



'91国优教材

第三届机械工业部优秀教材一等奖

普通高等教育机电类规划教材

金属切削原理

(第2版)

华中理工大学 陈日曜 主编

机械工业出版社

01

普通高等教育机电类规划教材

金属切削原理

(第 2 版)

主编 陈日曜

参编 饶国定 肖诗纲 刘培德 曾宪唐

杨荣福 丁儒林 艾 兴 赵芝眉

主审 周泽华



机械工业出版社

本书根据1990年新教学大纲,在1985年出版并已再版七次的《金属切削原理》教材基础上修订改写而成。全书分绪论、基本定义、刀具材料、金属切削的变形过程、切削力、切削热和切削温度、刀具磨损破损和刀具耐用度、材料切削加工性、切削液、已加工表面质量、刀具合理几何参数选择、切削用量制订以及磨削等部分;新增内容有非金属材料的切削加工性、切削力的计算机辅助测试及预报、刀具耐用度分布、金属切削数据库、加工自动化及柔性化对切削用量选择的影响以及金刚石砂轮的磨损等。

本书可供大学机械制造(冷加工)类专业本科作教材使用,也可供从事机械制造的科学技术人员参考。

金 属 切 削 原 理

(第 2 版)

华中理工大学 陈日曜 主编

责任编辑:高文龙 责任校对:孙志筠

封面设计:郭景云 版式设计:霍永明

责任印制:王国光

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街22号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

三河市印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张 15¹/₄·字数 359千字

1998年10月第2版第14次印刷

印数 116 151—121 150·定价:18.00元

ISBN 7-111-03641-7/TG·830 (课)

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

再 版 前 言

本书根据1990年4月高等学校机械制造工艺与设备专业教学指导委员会提出的“金属切削原理”教学大纲，在机械工业出版社出版的原用教材基础上改编而成；全书共分绪论，基本定义，刀具材料，金属切削的变形过程，切削力，切削热和切削温度，刀具磨损、破损和刀具耐用度，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13个部分。

根据新教学大纲指出的教学内容要不断更新的精神，本书各章均进行了修改，与原版相比较除作了一定的精简外，新增了非金属材料的切削加工性，切削力的计算机辅助测试，切削力的预报及估算，刀具耐用度的分布，超精密切削表面质量和金刚石砂轮磨粒的磨损等内容。编者注意了教材上“少而精”要求，并且十分重视除应讲清基本概念保证教学基本要求外，还要正确地反映国内外的先进水平和科学的发展趋势，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和引导。但教师们选用本教材时，仍然可以根据自身的教学经验和授课学时有限的具体情况，对某些部分作适当的删繁就简或作一定的补充。

本书目录中及章节前附加星号（*）的部分，在讲课时较紧时，可由学生自学，教师可不在课堂上讲授或者略去。

1990年10月《GB/T12204—90金属切削 基本术语》新标准开始实施，本教材根据机制专业教学指导委员会意见，在本教材修订中尽量向新标准靠拢，对部分内容采取适当的过渡。为便于读者了解和掌握新旧代号及名词术语，特在书前列出了“主要符号和名词术语新旧用法对照表”。

本书经教学指导委员会组织，仍由陈日曜（华中理工大学教授）任主编，由周泽华（华南理工大学教授）主审，参加修订人员按所编写各章的顺序有陈日曜（绪论、磨削等章），华中理工大学汉口分校饶国定（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），大连理工大学刘培德（金属切削的变形过程一章），成都科技大学曾宪唐（切削力一章），哈尔滨工业大学杨荣福、丁儒林（切削热及切削温度，材料的切削加工性等章），山东工业大学艾兴（刀具磨损、破损和刀具耐用度，切削液等章）和东南大学赵芝眉（已加工表面质量一章）等教授。

本书在修订中，曾得到各校教师提出的很多宝贵意见，使修订工作有了重要的依据，因此本教材的修改工作量是比较大的，在内容上较原书有所充实和提高。在此，谨致衷心的感谢。

本书可供本专业大学4年及5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，改编时间也较仓促，书中缺点错误仍然难免，敬请读者率直批评指正，不胜感激之至。

