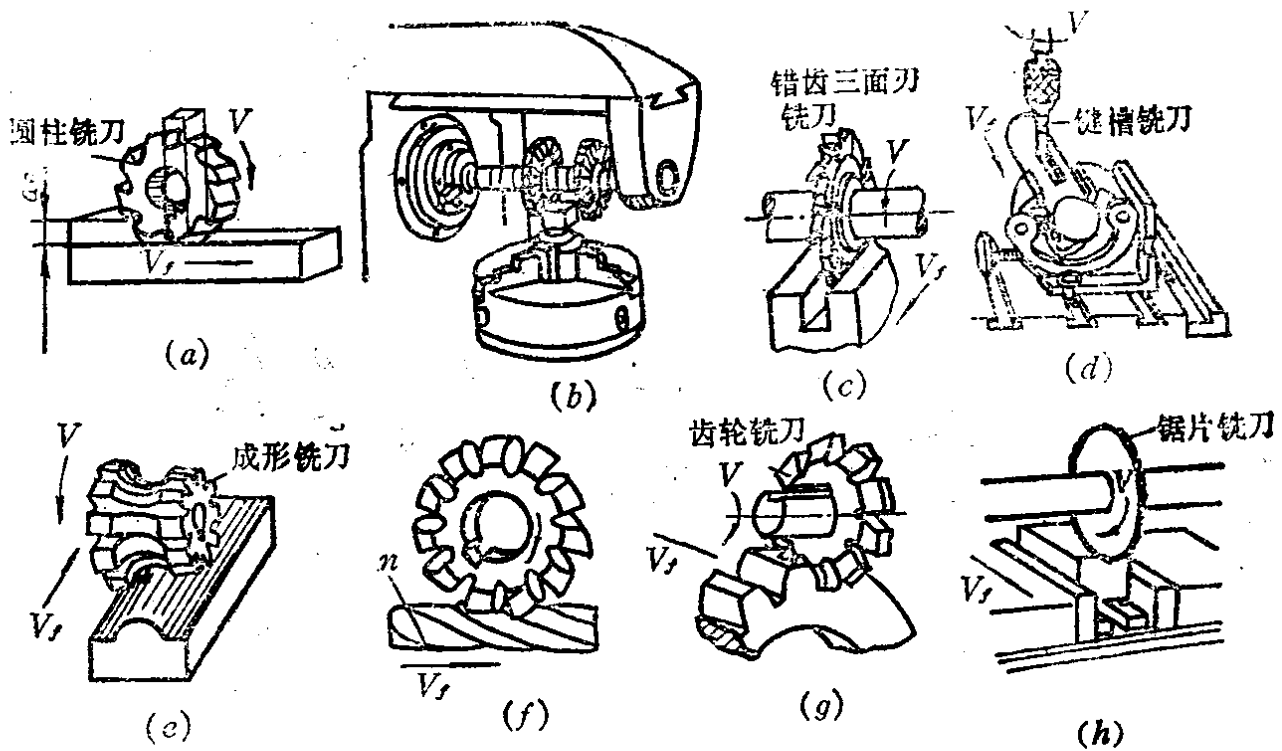


图 1-2 铣削加工示意图

(a) 铣平面；(b) 铣方头；(c) 铣直槽；(d) 铣键槽；
 (e) 铣成形面；(f) 铣螺旋槽；(g) 铣齿轮；(h) 切断

如图 1-2h 所示，它是在卧式铣床上，利用锯片铣刀对工件进行切断。

二、铣削运动与加工表面

在普通铣床上进行铣削加工时，铣削运动一般由两种运动单元组合而成的。一是铣刀的高速旋转运动，另一是工件在工作台上的纵向或横向、上下低速移动。这两种运动的组合，可以实现各种零件的铣削加工，故称之为铣削成形运动。

铣削过程中，工件上有三个不同含义的表面：

待加工表面——工件上未切去金属层的表面；

加工表面——被铣刀主切削刃切削着的工件表面；

已加工表面——工件上已经被切去了金属层后而形成的表面。

铣削时的切削运动：

主运动——直接切除工件上的切削层，并使之转变为切屑，形成工件上已加工表面的运动。主运动的速度最高，消耗的能量最

大, 铣削过程中, 铣刀的旋转运动即是其主运动。切削过程中的主运动只有一个。

进给运动——使金属层不断投入切削, 从而使切削过程延续以致加工出整个工件表面的运动。铣削过程中, 工作台的移动即是进给运动。切削过程中的进给运动可以是一个, 也可以是几个。

铣削要素:

铣削速度——主运动的速度。即铣刀外径上的线速度。称之为铣削速度 v 。

$$v = \frac{\pi d_0 n}{1000} \quad (1-1)$$

式中 v ——铣削速度, 米/秒;

d_0 ——铣刀外径, 毫米;

n ——铣刀单位时间内的转数, 转/秒。

进给量——若铣刀每转一周, 工件相对于铣刀移动的距离为 f , 则通常将 f 称之为每转进给量。单位是毫米/转, 因铣刀是多刃刀具, 铣刀转一周时, 则有 z 个齿进行切削, 铣刀在每转一齿角时, 工件与铣刀的相对位移为 f/z , 称之为每齿进给量, 用 a_f 表示。工件与铣刀的每秒相对位移量为 $f \cdot n$, 称之为每秒进给量, 即是其进给速度 v_f 。它们三者的关系可表示为:

