

高等学校试用教材

金属切削原理

华中工学院 陈日曜 主编

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

金属切削原理

华中工学院 陈日曜 主编

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

人民交通出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ · 印张 14 $\frac{1}{4}$ · 字数 339 千字

1985年11月北京第一版 · 1985年11月北京第一次印刷

印数 00,001—14,500 · 定价 3.00 元

统一书号: 15033·6127

前 言

本书根据1982年10月高等学校机械制造工艺与设备专业教材编审委员会修订通过的《金属切削原理》教学大纲编写而成；全书共分绪论、基本定义、刀具材料、切屑的形成、切削力、切削热和切削温度、刀具磨损和刀具耐用度、工件材料的切削加工性、切削液、已加工表面质量、刀具合理几何参数的选择、切削用量的制订以及磨削等十三个部分。

根据新修订的教学大纲的精神，本书与过去切削原理教材相比较，新增了位错概念在金属切削加工中的应用、刀具的破损、精密切削的表面质量、切削加工优化概念、切削用量的多目标选择及计算机优化、砂轮表面形貌、磨粒的磨损和砂轮的修整等内容，对切削力的理论公式及切削温度的分布进行了较系统的论述。编者注意了除应讲清基本概念外，力求正确地反映国内外的先进水平，体现专业基础课教材的时代性；在内容的表达和份量的安排上，注意了有利于学生自学能力的培养。但教师们选用本教材时，可以根据本身的教学经验，作适当的删繁就简或作一定的补充。

本书经刀具教材编审组组织，由陈日曜（华中工学院）同志主编，周泽华（华南工学院）、傅佑同（天津大学）两同志主审；参加编写人员按所编写各章顺序有陈日曜（绪论、磨削等章）、华中工学院分院饶国定（基本定义一章）、重庆大学肖诗纲（刀具材料、刀具合理几何参数选择、切削用量的制订等章）、华侨大学刘培德（切屑的形成一章）、成都科技大学曾宪唐（切削力一章）、哈尔滨工业大学杨荣福（切削热和切削温度、工件材料的切削加工性等章）、山东工业大学艾兴（刀具磨损和刀具耐用度、切削液等章）和南京工学院赵芝眉（已加工表面质量一章）等同志。

本书在初审和定稿讨论中，刀具教材编审组周泽华、张幼桢、许香谷、楼希翱、于启勋等编委及参加会议各同志提出了很多宝贵的修改意见，张鸿海同志参加了部分整理和配图等工作。我们在此谨致衷心的感谢。

本书于1984年5月经高等学校机械制造工艺与设备专业教材编审委员会刀具教材编审组第三次编委（扩大）会议审查通过，供本专业大学四年制及五年制作教材使用，也可供从事机械制造专业的科技人员参考。

由于编者等水平有限，编写时间也较为仓促，书中缺点错误必然难免；为了共同提高今后教材质量，敬请读者率直批评指正，以便在再版时加以改进，不胜感激之至。

编 者

1984年5月于武昌

本书所用符号的说明

A 陶瓷结合剂; 当相对滑移为 1 时的材料剪切屈服强度	F_t 进给抗力
A_c 切削面积	F_c 切深抗力
A_a 主后刀面	F_s 主切削力
A_f 前刀面	f 进给量; 工件允许的弯曲度
A_r 副后刀面	f_x 轴向进给量
a_c 切削厚度	f_s 砂轮修整进给量
a_{ch} 切屑厚度	f_r 径向切入进给量
a_s 砂轮修整深度	G 磨削比
a_{gr} 磨粒切削厚度	H 已加工表面的显微硬度
a_{gr_0} 磨粒当量切削厚度	H_v 金属基体的显微硬度
a_{gr_1} 磨粒切削宽度	h_c 硬化层深度
a_k 材料韧性的冲击值	I 惯性矩
a_p 切削深度; 磨削深度	J 金属结合剂; 能量单位焦耳
a_w 切削宽度	K 绝对温度, 开尔文; 常数; 工件装夹方法系数
b 工件磨削宽度	K_s 粘结强度系数, 单位粘结力与刀具材料抗拉强度之比
b_s 砂轮宽度	K_r 相对加工性
b_f 前刀面负倒棱宽度	KT 前刀面月牙洼磨损深度
b_e 过渡刃长度	k 导热系数; 直线 ε - T 的截距
C 每个工件的工序成本	k_0 假定屈服剪切应力
C_1 磨刀成本 (刀具成本)	k_{GM} 机床刚度
C_2 工件材料的比热	L 滑动距离
d 直径	l 试件长度; 热源宽度
d_g 磨粒平均直径	l_c 切削层长度; 磨粒切削刃与工件的接触弧长度
d_w 工件待加工表面的直径	l_b 切屑长度
d_s 砂轮直径	l_f 刀-屑接触长度; 砂轮实际切入进给量
d_{eq} 砂轮等效直径	l_m 切削路程
d_s 工件直径; 工件已加工表面的直径	l_w 工件切削部分长度
E 加工精度; 刀具、工件材料组合的活性化能量	M 力矩; 某工序单位时间内所分担的金厂开支
E_s 刀杆材料的弹性模量	m 曲线的斜率
E_w 工件材料的弹性模量	N 硬化程度; 冲击次数
F_t 轴向切削力	NB 刀具径向磨损量
F_f 切屑与前刀面间的摩擦力	NB_s 刀具磨损强度
F_{f_0} 刀具后刀面与已加工表面间的摩擦力	N_{cr} 单位时间内磨出的切屑数
F_m 机床进给机构强度允许的进给力	N_{ad} 砂轮单位面积上的切削刃数
F_n 法向力	n 材料的强化系数
F_{pn} 剪切面上的正压力	n_s 砂轮转速
F_c 切削合力	n_w 工件转速
F_s 剪切力	

