

科技用書

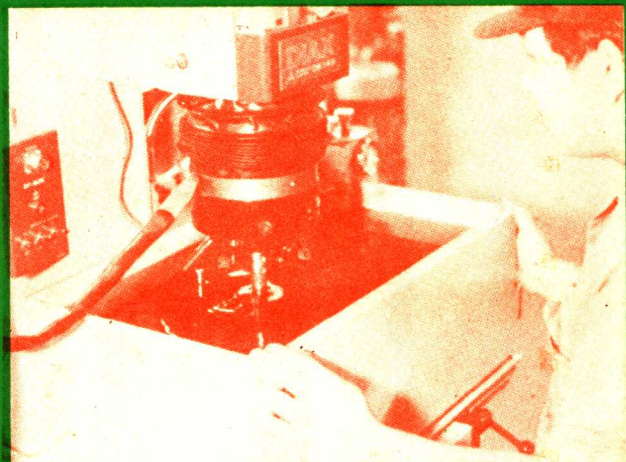
放電加工機活用

三菱電機 重電事業本部

技師長 工学博士

齋藤長男監修

賴 耿 陽譯著



復漢出版社印行

科技用書

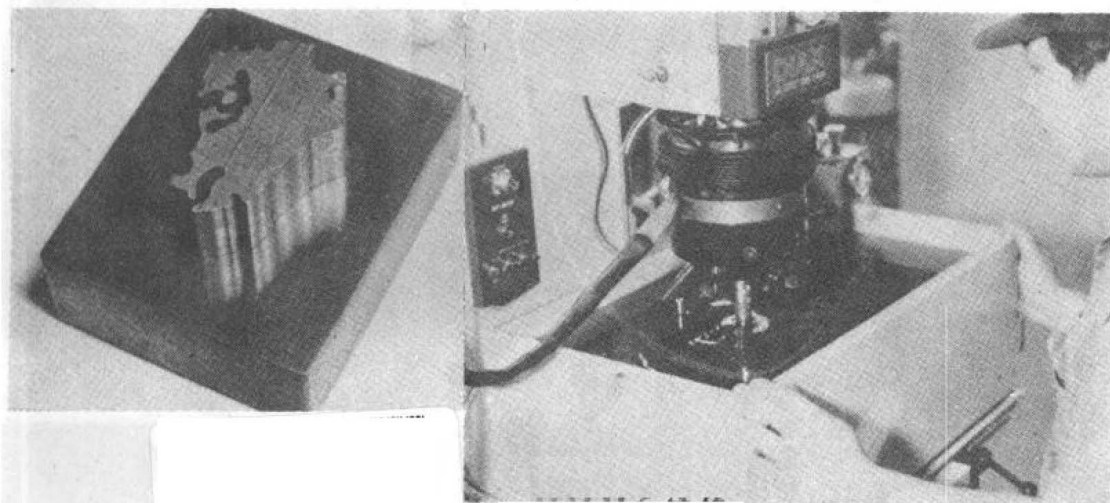
放電加工機活用

中重電事業本部

師長 工学博士

齋藤長男監修

賴 耿 陽譯著



復漢出版社印行

中華民國七十年十一月一日出版

放電加工機活用

原著者：齋藤長男

譯著者：賴耿陽

出版者：復興出版社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

打字者：克林照相植字排版打字行

版權所有
翻印必究

平裝 一元五角
精裝 一元八角

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

以往公開出版的放電加工機書籍都詳述放電現象或加工現象，無預備知識的人不易研習。

另一方面，最近急速普及的線切割放電加工機也看不到解說書及實用書。

在放電加工有很多不安定要素的黎明期，有必要生硬地講解現象，若不瞭解，就無法使用加工機。

但現在日本全國已有2萬部投入生產行列，已確立模具主力機械的地位。

就工廠管理的立場看來，已不是特殊加工機，而是一般加工機。就機械工業常識而言，除了加工原理外，也有必要瞭解經濟性和管理問題。

這次，日本技術評論社企劃出版兼顧實務性的解說書，以最新的雕模放電加工機和線切割放電加工機為中心課題，以下述宗旨編輯執筆。

- (1) 整理原理的骨幹，揭示使用機械的知識和安全知識。
- (2) 提供製造廠、用戶的專家和技術上、設備計劃上的知識。
 - ① 瞭解專用術語的意義。
 - ② 指摘加工技術上的妥當性和錯誤，可判斷良否。
 - ③ 可與製造廠的服務員進行技術上的洽商和連絡，增高效率。
 - ④ 揭示最低限度的修理、保養知識。

