

汽車 活葉學習材料

電花加工在汽車修理上的應用

林震亞 費振翼 編

8

人民交通出版社出版

編號：8

電花加工在汽車修理上的應用

林震亞 費振翼 編

人民交通出版社出版

北京北兵馬司一號

新華書店發行

上海市印刷公司印刷

一九五五年五月上海第一版第一次印刷

1—4120 冊

開本：787×1092 1/32

22000 字

印張：7/8

定價(8)：一角六分

上海市書刊出版業營業許可證出零零陸號

一、金屬電花加工的基本知識

什麼是金屬電花加工法

金屬電花加工是金屬電加工的一種，它的特點是直接利用電能來除去金屬或鍍覆金屬表面，而不破壞金屬的熱處理。這種新穎的加工法是由蘇聯學者 Б. П. 拉扎連科和 Н. И. 拉扎連科發現和研究成功的（1938年——1943年）。金屬電花加工法主要是利用所謂電蝕現象——在電極之間產生火花放電時，會發生金屬微粒移動現象。對金屬微粒移動方向加以控制，使它符合加工的目的，便可以進行金屬的加工。

電花的產生

電花對於我們是並不陌生的。汽車發動機就是利用火花塞中的火花放電來使氣缸內的工作混合物燃燒而工作的。在日常生活中我們也常常碰到電火花。當將電插頭插到插座上去時，在插頭的頂端常會出現小小的藍色火花。現在我們來談一談電火花究竟是怎樣產生的。這對瞭解金屬電花加工法是有幫助的。

自然界的一切物體都是原子所組成的。而原子又是由中心的原子核和四周的電子所組成的。原子核和電子帶有電荷。原子核的電荷（正電荷）跟電子的電荷（負電荷）是相反的，而且電荷的作用恰恰相互抵消。所以完整的原子沒有電荷而呈中性。

所謂電流，也就是一羣電子在外加的電壓作用下作有次序的運動。也可以說電流是一種按規律運動着的電子流。

如果把接電的導線兩端相互移近，使距離很小（但並不接觸），

同時增加電源（發電機或蓄電池）的電壓，利用靈敏的儀錶可以測知在切斷的電路內出現微弱的電流。這是由於在較大的電壓作用下，有游離的電子從接陰極的導線端上放出打擊空氣的分子，使其電離，因而將空氣變成略能導電。

假使劇烈地增高電壓，電子便以增高的速度運動，向空氣的分子上撞去。於是一個游離的電子變成了兩個電子。剛從分子中打來的電子也跟原先的游離電子一樣，將以巨大的速度向陽極運動。從分子中分裂出來的每個電子，在它運動的路線上撞到迎面的空氣分子上去，又把這些空氣分子中的電子打出去，這樣就由兩個游離的電子變成了四個電子。游離的電子就這樣一直發展下去，愈來愈多，結果形成了一個衝擊到陽極上去的電子羣。這個時候，空氣間隙被擊穿，發生火花，同時在儀錶上顯出電流強度的急劇增加。

以上的過程在電花加工時是一直重複下去的：電壓增高，發生電子羣，瞬息間電流強度突然增強，放出火花，於是電壓再增高，以此類推形成電子羣和放出火花所需的時間祇要 $10^{-4} \sim 10^{-7}$ 秒，所以電火花形成的過程是極快的。

電 蝕 現 象

在陰極（負極）和陽極（正極）之間火花放電的時候，陽極慢慢地被破壞着，從陽極表面上脫下來的金屬則跑向陰極表面上去，同時逐漸積聚起來。這個現象叫電蝕。

火花放電的時候，陰極和陽極之間的空氣間隙中，有一個電子羣以巨大的速度從陰極向陽極衝擊，把陽極表面上的一小部分加熱，溫度幾乎突然增高到可以把陽極表面上的一部分金屬熔化，甚至把金屬化成氣體的程度。

