

143357



电火花装置

列文生、符拉基米洛夫著



机械工业出版社

8
202

电 火 花 装 置

列文生、符拉基米洛夫著

黄 竟 成 译



机械工业出版社

1958

出版者的話

本書敘述了电火花裝置的結構和制造方面的問題，介紹了选用电气系統和加工用量的必要知識并詳述了电火花裝置的工艺特性。本書專为工業企業的工作人員写成。本書也可供科学研究院及設計院的工作人員，以及高等学校的学生参考。

苏联 Е. М. Левинсон, Е. И. Владимиров 著 ‘Электро-
искровые установки’ (Машгиз 1951 年第一版)

* * *

NO. 1629

1958 年 2 月第一版 1958 年 2 月第一版第一次印刷
850×1168 $\frac{1}{32}$ 字数 180 千字 印張 6 $\frac{9}{16}$ 0,001— 1,650 册
机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版
机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1.20 元

目 次

原序	4
第一章 金屬电火花加工的基本概念	5
1 金屬电火花加工法的發現	5
2 电火花裝置的工作	6
3 电火花加工工艺概述	22
第二章 电火花裝置的結構原理	38
4 电火花裝置的結構特点	38
5 电火花裝置的电气設備	42
6 电火花裝置的机械設備	56
第三章 电火花裝置的調節器	66
7 概論	66
8 調節器結構的發展	68
9 浮力調節器的結構	76
10 剛性進給調節器的結構	87
11 調節器机械裝置的基本元件	99
第四章 制孔和穿槽的电火花裝置	108
12 制小孔的电火花裝置	108
13 制大孔和槽的电火花裝置	133
第五章 完成其他种类加工的电火花裝置	154
14 金屬切割电火花裝置	154
15 ИТА-24 型外圓磨削电火花裝置	159
16 鏜孔用电火花裝置	163
17 強化金屬表面層的电火花裝置	171
第六章 电火花裝置的电源	182
18 半导体整流器	183
19 机械整流器	185
附录 I	195
附录 II	204

原 序

苏联的学者发现了金属的电火花加工法，从而在祖国的技术發展史上写下了新的一頁。

有鑒于这一發現的重要性，苏联政府授予电火花加工的發明者 Б. Р. 拉扎連柯和 Н. И. 拉扎連柯以斯大林獎金获得者的崇高称号。

金属的电火花加工在工業中获得了广泛的应用。

但是，介绍电火花裝置結構設計的技术文献很缺乏，工業工作人員难以找到足够的参考資料，这就延緩了推广这种新的金属加工方法的速度。

电火花加工技术已發展到現代化的水平，对于电火花裝置的需求正在不断增長。由各个企業自己来单独地制造电火花裝置显然已無法滿足这种需求。組織电火花裝置成批生产的必要性已經非常明显了。

在本書中反映了作者在列宁格勒基洛夫林業技术科学院和列宁格勒古比雪夫气化器工厂中工作时所累积起来的經驗。

在本書中，作者着重介绍了在設計和制造电火花裝置时以及掌握电火花加工工艺时最常遇到的問題。本書还叙述了作为电火花裝置的設計和工艺基础的一些研究。

对于本書的意見和希望請徑寄列宁格勒涅夫斯基大街58号国立机器制造書籍出版社列宁格勒分社。

第一章 金屬电火花加工的基本概念

1 金屬电火花加工法的發現

金屬由于放电作用而被破坏的現象叫做电蝕，为了消除电蝕現象而做的努力促进了电工技术的發展。

全苏电工研究院的苏联学者們在三十年代末期所进行的工作使得人們对于电流轉換裝置被破坏的原因有了明确的認識。

由于研究了电流在空气和各种液体中的轉換过程，人們發現了金屬分散并由陽極向陰極迁移的現象。Б. Р. 与 Н. И. 拉扎連柯确定了在气体中一个电極的材料向另一个电極迁移的規律：在陽極上形成凹穴，在陰極上則产生突瘤。

陰陽二电極間發生火花放电时即产生上述現象。曾經發現：如果把上面提到的兩個电極浸入液体中，陽極金屬沉积到陰極上的現象即行停止，而金屬由陽極分散的現象則加剧了。同时，分散了的呈圓球形小顆粒的金屬微粒一直悬浮在液体中。用各种金屬及合金进行了多次試驗，都得出了如上所述的結果。

