

機械加工實務

精密加工 新技術全集

第2版

田中義信 共著
津和秀夫
井川直哉

賴 耿 陽譯著
復漢出版社印行

中華民國七十二年十二月一日出版

精密加工新技術全集

原著者：田中義信 津和秀夫
譯著者：賴井川直哉

出版者：復漢出版社
耿陽

地址：台南市德光街六五一號
郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈岳林
印刷者：國發印刷廠

版權所有
翻印必究

平裝 B
三六〇元
精裝
四〇〇元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

精密加工技術連同自動化技術乃日本擁有世界最高生產技術水準的兩大支柱。在發展過程中導入電子或電算機技術而提升自動化層次。

精密加工是把機器設計階段計劃的機能實現出來所不可或缺的技術，也是今後知識密集形產業的基礎。

以往認為精密加工技術得自長年的經驗，不過最近十多年的進步却是科學手法配合經驗而達成。此技術本身除了一部份特殊加工的分野外，外觀上少有顯著的變化，但內容上由於衆多技術者、研究者的努力，技術的體系化、高可靠性化方面有可觀的發展，成為一般機械工業的重要基礎技術。在電子機器、太空機器、計測控制機器等尖端分野，精密加工（超精密級）也是決定這些機器性能界限的重要技術。

本書平易解說加工理論，一般機械技術者、初學者、大學生、高專學生都幾乎不需預備知識，即可吸收正確的精密加工技術概念，可為展開新加工法的頭緒，堪稱今後技術者必備的武器。

編者

精密加工新技術全集 / 目次

上 冊

第1章 精密加工の基礎 1

1. 精密加工の意義.....	1
2. 精密加工法の分類.....	1
3. 精密加工の効果.....	2
3.1 増大接觸面積.....	2
3.2 軸承の負荷能力増大.....	5
3.3 疲勞強度増大.....	6
3.4 耐摩耗性増大.....	6
3.5 耐蝕性増大.....	6
3.6 變質層厚度減少.....	6
4. 精密加工の原則.....	7
4.1 基準面.....	8
4.2 工作母機.....	8
4.3 工 具.....	13
4.4 工作物.....	14
4.5 加工條件.....	16

第2章 切削理論 18

1. 序 説.....	18
1.1 切削の定義.....	18
1.2 切削理論の意義.....	18
1.3 切削工具の角度.....	19
1.4 二次元切削與三次元切削.....	20
2. 切削の生成機構.....	21
2.1 切削の基本形態.....	21

2.1.1	切削的分類.....	21	2.1.4	撕裂形切削.....	23
2.1.2	流動形切削.....	22	2.1.5	龜裂形切削.....	23
2.1.3	剪斷形切削.....	22			
2.2	切削所受力的作用.....	24			
2.3	切削內的應力與變形.....	24			
2.4	切削條件所致切削形態的變化.....	26			
2.4.1	工作物材質所致		2.4.2	切削條件所致的	
	的變化.....	26		變化.....	26
2.5	構成刃尖.....	27			
3.	切削阻力.....	28			
3.1	切削阻力.....	28			
3.2	切削阻力的測定法.....	29			
3.2.1	基本方法.....	29		件.....	30
3.2.2	工具動力計的條				
3.3	切削阻力的基礎理論.....	32			
3.3.1	流動形切削與剪		3.3.3	切削阻力的理論	
	斷面.....	32		式.....	37
3.3.2	基本關係.....	34			
3.4	切削條件與切削阻力的關係.....	40			
3.4.1	切削阻力分力的		3.4.3	工具角度的影響	
	關係.....	40			43
3.4.2	進刀深度及進給		3.4.4	切削速度的影響	
	量的影響.....	41			44
3.5	工作物的機械性性質與切削阻力的關係.....	44			
4.	切削溫度.....	45			
4.1	概說.....	45			
4.2	切削溫度的測定法.....	46			
4.3	切削溫度的理論.....	48			
4.3.1	剪斷面的平均溫			面(斜角面)的	
	度 $\bar{\theta}_s$	48		平均溫度 $\bar{\theta}_t$	49
4.3.2	工具、切屑接觸		4.3.3	切削條件與切削	

