

高等学校交流讲义

仪器制造刀具及机床

天津大学等六院校集体选编

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书是在精密机械仪器专业教材选编会议上由浙江大学、华中工学院、清华大学、北京机械学院、北京工业学院及天津大学等校代表所组成的选编小组根据天津大学及北京工业学院的有关讲义选编而成。

本书除绪论外，共有廿一章。全书分为两编：第一编为仪器制造刀具，包括金属切削原理概述、刀具材料、车刀、孔加工刀具、铣刀、拉刀、螺纹切削刀具，切齿刀具及磨削工具等十章。第二编为仪器制造机床，包括车床、六角车床、自动车床、钻床、坐标镗床、铣床、小模数齿轮加工机床、划线机、磨床及精密机床、其他机床和程序控制机床概述等十一章。内容偏重于介绍仪器制造中常用的各种小型精密刀具和机床，讲述这些刀具和机床的类型、构造、工作原理和使用调整等。

本书适用于高等院校各仪器专业的教材。

仪器制造刀具及机床

天津大学等六院校集体选编

*

第一机械工业部教材编审委员会编辑（北京复兴门外三里河第一机械工业部）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $19 \frac{5}{8}$ · 字数 465,000

1961年9月北京第一版·1962年6月北京第三次印刷

印数 05,118—08,377 · 定价(10-5)2.35元

*

统一书号:K 15165 · 779(一机-158)

目次

緒論

第一篇 仪器制造用刀具

第一章 金屬切削原理概述	3
第一节 切削加工的种类.....	3
第二节 刀具的种类.....	4
第三节 基本定义及术语.....	5
第四节 金屬切削过程.....	9
第二章 刀具的材料	21
第一节 刀具材料的特性.....	21
第二节 常用刀具材料的牌号.....	21
第三章 刀具的合理几何形状	26
第一节 前面的形状.....	26
第二节 前角的选择.....	27
第三节 后角的选择.....	27
第四节 主偏角 φ 的选择.....	28
第五节 副偏角 φ_1 的选择.....	29
第六节 刃倾角 λ 的选择.....	29
第七节 过渡切削刃.....	30
第四章 車削和車刀	30
第一节 車削时的切削力.....	30
第二节 車削时的切削速度.....	31
第三节 确定車削时的切削用量.....	33
第四节 材料的可加工性.....	33
第五节 高生产率車削.....	35
第六节 車刀的类型.....	38
第七节 車刀的构造.....	40
第八节 成形車刀.....	43
第五章 孔加工刀具	53
第一节 鑽头.....	53
第二节 鉸鑽及鉸刀.....	64
第六章 銑刀	75
第一节 銑刀的类型.....	75
第二节 圓柱銑刀.....	76
第三节 端面銑刀.....	84
第四节 盘銑刀.....	86
第五节 帶柄銑刀.....	88
第六节 角銑刀.....	90
第七节 成形銑刀.....	90
第七章 拉刀	92
第一节 圓孔拉刀.....	92

第二节 拉削工作特点.....	96
第三节 拉刀的种类、结构及用途.....	98
第八章 螺紋切削刀具	104
第一节 螺紋車刀.....	104
第二节 螺紋梳刀.....	105
第三节 絲錐.....	107
第四节 板牙.....	113
第五节 螺紋切削头.....	116
第六节 螺紋銑刀.....	117
第七节 旋风切削細紋法.....	120
第八节 螺紋滚压工具.....	120
第九章 切齿刀具	125
第一节 模数盘銑刀.....	125
第二节 滾齿刀.....	127
第三节 插齿刀.....	134
第四节 剃齿刀.....	137
第五节 傘齿輪刨刀.....	138
第六节 小模数齿輪无屑加工法.....	140
第七节 加工非漸开綫齿形的刀具.....	142
第十章 磨削工具	146
第一节 磨具的特征.....	146
第二节 磨削特点.....	149
第三节 磨削的种类.....	149
第四节 磨輪的选择和应用.....	152
第五节 磨輪的磨損和車整.....	154
第六节 特种磨削.....	155
第二篇 仪器制造机床	
第十一章 仪器制造机床概述	158
第一节 机床的运动.....	158
第二节 机床的分类及編号.....	159
第三节 仪器制造机床特点.....	161
第十二章 車床及六角(轉塔)車床	162
第一节 車床.....	162
第二节 六角(轉塔)車床.....	173
第十三章 自动車床	180
第一节 成形縱切自动車床.....	183
第二节 六角自动車床.....	197
第三节 1106型成形橫切自动車床.....	204
第十四章 鑽床	207
第一节 鑽小孔的台式鑽床.....	207

第二节	在玻璃零件上鑽小孔用的鑽床	209	第一节	万能磨床	273
第三节	八軸半自动鑽床	211	第二节	无心磨床	276
第四节	組合机床	216	第三节	螺絲磨床	276
第十五章	座标鏜床	218	第四节	光学曲綫磨床	281
第一节	座标鏜床的結構和运动	219	第五节	研磨机	283
第二节	座标鏜床上的主要附件及工 作法	224	第六节	珩磨小孔的机床	287
第三节	座标鏜床的发展趋势	230	第七节	拋光机	289
第十六章	銑床	233	第八节	用細齿硬質合金盘拋磨軸頸 的机床	290
第一节	概述	233	第二十章	其他机床	291
第二节	万能工具銑床	235	第一节	精密冲床	292
第三节	靠模銑床	238	第二节	仿形刨床	293
第十七章	小模数齿輪加工机床	243	第三节	不用心軸繞彈簧的机床	296
第一节	用仿形法切齿的机床	243	第二十一章	程序控制机床概述	301
第二节	用滾切法切齿的机床	248	第一节	程序控制系統的分类	302
第三节	齿輪光洁加工机床	254	第二节	仿型銑床	305
第十八章	刻綫机	261	第三节	数据輸入模拟式控制机床	308
第一节	长度刻綫机	262	第四节	脉冲式非圓齿輪插齿机	310
第二节	圓刻綫机	268	第五节	数据控制式座标鏜床	312
第十九章	磨床及精磨机床	271			

