



金属切削原理

杨荣福 董 申 编



机械工业出版社

金属切削原理

杨荣福 董 申 编



机械工业出版社

本书论述了金属切削的物理本质、基础理论，影响切削加工效率的因素及其提高途径。以通过车削所研究的金属切削的基本规律为基础，再研究钻削的定截面、多刃、变前角的切削规律及多刃变截面的铣削和磨削的切削规律。

金属切削原理

杨荣福 董 申 编

*

责任编辑：温莉芳

封面设计：刘 代

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张14⁵/₈·字数311千字

1988年3月重庆第一版·1988年3月重庆第一次印刷

印数 0.001—8.450·定价：3.80元

*

ISBN 7-111-00366-7/TG·114

编写说明

为适应东北地区高等工科院校机械制造工艺及设备专业的教学需要，中国高校金属切削研究会东北分会于1981年的第一届年会上，与会代表决定编写《金属切削原理》和《金属切削刀具》两本教材做为姊妹篇，并将编写任务落实到哈尔滨工业大学和吉林工业大学两所院校身上。要求这两所院校编写这两本书时，既要基本上满足教学大纲的要求，又要根据教学经验写出特色来。

本书初稿编成后，于1982年8月在佳木斯召开的中国高校金属切削研究会东北分会第二届年会上进行讨论。根据讨论意见，对初稿进行了较大的改动，最后由袁哲俊教授审查定稿。

本书的编写思想基本上继承了陶乾同志所编的《金属切削原理》的学术思想，将全书分为三篇：

- 第一篇 金属切削的物理本质及基础理论
- 第二篇 影响切削加工效率的因素及其提高途径
- 第三篇 几种典型加工。

以第一、二篇通过车削所研究金属切削的基本规律为基础，再研究钻削的定截面、多刃、变前角的切削规律以及多刃变截面的铣削和磨削的切削规律。这样不仅可以补充、丰富和发展对切削过程的本质认识，同时也可集中力量研究孔加工刀具和铣刀的设计和结构的主要问题。本书在编写过程中也注意安排了一些属于加深、扩大知识面和自学的内容，这些内容都加★号以资区别，各校可根据教学时数和具

体情况自行安排。本书在编写过程中，按照深入浅出，突出重点的原则，着重基本知识、基本技能和基本理论的阐述，注意科学性、先进性和实用性相结合的问题。

本书的技术名词、定义和术语尽可能按国际标准化组织(ISO)的规定，没有规定的则按我国沿用习惯选定。计量单位基本上采用国际单位制(SI)，但为了照顾应用习惯以及资料图表数据的完整，有些单位使用了国家选定的法定计量单位。

本书第一章至第十一章由杨荣福编写，第十二章至第十四章由董申编写，由杨荣福统编。由于我们水平有限，时间仓促，书中难免有错误和不当之处，热忱希望读者批评指正。

杨荣福 董 申
1985年

本书使用的符号及其单位

符号	名称	单位
A_{α}	后刀面	
A_{α}'	副后刀面	
A_{γ}	前刀面	
A_0	切削面积	mm^2
A_{0av}	平均切削面积	mm^2
A_r	过渡后刀面	
a_0	切削厚度	mm
a_{0av}	平均切削厚度	mm
$a_{0\text{max}}$	最大切削厚度	mm
a_e	铣削宽度	mm
a_f	每齿进给量	mm/Z
a_h	冲击值	$\text{J}/\text{m}^2(\text{kgfm}/\text{cm}^2)$
a_0	切屑厚度	mm
a_p	切削深度	mm
a_w	切削宽度	mm
b_{r1}	倒棱宽度	mm
b'_e	修光刃长度	mm
C	工序生产成本	
C_{a_p}	对单因素 a_p 的切削力公式的系数	
C_f	对单因素 f 的切削力公式的系数	
C_{F_x}	切削分力 F_x 公式的系数	
C_{F_y}	切削分力 F_y 公式的系数	
C_{F_z}	切削分力 F_z 公式的系数	
C_t	刀具成本	

