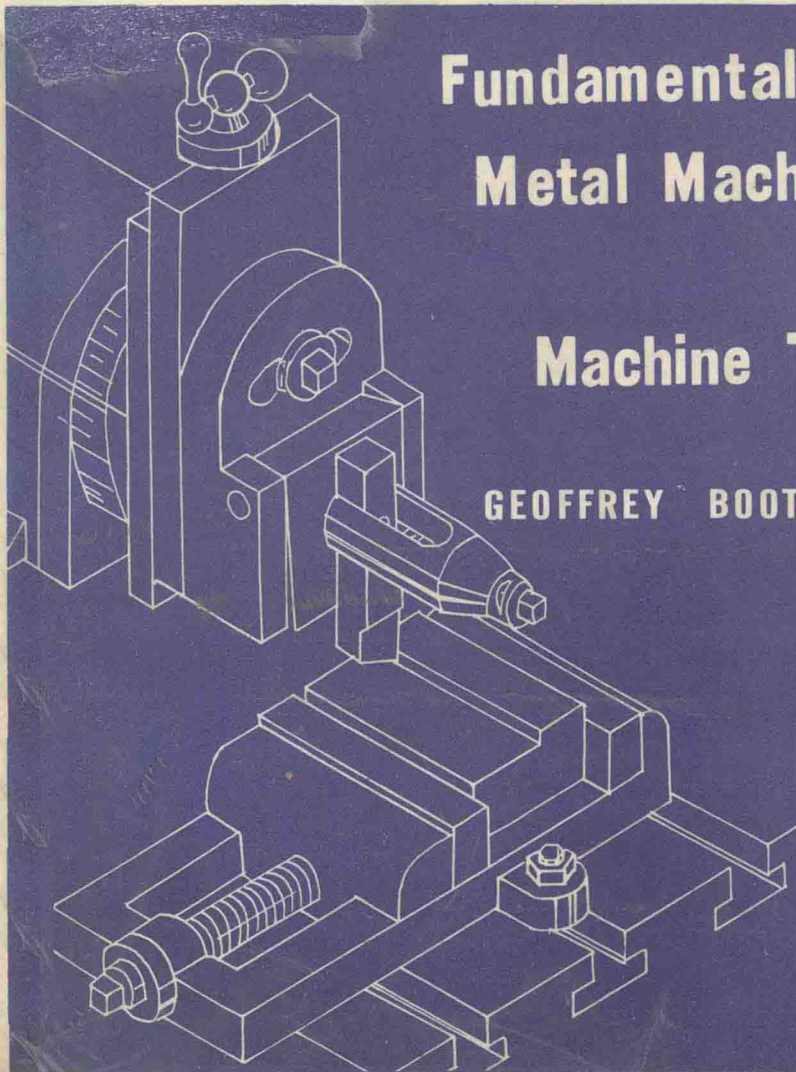


金屬切削原理 與工具機

許彥夫・楊純智 編譯

Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools

GEOFFREY BOOTHROYD



復文書局

金屬切削原理與工具機

Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools

GEOFFREY BOOTHROYD

江苏工业学院图书馆藏
藏书章

楊純智編譯

復文書局

金屬切削原理與工具機

版權所有



翻印必究

中華民國六十七年六月初版發行
中華民國七十二年七月修訂再版

平裝特價124元 精裝特價164元

著 者 者： GEOFFREY BOOTHROYD

編 譯 者： 許 彥 夫 • 楊 純 智

發 行 者： 吳 主 和

發 行 所： 復 文 書 局

地址：臺南市東門路421巷28號

門市部地址：台南市林森路二段 63 號

電話：(062)370003 . 386937

郵政劃撥帳戶 32104號

No.28. LANE421 DONG-MEN
ROAD TAINA TAIWAN REPUB-
LIC OF CHINA

TEL : (062)370003 . 386937

行政院新聞局登記證局版台業字第 0 3 7 0 號

序 言

本書主要是爲了那些正在學校裡教授或研習工具機及切削加工原理的師生而編寫出來的；但對於工廠內的從業人員而言，本書亦可充作爲一本實用之參考書籍。

本書內所包含的數學業經很慎重地精簡，而在事實上，只要你曾修習過有關於統計學及動力學之基礎課程，並且擁有微積分的一般觀念，那麼，在研讀了解這本書的過程中，你將不會感到有困難的存在。

