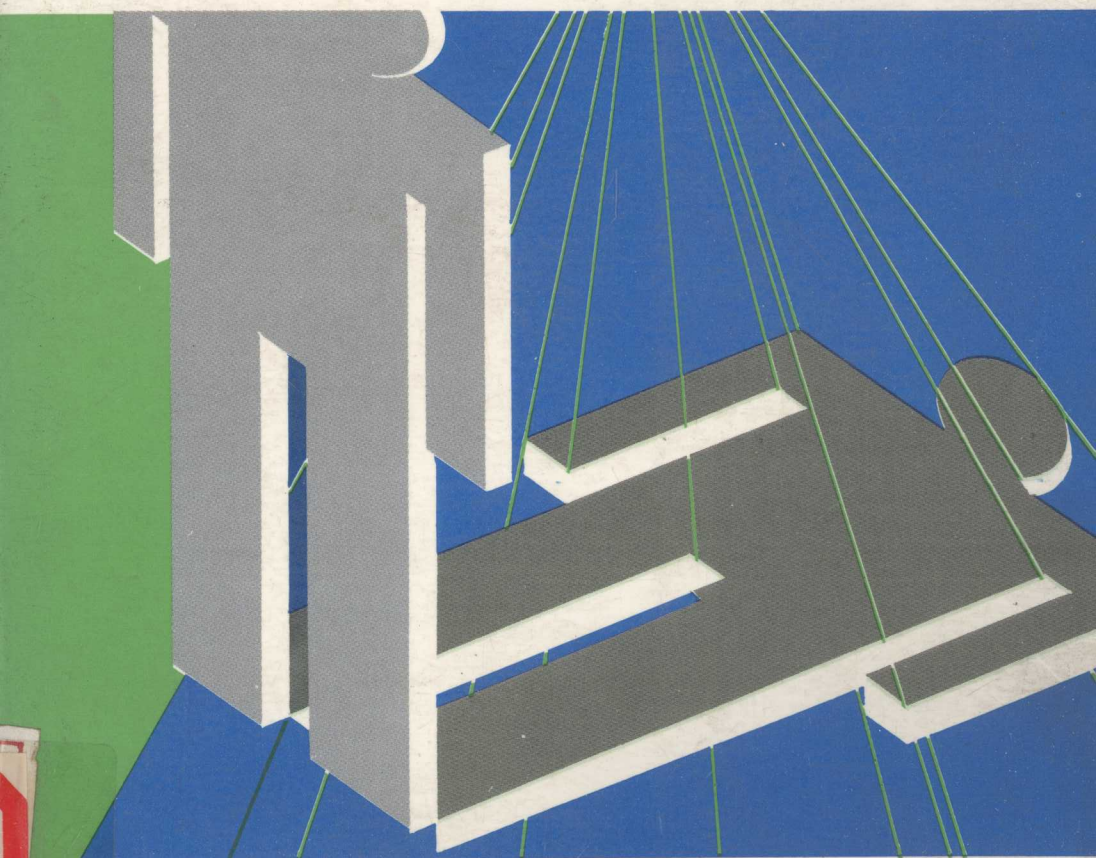


線切式放電加工 (NC-EDM)

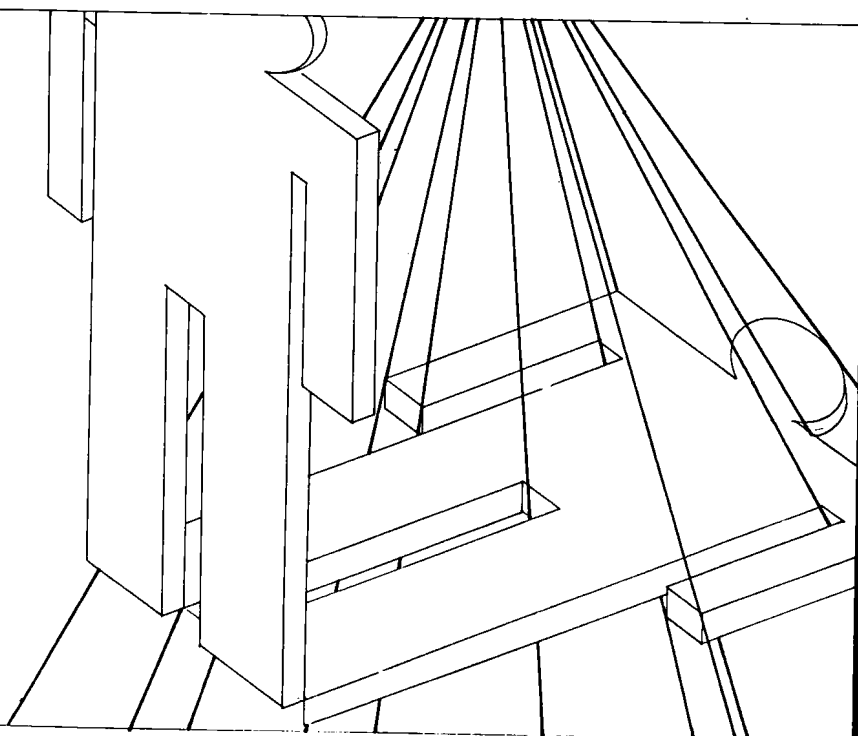
黃錦鐘 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

