

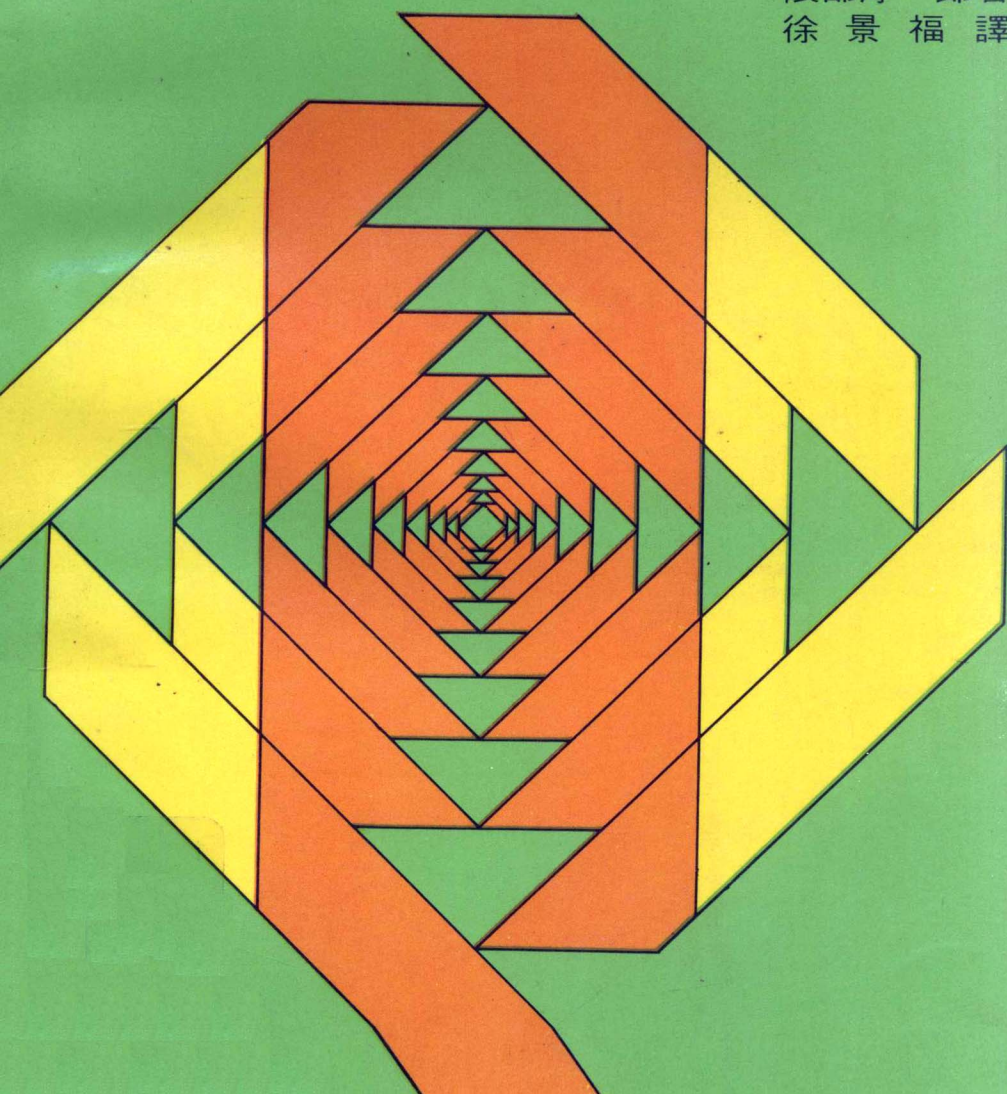
機械工作法

表面加工

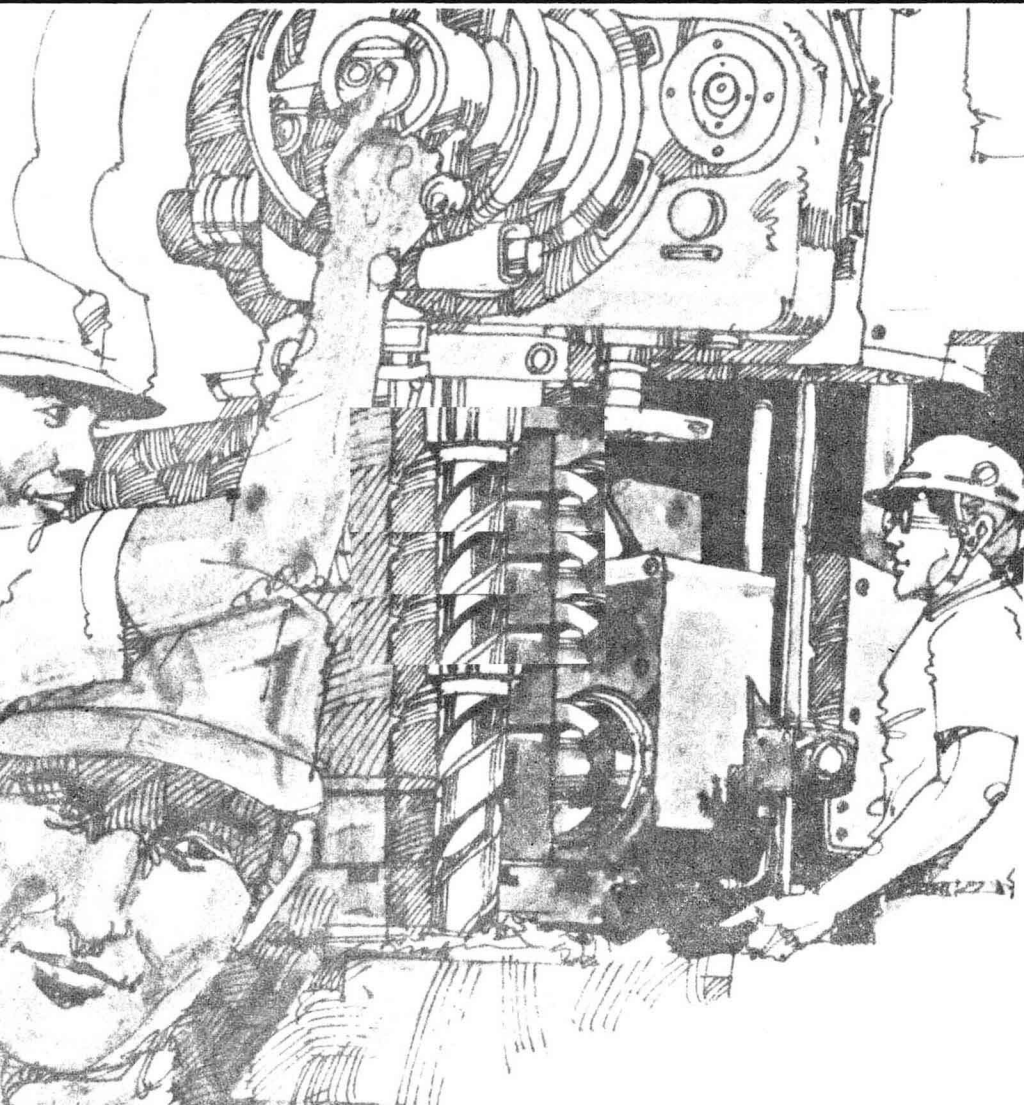
上冊

工學博士隈部淳一郎著

徐景福譯



表面加工



機械工作法表面工加 上冊

譯者：徐景福・C特價一一〇元

出版者：正言出版社

發行者：正言出版社

臺南市衛民街三十一號

本社業經行政院新聞局核准登記登記字號局版台業第0407號

發行人：王 餘 安

印刷者：美光美術印刷廠

臺南市鹽埕7號

中華民國六十五年二月初版

序

筆者經20年之研究，從力學加工中體認出有較具本質性的加工方法，遂創案名為振動切削（振動推斥）加工。自從應用此加工法後，凡百年來吾人所繼承的傳統常識多不能想像者，如高速鋼用超硬合金精密切削，以及淬火鋼用金剛石工具的精密切削等；且由切削當中可發見許多新的事象。此新的事象所及，對於吾人所定的素材空間的手法，非將一向所用以研考之方法更新不可。職是之故，以筆者之新的研考方法為依據，對傳統的機械工作方法給予重新分野，將許多的加工方法以所欲加工工作物的形狀來分類；各種場合之加工方法從新的觀點來解析及詳述，對於加工所必要的機器、器具之研討方法均總括無遺。