坊間現存有關於切削加工的書籍，多是利用“純敘述”的方式來討論有關的課題；而本書則是藉重基本原理及理論分析的探討，來彰明出各相關現象之成因，及其在實際加工中所將造成的影響。

在此，我要感謝那些曾在本書的編寫過程中，給與我直接或是間接幫助的同事們，尤其是研究生 P.W. Wallace, C.Cassin, K.K. Mitra, L.E. Reinhart, 及 J.F. Sarnicola 等人，由於他們的鼎力相助，本書乃能順利付梓。

最後，更要感謝曾爲我細閱本書手稿，及供給我許多有益建議的麻省大學教授 Dr. L.E. Murch；此外，Ms. Donna Mougin 的打字，以及 Ms. Lyla Wilson 的幫忙備製資料，亦令我由衷的感激。

G. B.

目 錄

第 1 章 工具機與加工操作.....	1
1.1 緒言.....	1
1.2 工具機運動的產生.....	2
1.3 單刃切削的工具機.....	4
1.3.1 車床.....	4
1.3.2 單刃切削刀具.....	6
1.3.3 典型的車床操作.....	9
1.3.4 車床上工件及刀具之夾持.....	13
1.3.5 其他型式之車床.....	15
1.3.6 立式啞床.....	16
1.3.7 臥式搪床.....	17
1.3.8 牛頭刨床.....	19
1.3.9 龍門刨床.....	22
1.4 多刃切削的工具機.....	23
1.4.1 多刃切削刀具.....	24
1.4.2 鑽床.....	24
1.4.3 臥式銑床.....	28
1.4.4 立式銑床.....	33
1.4.5 拉床.....	37
1.4.6 螺絲攻與螺絲模.....	39
1.5 利用磨擦輪加工的工具機.....	40
1.5.1 磨擦輪.....	40
1.5.2 具水平式機軸之面磨床.....	42
1.5.3 具垂直式機軸之面磨床.....	44
1.5.4 圓柱面磨床.....	46
1.5.5 內面磨床.....	47
1.6 工具機特性及其切削方程式之摘述.....	49

參考文獻	57
問 題	57

第2章 金屬切削的力學 60

2.1 緒言	60
2.2 名詞及定義	62
2.3 切屑之形成	63
2.3.1 連續式切屑	65
2.3.2 具組合切刃之連續式切屑	65
2.3.3 不連續的切屑	66
2.4 作用於刀具上之力量及其測定法	66
2.5 切削所需之能量比值	67
2.6 犁削作用力及尺寸效應	69
2.7 工件材料之平均剪切強度	71
2.8 切屑厚度	73
2.8.1 厄斯特氏及默前氏之學說	74
2.8.2 李氏及謝佛氏之學說	77
2.8.3 實驗之證據	80
2.9 切削加工時之摩擦	82
問 題	87

第3章 金屬切削時之溫度 89

3.1 金屬切削所生之熱量	89
3.2 移動材料中之熱量傳送	90
3.3 切削加工時，材料內之溫度分布	92
3.3.1 基本變形區內之溫度	93
3.3.2 次變形區中之溫度	95
3.3.3 例題	97
3.4.4 切削速度對於溫度之影響	100
3.4 切削溫度之測定	100
習 題	102

第4章 刀具壽命與刀具之磨耗..... 104

4.1 緒言	104
4.2 漸進式之刀具磨耗	104
4.3 金屬切削加工中之磨耗形式	105
4.3.1 凹痕性磨耗	106
4.3.2 刀腹磨耗	106
4.3.3 刀具壽命之標準	107
4.3.4 高速鋼刀具與陶瓷刀具所共用之刀具壽命標準	108
4.3.5 燒結碳化物刀具所通用之刀具壽命標準	108
4.3.6 刀具壽命	108
4.3.7 早期之刀具破壞	110
4.3.8 組合切刃之影響	110
4.3.9 刀具斜角的影響	111
4.3.10 切削速度及進刀量對於凹痕及組合切刃之形成所生的影響	113
4.4 刀具材料	115
4.5 工件材料	117
4.5.1 刀具之磨耗與切削性之測試	117
4.5.2 影響到金屬切削性的因素	119
問題	119