緒 論

仪器、仪表是监督各种工业生产过程进行和控制产品质量的必要工具，特别是在那些自动化程度要求很高以及在高溫高压等特殊条件下进行的生产过程，常須用各种仪器仪表来进行測量、記錄、調节和自动控制。在进行各种实验和科学研究时，更需要用到各种各样的精密仪器来进行分析、測試和檢定。此外，在现代化的国防事业中，很多地方都要用到各种仪器。因此，仪器制造业是国家工业化的一个重要环节。而一个国家的科学技术发展水平，在某种程度上也可以由仪器制造业的发展水平来加以衡量。

旧中国由于长期处在反动統治和帝国主义掠夺之下，經濟落后，工业很不发达，更談不上有什么仪器制造业。解放后，在党的正确领导下，随着社会主义建設事业的发展，已建成了一些仪器制造工厂。这些工厂装备了新型設備，采用了先进技术；此外还改建和扩建了一些旧的工厂，生产了各种仪器、仪表。但是，我国的仪器制造业在一定時間內还是我国工业的一个薄弱环节。在党的第八次全国代表大会关于发展国民經济的第二个五年計劃(1958年到1962年)的建議中曾經指出：“五年內，应该努力加强工业中的薄弱环节，开辟新的領域，例如各种……专用机床，精密机床和仪表等的制造”。自从党的八届二次大会制定了鼓足干劲，力爭上游多快好省地建設社会主义的总路綫后，在工业方面由于贯彻了党的一整套两条腿走路的方針，这几年来，仪器制造业和其他事业一样也有了很大的跃进。无论是产品的品种、数量和質量上都有了很大的发展，制造成功了許多高級精密的仪器，如电子显微鏡、万能工具显微鏡和精密微量天平等，使我国的仪器制造业出现了嶄新的面貌。但是由于原来的基础很薄弱、仪器制造业的发展，不論是在品种、質量和数量上都还不能滿足实际需要。因此，还必須在工农业发展的基础上，进一步增加仪器生产的品种与提高产品质量，使我国的仪器制造业能够适应我国科学技术发展的迫切需要。

为了得到合乎需要的各种精密仪器，除了要进行能够滿足工作要求和結構合理的仪器設計外，还必須根据技术要求把仪器制作出来。这就必須有合理的工艺方法和可靠的工艺設備。在工艺設備中，目前最主要的还是切削加工用的刀具和机床。在仪器制造业中，除了应用普通机械制造业所用的刀具和机床外，由于仪器零件的尺寸小、精度高等的特点，也还要用到一些仪器制造专用的一些小型、精密的刀具和机床。解放以来，机床刀具制造业也和其他工业一样有了迅速的发展。已經能够制造各种各样的机床刀具。在精密机床和仪表机床方面也有了相应的发展，但是，相对來說，小型精密刀具和精密机床与仪表机床的制造在整个机床刀具制造业中仍然是比較薄弱的一环。无论是品种、質量和数量都还不能滿足需要，还应进一步充实提高以适应仪器制造业的需要。

培养各种仪器制造的建設干部是发展我国仪器制造业的重要措施之一。无论是培养仪器設計或仪器制造工艺方面的人才都必須使学生具备一定的工艺知識。所以，各仪器专业的教育計劃一般都有有关工艺方面的課程与生产劳动。在专业課中有关工艺方面的課程也可能有“仪器制造刀具及机床”和“仪器制造工艺学”等課程。这些課程講述加工各

种仪器零件所用的主要工具设备、加工方法以及其中应遵循的一些规律和原则。使学生了解仪器是怎样制造出来的，在毕业后有可能到仪器制造工厂和车间工作，同时了解了仪器的制造过程及其所用的工具设备后，就能使设计出来的仪器结构具有很好的工艺性。

仪器零件的加工方法是多种多样的，有切削加工、铸造、压铸、锻造、冲压和焊接等等。但其中最主要的目前还是切削加工，特别是对精度和表面光洁度要求较高的工件，一般还都要经过切削加工。本课程所述及的是加工各种仪器零件时所用的各种切削刀具和机床，讲述这些刀具和机床的构造、工作原理及使用特点。使学生在学习这门课程后，了解这些刀具和机床的类型、原理和特点，能够使用和选择这些刀具和机床，并为以后学习仪器制造工艺学课程打下基础。

本课程共分两部分：第一篇为仪器制造用刀具，除说明仪器制造所用的各种车刀、孔加工刀具、铣刀、拉刀、螺纹切削刀具，切齿刀具和磨削工具等的构造和工作原理外，还简要叙述各种切削方式的金属切削原理，以掌握切削加工的基本规律。常用的各种类型的刀具都有所介绍，但偏重于仪器制造专用的刀具和一些象成形车刀、拉刀和切齿刀具等的专用刀具。第二篇为仪器制造用机床，主要介绍仪器制造中所用的各种车床、六角车床、自动车床、钻床、坐标镗床、铣床、切齿机床，刻线机和磨床等仪器制造专用机床和精密加工机床的构造特点、传动和使用调整。在仪器制造厂中也用到一些普通机械制造用机床，但因为这些机床在金属工艺课程中已经学过，本课程由于时间所限将不再叙述。

第一篇 仪器制造用刀具

第一章 金属切削原理概述

第一节 切削加工的种类

由于机械制造业及仪器制造业的迅速不断的发展，金属切削加工的方法也就日益增多和完善，如车削、刨削、钻削、铣削、拉削、磨削、各种螺纹加工法、各种齿轮加工法及各种精密加工方法等。