C_{σ}	耐用度公式中的系数	
$C_{\theta a_p}$	对单因素 a_p 的切削温度公式的系数	
$C_{\theta f}$	对单因素 f 的切削温度公式的系数	
$C_{\theta v}$	对单因素 v 的切削温度公式的系数	
d_m	已加工表面直径	mm
d_o	刀具(砂轮)直径	mm
d_w	工件待加工表面直径	mm
F_o	切向分力	N(kgf)
$F_{1\alpha}$	后刀面上摩擦力	N(kgf)
$F_{1\gamma}$	前刀面上摩擦力	N(kgf)
F_h	进给抗力	N(kgf)
$F_{n\alpha}$	后刀面上法向力	N(kgf)
$F_{n\gamma}$	前刀面上法向力	N(kgf)
F_o	轴向分力	N(kgf)
F_v	切削合力	N(kgf)
$F_{s,p}$	真空中的粘接力	N(kgf)
F_v	垂直抗力	N(kgf)
F_x	轴向分力	N(kgf)
F_y	径向分力	N(kgf)
F_z	主切削力	N(kgf)
f	每转进给量	mm/r
f_o	磨削时轴向进给量	mm/r(或st)
f_r	磨削时径向进给量	mm/dst
HB	布氏硬度值	
H_d	已加工表面的显微硬度	
H_o	工件材料硬化前的显微硬度	
HR	洛氏硬度值	
HV	维氏硬度值	
K_o	电机过载系数	
K_v	相对加工性	

k	导热系数	W/m·°C
k_{Fz}	切削力公式中修正系数	
l	被切削层长度	mm
l_f	刀—屑接触长度	mm
l_o	切屑长度	mm
l_m	切削路程长度	mm
M	单位时间内的工序总开支	
M	切削扭矩	N·m(kgf·mm)
NB	刀具径向磨损量	mm
n	工件转速	r/s(r/min)
n_o	刀具(砂轮)转速	r/s(r/min)
P_f	横向剖面	
P_m	切削功率	kW
P_n	切削刃的法剖面	
P_o	切削刃的主剖面	
P_{o'}	副切削刃的主剖面	
P_{oe}	工作主剖面	
P_p	纵向剖面	
P_r	基面	
P_{re}	工作基面	
P_s	切削平面	
P_{se}	工作切削平面	
P_E	电动机功率	kW
p	单位切削力	N/mm ² (kgf/mm ²)
q	切削热	J(cal)
R_{mix}	残留面积高度	μm
r_n	刃口钝圆半径	μm
r_e	刀尖圆口半径	mm
S	刀具螺旋槽导程	mm
T	刀具耐用度	s(min)

T_c	经济耐用度	s(min)
T_p	最大生产率耐用度	s(min)
t_{ct}	换刀时间	s
t_m	切削时间	s
t_{ot}	辅助时间	s
t_w	工序工时	s(min)
U_s	单位时间消耗的功	J(cal)
VB	后刀面磨损带中部 平均磨损量	mm
VC	刀尖上后刀面磨损 带宽度	mm
VN	在磨损缺口处后刀 面磨损带宽度	mm
v	切削速度	m/s(m/min)
v_f	进给速度	mm/s(mm/min)
v_s	剪切面上滑移速度	m/s
Y	入切量	mm
Z	刀具齿数	
Z_w	单位时间内的金属 切除量	mm ³ /s
α_f	横向后角	° ,deg
α_n	法向后角	° ,deg
α_o	后角	° ,deg
α_o'	副刃后角	° ,deg
α_{oe}	工作后角	° ,deg
α_{opt}	合理后角	° ,deg
α_v	纵向后角	° ,deg
β	前刀面上摩擦角	° ,deg

β_0	楔角	° ,deg
γ_1	横向前角	° ,deg
γ_0	最大前角	° ,deg
γ_n	法向前角	° ,deg
γ_0	前角	° ,deg
γ_0'	副刃前角	° ,deg
γ_{0e}	工作前角	° ,deg
γ_{opt}	合理前角	° ,deg
γ_p	纵向前角	° ,deg
s	相对滑移	
e_r	刀尖角	° ,deg
θ	切削温度	℃
κ_r	主偏角	° ,deg
κ'_r	副偏角	° ,deg
κ_{re}	工作主偏角	° ,deg
κ'_{re}	工作副偏角	° ,deg
λ_0	刀具螺旋升角	° ,deg
λ_s	刃倾角	° ,deg
λ_{se}	工作刃倾角	° ,deg
μ	摩擦系数	
ξ	变形系数	
ρ	密度	kg/m ³
σ_{0s}	前刀面上平均正应力	Pa(kgf/mm ²)
σ_b	抗弯强度	Pa(kgf/mm ²)
σ_s	屈服极限	Pa(kgf/mm ²)

