



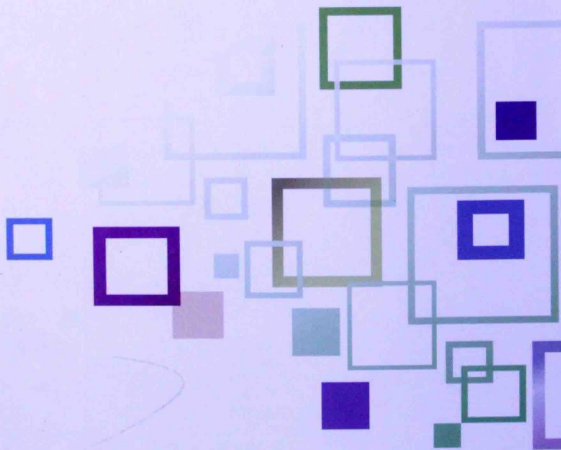
普通高校“十二五”规划教材

现代加工技术

(第3版)

主 编 左敦稳 黎向锋
副主编 赵剑峰 徐 锋 孙玉利

XIANDAI JIAGONG JISHU



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十二五”规划教材

现代加工技术(第3版)

主 编 左敦稳 黎向锋

副主编 赵剑峰 徐 锋 孙玉利

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是国防科工委“十五”规划教材——《现代加工技术》(北京航空航天大学出版社2005年首次出版,2009年出版第2版)的第3版。本书系统地介绍了现代加工技术,内容主要包括切削加工、磨粒加工、光整加工、电加工、高能束流加工、微细加工、纳米加工、绿色加工、难加工材料加工、难加工结构加工以及加工参数优化与数据库。本书全面阐述了材料去除加工的理论与技术,内容系统、先进、实用,满足机械工程类本科专业宽口径、创新型人才的培养要求。

本书可作为高等院校制造类专业本科生和硕士研究生的教材,也可作为相关专业工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代加工技术 / 左敦稳, 黎向锋主编. -- 3版. --

北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.9

ISBN 978-7-5124-1212-5

I. ①现… II. ①左… ②黎… III. ①特种加工—高等学校—教材 IV. ①TG66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 171105 号

版权所有,侵权必究。

现代加工技术(第3版)

主 编 左敦稳 黎向锋

副主编 赵剑峰 徐 锋 孙玉利

责任编辑 董 瑞

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:29 字数:650千字

2013年9月第3版 2013年9月第1次印刷 印数:3000册

ISBN 978-7-5124-1212-5 定价:52.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

第3版序言

2005年3月北京航空航天大学出版社出版了国防科工委“十五”规划教材《现代加工技术》。该教材全面阐述了材料去除加工的理论与技术,内容系统、先进、实用,具有国防特色,满足机械工程类本科专业宽口径、创新型人才培养要求,被国内同行专家誉为难得的优秀教材。

2009年8月编者对该教材进行了修订,出版了《现代加工技术(第2版)》,其修订原则如下:保持《现代加工技术》体系主体结构的完整性,适当简化了微细加工技术、纳米加工技术、加工参数优化与数据库技术等章的内容;在切削加工机理中增加了刀具材料,在难加工材料中增加了工件材料的切削加工性,重新撰写了钛合金加工、高温合金加工、不锈钢加工、高强度钢和超高强度钢加工的内容。

随着教材应用范围的扩大,有必要对该教材进行第3版修订,此次修订的原则如下:保持现代加工技术体系主体结构的完整性,重点对第3章磨削加工技术、第4章光整加工技术和第6章高能束流加工技术进行修订;把磨削加工技术调整为磨粒加工技术,增加研磨加工、抛光加工和珩磨加工;光整加工技术中增加了去毛刺光整加工、多相流光整加工和塑性变形光整加工技术;在高能束流加工技术中的激光束加工技术处添加了激光快速成型加工。

本书修订过程中,左敦稳确定了全书的修订思路,孙玉利负责研磨加工和抛光加工的修订,黎向锋负责磨粒加工、光整加工和高能束流加工的修订。周驰、陈思彪、张梦骏、陈竹和李瑞等同学参与了文字素材的整理,对他们付出的辛勤劳动,编者在此表示衷心的感谢。