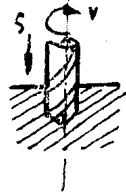

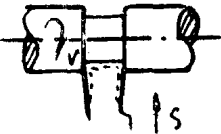
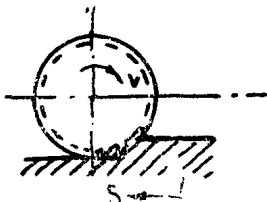
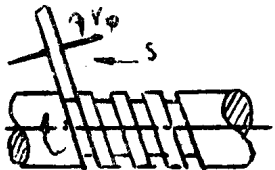
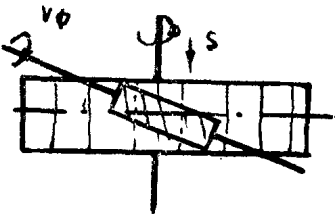
所有的切削过程都是由于机床的运动而使切削刀具对于工件表面有相对运动的结果，这样刀具上的刀刃就从工件切下切屑而使工件具有一定的形状和尺寸。无论加工表面形状如何复杂，所有的刀具对工件的相对运动实际上都是由两种基本运动——直线运动及回转动组合而成的，但对不同的切削加工来说，这些基本运动的数目及其组合情况可能是不一样的。例如车削加工就是由工件绕其轴线回动及刀具作水平的直线移动组合而成的切削过程。刀具绕其轴线回动，工件作水平的直线移动所组成的切削过程就称为铣削加工。表 1-1 所示为最常用的几种切削加工过程的运动图。

最常用切削加工过程的运动图

表 1-1

刀具与机床名称	运动性质		运动间关系	工作运动轨迹	加工方法简图
	刀具	被加工零件			
刨刀(龙门刨床)	在切削过程中不动	直线往复运动	送进是在刀具不与工件接触时断续地进行	直线	
刨刀(牛头刨床)	直线往复运动	在切削过程中不动	同上	同上	
插刀	同上	同上	同上	同上	
拉刀	直线运动	不动	送进系由刀具的构造引起	—	
外圆车刀	平行工件轴线的直线移动	回动	两个运动同时进行	螺旋线	

續表 1-1

刀具与机床 名称	运动性質		运动間关系	工作运 动軌迹	加工方法簡图
	刀 具	被加工零件			
麻花鑽、鉋鑽、 鉸刀、絲攻(鑽 床)	回轉与移 动		—	螺旋綫	
麻花鑽、槍孔鑽、 鏟刀、板牙(車 床与鏜床)	移 动	回 轉	两个运动同 时进行	同 上	
割刀与成形刀 (車床)	垂直于零 件軸綫的 直綫移动	同 上	同 上	阿基米得螺 綫	
銑 刀(銑床)	回 轉	移 动	两个运动同 时进行	伸长或縮短 的摆綫	
螺紋銑刀(螺紋 銑床)	回轉与移 动	回 轉	三个运动同 时进行	螺旋外摆綫	
滾 刀(滾床)	回轉与移 动	回 轉	三个运动同 时进行	复杂曲綫	

第二节 刀具的种类

各种不同的切削加工就需要有各种不同的刀具，根据其用途来分刀具大致可分为下列八类(图 1-1)。

- (1) 切刀——各种单刃刀具如車刀、鏟刀、刨刀、插刀、成形刀等；
- (2) 銑刀——各种平銑刀、盘銑刀、端銑刀等；
- (3) 鑽头，扩孔鑽，鉋鑽与鉸刀等孔加工刀具；

- (4) 拉刀与推刀;
- (5) 切齿刀具——包括齿輪銑刀, 滾刀, 插齿刀, 剃齿刀, 刨齿刀等;
- (6) 螺紋切削刀具——包括絲攻, 板牙, 螺紋車刀及螺紋銑刀等;
- (7) 磨削工具——包括砂輪, 磨石, 研磨膏等;
- (8) 手用工具——包括鑿子, 銼刀, 手鋸等。

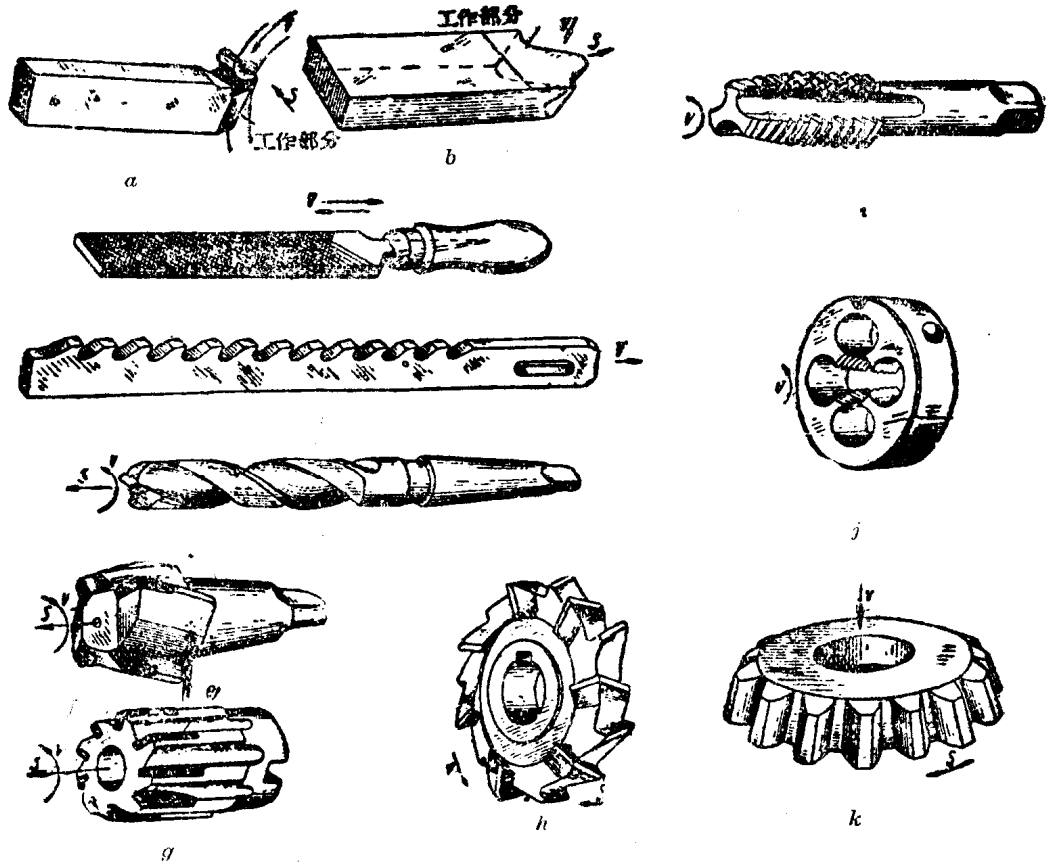


图 1-1 切削刀具的基本类型

a—外圓車刀; b—成形車刀; c—銼刀; d—拉刀; e—鑽頭; f—鑼鑽; g—鉸刀; h—銑刀;
i—螺絲攻; j—板牙; k—插齒刀。

第三节 基本定义及術語

为了研究方便起見, 对于每个部門的科学都規定了一些基本定义与術語, 这些定义和術語就是人們对于某些研究对象或現象所給予的名称或解釋。这样, 对于同一对象或現象大家都有統一的理解, 也就可在共同的認識上进一步研究其中的各規律。