τ	剪切应力	Pa(kgf/mm ²)
τ_s	剪切屈服强度	Pa(kgf/mm ²)
ϕ	剪切角	°, deg
ψ	接触角	°, deg
ψ_r	余偏角	°, deg
ψ_λ	切屑流出的方向角	°, deg
ω	作用角	°, deg
Δ	超出量	mm
f_o	单位进给矢量	
m_o	切削平面的单位法矢量	
n_o	切削平面与法平面交线的单位矢量	
p_o	切削刃单位矢量	
q_o	主剖面的单位法矢量	
v_o	单位切削速度矢量	
y^O	主前角矢量	
y^N	法前角矢量	
y^C	切屑流出方向的前角矢量	
α^O	主后角矢量	
α^N	法后角矢量	

表面粗糙度国家标准经机械工业部标准化研究所起草，国家标准总局批准已于1985年开始执行。新标准规定用 Ra （常用在相当于原光洁度 $\nabla 4 \sim \nabla 12$ ）及 Rz （常用在相当于原表面光洁度 $\nabla 1 \sim \nabla 3$ 、 $\nabla 13 \sim \nabla 14$ ）表示表面粗糙度的大小。为使本书能逐渐过渡适应新标准，特附上对照表以供参考。

光洁度等级、代号与表面粗糙度 Ra 、 Rz 值对照表

表面光洁度等级	级别代号	轮廓的算术平均偏差值 $Ra(\mu\text{m})$	微观不平度十点平均高度值 $Rz(\mu\text{m})$	表面粗糙度代号
1	$\nabla 1$	$> 40 \sim 80$	$> 160 \sim 320$	$Rz 200/$
2	$\nabla 2$	$> 20 \sim 40$	$> 80 \sim 160$	$Rz 100/$
3	$\nabla 3$	$> 10 \sim 20$	$> 40 \sim 80$	$Rz 50/$
4	$\nabla 4$	$> 5 \sim 10$	$> 20 \sim 40$	$6.3/$
5	$\nabla 5$	$> 2.5 \sim 5$	$> 10 \sim 20$	$3.2/$
6	$\nabla 6$	$> 1.25 \sim 2.5$	$> 6.3 \sim 10$	$1.6/$
7	$\nabla 7$	$> 0.63 \sim 1.25$	$> 3.2 \sim 6.3$	$0.8/$
8	$\nabla 8$	$> 0.32 \sim 0.63$	$> 1.6 \sim 3.2$	$0.4/$
9	$\nabla 9$	$> 0.16 \sim 0.32$	$> 0.8 \sim 1.6$	$0.2/$
10	$\nabla 10$	$> 0.08 \sim 0.16$	$> 0.4 \sim 0.8$	$0.1/$
11	$\nabla 11$	$> 0.04 \sim 0.08$	$> 0.2 \sim 0.4$	$0.05/$
12	$\nabla 12$	$> 0.02 \sim 0.04$	$> 0.1 \sim 0.2$	$0.025/$
13	$\nabla 13$	$> 0.01 \sim 0.02$	$> 0.05 \sim 0.1$	$Rz 0.1/$
14	$\nabla 14$	$\nabla 0.01$	$\nabla 0.05$	$Rz 0.025/$ 或 $Rz 0.05/$

目 录

第一篇 金属切削的物理本质及基础理论

第一章 基本定义和切削运动	1
第一节 工件上的基本定义(一)——三个加工表面	2
第二节 切削运动	2
第三节 刀具切削部分的基本定义	5
第四节 工件上的基本定义(二)——切削层	21
第五节 自由切削及不自由切削	23
*第六节 刀具角度的换算	24
*第七节 用矢量定义刀具几何角度	29
第二章 切削过程中的金属变形和摩擦	45
第一节 研究切削过程中金属变形的的方法	45
第二节 切屑的形成过程	49
第三节 切削过程中三个变形区	51
第四节 切屑变形程度的度量方法——切屑的相对滑移 和变形系数	56
第五节 前刀面的摩擦及其对切屑变形的影响	59
第六节 前刀面上的积屑瘤	65
第七节 切削层变形程度的变化规律	73
第八节 切屑种类、切屑形状分类、卷屑和断屑机理的 探讨	79
第三章 切削过程中的应力及切削力	92
第一节 切削过程中的应力应变规律	92
第二节 前刀面上的应力	95
第三节 切削力、切削分力和切削功率	97
第四节 切削力的理论公式	101
第五节 切削力的经验公式	104