编者

2013年5月于金陵

第2版前言

加工技术具有极其古老的历史,它伴随着人类的诞生而出现,伴随着人类的进步而发展。一方面,由于人类社会在发展中不断发明新的产品、新的材料,对加工技术不断提出新的需求,因而促成了新的加工原理和方法不断诞生和成长,使得加工技术生机勃勃,持续发展。尤其是人类社会进入20世纪以后,现代数学、系统论、控制论和信息论等理论和学科的创建和发展,新材料技术、数控技术、自动化技术和微电子技术的诞生和发展从根本上改变了加工技术手工、低效的传统面貌,使之迈向自动、高效的现代化技术体系。

另一方面,由于加工技术的发展,新的加工方法不断涌现,从而在效率、精度、成本等诸多方面以难以想象的程度拓展了人类开发和制造新产品的能力。今天,人们依托先进的加工技术,以前所未有的速度更新现有的产品,不断创造新的产品,从而极大地丰富了人类社会的物质生活,有力地推动了科学技术的整体发展,加快了人类认识自我和外部世界的进程。人类社会能够创造今天辉煌的成就,能够享受现代化的生活方式,能够登上月球、探索太空,从根本上讲是由于加工技术获得重大发展的缘故。

加工技术日新月异,使得加工类课程教材的内容很容易变得陈旧过时,不够系统。为了比较全面地反映加工技术的体系,并满足机械工程专业本科宽口径的培养要求,作者本着“系统、先进、实用、特色”的指导思想编写本书。本书的系统性表现在所介绍加工技术的涵盖面广、各具体加工技术的内容比较完整;其先进性表现在以“高速、高效、精密、微细、绿色”为关键词的内容安排上;其实用性表现在各项技术的

讲述均力求结合实际应用进行;其特色表现在对国防工业中的难加工材料和结构的加工进行专门讲述。

加工的目的是获得一定的表面几何形状,并满足一定的几何精度,有时还必须保证加工后的表面(或表面层)满足一定的力学、光学、组织、成分等物理方面的要求,尤其在航空航天、国防等特殊领域更是如此。凡能实现这一目的的技术均可称为加工技术,因此,加工技术所涉及内容太广,一本教材不易将其全部包含进去。本书所介绍的加工技术主要限于基于“去除材料”的加工技术。

本书第1版是国防科工委“十五”规划教材,2005年3月在北京航空航天大学出版社出版,被国内同行专家誉为“难得的优秀教材”。随着教材应用范围的扩大及现代加工技术的发展,编者对该书进行了修订。本书的修订原则如下:保持现代加工技术体系主体结构的完整性,但微细加工技术、纳米加工技术、加工参数优化与数据库技术等章的内容适当精减;在切削加工机理中增加刀具材料,在难加工材料中增加工件材料的切削加工性,重新撰写钛合金加工、高温合金加工、不锈钢加工、高强度钢和超高强度钢的加工。

本书修订过程中,左敦稳对第1章、第2章、第3章和第4章进行了修订,赵剑峰对第5章和第6章进行了修订,黎向锋对第7章、第8章和第9章进行了修订,徐锋对第10章和第11章进行了修订。硕士研究生黄铭敏、李茂、吴小军、康静、蒋艳和赵云指出了原书的不妥之处,并参与了文字素材的整理。对他们付出的辛勤劳动,编者在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中存在的不足之处,请读者批评指正,以便我们以后不断补充、完善该书的内容。

