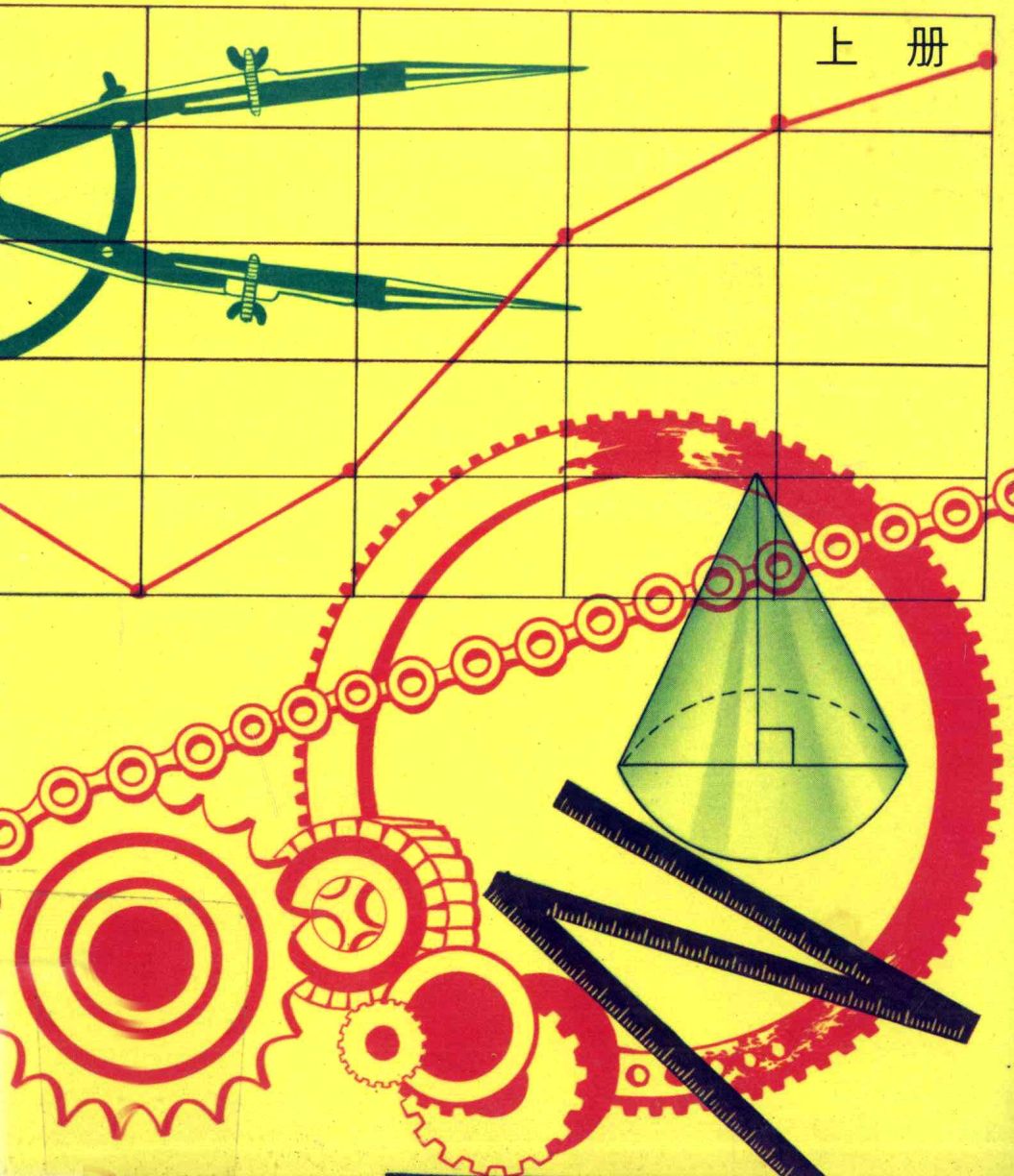


應用機械工學 7

高能率研磨

佐田登志夫著 / 徐進福譯 / 正言出版社印行

上 冊

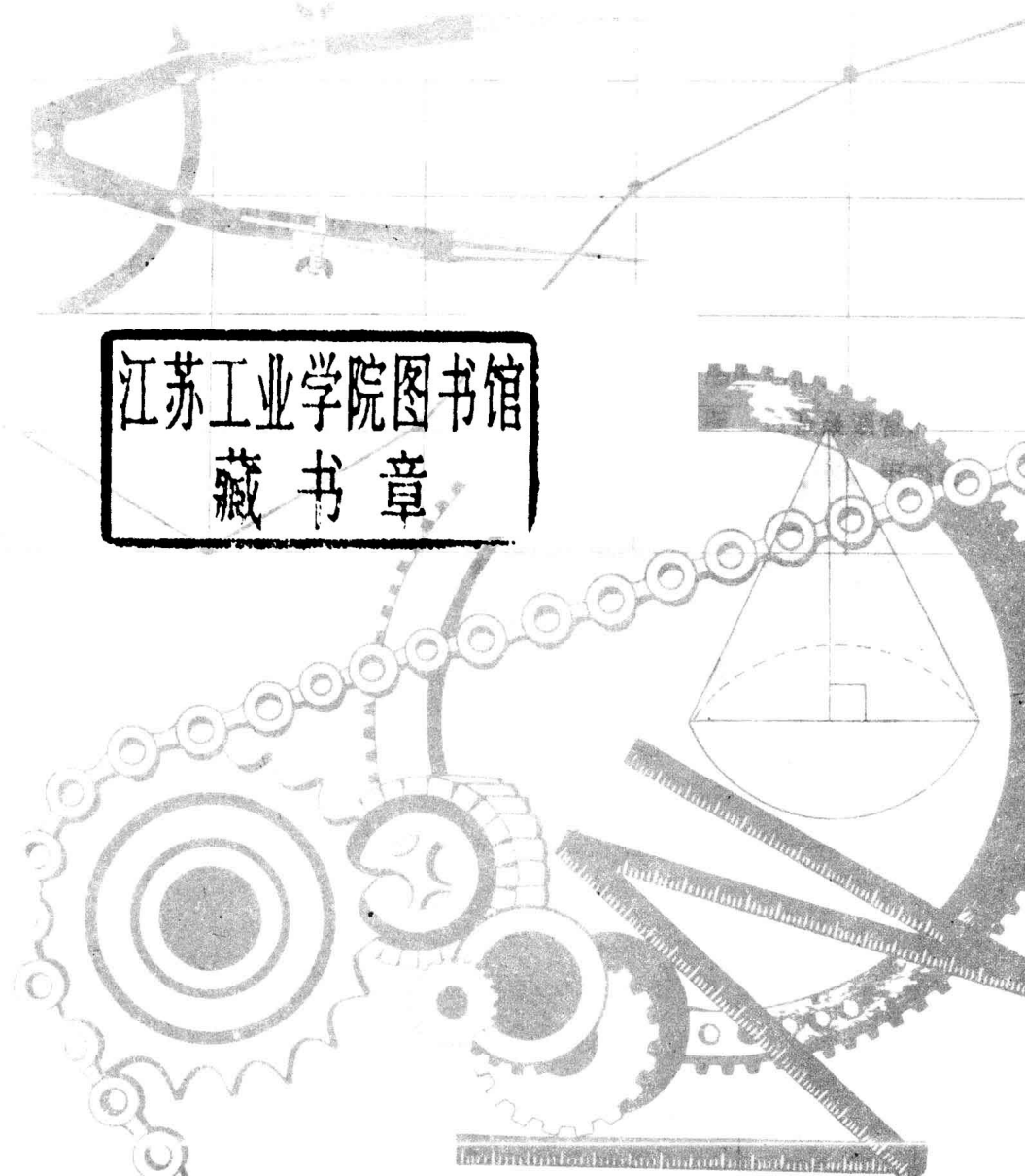


應用機械工學

高能率研磨

佐田登志夫著 / 徐進福譯 / 正言出版社印行

江苏工业学院图书馆
藏书章





高能率研磨(上册)平装

譯者：徐景福◇特價一〇〇元

出版者☐ 正言出版社☐ 台南市衛民街三十一號☐ 郵政劃撥儲金帳戶三一六一四號☐ 電話 (〇六二) 二五二一五五／六號☐ 發行者☐ 正言出版社☐ 發行人☐ 王餘安☐ 本社業經行政院新聞局核准登記☐ 登記字號局版台業第〇四〇七號☐ 印刷者☐ 美光美術印刷廠☐ 台南市塩埕七號