(1) 主运动和輔助运动。

如前所述为了进行切削工作, 必須在切削过程中有相对运动。切削时的运动可分为主运动和輔助运动。

主运动——将切屑切下来所需要的最主要的运动, 也就是在切削时消耗主要动力的运动, 例如在車削时, 工件的回轉为主运动。

輔助运动——使新的金屬层投入切削的运动, 例如在車削时的刀具的直綫移动。

主运动和辅助运动可分别由刀具和工件来完成，或同时由刀具来完成。表 1-1 中所示的各种切削加工简图中标注有 V 字的运动均为主运动，其他的运动则为辅助运动。

(2) 工件上的各表面。

(一) 已加工表面——工件上已切去切屑的表面。

(二) 待加工表面——工件上即将切去切屑的表面。

(三) 切削表面——刀具切削刃在工件上直接形成的表面，也就是已加工表面与待加工表面间的一个过渡表面。

图 1-2 所示为车外圆及刨平面时的工件上各个表面的位置。其中 1 为已加工表面，2 为待加工表面，3 为切削表面。

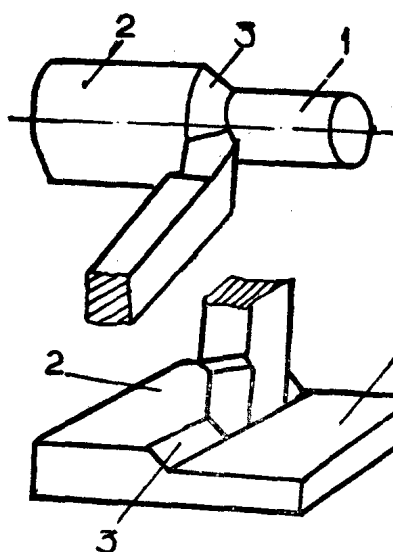


图 1-2

(3) 刀具切削部份的各要素。

以外圆车刀为例，刀具可分为刀头及刀身两部份，担任切削工作的为刀头部份，它是刀具的切削部份，刀身则是用来作为夹固车刀用的。

车刀切削部份的几个要素(图 1-3):

(一) 前面——切屑流出时，刀具上与切屑相接触的表面。

(二) 后面——刀具上和工件互相相对的表面。其中和切削表面面对的称为主后面，和已加工表面面对的称为副后面。

(三) 切削刃——前面和后面的交线。有担任主要切削工作的主切削刃，它是前面和主后面的交线。还有副切削刃为前面和副后面的交线。

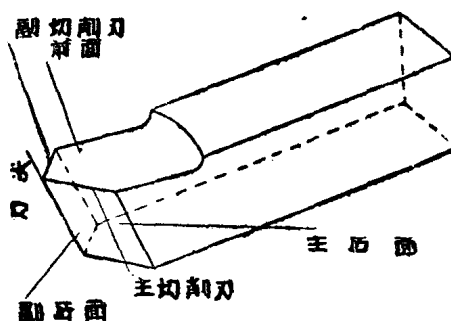


图 1-3

(四) 刀尖——主切削刃和副切削刃相交之处。

(4) 坐标平面及截面。

为了使刀具具有切削性能须将刀具磨出适当的角度，但为了决定刀具的几何角度又须规定如下的坐标平面(切削平面和基面)和截面(主截面和副截面)。

(一) 基面(图 1-4)——对于车刀为平行于纵向送进和横向送进的平面。

(二) 切削平面——包含切削

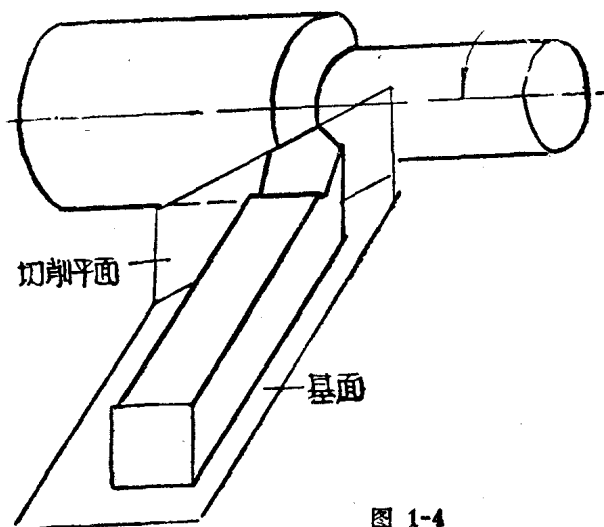


图 1-4

刃而又与切削表面相切的平面，一般多假定垂直于基面。

(三)主截面——垂直于主切削刃在基面上的投影的平面。

(四)副截面——垂直于副切削刃在基面上的投影的平面。

(5) 刀具切削部份的角度。这里所说的角度系指静止时的角度而言，这时不考虑辅助运动及工作时刀具安装位置的影响，刀具的静止角度即指刀具磨刃时所用的角度。

在主截面中测量出的刀具角度有(图 1-5):

