

科技用書



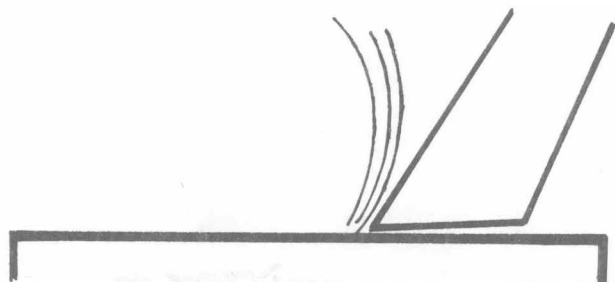
最新切削加工技術

配合精密化. 高速化. NC化 MC化技術實務

徐明堅 編著

復漢出版社印行

科技用書



最新切削加工技術

配合精密化. 高速化. NC化 MC化技術實務

徐明堅 編著

復漢出版社印行

中華民國八十一年八月出版

最新切削加工技術

版權所有
翻印必究

B 平裝 二五〇元

編著者：徐

明

堅

出版者：復

漢

出

版

社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥〇〇三一五九一二號

發行人：沈

岳

林

印刷者：國

發

印

刷

廠

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

隨 NC 工作母機的發展，以數值表現往昔技工憑經驗和直覺進行的切削，記憶於機械中進行切削，增高切削技術的重要性。切削技術即指妥當切削。

妥當切削是指(1)用適合工作母機、技能的工具，(2)產生容易處理的切屑，(3)保持適度的工具壽命，(4)增高切削效率，(5)作成精度、加工面粗糙度符合要求的製品。

爲此，(1)須學習有關切削的基礎知識，思考後切削，(2)常留心切削條件的改良，記錄過程的資料，(3)關心每天進步的切削工具，並要有活用的勇氣。

本書爲切削研究者及學生、生產技術者、切削技術者，以實例、計算例解說切削的基本理論、切削產生的現象、切削工具、切削實驗法。

筆者數十年的實務經驗，認爲切屑透露切削的一切，特關 9 章詳述切削與切屑。

工作母機傾向 NC 化、高速化、高精度化，被削材也增多耐熱材、陶瓷等難削材，切削工具的相對進步也都網羅在內。

但願本書對切削技術的改進有一定的貢獻。

1992 年 4 月

編者

目次

第 1 章 總論	1
1.1 加工技術的任務分派	1
1.2 加工法的分類（新式加工法）	2
1.3 加工技術的歷史	3
第 2 章 切削理論	5
2.1 切削的概念	5
2.2 與切削有關的要因與切削良否的判定	8
2.3 切屑的生成機構	10
2.4 切屑瘤（built-up edge）	11
2.5 切削阻力的理論計算	14
2.6 切削溫度的理論計算	17
2.6.1 剪斷面平均溫度 $\bar{\theta}_s$ 的計算	18
2.6.2 前傾面摩擦所致的溫升 $\bar{\theta}_f$	19
2.7 被削材、工具的熱性質	23
2.8 計算例	26
2.9 銑削的理論	30
2.9.1 進給量與切削量	31
2.9.2 雙尖的軌跡與切削厚度	31

2.9.3 向上銑削 (up cutting) 與向下銑削 (down cutting)	35
--	----

第 3 章 切削諸元的測定與實驗式..... 37

3.1 切削力的測定法	37
3.1.1 從電力測定值計算切削力	37
3.1.2 利用工具動力測定切削力	39
3.2 切削力的實驗式	46
3.2.1 車刀的切削阻力	46
3.2.2 鑽頭的切削阻力	49
3.2.3 銑削的切削阻力	51
3.3 切屑厚度 t_c 的測定法	55
3.4 切屑—工具接觸長度的測定法	57
3.5 切削溫度的測定法	58
3.5.1 用工具—被削材熱電偶法測定	59
3.5.2 把熱電偶線埋入工具內的方法	63
3.5.3 把熱電偶線埋入被削材內的方法	63
3.6 熱起電力校正曲線	65
3.7 切削溫度的實驗式	68