编 者

1992年10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_n 剪切面上的正压力
A_c (国标为 A_D) 切削面积	F_y 切削合力 (国标为 F)
A_o 主后刀面	F_s 剪切力
A_f 前刀面	F_x (国标为 F_t) 进给力
A'_o 副后刀面	F_y (国标为 F_p) 背向力
a 切削厚度 (国标为 h_D)	F_z (国标为 F_c) 切削力
a_{ch} 切屑厚度	f 进给量; 工件允许的弯曲度
a_s 砂轮修整深度	f_a 轴向进给量
a_{sk} 磨粒切削厚度	f_d 砂轮修整进给量
a_{sc} 磨粒当量切削厚度	f_r 径向切入进给量
a_{sw} 磨粒切削宽度	G 磨削比
a_i 材料韧性的冲击初值	H 已加工表面的显微硬度
a_p 背吃刀量; 磨削深度	H_o 金属基体的显微硬度
a_w 切削宽度 (国标为 b_D)	h_d 硬化层深度
b 工件磨削宽度; 柏氏向量	I 惯性矩
b_s 砂轮宽度	J 金属结合剂; 能量单位焦耳
b_{vf} 前刀面负倒棱宽度	K 绝对温度, 开尔文; 常数; 工件装夹方法 系数
b_s 过渡刃长度 (国标称为倒角刀尖长度)	K_o 粘结强度系数, 单位粘结力与刀具材料抗 拉强度之比
C 每个工件的工序成本	K_r 相对加工性
C_i 磨刀成本 (刀具成本)	K_{ic} 材料断裂韧性值
C_1, C_2 工件材料的热容	KT 前刀面月牙洼磨损深度
d 直径	k 导热系数; 直线 $\xi-\Gamma$ 的截距
d_s 磨粒平均直径	k_o 假定屈服剪切应力
d_m 工件直径; 工件待加工表面的直径	k_{GM} 机床刚度
d_s 砂轮直径	L 滑动距离; 断屑台宽度
d_{se} 砂轮等效直径	l 试件长度; 热源宽度; 平均位移
d_s 工件待加工表面的直径	l_c 切削层长度; 磨粒切削刃与工件的接触弧 长度
E 加工精度; 刀具、工件材料组合的活性 化能量; 弹性模量	l_{co} 切屑长度
E_s 刀杆材料的弹性模量	l_i 刀-屑接触长度; 砂轮实际切入进给量
E_w 工件材料的弹性模量	l_m 切削路程
F_s 轴向切削力	l_w 工件切削部分长度
F_f 切屑与前刀面间的摩擦力	M 力矩; 某工序单位时间内所分担的全厂开支
F_{fo} 刀具后刀面与已加工表面间的摩擦力	m 曲线的斜率
F_m 机床进给机构强度允许的进给力	N 硬化程度; 冲击次数
F_o 法向力	

- NB 刀具径向磨损量
 N_{ch} 单位时间内磨出的切屑数
 N_{ct} 砂轮单位表面积上的切削刃数
 n 材料的强化系数
 n_s 砂轮转速
 n_w 工件转速
 P 生产率
 P_E 机床电动机功率
 P_{eff} 机床有效功率
 P_f 假定工作平面
 P_m 切削功率 (国标为 P_c)
 P_n 法平面
 P_o 正交平面
 P_p 背平面
 P_r 基面
 P_s 切削平面; 单位切削功率 (国标为 P_c)
 ρ 单位切削面积上的切削力 (国标为 K_c)
 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_d 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_t 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 耐热冲击系数
 R_a, R_z 工件表面粗糙度
 R_{sa} 磨削加工表面粗糙度
 R_s 断屑槽槽底圆弧半径 (国标为 r_{bn})
 R_{ts} 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_{β} 刀刃钝圆半径 (国标为 r_n); 磨粒刃端圆半径
 r_e 刀尖圆弧半径
 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_p 最高生产率耐用度
 t 卷屑台高度 (国标为 h_b)
 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_{oi} 除换刀时间外的辅助工时
 t_{sd} 砂轮修整时间
 t_w 单件工序时间
 U_s 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_s 单位切削体积的剪切功
 u_t 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_B 结合剂体积
 V_s 磨料体积
 V_o 磨削时未变形切屑的平均体积
 V_p 气孔体积
 V_r 砂轮体积; 砂轮磨损体积
 V_w 金属磨除体积
 $V_{w'}$ 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_c 经济切削速度
 v_{co} 切屑速度
 v_f 进给速度
 v_o 最佳切削速度
 v_p 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_{w0} 刀具耐用度 60 min 的允许切削速度
 W 总磨损量
 w 卷屑槽宽度
 w_R 耐磨性
 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 (国标用 Q_v 表示)
 Z' 砂轮单位宽度的金属切除率
 z 齿数
 α 热膨胀系数