溫度.....	50	佈.....	50
4.3.4 切削場的溫度分			
4.4 切削溫度的實驗式.....			51
4.5 切削溫度與工具壽命.....			52
5. 切削加工面.....			52
5.1 概說.....			52
5.2 切削加工面的粗糙度.....			53
5.2.1 加工面粗糙度的構成.....	53	5.2.3 進給方向的粗糙度.....	56
5.2.2 切削方向的粗糙度.....	53	5.2.4 對理論粗糙度的外亂.....	57
5.3 加工變質層.....			59
5.3.1 加工變質層的組成.....	59	5.3.3 切削條件所致變質層厚度的變化.....	63
5.3.2 變質層深度的測定法.....	59	5.3.4 殘留應力.....	65
6. 切削工具的摩耗與壽命.....			66
6.1 工具材料.....			66
6.1.1 高速鋼工具.....	66	6.1.4 其他超硬工具材料.....	67
6.1.2 超硬合金工具.....	67		
6.1.3 陶瓷工具.....	67		
6.2 切削工具的損耗與其形態.....			71
6.3 工具損耗的機構.....			72
6.3.1 摩耗的機構.....	72	6.3.2 缺損機構.....	73
6.4 工具的壽命.....			73
6.4.1 工具壽命的基準.....	73	6.4.3 最適切削速度.....	76
6.4.2 VT 線圖.....	75		
7. 被削性.....			78
7.1 被削性的定義.....			78
7.2 被削性的試驗法.....			79
7.2.1 工具的壽命試驗.....	80	7.2.2 利用切削阻力的	

方法.....	80	方法.....	80
7.2.3 利用切削溫度的		7.2.4 簡易試驗法.....	81
7.3 被削性方程式.....			81
7.4 主要材料的被削性.....			82
7.4.1 純金屬.....	82	7.4.5 鑄鐵.....	86
7.4.2 碳鋼.....	82	7.4.6 銅合金.....	87
7.4.3 特殊鋼.....	82	7.4.7 輕合金.....	89
7.4.4 快削鋼.....	84		
8. 切削系統的振動.....			89
8.1 振動的種類與原因.....			89
8.1.1 強制振動.....	89	8.1.2 自激振動.....	90
8.2 制振法.....			91
8.2.1 機械的防振.....	91	8.2.3 切削條件的選擇	92
8.2.2 阻尼器.....	92	8.2.4 振動的適應控制	92
9. 加工液.....			93
9.1 概說.....			93
9.2 加工液的種類與性能.....			94
9.2.1 加工液的種類...	94	9.2.3 水溶性切削油...	94
9.2.2 非水溶性切削油	96	9.2.4 其他切削劑.....	96
9.3 加工液的注加方法.....			96
10. 特殊切削法.....			97
10.1 高速、超高速切削.....			97
10.1.1 高速切削的意義	97	10.1.3 超高速切削.....	99
10.1.2 高速切削的作業	98		
10.2 高溫切削.....			100
10.2.1 高溫切削的意義	100	10.2.3 高溫切削的切削	
10.2.2 高溫切削的方法	100	作用.....	103
10.3 低溫切削.....			103
10.4 振動切削.....			104

第3章 利用切削的精密加工105

1. 精密車削反精密搪孔	105
1.1 概說	105
1.2 工具	105
1.2.1 鑽石刀具	105
1.2.2 超硬刀具	107
1.3 作業條件	108
1.3.1 切削速度	108
1.3.2 進刀深度及進給量	109
1.3.3 加工面粗糙度與精度	109
1.4 精密車床	109
1.5 精密搪床	110
2. 拉削	111
2.1 概說	111
2.2 拉刀	111
2.2.1 拉刀的種類	111
2.2.2 拉刀的構成	113
2.2.3 柄與導引部	114
2.2.4 齒距	115
2.2.5 1 齒的進刀深度	116
2.2.6 齒的形狀	117
2.2.7 斜角與離隙角	119
2.2.8 齒的傾角	119
2.2.9 斷屑溝	119
2.2.10 擦光用拉刀	119
2.2.11 旋轉拉刀	120
2.2.12 拉刀的製法	121
2.2.13 拉刀例	121
2.3 拉床與其作業	123
2.3.1 拉床	123
2.3.2 拉床的作業	126

第4章 砂輪 130

1. 研磨與砂輪	130
2. 砂輪的形狀	131
3. 砂輪的構成要素	133
3.1 磨料	133
3.1.1 A 磨料	134
3.1.2 WA 磨料	134
3.1.3 C 磨料	135
3.1.4 GC 磨料	135
3.1.5 其他 A 系磨料	135
3.1.6 氧化鋁系	135