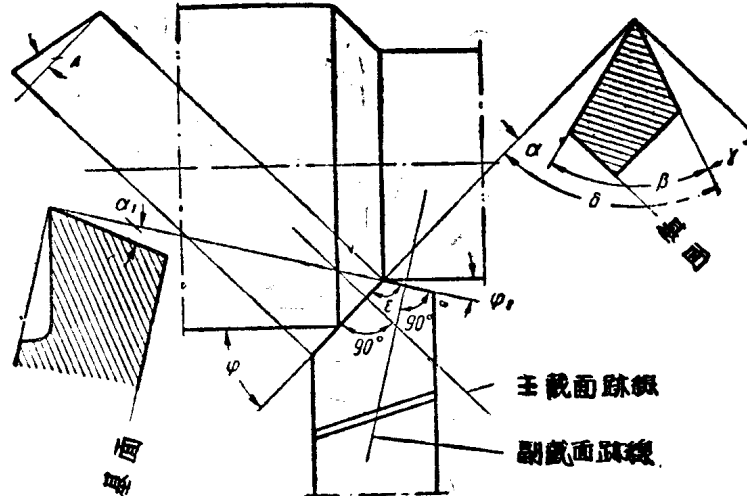


图 1-5 车刀主截面和副截面中的 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 角

(一)前角 γ ——为过主切削刃并垂直于切削平面所作的平面和前面所交的角度。

(二)后角 α ——切削平面和后面之间的夹角。

(三)楔角 β ——后面与前面的夹角。

(四)切削角 δ ——前面和切削平面间的夹角，它是前角的余角。

即 $\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ$; $\delta = 90^\circ - \gamma$ 。

在副截面中测量出的角度有:

(五)副后角 α_1 ——副后面与过副切削刃并垂直基面所作平面间的夹角。

(六)副前角 γ_1 ——前面与基面间的夹角。

在基面投影上测量出的角度有:

(七)主偏角 φ ——主切削刃在基面上的投影与送进方向间的夹角。

(八)副偏角 φ_1 ——副切削刃在基面上的投影与送进方向间的夹角。

(九)刀尖角 ε ——主切削刃与副切削刃。在基面上投影间的夹角。

$$\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$$

在过主切削刃而垂直于基面的平面中测量出的有:

(十)刃倾角 λ (图 1-6)——为主切削刃与过刀尖并平行于基面所作直线间的夹角。

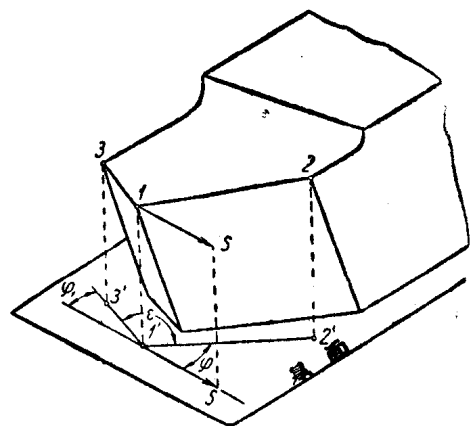


图 1-6

当刀尖为主切削刃的最低时 λ 算是正值，当刀尖为主切削刃上最高点时 λ 算是负的。

(6) 切削用量三要素。

表征着生产率切削用量三要素为切削速度，送进量及切削深度。

(一) 切削速度 v ——在单位时间内刀具切削刃对被加工表面相对移动所经过路径的长度。因一般的送进量与主运动量相比较甚小，故可不考虑辅助运动的影响，即以主运动来计算切削速度。如车削时主运动为回转，则切削速度即按圆周速度计算，同时计算切削速度时应以最大的切削速度为准，如在车削时应按待加工表面的直径来计算切削速度：

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

式中 D ——工件的最大直径(以毫米计)；

n ——工件的每分钟转数。

(二) 送进量 S ——工件或刀具每转一转或一个双行程后，两者沿辅助运动方向的相对位移，送进量的计量单位当主运动为回转时为毫米/转，当主运动为往复移动时则为毫米/双行程。此外在铣削和磨削时尚有每齿送进量及每分钟送进量等。

(三) 切削深度 t ——工件已加工表面和待加工表面间的垂直距离以毫米计。在车削时切削深度为：

$$t = \frac{D - D_1}{2} \text{毫米}$$

式中 D ——待加工表面的直径；

D_1 ——已加工表面的直径。

(7) 切削层截面的几何形状。

在车削时工件转一转的时间中刀具的切削刃将从工件上切下一层金属，这一层切削层的截面为如图 1-7 中所示的有阴影表示的平行四边形。

(一) 切削宽度 b ——工件已加工表面和待加工表面间沿主切削刃的距离，也即主切削刃和工件接触的工作长度，以毫米计。

(二) 切削厚度 a ——当工件转一转刀具送进 S 毫米后，主切削刃在先后相邻位置间的垂直距离（垂直于切削宽度测量，以毫米计）。

可以看出，如刃倾角 $\lambda = 0$ ，则送进量 S ，切削深度 t 和切削宽度 b ，切削厚度 a 间有下列关系：

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}; \quad a = S \cdot \sin \varphi。$$

由图 1-8 可以看出，虽然 S 及 t 不变，但当 φ 角不同时， a 和 b 也随之而变化。

(三) 切削层截面积 f ——切削厚度和切削宽度的乘积或切削深度和送进量的乘积：

$$f = ab = ts \text{毫米}^2。$$

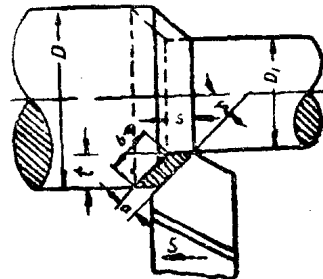


图 1-7 切削面积的几何参数

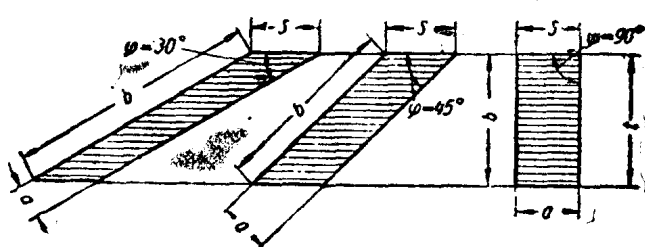


图 1-8 主偏角 φ 和切削层厚度 a 及宽度 b 间的关系

以上所計算的为理想的名义面积，不是被切下金属层的实际面积，因为这时沒有考虑到副切削刃也在工作，同时一般的刀尖也并非尖的，而有刀尖圆弧半径，所以实际上切削截面积不是象图 1-8 那样的平行四边形，而是还有残留面积。