α_f	侧后角	θ_s	切屑在剪切面上的平均温度
α_n	法后角	θ_t	前刀面的温度
α_o	后角	κ_r	主偏角
α_r	副后角	$\kappa_{r'}$	副偏角
α_{wv}	工作后角	κ_{ra}	工作主偏角
α_{wt}	后刀面消振棱后角	$\kappa'_{r'}$	工作副偏角
α_v	背角; 比例因子	λ	导热系数
β	摩擦角; 形状参数	λ_s	刃倾角
β_f	侧楔角	μ	摩擦系数; 泊松比
β_n	法楔角	ρ	工件材料的密度; 切屑卷曲半径
β_o	楔角	σ	应力; 主应力
β_v	背楔角	σ_{av}	平均正应力
Γ	ξ 和 γ_o 的函数	σ_b	抗拉强度
γ	位置参数	σ'_{bt}	刀杆材料允许的抗弯强度
γ_f	侧前角	σ_t	已加工表面进给方向的残余应力
γ_n	法前角	σ_N	正应力
γ_o	前角	σ_u	假定屈服强度
γ_{we}	工作前角	σ_s	剪切面上的正应力
γ_{wt}	前刀面倒棱前角	σ_v	已加工表面切削速度方向的残余应力
γ_v	背前角	σ_r	前刀面上的正应力
Δ	加工余量	τ	切应力; 抗剪强度; 剪应力
δ	延长率; 伸长率; 过切量	τ_T	时间常数
ε	相对滑移; 剪应变	τ_s	材料剪切屈服强度
ε_s	弯曲应变	τ_t	切向应力
ε_r	刀尖角	ϕ	剪切角
η_m	机床传动效率	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
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	ψ_f	余偏角
θ_A	磨粒磨削点的温度	ψ_s	磨粒与工件的接触角
θ_{av}	磨削区平均温度	ψ_s	流屑角
θ_e	环境温度	ξ	变形系数
$\bar{\theta}_f$	切屑摩擦引起的温度	ω	作用角; 导温系数