3.1.7	人造鑽石磨料	135	料	136
3.1.8	立方晶氮化硼磨			
3.2	粒度	136		
3.3	結合度（硬度）	137		
3.4	結合度的機械性試驗法	137		
3.4.1	大越氏結合度試驗法	137	動數的方法— sonic 式試驗方	
3.4.2	球壓入法	139	法	139
3.4.3	利用砂輪固有振		3.4.4 其他的方法	139
3.5	結合劑	139		
3.5.1	瓷質燒結式結合劑	139	3.5.3 蟲膠結合劑	140
3.5.2	矽酸塩結合劑	140	3.5.4 樹脂結合劑	140
			3.5.5 橡膠結合劑	140
3.6	組織	141		
4.	砂輪的試驗	142		
5.	砂輪品質表示法	145		

第5章 研磨理論 146

1.	引言	146
2.	砂輪的研磨作用	146
2.1	砂輪的切削作用	147
2.2	研磨的切削	148
2.3	研磨過程的 4 形態	149
2.4	磨料切入深度與接觸弧	150
2.5	研磨的機率現象	153
3.	研磨阻力	153
3.1	研磨阻力與其意義	153
3.2	單粒的研磨阻力	154
3.3	研磨阻力的理論式	155
3.4	研磨阻力的測定法	157
3.4.1	在砂輪部測定	157
3.4.2	在工作物部測定	157

3.5	研磨阻力與研磨條件	158
4.	研磨熱	159
4.1	研磨熱	159
4.2	研磨溫度	160
4.3	研磨溫度的計算	160
4.3.1	磨料研磨點溫度	160
4.3.2	砂輪研磨點溫度	161
4.3.3	工作物的平均溫度	161
4.4	研磨溫度的測定法	162
4.4.1	磨料研磨點溫度	162
4.4.2	砂輪研磨點溫度	163
4.4.3	工作物的平均溫度	164
4.5	實際的研磨溫度	164
4.6	研磨溫度的控制	165
5.	研磨面	165
5.1	研磨面的形成	165
5.2	加工面的粗糙度	166
5.2.1	加工面粗糙度的幾何學	166
5.2.2	粗糙度的機率論	168
5.2.3	粗糙度的半機率	
5.2.4	研磨條件對研磨面粗糙度的影響	171
5.3	研磨面的損傷	173
5.3.1	加工變質層	173
5.3.2	殘留應力	174
5.3.3	研磨燒焦與研磨破裂	175
6.	砂輪的損耗與壽命	177
6.1	砂輪的切刃	177
6.1.1	切刃的形狀與分佈	177
6.1.2	連續切刃間隔	178
6.1.3	研磨中的切刃	
6.1.4	切刃面積率	179
6.1.5	切刃的自生作用	182
6.2	砂輪的壽命	182
6.2.1	砂輪的損耗	183
6.2.2	比損耗量與研磨比	183
6.2.3	研磨條件與砂輪	

損耗量的關係	185	6.2.5 研磨條件與砂輪壽命	187
6.2.4 砂輪的修整間壽命	186		

第6章 研磨作業.....189

1. 砂輪的選擇	189		
1.1 選擇的基準	189		
1.2 磨料的選擇	189		
1.3 結合劑的選擇	192		
1.4 粒度的選擇	193		
1.5 結合度的選擇	193		
1.6 組織的選擇	194		
1.7 砂輪的選擇表與選擇劑	194		
1.8 砂輪的安全性	198		
2. 研磨作業的一般事項	199		
2.1 砂輪的安裝與平衡	199		
2.1.1 砂輪的安裝	199	2.1.2 砂輪的平衡	200
2.2 砂輪的修整與整形	200		
2.2.1 Hantington 修整器	201	2.2.3 鑽石修整器	202
2.2.2 用砂輪修整	201	2.2.4 軋碎輥	203
		2.2.5 旋轉修整器	204
2.3 研磨液	204		
2.3.1 研磨液的機能	204	2.3.3 研磨液的注加法	206
2.3.2 研磨液的選擇	205		
2.4 研磨條件	207		
2.4.1 砂輪的周速	207	2.4.4 切入	210
2.4.2 工作物的周速	207	2.4.5 研磨留量	211
2.4.3 進給速度	208		
2.5 研磨作業發生的缺陷	211		
3. 各種研磨作業	217		
3.1 圓筒研磨	217		