第5章 切削工作液與表面粗度..... 121

5.1 切削工作液	121
5.2 冷却劑的作用	121
5.3 潤滑劑的作用	122
5.3.1 邊界層潤滑	122
5.3.2 金屬切削中的潤滑	125
5.3.2.1 CCl_4 的潤滑機構	126
5.3.2.2 施加於金屬切削中之有效潤滑劑的特性	127
5.4 表面粗度	129
5.4.1 理想表面粗度	130

5.4.2 自然表面粗度	134
5.4.3 表面粗度之測定	136
問 題	138

第6章 金屬切削操作之經濟學 139

6.1 緒言	139
6.2 進刀量之選擇	140
6.3 切削速度之選擇	141
6.4 在最低成本及最低生產時間情況下之刀具壽命	145
6.5 決定最佳切削情況所需之因素估算	146
6.6 定常切削速度下操作之舉例	148
6.7 具最大效率之加工機製	150
6.8 平面切削之加工	152
6.9 斷續性之切削操作	156
6.10 關於各種不同刀具材料及刀具設計之經濟學理	157
問 題	161

第7章 切削刀具之術語 164

7.1 緒言	164
7.2 切削刀具之術語系統	166
7.2.1 英制最大斜角系統	166
7.2.2 美國標準協會所用之系統	167
7.2.3 德國系統	168
7.3 新的國際標準系統	170
7.3.1 刀具手持系統以及刀具使用系統	171
7.3.2 定位系統	175
7.3.3 刀具手持系統與刀具使用系統間之數學關係	177
7.3.4 例題	178
7.3.5 自工作斜角算出其刀具斜角	179
問 題	180

第8章 切屑之控制	182
8.1 緒言	182
8.2 切屑之破斷裝置	184
8.3 對切屑曲度半徑之預測	187
8.4 在切屑破斷中之刀具磨耗	190
問題	192
第9章 工具機的振動	193
9.1 緒言	193
9.2 受力之強迫振動	193
9.3 自激振動	198
9.4 金屬切削的動力學	199
9.4.1 改變未變形切屑厚度所造成的影響	200
9.4.2 斜角及餘隙角變動所造成之影響	207
9.4.3 切削過程中之穩定性	208
9.4.4 振顫之再生	211
問題	212
第10章 輪磨	213
10.1 緒論	213
10.2 磨輪	213
10.2.1 磨粒種類	214
10.2.2 磨粒形狀	214
10.2.3 結合劑	215
10.2.4 組織	215
10.2.5 磨輪之標記	215
10.3 輪磨狀況對磨輪之影響	217
10.4 切削顆粒密度之決定	218
10.5 磨輪試驗	219
10.6 輪磨過程分析	219

10.6.1	火花放散時間的估計	222
10.6.2	輪磨之等價直徑	226
10.6.3	易磨材料之工件磨耗參數	228
10.6.4	範例	229
10.6.5	抗磨材料之工件磨耗參數	230
10.7	磨輪磨耗	232
問 題		233

第11章 製造系統與自動化

11.1	引言	234
11.2	製造系統	235
11.3	傳送機械	238
11.3.1	傳送機械的經濟價值	239
11.3.2	例題	241
11.4	自動化機器	242
11.4.1	自動化機器的經濟價值	243
11.4.2	例題	243
11.5	數值控制機器	244
11.5.1	數值控制機器之經濟分析	245
11.5.2	例題	246
11.6	各種自動化系統經濟價值的比較	246
11.7	群組技術	247
11.8	電腦的應用	248
11.9	批量生產中工件的運送操作	249
11.10	未來展望	249
習 題		250

第12章 機製的設計工作

12.1	引言	251
12.2	標準化	252
12.3	物料的選擇	252

12.4	工件材料的外形	254
12.5	製品的外形	256
12.5.1	分類	256
12.5.2	旋轉式製品 $[(L/D) \leq 0.5]$	258
12.5.3	旋轉式製品 $[0.5 < (L/D) < 3]$	264
12.5.4	旋轉式製品 $[(L/D) \geq 3]$	265
12.5.5	非旋轉式製品 $[(A/B) \leq 3, (A/C) \geq 4]$	268
12.5.6	非旋轉式製品 $[(A/B) > 3]$	272
12.5.7	非旋轉式製品 $[(A/B) < 3, (A/C) < 4]$	272
12.6	製品的組立	275
12.7	準確度與表面光度	278
12.8	運動設計	280
12.9	設計準則的摘要	283
習題		284