主要符号和名词术语新旧用法对照表

原书所用	新GB用	本书所用
A_c 切削面积	A_D 切削层公称横截面积	A_c 切削面积
A_a 主后刀面	A_a 后面	A_a 主后刀面
$A_{a'}$ 副后刀面	$A_{a'}$ 副后面	$A_{a'}$ 副后刀面
a_c 切削厚度	h_D 切削层公称厚度	a_c 切削厚度
a_p 切削深度	a_p (a_p) 背吃刀量	a_p 背吃刀量
a_w 切削宽度	b_D 切削层公称宽度	a_w 切削宽度
b_e 过渡刃长度	b_e 倒角刀尖长度	b_e 过渡刃长度
F_c 切削合力	F 一个切削部分总切削力	F_c 切削合力
F_x 进给抗力	F_f 进给力	F_f 进给力
F_y 切深抗力	F_o 背向力	F_f 背向力
F_r 主切削力	F_c 切削力	F_c 切削力
P_f 进给剖面	P_f 假定工作平面	P_f 假定工作平面
P_m 切削功率	P_c 切削功率	P_m 切削功率
P_n 法剖面	P_n 法平面	P_n 法平面
P_o 主剖面	P_o 正交平面	P_o 正交平面
P_p 切深剖面	P_p 背平面	P_p 背平面
P_u 单位切削功率	P_u 单位材料切除率的切削功率	P_u 单位切削功率
p 单位切削面积上的切削力		P 单位切削面积上的切削力
R_n 断屑槽槽底圆弧半径	K_u 切削层单位面积切削力	R_n 断屑槽底圆弧半径
r_β 刀刃钝圆半径	R 断屑槽半径	r_β 刀刃钝圆半径
t 卷屑台高度	r_n 切削刃钝圆半径	t 卷屑台高度
Z 金属切除率	h_B 断屑台高度	Z 金属切除率
α_f 进给后角	Q_u 材料切除率	α_f 侧后角
α_o 法向后角	α_f 侧后角	α_o 法后角
α_p 切深后角	α_o 法后角	α_p 背后角
β_f 进给楔角	α_p 背后角	β_f 侧楔角
β_o 法向楔角	β_f 侧楔角	β_o 法楔角
β_p 切深楔角	β_o 法楔角	β_p 背楔角
γ_f 进给前角	β_p 背楔角	γ_f 侧前角
γ_o 法向前角	γ_f 侧前角	γ_o 法前角
γ_p 切深前角	γ_o 法前角	γ_p 背前角
	γ_p 背前角	

目 录

前言	
再版前言	
本书所用符号的说明	
主要符号和名词术语新旧用法对照表	
绪论	1
一、本课程的性质和任务	1
二、切削加工的地位、种类和发展	1
参考文献	4
第一章 基本定义	5
第一节 切削运动与切削用量	5
一、切削运动	5
二、工件上的加工表面	6
三、切削用量	6
第二节 刀具的几何参数	6
一、刀具切削部分的表面与刀刃	7
二、确定刀具切削角度的参考平面	7
三、刀具标注角度的参考系	8
四、刀具的标注角度	9
五、刀具的工作角度	11
第三节 刀具标注角度的换算	13
第四节 切削层参数与切削方式	15
一、切削层参数	15
二、切削方式	16
思考题与练习题	16
参考文献	17
第二章 刀具材料	18
第一节 刀具材料应具备的性能	18
一、高的硬度和耐磨性	18
二、足够的强度和韧性	18
三、高的耐热性(热稳定性)	18
四、良好的热物理性能和耐热冲击性能	19
五、良好的工艺性能	20
六、经济性	20
第二节 高速钢	20
一、通用型高速钢	21
二、高性能高速钢	22
三、粉末冶金高速钢	22
第三节 硬质合金	23
一、硬质合金的特点	23
二、常用硬质合金的分类及其性能	24
三、硬质合金的选用	26
第四节 涂层刀具	28
第五节 其它刀具材料	29
一、陶瓷	29
二、金刚石	30
三、立方氮化硼	30
第六节 刀具材料的发展	31
思考题与练习题	32
参考文献	32
第三章 金属切削的变形过程	33
第一节 研究金属切削变形过程的意义和方法	33
一、研究金属切削变形过程的意义	33
二、研究金属切削变形过程的实验方法	33
第二节 金属切削层的变形	36
一、变形区的划分	36
二、第一变形区内金属的剪切变形	37
三、变形程度的表示方法	38
第三节 前刀面的挤压与摩擦及其对切屑变形的影响	40
一、作用在切屑上的力	40
二、剪切角 ϕ 与前刀面摩擦角 β 的关系	41
三、前刀面上的摩擦	41
四、影响前刀面摩擦系数的主要因素	42
第四节 积屑瘤的形成及其对切削过程的影响	43
第五节 切屑变形的变化规律	45
一、工件材料对切屑变形的影响	45
二、刀具前角对切屑变形的影响	45