3.1.1	基本形.....	217	3.1.3	自動定寸裝置...	221
3.1.2	圓筒磨床.....	218	3.1.4	圓筒研磨作業...	222
3.2	內面研磨.....	223			
3.2.1	內面的研磨的基本形.....	223	3.2.2	內面磨床.....	224
			3.2.3	內面研磨作業...	228
3.3	平面研磨.....	229			
3.3.1	平面研磨的基本形.....	229	3.3.2	平面磨床.....	231
			3.3.3	平面研磨作業...	233
3.4	工具研磨.....	235			
3.4.1	工具研磨的種類	235		業.....	236
3.4.2	車刀磨床與其作業.....	235	3.4.4	工具磨床與其作業.....	236
3.4.3	鑽頭磨床與其作業.....	240	3.4.5	其他的工具研磨	240
3.5	無心研磨.....	240			
3.5.1	無心研磨的方法	240	3.5.3	研磨條件與作業方法.....	242
3.5.2	無心磨床.....	241			
3.6	特殊的研磨作業.....	247			
3.6.1	可搬式砂輪機...	247	3.6.7	多砂輪磨床.....	251
3.6.2	曲軸磨床.....	248	3.6.8	栓槽軸磨床.....	252
3.6.3	凸輪軸磨床.....	249	3.6.9	滑移面磨床.....	253
3.6.4	活塞磨床.....	249	3.6.10	輪廓磨床.....	254
3.6.5	座圈磨床.....	250	3.6.11	切斷磨床.....	254
3.6.6	軋輥磨床.....	250			
3.7	利用鑽石、氮化硼砂輪的研磨.....	254			
3.7.1	鑽石砂輪.....	254	3.7.3	氮化硼砂輪.....	257
3.7.2	超硬合金的研磨	256			
3.8	超精密、鏡面研磨.....	258			

第7章 軋光與擦光.....261

1.	軋光.....	261
1.1	軋光的方法.....	261

1.2	加工條件的影響	262
1.2.1	前加工的影響	262
1.2.2	滾子的直徑及圓角半徑	263
1.2.3	壓力	263
1.2.4	滾子的進給	263
1.2.5	加工液	264
1.3	軋光的效果	264
1.3.1	軋光面的性質	264
1.3.2	軋光面的硬度	265
1.3.3	疲勞強度	265
1.4	軋光的應用	267
2.	擦光	268
2.1	擦光的方法	268
2.2	擦光法的理論	268
2.3	擦光的效果	270
2.3.1	內徑的尺寸精度	270
2.3.2	加工面粗糙度	272
3.	微細的擦光加工	273
4.	硬珠拉削法	274

下 冊

第8章 精密磨料加工 275

1.	引言	275
2.	抹磨	277
2.1	概說	277
2.2	抹磨的機構	279
2.2.1	抹磨劑的切削作用	279
2.2.2	抹磨劑的粉碎	280
2.2.3	堵塞	281
2.2.4	壓力與速度的影響	282
2.2.5	抹磨力	283
2.3	抹磨劑、抹磨具及加工液	284
2.3.1	抹磨劑	284
2.3.2	抹磨具	285
2.3.3	加工液	286

2.4	加工面	286
2.4.1	抹磨加工面的構成	286
2.4.2	抹磨面的粗糙度	287
2.5	抹磨機	289
2.5.1	立形抹磨機	290
2.5.2	其他抹磨機	298
2.6	手工抹磨	299
2.6.1	平面的抹磨	299
2.6.2	圓筒的抹磨	303
3.	搪磨	305
3.1	概說	305
3.1.1	搪磨的概念	305
3.1.2	搪磨的特色	306
3.2	加工條件與加工特性	307
3.2.1	前加工	307
3.2.2	磨石	308
3.2.3	速度與交差角	311
3.2.4	磨石壓力與切	
3.2.5	加工液	315
3.2.6	搪磨的加工面	316
3.3	搪磨工具	316
3.3.1	基本構造與動作	316
3.3.2	三爪式 (three finger type) 搪磨工具	318
3.3.3	制動式 (brake type) 搪磨工	
3.3.4	油壓式 (hydraulic type) 搪磨工具	319
3.3.5	其他內徑用搪磨工具	320
3.3.6	外徑用搪磨工具	320
3.3.7	磨石形狀	321
3.4	自動定寸與控制裝置	321
3.5	搪磨機與其作業	324
3.5.1	搪磨機的分類	324
3.5.2	立形搪磨機	325
3.5.3	橫形搪磨機	326
3.5.4	搪磨機的作業例	327
4.	超細磨	327
4.1	概說	327