線切式放電加工 (NC-EDM)

黃錦鐘 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

原 序

線切式放電加工法，在1955年首先由蘇俄發表於世，緊跟著在1960年歐洲也公佈之。近年來，它的需要急劇增加，乃致形成1970年代後半期正式步入它的發展階段，成爲一種新式的加工方法。1960年線切裝置雖早被試作出來，但因當時數值控制(NC)技術尚未如今日之發展，以致未達到實用化的地步。現在工廠操作中90%以上的裝置，乃是在這數年之間所製造的。因此，線切式放電加工(NC-EDM)技術正值發展之中，必定也有不少待解明的地方，綜觀國內外，至今尚未見到一本有系統、說理清楚的書籍。

線切式放電加工，其實說穿了只是以機械強度脆弱的線電極，再加上把水當成加工液的一種加工方法。本書也曾就水加工液與煤油加工液的加工狀況做過比較，試圖由加工現象探討、剖明它的一般特性。其次，線切式加工與傳統單一特殊加工方法迥異，它是以甚多的現象一起綜合發揮而產生加工的作用。例如，放電加工與電解加工結合成爲一體的加工，或是放電壓力的應變與機械的變形複合而作用之。像這樣子的現象，讓人感到非常地複雜不清。因此，本書乃爲使讀者容易地理解起見，添加了爲數甚多的實驗例子來作說明。另外，線切式放電加工，係是使用幾可達無人化地步的加工裝置，使其可做長時間的加工，

或可謂是一種可能完全自動運轉的 NC 加工裝置典型代表加工法。這個說法，意味著線切式放電加工乃是一種最新式、最現代化的加工方法，暗示著今後加工方法的發展方向。職是之故，掌握著線切加工此事，筆者確信它會順應潮流的發展，通往精通近代加工法的一條捷徑。

寫到結尾之處，順介紹已出版的本書姊妹作——以基礎考察為主體，來探討特殊加工方法中各種方式的內容——「最新金屬加工法」（包括高能量密度加工法的全部），另外一本談到放電加工的一般原理、特性、裝置等論述的書——「放電加工原理」（內容觸及模具工作技術），以及自動化與機器人技術（翻譯，機械月刊出版）。

井上 潔

1978年9月

譯者簡歷

- 新竹高工機工科
- 台北工專機械科
- 技術學院機械技術系
- 日本・東京工業大學・工學碩士
碩士論文「高速度鋼ドリルの壽命予測方法」
- 台灣精密工具公司第一課鑽頭設計技術員
- 東星機械公司銑床部技術員
- 中科院助理工程師

今任職中科院副工程師

負責：夾模具設計

機械加工及 SOP

切削實驗

譯著：放電加工技術實例（全華出版）

連絡地址：新竹市明湖路 196 巷 8 弄 10 號

電 話：(02)797-1946

譯者序

線切式放電加工法，從觀念的形成到目前實用化的地步，已有 30 年歷史了。而實用化、生產化的開始，也不過是近些年來的事。綜觀它的歷史而論，吾人可以發覺到它主要是拜數值控制（NC）技術之賜，而得以從一般式放電加工（EDM，又稱模彫式放電加工）的巢臼中脫離而出，且自成一開拓性新的局面。換言之，線切式放電加工機是一部以機械、電子以及電腦三者所組成的近代化機器。

誠如本書原序所說的，放眼天下，至今尚未見到一本說理清楚且有系統的線切式放電加工書籍。因此，本書乃以水及煤油加工液的狀況相互比較，並列舉為數甚多的實驗資料，以資配合解說，從而剖明此加工方法的真象，以及它的一般特性。故可以說是一本理論與實際兼備的好書。