三、切削速度对切屑变形的影响	46	二、刀具前刀面的平均温度	84
四、切削厚度对切屑变形的影响	46	第三节 切削温度的测量	87
第六节 切屑的类型及其变化	47	一、自然热电偶法	87
一、带状切屑	47	二、人工热电偶法	89
二、挤裂切屑	47	第四节 影响切削温度的主要因素	89
三、单元切屑	47	一、切削用量的影响	89
四、崩碎切屑	48	二、刀具几何参数的影响	90
第七节 切屑的卷曲与折断	49	三、工件材料的影响	91
第八节 位错理论在金属切削中的 应用	52	四、刀具磨损的影响	92
第九节 脆硬材料的切削过程	53	五、切削液的影响	93
思考题	54	第五节 切削温度的分布	93
参考文献	55	第六节 切削温度对工件、刀具和切削 过程的影响	94
第四章 切削力	56	一、切削温度对工件材料力学性能的 影响	94
第一节 切削力的来源, 切削合力及其 分解, 切削功率	56	二、对刀具材料的影响	95
一、切削力的来源	56	三、对工件尺寸精度的影响	95
二、切削合力及其分解	56	四、利用切削温度自动控制切削速度 或进给量	95
三、切削功率	57	五、利用切削温度与切削力控制刀具 磨损	95
第二节 切削力的测量及切削力的计算 机辅助测试	58	思考题	96
一、测定机床功率及计算切削力	58	参考文献	96
二、用测力仪测量切削力	58	第六章 刀具磨损、破损和刀具耐 用度	97
三、切削力的计算机辅助测试	59	第一节 刀具磨损的形态	97
第三节 切削力的指数公式和切削力的 预报及估算	60	一、前刀面磨损	97
一、计算切削力的指数公式	60	二、后刀面磨损	97
二、指数公式的建立	64	三、边界磨损	98
三、关于切削力的预报和估算	66	第二节 刀具磨损的原因	99
第四节 影响切削力的因素	66	一、硬质点磨损	99
一、被加工材料的影响	66	二、粘结磨损	99
二、切削用量对切削力的影响	67	三、扩散磨损	101
三、刀具几何参数对切削力的影响	69	四、化学磨损	103
四、刀具材料对切削力的影响	73	五、小结	103
五、切削液对切削力的影响	74	第三节 刀具磨损过程及磨钝标准	104
六、刀具磨损对切削力的影响	74	一、刀具的磨损过程	104
第五节 切削力的理论研究	74	二、刀具的磨钝标准	105
思考题与练习题	80	第四节 刀具耐用度的经验公式及刀具 耐用度的分布	106
参考文献	80	一、切削速度与刀具耐用度的 关系	106
第五章 切削热和切削温度	81	二、进给量和背吃刀量与刀具耐用度	
第一节 切削热的产生和传出	81		
第二节 切削温度的理论分析	82		
一、剪切面的平均温度	82		

的关系	107	二、极压添加剂	140
三、刀具耐用度的分布	108	三、表面活性剂	140
四、刀具耐用度的试验方法	108	第四节 切削液的选用	140
第五节 合理耐用度的选用原则	109	第五节 切削液的使用方法	141
一、最高生产率耐用度	109	思考题	142
二、最低成本耐用度（经济耐 用度）	110	参考文献	142
第六节 刀具的破损	110	第九章 已加工表面质量	143
一、刀具脆性破损的形态	111	第一节 已加工表面质量的概念	143
二、刀具的塑性破损	112	第二节 已加工表面的形成过程	144
三、刀具脆性破损的原因	113	第三节 已加工表面粗糙度	145
四、刀具的脆性破损耐用度	116	一、表面粗糙度产生的原因	145
思考题	116	二、影响表面粗糙度的因素	148
参考文献	117	第四节 加工硬化	150
第七章 工件材料切削加 工性	118	一、加工硬化产生的原因	150
第一节 工件材料切削加工性的概念和 衡量指标	118	二、影响加工硬化的因素	151
第二节 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	119	第五节 残余应力	152
第三节 某些难加工材料的切削加工性	124	一、残余应力产生的原因	152
一、高锰钢的切削加工性	124	二、影响残余应力的因素	153
二、高强度钢的切削加工性	126	第六节 精密切削加工的表面质量	155
三、不锈钢的切削加工性	127	一、刀具方面的措施	156
四、高温合金的切削加工性	128	二、切削条件方面的措施	156
五、钛合金的切削加工性	129	思考题	157
第四节 非金属材料切削加工性 简介	132	参考文献	157
一、陶瓷材料的切削加工性	132	第十章 刀具合理几何参数的 选择	159
二、复合材料的切削加工性	133	第一节 前角及前刀面形状的选择	159
三、工程橡胶的切削加工性	134	一、前角的功用及选择	159
四、工业搪瓷的切削加工性	134	二、倒棱及其参数的选择	161
五、石材的切削加工性	135	三、带卷屑槽的前刀面形状及其参数 选择	162
思考题	136	第二节 后角的选择	162
参考文献	136	第三节 主偏角、副偏角及刀尖形状的 选择	164
第八章 切削液	137	一、主偏角的功用及选择	164
第一节 切削液的分类	137	二、副偏角的功用及选择	165
第二节 切削液的作用机理	137	三、刀尖形状及尺寸的选择	166
一、润滑作用	137	第四节 刃倾角的选择	167
二、冷却作用	138	思考题与练习题	170
第三节 切削液的添加剂	139	参考文献	170
一、油性添加剂	139	第十一章 切削用量的制订	171
		第一节 制订切削用量的原则	171
		第二节 切削用量三要素的确定	172