4.1.1 超細磨的歷史	327	4.1.3 超細磨的應用	333
4.1.2 超細磨的特色	329		
4.2 超細磨的機構	333		
4.2.1 磨石的加工經過	333	4.2.2 超細磨的加工效率	335
4.3 超細磨的加工條件	335		
4.3.1 磨石	335	與振幅	341
4.3.2 壓力	338	4.3.5 加工液	343
4.3.3 工作物的速度	340	4.3.6 超細磨的 2 段工程作業	343
4.3.4 磨石的振動數			
4.4 超細磨面	345		
4.4.1 超細磨面的構造	345	糙度	346
4.4.2 超細磨面的粗糙性與耐蝕性	346	4.4.3 超細磨面的耐摩	
4.5 超細磨機	347		
4.5.1 超細磨頭	347	4.5.3 內面超細磨機	348
4.5.2 圓筒超細磨機	348	4.5.4 平面超細磨機	348

第9章 磨 光 351

1. 帶式研磨	351
1.1 概說	351
1.2 研磨帶(砂布, 砂紙)	351
1.3 帶式磨床	353
1.4 帶磨作業	354
1.4.1 速度與壓力	354
1.4.2 加工液	354
1.4.3 帶磨機的作業例	355
2. 擦光加工	356
2.1 概說	356
2.2 擦光輪	357
2.3 磨料與擦光研磨劑	359

2.3.1	粗磨用磨料	359	2.3.3	光澤加工用磨料	360
2.3.2	中磨用磨料	360	2.3.4	擦光研磨劑	361
2.4	擦光機	361			
2.5	加工特性	362			
2.5.1	動力	362	2.5.4	研磨劑構成要素的作用	364
2.5.2	擦光加工量	363			
2.5.3	加工面粗糙度	364			
2.6	擦光的作業	365			
3.	滾桶加工	367			
3.1	概說	367			
3.2	滾桶	368			
3.2.1	旋轉形滾桶	368	3.2.3	固定框	371
3.2.2	振動形滾桶	370			
3.3	媒質(磨料)	371			
3.4	研磨劑	374			
3.5	加工特性	375			
3.6	滾桶加工的作業條件	376			
3.6.1	水的硬度	376		的混合比	377
3.6.2	滾桶中的液面高度	377	3.6.4	滾桶速度	377
3.6.3	工作物與媒質		3.6.5	加工時間	378
4.	噴射加工	378			
4.1	噴粒加工	378			
4.1.1	概說	378		業	379
4.1.2	噴粒機	379	4.1.4	噴射磨料的精密加工	382
4.1.3	噴粒加工的工作				
4.2	珠擊法	382			
4.2.1	概說	382	4.2.3	珠	383
4.2.2	珠擊法的施行法	382	4.2.4	加工條件	383
			4.2.5	珠擊的效果與應	

用	386
4.3 液體搪磨	388
4.3.1 概說	388
4.3.2 液體搪磨法	388
4.3.3 磨料	389
4.3.4 加工條件	391
4.3.5 液體搪磨的應用	392
5. 粘彈性流動研磨	393
5.1 概說	393
5.2 媒質	394
5.3 加工機械	394
5.4 加工特性	395
5.5 應用例	396

第10章 特殊加工法 397

1. 前言	397
2. 放電加工	397
2.1 加工原理與特色	398
2.2 放電加工機	398
2.2.1 構成	398
2.2.2 電源與電極	398
2.3 加工特性	400
2.4 特殊放電加工	401
2.4.1 線切割放電加工	401
2.4.2 放電切斷	401
2.4.3 放電研削	402
2.4.4 非金屬的放電加工	402
3. 電子束加工	403
3.1 加工原理與特色	403
3.2 電子束加工裝置	404
3.3 加工特性	404
3.4 電子束的應用	404
4. 雷射加工	405
4.1 加工原理與特色	405
4.2 雷射加工機	405