向來，機械工作法所處理加工分野，可分類為造形加工（鑄造）、變形加工（塑性加工）、表面加工（切削、研削、放電加工等）、結合裝配等。即素材創造之際，從素材之一部分被除去之方法亦可區分為3類。質言之，素材之一部分被除去可大別為力學性加工（切削、研削）、熱加工（放電加工等）、電氣化學加工（電解加工等）。本書「表面加工」上、下冊即各於加工法研討之觀點而敘述者。

上、下冊第一章，對現行的加工方法之種類及其機構之特徵，以另外一個角度來觀望，並以新的研考方法說明。本章，就工作物的材質、形狀、加工精度選擇適當的加工方法，且對於將來新的加工方法之摸索作可信賴的指引。現在的機械工作法大部分為力學性加工，因此，隨着素材空間之逐漸獲得，工具刀尖當然也漸第損耗。第2章係敘述於力學加工中，所使用工具之種類、損耗之形態以及工具之選擇

基準，並解說損耗工具的修整方法。在力學加工中，由於力、速度而有加工熱發生。此有害之加工熱的對策，除使用適當之加工工具外，並使用適當的切削、研削油劑，於第3章有詳細的說明。第4章，乃說明加工工具給予所定之運動時，工作物最表面之幾何學性形狀（加工面粗度）及表面層所生與素材內部之機械性質之變化。

第5章，敘述在其他書籍未見述及的反轉加工切削、低溫切削、振動切削，解說其應用於精密加工，為本書之一大特色。振動切削簡言之，即以推斥狀之力作用於工作物，但實利用結合彈性體裝配而成的工作機械，實現力學性加工理想之本質性方法。

第6章至第8章為圓筒、平面、孔加工，乃加工之基本。大部分的加工，實係此類的複合及組合而成者。例如：陽螺紋加工乃在圓筒表面約與軸向成直角方向切製加工呈螺線狀槽溝，外齒正齒輪的加工，乃於軸向切製齒槽的加工。陰螺紋、內齒輪加工，乃在孔表面切製槽溝及齒槽。因此，依據圓筒、平面、孔加工之基本研考方法的展開、複合，利用現行加工方法的解析，以及改善對策，相信革新方法的創案當屬可能。第9章為螺紋、齒輪形狀之說明，並對其加工方法之基本性研考方法及具體性方法詳加說明。第10章為切斷加工，包括力學性加工、熱加工、電氣化學性加工等。

第11章，乃敘述利用表面微細凹凸，工具積極的自生作用而加工的方法，為從振動切削理論誘導微細槽自生作用，而最先發表於本書的一種新的研考方法。

筆者才淺學疏，全書內容雖經細心校正，但錯誤當所難免，伏望讀者諸賢不吝指正，俾能逐次訂正改善。

1973 年 5 月

目 錄

1. 加工方法

I. 機械性變形加工	1
1-1 剪斷變形加工	2
1-1-1 切削加工一般	2
1-1-2 研削加工一般	49
1-2 衝擊破碎加工	75
1-2-1 加工機構及特徵	75
1-2-2 加工方法	78
1-2-3 加工裝置	85
1-2-4 作業條件	88
II. 熔融加工	90
1-3 放電加工	90
1-3-1 放電加工裝置	91
1-3-2 加工方法	92
1-3-3 加工裝置	99
1-3-4 用 途	100
1-3-5 加工面之特性	101
1-3-6 加工能率及精度	101
1-4 電子束加工	101
1-4-1 電子束加工機構	102
1-4-2 加工裝置	103
1-4-3 電子束加工之特徵	104