金屬氣體突然膨脹，相當於一個小小的爆炸，使熔化的一部分金屬從陽極表面上脫出。脫出的金屬落在陰極上，並附着而硬化，

在陰極上就形成了金屬瘤。

電火花加工就是利用火花放電而產生的電蝕現象。不過，金屬瘤能夠很厲害地把陰極的形狀改變，而使工件（陽極）上所製出的孔或其他的形狀不合要求了。B. P. 拉扎連科和 H. И. 拉扎連科成功地解決了這個問題。祇要把陰極和陽極間隙中的空氣換成某種不能導電的液體（煤油等），那末在這種間隙中火花放電還是跟通過空氣一樣容易，可是陰極上的金屬瘤卻沒有了。從陽極中脫下來的金屬懸浮在液體中，不再傳到陰極上去。

電火花加工裝置的電路簡圖

現在我們再來談一談產生電花的裝置線路。目前有兩種標準的電花裝置線路：容電器式（圖 1）和低壓（30伏特以下）供電式（圖 2）。兩種裝置都以直流電工作；它們應用於非接觸法和接觸法金屬電火花加工。

在非接觸法電火花加工中，工具電極和工件之間保持着一定的間隙。

在接觸法中，工具電極作往復運動並週期性地和工件接觸。

採用非接觸法加工時，具有容電器式線路的裝置，其工作情況如下。

直流電源 1 通過可變電阻 5 充電入容電器 4。容電器的充電繼續到它的電壓幾乎足以使電流跳過兩電極間的間隙（介質被擊穿）為止。於是在瞬息間衝擊型似地產生火花放電，同時發生電蝕。此後容電器重新充電。這樣便保證了電火花加工過程的

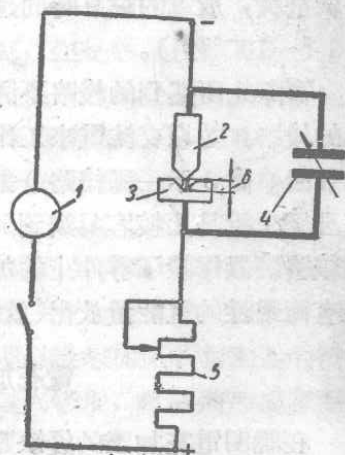


圖 1 容電器式電火花裝置線路圖
1—直流電源或整流器 2—陰極
(工具電極) 3—陽極 (工件) 4—容
電器 5—可變電阻

連續不斷。

應用這種線路以接觸法加工零件時，容電器的充電是當工具電極向上運動時進行的，而當工具電極向下運動至兩電極間的間隙有可能被擊穿時，形成衝擊的火花放電。

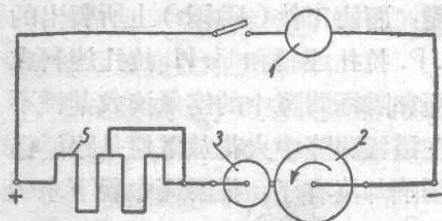


圖2 低壓供電式電花裝置線路圖
(圖例同圖1)

在具有低壓供電式線路的電花加工裝置中(圖2)，工具電極作不間斷的往復運動或旋轉運動。這種工具電極的移轉(轉向)妨礙着火花放電的穩定性。放電是週期性地時斷時續的，也就是說，放電的瞬息時間延長了($10^{-3} \sim 10^{-2}$ 秒)。

實際上所遇到的線路不同於標準的線路，並以交流電來工作。這種裝置(圖3示一種線路)對汽車修理業來說是比較容易辦到的。這種線路裝置保證了零件上的加工區內有衝擊性的電能量放出(放電)。

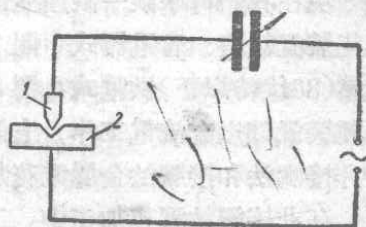


圖3 交流電容式電花加工裝置線路圖

1—工具電極 2—工件

電花加工法的優缺點

在說明電花加工的優缺點以前，先談一下它的一些特點：

- 1) 工具電極不必較工件為硬，一般用紫銅和黃銅作工具電極；
- 2) 工具電極在工件上放電，理論上不必與工件電極接觸；
- 3) 工具電極一般僅作小距離的往復運動，振幅約為0.5公厘左右；

4) 工具電極於加工時有相當的消耗;