(瞭解消耗部份、保養要領)

- (3) 敘述放電加工的設備計劃、決定購置規範的知識。

(計算投資效益、折舊、租稅優惠措施)

- (4) 可用為高工、職訓、專科、大學的講義。
- (5) 用於製造廠服務員、推銷員、用戶等新進人員的教育。

本書由三菱電機株式會社放電加工的部課長、股長等分擔執筆，可用為放電加工有關人士的必備手冊。

Amab20/05

放電加工機活用/ 目次

第 1 篇 基礎篇

第 1 章 放電加工的原理	3
1 放電加工	3
2 加工狀態	5
3 放電加工的歷史	7
① 如何發生放電 ② 新式線割式放電加工機	
4 放電加工的用途	10
1 雕模放電加工的適用分野	10
2 線割式放電加工的適用分野	10
3 特殊放電加工的適用分野	14
① 冷軋鋼板製造用軋輥表面柚皮加工 ② 軋輥刻印加工	
③ 放電切斷 ④ 非金屬的放電加工	
5 放電加工的進行狀況	16
1 實際的放電加工	16
2 放電狀況的良否	17
① 放電的分散與集中 ② 如何防止放電集中	
3 放電加工的電學	19
4 各種基準單位	21
① 何謂加工速度 ② 完工面粗糙度 ③ 間隙 ④ 電極消耗比	
第 2 章 電系條件與加工特性	25
1 電系條件與加工的關係	25

2	單發放電痕的生成	26
3	單發放電痕與電系條件	28
	① 放電 1 發的加工量 ② 1 分間的加工速度 ③ 與加工面粗糙度的關連 ④ 與放電痕直徑、深度的關連 ⑤ 放電痕的電流密度	
4	短路的難易與材料的組合	30
5	連續放電的加工特性與電系條件	32

第3章 放電加工的「爲什麼」 35

1	有關加工速度的「爲什麼」	35
2	有關間隙的「爲什麼」	38
3	電極消耗的原理與「爲什麼」	40
	1 低電極消耗成立的條件與特性	40
	2 低電極消耗的加工原理	42
4	有關加工變質層的「爲什麼」	45
5	變質層厚及單發放電痕的熔融深度計算法	49

第4章 瞭解電路 52

1	電路的基本	52
	1 電容器放電回路	52
	2 電晶體放電回路	53
	3 電晶體控制式電容器放電回路	54
	4 其他回路	54
	電系諸量的計算法	

第5章 線割式放電加工的問題 65

1	線割式放電加工的特色	65
2	如何自動作成紙帶 (APT)	65
3	溝寬的均勻性和加工精度	66
4	殘留應力解除所致的變形與對策	66

第2篇 實用篇

第1章 雕模放電加工機的構造與操作.....71

- 1 雕模放電加工機的機械構造.....71
 - 1 主要部的構造.....71
 - 2 機械精度.....72
- 2 電源的構造與多項條件的選擇.....74
 - 1 放電加工機電源的特質.....74
 - 2 電源的構造.....74
 - 3 多項條件的設定.....74
- 3 控制極間的方法.....76
 - 1 波形控制方式.....76
 - 2 伺服控制方式.....76
 - 3 加工間隙長度控制系統.....78
- 4 加工液的選擇.....79
- 5 放電加工機的大小.....83
- 6 安全裝置與操作.....83
 - ① 火災三因素 ② 異常加工檢出裝置 ③ 液面控制裝置 ④ 液溫監視裝置 ⑤ 不燃性軟管與槽的水壓試驗 ⑥ 自動滅火裝置 ⑦ 消防法關連事項
- 7 放電加工機的保養.....86
 - ① 放電加工機的設置場所 ② 定期檢查 ③ 電源的保養 ④ 移設時的注意事項