1-4-4	電子束加工之用途	105
1-4-5	加工精度及加工速度	106
1-5	雷射線加工	106
1-5-1	雷射線加工機構	106
1-5-2	加工裝置	107
1-5-3	雷射線加工之特徵	107
1-6	Plasma Jet 加工	108
Ⅲ.	化學性加工	109
1-7	化學腐蝕加工	109
1-8	化學研磨	110
1-9	電解研磨	110
1-10	電解加工及電解研削	111
1-10-1	加工裝置	112
1-10-2	電解加工之特徵	115
1-10-3	電解研削之特徵	117
1-11	各種加工方法之總論	118

2. 加工工具

2-1	切削工具材質	122
2-1-1	碳素工具鋼	122
2-1-2	合金工具鋼	123
2-1-3	高速工具鋼	125
2-1-4	鑄造非鐵合金	125
2-1-5	燒結碳化物合金	125
2-1-6	陶磁工具	129
2-1-7	cermet	130
2-1-8	金剛石	131

2-2 工具形狀	131
2-2-1 切削工具之種類及形狀	132
2-3 工具壽命	141
2-3-1 工具損傷機構	141
2-3-2 工具壽命之判定時期	142
2-3-3 凹口磨耗、腹側磨耗、微剝	143
2-3-4 腹側磨耗之 V_{Bo} 表現法	145
2-3-5 工具壽命曲線	153
2-4 工具研削	156
2-4-1 車 刀	156
2-4-2 鑽 頭	159
2-4-3 絞 刀	159
2-4-4 螺絲攻	160
2-4-5 銑 刀	161
2-4-6 拉 刀	163
2-5 研削工具	165
2-5-1 磨 粒	165
2-5-2 粒 度	169
2-6 研削磨輪	170
2-6-1 由結合劑之不同磨輪之分類	170
2-6-2 結合度	172
2-6-3 組 織	174
2-6-4 研削磨輪之形狀及表示法	174
2-6-5 磨粒及磨輪之選擇	177
2-6-6 磨輪之安裝	178
2-6-7 整形及修銳	178
2-6-8 磨輪之成形	179

2-6-9 磨輪之壽命	179
2-7 研摩布紙	179

3. 切削、研削油劑

3-1 切削油劑之侵入機構及效果	181
3-2 研削油劑之侵入機構及效果	184
3-3 切削、研削油劑之種類	185
3-3-1 水溶性切削油劑	186
3-3-2 氣體及低溫冷却劑	190

4. 加工面之性狀

4-1 加工面之平面度、波度、加工面粗度	191
4-2 切削加工面粗度	192
4-2-1 幾何學加工面粗度	192
4-2-2 切削加工面粗度之表示	196
4-2-3 切削加工面粗度之範圍	196
4-3 磨輪、磨粒之加工面粗度	198
4-3-1 研削加工面粗度之計算式	198
4-3-2 研削加工面粗度之範圍	200
4-4 加工變質層	200
4-5 加工時加工面所生之缺陷	205
4-5-1 研削龜裂	205
4-5-2 研削 burn mark	205
4-5-3 traverse mark	205
4-5-4 Chatter	206

5. 精密加工

5-1 反轉加工切削	208
5-1-1 切削機構	208
5-1-2 切削方法	210
5-1-3 切削效果	216
5-2 低溫切削	228
5-2-1 切削方法	229
5-2-2 加工面粗度	230
5-2-3 切削抵抗	232
5-2-4 切削效果與工作物機械性質之關係	234
5-2-5 被削性之新評價法	235
5-3 振動切削	237
5-3-1 振動方向	241
5-3-2 切削方法	242
5-3-3 切削機構	246
5-3-4 切削效果	270

6. 圓筒加工

6-1 圓筒加工法	275
6-1-1 斷面直徑均勻之圓筒加工	275
6-1-2 斷面直徑變化之圓筒加工	277
6-1-3 斷面非等徑之圓筒加工	282
6-2 切削深度及進給量	283
6-2-1 研削磨輪之切削深度進給量	287
6-3 切削工具、研削磨輪	290
6-3-1 切削工具	290