- P 生产率
 P_1 机床电动机功率
 P_e' 机床有效功率
 P_f 进给剖面
 P_m 切削功率
 P_r 法剖面
 P_s 主剖面
 P_t 切深剖面
 P_v 基面
 P_v 切削平面; 单位切削功率
 p 单位切削面积上的切削力
 $\bar{p}$ 磨粒磨损平面与工件间的平均接触压力
 Q 青铜结合剂; 能通量 (单位面积上通过的能量)
 q 剪切热输入工件的部分; 砂轮与工件的线速度比
 q_c 传入切屑的热
 q_0 滚轮线速度与修整的砂轮线速度之比, 或称修整速比
 q_s 剪切面上单位时间单位面积上由塑性变形功转换成的热量
 q_v 传入刀具的热
 q_w 传入工件的热
 q_r 前刀面上单位时间、单位面积上的摩擦热
 R_a, R_r 工件表面粗糙度
 R_{sa} 磨削加工表面粗糙度
 R_n 断屑槽槽底圆弧半径
 R_{sa} 砂轮表面有效粗糙度
 R_1 剪切热传入切屑的比例
 R_2 摩擦热传入切屑的比例
 r_c 切削比
 r_B 刀刃钝圆半径; 磨粒刃端圆半径
 r_n 刀尖圆角半径
 S 树脂结合剂
 T 刀具耐用度; 砂轮耐用度
 T_c 最低成本耐用度
 T_0 最高生产率耐用度
 t 卷屑台高度
 t_c 磨粒与工件的接触时间; 磨削时间
 t_{ct} 换刀一次所需时间
 t_m 切削工时
 t_{or} 除换刀时间外的辅助工时
 t_w 砂轮修整时间
 t_v 单件工序工时
 U 剪切面上单位时间消耗的功
 U_s' 剪切面上单位时间、单位面积消耗的功
 u 单位切削体积的剪切功
 u_r 单位切削体积的摩擦功
 $\bar{u}_c$ 比磨削能, 磨下单位体积金属时所消耗的能量
 V_H 结合剂体积
 V_r 磨料体积
 V_0 磨削时未变形切屑的平均体积
 V_v 气孔体积
 V_s 砂轮磨损体积
 V_w 金属磨除体积
 V_s' 单位砂轮宽度的金属磨除体积
 VB 后刀面磨损高度
 v 切削速度
 v_e 经济切削速度
 v_{ct} 切屑速度
 v_f 进给速度
 v_0 最佳切削速度
 v_0 最高生产率切削速度
 v_s 剪切面上的剪切速度; 砂轮线速度
 v_T 刀具耐用度为 T 时的允许切削速度
 v_w 工件表面线速度
 v_{a0} 刀具耐用度 60min 的允许切削速度
 W 总磨缩量
 w 卷屑槽宽度
 X 橡胶结合剂
 y 弹性退让
 Z 单位时间内的金属切除量; 金属切除率
 Z' 砂轮单位宽度的金属切除率
 z 齿数
 α 尺寸参数
 α_f 进给后角
 α_0 法向后角
 α_n 后角
 α_c' 副后角
 α_w 工作后角
 α_{o1} 后刀面消振棱后角
 α_p 切深后角; 比例因子
 β 摩擦角; 形状参数
 β_f 进给楔角
 β_0 法向楔角
 β_0 楔角
 β_p 切深楔角

- Γ ξ 和 γ_0 的函数
 γ 位置参数
 γ_f 进给前角
 γ_n 法向前角
 γ_o 前角
 γ_w 工作前角
 γ_{oi} 前刀面倒棱前角
 γ_r 切深前角
 Δ 加工余量
 δ 延伸率
 ε 相对滑移; 剪应变
 ϵ 刀尖角
 η_m 机床传动效率
 θ 决定于积屑瘤大小的附加角度; 前刀面接触区的平均温度
 θ_A 磨粒磨削点的温度
 θ_m 磨削区平均温度
 θ_e 环境温度
 $\bar{\theta}_f$ 切屑摩擦引起的温度
 $\bar{\theta}_s$ 切屑在剪切面上的平均温度
 $\bar{\theta}_f$ 前刀面的温度
 κ_r 主偏角
 κ_r' 副偏角
 κ_{rw} 工作主偏角
 κ'_{rn} 工作副偏角
 λ 刃倾角
 μ 摩擦系数
 ρ 工件材料的密度; 切屑卷曲半径
 σ 应力; 主应力
 σ_m 平均正应力
 σ_t 抗拉强度
 σ_b' 刀杆材料允许的抗弯强度
 σ_r 已加工表面进给方向的残余应力
 σ_n 正应力
 σ_s 假定屈服强度
 σ_s 剪切面上的正应力
 σ_r 已加工表面切削速度方向的残余应力
 σ_n 前刀面上的正应力
 τ 剪应力; 剪切强度
 τ_f 时间常数
 τ_s 材料剪切屈服强度
 τ_r 切向应力
 ϕ 剪切角
 ψ 晶粒伸长方向与滑移方向的夹角; 切削合力与剪切面间的夹角; 收缩率
 ψ 余偏角
 ψ_s 磨粒与工件的接触角
 ψ_A 流屑角
 ξ 变形系数
 ω 作用角; 导温系数