68.3. 初版

譯 序

研磨在機械工場中佔極重要的地位。因為刀具切削雖能獲得相當的精密度，但對於要求淬硬的工件，其最後的精密加工，即非研磨是賴不可。目前，研磨的地位日趨重要，諸多過程不經刀具切削而直接利用研磨，以提高時效。

本書分為二冊，上冊為基礎篇，從傳統的研磨開始而及於最近之研磨機構的研究成果，其次說明油劑及磨床的選擇，以及最適當的高速研磨條件，下冊乃敘述高能率— 高速研磨及重研磨，NC 研磨在講求大量生產的今天，其價值絕不遜於其他的NC機械。

譯者學識淺薄，不當之處容或不免，敬請先進諸君指正。是幸。

譯者識於頭份

六十七年十月

高能率研磨 (上册) 目 錄

第一章 研磨機構概說

1-1 利用磨輪之研磨加工	2
1-1-1 磨粒的作用與磨輪的機能	3
1-1-2 磨輪作業面的形成及其變化	11
(1) 利用修整器之磨輪作業面之形成	13
(2) 於研磨過程磨輪作業面的變化	16
(3) 磨輪作業面的壽命	20
1-1-3 工作物表面的創成	22
1-1-4 研磨加工之諸現象	28
(1) 研磨抵抗	28
(2) 研磨熱	34
(3) 研磨振動	35
1-1-5 結 論	38
1-2 磨輪作業面	38
1-2-1 磨輪作業面性狀的測定	39
1-2-2 於研磨過程，磨粒刃口的 In-process 測定	50
(1) 裝置與測定原理	51
(a) 裝置的構造與機能	53
(b) 測定的原理	53
(c) 由實驗對測定原理的確認	58
(2) 刃口履歷的追跡，判定法	59
(3) 於研磨過程，磨粒刃口的舉動	62
(a) 連續刃口間隔	62

2 目 錄

(b) 磨粒刃口數·····	62
(c) 磨粒刃口的磨耗面分佈 (數與磨耗之同時表現)·····	65
(d) 磨粒刃口的壽命·····	67
(e) 磨粒刃口的磨耗·····	68
(f) 刃口的舉動與加工面粗度·····	71
1-3 研磨加工面粗度·····	72
1-3-1 研磨加工面的表示·····	72
(1) JIS 規格之表示法·····	73
(a) 最大高度·····	73
(b) 十點平均高度·····	74
(c) 中心線平均高度·····	74
(2) 不規則變數理論的表示法·····	75
(a) 平均值·····	77
(b) 確率密度·····	78
(c) 自己相關函數·····	79
(d) power spectral 密度函數·····	80
(e) power spectral 密度的算出法·····	83
1-3-2 研磨加工面的spectral的解析例·····	85
1-3-3 研磨加工面粗度之理論·····	86
1-4 研磨加工變質層, 研削溫度·····	97
1-4-1 加工變質層·····	97
1-4-2 殘留應力, 硬度變化·····	98
1-4-3 研磨割裂, 研磨燒焦·····	101
1-4-4 研磨溫度·····	104
1-5 研磨加工與振動·····	106
1-5-1 機械加工與振動·····	106
1-5-2 機械阻抗, 動剛性·····	108