6-3-2 研削用磨輪	298
6-4 工作物之夾固	302
6-4-1 夾頭方式	302
6-4-2 面板方式	305
6-4-3 縮口夾頭方式	305
6-4-4 雙頂心、雞心夾頭方式	307
6-4-5 中心架	311
6-5 外圓加工作業	312
6-5-1 切削作業	312
6-5-2 研削作業	333
6-6 加工精度	356
6-6-1 加工尺寸、加工面粗度之圖面表示	356
6-6-2 各種作業之加工精度、加工面粗度之標準值	362
6-6-3 關於加工精度之二、三要素	363
6-7 精密圓筒加工	370
6-7-1 鏡面研削	371
6-7-2 高速切削、超高速切削	372
6-7-3 超音波振動銼銳	376
6-7-4 金剛石切削	379
6-7-5 高溫切削	380
6-7-6 低溫切削	383
6-7-7 反轉加工切削	387
6-7-8 振動切削	391
6-7-9 振動進刀切削	397
6-7-10 縱振動傾斜形車刀	398

1. 加工方法

本書所敘述之機械工作法內容，可區分為造形加工、變形加工、表面加工、結合裝配等四大類別。

所謂造形加工，係將熔融之工業材料，注入與裝品外形相當之模穴空間內，俟熔液在模穴內凝固後即行取出的加工。材料經彎曲、壓縮、抗拉等作用，其容積不變，但材料全體之形狀變化、其表面有所需要之凹凸形狀等，此加工法在加工分野上稱為變形加工（塑性加工）；將材料表面之一部份去除，材料全體之容積改變，及至符合吾人所定之尺寸，輪廓為止，此方法在加工分野上稱為表面加工（切削、研削等）。本書上、下兩冊，即以此些類表面加工之分野上，就有關其機械工作法之敘述。

使毛胚材料達到既定尺寸之空間，其機械工作法有①加工以外力實施力學性之削除。②用熱熔解。③使發生化學反應等方法。無論目前或將來，所有機械加工之方法當不會離開此三種形式。本書內容，儘量避免對工作機械構造以及形式之詳細敘述，係以工作機械基本之研討方法，實施具體性之加工法為重點；將其分為①機械性變形加工②熔融加工（熱加工）之物理加工及③化學性加工。以這些方法為基本研考方法，說明其繼承之具體性加工方法及創造性之新方法。

I 機械性變形加工（加力性加工）

機械性變形加工，又可再行分類，一為使用工具，將工作物需要削除之部份，使反覆形成有小剝紋之剪斷變形，切屑一面排出，工具一面進行切削、研削加工的剪斷變形加工。另外為對玻璃、及鑄、砂

2 加工方法

等之半導體材料爲首，至肥粒鐵、水晶等脆性材料所實施之衝擊微細破碎加工。

1-1 剪斷變形加工

1-1-1 切削加工一般

切削機構 (cutting mechanism) 爲研究方法之基本，對於切削理論之研究時經常以之爲解釋對象。圖 1-1 所示者，爲二次元切削 (orthogonal cutting)。

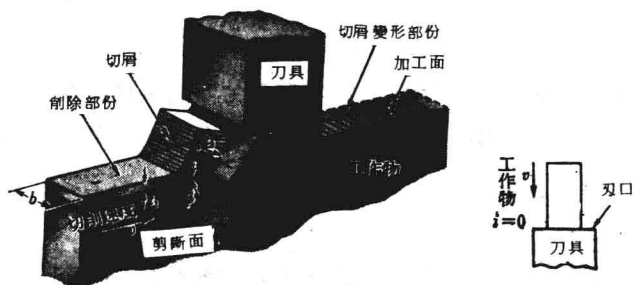


圖 1-1 二次元切削 (龍門鉋床鉋削)