月前，承蒙全華科技公司之囑意，命譯者著手整理放電加工實例，共搜得日語「機械技術」雜誌 136 個例子，定名為「放電加工技術實例」一書出版。此書內容分為一般式及線切式放電加工，全部都是日本公司做過的加工物，大多奇形怪狀，堪稱值得參考之實務書。相信兩書齊看，必然相映成輝。

走筆至此，其他近代化的機器，諸如電化學加工（ECM，或稱電解加工）、超音波加工、雷射加工等等，尚待吾人多加研討，以克服不同領域的困難加工零件之需

要。同時也不妨各別成立研討會，互相切磋，交換經驗，並集例彙整公佈於社會。

最後，譯者深信此書必將深獲您的喜愛！

黃錦鐘 謹識

74年11月12日

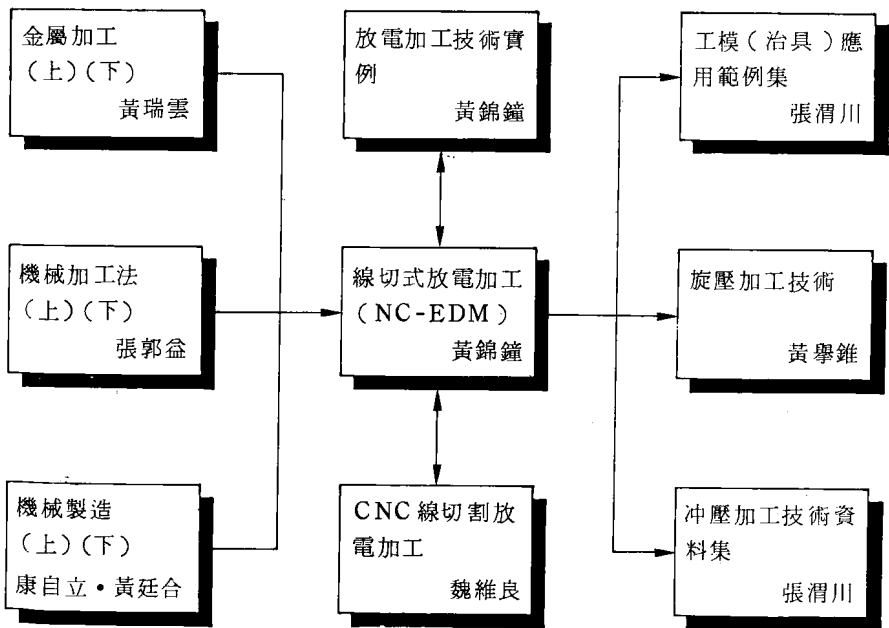
編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

現在我們就將這本「線切式放電加工(NC-EDM)」呈獻給您。線切式放電加工在NC工具機裏扮演極為重要的角色，然而坊間對此類之敘述却相缺乏。本書主要以實例來探討線切式放電加工原理與實作狀態，舉凡以水作加工液的加工特性、問題、結構、精度、控制與實例等，此外並對其技術的展向作一前瞻性的介紹，堪稱坊間線切式放電加工說理最清晰詳細且最有系統的參考書籍。

同時，爲了使您能有系統且循序漸進研習放電加工方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠爲您服務。

流 程 圖





錄

1	線切式放電加工的特徵	1
1.1	前 言	2
1.2	從靠模裝置到NC裝置	2
2	線切式放電加工的一般特性	11
2.1	加工機構	12
2.2	加工原理及機體結構	13
2.3	機械與電源	15
2.4	NC裝置的機能	19
3	以水作加工液的加工特性	25
3.1	用水作媒體的加工現象	26
3.2	加工粉屑與放電痕跡	28
3.3	加工速度（含電解加工在內）	30
3.4	水加工液與煤油為媒體的加工比較	33
3.5	表面粗度	34
3.6	放電間隙寬（加工擴大裕留）	35
3.7	導電性的作用	37
3.8	各種材料的加工特性	38
3.9	關於水加工液的電極材料特性	40

3.10 加工液抵抗的特性	42
---------------	----

4 水加工液的實際加工特性 47

4.1 實際上的加工速度	48
4.2 實際上的表面粗度	50
4.3 實際上的電極消耗比	54

5 線切式放電加工上的諸問題 61

5.1 線電極的撓曲量	62
5.2 方向變換電極撓曲所生的加工誤差	64
5.3 加工寬度及加工擴大裕留	73
5.4 加工面的表面粗度	76
5.5 放電條件及氣體發生量	78
5.6 放電所生的氣體作用	80
5.7 電極材料的黏貼現象	81
5.8 電極的移動效果	85
5.9 電極的振動效果	90
5.10 加工速度的理論處理	91
5.11 加工速度的實際考察	99