第 4 章 工具磨耗與工具壽命..... 70

4.1 工具磨耗的特色	70
4.2 工具磨耗的形態	70
4.3 磨耗機構	72
4.4 前傾面磨耗 (crater wear)	76
4.5 離隙面磨耗 (flank wear)	78
4.5.1 離隙面磨耗寬度 V_B 的定義與測定	79
4.5.2 離隙面磨耗曲線與磨耗速度的計算	80

4.5.3 離隙面的磨耗機構	82
4.6 邊界磨耗	83
4.7 工具壽命的判定	84
4.8 工具壽命方程式	86
4.9 壽命方程式的求法	86
4.10 鑽頭的磨耗	88
4.11 銑刀的損傷	90

第 5 章 工具刃部角度與其作用..... 93

5.1 刃部角度名稱	93
5.2 角度的相關關係	95
5.3 各角度的作用	96
5.3.1 切刃傾角(上傾角) λ	96
5.3.2 前傾角 α	97
5.3.3 側離隙角 δ	98
5.3.4 角隅部離隙角 δ_c (圖 5.1)	99
5.3.5 接近角 C_s (側切刃角)	99
5.3.6 副切刃角 C_f (前切刃角)	101
5.3.7 角隅部形狀	101
5.4 鑽頭各部名稱與其作用	101
5.5 銑刀各部名稱與其作用	108
5.5.1 平銑刀	108
5.5.2 刀片式正面銑刀各部名稱與其作用(圖 5.19)	110

第 6 章 切削工具材..... 114

6.1 切削工具材的必要條件.....	114
6.2 切削工具材的分類.....	114

6.3	高速工具鋼 (high speed steel)	115
6.4	燒結工具 (cemented carbides , sintered carbides)	118
6.5	超硬合金工具 (tungsten carbides)	120
6.6	陶性合金工具 (cermet tool)	126
6.7	陶瓷工具 (ceramics cemented oxides)	129
6.8	CBN及鑽石燒結工具	134
6.9	工具材種的選定	137

第 7 章 切削油劑 (cutting fluids) 141

7.1	切削油劑的效果與條件	141
7.1.1	切削用切削油劑的作用	141
7.1.2	磨削用切削油劑的作用	142
7.2	切削油劑的分類	143
7.2.1	非水溶性切削油	145
7.2.2	水溶性切削油	146
7.2.3	其他切削劑	147
7.3	切削油劑選定法	147

第 8 章 切削面粗糙度 (roughness) 150

8.1	加工表面的品位	150
8.2	表面粗糙度的表示法與測定法	152
8.3	切削面粗糙度	156
8.3.1	理論切削面粗糙度 (theoretical surface roughness) $R_{\max(\text{theo})}$	156
8.3.2	實際的切削面粗糙度	160
8.4	工具磨耗與切削面粗糙度	161
8.5	顫紋 (chatter 、 vibration)	165

8.6 表面粗糙度的頻譜解析	166
----------------	-----

第9章 切削與切屑 168

9.1 切削與切屑	168
9.2 切屑形狀與處理	169
9.2.1 切屑厚度 t_c	169
9.2.2 切屑斷面形狀	171
9.2.3 切屑的物理試驗	173
9.2.4 切屑形狀分類	174
9.2.5 切屑形狀的形成	176
9.2.6 切屑的折斷	178
9.2.7 斷屑口	179
9.2.8 特殊切屑處理法	182
9.3 切屑的顏色與切削溫度	183
9.3.1 切屑的顏色與其表示法（鋼切削）	183
9.3.2 切屑的冷卻	186
9.3.3 氧化膜的生成	189
9.3.4 刃尖溫度與切削平均溫度	191
9.3.5 由切屑顏色推定刃尖溫度	192
9.3.6 切削條件與切屑顏色	193
9.4 由切屑判定切削條件是否適當	194

第10章 被削性、經濟工具壽命及切削條件的選定 199

10.1 被削性（machinability）	199
10.2 難削材與其對策	204
10.3 被削性改善對策	206
10.4 快削材（快削鋼 free cutting steels）	207

10.5	脫氧銅.....	208
10.6	切削條件與工具壽命方程式（鋼）.....	208
10.7	機械加工的經濟性.....	211
共通符號.....		219
機械加工練習題.....		222

