

精密加工法

上册

田中义信
〔日〕津和秀夫 著
井川直哉

机械工业出版社

本书分上、下两册。上册简要地介绍了精密加工的共性理论——切削理论和磨削理论，并较详细地介绍了精密车削、精密镗削、拉削、磨削、滚压加工和挤光加工等加工方法以及所涉及的重要问题。

精密工作法

上册
第2版

田中义信
津和秀夫 共著
井川直哉

共立出版株式会社，昭和57年

•

精密加工法

上册

〔日〕 田中义信 津和秀夫 井川直哉 著
郑铉 冯铁 熊万武 刘恒杰 译
艾兴 肖虹 校

•

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）

顺义县振华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

•

开本 787×1092 $1/32$ · 印张 12 $7/8$ · 字数 280 千字

1986年10月北京第一版 · 1986年10月北京第一次印刷

印数 0,001—4,750 · 定价 3.05 元

•

统一书号：15033·6230

译 者 的 话

《精密加工法》一书总结了日本及其他国家在精密加工技术方面的发展成果，以简炼、通俗的语言和大量的图表介绍了精密加工的理论问题和技术问题。无疑，把这些理论和技术推荐给我国机械行业的科技人员，对促进我国精密加工技术的发展将会有所裨益。我们正是出于这一目的，翻译了该书。

参加本书翻译工作的有郑铨（第二版序、目录、第六章）、冯铎（第一章、第二章）、熊万武（第三章至第五章）、刘恒杰（第七章）。全稿由艾兴、肖虹二位同志校订。由于译者水平所限，书中难免有错误或不妥之处，恳请广大读者批评指正。

第 二 版 序

《精密加工法》（上）（初版）出版已经二十多年了。在此期间，日本的生产技术取得了使人瞠目的进步，在这一领域中，成为世界上屈指可数的先进国家之一。在这一发展中，与采用电子技术或电子计算机技术的自动化一起共同完成了繁重任务的，在某种意义上讲，应该提到精密加工技术。不用说，精密加工是实现在机器设计阶段所预定要达到的性能所不可缺少的技术，进一步说，还是形成日本所谋求的知识密集型产业基础的技术。

精密加工技术以往常常被看成是建立在长期经验之上的。事实上这也肯定是其中的一个方面。然而，这十几年来年的发展，说得更恰当一些，是由于科学的手段与经验极好地密切结合而取得的。的确，如果抛开其中的特种加工技术部分，表面上看来这类技术似乎没有显著变化。但是在内容上，由于许多技术人员和研究人员的努力，在技术的系统化和提高可靠性方面却取得了惊人的发展，逐渐成为一般机械工业中的基础技术。另一方面，在电子设备、宇航设备、计量控制仪器等尖端技术领域里，精密加工（包括各种超精加工）亦正在成为决定其机械性能高低的相当重要的技术。

对于上述发展过程，但愿拙著《精密加工法》初版起到即使是微不足道的作用。此次试行修订，是由于感到，作为这样一本完整的技术书籍，很有必要补充初版后的有关的

新技术知识，而且，尤其是要对得到很大发展的加工理论作通俗的解说。涉及多方面的、有关于精密加工法的共性概念——加工理论，对于指出适合当前实际情况的出发点和方向，以及帮助推行新的加工方法，可以说是有意义的，对于这方面的技术人员来说也肯定是必须掌握的。

《精密加工法》（上）第二版，与初版相比，对于形式稍异而内容大体相同的部分，补充了近20年中各个领域内的主要发展成果，更换了必要的新的图和照片，而省略了一般常识性的内容，沿袭初版的精神，注意到不仅使一般技术人员，而且使初学者、大学或大专学生也能充分理解。

本书修订时，参考了许多技术资料和研究资料，谨向这些资料的作者致以衷心的敬意和感谢。承蒙前辈同学和友人赐予许多指教，深致谢意。此外，在本书出版之际，得到共立出版公司编辑部及西川代木、小宫山和子二位先生的大力协助，本人衷心地表示感谢。