5) 局部產生很高的溫度。

根據以上的特點，金屬電花加工法便有它一定的優點和缺點。不過，對於某些工作，優點是主要的，所以有其一定的使用價值。

I) 優點:

1) 電花加工不像普通金屬切削那樣產生很大的切削應力，因此可以在很易變形的單薄工件上進行加工，同時對機床的剛性要求也不高。機床的設備既很簡單，所需的電力又小。

2) 可以在各種高硬度金屬材料和淬過火的金屬材料上進行加工。對硬質合金加工困難的問題和工件加工後因再進行熱處理而變形的問題，都同時得到解決。

3) 電花加工時所產生的溫度雖高，但是熱量很小，而且是局部的，又是在油液中進行加工，因此不會使附近的金屬有退火現象。

4) 在鉗孔時，由於工具電極不作旋轉運動，鉗頭上亦不需要刃口，因此簡化了鉗任何形狀小孔的加工過程和設備，同時又提高了加工速度。此外，電火花鉗孔時工具電極僅作往復振動，許多機械方法所不能鉗的特殊地位，如螺旋形孔或轉彎圓弧孔都可用電火花來鉗。

5) 加工時不像普通切削方法那樣一塊塊的切削，因此特別適合於製造小型沖模。沖模可以在熱處理以後來加工，對工人的技術要求不需很高。又在修理沖模時不必退火修理，祇要將沖模表面磨去一些，再用電火花加工一下。

6) 成本低，質量好，生產率高。像鉗一只柴油機噴油嘴的細孔（直徑 0.15 公厘，深 0.65 公厘），要比一般機械鉗孔快 4~5 倍，費用也可節省 5~7 倍；磨硬質合金刀時，生產率可提高 5~7 倍，而表面光潔度的增高又使刀具使用壽命提高 1.5~2.7 倍；切割金屬時，生產率可提高 2.3~2.5 倍，成本可降低 2~3 倍；經

過電火花法表面強化後，刀具的使用壽命可提高 1.5~10 倍。

II) 缺點:

1) 電火花加工時工具電極有相當的消耗，因此在某些方面的應用還受到一定的限制。例如要鉗一個盲孔（不通的孔），如果祇用一個鉗頭來鉗，由於工具電極消耗的關係而變成錐形，因而所得到的孔是錐形，這便不太合適了。如果是通孔，那就沒有這樣的缺點，因為可以將工具電極從孔中向下伸出一部份（伸出部份的長度等於金屬板的厚度，也就是孔的深度），把孔加以「校正」。

2) 因為孔是由電火花所打成的，所以孔徑尺寸的大小首先與電路參數有關，因此孔徑尺寸就比較不易控制。在孔徑公差很小的情況下，可能需要在電火花鉗孔後，再用研磨法或其他辦法加工，使尺寸合乎要求。

總之，電火花加工法的優點很多，而且是肯定的突出的和重大的。雖然還存在着些缺點，但基本上已解決了機械加工上所不能解決的問題，並「擺脫」了一部份金屬切削機床（包括貴重的和稀少的機床在內）的加工任務。

電火花加工法的應用範圍

金屬電火花加工的應用範圍是很廣的。一般說來，有如下的主要用途：

- 1) 鉗單個小孔或同時鉗許多小孔；
- 2) 切割金屬材料；
- 3) 磨礪切削工具和研磨零件；
- 4) 提高零件或刀具的耐磨性（電火花表面強化）；
- 5) 製造或修理衝壓模子；
- 6) 取出折斷在機件中的鉗頭，螺絲攻，鉸刀，螺柱等等；