上述的試驗使研究者不由地想到，电蝕現象可用来取得金屬的粉末，甚至取得那些很难用机械方法磨碎的合金粉末。进一步研究了电流轉換过程之后，学者們确定：处于液体介質中的兩电極間發生火花放电时，在陽極上形成和陰極的外形相同的凹穴；同时，經過長时期的轉換作用，陽極上的凹穴即成为貫通的孔。

試驗結果清楚地表明了利用电蝕現象进行金屬尺寸加工的可能性。

更深一步的研究工作主要是沿着这一方向深入下去的。經過很短的一段时间，学者們就确定出新型的金屬电火花加工法的基本規律和工艺可能性。

自 1943 年开始, 由于利用电火花腐蚀法来进行金属的尺寸加工, 就开辟了一个新的工艺领域。任何一种导电体, 不论其硬度和韧度多高, 虽然它们难以进行切削加工, 但是都可以很方便地用电火花法进行加工。用电火花来加工金属的新方法发现后, 就出现了各种本质上不同于金属切削机床的电火花装置。

2 电火花装置的工作

引起金属腐蚀的放电现象, 其形式是各不相同的。金属腐蚀的性质取决于放电的形式。金属电火花加工时, 通常只利用两种形式的放电, 即火花放电和电弧放电。进行金属的尺寸加工时, 只能采用火花放电。伴随火花放电而产生的现象对电火花装置的工作没有影响, 因而不在于本书中加以讨论。

两种形式的放电都可由电火花装置 (图 1) 获得, 电火花装置由下列几部分组成: 可以调整电压的电源 T , 调节电流强度的变阻器 R , 电容器 C , 产生放电的电极 ϑ_1, ϑ_2 , 以及测量电流强度和电压的电表。电火花装置的电气系统通常分为两个回路: 供电回路 (用细线表示) 与放电回路 (用粗线表示)。电火花装置的电源电压在 2~300 伏特之间。

图 1 中表示产生脉冲电流的电气系统, 其作用过程如下。脉冲电流发生器的两端钮有电压时, 电流即使电容器充电, 同时使电容器的两片极板间的电压升高至

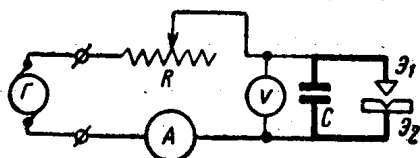


图 1 电火花装置的原理图。

额定值 (升高至发生器的电压)。电容器充电至额定电压所需的时间视电容器的电容量及线路的电阻而定。现在假设电极 ϑ_1 与 ϑ_2 之间的距离很小。电极 ϑ_1 和 ϑ_2 与电容器极板并联。所以, 电极 ϑ_1 与 ϑ_2 上的电压和电容器的电压是同时升高至额定值的。由于在电极间产生的现象[⊙], 在电压升高至一定数值时, 介质的介电强度即被破坏。因而, 积储在电容器上的电能即以放电的形式放出。

⊙ В.Р. 与 Н.И. 拉扎连柯: 金属电火花加工物理学 (ЦБТИ. МЭИ, 1946)。

电能沿着在介质中發生的导电通道短時間通过的現象叫做火花放电。如果充电电路的电阻相当大，則兩电極上的电压起初是下降，然后开始上升，經一定時間后重新升高至足以产生使介质被击穿的数值，因而产生第二次的火花放电。为了保証电火花装置放电作用周期性地繼續下去（圖2），必須使介质的介电强度在电容器充电的時間內及时地恢复起来。此外，电阻、电容、电源电压与电極間的距离应该保持不变。

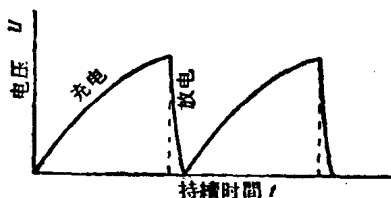


圖2 电火花裝置工作时相对兩电極上电压的变化曲綫。

充电时积儲在电容器上的电能于放电时在極短的時間中放出。电容器放电电路的电阻越小，电流强度的振幅值也就越大，放电的延續時間也就越短。

产生火花放电处，一定量的金屬遭到破坏而分散。强度相当大的短時間放电引起了类似爆炸效应的現象。由此，在金屬上形成凹穴，其体积随放电强度的大小而变。火花放电时，部分电能轉变为热能。电火花通道的温度高达 $10000 \sim 12000^{\circ}\text{C}$ ●。