作者

书中主要单位与法定单位换算表①

量的名称	单位名称		单位符号		换算关系
	非法定	法定	非法定	法定	
长度	英寸	米	in	m	1in = 0.0254m
	英尺	米	ft	m	1ft = 0.3048m
质量	磅	千克	lbs	kg	1lbs = 0.45359kg
力	公斤力	牛顿	kg②	N	1kgf = 9.80665N
	磅力	牛顿	lb	N	1lb = 4.44822N
压力、应力	千克力每平方厘米	帕	kg②/cm ²	Pa	1kgf/cm ² = 0.0980665MPa
	千克力每平方毫米	帕	kg②/mm ²	Pa	1kgf/mm ² = 9.80665MPa
时间	分	秒	min	s	1min = 60s
速度	英尺每分	米每秒	ft/min	m/s	1ft/min = 5.08×10^{-3} m/s
			fpm	m/s	1fpm = 5.08×10^{-3} m/s
转速	转每分	每秒	r/min③	s ⁻¹	1rpm = (1/60) s ⁻¹
功率	马力	瓦	HP	W	1HP = 746W

① 本表系译者编制。

② 本书有些力的单位用“kg”表示，与质量单位无区别，我国力的非法定单位用“kgf”表示。

③ 书中有时用“r”或“rev”表示。

目 录

译者的话

第二版序

书中主要单位与法定单位换算表

第一章 精密加工的基础	1
1. 精密加工的意义	1
2. 精密加工方法的分类	2
3. 精密加工的效果	6
3.1 增大接触面积	6
3.2 提高轴承承载能力	7
3.3 提高疲劳强度	8
3.4 提高耐磨性	9
3.5 提高耐腐蚀性	9
3.6 减少变质层厚度	9
4. 精密加工的原则	10
4.1 基准面	11
4.2 机床	12
4.3 刀具	19
4.4 工件	20
4.5 加工条件	24
第二章 切削理论	26
1. 引言	26
1.1 切削的定义	26
1.2 切削理论的意义	26
1.3 刀具角度	27

1.4 二维切削及三维切削	29
2. 切屑形成机理	31
2.1 切屑的基本形态	31
2.2 力对切屑的作用	35
2.3 切屑内的应力和变形	36
2.4 不同切削条件下切屑形态的变化	38
2.5 积屑瘤	39
3. 切削力	42
3.1 切削力	42
3.2 切削力的测定	43
3.3 切削力的基础理论	47
3.4 切削条件与切削力的关系	57
3.5 工件的机械性能与切削力的关系	63
4. 切削温度	64
4.1 概述	64
4.2 切削温度的测定	65
4.3 切削温度的理论	67
4.4 切削温度的实验公式	72
4.5 切削温度与刀具耐用度	74
5. 切削加工表面	75
5.1 概述	75
5.2 加工表面的粗糙度	76
5.3 加工变质层	84
6. 刀具的磨损与耐用度	95
6.1 刀具材料	95
6.2 刀具的磨损及其形态	104
6.3 刀具磨损机理	105
6.4 刀具耐用度	108
7. 可加工性	115

7.1 可加工性的定义	115
7.2 可加工性的试验方法	116
7.3 可加工性公式	119
7.4 主要材料的可加工性	121
8. 切削系统的振动	132
8.1 振动的种类和原因	132
8.2 控制振动的方法	135
9. 切削液	137
9.1 概述	137
9.2 切削液的种类与性能	139
9.3 切削液的浇注方法	142
10. 特种切削加工	144
10.1 高速、超高速切削	144
10.2 高温切削	148
10.3 低温切削	153
10.4 振动切削	155
第三章 精密切削加工	156
1. 精密车削和精密镗削	156
1.1 概述	156
1.2 刀具	157
1.3 切削条件	160
1.4 精密车床	162
1.5 精密镗床	163
2. 拉削加工	164
2.1 概述	164
2.2 拉刀	165
2.3 拉床及其操作	180
第四章 砂轮	191
1. 磨削与砂轮	191