第2章 雕模放電加工機新技術.....89

- 1 增高加工速度，安全的適應控制加工.....89
- 2 防止極間短路的高電壓重疊加工.....91
- 3 搖動加工的方法.....93
 - ① 搖動加工裝置 ② 搖動運動形狀 ③ 搖動加工的特色

4. NC 放電加工	97
1 NC 放電加工機的構成和原理	97
2 NC 放電加工機的規範	100

第3章 加工技術 102

1 電極材料的選擇	102
2 電極製造法	105
3 定位的方法	110
4 電系條件的決定法	112
5 改善加工效率的關鍵	117
6 加工法的改良	121
7 加工資料的編訂	123
8 模具的磨光法	125
9 雕模放電加工的實踐手法	126
10 模具加工以外的放電加工	130

第4章 線割式放電加工機的構造與操作 135

1 構造	135
2 如何 NC 控制	142
3 如何作成紙帶	147
4 線割式放電加工機的保養和安全管理	155

第5章 線割式放電加工機的加工特性 157

1 如何增快加工速度	157
2 如何增高加工精度	160
1 加工溝寬與加工進給速度	160
2 板厚方向筆直度（鼓形）與加工進給速度	162
3 板厚變化與加工溝寬、形狀精度	162

第6章 線割式放電加工機的加工特性 166

1	適應控制的優點	166
2	以線割式放電加工機加工推拔部	167
3	如何加工中空模(連座形狀)	173

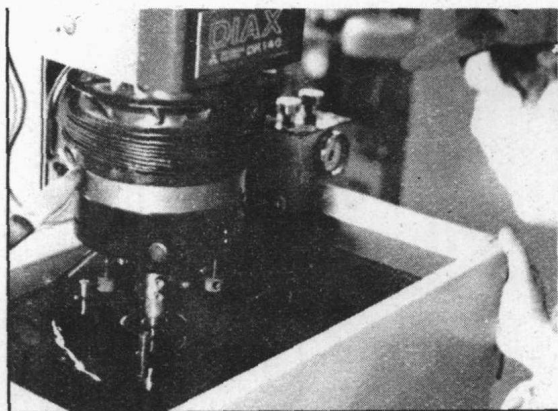
第7章 線割式放電加工機的加工技術 177

1	如何進行線割式放電加工	177
2	被加工物材料有無問題	177
3	線電極的選擇	182
4	加工條件的決定	183
5	加工條件與加工結果的關係	185
6	如何增快加工速度	187
7	改善加工精度的方法	189
8	線割式放電加工所得的加工面	194
9	何謂二次加工	196
10	以1工程同時加工衝頭與衝模的方法	203
11	線割式放電加工的應用例	205

第3篇 設備購置篇

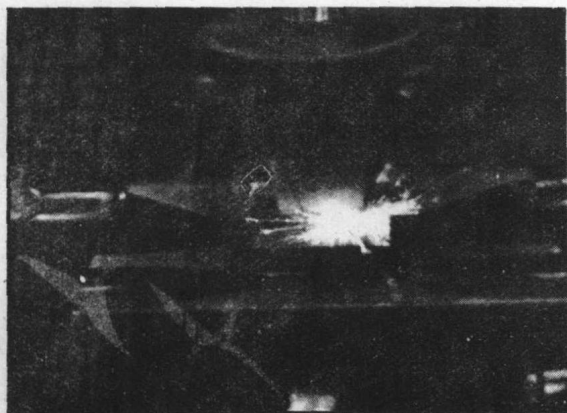
第1章 投資效率計算法 213

1	預估的觀念	213
2	雕模放電加工機の場合	214
3	線割式放電加工機の場合	216
4	放電加工機的導入實例與經濟性	219
1	用大形放電加工機加工鍛造模時的省力效果	219
2	線割式放電加工機加工衝床模具的經濟性	221
5	電波干擾防止法	222



第1篇

基礎篇



第 1 章 放電加工的原理

1. 放電加工

放電加工（EDM：electric discharge machining）是以銅等較軟的工具，將超硬合金等加工成所希望的形狀。工具與被加工物的間隙只數 μ （ 10^{-6} m，微米），其間陸續放電而加工。電極為盤子的形狀時，就加工成宛如盤底壓印成的形狀。若是線狀電極，就宛如以線鋸切斷。