实际面积 = 名义面积 - 残留面积

当沒有刀尖圆弧半径 r 时残留面积为(图 1-9 a):

$$\Delta f = \frac{AB \cdot CD}{2} = \frac{S \cdot H}{2},$$

而 $AD = \frac{H}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad BD = \frac{H}{\operatorname{tg} \varphi_1},$

$$S = A_1 O_1 + A O_1 = H \frac{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1}$$

所以 $H = S \frac{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}$

即 $\Delta f = \frac{S^2}{2} \frac{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1} \text{毫米}^2。$

当刀尖有圆弧半径 r 且 $S < r$ 时(图 1-9 b):

$$H = BC = \sqrt{O_2 A^2 - O_2 C^2}$$

$$= r - \sqrt{r^2 - \frac{S^2}{4}}$$

$$H = \frac{S^2}{8r},$$

$$\Delta f = Sr - \frac{S}{2} \sqrt{r^2 - \frac{S^2}{4}} - r^2 \sin^{-1} \frac{S}{2r} \text{毫米}^2。$$

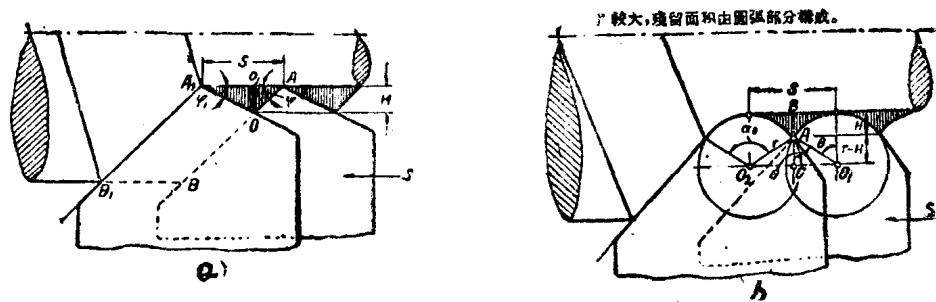


图 1-9 残留面积示意图

从上述公式可以找出残留面积的高度 H ，但实际切削时由于加工表面金属发生很大的塑性变形及有振动等原因，真正的残留面积高度要比计算出来的为大，但从上式可大致看出，当 φ 及 φ_1 愈小， r 愈大， S 愈小时残留面积 Δf 的高度 H 就愈小，表面光洁度因此也就愈高。

第四节 金属切削过程

金属切削过程是一种很复杂的过程。在切削时被切削金属层中发生弹性变形及塑性变形，刀具的前后面和被切削金属间发生摩擦，需要克服很大的切削阻力，产生大量的切削热，此外还出现积屑瘤、切屑的卷曲和收缩、冷硬及刀具磨损等现象。

(1) 切屑形成过程

刀具作用到切削层时，切削层受到压缩，而塑性金属的切削过程就相当于金属的压缩过程，在金属材料试验中压应力与应变的曲线如图 1-10 所示，其中 a 为弹性限度， b 为屈服点， d 为断裂点， bc 一段的强度称为屈服点强度。这也就是说金属受压时开始时受弹性变形，过了 a 点后受的是塑性变形，到达 d 点时金属断裂。曲线下的面积相当于变形的功，可以看出塑性变形的功大于弹性变形的功。

切削时金属层变为切屑也经过弹性变形、塑性变形及断裂等过程，并大致可分为四个阶段(图 1-11)。

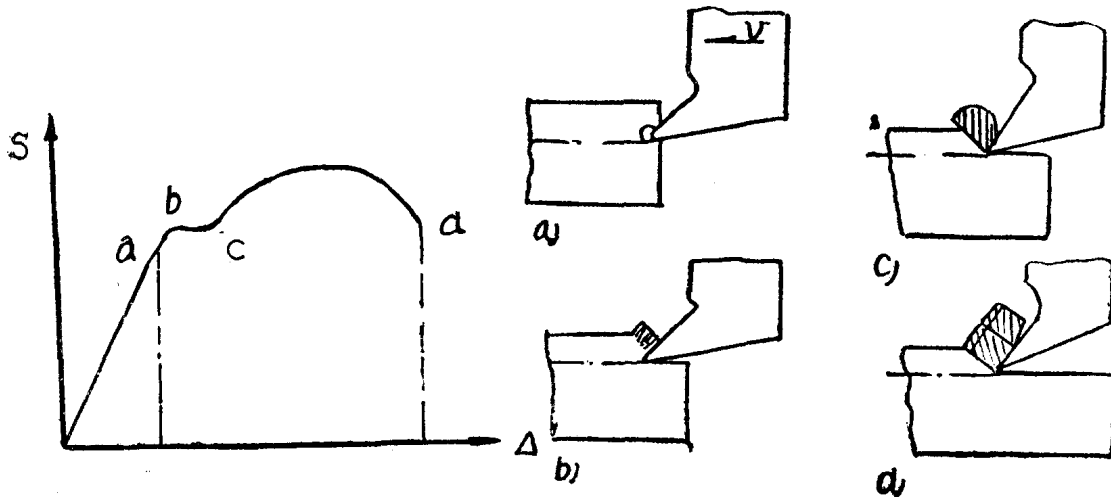


图 1-10

图 1-11

(一)挤压阶段：刀具开始接触工件的最初一段时期，工件在接触处受到压力，这时材料发生弹性变形。

(二)滑移阶段：当刀具继续前进时，切削层材料内部的压力不断增加，当压力到达屈服点后，金属晶格间即沿一定方向作相对滑移，这时已属于塑性变形的范围。滑移系沿滑移线进行，滑移线的角度 θ_1 称为滑移角(图 1-12)。