7) 修復零件，鍍覆各種不同的金屬（電花鍍覆）；

8) 製造花鍵槽或其他鍵槽。

在汽車修理工作中，以上所列的許多用途可能都有碰到的機會，但是用得最多是 2)，4)，6) 和 7) 等四項。

二、電花加工的技術規範

電花加工的生產率，表面光潔度和加工精度決定於許多不同的因數。

其中最重要的是：

- 1) 電路參數和操作規程；
- 2) 兩電極材料的成份和狀態；
- 3) 電極周圍介質的成份和狀態；
- 4) 電極的形狀，大小和相對位置。

電 規 準

影響電花加工操作過程的因數中，主要的是放電特性——放電曲線的形狀，時間長短，電力和儲備電能。

基本階段（指放電中最主要的階段）的時間越短，波前（波頭）

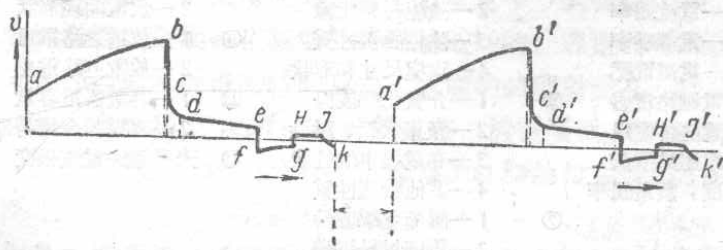


圖 4 電容器式電路中衝擊放電時的過程圖解

越陡（圖 4 上 $b-c$ 綫對垂直綫的傾斜度），儲備電能越高，放電

的破壞作用越強。如果放電的時間延長和儲備的電能較小，那末在加工表面所產生的作用也便顯得微弱了。

放電特性直接決定於綫路（圖5）中容電器的電容 C ，放電迴路的電阻 R_p 和電感 L_p ；放電開始前和放電進行時的電壓；電源的電力 W ；充電迴路中的電阻 R_3 和電感 L_3 。

這些數值的不同配合（電規準），確定每一具體情況中的加工結果。

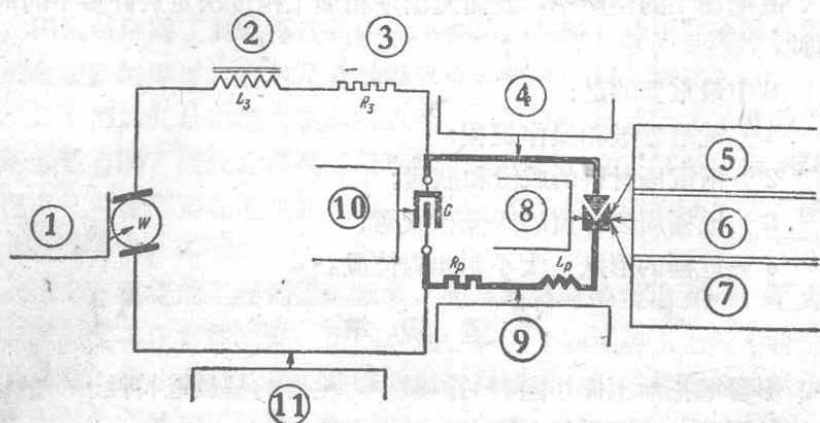


圖5 決定電容器式電路電花性能的主要因數和參數

- | | | |
|-----------------|------------|------------|
| ① 1—電流種類 | ⑤ 1—陰極化學成份 | ⑧ 1—放電電能 |
| 2—電流頻率 | 2—陰極材料組織 | 2—放電曲綫形狀 |
| 3—電源功率 | 3—陰極物理性質 | ⑨ 1—放電迴路電阻 |
| 4—電源電壓 | 4—陰極尺寸和形狀 | 2—放電迴路電感 |
| ② 充電迴路電感 | ⑥ 1—介質化學成份 | ⑩ 1—容電器電容量 |
| ③ 充電迴路電阻 | 2—聚集狀態、黏性 | 2—容電器金屬帶電壓 |
| ④ 放電迴路電流強度，放電頻率 | 3—在電場中的性狀 | ⑪ 充電迴路電流強度 |
| | 4—其他物理性質 | |
| | ⑦ 1—陽極化學成份 | |
| | 2—陽極材料組織 | |
| | 3—陽極物理性質 | |
| | 4—陽極尺寸和形狀 | |