目 录

绪 论	1	§3-3 前刀面的挤压与摩擦及其对切屑变形的影响.....	37
第一章 基本定义	4	一、作用在切屑上的力.....	37
§1-1 切削运动与切削用量.....	4	二、剪切角 ϕ 与前刀面摩擦角 β 的关系.....	38
一、切削运动.....	4	三、前刀面上的摩擦.....	38
二、工件上的加工表面.....	5	四、影响前刀面摩擦系数的主要因素.....	39
三、切削用量.....	5	§3-4 积屑瘤的形成及其对切削过程的影响.....	40
§1-2 刀具的几何参数.....	6	§3-5 切屑变形的变化规律.....	42
一、刀具切削部分的表面与刀刃.....	6	一、工件材料对切屑变形的影响.....	42
二、确定刀具切削角度的参考平面.....	6	二、刀具前角对切屑变形的影响.....	42
三、刀具标注角度的参考系.....	7	三、切削速度对切屑变形的影响.....	43
四、刀具的标注角度.....	8	四、切削厚度对切屑变形的影响.....	43
五、刀具的工作角度.....	10	§3-6 切屑的类型及其变化.....	43
§1-3 切削层参数与切削方式.....	12	一、带状切屑.....	44
一、切削层参数.....	12	二、挤裂切屑.....	44
二、切削方式.....	13	三、单元切屑.....	45
第二章 刀具材料	15	四、崩碎切屑.....	45
§2-1 刀具材料应具备的性能.....	15	§3-7 切屑的卷曲与折断.....	45
§2-2 高速钢.....	18	§3-8 位错概念在金属切削中的应用.....	47
一、通用型高速钢.....	18	第四章 切削力	49
二、高性能高速钢.....	20	§4-1 切削力的来源, 切削合力及其分解, 切削功率.....	19
三、粉末冶金高速钢.....	21	一、切削力的来源.....	49
§2-3 硬质合金.....	22	二、切削合力及其分解.....	49
一、硬质合金的特点.....	22	三、切削功率.....	50
二、常用硬质合金的分类及其性能.....	23	§4-2 切削力的测量.....	50
三、硬质合金的选用.....	25	一、机床功率的测定及切削力的计算.....	50
§2-4 涂层刀具.....	27	二、用测力仪测量切削力.....	51
§2-5 其它刀具材料.....	28	§4-3 切削力的经验公式.....	53
一、陶瓷.....	28	§4-4 切削力的理论研究.....	58
二、金刚石.....	29	§4-5 影响切削力的因素.....	64
三、立方氮化硼.....	29	一、被加工材料的影响.....	64
第三章 切屑的形成.....	31	二、切削用量对切削力的影响.....	64
§3-1 研究切屑形成的意义和方法.....	31	三、刀具几何参数对切削力的影响.....	66
一、研究切屑形成的意义.....	31	四、刀具材料对切削力的影响.....	70
二、研究金属切削过程的实验方法.....	31	五、切削液对切削力的影响.....	71
§3-2 金属切削层的变形.....	33		
一、变形区的划分.....	33		
二、第一变形区内金属的剪切变形.....	34		
三、变形程度的表示方法.....	35		

六、刀具后刀面磨损对切削力的影响.....	72	一、切削加工性的概念.....	108
第五章 切削热和切削温度.....	73	二、切削加工性的标志方法.....	108
§5-1 切削热的产生和传出.....	73	三、常用的切削加工性标志.....	109
§5-2 切削温度的理论分析.....	74	§7-2 工件材料的物理机械性能、化学成分 及金属组织对切削加工性的影响.....	109
一、剪切面的平均温度.....	74	一、硬度对切削加工性的影响.....	109
二、刀具前刀面的平均温度.....	76	二、工件材料强度对切削加工性的影 响.....	110
§5-3 切削温度的测量方法.....	79	三、工件材料的塑性与韧性对切削加 工性的影响.....	110
§5-4 影响切削温度的主要因素.....	83	四、工件材料的导热系数对切削加工性 的影响.....	111
一、切削用量的影响.....	83	五、化学成分对切削加工性的影响.....	111
二、刀具几何参数的影响.....	84	六、金属组织对切削加工性的影响.....	111
三、工件材料的影响.....	85	§7-3 某些难切削材料的切削加工性.....	113
四、刀具磨损的影响.....	85	一、高锰钢的切削加工性.....	114
五、切削液的影响.....	85	二、高强度钢的切削加工性.....	114
§5-5 切削温度的分布.....	86	三、不锈钢的切削加工性.....	116
§5-6 切削温度对工件、刀具和切削过 程的影响.....	88	四、高温合金的切削加工性.....	117
第六章 刀具磨损和刀具耐用度.....	90	五、钛合金的切削加工性.....	118
§6-1 刀具磨损的形式.....	90	第八章 切削液.....	122
一、前刀面磨损.....	90	§8-1 切削液的作用机理.....	122
二、后刀面磨损.....	90	一、润滑作用.....	122
三、边界磨损.....	91	二、冷却作用.....	124
§6-2 刀具磨损的原因.....	92	§8-2 切削液的添加剂.....	125
一、硬质点磨损.....	92	一、油性添加剂.....	125
二、粘结磨损.....	92	二、极压添加剂.....	125
三、扩散磨损.....	93	三、表面活性剂.....	126
四、化学磨损.....	95	§8-3 切削液的分类与使用.....	126
五、小结.....	96	一、切削液的分类.....	126
§6-3 刀具磨损过程及磨钝标准.....	97	二、切削液的选用.....	127
一、刀具的磨损过程.....	97	三、切削液的使用方法.....	127
二、刀具的磨钝标准.....	97	第九章 已加工表面质量.....	129
§6-4 切削用量与刀具耐用度关系的经 验公式.....	98	§9-1 已加工表面质量的概念.....	129
一、切削速度与刀具耐用度的关系.....	98	§9-2 已加工表面的形成过程.....	130
二、进给量和切削深度与刀具耐用度 的关系.....	99	§9-3 已加工表面粗糙度.....	131
三、刀具耐用度的试验方法.....	100	一、表面粗糙度产生的原因.....	131
§6-5 刀具破损的特点.....	101	二、影响表面粗糙度的因素.....	135
一、刀具脆性破损的形式.....	101	§9-4 加工硬化.....	137
二、刀具的塑性破损.....	101	一、加工硬化产生的原因.....	137
三、刀具脆性破损的原因.....	103	二、影响加工硬化的因素.....	137
四、刀具的脆性破损耐用度.....	106	§9-5 残余应力.....	139
第七章 工件材料的切削加工性.....	108	一、残余应力产生的原因.....	139
§7-1 切削加工性的概念和标志方法.....	108		