1-5-3	磨床與振動系	116
1-5-4	磨床與強制振動	120
1-5-5	研磨加工與自動振動	122
(1)	研磨顫動現象	123
(2)	由於再生理論所生之研磨顫動振動現象	125
(3)	磨輪面波度之舉動	127
1-6	由統計性手法對研削機構之研考	132
1-6-1	研磨過程的統計性表現	133
(1)	Mc Adams 之方法	133
(2)	Peklenik 之方法	136
1-6-2	擬態手法究明研磨機構	138
(1)	Baul 與 Shilton 之方法	138
(2)	Rassen 之方法	139
(3)	吉川，佐田，Peklenik 之方法	142
(4)	松井，庄司之方法	146

第二章 磨床作業的基礎

2-1	磨床	153
2-1-1	磨床的種類及用途	155
(1)	圓柱磨床及萬能磨床	155
(a)	圓柱磨床	155
(b)	萬能磨床	161
(2)	無心磨床及微偏心磨床	163
(a)	無心磨床	163
(b)	微偏心磨床	163
(3)	內孔磨床	167
(a)	普通形內孔磨床	167

(b) 遊星形內孔磨床·····	168
(c) 無心內孔磨床·····	169
(4) 平面磨床·····	172
(a) 橫軸往復(角)工作台形平面磨床·····	172
(b) 橫軸圓工作台形平面磨床·····	172
(c) 立軸往復(角)工作台形平面磨床·····	173
(d) 立軸圓工作台形平面磨床·····	174
(e) 兩頭平面磨床·····	174
(5) 工具磨床·····	174
(6) 其他專用性磨床·····	175
2-2 研磨磨輪·····	175
2-2-1 研磨磨輪之表示·····	176
2-2-2 磨粒及其結合劑·····	177
(1) 磨粒·····	177
(2) 結合劑·····	183
2-3 研磨油劑·····	186
2-3-1 研磨油劑的必要性·····	186
(1) 研磨過程中,空氣的任務·····	186
(2) 乾式研磨與濕式研磨的比較·····	188
2-3-2 研磨油劑的種類及其特徵·····	189
2-3-3 研磨油劑的種類及實驗例·····	190
2-4 修整·····	198
2-4-1 修整,整形的意義及目的·····	198
2-4-2 各種修整方式及修整機構·····	201
(1) 金剛石修整·····	201
(a) 利用單石修整器修整·····	201
(b) 利用成形修整器之成形仿磨修整·····	205

(c) 多石金剛石修整器，結合修整器，滲入修整器等之修整	206
(d) 金剛石塊狀修整器的成形修整	209
(2) 軋碎修整	209
(a) 軋碎修整的機構及特性	211
(b) 軋碎修整作業條件的選定及注意事項	213
(3) 旋轉形金剛石修整	214

第三章 研磨作業條件的選定及評價

3-1 最適研磨條件	215
3-1-1 最適研磨作業條件	215
3-1-2 磨輪壽命的判定基準	216
(1) 由工作物形狀精度對磨輪壽命的判定	216
(2) 由研磨加工面對磨輪壽命的判定	219
(3) 由研磨的切削性能對磨輪壽命的判定	220
3-1-3 各種研磨條件對於磨輪壽命的影響	222
(1) 磨床之剛性的影響	222
(2) 研磨磨輪的影響	222
(3) 修整條件的影響	225
(4) 加工條件	227
3-1-4 鋼類之最適研磨作業條件之例	228
3-2 研磨加工之經濟性	232
3-2-1 研磨加工與切削加工之能率比較	232
3-2-2 研磨加工之費用要素	234
3-2-3 研磨加工費用之最適化	235

第一章 研磨機構概說

研磨加工係一面產生切屑，一面改變工作物形狀，其目的不外達到吾人所求之形狀、尺寸、表面粗度，大體上與刀具的切削加工雷同；但如與最接近研磨加工的銑削加工比較，則具有如下所述各種不同的特徵。

1 形狀、尺寸不均勻的刃口，具有立體性不規則的相對位置關係，其各異的強度依靠彈性的連結而構成一種之工具。

2 工具之中，刃口密度高，工作物為多數的刃口作微少量的切削之集積，即用刃口的集團作用而加工，獲得精密的加工面；但於加工過程中，各刃口的作用未必相同，有的刃口並不干涉工作物，有的刃口則不產生切屑，亦有刃口於最終加工面不留下任何切削痕跡者。