编 者

2009年7月于金陵

本书常用符号表

符 号	单 位	中文名称	英文名称
A_0	mm^2	切削面积	cross-sectional area of undeformed chip
A_s	mm^2	剪切面截面积	area of the shear plane
a	mm	振动振幅	vibrational amplitude
α	$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	导热系数	thermal diffusivity conductivity
a_0	mm	切削厚度	undeformed chip thickness
$a_{g\max}$	mm	单个磨粒最大切削厚度	maximum undeformed chip thickness cut by a single grain on grinding wheel
a_k	J/m^2	冲击值	impact value
a_p	mm	切削深度 (磨削时称磨削深度)	back engagement, depth of cut
a_w	mm	切削宽度	width of uncut chip
B	mm	砂轮宽度	width of grinding wheel
b	mm	卷屑槽宽度	width of chip breaker groove
C	$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	比热容	specific heat capacity
c	m/s	声速	velocity of sound
C_{gw}	—	砂轮形貌常数	constant of grinding wheel morphology
d_0	mm	麻花钻直径	diameter of twist drill
d_c	mm	麻花钻钻心厚度	central thickness of twist drill
d_s	mm	砂轮直径	diameter of grinding wheel
d_{eq}	mm	砂轮当量直径	equivalent diameter of grinding wheel
d_w	mm	工件直径	diameter of workpiece
E	V	金属与溶液间的 双电层电位差	potential difference of the double electric layer between metal and solution
E	J, eV	能量	energy
E	GN/m^2	弹性模量	modulus of elasticity
E_c	V	双电层紧密部分的电位差	potential difference at compact part of double electric layer
E_a	J	材料吸收的能量	energy absorbed by material
E_b	V	双电层分散部分的电位差	potential difference at dispersion part of double electric layer
E_r	J	被材料反射的激光能量	energy reflected by material
E_s	J	入射到材料表面的激光能量	incidence energy into material
E_t	J	激光透过能量	permeated energy of laser



续表

符 号	单 位	中文名称	英文名称
F_c	N	超声波振动平均力	mean force of ultrasonic vibration
F_n	N	前刀面正压力	normal force on rake face
F_{ns}	N	剪切面上正压力	normal force on shear plane
F_s	N	剪切面上剪切力	shear force on shear plane
F_f	N	前刀面摩擦力	frictional force on rake face
F'_t	N/mm	比切向力	Specific tangential force
F_x	N	进给抗力 (磨削时称为轴向分力)	axial thrust force
F_y	N	切深抗力 (磨削时称为径向分力)	radial thrust force
F_c	N	主切削力 (磨削时称为切向分力)	cutting component of resultant cutting force
F	mm/r	每转进给量	feed per revolution
F	s^{-1}	振动频率	frequency of vibration
f_s	mm/r mm/str mm/min	轴向(横向)进给量	axial (transverse) feed
f_r	mm/(d · str) mm/str mm/min	砂轮径向进给量	radial feed of grinding wheel
f	s^{-1}	低频振动频率	frequency of low vibration
f_s	mm/r	每齿进给量	feed per tooth
G_r	—	磨削比	grinding ratio
G_s	—	磨耗比	specific grinding wheel wear
H_t	Pa	刀具强度	tool strength
H_w	Pa	工件强度	workpiece strength
I	A	隧道电流强度	strength of tunnel current
I	A	电解电流	electrolytic current
I	A/cm ²	电流密度	density of current
i_c	A	峰值电流	peak value current
J	m ⁴	惯性矩	inertial square
KT	mm	月牙洼磨损深度	crater depth
K	g/(A · h)	电解物质的质量电化学当量	mass's electrochemistry equivalent of electrolytic matter