一、背吃刀量的选择	172	一、磨粒的受力情况	203
二、进给量的选择	173	二、磨粒的负前角对磨削力的影响	203
三、切削速度的确定	176	三、砂轮上的磨削力及其影响因素	204
四、机床功率校验	180	四、磨削功率消耗	207
第三节 切削用量优化简介	180	五、磨削用量及单位时间磨除量	209
一、关于最佳切削速度	180	第六节 磨削温度及工件表层状态	209
二、切削用量的计算机优化	181	一、磨削时的能量消耗	209
三、金属切削数据库	183	二、磨削温度、工件表面烧伤及硬度变化	210
四、加工自动化及柔性化对切削用量选择的影响	183	三、磨削加工表面的残余应力	213
第四节 提高切削用量的途径	184	四、磨削条件与磨削加工表面粗糙度的关系	213
思考题与练习题	184	第七节 磨粒的磨损与砂轮的磨损	214
参考文献	185	一、磨粒的磨损	214
第十二章 磨削	186	二、砂轮的磨损和砂轮耐用度	216
第一节 概述	186	三、砂轮的堵塞	218
第二节 砂轮的特性及其选择	187	第八节 砂轮的修整	219
一、磨料	187	一、砂轮的修整方法	219
二、粒度	188	二、修整用量对砂轮磨削效能的影响*	220
三、结合剂	190	三、砂轮硬度和磨料粒度对砂轮修整效果的影响*	222
四、砂轮的硬度	191	第九节 高效率磨削	223
五、砂轮的组织	192	一、高速磨削	223
六、砂轮的形状、用途及选择	193	二、缓进给大切深磨削	224
第三节 砂轮表面形貌图	194	三、砂带磨削	225
第四节 磨削过程	196	思考题与练习题	226
一、磨粒切除切屑的几何图形	196	参考文献	227
二、磨粒切除切屑时与工件的接触状态	198		
三、磨削方式及磨削中各参数的关系	198		
四、磨削循环	201		
第五节 磨削力及功率	203		

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”和其他专业选修课等以及专业课课程设计、毕业设计提供必要的基础知识。

学生通过本课程的教学、实验、并配合生产实习，应达到下列要求：

在基本理论方面，掌握金属切削及磨削过程中切削变形，切削力，切削热及切削温度，刀具磨损、破损以及砂轮磨损的基本理论与基本规律。

在基本知识方面，掌握常用刀具材料的种类、性能及其应用范围；掌握材料加工性及加工表面质量的评定标志、影响因素和提高加工性及加工表面质量的主要措施等知识；掌握切削用量的选用原则，并初步了解切削液的种类、作用和选用。