第 1 章 總 論

1-1 加工技術的任務分派

機械製造的原則是在指定的期限內，盡量低成本製成規定的品質。爲此，製造前須對各個零件詳細檢討下列項目：

- (1)加工計劃（加工順序、日程計劃）
- (2)加工機械（型式、精度）
- (3)工模及安裝具
- (4)使用工具（材種、型式、尺寸）
- (5)切削條件（切削速度、進給量、進刀深度、切削油）
- (6)測定機器（型式、精度）
- (7)加工估價（時間、經費、材料費……）

以往，這些作業都由技工出身的領班承辦，但因下述理由，漸改由有高等加工技術的生產技術者（tool engineer）負責檢討前述項目

- (1)工作母機發達（NC 工作母機等）
- (2)切削工具急速發展（品種的選定）
- (3)要求精度升高（尺寸、形狀、表面粗糙度）
- (4)熟練技工不足
- (5)被削材多樣化（難削材增加）
- (6)要求減低生產成本

(7)加工技術信息多樣化(理論、數據、資料庫系統)

(8)管理方式發達(VA, GT, QC)

(9)電腦促使生產系統進步(CAM, CIM, FA)

但是，由前輩技工提供的切削數據是技工長年努力不懈的精華，不亞於技術者用電腦所求的最適條件。

註】VA(Value Analysis)價值分析，QC(Quality Control)品質管制，GT(Group Technology)。

1-2 加工法的分類(新式加工法)

表 1.1 加工法的分類

種 類	大分類	中分類	細 分 類
變形加工	熔融	鑄造	砂模，殼模，金屬模，蠟模*
	塑性變形	直接	鍛造，軋軋，抽製，擠壓，拉延，壓印，滾製*
		間接	液壓成形，液中放電成形*，爆炸成形
附着加工	熔接	融接	電弧，瓦斯
		壓接	電阻熔接，鍛接，摩擦壓接*，爆炸壓接*
	加 焊		加熱加焊，電着，熔射，蒸着法*，覆着*
除去加工	切削	單刃	車削，搪孔，龍刨，牛刨，超精密加工(1962)
		多刃	鑽頭，鉸刀，銑刀，拉刀，切齒，鋸
	研磨	磨削	圓筒，內圓，平面，無心，螺紋，齒輪，工具
		磨石	搪磨，超光製(1935)*
		游離磨料	精研，擦光，液體搪磨(1937)*
	物理、化學加工(能量加工)	化學	化學研磨，腐蝕
		電化學	電解磨削(1930)*
		物理	放電加工*，電子束(1949)*，離子束*(1930)*，雷射加工(1958)*，電漿*，超音波加工(1927)*