续表

符 号	单 位	中文名称	英文名称
K	$\text{g}/(\text{A} \cdot \text{h})$	电解物质的质量电化学当量	mass's electrochemistry equivalent of electrolytic matter
K_r	—	相对加工性	relative machinability
L	m	工作台行程	length of worktable stroke
M	N	电极溶解或析出产物的重量	weight of dissolved or aggraded product on electrode
N_k	—	砂轮圆周上每毫米的磨粒数	number of abrasive grains on grinding wheel's circumference per millimeter
n	r/min	转速	Rotation rate
n_s	r/min	砂轮转速	rotation rate of abrasive wheel
n_t	s^{-1}	工作台往复运动频率	reciprocated frequency of worktable
n_w	r/min	工件转速	rotation rate of workpiece
P	kW	入射的激光功率	incidence laser power
P'_c	W/mm	比磨削功率	specific grinding power
P_o	—	主剖面	tool orthogonal plane
P_t	—	基面	tool reference plane
P_s	—	切削平面	tool cutting edge plane
P_e	kW	机床电机功率	power of machine tool motor
Q	$\text{mm}^3/(\text{mm} \cdot \text{s})$	比磨削去除率	specific removal rate
Q_s	mm^3/s	砂轮磨损率	wear rate of grinding wheel
Q_w	mm^3/s	工件去除率	removal rate of work material
Q'_w	$\text{mm}^3/(\text{mm} \cdot \text{s})$	比工件去除率	specific removal rate of work material
q	W/cm^2	激光功率密度	density of laser power
q	W/mm^2	热流密度	density of heat flux
q_{lim}	W/mm^2	临界热流密度	critical density of heat flux
q_m	W/mm^2	磨削区带状热源发热强度	thermal strength of striped thermal source on grinding domain
R	—	反射系数	reflected coefficient
Ra	μm	表面粗糙度	surface roughness
R_{max}	μm	平面度的最大高度值	
r	mm	准分子激光光斑半径	facula radius of excimer laser
r_0	mm	光斑半径	facula radius
r_{bn}	mm	卷屑槽圆弧半径	radius of chip breaker groove
r_n	mm	刃口圆弧半径	rounded cutting edge radius
S	mm	针尖与样品之间的距离	distance between probe tip and specimen



续表

符 号	单 位	中文名称	英文名称
T	min	刀具耐用度	tool life
T	—	透射系数	transmissive coefficient
T_a	—	吸收体的透射率	transmissivity of absorption
T_s	—	薄膜衬基的透射率	transmission of filmy substrate
t	h	电解时间	electrolytic time
t_e	μs	脉冲放电时间	discharged time of pulse
t_i	s	脉冲宽度	width of pulse
t_o	s	脉冲间隔	duration of pulse
t_p	s	脉冲周期	period of pulse
U_R	V	电解液的欧姆电压	voltage of electrolytic solution
u	J/mm^3	磨削比能	Specific grinding energy
V	mm^3	电极溶解或析出产物的体积	volume of dissolved or aggraded product of electrode
VB	mm	后刀面磨损带中部平均宽度	average width of flank wear land in central portion of active cutting edge
$VB_{\max}$	mm	后刀面最大磨损宽度	maximum width of the flank wear land of active cutting edge
VN	mm	主磨损沟尺寸	width of flank wear land at wear notch
V_b	V	STM 针尖与样品之间所加的偏压	bias voltage between STM probe and specimen
V_f	mm/min	振动磨削时工作台移动速度	locomotive velocity of worktable when vibration grinding
v_a	mm/min	阳极工件蚀除速度	etched rate of anodic workpiece
v_c	m/min	切削速度	cutting speed
v_c	mm/s	材料磨除速度	grinded rate of material
v_c	mm/min	阴极工具进给速度	feed rate of cathodal tool
v_f	mm/min	进给速度	feed speed
v_r	mm/s	径向进给速度	radial feed speed
v_s	m/s	砂轮速度	grinding wheel speed
v_w	m/s	工件速度	workpiece speed
w	mm	磨削区线热源宽度	width of linear thermal source on grinding domain
Z	mm^3/mm	比金属切除量	specific metal removal volume
α_0	(°)	后角	tool orthogonal clearance
α	(°)	吸收系数	absorption coefficient