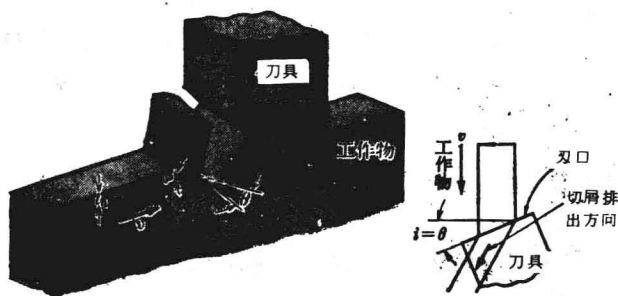


圖 1-2 三次元切削

圖中之二次元切削，乃 $i = 0$ 刀具固定於刀架，切削速度爲 v 對

移動之工作物進行鉋削加工。與刀具之加寬比較起來，工作物寬度狹窄之場合，則工作物與刀具運動剛好相反，即實施牛頭銑床銑削是也（工作物固定）。又，刀具夾於車床刀架上，圓板工作物回轉，刀具作橫進給運動切削以及對圓筒工作物之端面作縱進給切削之場合亦屬於二次元切削之類。

對於切削方向為直角即以 $i = 0$ 安裝刀具，發生主分力 P_c ，背分力 P_f 之二分力之二次切削而言，則圖 1-2 所示，使刃口傾斜， $i = \theta$ 時，發生主分力 P_c ，背分力 P_f ，進給分力 P_f 之切削方法稱為三次元切削（oblique cutting）。

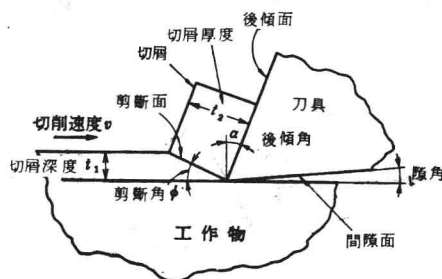


圖 1-3 模型化後之切屑生成機構（圖 1-9 參照）

模型化之切屑生成機構如圖 1-3 所示。其中後傾角 α (Back rake angle)，剪斷角 (shear angle)，切削深度 (depth of cut) t_1 ，切屑厚度 (chip thickness) t_2 等作為重要因子處理。

圖 1-1 中，刀具刀口假設對工作物表面之切削深度為 t_1 ，工作物因運動而得之切削速度為 v ，點線所示為削除部分，小刻紋刀尖之壓縮作用，使剪斷面之剪斷變形反覆發生，職是之故， $t_2 > t_1$ 厚度之厚切屑得以不斷變形。切屑之排出方向係與切削方向（即刃口）成直角。圖 1-2 之三次元切削，受傾斜角 i 之影響，則切屑由圖示之方向排出。所有各式各樣之切削工具，其切削樣式，均以此為基本形式組

4 加工方法

合而成。

磨輪研削之形式，實由切削刀具轉變為磨粒而成，後傾角 α 以及間隙面雖因與工作物之接觸狀態有所差異，但是切屑生成之基本論據，可與刀具以同樣之方式來研究。此圖於1939年為Krystof氏發表以來，廣被利用，但最近則改成如圖1-4之形式，因為刀尖無論磨成如何銳利均易崩潰，且於切削時因刀尖承受重負荷之作用，易發生變形；於是有倡導將刀尖附加微小半徑 R 者。

今後如欲作更進一步之解析時，應將此種研究方法加以考慮，切削抵抗之研究到目前為止，仍為靜力學性上一般值而已，未能進一步的解析，以後所需探討的，是將動態現象，用忠實之動力學性加以解析。

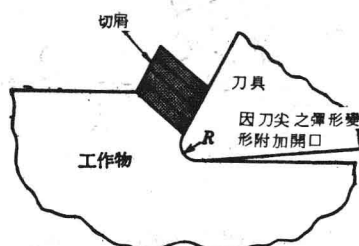


圖 1-4 考慮到刀尖端之變形之研究方法

1. 切屑形態

切削形態，若依Rosenhain及Sturney二氏之分類則有3種類之形態。

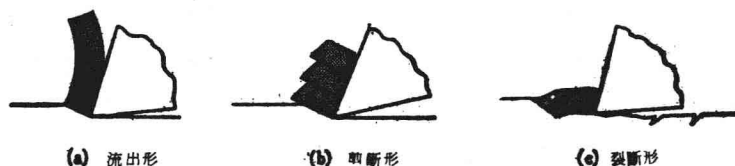


圖 1-5 切屑形態

- (a) 流出形 (flow type chip)
- (b) 剪斷形 (shear type chip)
- (c) 裂斷形 (tear type chip)