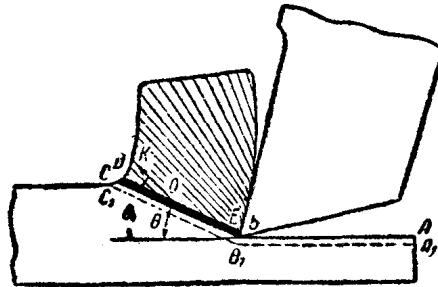


图 1-12 切屑形成

(三)挤裂阶段：当刀具再继续前进时，切削层材料内部压力不断增加，当压应力到达断裂点时，金属即沿挤裂线发生裂痕，但挤裂角 θ_2 与滑移角 θ_1 并不重合。挤裂角与滑移角不一致目前还不能很好解释，有人说这是因为滑移时由于塑性变形使沿滑移线发生冷硬现象，故挤裂不再沿此线进行，而沿诸滑移线的包络线。

(四)切离阶段，当刀具再进时，这块金属即与切屑层分离而沿刀具前面滑出成为切屑。此时刀具接触另外一块新的金属，开始挤压，实际上切屑是在高速的切削过程中形成的，也就是切屑的变形是连续的。

上面所说的变形过程是一种典型的切屑过程，这时四个阶段都很明显，有时其中的

有的阶段很不明显，例如切削灰鑄鐵时第(2)，(3)两个阶段都不明显，这时当刀具切入工件不久时就有一块金属突然崩裂，完成切离阶段。此外，切屑中各点的金属变形并不相等，靠近刀具前面的切屑的金属变形最大，这部份金属由于受到高温、高压和摩擦的影响，其滑移綫的影响将与前面平行，这部份金属的流动較慢称为滞流。

(2) 切屑的种类

由于工件材料的性質、刀具几何形状及切削用量的不同，所得到的切屑的外形也就不相同。通常切屑可分为下列几类：

(一)单元切屑，是以低切削速度切削韌性較小的金属时得到的(图 1-13,2)。这种切屑是象上面所述的那样过程形成的，各单元切屑間是分离而不相联系的。

(二)挤裂切屑(带状切屑)是以較低切削速度較大送进量切削中等硬度的鋼材时得到的，这时切屑連續較长，靠刀具一面很光滑，反面則有明显的裂縫(呈节状)，也即各单元切屑間是相互联系的(图 1-13,3)。

(三)流动切屑(带状切屑)是在高速下切鋼得到的，这时切屑延綿很长，切屑靠刀具一面很光，反面略呈毛茸状，看不出有裂紋，这种切屑的变形还没有到达断裂强度，所以也就沒有挤裂(图 1-13,4)。

(四)崩碎切屑这是加工塑性小的材料(鑄鐵)时得到的。切屑是分离而不相連系的大小形状不均匀的碎粒，这时加工表面粗糙不平(图 1-13,1 及图 1-14 c)。

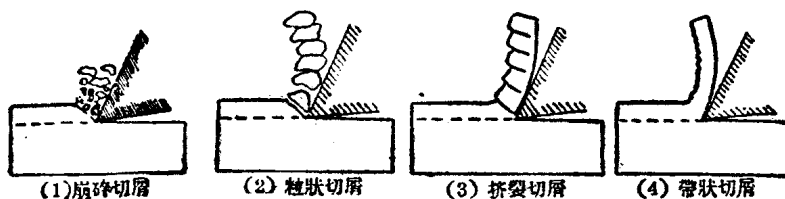


图 1-13 切屑的种类

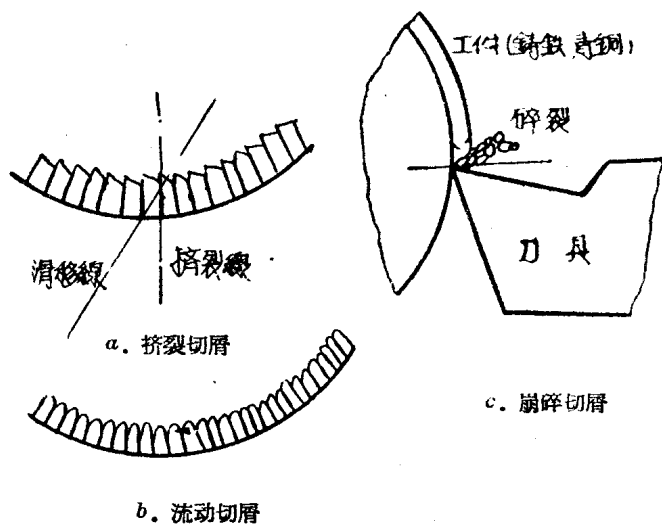


图 1-14

比較以上四种切屑可知：单元切屑以及崩碎切屑最不好，切屑的形成是瞬时的，不連續的，因此震动較大，同时加工表面也不光洁。挤裂切屑比較好一些，但是仍有震动。流动切屑最好，切屑形成是連續的沒有震动，加工表面較光洁，并且其切屑变形較挤裂切屑的为小，因此单位体积切屑所消耗的动力也就較小。

(3) 积屑瘤

切削过程中在刀具前面的靠近切削刀的地方常会长出一块硬度很大的金属，这块金属并不稳固，时生时灭(被工件切屑带走)，这块小金属即称

为积屑瘤。积屑瘤对刀具磨损及工件表面光洁度等均有很大的影响。

积屑瘤是由滞流转变而成的(见图 1-15)，当切屑沿刀具前面流过时，靠近刀具的一薄层金属由于高温高压及摩擦阻力等关系，流动速度较低形成滞流层。在一定条件下，当切屑内部摩擦力小于滞流层与刀具前面的摩擦力，也即当切屑内部某两层金属间的剪力强度小于滞流层与前面间的摩擦时，滞流层就停留下来，脱离切屑而粘附在前面上成为积屑瘤。因此积屑瘤的产生主要是内摩擦和外摩擦的作用结果。影响内摩擦的主要是温度和工件材料性质，影响外摩擦的是正压力和摩擦系数等。

温度太低时切屑内部分子的阻力很大，不容易产生滞流和积屑瘤。温度大一点时，金属内部阻力减小，才出现滞流，但如内摩擦大于外摩擦，则滞流仍不能停留



图 1-15

下来变成积屑瘤。当温度再高时，则内摩擦更小，因此滞流就粘附在刀具上形成积屑瘤，当温度再增高并大于临界温度时，滞流层微熔有润滑作用，并且切屑也变得很软，因此也就不会产生积屑瘤。这也就是说当温度很低和很高时都不会产生积屑瘤。