续表

符 号	单 位	中文名称	英文名称
β_0	(°)	楔角	tool orthogonal wedge angle
β	(°)	摩擦角	mean friction angle
γ_0	(°)	前角	tool orthogonal rake
γ_{0e}	(°)	实际工作前角	actual working orthogonal rake
δ	—	延伸率	specific elongation
ε_r	(°)	刀尖角	tool included angle
η	—	效率	efficiency
θ	°C	切削温度	cutting temperature
θ_c	°C	超声波振动平均温度	mean temperature of ultrasonic vibration
θ_{lm}	°C	临界温度	critical temperature
θ_M	°C	超声波振动脉冲温升	increment of pulse temperature of ultrasonic vibration
θ_p	°C	普通切削切削温度	cutting temperature of common cutting
κ_r	(°)	主偏角	tool cutting edge angle
κ'_r	(°)	副偏角	tool minor cutting edge angle
λ	—	散射系数	dispersion coefficient
λ	μm	激光波长	laser wavelength
λ_s	(°)	刃倾角	tool cutting edge inclination
ξ	—	变形系数	deformation coefficient
ρ	kg/m^3	密度	density
ρ_c	$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	金属材料的比定容热容	volume specific heat of metal material
σ	S/m	电导率	conductance
σ_b	Pa	抗拉强度极限	limit of tensile strength
σ_{bb}	kg/mm^{-2}	抗弯强度	bending strength
σ_{be}	Pa	实际抗拉强度	practical tensile strength
σ_{bt}	HBS, HRC, HV	刀具硬度	hardness of cutting tool
σ_{bw}	HBS, HRC, HV	工件硬度	hardness of workpiece
σ_s	Pa	屈服强度	yield strength
τ	Pa	剪切应力	shear force
ϕ	(°)	剪切角	angle of shear plane
ϕ	—	针尖与样品之间的平均功函数	mean work function between probe and specimen
ω	$\text{mm}^3/(\text{A} \cdot \text{h})$	电解物质的体积电化学当量	volume's electrochemistry equivalent of electrolytic matter
Δ	mm	电极间隙	clearance of electrodes

目 录

第 1 章 绪 论	1	2.4 深孔钻削技术	64
1.1 加工技术发展简史	1	2.4.1 深孔钻削加工系统	64
1.2 现代加工技术的地位与分类	5	2.4.2 深孔钻削刀具	67
1.3 现代加工技术的发展趋势	8	2.4.3 保证钻削质量的措施	68
复习思考题	12	2.4.4 深孔钻削的特点	68
第 2 章 切削加工技术	13	2.4.5 深孔钻削过程监控技术	68
2.1 切削加工概述	13	2.5 振动切削加工技术	72
2.1.1 切削加工基本概念	13	2.5.1 振动切削分类及其原理	73
2.1.2 切屑形成机理	16	2.5.2 振动切削的特点	75
2.1.3 切削力	24	2.5.3 振动在切削过程中的作用	75
2.1.4 切削温度	28	2.5.4 低频振动切削加工	76
2.1.5 刀具材料	30	2.5.5 超声波振动切削加工	79
2.1.6 刀具磨损和耐用度	35	2.6 加热与低温切削加工技术	83
2.2 高速切削加工	40	2.6.1 加热切削加工	83
2.2.1 高速切削历史与现状	40	2.6.2 低温切削加工	91
2.2.2 高速切削的定义	42	复习思考题	94
2.2.3 高速切削的优势	42	第 3 章 磨粒加工技术	95
2.2.4 高速切削加工的关键技术	43	3.1 磨粒加工概述	95
2.2.5 高速切削机理的研究	47	3.1.1 固结磨料加工	95
2.2.6 高速切削加工工艺	49	3.1.2 游离磨粒加工	106
2.2.7 高速切削加工的应用	51	3.2 高速磨削加工技术	106
2.3 精密与超精密切削加工	54	3.2.1 高速磨削加工概述	106
2.3.1 精密切削加工的概念	54	3.2.2 高速磨削加工的关键技术	108
2.3.2 精密切削的加工机理	54	3.2.3 高速磨削加工工艺	110
2.3.3 精密切削加工的关键技术	58	3.2.4 高速磨削的应用	111
2.3.4 超精密切削加工概述	59	3.2.5 高速磨削的发展前景	112
2.3.5 超精密切削对金刚石刀具的要求	60	3.3 缓进给磨削技术	112
2.3.6 超精密切削加工的特点	61	3.3.1 缓进给磨削工艺的产生	113
2.3.7 超精密加工实例	62	3.3.2 缓进给磨削的定义	113
2.3.8 超精密切削加工发展前景	63	3.3.3 缓进给磨削烧伤机理	113
		3.3.4 缓进给磨削工艺	116