3 刃口幾乎均具有甚大的負後傾角，與切削深度等比較，則具有甚大的逃讓面磨耗面，其掘進工作物的切削角小，切削深度因為開始時小，所以切屑於出現前的彈性過程，塑性過程不能忽視，其具有對工作物品位，工具壽命，加工能率等相當大的影響力。

4 硬而脆的刃口具有高速但呈間歇性，因此干涉工作物的時間甚短，刃口先端於瞬間變為高溫，然後又急速地冷卻，此種過程循環不已。由上記的條件，諸此刃口即有削除切屑的可能，同時，刃口的磨耗、破碎不斷地發生。

5 利用修整的方法，磨輪作業面的特性可獲致相當範圍的調整。因此，吾人欲正確地理解研磨機構，實非先理解研磨的特性不可。研磨加工與其他加工之共通性自不待言，例如研磨理論有時必需應用切削理論，依據切削理論對研磨機構的探討，委實對研磨加工技術提

供不少之貢獻。但是，由於研磨有前述的特性，如說其適用切削理論之機械性，反而招致錯誤的情形。

關於研磨加工，係以磨輪的條件為基礎而加工者，加工呈何種結果，很多場合吾人可由程度及範圍的差別以及經驗上得知。但是，如果吾人有「為什麼會如此？」，「條件變化，結果變為如何？」，「此現象或此毛病的原因何在？」，「應如何解決？」等問題存在時，必定會興起「如欲更進一步改善，應如何著手」之對策，此時設非具有關於研磨機構相當的知識，殊難正確的回答。況且高能率研磨加工，乃研磨加工所具有特徵及優點徹底發揮於極致的加工方法，為了對此加工法有深厚的理解，那麼有關前述之 1～5 項，研磨機構根據研磨特性的事實，非有充分的了解不可。

本章，係以上記的立場為基礎，對研磨機構加以解釋。但是，本書的目的與構成受篇幅的限制，對於研磨機構的敘述，如以教科書性質或以便覽性記述頗為不當，所以就業經發表過的有關研磨機構的研究結果中，筆者認為較適切者選擇介紹之，同時順便對研磨機構的要點扼要說明。

本章的構成一環，研磨機構及研磨加工的諸現象，姑且作概論性的記述（1-1）。其次，以磨輪作業面狀態的測定及試驗方法以及筆者本身的研究結果為中心，磨粒刃口的舉動為輔等加以解說（1-2），再其次敘述研磨加工面粗度，包含不規則變數理論之應用的表示法，及解析性之粗度理論（1-3），研磨溫度、加工面的加工變質層（1-4），研磨加工之振動（1-5）等，最後，用統計性手法解說研磨過程的表現及評價，用擬態（Simulation）的手法就研磨機構的研究（1-6）予以解說。

1-1 利用磨輪之研磨加工

本節乃概括的說明研磨加工的特徵，乃其基本性機構，研磨加工

所伴生的諸現象。首先，敘述磨粒所擔負的重要任務，同時於敘述如何有效發揮磨粒之能力中，強調磨輪工具，係由磨粒形成的一種集合體，其所應具有的組織。

其次，敘述磨輪與工作物之激烈干涉，有關磨輪作業面的形成至壽命完結時之過程，末了則敘述工作物表面的創成機構。至於研磨加工所伴生的抵抗，熱及振動的諸現象亦有觸及，最後則將影響研磨過程及研磨加工的諸因子歸納成圖表。

於實際作業之研磨條件，修整條件影響及研磨結果，與於研磨過程諸測定量的變動等比較注目的議論以及磨輪，研磨液等的解說，則在第2節以後及其他章節述及；在這裏包括用語的解說，研磨機構的基本，用淺顯而具典型性的數據例示，使讀者對諸現象的因果關係以及諸變數之定性的變動傾向有更深入的理解。總之，本節係以理解研磨機構的基礎，以及預讀第2節以後章節之準備為目的。