根據操作法對加工零件所起作用的性質，採取把電規準分為

強，中和弱三類。不可能把各類之間的界綫分得很正確，因為在一定的程度上這種分類是帶有條件性的。

容電器所儲備的電能跟它的電容和電壓的關係可以用下式表示之。

$$W = \frac{Cu^2}{2}$$

式中 W——電能，焦耳（瓦特/秒）；

C——電容，法拉；

u——電壓，伏特。

根據這種相互關係，可以按電位能來適當地分成幾個主要的規準類別（表1）。

電能特性規準

表1

規 準 名 稱	最大放電電能（焦耳）
強規準（粗加工）	大於1.0（通常為1~10）
中規準（中等加工）	0.1~1.0
弱規準（細加工）	小於0.1（通常為0.01~0.1）

所訂的分類並不是對各種綫路型式都一樣正確的，因為，除放電的電能大小外，放出電能的速度（放電速率）對破壞作用的性質有很大的影響。金屬電花破壞的特點是這樣的：容電器中的儲備電能如果相等，那末放電的時間越快，破壞的強度就越高。

例如，電容為10,000微法拉的電路，於電壓為10伏特時，具有0.5焦耳的儲備電能。另外，電容為100微法拉和電壓100伏特的電路也可以具有相同的儲備電能。

但是，採用第一種電路時的電蝕強度却比用第二種電路時低很多：像10,000微法拉這樣大的電容的放電時間是如此的長，以致祇發生電極接觸處的透熱（深度預熱）和熔化。可是，在以第二種電路

工作時，則發生[爆炸]性的瞬時衝擊，接觸處的金屬被作用力噴散。

因此，按放電電能的大小來區分規準，祇有在同樣的放電時間和振幅情況下才可應用。

在實際的情況下，是採取以一些參數來說明電規準(表2)的。

電規準的主要類型

表2

規準名稱	放電迴路中激勵 電流強度(安)	開始跳火時電極 間的電壓(伏)①	容 電 器 電容(微法拉)	充 電 迴 路 短路電流(安)
強 規 準	大於100	大於100	大於100	大於10
中 規 準	10~100	50~100	10~100	1~10
弱 規 準	小於 10	小於 50	小於 10	小於 1

① 這參數通常係附帶引用，並非特徵指標。

現在再把蘇聯電花加工所用的電規準介紹在下面(表3)，可以作為加工時的參考。

工作時電規準(包括電壓、電流和電容等參數)的大小，應該根據工作的性質、範圍和具體設備條件來決定。

蘇聯電花加工的電規準

表3

加 工 種 類	電 規 準		
	電壓(伏)	電容(微法拉)	電流(安培)
鑽 大 孔 強 規 準	150~200	400~600	10~60
中 規 準	50~120	100~300	5~10
弱 規 準	40~75	2~3	0.1~1.0
除去折斷的 工具和螺柱	120~220	100~400	7~30
鉗小孔直徑(公厘)			
0.15	105	0.16	0.5
0.35	80	0.10	0.8

金屬電花加工的強度，加工精度和表面質量與電規準的選擇有一定的關係；電花加工的強度以單位時間內所排除的金屬量來表示，它的變動範圍很大；例如採用弱規準時，每分鐘的金屬排除量為1~10立方公厘，而在採用強規準時，可達到1000~1500立方公厘。電花加工所得的表面光度隨採用的電規準而變化；例如電花鑽孔時，採用強規準，所得的表面光度為1或2級（通常用 ∇_1 和 ∇_2 來表示），採用中規準時，能保證2~4級表面光度（ ∇_2 ， ∇_3 和 ∇_4 ）；至於用弱規準時，則得到相當於6級或7級的表面光度（ $\nabla\nabla_6$ 和 $\nabla\nabla_7$ ），這種光度通常要在精鉸時才能得到。所以，規準越弱，加工表面越光潔，加工精度越高，公差和配合的等級也越高。在金屬電花加工的过程中，金屬表面發生很大的變化，表面層的成份和組織，與原來的情況比較起來，有本質上的不同。由於超速度的淬火，以及和空氣中電離的氮化合（介質中含有碳時，金屬還與碳化合），表面層的硬度和耐磨性顯著提高。