二、影响残余应力的因素.....	140
§9-6 精密切削加工的表面质量.....	142
一、刀具方面的措施.....	143
二、切削条件方面的措施.....	143
第十章 刀具合理几何参数的选择	146
§10-1 前角及前刀面形状的选择	146
一、前角的功用及选择.....	146
二、倒棱及其参数的选择.....	148
三、带卷屑槽的前刀面形状及其参数 选择.....	149
§10-2 后角的选择	149
§10-3 主偏角、副偏角及刀尖形状的 选择.....	151
一、主偏角的功用及选择.....	151
二、副偏角的功用及选择.....	153
三、刀尖形状及尺寸的选择.....	154
§10-4 刃倾角的选择	155
第十一章 切削用量的制订.....	160
§11-1 制订切削用量的原则	160
§11-2 刀具耐用度的确定	161
一、最高生产率耐用度.....	161
二、最低成本耐用度.....	162
§11-3 切削用量三要素的确定	163
一、切削深度的选择.....	163
二、进给量的选择.....	164
三、切削速度的确定.....	167
四、机床功率校验.....	170
§11-4 切削用量最佳化的概念	170
§11- 切削用量的多目标选择及计算机 优化.....	172
一、按多目标确定切削用量的方法.....	172
二、切削用量的计算机优化.....	173
§11-6 提高切削用量的途径	176
第十二章 磨削.....	178
§12-1 概述	178
§12-2 砂轮的特性及其选择	178
一、磨料.....	179
二、粒度.....	180

三、结合剂.....	182
四、砂轮的硬度.....	182
五、砂轮的组织.....	183
六、砂轮的形状、用途及选择.....	185
§12-3 砂轮表面形貌图	186
§12-4 磨削过程	187
一、磨粒切除切屑的几何图形.....	187
二、磨粒切除切屑时与工件的接触状 态.....	189
三、磨削方式及磨削中各参数的关系.....	189
四、磨削循环.....	191
§12-5 磨削力及功率	193
一、磨粒的受力情况.....	193
二、磨粒的负前角对磨削力的影响.....	194
三、砂轮上的磨削力及其影响因素.....	194
四、磨削功率消耗.....	198
五、磨削用量及单位时间磨除量.....	199
§12-6 磨削温度及工件表层状态	199
一、磨削时的能量消耗.....	199
二、磨削温度、工件表面烧伤及硬度 变化.....	200
三、磨削加工表面的残余应力.....	203
四、磨削条件与磨削加工表面粗糙度 的关系.....	203
§12-7 磨粒的磨损与砂轮的磨耗	204
一、磨粒的磨损.....	204
二、砂轮的磨耗和砂轮耐用度.....	206
三、砂轮的糊塞.....	208
§12-8 砂轮的修整	208
一、砂轮的修整方法.....	208
二、修整用量对砂轮磨削效能的影响.....	210
三、砂轮硬度和磨料粒度对砂轮修整 效果的影响.....	211
§12-9 高效率磨削.....	213
一、高速磨削.....	213
二、缓进给大切深磨削.....	213
三、砂带磨削.....	214

绪 论

一、本课程的性质和任务

金属切削原理是研究金属切削加工的一门技术科学。材料的切削加工是用一种硬度高于工件材料的单刃或多刃刀具,在工件表层切去一部分预留量,使工件达到预定的几何形状、尺寸准确度、表面质量以及低加工成本的要求。切削过程牵涉到刀刃前端工件材料的大塑性变形(剪切应变约为 $2\sim 8$)、高切削温度(可达或超过 1000°C)、新鲜的具有化学敏感性的切出表面、刀具以及加工表面的相当高的机械应力和热应力和刀具的磨损或破损^[2]。因此,这门科学与金属物理学、金属工艺学、力学、热学、化学、弹塑性理论、工程数学、计算技术、电子学和生产管理与经济学等有着密切的联系。

根据“机械制造工艺与设备专业”教学计划及本课程教学大纲的规定^[6],本课程是一门专业基础课。它为这一专业的培养目标即培养机械制造方面的工程师服务,并为本专业的后续课程如“金属切削刀具”、“金属切削机床”、“机械制造工艺学”、“机械加工自动化”等课程提供必要的基础知识。学生学习本课程应达到下列要求:

1. 认识金属切削过程的一般现象及基本规律,能按具体加工条件选择合理的刀具材料、切削部分几何参数及切削用量、计算切削力和功率,并能运用所学知识分析及解决生产中出现的一些有关问题。

2. 初步掌握金属切削实验的基本方法和技能,学会使用有关的测量仪器及处理实验数据的方法。

3. 对金属切削原理学科的成就和发展趋势有初步的了解。

二、切削加工的地位、种类和发展

金属的机器零件可能经过的加工方式^[3]可分塑性加工、加热加压成形加工、机械加工、高能加工、电及化学加工等几大类。塑性加工又可分热锻加工(Forging)、轧压加工(Rolling)、冷拔加工(Drawing)、挤压加工(Extrusion)、冷锻加工(Cold Forging)、剪切加工(Shearing)和弯曲加工(Bending)。加热加压成形加工又可分铸造(Casting)、模型铸造(Die Casting)、注入成形(Injection Moulding)、焊接(Welding)、摩擦焊(Friction Welding)、钎焊(Brazing)、金属喷镀(Metalizing)、粉末冶金(Powder Metallurgy)。机械加工又可分为用刀具加工——切削加工(Cutting)、用磨料加工和液压喷射加工(Hydro-jet Machining)。用磨料加工还可分为磨削(Grinding)、珩磨(Honing)、超精加工(Superfinishing)、研磨(Lapping)、抛光(Buffing)、滚筒加工(Barrel Finishing)、超声波加工(Supersonic Machining)和喷射加工(Blasting)。高能加工可分为火焰切割(Flame Cutting)、等离子加工(Plasma Machining)、放电加工(Electrical Discharge Machining)、电子束加工(Electron Beam Machining)、离子束加工(Ion Beam Machining)和激光束加工(Laser Beam Machining)。电及化学加工可细分为电化学加工(Electro-chemical machining)、电解抛光(Electrolytic Polishing)、电镀(Plating)、电铸(Electroforming)、化学加工(Chemical Machining)和化学抛光(Chemical Polishing)等。