1-1-1 磨粒的作用與磨輪的機能

研磨磨輪（俗稱砂輪），乃以結合劑將容積比約佔50%的磨粒黏結，俾能獲致所求之形狀，及同時為了承耐離心力及研磨抵抗必需保持相當的強度。磨粒，於研磨時與工作物衝突，作為削除切屑之刃口用，為最重要的磨輪構成要素。因此，磨粒的硬度，韌性，耐摩耗性，形狀等磨材原來的特性至為重要。磨粒的特性優良，乃磨輪具有高度研磨性能的必要條件。

關於磨粒的作用，茲以其與工作物的干涉來研考，即磨粒的先端部作為刃口與工作物接觸及掘進，使工作物變形移動，除去切屑，工作物表面上則有切削條痕存在；由於磨輪的回轉及切削深度，再度與工作物干涉，如此從開始至此為一過程，影響此過程的要素，舉之如下。

圖1-1所示為模型圖。刃口在需切削工作物部位的干涉前形狀（

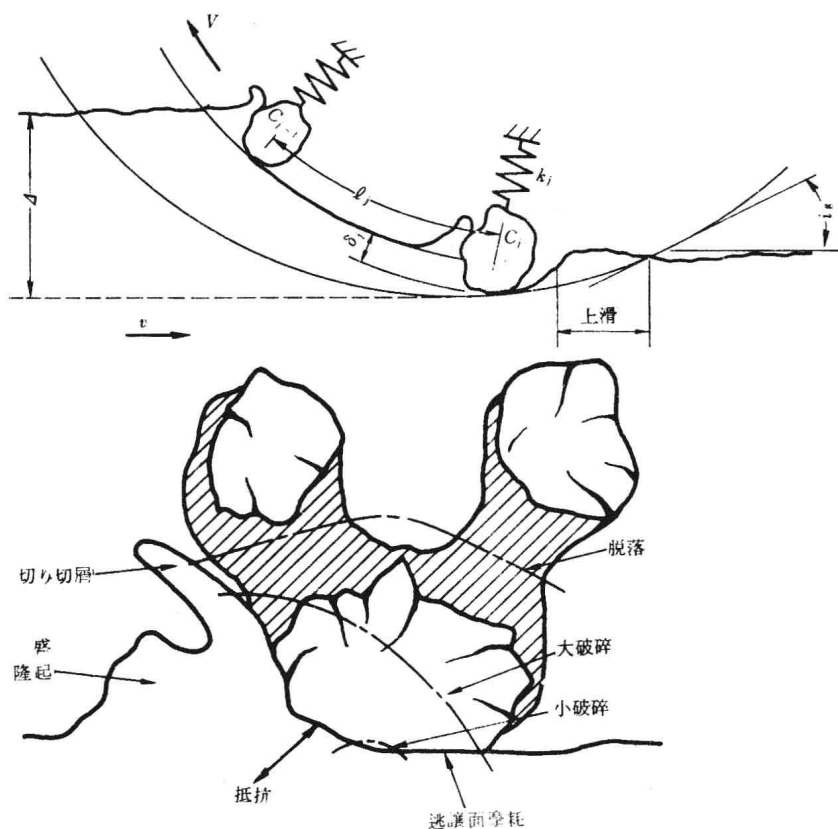


圖 1-1 磨粒刃口與工作物的干涉

同一圓周上，研考任意之 2 個連續刃口 C_{j-1} 及 C_j ，刃口 C_{j-1} 之殘留研磨條痕），刃口的位置（與刃口 C_{j-1} 的圓周方向間隔 ℓ_j ，及磨輪的半徑方向深度 δ_j ），刃口的先端形狀與強度，刃口支持剛性 k_j ，切削角 i_g ，工作物的材質，磨輪速度 V ，切削量，工作物速度 v 等之總影響力之結果，決定磨粒刃口的上滑，工作物的隆起，切屑的生成，磨粒的磨耗、破碎，磨輪損耗，抵抗，熱之發生等之諸現象的態勢及程度。於是，從生成此干涉機構所需的切屑形狀來考察的場