6 線切式放電加工機的結構 115

6.1 結構要素	116
6.2 機械構造	118
6.3 線電極	119
6.4 加工液循環裝置	121
6.5 數值控制裝置	122

7 線切式放電加工的精度 125

- 7.1 機械精度與加工精度 126
- 7.2 加工物的變形及加工精度 136
- 7.3 錐面加工裝置 142
- 7.4 加工傳送速度及電極的撓曲量 146
- 7.5 線電極延遲所生的誤差 147
- 7.6 電極材料對加工面上的黏貼 149
- 7.7 加工擴大裕留的不等 150

8 NC線切式放電加工的控制 153

- 8.1 NC的硬體 154
- 8.2 NC的控制系統 156
- 8.3 程式設計 161
- 8.4 NC的軟體 179

9 線切式放電加工實例 183

10 線切式放電加工機及其輔助裝置 205

11 今後線切式放電加工技術的發展 215

線切式放電加工 的特徵

1.1 前 言

1.2 從靠模裝置到NC裝置

2

2

2 線切式放電加工 (NC-EDM)

1.1 前言

線切式放電加工機，係以細線（約 $\phi 0.5\text{ mm}$ 以下）當作電極，使之不斷地移動，與加工物之間產生火花放電，同時藉著驅動作用，加工吾人所需要的加工物形狀的一種裝置。

移動電極方式的放電加工裝置，在外國稱之為：Wire-cut EDM，或者是Traveling-Wire EDM，有時也謂之Electric Bandsaw。這些都相近於Arc Bandsaw（電弧帶鋸）的意思，故一般稱之為Wire cut EDM。線切式放電加工機早在1955年由蘇俄所製作出來的，其次在1968年再由瑞士製成NC方式的機器。

一般性放電加工與線切式放電加工的不同點，第一、基於電極一面移動一面火花放電之理，一般性放電加工必須使用成型電極，而線切式放電加工則不用。第二、在加工液上，一般性放電加工主要使用油脂之類，而線切式放電加工則使用水，通常以脫離子水為主。第三、線切式放電加工有靠做加工物而移動者，或利用數值控制驅動加工物者，通常是以邊移動加工物邊加工的方式，製作成一種裝置。特別是線切式放電加工使用水作為加工液之點，其所生的加工特性，較一般性放電加來得格外不同。

因此，以下各章就水加工液的加工特性，以及線電極因彎曲而影響加工精度為主的內容，並加上說明。

1.2 從靠模裝置到NC裝置

構成線切式放電加工機之要素，如圖1.1所示之。由圖中可知，這種機器乃由傳送電極裝置、傳送加工物裝置以及加工液循環裝置三部份所組成的。當然與1955年蘇俄所發表的線切式放電加工機同樣，僅在傳送加工物的部份與現在的不同而已。

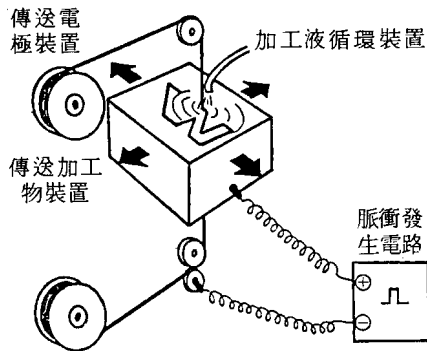
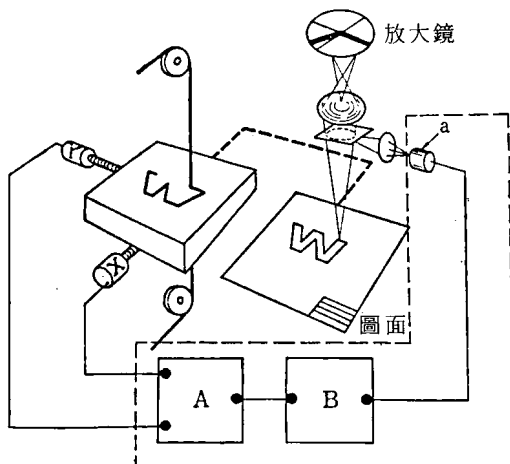