在上述各种加工方法中,机械加工中的切削加工和磨削加工,在机械制造过程中所占比

重最大,用途最广,属于本课程的研究范围。目前机械制造中所用工作母机有80%~90%仍为金属切削机床。日本近年来每年消费在与切削加工有关的费用超过一万亿日元^[3];美国每年消耗在切削加工方面的费用近年达一千亿美元^[2]。在工业发达国家中,国民经济中创造物质财富部分^[1],制造业占2/3;而其它如农业、林业、渔业、矿业和建筑业等共占1/3。在各种制造业中,机械制造业占着主导部位;而且各个经济部门都必须有相当的机械制造力量。由上面所列数据可知,机械制造业的切削加工在国民经济发展中处于十分重要的地位。

切削加工方法的种类很多^[3],例如可分端面车削、外圆车削、立车加工、锥度车削、成形车削、螺纹车削、切槽、切断、套丝、镗孔、内螺纹车削、在车床上钻孔、铰孔、攻丝、龙门刨或牛头刨刨削,插削,拉削,在钻床上钻孔、铰孔、锯削,端铣刀铣削、棒铣刀铣削、盘铣刀铣削、成形铣削和齿轮展成切削等等。其实,不同的切削加工方法使用着不同形状和结构的刀具,而且刀具、工件和机床间的运动关系和所用机床设备等也有所不同;比较常用的主要切削加工方法是:(1)制作圆柱形表面的车削加工;(2)制作平面和复杂几何型面的铣削和刨削加工;(3)制作圆孔的钻削、镗削和铰削加工和(4)各种形式的磨削加工。本课程将介绍带有共性的切削加工的一般规律。影响切削加工的主要因素有:刀具的性能和刀具的磨损或破损,工件材料的特性包括硬度、强度和加工性等,对加工表面粗糙度、精度和加工表面状态的要求,机床的性能(包括型号规格、功率、刚度等)和与加工有关的成本或经济效益。这些问题,在本课程中都会接触到。

人类的文明是随着生产工具的发展而发展的。我们的祖先曾经经历过石器时代、铜器时代和铁器时代,在历史上也曾有过作为刀具使用的石器、铜器和铁器。根据历史记载,我国在商代已采用各种青铜工具如刀、钻等;在公元前八世纪的春秋时代,已采用锯、凿等铁制工具;在1668年已使用过马拉铣床和脚踏砂轮机^[5]。18世纪六十年代,英国James Watt发明了蒸汽机,1775年J. Wilkinson研制成了加工蒸汽机汽缸的镗床,这是英国的第一部机床。1818年美国Eli Whitney发明了铣床。在1865年巴黎国际博览会前后,各式车床、镗床、刨床、插床和齿轮、螺纹机床等就相继出现。1851年法国Cocquilhat研究了钻削石头、铜、铁时所需的功。1864年法国Joessel研究了刀具几何形状对切削力的影响。1870~1877年俄国的И.А.Тиме研究了切屑的形成和切屑的种类。1906~1907年美国F.W. Taylor发表了“关于金属切削技术”及刀具耐用度与切削速度的关系式。这些是金属切削方面主要的早期研究成果。

应该指出:社会生产力的发展对机械制造业不断提出了提高劳动生产率、提高加工质量和降低加工成本的要求。这一要求和新的加工材料的出现促进了刀具材料的发展。自1780年至1898年期间,刀具材料主要用碳素工具钢和合金工具钢,切削速度一般为6~12m/min。1898年Taylor和White发明了高速钢,切削速度可较前提高2至6倍,1927年德国出现了Widia牌硬质合金,其后切削速度又比高速钢刀具提高2~5倍。1932年美国出版了切削用量手册,1950年前后苏联先后出版了高速钢切削用量手册和高速切削用量手册。1960年以后,高强度、高抗磨损性、高抗腐蚀性、低热传导、高抗高温性的难加工材料相继出现,许多新的刀具材料如变型硬质合金,单晶金刚石,各种TiC、TiN、Al₂O₃、HfC或HfN涂层硬质合金刀具及陶瓷刀具和各种新型磨料如立方氮化硼等也相继出现,使刀具耐用度、砂轮耐用度和切削、磨削速度有更大幅度的提高,出现了高速切削、高速磨削、强力磨削,在加热或冷冻情况下的强力磨削。在飞机制造业中已突破了切削热的限制,实现了超高速切削。在非传统的加工方法方面,1947年苏联Lazarenko和美国Williams发明了放电加工(EDM)法。

随后各国又发展了电化学加工 (ECM)、化学加工、超声加工、电子束加工、等离子加工、激光束加工、水柱喷射加工、爆炸成形、放电成形、电磁成形等〔1〕。新型工程材料的出现和发展必然产生巨大影响;可以看到,将来在传统的切削加工方法在新型材料的切削机理、微电子技术 在切削加工中的应用和提高制造精度上不断取得进展的同时,以微电子技术及其它新兴技术的应用为基础的各种复合加工工艺也必然有很大的发展。