工件材料性质对产生积屑瘤的影响为：塑性愈高的材料切削时塑性变形愈大，因此积屑瘤也愈易形成。脆性材料因切削时无塑性变形且为崩碎切屑，切屑不在前面流过故无积屑瘤产生。

切削速度对积屑瘤的影响则相当于温度对积屑瘤的影响，由 1-16 可以看出当低速时(2~5米/分以下)没有积屑瘤。这是因为这时产生的是单元切屑以及切削时温度较低的缘故。随着切削速度的增加，单元切屑便转变为挤裂切屑和流动切屑，积屑瘤高度逐渐增高，到切削速度为 10~20米/分时积屑瘤高度最大。切削速度继续增加则温度也增高，滞流层软化，积屑瘤高度也渐减小。从某一速度开始温度很高，切屑与刀具前面呈微熔状态，积屑瘤也就不产生了。

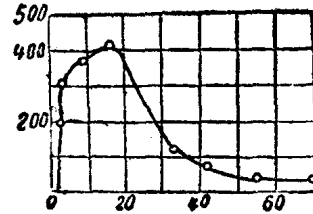


图 1-16 切屑速度对积屑瘤的影响

有了积屑瘤后也会有些好处，因为有积屑瘤增大了刀具的前角，也就减小了切削力(图 1-17)。积屑瘤并能保护切削刃，减小刀具磨损，使切屑对刀具的压力集中点移离切削刃。但积屑瘤也有很大坏处，积屑瘤粘附在工件表面上，影响表面光洁度并使表面硬度不均。

因此粗加工时积屑瘤可能对切削过程有益，但在精加工时则有害应避免产生积屑瘤。避免积屑瘤主要可从控制前面摩擦力及切削温度着手。对前面摩擦力的控制可用精研磨刀具前面得到。控制温度则主要是控制切削速度，用大速度(高速切削)或用小速度(手铰刀、拉刀等)。

(4) 切削力与功

在切削过程中为了要切下切屑，克服金属的变形阻力，就必须有一定的切削力。该切削力用以克服使金属变形的弹性变形力、塑性变形力和作用在刀具前面和后面的摩擦力

(图 1-18)。

因此消耗在切削中的总功，也就由下列各部份的功组成：

$$A = A_{弹} + A_{塑} + A_{前面摩擦} + A_{后面摩擦}。$$

加工塑性金属时， $A_{弹}$ 不大，功的最大组成部份是 $A_{塑}$ 、 $A_{前面摩擦}$ 和 $A_{后面摩擦}$ 。从某一速度开始，塑性变形及其消耗的功便减少，但是磨擦功则随着切削速度的增高而增加，因此总功将增高。

加工塑性小的金属时 $A_{塑}$ 很小，功的主要组成部份为 $A_{弹}$ 、 $A_{前面摩擦}$ 和 $A_{后面摩擦}$ 。并且由于崩碎切屑沿前面的相对滑动很小，故 $A_{前面摩擦}$ 将比 $A_{后面摩擦}$ 要小得多。

(5) 切屑收缩及冷硬

在金属切削时发现切屑收缩及冷硬现象，这就表示切削金属时有塑性变形存在。

由于切削层受刀具前面挤压而产生塑性压缩的结果，切屑较未切下前的一段金属层长度为短，也就是说 $L < L_0$ 。(图 1-19)。切屑沿其长度的缩短称为切屑的纵向收缩，收

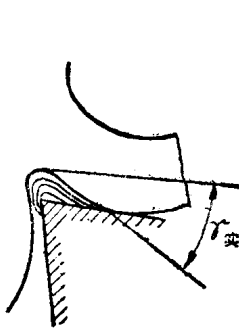


图 1-17 积屑瘤保护刀具

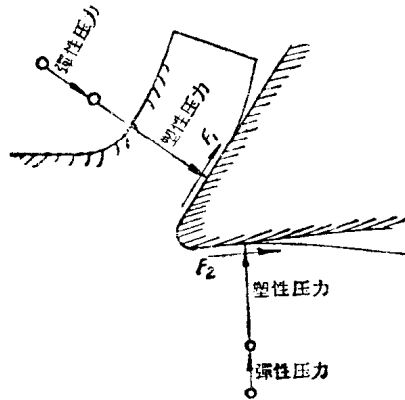


图 1-18

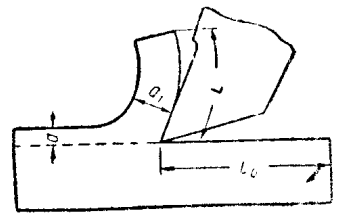


图 1-19

缩的大小可以用收缩系数 k_L 来表示：

$$k_L = \frac{L_0}{L}，$$

因为 $L < L_0$ ，所以收缩系数 $k_L > 1$ 。

与此同时，切屑厚度 $a_1 >$ 切削层厚度 a_0 。

因为切屑收缩是金属切削时塑性变形的结果，所以它在某种程度上可以说明切削过程进行的难易程度。切屑收缩愈小，表示切削过程中塑性变形愈小，也就是消耗于切削的功也愈小，因此切屑形成愈容易。

由于切削层及工件金属母体在切削时受到塑性变形，就使工件已加工表面的硬度和切屑的硬度比原来加工材料的硬度增高，这种由于冷加工而造成的硬化现象称为冷硬。冷硬的特征为硬度增高和塑性降低。因此除了切屑收缩外，切屑、切削表面、已加工表面的硬化程度也可以表示切削时的塑性变形的程度。

在切削过程中，不仅切削层发生很大变形，工件金属母体也有一定的变形。金属在远离切削刃处已开始变形，愈近切削刃，变形愈增加。并且切削刃又非理想的尖锐，故有一部份金属由切削刃下方挤压而过(图 1-20)，使已加工表面受到挤压又经过摩擦再受到张力，因此产生很大塑性变形，使工件表面产生冷硬。同时，表面一层金属的组织已