分為隨著加工的進行，電極消耗量相當於加工量之多少百分率的加工條件，以及實用上可不計電極消耗的電極低消耗式加工條件。都是隔著微小的間隙加工，電極形狀與加工形狀成為實物嵌合的雌雄關係。

加工造成的加工屑或加工液分解物等加工生成物從微小間隙排出外部，或偶爾自動清掃兩極的間隙，防止加工生成物積滯於兩極間。

放電加工方式大別有二：一是用特定形狀的電極，將其形狀投影而

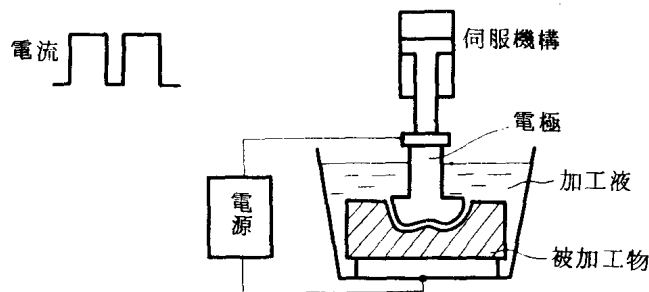


圖 1.1a 離模放電加工機的原理

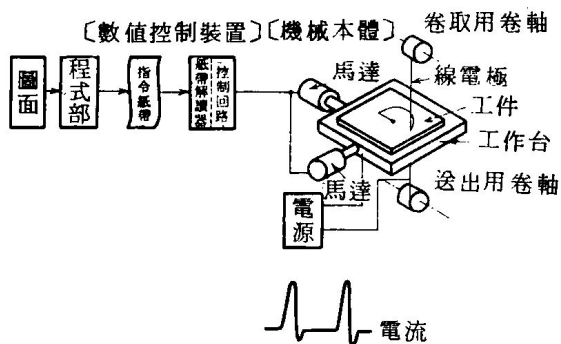


圖 1.1 b 線割式放電加工機的原理

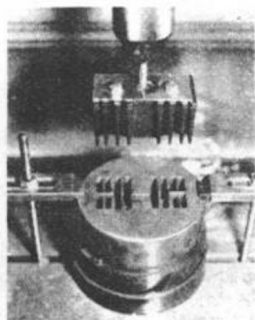


圖 1.2 雕模加工狀態

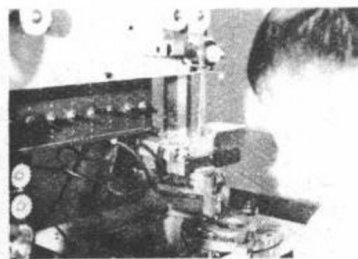


圖 1.3 線割狀態

加工的雕模放電加工方式。另一是在卷取線狀電極，以線鋸式加工 2 次元輪廓的線割式放電加工機。

圖 1.1 a 為雕模放電加工機的原理，供給放電電力，攻入被加工物中。

依放電加工的進行程度，伺服機構將極間的微小間隙維持成適當距離，電極深入加工。

圖 1.1 b 為線割式放電加工機，卷軸的線狀電極宛如線鋸般切斷出二次元形狀。

二次元形狀的輪廓以數值控制的 X，Y 二軸馬達合成。

放電加工是以小間隙火花放電的短電弧放電加工。只要是能通電流的材料，再硬的材料也能加工。

所以用銅、黃銅等軟材料為電極，即易加工淬硬的鋼材、高硬度的燒結合金等。

從與電極最近的面（最高的面）依序放電，以均勻的極間間隙進行加工，不論電極消耗或不消耗，加工形狀與電極形狀都隔著微小間隙，成實物對合的形狀，加工出電極在前進方向投影的形狀。