2. 砂轮的形状.....	194
3. 砂轮结构要素.....	195
3.1 磨料.....	196
3.2 粒度.....	198
3.3 硬度(结合度).....	199
3.4 硬度的机械试验法.....	201
3.5 结合剂.....	204
3.6 组织.....	206
4. 砂轮试验	208
5. 砂轮质量的表示方法	209
第五章 磨削理论	212
1. 引言	212
2. 砂轮的磨削作用	213
2.1 磨粒的切削作用.....	213
2.2 磨削时的磨屑.....	214
2.3 磨削过程的四种形态.....	216
2.4 磨粒的切削深度和接触弧.....	218
2.5 磨削中的概率现象.....	222
3. 磨削力	223
3.1 磨削力及其意义.....	223
3.2 单粒磨削力.....	224
3.3 磨削力的理论公式.....	225
3.4 磨削力的测量方法.....	228
3.5 磨削力和磨削条件.....	230
4. 磨削热	231
4.1 磨削热.....	231
4.2 磨削温度.....	232
4.3 磨削温度的计算	233
4.4 磨削温度的测定.....	236

4.5 磨削温度的实例	239
4.6 磨削温度的控制	240
5. 磨削加工表面	241
5.1 磨削表面的形成	241
5.2 磨削表面粗糙度	243
5.3 磨削表面的损伤	252
6. 砂轮的磨损与耐用度	258
6.1 砂轮的切削刃	258
6.2 砂轮的耐用度	267
第六章 磨削加工	278
1. 砂轮的选择	278
1.1 选择的准则	278
1.2 磨料的选择	278
1.3 结合剂的选择	282
1.4 粒度的选择	283
1.5 硬度的选择	284
1.6 组织的选择	285
1.7 砂轮的选择表和选择实例	286
1.8 砂轮的安全性	293
2. 磨削操作的一般事项	293
2.1 砂轮的安装与平衡	293
2.2 砂轮的修整与整形	295
2.3 磨削液	301
2.4 磨削用量	305
2.5 磨削加工产生的缺陷	311
3. 各种磨削加工	318
3.1 外圆磨削	318
3.2 内圆磨削	327
3.3 平面磨削	334

3.4	刀具刃磨	344
3.5	无心磨削	352
3.6	特种磨削	361
3.7	使用金刚石砂轮、立方氮化硼砂轮磨削	370
3.8	镜面磨削、超精磨削	376
第七章 滚压加工和挤光加工		380
1.	滚压加工	380
1.1	滚压加工方法	380
1.2	加工条件的影响	381
1.3	滚压加工的效果	384
1.4	滚压加工的应用	389
2.	挤光加工	390
2.1	挤光加工方法	390
2.2	挤光加工理论	391
2.3	挤光加工的效果	393
3.	微量挤光加工	397
4.	钢球压光加工	399

下册主要内容

第八章 精密研磨

第九章 抛光

第十章 特种加工

第十一章 机械零件的精密加工

第十二章 超精加工

第一章 精密加工的基础

1. 精密加工的意义

在制造机械零件方面，不管是过去还是现在，也不管是国内还是国外，着眼点总是把怎样解决以下两个根本性问题作为目标的，即：

(1) 如何廉价地制造机械零件；

(2) 如何提高机械零件的质量。

第一个问题主要是经济性方面的问题。在近代工业体系中，提高大量生产的水平，就等于降低了每一个零件的价格，提高了生产的效率。第二个问题是提高质量的问题，其中虽包含着多种因素，但重点是提高材料的质量、提高零件的精度，或者延长零件的使用寿命。

在提高机械零件的质量方面，材料问题是不能忽视的。但从加工方法来说，材料问题并不是最重要的因素。其次，如果认为延长零件使用寿命也只有通过提高材料的质量与零件精度才能达到的话，那么可知提高零件精度是一项极为重要的要求。事实上，近代文明条件下所生产的各种机械，只有在解决了提高零件精度的问题之后，才能得以实现。