第13章 電切削加工

13.1	緒言	287
13.2	放電加工	288
13.2.1	放電加工之原理	288
13.2.2	控制工具移動之伺服機構	290
13.2.3	工具之損耗與工具材料	290
13.2.4	介電工作液	291
13.2.5	加工後工件表面之情況	291
13.2.6	工件材料之移除	292
13.2.7	精確度	292
13.2.8	各種電力因素所造成之影響	293
13.2.9	應用	293
13.3	電化切削加工	294
13.3.1	電化切削加工之原理	294
13.3.2	電解質	295
13.3.3	材料移除速率	296

13.3.4	加工後工件表面之情況	297
13.3.5	工具餵進速率及供應電壓值對成品精確度所生之影響	297
13.3.6	工具外形之修整	298
13.3.7	應用	298
13.4	電解研磨	299
問 題		300

附錄 I 測力計之設計 301

I.1	緒言	301
I.2	使用位移計之測力計	302
I.3	使用應變規之測力計	305

附錄 II 實驗 308

II.1	實驗 1：切屑形成之觀察	308
II.1.1	緒言	308
II.1.2	實驗裝置	309
II.1.3	實驗步驟	309
II.2	實驗 2：測力計之校準刻度裝置	310
II.2.1	緒言	310
II.2.2	實驗裝置	311
II.2.3	實驗步驟	311
II.2.4	結果之分析	311
II.3	實驗 3：正切削中，切削速度及進刀量對切削所生之影響	313
II.3.1	緒言	313
II.3.2	實驗裝置	314
II.3.3	切削條件之擇定	314
II.3.4	實驗步驟	315
II.3.5	討論	316
II.4	實驗 4：正切削中刀具斜角之影響	316
II.4.1	緒言	316
II.4.2	實驗裝置	317

II · 4 · 3	實驗步驟	317
I · 4 · 4	討論	317
I · 5	實驗 5：潤滑劑的使用所造成之影響	318
II · 5 · 1	緒言	318
II · 5 · 2	實驗裝置	318
II · 5 · 3	切削條件之擇定	319
II · 5 · 4	實驗步驟	319
I · 5 · 5	討論	319
II · 6	實驗 6：刀具之磨耗	319
II · 6 · 1	緒言	319
II · 6 · 2	實驗裝置	320
II · 6 · 3	切削條件之擇定	320
II · 6 · 4	實驗步驟	321
II · 6 · 5	討論	321
II · 7	實驗 7：車削後之工作表面粗度	321
II · 7 · 1	緒言	321
II · 7 · 2	實驗裝置	322
II · 7 · 3	切削條件之擇定	322
II · 7 · 4	實驗步驟	323
II · 7 · 5	討論	323
II · 8	實驗 8：切削溫度之測定	323
II · 8 · 1	緒言	323
II · 8 · 2	實驗裝置	324
II · 8 · 3	切削條件之擇定	325
II · 8 · 4	實驗步驟	325
II · 8 · 5	討論	325
索 引		327

第1章

工具機與加工操作

1.1 緒言

金屬切削的歷史源始於十八世紀的後期，其時以前工具機尚未產生，而對於一些當時的製造概念，吾人可由英國工程師理查·雷諾（Richard Reynolds）在1760年10月間日記的摘錄中窺知；當時理查正致力於一種能汲取煤坑中水的救火機之汽缸製造，此汽缸為鑄銅製，長9英尺，內孔直徑28英吋，理查·雷諾的日記中稱：在砍修了兩根松木樑，使之具有「能使汽缸固立於泥土中」之適宜形狀後，一位鉛管匠被招至以從事一塊鉛的鑄造，這是一塊置入汽缸內部的鉛，在其兩邊附有溝板及油灰，並使之具有可配合汽缸周邊的形狀曲線，如此一來乃能促進汽缸與鉛塊的摩擦。之後，我又在鉛塊上環附了兩根鐵棒，以便能繫上繩索。就這樣藉著六位剛健而敏捷的人各緊抓一根繩索，同時並在汽缸內緣塗抹了金剛砂及鯨油的情況下，在汽缸內的鉛塊便開始被拉動了，而與鉛塊接觸到的汽缸內圓部即因摩擦而漸成極度光滑的表面。接著汽缸再旋轉少許於是與鉛塊新接觸的汽缸表面亦能加工至光滑。如此步驟繼續進行，直到人員付出了細緻的辛勞及相當的勞力後，整個汽缸內部乃能磨至非常圓的程度。我對這件工作懷有莫大的樂趣，因為——截至目前為止，在這現有的知識領域中，其乃是一種最好的方法。