第六节	单位切削力	108
第四章	切削热和切削温度	115
第一节	切削热的产生和传出	115
第二节	切削温度的理论分析	118
第三节	切削温度的测量方法	127
第四节	影响切削温度的主要因素	131
第五节	切削温度的分布	140
第六节	切削温度对工件、刀具和切削过程的影响	142
第五章	刀具的磨损和耐用度	145
第一节	刀具磨损及破损	146
第二节	刀具磨损的原因及本质	158
第三节	刀具磨损过程及磨钝标准	168
第四节	刀具耐用度及其影响因素	172
第五节	合理耐用度的选择原则	177
第六章	已加工表面质量	181
第一节	已加工表面质量的标志	181
第二节	已加工表面的形成过程概述	184
第三节	后刀面上的接触情况与力	188
第四节	表面粗糙度	191
第五节	影响粗糙度的因素及降低粗糙度的措施	196
第六节	加工硬化及其影响因素	205
第七节	残留应力及其影响因素	210

第二篇 影响切削加工效率的因素及其提高途径

第七章	工件材料的切削加工性	217
第一节	切削加工性的概念和标志方法	217
第二节	工件材料的物理机械性能、化学成分及金相组织对切削加工性的影响	220
第三节	某些难切削材料的切削加工性和提高切削加工	

	性的措施	228
第八章	刀具材料及其选用	243
第一节	刀具材料应当具备的性能	243
第二节	工具钢	244
第三节	高速钢	245
第四节	硬质合金	256
第五节	其它高硬度刀具材料	276
第九章	刀具合理几何参数的选择	287
第一节	刀具合理几何参数及选择的一般原则	287
第二节	前刀面、前角、倒棱及刀刃形状的选择	288
第三节	后角的功用及其选择	295
第四节	主偏角、副偏角的功用及其选择	299
第五节	刃倾角的功用及其选择	303
第六节	过渡切削刃的选择	310
第十章	切削液及其选用	313
第一节	切削液的作用机理	313
第二节	切削液的分类和添加剂	316
第三节	切削液的组成、配方及其选用	322
第四节	切削液的使用方法	326
第十一章	切削用量的制定	329
第一节	切削深度的选取	332
第二节	进给量的选取	332
第三节	切削速度的选择	336
第四节	校验机床功率	340
第五节	计算基本工时	344
第六节	切削用量选择例题	345

第三篇 几种典型加工

第十二章	钻削	351
-------------	-----------------	------------

第一节	麻花钻切削部分的几何形状	351
第二节	钻削要素	358
第三节	钻削力和功率	361
第四节	钻削特征	361
第五节	标准麻花钻的修磨与群钻	364
第十三章	铣削	371
第一节	铣刀切削部分的几何形状	371
第二节	铣削要素和铣削层参数	375
第三节	铣削力和铣削功率	380
第四节	铣削方式	384
第五节	铣削特征	388
第六节	铣刀的磨损和耐用度	390
第七节	铣削用量的合理选择	393
第十四章	磨削	397
第一节	磨料、砂轮的特性及其选择	398
第二节	磨削过程	411
第三节	磨削力及磨削功率	418
第四节	磨削温度	422
第五节	砂轮的磨损和修整	424
第六节	砂轮的耐用度、磨削比及磨耗比	426
第七节	磨削表面质量	429
第八节	磨削用量的选择	434
第九节	磨削的新发展	439
	参考资料	441

第一篇 金属切削的物理本质 及基础理论

第一章 基本定义和切削运动

用金属切削刀具从工件上切除多余的金属，从而使工件在形状、尺寸精度及表面质量上都符合技术要求的加工，称为金属切削加工。切削过程是刀具与工件相互运动、相互作用的过程。这种过程包括外部几何运动和内部物理化学运动两个方面，以内部物理化学运动为主。研究后者，必须从前者着手。本章的内容是论述工件与刀具之间的几何运动关系。

学习本章时，应该联系切削加工的实际。最好把外圆车刀放在量角台上，边学边练，以便于理解刀具表面、切削刃和刀具角度等基本定义。掌握刀具的坐标平面和测量平面（参考系）是深入理解和掌握本章内容的关键。

学完本章后，要求能根据刀具和工件的相对运动关系，分析一般的切削刀具，对普通车刀的角度能测得出、画得对。

切削加工方法很多，如车削、刨削、钻削、铣削、齿轮切削等等。车削具有典型性，因此本章以车削为代表，介绍刀具、工件和切削要素方面的基本定义。这些定义大部分可以推广到其他加工方法，但也有一些要针对具体情况适当变通。