在基本技能方面，应具有根据加工条件合理选择刀具材料、刀具几何参数的能力；应具有根据加工条件，和用资料、手册及公式，计算切削力和切削功率的能力；应具有根据加工条件，从最大生产率或最低加工成本出发，合理选择切削用量的能力；应初步具有利用常用仪器设备进行切削变形、切削力、切削温度、刀具磨损和砂轮磨损等测试的技能，并具有对实验数据进行处理和分析的能力。

此外，还应初步了解国内外在金属和非金属切削（磨削）方面的新成就和发展趋势，对国内切削加工的生产实践有一定的了解，有初步的对生产上提出的切削加工问题进行试验研究的能力。

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(Hydrojet

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(Electrochemical 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10000亿日元^[8];美国每年消耗在切削加工方面的费用近年达1000亿美元^[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地位;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、套螺纹、镗孔、内螺纹车削、在车床上钻孔、铰孔、攻螺纹,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,在历史上也曾经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8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60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、齿轮机床和螺纹机床等就相继出现。1851年法国Cocquihlat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1888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 $6 \sim 12 \text{ m/min}$ 。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, 其切削速度又比高速钢刀具提高 $2 \sim 5$ 倍。1932年美国出版了切削用量手册, 1950年前后前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 、 Al_2O_3 、 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地提高, 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年前苏联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、微电子技术应用和微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, 以微电子技术及信息自动化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。

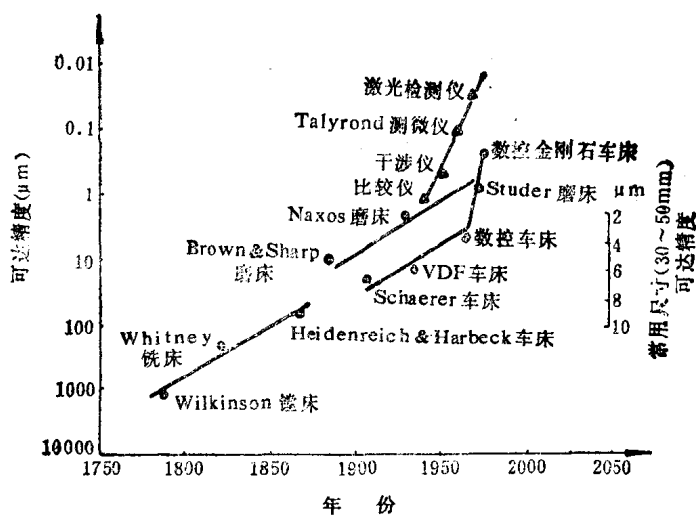


图0-1 各种切削加工机床和测量仪器的可达精度及发展简况

我国自1949年解放以来, 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学会年会上, 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200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。其后此一国际会议每两年开会一次, 且研究内容不断扩大。建国以来, 我国机械制造业的发展比较迅速, 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100 m/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。近年来, 我国培养的机械制造专业博士生日益增多, 在切削、磨削方面, 取得了不少达到世界水平的成果。可以预期, 随着我国科技现代化进程中新兴技术的应用的扩大, 我国的金属切削学科必然将有更加蓬勃的发展。

如所周知, 金属切削机床的数控化和柔性化, 和集成制造系统的研究和应用是现代机械制造的发展方向; 亚微米级精密加工和超高速切削也将日益受到重视。因此, 可以认为, 切削机理及技术的研究可能将伴随着材料科学、人工智能科学的发展以及信息和自动化技术对传统机械制造业的改造而日益取得丰硕成果。

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)北京: 中国机械工程学会, 1982
- 2 Komanduri R., Desai J D., Tool Materials for Machining. Aug., 1982
- 3 <日>竹山秀彦。切削加工。韩步愈译, 咸阳: 机器制造学校, 1982
- 4 Tönshoff H-K., Fertigungstechnische Forschung——ein Faktor zur Zukunftssicherung. IFW Kolloquium Mai, 1980
- 5 陶乾。金属切削原理。北京: 高等教育出版社, 1957
- 6 机械制造工艺与设备专业教学指导委员会。金属切削原理教学大纲, 1990