电火花通道周圍产生的磁場使得火花通道的剖面受到很大的压縮，因而火花通道中的电流强度可达数万安培。現在采用的电火花裝置中，电流强度的振幅值达数百以至数千安培。

火花放电区域的灼热气体具有巨大的压力，这压力以很大的速度傳向四方，因而引起劇烈的音响效应，發出很响的劈拍声。由于火花放电的時間極短，所以其光效应虽然很亮但不易被覺察。

火花放电产生的高溫对金屬的作用時間很短，而火花放电对金屬的作用又很集中，所以电極間隙中产生的热能大部分都用来使若干数量的金屬熔化并气化，而周圍灼热气体的高压則促使遭受放电破坏处的灼热金屬迅速地甩出。

如果增高供电电路中的电流强度或减小电容，則放电的頻率即增大。放电的頻率增大到一定的限度，火花放电即轉变为电弧放电。这是

● 卡普卓夫(Н. А. Капцов):《气体与真空中的电現象》(Гостехиздат, 1947)。

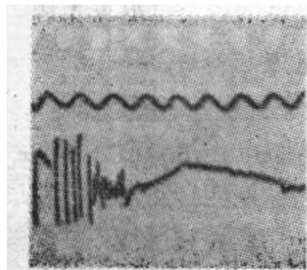


圖3 火花放电轉变为电弧放电(下面的曲綫)的示波圖。

因为, 放电頻率太高时, 相鄰兩次脉冲放电距离的时间太短, 电极間介質的介电强度来不及恢复。圖3中的示波圖(圖3)表示出火花放电轉变为电弧放电后电极上电压的改变情况。示波圖中, 上面的一条曲綫表示出頻率为450 赫芝的單位时间尺度。

电弧放电的特征是長時間的發光以及在相当大的区域内的金屬被熔化。电火花加工时, 如果产生長時間的电弧放电, 工件即被损坏。只要正确选用电参数以及适当的电气设备, 即可消除在工作时产生長時間电弧放电的危險。

每一次火花放电时, 电极上的一部分金屬(主要是陽極金屬)要分散, 因而电极間的距离变大, 放电即随之停止(如果不設法使两个电极移近的話)。使电极間隙保持不变, 是保証火花放电連續下去的重要条件之一。

用电火花来加工金屬主要是在粘度小的不导电的液体介質中进行的。应用最广的液体介質是煤油和矿物油。已經証明, 在液体介質中产生火花放电时, 由于放电而分散出来的金屬数量大为增多。此外, 因为电极間充滿了不导电的液体介質, 就有可能在电容不变的情况下采用較大的电流, 而沒有發生电弧放电的危險。

在液体介質中, 电极間隙可以比在空气中大許多倍(圖4)。在电火花加工通用的电压范圍內, 采用液体介質可以改善調节电极間隙的条件。

火花放电引起若干数量金屬的分散, 分散了的熔融状态

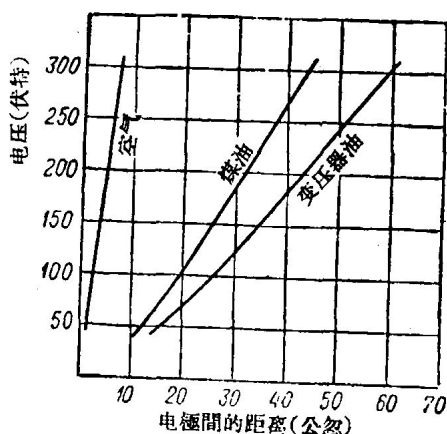


圖4 电极間隙随电极电压而变的曲綫圖。

(部分是气态的)的金屬微粒以極大的速度自電極間甩出。液体介質阻止这些金屬微粒的运动,并使它們破碎和冷却。冷却了的金屬微粒的尺寸極小,呈圓球形。由于具有分散性,金屬微粒一直悬浮在液体介質中,漸漸使液体渾濁。較大的金屬微粒則慢慢地沉淀下去。