*) 表示新式加工法

如表 1.1 所示，從素材加工機械零件的方法大別分為變形加工、附着及除去加工，各又細分類為很多加工法。

表 1.1 中標註 * 者為最近 50 年間開發的新加工法，可加工超硬質材料或進行超微細加工（超精密）。

本書不大觸及變形、附着加工，主要敘述除去加工——特別是切削加工。

1-3 加工技術的歷史

人類從石器時代（50 萬年 ~ 1 萬年前）就用各種手工工具製造農具、武器、織布機等機器、裝置、構造物。

但是，工作母機、工具具備現今型式、特性是 18 世紀後半的產業革命利用機械動力後，只約 200 年的極短期間。

瓦特發明蒸汽機，為製造蒸汽機而開發搪床、為製造手槍、鑽頭而開發銑床。另一方面也利用優秀的工作母機和加工技術製造高精度機械（例如人造衛星）。

如此，欲生產的機械器具、製造它所需的工作母機、工具、測定器、加工技術、名匠技能（前輩技能）互相關連而發達，造成今天的技術進步，表 1.2 示其關係。

泛用工作母機及一般加工法的型式及性能在 1920 年頃大致奠定現在的基礎，20 世紀後在理論上解明向來依賴經驗的切削加工，也開發特殊加工（能量加工等）。

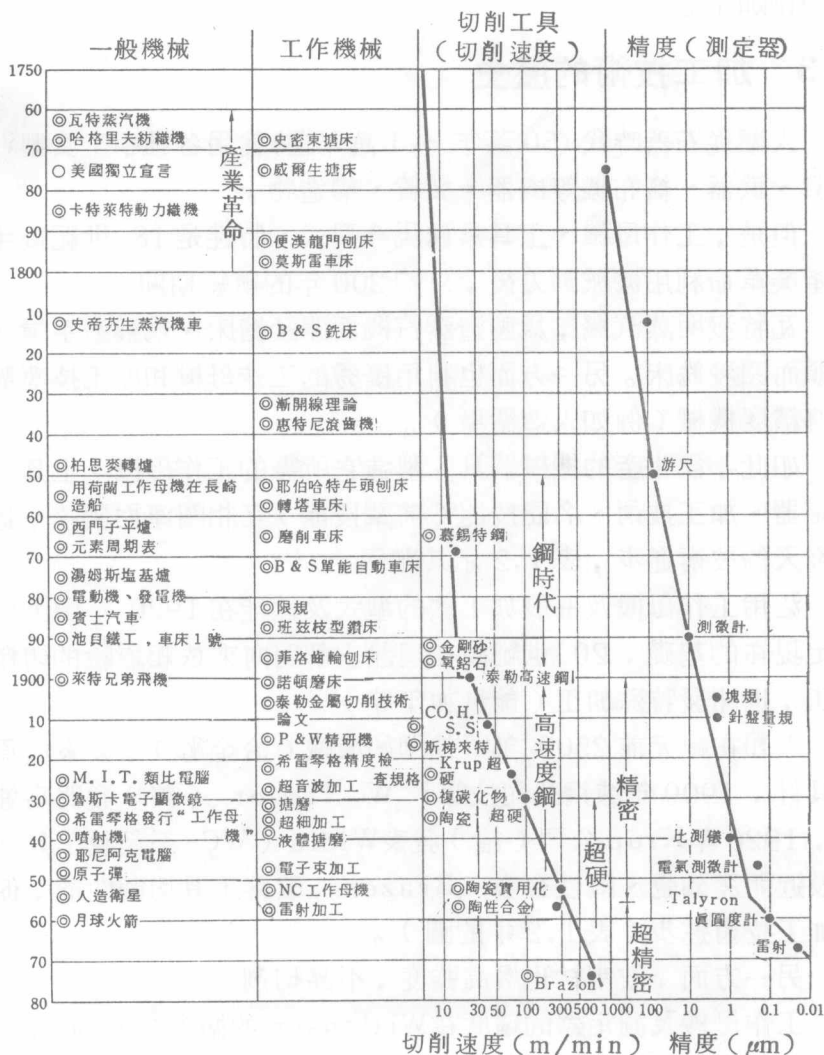
人類在紀元前 2500 年頃就開始煉鐵（冶金術），後來成為工具材，1900 年煉鋼公司技師 F.W. Taylor（美）發明高速鋼，1926 年 Krup 公司（德）發表 Widia（WC 系超硬工具），最近開發陶瓷、陶性合金、Brazon，改善工具切削性能，促使加工技術進步（表 1.2 中的圖）。

另一方面，被削材也增高強度，不易切削。

工作母機及測定器的精度在 Wilkinson 的搪床約 1 mm，

1900 年測微計為 0.01mm ，1940 年比測儀為 $1\text{ }\mu\text{m}$ ，150 年間改進 3 位數。把 Talyrond 真圓度測定器、雷射用於測定後達 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ ，最近 40 年的測定精度進步 2 位數，使加工技術大幅進步（表 1.2 右圖）。

表 1.2 技術年表



第 2 章 切削理論

2-1 切削的概念

金屬切削在 1900 年前宛如斧頭劈材，隨工具的前進，被削材在工具前被拉裂。

但因切屑厚度為進刀深度的數倍厚，切屑長度比切削長度短，目前以圖 2.1 為切削的基本形式。切削由被削材（work，工件）、工具（tool）、切屑（chip）組成，工具有前傾角（rake angle， α ）、離隙角（clearance angle， δ ）。