圖 1.1 線切式放電加工機的構成要素

換句話說，圖 1.2 上所示的線切式放電加工機最初是經由光學作用，放大圖面，再追蹤放大過的圖面，並同時以手操作 X Y 床台靠模加工之。因此，在驅動此種機器時，事先先要將加工物的形狀正確地描繪，接著以放大鏡把描繪的圖面放大 10~50 倍，再一面看著放大圖面，一面操作 X Y 床台來靠模加工之。



A：傳送 X 軸・Y 軸用電動機分力分配器，B：放大器

圖 1.2 光點追蹤方式靠模線切式放電加工機的動作

4 線切式放電加工 (NC-EDM)

其次，在1957年蘇俄發展成像圖1.3所示之光學靠模裝置。此裝置是利用光量大小而由光電管檢出、判定，再行自動靠模圖面的方式。這種裝置最初被稱之為光點追蹤方式靠模線切式放電加工機A 207型，以後再開發成功自動化的A 207-23M型。後者之裝置，一言以蔽之，事先先以光源的光束，照射描繪好的圖線，再由光電管接收反射光或是透過光，利用光量的增減來驅動伺服馬達。圖1.2中的a乃是光電管，B為放大器，接著再引用伺服馬達放大器A，以驅動電動機。加工精度，據說是5/100 mm。放大率為10~50倍，原圖乃是以微調描線器描繪欲加工之加工物。有手動靠模方式及自動靠模方式兩種。

根據蘇俄的說法，以線切的加工寬度為觀點，以下式來表示加工寬度與放電電壓的關係。即，

$$l = D + 0.125 V$$

l ：寬度

D ：線電極直徑 (μm)

V ：放電電壓 (V)

另外，機械裝置係以 UMM (萬能測長器) 為主的甚多，以機械的觀點來說，可謂具有正確位置關係的裝置，裝置之內通常裝有傳送線電極的裝製。圖1.4是特別針對加工有關的電子管A 207型線切式放電加工機。

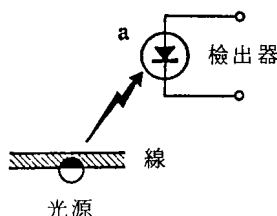


圖 1.3 光學靠模裝置

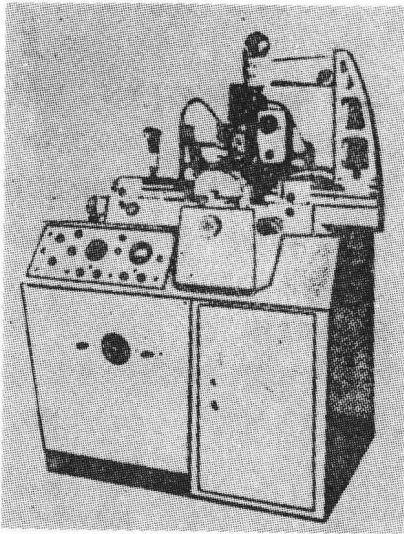


圖 1.4 線切式放電
加工機 A 207 型

蘇俄現在已推出了所謂代表性的 NC 線切式放電加工機 ЭКУП-2 型於世，此機的特性及性能，添記於下。機械性能 X 軸為 250 mm，Y 軸為 250 mm，定位精度為 $10\mu\text{m}$ ，最小節距傳送 (pitch feed) 為 $2\mu\text{m}$ 。可加工至 $430 \times 270 \times 120\text{ mm}$ 的範圍，加工物最大可至 130 kg。機器本身的大小為 (寬 $\times$ 前後移動距離 $\times$ 高) $3\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1.8\text{ m}$ ，機器總重為 2.5 t。快速傳送速度為 150 mm/min 。另外，線電極直徑 $\phi 0.05\text{ mm} \sim \phi 0.3\text{ mm}$ 皆可使用。線電極的張力 $150 \sim 450\text{ g}$ 之間可調整，且傳送電極的速度是 $0 \sim 80\text{ mm/s}$ ($0 \sim 4.8\text{ m/min}$)。在加工錐面時，可調整 $0 \sim 5^\circ$ 的角度。加工液是使用工業用水、脫離子水。加工速度以最大的加工量來說，銅材料是 $50\text{ mm}^2/\text{min}$ ，鋼材料是 $35\text{ mm}^2/\text{min}$ 。

圖 1.5 是顯示前述的 UMM 為主的線切式放電加工機 A 207-23 M 型。此種機器使用直徑 $\phi 0.02 \sim 0.1\text{ mm}$ 的線電極，而線電極材料則以銅線、碳化鎢線及鉬線為主。線電極的張力在 $10 \sim 100\text{ g}$ 的範