因有此二重要的基本性質，只要能作成電極，即可行任意形狀的投影加工。用金屬細線，雖無切刃，也可如線鋸般進行挖穿加工。

工具電極與被加工體在油或水等液中相向，施加數十～數百伏特電壓，接近到數 μ ～數十 μ 的短距離時，發生放電，通放電電流。主要利用電流的熱作用進行加工作用。

2. 加工狀態

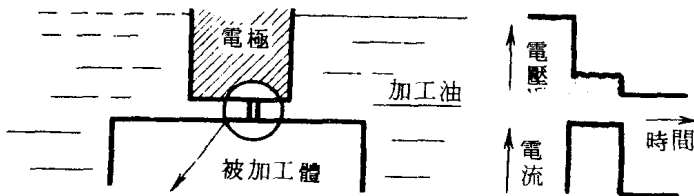
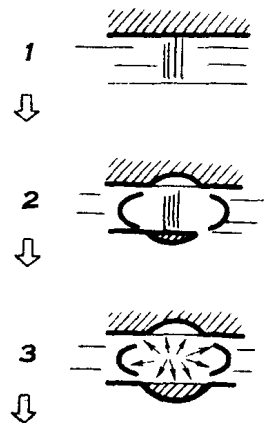


圖 1.4 以火花放電和油的壓力加工金屬的過程

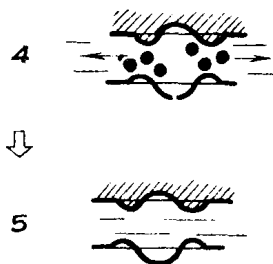
圖 1.4 是一次放電進行加工的情形。

- 1 電極與被加工體接近成數 μ 的距離時，先在最短距離處迸出火花，火花立即成為細電弧柱——亦即電流密度很高的電子流，打擊被加工體的一點。

電子流在此成為熱，被加工體即使為鎢等高熔點的金屬，也會被此熱熔化一點。此時，電子流碰撞金屬蒸氣，發生的離子等也同時將電極加熱。



2. 這些熱使周邊的加工油成氣化狀態。
3. 放電造成加工油突然氣化膨脹，對熔化的被加工體與電極施加大壓力。就被加工體、電極全體而言，此壓力很小，但就單位面積而言，却很大。
4. 金屬的熔化部份噴成小圓團，四散於加工油中。端部未噴散的部分隆起，殘留於被加工體及電極。此處成為後續的放電點。
5. 熔化的金屬噴開後的遺跡被周圍的冷油侵入，很快奪走殘餘的熱。方才發生放電的間隙也回復絕緣。