从历史上看,有代表性的切削加工机床和测量仪器的可达精度和发展简况如图 0-1 所示。

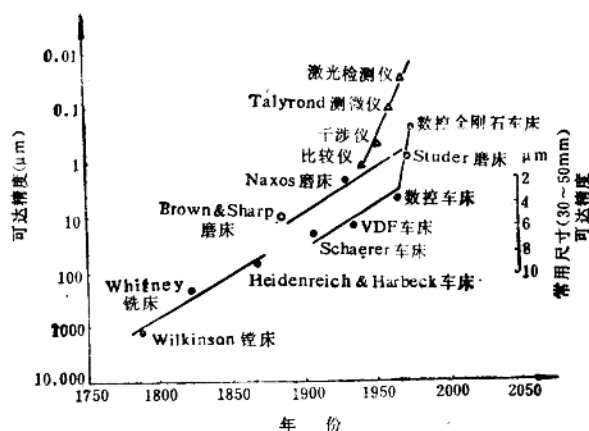


图0-1 各种切削加工机床和测量仪器的可达精度及发展简况

我国自1949年建国以来,各高等工科院校相继进行了金属切削和刀具方面的科学研究;机械工业部建立了工具研究所、机床研究所和磨料、磨具、磨削研究所,进行了有组织的科研工作;在1963年、1979年和1982年第一届、第二届和第三届全国机械加工会年会上,在1963年广州举行的第一届高等工科院校校际金属切削学术讨论会上,在1981年5月成立的中国高校金属切削研究会成立大会上,共先后宣读了切削和刀具方面的论文约贰百篇以上;1983年又在广州举行了第一届国际金属切削会议,宣读和讨论了科研论文20篇,其中由我国国内人员提出的有13篇,香港地区2篇,国外学者提出5篇。建国以来,我国机械制造业发展迅速,切削速度已由解放前用碳素工具钢刀具的10m/min左右提高到目前用硬质合金刀具的100m/min以上,高速切削及磨削、强力切削及磨削和先进刀具及磨具得到推广。工人同志在刀具方面的创造发明例如“群钻”等的出现及其不断改进,促进了我国机械制造业的发展,也得到国际上的好评。在金属切削和磨削理论,积屑瘤和鳞刺,精密加工表面质量,难加工材料的加工,新型刀具材料和磨料的研制及其切削磨削性能研究,以及刀具磨损及破损等方面,均取得相当显著的研究成果;在刀具材料、刀具品种和质量方面,有些已跃入世界先进行列。可以预期,随着今后四个现代化进程中新兴技术的日益应用于机械制造现代化,我国的金属切削学科必然将有更加蓬勃的发展。

参 考 文 献

- 〔1〕 中国机械工程学会秘书处编,《机械学会动态》,第113期,1982年11月15日。
- 〔2〕 R.Komanduri and J.D.Desai, "Tool Materials for Machining", Aug.1982.
- 〔3〕 〈日〉竹山彦彦,《切削加工》,1980年。
- 〔4〕 H.K.Tönshoff, "Fertigungstechnische Forschung—ein Faktor zur Zukunftssicherung", 《IFW Kolloquium》Mai, 1980.
- 〔5〕 陶乾,《金属切削原理》,高等教育出版社,1957年。
- 〔6〕 机械制造工艺与设备专业教材编审委员会,《金属切削原理》教学大纲,1982年10月。

第一章 基本定义

金属切削过程是工件和刀具相互作用的过程。刀具要从工件上切去一部分金属,并在保证高生产率和低成本的前提下,使工件得到符合技术要求的形状、尺寸精度和表面质量;为了实现这一切削过程,必须具备以下三个条件:(1)工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动;(2)刀具材料必须具有一定的切削性能;(3)刀具必须具有适当的几何参数,即切削角度等。本章的内容主要是阐明和切削运动及刀具切削角度有关的基本概念和定义,为在后续各章学习和研究切削过程基本理论及其应用作准备。

§1-1 切削运动与切削用量

一、切削运动

外圆车削和平面刨削是金属切削加工中常见的加工方法,现以它们为例来分析工件与刀具间的切削运动。图 1-1 表示外圆车削时的情况,工件旋转,车刀连续纵向直线进给,于是形成工件的外圆柱表面。图 1-2 表示的是在牛头刨床上刨平面时的情况,刀具作直线往复运动,工件作间歇的直线进给运动。

在其它各种切削加工方法中,刀具或工件同样必须完成一定的切削运动。通常切削运动按其所起作用可分为以下两种:

(一) 主运动 使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本的运动,称为主运动。这个运动的速度最高,消耗功率最大。例如,外圆车削时的工件旋转运动和平面刨削时的刀具直线往复运动(图 1-1 和图 1-2),都是主运动。其它切削加工方法中的主运动也同样是由工件或由刀具来完成的,其形式可以是旋转运动或直线运动,但每种切削加工方法的主运动通常只有一个。

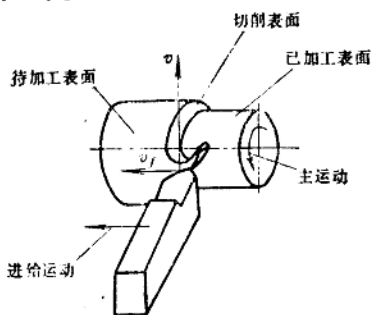


图1-1 外圆车削的切削运动与加工表面

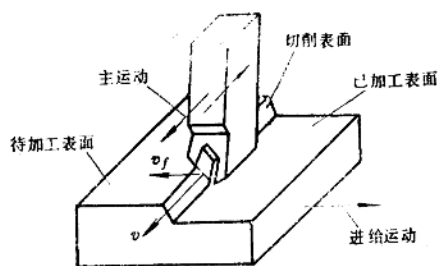


图1-2 平面刨削的切削运动与加工表面

(二) 进给运动 使主运动能够继续切除工件上多余的金属,以便形成工件表面所需的运动,称为进给运动。例如外圆车削时车刀的纵向连续直线进给运动(图 1-1),和平面刨削时工件的间歇直线进给运动(图 1-2)。其它切削加工方法中也是由工件或由刀具来完成进给运动的,但进给运动可能不只一个。它的运动形式可以是直线运动、旋转运动或两者的组

合,但无论哪种形式的进给运动,它消耗的功率都比主运动要小。

总之,任何切削加工方法都必须有一个主运动,可以有一个或几个进给运动。主运动和进给运动可以由工件或刀具分别完成,也可以由刀具单独完成(例如在钻床上钻孔或铰孔)。

二、工件上的加工表面

在切削过程中,通常工件上存在三个表面,以图 1-1 的外圆车削和图 1-2 的平面刨削为例,它们是:

1. 待加工表面 它是工件上即将被切去的表面,随着切削过程的进行,它将逐渐减小,直至全部切去;

2. 已加工表面 它是刀具切削后在工件上形成的新表面,并随着切削的继续进行而逐渐扩大;

3. 切削表面 它是刀刃正切削着的表面,并且是切削过程中不断改变着的表面,但它总是处在待加工表面与已加工表面之间。

上述这些定义也适用于其它类型的切削加工。

三、切削用量

所谓切削用量是指切削速度、进给量和切削深度三者的总称。它们分别定义如下:

1. 切削速度 v 它是切削加工时,刀刃上选定点相对于工件的主运动的速度。刀刃上各点的切削速度可能是不同的。

当主运动为旋转运动时,刀具或工件最大直径处的切削速度由下式确定:

$$v = \frac{\pi d n}{1000} (\text{m/s 或 m/min})$$

式中 d ——完成主运动的刀具或工件的最大直径 (mm);

n ——主运动的转速 (r/s 或 r/min)。

2. 进给速度 v_f 与进给量 f 进给速度 v_f 是刀刃上选定点相对于工件的进给运动的速度,其单位为 mm/s。若进给运动为直线运动,则进给速度在刀刃上各点是相同的。进给量 f 是工件或刀具的主运动每转或每一行程时,工件和刀具两者在进给运动方向上的相对位移量。例如外圆车削时的进给量 f 是指的工件每转一转时车刀相对于工件在进给运动方向上的位移量,其单位为 mm/r; 又如在牛头刨床上刨削平面时,则进给量 f 指的是刨刀每往复一次,工件在进给运动方向上相对于刨刀的位移量,其单位为 mm/双行程。

应当指出,在实际生产中有时将进给运动称为走刀运动,进给量称为走刀量。

3. 切削深度 a_p 它是一个和主刀刃与工件切削表面接触长度有关的量,在包含主运动和进给运动方向的平面的垂直方向上测量。对外圆车削而言(图 1-1),包含主运动方向 v 和进给运动方向 v_f 的平面,是与工件主运动旋转轴线平行的,过刀刃上任意点的该平面的垂直方向也就与工件轴线垂直相交,因而外圆车削的切削深度等于工件已加工表面与待加工表面的垂直距离,即

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (\text{mm})$$

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)。

如图 1-2 所示平面刨削,包含主运动方向 v 与进给运动方向 v_f 的平面是平行于已加工表面

的, 所以它的切削深度也等于工件待加工表面与已加工表面的垂直距离。

§1-2 刀具的几何参数

用于不同切削加工方法的刀具, 种类很多, 但是它们参加切削的部分在几何特征上却具有共性。外圆车刀的切削部分可以看作是各类刀具切削部分的基本形态; 其它各类刀具, 包括复杂刀具, 根据它们的工作要求, 都是在这个基本形态上演变出各自的特点。所以本节将以外圆车刀切削部分为例, 给出刀具几何参数方面的有关定义。

一、刀具切削部分的表面与刀刃

图 1-3 所示是外圆车刀的切削部分, 它具有下述表面和刀刃:

前刀面 (A_f) —— 切下的切屑沿其流出的表面。

主后刀面 (A_a) —— 与工件上切削表面相对的表面。

副后刀面 (A_a') —— 与工件上已加工表面相对的表面。

主刀刃——前刀面与主后刀面相交而得到的边锋, 用以形成工件的切削表面, 它完成主要的金属切除工作。

副刀刃——前刀面与副后刀面相交而得到的边锋, 它协同主刀刃完成金属切除工作, 以最终形成工件的已加工表面。

过渡刃——主刀刃和副刀刃连接处的一段刀刃, 它可以是小的直线段或圆弧, 如图 10-19a、b 所示。通常还把主刀刃与副刀刃连接处称为“刀尖”。

二、确定刀具切削角度的参考平面

刀具要从工件上切下金属, 就必须使它具备一定的切削角度, 也正是由于这些角度才决定了刀具切削部分各表面的空间位置。如图 1-4 中标出的宽刃刨刀的 γ_o 、 α_o 角, 就确定了刨刀前刀面 A_f 和后刀面 A_a 的位置。但是刨刀的 γ_o 与 α_o 角则需在选定适当的参考平面作为坐标的基础上才能表明其大小。图 1-4 中所示的基面 P_r 和切削平面 P_s 就是选作坐标的平面。

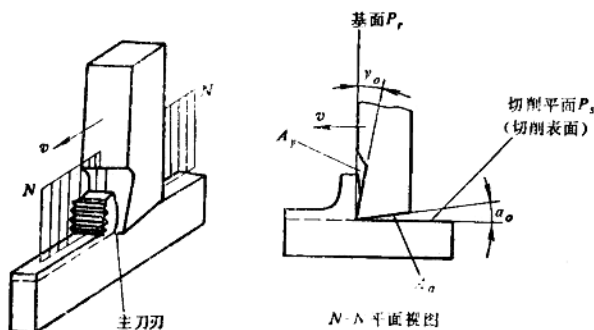


图1-4 宽刃刨刀的参考平面

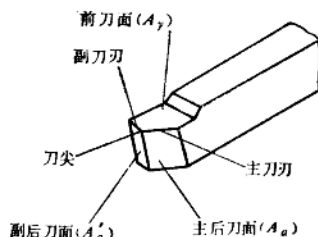


图1-3 车刀的切削部分

切削平面 P_s 是刨刀直线刀刃在切削过程中沿切削速度 v 方向切出的平面, 它在这里与工件切削表面相重合。基面 P_r 是通过直线刀刃并与切削速度 v 方向相垂直的平面。显然, 切削平面 P_s 和基面 P_r 是互相垂直的, 而刨刀的 γ_o 和 α_o 角正是用这两个参考平面作坐标来表示的。

图 1-4 中刨刀是几何参数较为简单的刀具, 它的刀刃是

直线,前刀面与后刀面均为平面,切削时只有主运动而没有进给运动的影响,并且切削表面也是平面。对于较为复杂的刀具,其刀刃可能是曲线,前刀面与后刀面可能是曲面,切削时除主运动外还有进给运动的影响,切削表面大多数不是平面,而是曲面。考虑到这后一种情况,作为刀具角度参考平面的切削平面和基面将定义如下:

1. 切削平面是通过刀刃上选定点,切于工件切削表面的平面。在切削平面内包含有刀刃在该定点的切线,和由主运动与进给运动合成的切削运动向量(简称合成切削运动向量)。

2. 基面是通过刀刃上选定点,垂直于该点合成切削运动向量的平面。显然,刀刃上同一点的基面与切削平面是互相垂直的。

应该指出,上述切削平面和基面的定义是在刀具与工件的相对运动状态下给出的。根据上述定义分析刀具角度时,对于同一刀刃上不同点,可能有不同的切削平面和基面,因而同一刀刃上各点切削角度的数值也就不一定相等。