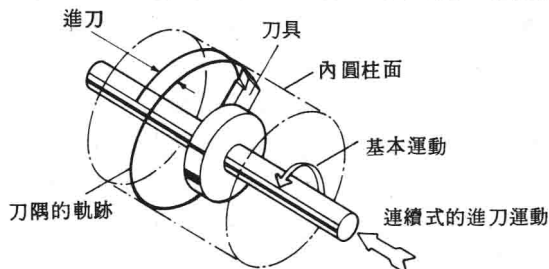


圖 1-1 臥式搪孔中之圓柱面製造

2 金屬切削原理與工具機

1776 年，詹姆士·瓦特（James Watt）成功地建造了第一部蒸汽機，而在他發展這部機器時所遭到的最大困難之中，有一項便是關於汽缸鑄件的搪孔問題。他嘗試的第一個汽缸是由金屬板所製，然而却不能使之汽密，甚至使用布、皮革、脂臘以填塞汽缸與活塞間空隙的努力也全是白費，直到最後，這些問題終於在約翰·韋金遜（John·Wilkinson）發明了臥式搪床後得到解決。這部機器具有一搪桿（boring bar），搪桿乃置於搪缸外之軸承上。而切削刀具則架置於搪桿上。搪桿能夠旋轉，並且此刀具可在切削工件使成圓筒面的過程中，不論未加工表面的粗糙度，繼續進刀（Feed）（圖 1-1）這部搪床是第一部有效能的工具機，便是因為此部機器的出現，瓦特乃能造成蒸汽機。

今日，工具機已成為我們工業的基礎，並且正直接或間接地被使用於現代文明所有產品的製造上。

1.2 工具機運動的產生

「利用工件（workpiece）與切削刀具間適宜的相對運動，以製得吾人所需的表面」乃是所有的工具機所依據的法則，加工時，刃口（Cutting edge）會移除一層工件材料，這層移去的材料，即稱之刨花（shaving）或切屑（chip）。工具機加工製得的表面，其最簡單者乃平面及內圓筒面（或外圓筒面）。

舉例言：如果工具是沿一直線作前後向的往復式運動，而工件乃在工具下方，並沿工具運動的垂直方向逐漸進料以繼續被加工，則最後此工件表面將成一平面；同樣地，藉著旋轉工件，並使工具沿著工件之迴轉軸之平行向以行進刀，便可獲得一圓筒面。因此，一般而言，必須有兩種的相對運動由切削工具機來供應，這兩種運動稱之基本運動（Primary Motion）及進刀運動（Feed Motion）分別定義如下：

1. 基本運動乃由機器工具或人力式供應的主要運動，其乃導致刀具與工件間之相對運動，以期使工具刀面趨近於工件材料，通常此一運動乃吸收耗用了使機器操作所需之大部分動力。
2. 進刀運動乃由刀具所供應的運動，此運動與基本運動聯合作用，便會導致切屑間歇式或連續式的脫落，而可使工件表面被加工至所預期獲得之特殊性質機製面，此一運動可以間歇方式或連續方式地來進行，而無論用何方式其僅吸收耗用了使機器操作所需動力的小部分。

為了便於敘述機器刀具的運動，吾人乃使用一種由國際標準機構（

International Organization for standards ISO)所推介之工具機坐標軸系統 (System of machine tool axes)。雖然此一系統原是爲了數值控制方面的機器而建立的，但它亦可能會被大眾接受而成為一所有機器刀具所能引用的通用系統。此系統乃基於右手坐標系 (right-hand coordinate system) (圖 1-2 (a))，而可表示出刀具可能進行的運動，其三坐標軸爲X、Y及Z，可指示出刀具的直線運動，而運動A、B、C則能分別指示出刀具對各軸所作的迴轉運動。爲了明瞭在此系統中所使用的符號通則 (Sign Convention)，吾人可假想右旋的螺紋列置在各軸上，如果旋置在任一軸上的螺帽迴轉時，可使此螺帽沿此軸的正向移動而遠離原點，則此螺帽的迴轉運動「規定」爲正 (positive)。