例如，J.瓦特 (James Watt) 的蒸汽机，正是由于发明了镗床，提高了气缸的加工精度，才开始付诸实践的。此外，近代机械之所以能具有很高精度的互换性，在很大程度上是由于怀特沃斯 (Whitworth) 从理论上提出了

能制造出理想平面的方法，约翰森（Johansson）据此而发明了块规的结果。如果没有这种精密加工方法，就不会有现在精度很高的量规，机械零件也不可能有目前这样广泛的互换性。即使象新式的喷气发动机，也正是由于对由特殊耐热合金制成的透平机进行了高精度加工，才得以发挥其高性能。还有，电子计算机的磁盘存储器、宇宙飞船的控制器的、大规模集成电路坯料的加工等，都是有了微米级甚至更高精度的加工技术后，才开始有可能达到预期的目的。

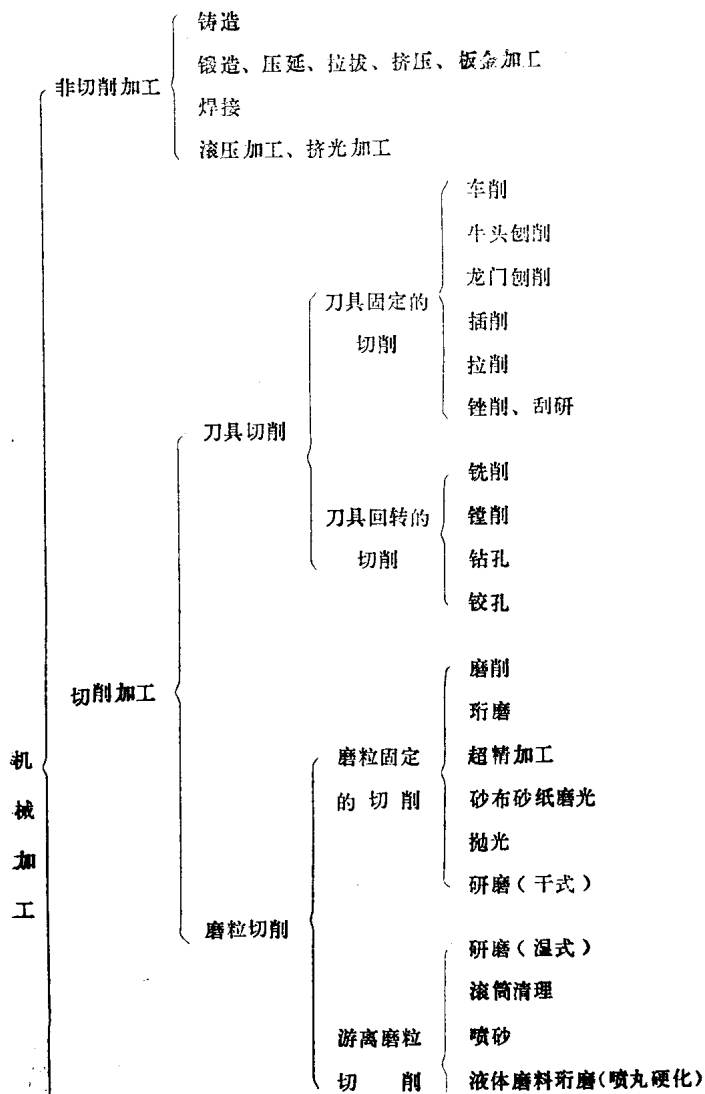
依此说来，加工高精度零件，即精密加工是何等重要，而且对现代文明会有多大的影响，这是非常容易理解的。更何况工业的发展是与人类历史的发展相联系的。将来我们能进行比今天好不容易才能达到的精度还要高的精密加工。与此同时，文化也随之发展起来。精密加工技术确实是现代文化之母，说这样极端的话，恐怕也不过分。