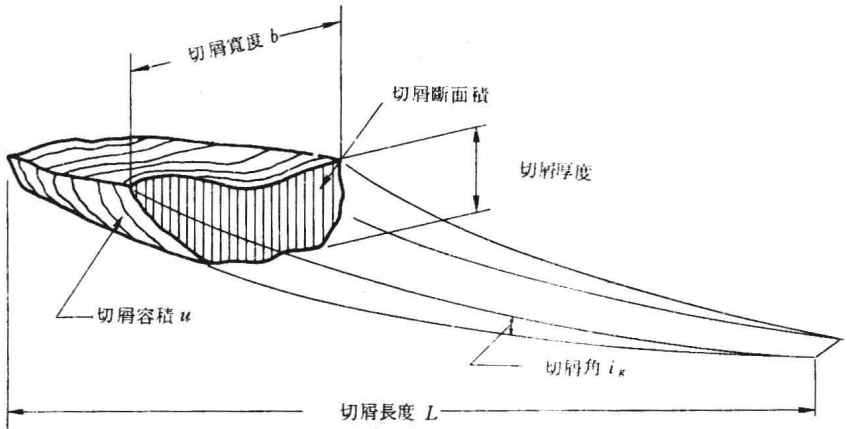


圖 1-2 表示切屑形狀之變數

合，其重要的變數，如圖 1-2 所示，厥為切屑長度 L ，切屑厚度（稱為磨粒切削深度） t ，切屑寬度 b ，切屑斷面積 a ，切屑容積 u ，磨粒切削角 i_g 等。由模型圖吾人可知，切屑厚度，切屑寬度以及切屑斷面積，於一個刃口產生一片切屑的過程中，由切削開始逐漸增大至最大值，然後又逐漸減少，呈連續性的變化，所以吾人取最大值為定點，或取平均值表示亦不乏其例。

關於切屑的生成，打從很早自 Alden 以來，經常多以純幾何學性的觀點來考察。其條件為磨粒的先端形狀一定，磨輪面規則正確，以相同的高度配列；而且，工作物於經刃口通過時出現研磨痕跡，無上滑及隆起現象，所有的刃口均參與研磨，幾乎相同形狀尺寸的切屑被削除，同時磨粒假定沒有磨耗及破壞之下，主要調查磨輪及工作物之運動條件的影響。

又，依據使用金剛石與單粒的研磨實驗，進行對切屑生成過程的觀察之研究。其詳節，於文獻中敘述；於此，以純幾何學性之假定為基礎，列舉上記變數之計算式（關於式之求出，參照下冊 4-1）。

有關之記號及附號設定如下。

ℓ : 連續刃口間隔 (上記假定磨粒間隔相等)

v : 工作物圓周速度

V : 磨輪圓周速度

: 磨輪切削量 (工作物一回轉之相當量)

d : 工作物直徑 (圓柱研磨取正, 內孔研磨取負號, 平面研磨之際 $d = \infty$, $1/d = 0$)

c : 對於平均切屑厚度之平均切削寬度比

γ : 磨粒先端角之半角

最大切屑厚度 (最大磨粒切削深度) t_{max}

$$t_{max} = 2 \ell \frac{v}{V} \sqrt{\Delta \left(\frac{1}{D} \pm \frac{1}{d} \right)} \dots\dots\dots (1 \cdot 1)$$

切屑長度 L 及接觸弧長度 L'

$$L = \left(1 \pm \frac{v}{V} \right) \sqrt{\Delta / \left(\frac{1}{D} \pm \frac{1}{d} \right)} = \left(1 \pm \frac{v}{V} \right) \cdot L' \dots\dots\dots (1 \cdot 2)$$

若 $v \ll V$, 則

$$L' = \text{接觸弧長} = \sqrt{\Delta / \left(\frac{1}{D} \pm \frac{1}{d} \right)} \dots\dots\dots (1 \cdot 3)$$