3.3.5 缓进给磨削加工的特点	118	4.2.1 机械去毛刺技术	177
3.3.6 缓进给磨削工艺的应用	118	4.2.2 电加工去毛刺技术	179
3.4 精密和超精密磨削加工技术	119	4.2.3 其他去毛刺技术	181
3.4.1 精密和超精密磨削加工的概念	119	4.3 多相流光整加工	183
3.4.2 精密和超精密磨削的机理	120	4.3.1 磁性磨粒光整加工技术	183
3.4.3 精密和超精密磨削的工艺	121	4.3.2 液体磁性磨具光整加工技术	187
3.4.4 精密和超精密磨削砂轮及其修整	122	4.3.3 两相螺旋流内孔表面光整加工技术	192
3.4.5 精密和超精密磨削对机床和环境的要求	124	4.4 塑性变形光整加工	194
3.4.6 精密和超精密磨削的特点及应用	125	4.4.1 挤压光整加工技术	194
3.5 研磨加工技术	126	4.4.2 滚压光整加工技术	196
3.5.1 研磨加工的定义	126	4.4.3 喷丸光整加工技术	199
3.5.2 研磨加工的机理	126	4.5 光整加工应用实例	202
3.5.3 研磨加工的分类	127	4.5.1 曲轴光整加工技术	202
3.5.4 研磨加工的特点	128	4.5.2 齿轮光整加工技术	204
3.5.5 研磨工艺	128	复习思考题	205
3.5.6 研磨应用实例	130	第5章 电加工技术	206
3.6 抛光加工技术	136	5.1 电加工机理	206
3.6.1 抛光加工的定义	136	5.1.1 电火花加工原理	206
3.6.2 抛光加工的机理	136	5.1.2 电化学加工机理	208
3.6.3 抛光加工的方法	137	5.2 电火花加工技术	213
3.6.4 抛光加工的特点	141	5.2.1 电火花加工工艺及应用	213
3.6.5 抛光加工要素与工艺	142	5.2.2 电火花加工质量控制	220
3.6.6 抛光加工的应用	144	5.3 电解加工技术	224
3.7 其他磨削加工技术	148	5.3.1 电解加工工艺及应用	224
3.7.1 珩磨加工技术	148	5.3.2 电解加工质量控制	231
3.7.2 砂带磨削加工	161	5.4 电铸加工技术	235
3.7.3 超声波磨削加工技术	167	5.4.1 电铸加工工艺及应用	235
复习思考题	172	5.4.2 电铸加工质量控制	241
第4章 光整加工技术	173	复习思考题	243
4.1 光整加工概述	173	第6章 高能束流加工技术	244
4.1.1 光整加工的定义与分类	173	6.1 概述	244
4.1.2 光整加工表面质量	175	6.2 激光束加工技术	246
4.2 去毛刺光整加工	177	6.2.1 激光束加工基本原理	246
		6.2.2 激光束加工工艺及其应用	248
		6.3 电子束加工技术	269



6.3.1 电子束加工基本原理	269	8.1.2 纳米加工	319
6.3.2 电子束加工工艺及应用	270	8.1.3 纳米加工的关键技术	319
6.4 离子束加工技术	274	8.2 基于 SPM 的纳米切削加工	320
6.4.1 离子束加工原理	274	8.2.1 扫描探针显微镜的工作原理	320
6.4.2 离子束加工工艺及应用	275	8.2.2 扫描探针显微技术的关键技术和特点	322
6.5 水射流及磨料流加工技术	280	8.2.3 扫描探针显微技术用于纳米切削加工	323
6.5.1 水射流加工原理	280	8.3 纳米器件与 DNA 单分子加工	326
6.5.2 水射流加工工艺及应用	282	8.3.1 原子排列	326
复习思考题	285	8.3.2 分子排列与分子开关	328
第 7 章 微细加工技术	286	8.3.3 纳米器件	329
7.1 概 述	286	8.3.4 DNA 单分子操纵	333
7.1.1 微细加工概念与分类	286	8.4 碳纳米管	335
7.1.2 微细加工的发展	286	8.4.1 单根碳纳米管的操纵	335
7.2 硅微细加工技术	287	8.4.2 碳纳米管的机械特性	336
7.2.1 硅的特点	287	8.4.3 碳纳米管的应用	337
7.2.2 硅微细加工技术的特点	288	复习思考题	340
7.2.3 硅微细加工工艺及应用	288	第 9 章 绿色加工技术	341
7.3 光刻加工技术	295	9.1 概 述	341
7.3.1 光刻加工的原理及其工艺流程	295	9.1.1 绿色加工的定义及其分类	341
7.3.2 光刻加工关键技术	297	9.1.2 绿色加工的研究内容	342
7.4 LIGA 技术及准 LIGA 技术	298	9.1.3 绿色加工的发展	343
7.4.1 LIGA 技术原理	299	9.2 绿色加工基本理论	344
7.4.2 准 LIGA 技术原理	301	9.2.1 绿色加工的基本特征	344
7.4.3 LIGA 及准 LIGA 技术的应用	303	9.2.2 绿色加工的基本程序	345
7.5 准分子激光微细加工技术	307	9.2.3 绿色加工的评价指标体系	347
7.5.1 准分子激光微细加工原理	307	9.3 绿色加工应用技术	348
7.5.2 准分子激光直写微细加工工艺	309	9.3.1 无冷却液机械加工	348
7.6 生物加工	311	9.3.2 微量冷却液机械加工	353
7.6.1 生物加工的分类	311	9.3.3 高压水射流切割	354
7.6.2 生物加工应用实例	314	9.3.4 其他绿色加工	355
复习思考题	317	复习思考题	355
第 8 章 纳米加工技术	318	第 10 章 难加工材料与结构的加工技术	356
8.1 概 述	318		
8.1.1 基本概念	318		