實際的放電加工

實際的放電加工中，1秒間發生數千～數十萬次放電，累積衆多的

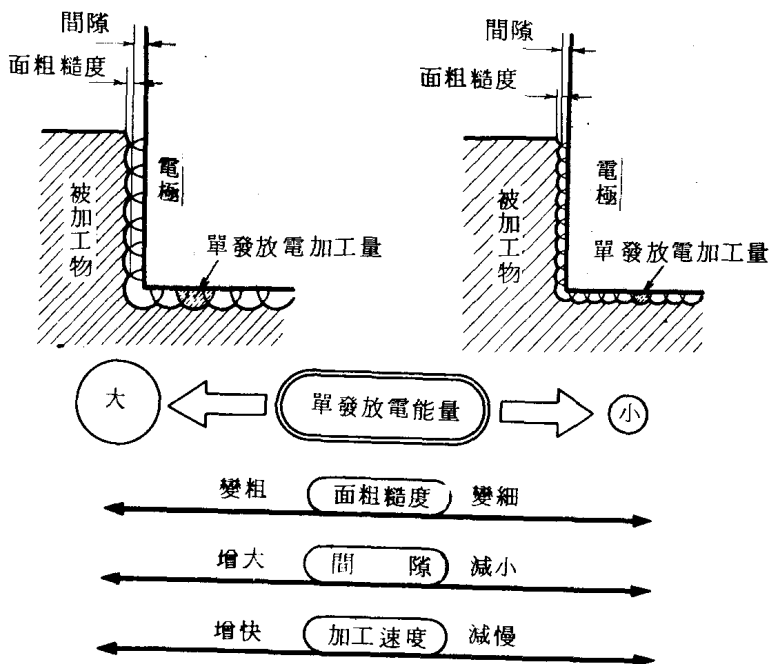


圖 1.5 單發放電能量與加工特性的關係

放電痕進行加工。

圖 1.5 示此情形，加工為單發放電痕的累積，每次放電的放電能量大的話，放電痕形狀也大，加工速度、間隙也大，完工面粗糙度也較粗。

3. 放電加工的歷史

① 如何發生放電

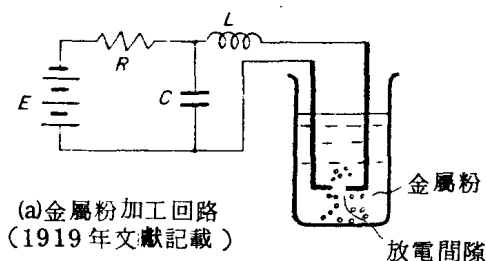
利用放電能量加工金屬的歷史已不短，1919 年發行的德國文獻中，為了製造顏料用金屬粉，在燒杯的水中，使同種金屬相向，連續反覆電容器的充電放電，在兩金屬間發生放電。

此回路方式酷似 1940 年代蘇俄拉沙連可發明的放電加工，拉沙連可利用電容器的充放電回路，將金屬材料加工成特定形狀。

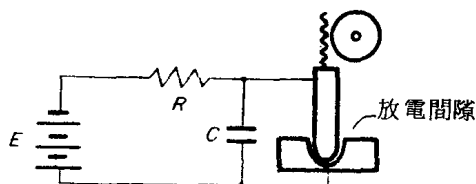
當時證實可用軟銅或黃銅作成電極，對硬質金屬加工出微細孔或異形孔。

但是加工速度慢，電極消耗，缺點多，只用於一部份特殊分野。

無法增快加工速度的原因如圖 1.6 a, b 所示



(b) 拉沙連可式放電加工回路



(c) 現在的電晶體式放電加工回路
油壓伺服機構

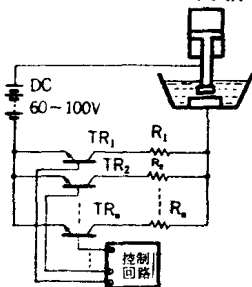


圖 1.6 放電加工回路的沿革

，從電源到放電間隙的路徑並無開關要素，如 c 所示，在電流通過的路徑，插入電晶體式開關元件後，使放電加工進了一大步。

不只增高加工速度，也使電極消耗量極少。

電晶體電源也很能控制放電電壓或電流，改善加工性能。促成今天放電加工的發展。

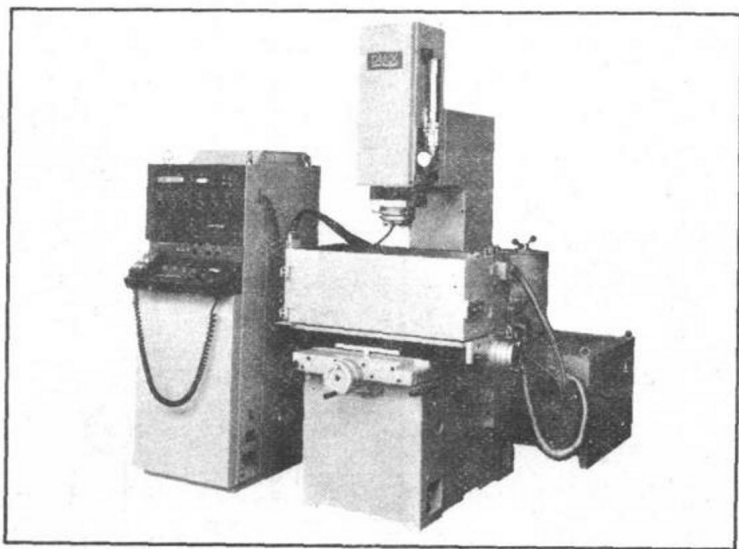


圖 1.7 現在的離模放電加工機

放電加工以外的特殊加工

切削、研磨等利用機械力學原理的加工稱為機械加工法。放電、電解、光、電子束、超音波等利用物理化學原理的加工稱為特殊加工法。特殊加工中，以放電加工最普及，不過，今後，電解加工、光束（雷射）加工等也會漸普及。

② 新式線割式放電加工機

線割式放電加工機也是 1960 年頃由蘇俄發明，當時，使工作台前