三、電花加工的工具和設備

選擇材料最好和形狀最適宜的工具，以及採用合理的設備，在電花加工工藝中具有特別重大的意義。

工具 和 介 質

用來破壞金屬、強化表面和其他電花加工作業的電極叫做工具（也叫做工具電極）。

電花加工時，工具電極底主要作用是向放電地點輸送電流。

照例，工具應該具有高的導電率，在加工過程中很好地保持形狀和大小，有足夠的強度，製造並不複雜和容易找到材料。

實際上可以應用許多不同的材料來製造工具（表4）。

毫無例外地工具材料在工作中要遭受到或多或少的電蝕消耗。

電花加工用的工具材料

表 4

工 作 名 稱	材 料 名 稱									
	銅	黃銅	生鐵	鋼	石墨	銅石 墨	鋁及其 合金	硬質 合金	鐵合 金	鉛
鉗細孔.....	○	+	-	-	-	-	-	-	-	-
鉗大的和中等的孔.....	+	+	+	○	-	+	+	○	-	-
雕刻鋼料.....	+	+	○	-	○	+	-	-	-	-
切削.....	+	+	-	○	-	-	-	-	-	-
磨刀和齒磨.....	+	+	+	+	○	○	-	-	-	-
強化工具和機械零件.....	-	-	○	-	+	○	-	+	+	-
在金屬上畫圖.....	+	+	-	○	-	-	+	○	-	+

註：(+)—常用 (○)—有時用 (-)—不用

消耗的程度則決定於介質性質、電路零件材料和規準。要工具完全避免損耗目前還辦不到。

最耐電蝕損壞的材料中包括(正極為鋼料，在液體介質中加工時)：銅錫混合物(89%CN, 6.9%SN, 3.87%C)；銅石墨物質МГ—1(50%石墨, 50%銅)；МГ—4(72%銅, 28%石墨)；紅銅；鋅基黃銅Л—59, ЛС—59, ЛСЖ—59；灰生鐵；鉛合金(以上是按耐蝕性下降排列的)。

按照各工具材料損耗的絕對值來說，變動範圍很大，可為工件被排除金屬重量的5~10%到100~250%(表5)。

鋼料鑽孔時電規準對工具損耗的關係

(工具材料 ЛС—59)

表 5

規 準 名 稱	工具損耗，以工件被排除重量的百分率計(%)
強規準.....	60~80
中規準.....	30~60
弱規準.....	5~30

除損耗總值以外，對加工結果發生重大影響的是電極切面損耗的均勻性。

用來進行電花鑽孔的工具電極，應該具有與鑽孔相同的形狀（圖6）。鑽孔徑大於6公厘的圓孔，最好製成空心電極，像管子的形式一樣。用空心電極來鑽孔比用實心電極有利得多，因為這樣所耗的電能既較少，而鑽孔又快得多。

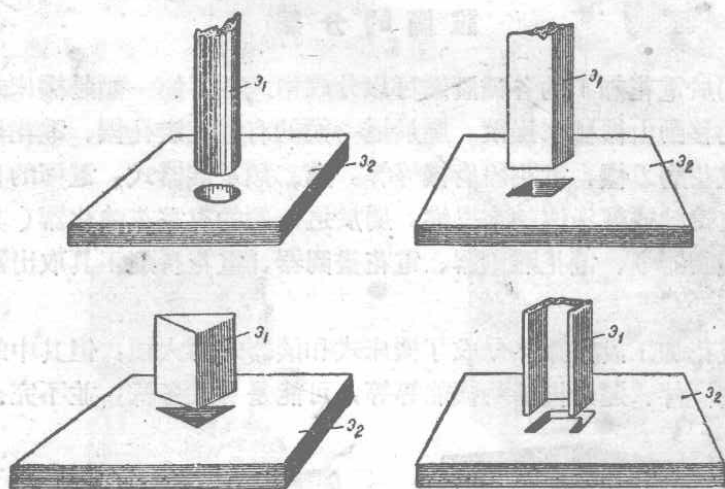


圖6 衝擊性放電將陰極輪廓複製在陽極表面

3₁—陰極（工具） 3₂—陽極（加工件）

前面已經提到，大部份的電花加工操作是在液體介質中進行的。祇有金屬強化和接合則常常在空氣或氣體介質中完成。液體介質的作用極大。液體能保證排除被破壞的金屬；液體使電極冷卻因而穩定了加工過程；在液體介質中，間隙的電氣絕緣強度顯著增高。適合於電花加工的液體，要求有恰當的黏性、絕緣性、對放電作用的化學穩定性和使用安全性。