$$v_f = f \cdot n = a_f \cdot z \cdot n \text{ (米/秒)} \quad (1-2)$$

铣削宽度——铣削宽度 a_e 是指垂直于铣刀轴线方向测量的切削层尺寸(见图 1-3)。

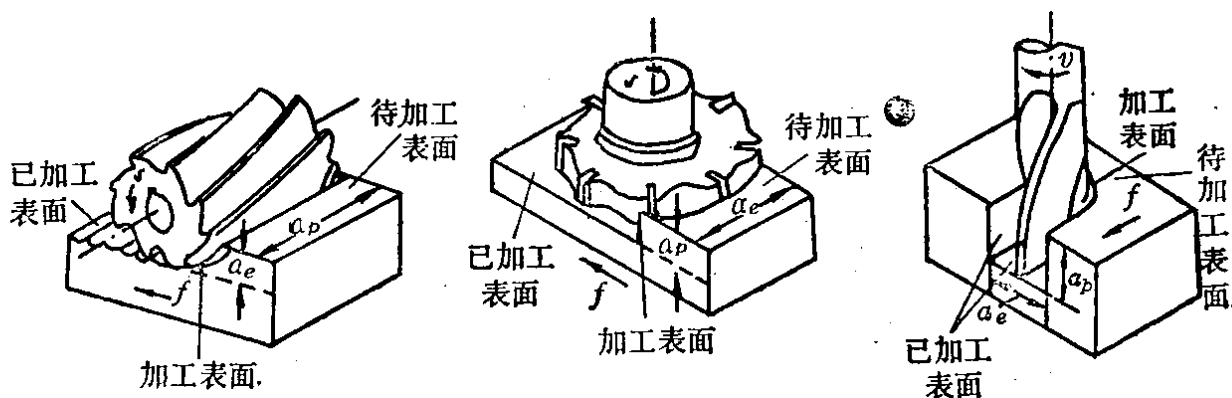


图 1-3 铣削运动与加工表面

铣削深度——铣削深度 a_p 是指平行于铣刀轴线方向测量的切削层尺寸(见图 1-3)。

三、铣刀切削部分的基本定义

(一) 铣刀切削部分的构造要素

铣刀是一种多刃刀具，刀齿按一定形式分布在铣刀的旋转表面上或端面上。铣刀型式虽然很多，但以圆柱铣刀和端铣刀为基本型式，圆柱铣刀和端铣刀的切削部分都可看做车刀切削部分，整个铣刀即是许多车刀的组合。如图 1-4 所示。

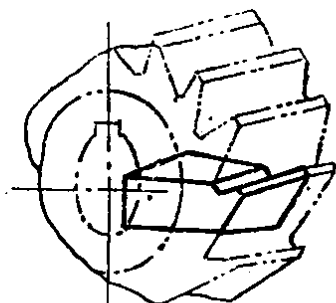


图 1-4 铣刀刀齿分析

为了确立基本定义，我们以圆柱铣刀和端铣刀为基础。铣刀切削部分构造要素及定义如下(图 1-5)：

主切削刃——前刀面与主后刀面相交的部位，用来从工件上切出加工表面那段切削刃。

副切削刃——前刀面与副后刀面相交的部位，用来从工件上切出已加工表面那段切削刃。

刀尖——主、副切削刃的相交部位。可以是实际交点，可以是一段圆弧，也可以是一段直线。

前刀面——直接作用于被切削的金属层，是切屑流过的刀面。

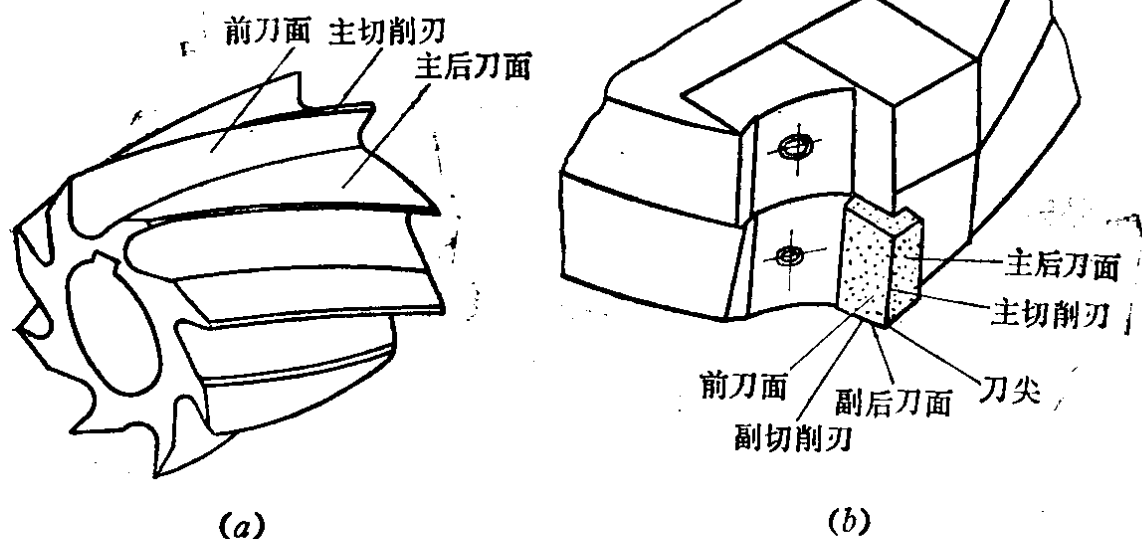


图 1-5 铣刀切削部分的构造要素