2. 精密加工方法的分类

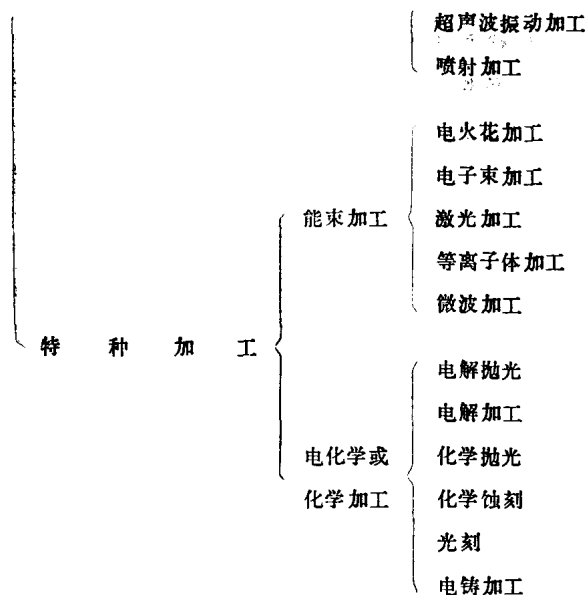
所谓精密加工方法（precision workshop method），是指在各种加工方法中能制造出产品尺寸精度高、加工表面光滑、且质量好的加工方法。例如即使是刨削，如果能进行较之一般加工方法精度要高且加工表面光滑的加工，我们也可以称其为精密加工方法。这样，通过对所有加工方法的比较，把其中能加工比一般加工方法的精度为高的方法，称之为精密加工方法。这是广义的精密加工方法。

但是，通常对于一般刨削加工的精度及表面粗糙度来说，无论如何也不能说是精密的。与此相反，对于象磨削一类的加工方法，其加工精度及表面粗糙度均优于一般的切削加工，只要不是进行很粗糙的加工，就可以归入精密加工之

表1.1 加工方法的分类



(续)



内。所以，如果狭义地理解精密加工方法的话，就可以说，精密加工方法是指能很容易地形成精度高、加工表面光滑的加工方法。这就意味着，诸如刨削加工方法，即使进行多么精密的加工，也不能称之为精密加工方法。本书基本上是从狭义角度来解释精密加工的，并就其各种加工方法加以说明。

机械加工方法有很多种，其分类如表1.1所示。

由这些加工方法可以获得的加工表面粗糙度如表1.2所示。该表所示为各种加工方法的粗加工、半精加工、精加工所能获得不同加工表面粗糙度的大概情况。能获得粗糙度大致在 $1.5\mu\text{m}$ 以下光滑表面的加工方法，可以称为狭义的精密

表1-2 各种加工方法所能获得的表面粗糙度

(JIS, 旧 B 0801, 1962)

表面粗糙度的表示		0.1-S	0.2-S	0.4-S	0.8-S	1.5-S	3-S	6-S	12-S	18-S	25-S	35-S	50-S	70-S	100-S	140-S	200-S	250-S	320-S	400-S	500-S
粗糙度范围		0.1	0.2	0.4	0.8	1.5	3	6	12	18	25	35	50	70	100	140	200	250	320	400	500
加工方法		以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下
符 号		无符号或者∞																			
锻	造	FG																			
铸	造	C																			
模	铸	DC																			
热	轧	HR																			
冷	轧	CR																			
拉	拔	DW																			
挤	压	EX																			
三角符号		▽▽▽▽				▽▽▽				▽▽				▽							
刨削(龙门刨)	P																				
牛头刨削(包括插削)	S																				
铣	削	M																			
外圆切削	T																				
镗	削	B																			
精密镗削	FB																				
钻	孔	D																			
铰	孔	R																			
拉	削	BR																			
剃	齿	SV																			
刮	削	G																			
珩	磨	H																			
超精加工	SF																				
抛光	BF																				
滚筒清理	TU																				
砂纸磨光	SP																				
研	磨	LP																			
喷	砂	SB																			
液体磨料研磨	LH																				
铣	削	M																			
端面铣削	FM																				
挤	光	BN																			
液	压	RF																			
乳	制	RL																			
化	抛	CP																			
电解抛光	EP																				