10.1 概 述.....	356	11.1 概 述.....	405
10.1.1 材料的切削加工性	356	11.1.1 加工参数优化的方法	405
10.1.2 难加工材料	358	11.1.2 加工数据库技术的发展与作用	407
10.1.3 难加工结构	368	11.2 加工参数解析优化技术.....	409
10.2 难加工材料的加工技术.....	368	11.2.1 优化数学模型的建立	409
10.2.1 钛合金加工	368	11.2.2 静态优化	415
10.2.2 高温合金加工	373	11.2.3 动态优化	421
10.2.3 不锈钢加工	377	11.3 加工数据库技术.....	423
10.2.4 高强度钢和超高强度钢的加工	381	11.3.1 数据库技术基础.....	423
10.2.5 复合材料加工	385	11.3.2 加工数据库的功能要求	427
10.2.6 硬脆性材料加工	389	11.3.3 加工数据库的基本结构	431
10.3 难加工结构的加工技术.....	392	11.3.4 加工数据库的应用	433
10.3.1 薄壁件加工	392	11.4 专家系统应用技术.....	434
10.3.2 叶片及涡轮盘加工	395	11.4.1 专家系统基本构成	434
10.3.3 阵列孔及微孔加工	400	11.4.2 加工故障诊断专家系统	437
复习思考题.....	404	11.4.3 加工参数推荐专家系统	438
第 11 章 加工参数优化与数据库技术.....	405	复习思考题.....	440
		参考文献.....	441

第1章 绪论

加工技术历史悠久,内容丰富,它伴随着人类社会发展的脚步,走过了漫长的发展历程。今天,现代加工技术仍不断追求更高的加工质量、更低的加工成本、更高的加工效率和自动化水平,同时,注重环保,努力实现绿色加工,不断走向更高水准。本章内容主要包括:加工技术的发展简史;加工技术的分类;加工技术的发展趋势。

1.1 加工技术发展简史

加工技术历史悠久,可以说它是伴随着人类的诞生而出现,伴随着人类的进步而发展。人类与猿相分离,是由于人学会了双足行走和用手制造并使用工具;人类社会能够创造今天辉煌的经济成就,能够享受现代化的生活方式,能够登上月球、探索太空,从根本上来讲是由于加工技术获得重大发展的缘故。人类已经从当初只会加工出带刃的石器,发展到今天可以操纵单个原子实现纳米加工。

考古学的证据表明,早在旧石器时代,距今约170万年的我国云南元谋猿人就使用过带刃口的砍砸石器;距今约50~60万年的北京猿人,制造和使用多种带刃的石器,如砍砸器、刮削器和尖状器等,其中刮削器和尖状器上均具有明显的锋利刃部。这些古老的原始工具虽然十分粗糙,但它们是人类早期从事加工活动的有力证据。