如依照最近 Ernst, Merchant 之分類，則多認為有下列之形態。

- (I) 不連續形 discontinuous or segmental chip
- (II) 連續形 (discontinuous chip)
- (III) 伴生膠附層之連續形 (continuous chip with built-up edge)

筆者，從振動切削之機構，對切屑形態看法如下，在圖 1-6 中，

- (a) 流出形 剪斷間隔為非常細短之切屑
- (b) 剪斷形 剪斷間隔較粗長之切屑
- (c) 裂斷形 剪斷間隔極粗長之切屑

將刀尖近傍之切削狀態之高速度照片仔細研究，可知隨切削工具或工作物之振動周期，剪斷面之剪斷變形反覆發生，具有剪斷間隔節

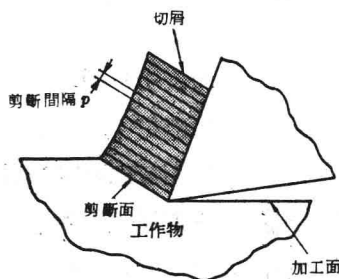


圖 1-6 依剪斷間隔節矩分類，切屑之形態

矩 p 之裂片不斷生成，結果即變為切屑。當然此裂片內，亦有結晶粒界之滑動變形，於是，由於裂片間隔之故，而有切屑形態之分類。

[流出形切屑] 於二次元切削圖中，刀具之振動數，係與切削速度成正比而變化，電動機之回轉能作為刀具之振動能之慣用切削中，切削速度變快時，刀具振動數增高。在刀具每一振動周期，於切削

8 加工方法

方向切削之長度變短，形成剪斷間隔節矩短之流出形切屑。此際，若後傾角 α 稍微增加，切削深度稍減少，工作物材質柔軟且富延性之場合，以及使用切削油有充分潤滑效果的場合，則此流出形切屑節矩更為細短，又，此時之切削抵抗及切削溫度之變化之角振動數 ω 很高，而振幅也小，切削抵抗之變動少。加工面呈小刻紋凹凸面，若與其他形態之切屑加工面比較，可得平滑之加工面，流出形切屑，係在工作物之角振動數 ω_n ，而相形之下切削抵抗之振動數 ω 為極大之場合所發生之切屑形態。

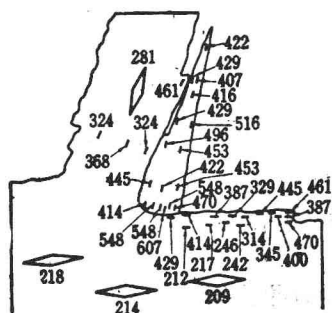
[剪斷形切屑及膠附層] 切削速度緩慢，刀具之角振動數漸漸低落時，剪斷面剪斷間隔節矩次第增長，切屑形態從流出形轉變為剪斷形。

刀具後傾面之刀尖尖端附近，因高溫高壓之切屑和後傾面不斷接觸，後傾面上之金屬原子和切屑裏面之金屬原子，由於親和力之故，容易溶着。隨着切屑之摩擦及流出，切屑之一部分逐漸被積層起來，

如圖 1-7 所示一般，加工硬化變質後而十分堅硬切屑之一部份，附着於刀尖部份，並以此成為刃口，進行切削作用。此種現象係 Schwerd 氏由高速照片所發現，並將此定名為膠附層 (Built up edge)，膠附層一如圖 1-8 所示，經過發生→成長→分裂→脫落，約 $1/10 \sim 1/200$ s 之週期，然後又從頭開始。切削速度大或刀尖溫度高至再結晶溫度以上時，膠附層現象消滅。

低碳鋼之切削速度若為 $120 \sim 150$ m/min，此現象亦消滅。

若善予利用膠附層，實可防止工具刃尖之摩擦。但是，膠附層在一定之週期內反覆着脫，脫落之瞬間，由於作用於刀尖之衝擊力，容



數字表示knoop 硬度

圖 1-7 膠附層之硬度