一種特別的機器刀具只能沿幾個可能的方向運動 (如圖 1-2 (a)所示) 然而，在此刀具運動中所真正沿依的方向被標示出之前，吾人應先定出坐標系統相對於此刀具的方位，定此方位之法如下：

運動的Z軸乃被安排平行於機器心軸 (Spindle) 之軸向，其可充作基本運動的方向，若此機器沒有心軸，則Z軸可令爲垂直於「工件夾持面」的方向。沿Z軸的正向移動，當可使工件與刀具夾持裝置間的距離漸增。

X軸宜儘可能地置處水平且平行於工件夾持面，在沒有主心軸的機器上，X軸乃平行於切削 (基本運動) 的主方向；在具有迴轉式工件的機器上，沿X軸之運動方向是徑向的，且平行於橫滑台 (Cross Slide) 工具向工件迴轉軸線後退的運動方向，定義爲X軸的正向)，而對於具有迴轉型刀具的機器言：

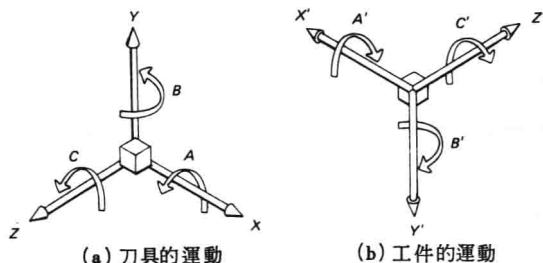


圖 1-2 指示工具機運動的坐標系統

1. 若Z軸爲水平，則自機器主心軸的位置，向工件的方向看去時，X軸的正向應該是向右邊的方向。
2. 若Z軸爲垂直，則自機器主心軸的位置，向機器支柱的方向看去時，

X軸的正向，亦應是向右邊，Y軸的正向則可在完成圖1-2(a)之坐標系之要求下擇定。

對置於工具機上工件之運動，吾人亦可定出一類似的坐標系以敷應用（圖1-2(b)），但其指示的符號宜另在字母的右上方加上一撇，且其符號通則與前述者相反。如此做的理由可由下例來說明：如果「刀具」是藉著沿X軸正向的運動來趨近工件，則同樣的工作效果亦可由「工作」沿著X'軸正向的運動來達成。

若干應用普遍的工具機及其所作的運動將在以下的段落中，加以敘述討論，而這些工具機實可歸化成三個類型：

1. 使用單刃（Single-point）以行切削的工具機。
2. 使用多刃（multipoint）以行切削的工具機。
3. 利用摩擦輪的工具機。

吾人首先將討論單刃切削式的工具機，並以其應用最普遍的車床開始這段討論，在車床及其操作的介紹中，將會陸續導出極多的術語及定義，而這些乃能廣泛地應用於所有加工操作的討論中，討論敘述將顯得很冗長，但由於其中嶄新國際性通用術語的引用，乃確增了此種敘述所具之重要性，甚至對那些非常熟悉加工操作的人士而言，此項重要性仍不能被減滅。

為了便於表達，“機製”（machining）這個名詞將被引用以表任何一種自工件上逐漸去除材料的過程，而不論此項過程究竟是單刃切削或多刃切削或是利用摩擦輪以行的研磨。

對每一種機製加工言，吾人將展立出預估操作所需時間及功率（動力）的方程式，而對於此類方程式及其相關機器的特性（包括其速度範圍，進刀行程範圍、功率、效率、尺寸及精度）、工件材料的特性，吾人亦將在本章末尾列出一份摘述。

1.3 單刃切削的工具機

1.3.1 車床

圖1-3(a)所示乃車床，它包括一臥式床台，台上支持著車頭（headstock），車尾（tailstock）及刀具溜板（Carriage），所有的工具機均有其夾持工件的方法，在圖1-3中，工件的一端被位於機器主軸（main spindle）末端之夾頭（chuck）抓緊，而另一端則被位於車尾的頂尖（center）頂持住。車尾部可以沿著床台被夾緊於任何位置，以適合各