到了新石器时代,工具的加工技术有了很大进步,石刀、石斧、石镑、石镰等都已制造得相当精致,刀体比较匀称,刃部锋利实用,而且形式多样,有凸刃、凹刃和圆刃等。此外,已经在石器上能打出圆度较高的孔。已经出土的文物表明,当时人类已经能够根据不同的加工对象和需要,制造出形状和用途各异的切削工具。这个时期的切削工具,多为石质和骨质,加工对象为石头、木头、兽骨等非金属材料。

金属材料的切削加工从青铜器时代开始出现;我国从商代到春秋时期,就已经发展起相当发达的青铜冶炼铸造业。这个时期先后出现了各种青铜工具,如商代的青铜钻,春秋时代的青铜刀、锯、锉等。这些工具的结构和形状已经类似于现代的切削工具,其加工对象已经不限于非金属材料,而包括了金、银、铜等金属材料。后来,由于炼钢技术以及淬火等热处理技术的发明,制造坚硬锋利的金属切削工具成为可能。随着金属材料工具的出现,切削加工技术进入了一个新的发展阶段。

然而,和很多其他工程技术一样,加工技术的迅猛发展是从英国工业革命时期开始的。这个时期,由于蒸汽机的出现和纺织工业、采矿工业、军事工业的兴起,新产品的发明和设计如雨



后春笋、层出不穷,因此对加工技术不断提出新的更高要求,从而有力地促进了新的加工方法的诞生,推动了加工技术的快速发展。这时,机械工程也从其他工程中分离出来,逐渐成为一个独立的工程学科。

从18世纪50年代到19世纪末这段时期加工技术领域取得的主要进展如下:

1750年,法国人西奥在车床上安装一个刀架,用丝杠驱动纵向进给,替代从前人们用手握车刀进给的方式,提高了加工尺寸精度及其稳定性。早期的车床如图1.1所示。

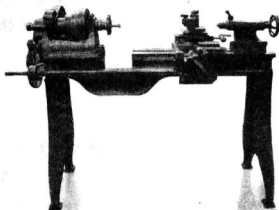


图1.1 早期的车床

的切削热和切削功。

1818年,美国人惠特奈发明了铣床,实现用单齿铣刀的铣削加工。

1829年,苏格兰人内斯密斯研制出分度铣床,并于1836年又发明了刨床。

1835年,英国人惠特沃思设计了由丝杠同时驱动纵向和横向进给的车床。

1847年,英国在伯明翰成立了机械工程师协会。

1851年,法国人考克夸尔哈特直接测量了钻削时切除单位体积金属所需的功。

1855年,美国的罗宾斯和劳伦斯公司制造出转塔车床,可装8把刀具,轮流进行8道工序的加工。

1865年,在巴黎举行的国际博览会上,展出了各种各样、品种齐全的金属切削加工机床,标志着金属切削加工技术发展到一个崭新的历史阶段。

1870年,俄国人基麦曾解释过切削形成过程。

1873年,德国人哈蒂格发表了切削功的表格。

1880年,美国机械工程师协会成立。

1881年,英国人马洛克指出,切削过程基本上是在刀具推挤下使工件材料发生剪切而成为切屑的过程,还强调刀具前刀面上摩擦作用的重要性。他曾对切屑试样进行抛光、腐蚀后进行观察,还研究过润滑剂的影响、刀刃锋利性对切削过程的影响以及切削过程中引起颤振的原因等。

1770年,英国人拉姆斯登在车床上实现了螺旋车削加工。

1775年,英国人威尔金森制造出了炮管钻床,可以加工直径达72 mm的内孔,误差不超过1 mm。其刀杆有5 m长,经过改装成为卧式镗床,可以加工蒸汽机的汽缸并满足精度要求,解决了瓦特蒸汽机研制中汽缸与活塞之间间隙过大的技术难题。

1776年,英国人瓦特发明的蒸汽机成功地进入厂矿使用,汽缸加工难题被攻克。

1789年,英国人罗姆福德研究了炮身加工时