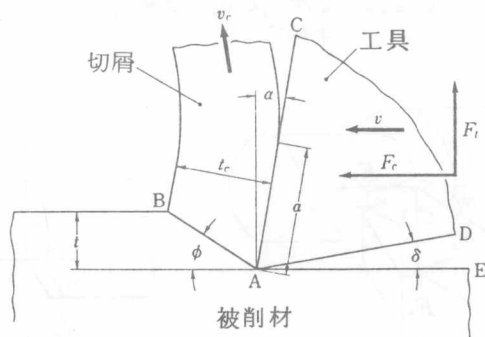


圖 2.1 切削基本形式

對工具施加進刀深度（depth of cut， t ）而切削時，被切削部份因工具前傾面 $\overline{AC}$ 而受強大壓力、被壓縮， $\overline{AB}$ 面在 $\overline{AB}$

方向發生剪斷，成為厚 t_c 的切屑，連續流出 $\overline{AC}$ 面。

下述三面在切削上有重要意義

- (1) 剪斷面 $\overline{AB}$ (shear plane)
- (2) 切削剪斷面 $\overline{AC}$ (chip-tool interface)
- (3) 加工面 $\overline{AE}$ (tool-work interface , machined surface)

第1面有被削材的塑性變形、第2面有摩擦和工具磨耗、第3面有工具磨耗、加工面粗糙度及加工面的殘留應力成問題。刃尖稜A雖當成銳利線，微視上仍有圓角（一般切削工具約 $3\ \mu\text{m}$ ，細心磨削時約 $1\ \mu\text{m}$ ）。

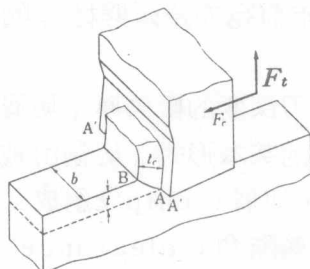


圖 2.2 2次元切削（龍刨，牛刨）

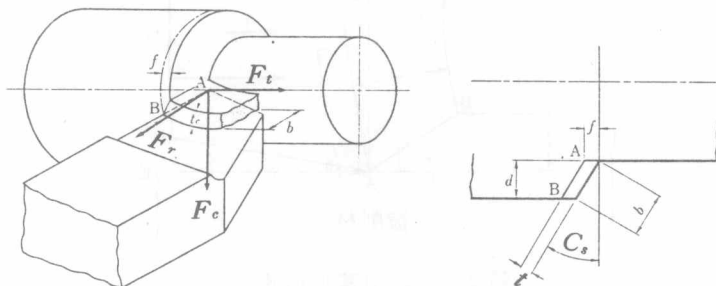


圖 2.3 3次元切削（車削）

如圖 2.2 所示，在龍刨、平刨及車削的切斷作業，切刃垂直

於切削方向時稱為2次元切削(orthogonal cutting)。

圖2.3是切刃在切削方向的角度,此稱3次元切削(three-dimensional cutting)。3次元切削沿切刃 $\overline{AB}$ 考察時,也可視為2次元切削,此時,3次元切削的進給量 f 、進刀深度 d 與2次元切削的進刀深度 t 、切削寬度 b 有下示關係

(圖2.1,2.2,2.3)

$$\left. \begin{array}{l} \text{進刀深度} \quad t = f \cos C_s \\ \text{切削寬度} \quad b = d / \cos C_s \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

其中, f 為進給量(mm/rev)、 d 為進刀深度(mm)、 C_s 為切刃傾角(橫切刃角)。

如圖2.4所示,鑽頭可視為有傾角 C_s 的兩車刀(切刃 AA' , BB'),進給量 S (mm/rev)、鑽頭直徑 D (mm)與2次元切削 t 、 b 之間有下示近似關係

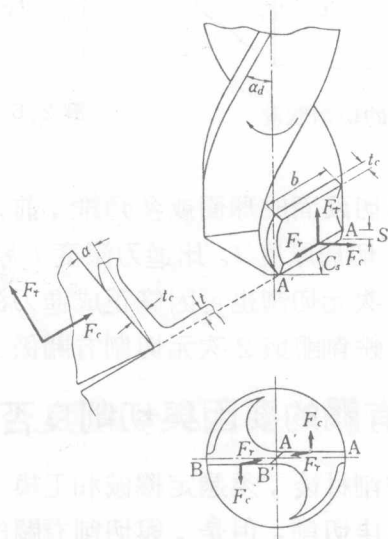


圖2.4 3次元切削(鑽頭)