平均切屑容積 u_m

$$u_m = \ell^2 \frac{v}{V} \cdot \Delta \dots\dots\dots (1 \cdot 4)$$

平均切屑斷面積 a_m

$$a_m = \ell^2 (1 \pm \frac{v}{V})^{-1} \frac{v}{V} \sqrt{\Delta (\frac{1}{D} \pm \frac{1}{d})} \dots\dots\dots (1.5)$$

如 $v \ll V$ ，則

$$a_m = \ell^2 \frac{v}{V} \sqrt{\Delta (\frac{1}{D} \pm \frac{1}{d})} \dots\dots\dots (1.6)$$

最大切屑斷面積 a_{max}

$$a_{max} = 2 \ell^2 \frac{v}{V} \sqrt{\Delta (\frac{1}{D} \pm \frac{1}{d})} = 2 a_m \dots\dots\dots (1.7)$$

平均切屑寬度 b_m

$$b_m = \sqrt{c a_m} = \ell \sqrt{c} \sqrt{\frac{v}{V} \sqrt{\Delta (\frac{1}{D} \pm \frac{1}{d})}} \dots\dots\dots (1.8)$$

$$c = \frac{b_m}{t_m} = \frac{3}{\sin 2 \gamma} \dots\dots\dots (1.9)$$

再者，相同之幾何學性計算有之；岡村與中島氏於研磨加工中，將特別重要之双口切削開始點附近，双口的上滑、工作物的彈性變形等之現象使之容易把握起見，導入磨粒之切削角 i_g ，而導出下列之式。

又，切削角的意義，研討等於下冊 4-1 中詳述之。磨粒的切削角

i_g

$$i_g = \frac{1 + K_R}{K_R} \cdot \frac{K_V}{(1 + K_V)^2} \cdot \frac{2 \ell}{D} \dots\dots\dots (1.10)$$

最大磨粒切削深度 t_{max}

$$t_{max} = \frac{i_g}{2} \{ \alpha D (1 + K_V) - \ell K_V \} \dots\dots\dots (1.11)$$

切屑長度 L

$$L = \frac{\alpha D}{2} \left| 1 + K_v \left(1 + \frac{\ell}{\alpha D} \right) \right| \dots\dots\dots (1 \cdot 12)$$

式中 K_v : 工作物速度 (v) 與磨輪速度 (V) 之比 (v/V)

K_R : 工作物半徑 ($d/2$) 與磨輪半徑 ($D/2$) 之比 (d/D)

α : 從磨輪中心至磨輪外周圓與工作物外周圓之交點角度的
一半

諸此計算式，有助於了解影響切屑生成的研磨條件之效果；但因係假定，其與實際之研磨加工中之實測值不一致，是不可避免的。其中原因一如前述，刃口的位置及形狀、強度不均勻，且具有寬廣分佈之故，數式上乃連續刃口間隔 ℓ 之處理。再者，磨輪表面層所有磨粒之中，實際有效的參與研磨者，乃數分之一而已，加上磨輪半徑方向之高度的不整齊，所以吾人要論及立體性有效（動態）刃口間隔，以及考慮磨粒先端的磨耗與破碎後的刃口之形狀變數。

磨粒刃口之姿態，如下所示 2，3 之測定結果。圖 1-3(a)，乃磨粒刃口之先端逃讓面磨耗面積之示例；圖(b)為測定支持磨粒的結合部強度，圖(c)為測定磨粒切削長度之例，圖(d)則於動態所測定的連續刃口間隔之分佈例（關於粒度分佈例，參照附錄 3）；無論那一種場合，均具有相當廣的分佈，而且由於修整與研磨條件的差異，於研磨過程有不少的變動。

如此，磨輪與工作物的干涉機構，以單純之幾何學或僅用平均值殊難解明，對於複雜的研磨加工特有的問題，實應再三研究。

再說，研磨磨輪的作業面，其磨粒刃口的舉動，不能視為均一，因此，如研考研磨加工的特徵，非就這些磨粒組織或磨輪的工具之姿態，尤其是磨輪作業面上的磨粒刃口的集團性作用來研考不可。