三、刀具标注角度的参考系

刀具的标注角度是制造和刃磨刀具所需要的,并在刀具设计图上予以标注的角度。标注角度也应该有参考平面作为坐标;但与刀具工作时的切削角度不同,标注角度的切削平面与基面可以不考虑进给运动的影响,只考虑主运动即切削速度方向;因而这时切削平面内只包含有刀刃在其选定点的切线与切削速度向量;基面则是通过该点而垂直于切削速度向量的平面。除此之外,为了便于刃磨和检验刀具的标注角度,还应尽可能使标注角度的参考平面和刀具的刃磨检验基准面一致;所以要根据不同刀具的情况,对刃磨检验时刀具的安装定位面作出某些规定;例如图1-4的刨刀,可以规定其刀杆底面垂直于切削平面(或平行于基面)。

实际上,除了由上述切削平面和基面组成的参考平面系以外,还应该有一个平面作为标注和测量刀具前、后刀面角度用的“测量平面”。图1-4中标注刨刀角度 γ_o 、 α_o 的 $N-N$ 平面就是测量平面,它就是垂直于刨刀直线刀刃的法剖面。通常根据刃磨和测量的需要与方便,可以选用不同的平面作为测量平面。在刀刃上同一选定点测量其角度时,如果测量平面选得不同,刀具角度的大小也就不同。

测量平面和参考平面系就组成了所谓的刀具标注角度参考系。目前各个国家由于选用的测量平面不同,所以采用的刀具标注角度参考系也不完全统一。现在以常用的外圆车刀为例,来说明几种不同的刀具标注角度参考系。

我们先按照刀具标注角度的参考平面系的定义,分析一下外圆车刀的切削平面和基面(图1-5)。在不考虑进给运动影响的情况下,并假定主刀刃选定点 A 安装于工件中心高度上,刀杆中心线垂直于进给方向,如图1-5所示,这时过主刀刃上 A 点的切削平面 P_s 与工件的切削表面相切,并包含主刀刃(它是直线)和切削速度向量 v ; A 点的基面 P_r 垂直于切削速度向量 v 或切削平面,它与车刀底面平行。

车刀标注角度参考系可以随所选测量平面而不同,然而无论选用哪一个平面作测量平面,

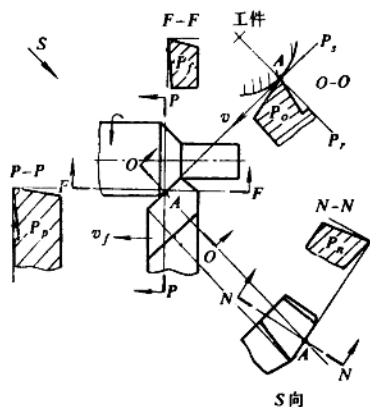


图1-5 车刀标注角度参考系

各个标注角度参考系的切削平面 P_s 和基面 P_r 却是共同的。一般用作标注前、后刀面角度的测量平面有三种：

1. 主剖面 P_o 。它是过主刀刃上选定点，并垂直于切削平面 P_s 与基面 P_r 的平面，如图1-5中所示的 $O-O$ 剖面，因此主剖面 P_o 垂直于主刀刃在基面的投影。 P_o 、 P_s 与 P_r 三个平面构成一个空间直角坐标系（见图1-6）。

2. 法剖面 P_n 。它是过主刀刃上选定点并垂直于主刀刃或其切线的平面，如图1-5所示 $N-N$ 剖面。

3. 切深剖面 P_p 和进给剖面 P_f 。由图1-5可知，切深剖面 P_p 是通过主刀刃上选定点，平行于刀杆轴线并垂直于基面 P_r 的平面，它与进给方向 v_f 是垂直的；进给剖面 P_f 是通过主刀刃上选定点，同时垂直于刀杆轴线及基面 P_r 的平面，它与进给方向 v_f 平行。 P_f 、 P_p 与 P_r 也构成空间直角坐标系（见图1-8）。

因此，刀具标注角度参考系对刀刃上同一选定点来说可以有三种，如表1-1和图1-6、图1-7、图1-8所示。

表 1-1

参 考 系	参 考 平 面	符 号
主剖面参考系	基 面	P_r
	切 削 平 面	P_s
	主 剖 面	P_o
法剖面参考系	基 面	P_r
	切 削 平 面	P_s
	法 剖 面	P_n
切深和进给剖面参考系	基 面	P_r
	切 深 剖 面	P_p
	进 给 剖 面	P_f

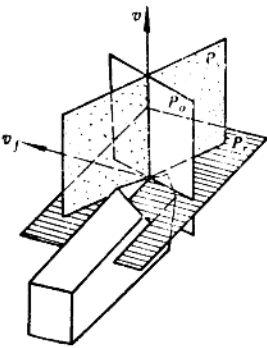


图1-6 主剖面参考系

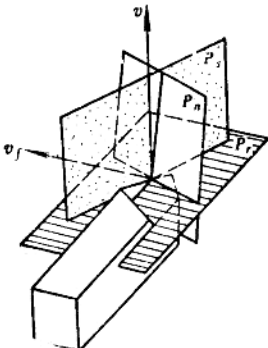


图1-7 法剖面参考系

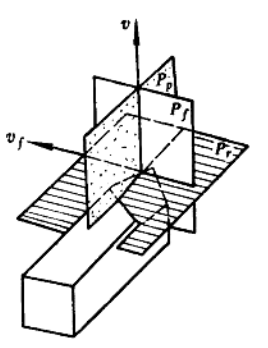


图1-8 切深、进给剖面参考系

四、刀具的标注角度

刀具的标注角度是指刀具工作图上需要标出的角度。它用于刀具的制造、刃磨和测量。这些角度将保证刀具在使用时得到必须的切削角度。刀具标注角度的参考系有上述三种，它们的