最常用的液體介質是石油產品。

在許多情況下可以應用平常的水，但最好是用活水(自來水)。水的的導電性對加工過程不發生影響，因為由於電解的結果，電極上覆蓋了一層絕緣的氣泡。

在用直流電於水中工作時，往往由於陽極金屬溶解而使電極變形。這種情形在用交流電時便不會發生。電花鑽孔可以採取這個辦法。工作液必須澄清過濾，除去其中所含的雜質。

設備的分類

用於電花加工的各種設備可以分成兩大類。第一類是機床式，電極的移動由機械來操縱。屬於這一類的有電花鑽孔機、電花切割機、電花磨刀機、電花研磨機等等。第二類是儀器式，電極的移動用手直接地或經過傳動來操縱。屬於這一類的有電花強化器(具有手動振動器)、電花雕刻器、電花畫圖器、電花折斷工具取出器等。

電花加工設備雖然分成了機床式和儀器式兩大類，但其中的電路控制機件、運動機構的機能等等，可能是各式各樣，並不完全相

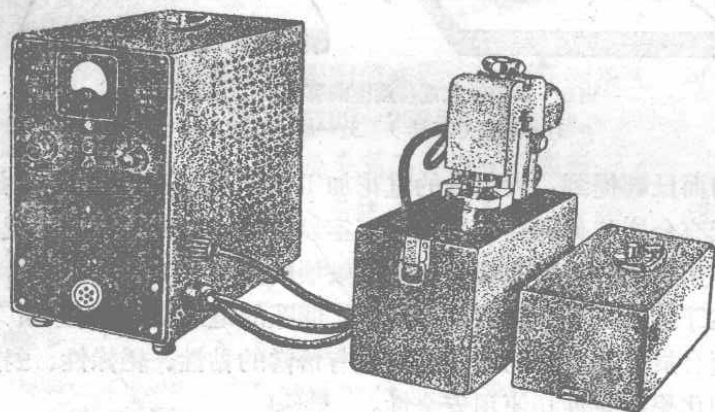


圖7 VITA-12型輕便式萬能電花加工器

同。

蘇聯在電花加工方面所用的設備，真是日新月異、種類繁多，而且是精益求精，加工精度和生產力逐步提高。絕大部份的電花加工設備都是自動化的。圖7，8，9，10和11示出一些蘇聯電花加工設備底外貌。

圖7上所表示的是УПА—Д2型輕便式萬能電花加工器，可以用來鑽孔和穿腔，也可以用來完成各式各樣

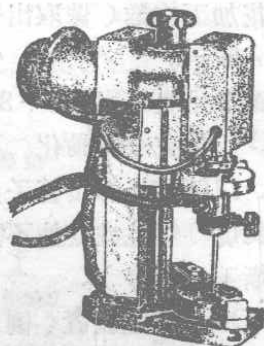


圖8 УПА—Д2型電花加工器的加工頭

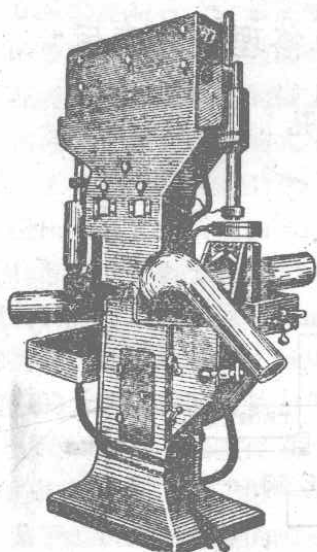


圖9 ТД—3型電花鑽孔機



圖10 КЭИ—2型電花強化裝置

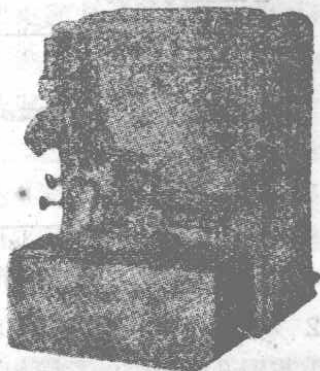


圖11 4382型電花裝置