对圓球形金屬微粒进行显微分析的结果表明,在放大 100 倍时,除去个别的圓球以外,其余的微粒均为不定形的小塊。如果繼續放大(放大 500~1000 倍),即可看出这些不定形的小塊原来是由許多更小的球形微粒粘合而成的。

如果液体介質非常渾濁,就会在電極間構成一个电火花可以通过的电桥。液体介質中存在着一一定濃度的金屬微粒和液体介質本身的分解产物是許可的,但是如果液体混濁程度繼續增加,則电火花裝置的生产率即下降。此时,必須更換液体,或將其過濾。

液体介質中火花放电的进行取决于電極运动的性質。現在,我們来研究圖 1 中的电气原理圖。假定两个電極是固定的、互相隔离的,我們看到,電極上的电压逐漸升高到某一限度时即發生火花放电。这时,如果没有电容或电容太小,加之供电电源又具有相当大的功率,則火花放电即轉变为电弧放电。在其他条件相同时,如果电容相当大,可以維持周期性的火花放电,則只要電極間保持規定的距离,火花放电將不断地繼續下去。

如果两个電極(或其中之一)是运动的,而且周期性地互相接触,則伴随火花放电产生的現象將根据電極运动的速度而發生变化。如果電極运动的速度大,两个電極相接触的时间只有千分之几秒,这只会使电容器的充电过程稍緩。如果電極运动的速度小,产生的現象就不同了,这时,当電極移近到产生击穿的位置时,会产生周期性重复的,頻率越来越大的火花放电,直至電極短路为止。

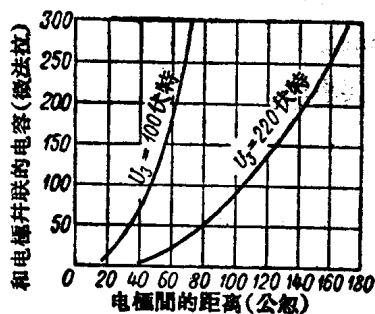


圖 5 電極間隙随电火花裝置实际工作条件下加工规范剧烈程度而变的关系曲线。

電極短路時，電路中通過直流電，此時電容器受不到充電作用。當短路的電極互相分開，兩個電極的接觸點迅速減少，電流密度則迅速增大，這使得面積很小的一部分金屬被熔化。這時，電極接觸處出現明亮的光點。繼續使兩個電極分開，電極間形成一個不大的間隙，間隙中產生電弧放電。繼續加大電極間隙，電極間的電弧即被拉伸至相當大的長度。在自動調節器有毛病，不能保證要求的調節精度時（這大多數是由于進給機構有縫隙，或者是液體流向被加工處的条件很坏的緣故），就會產生上述現象。

電極間隙的實際大小不僅取決於外施電壓的大小和介質的組成，也取決於加工規範的強度，即取決於電容的大小。

圖 4 是電極間隙隨外施電壓而變的關係曲綫圖，這曲綫適用於液體介質沒有被加工產物弄混濁的情況下。加工過程中，電極間充滿了液體電介質和分離出的金屬微粒的混合物。此外，還有液體介質的燃燒產物和氣泡。隨着加工規範強度的提高，電極間隙間金屬微粒與燃燒產物的濃度和尺寸也增大了。

接入電路的電容器的電容增加，加工用量的強度即隨之增加。所進行的研究工作表明：電容增加（若電流強度不變）後，在電火花裝置實際的工作條件下，即可加大電極間隙。從圖 5 中可以看出這一規律。

應當指出，在電火花裝置的實際工作條件下，電極上小圓穴的大小影響着電極間隙的大小。所以，在加工硬質合金時電極間隙比加工鋼料時要小些。

電火花裝置的工作強度和頻率

本書作者進行的研究工作表明，電火花加工時，金屬的蝕除量決定於短路電流 $I_{短}$ ，電源電壓 $U_{額定}$ 與電容器的充電程度 η 。

充電程度 η 是電火花裝置工作時電容器充電後的電壓 $U_{充電}$ 與電源電壓 $U_{額定}$ 的比值：

$$\eta = \frac{U_{充電}}{U_{額定}} 100\%。$$

電壓 $U_{充電}$ 取決於電極間隙的大小，如果間隙減小，則在較低的電壓

$U_{\text{无電}}$ 时就产生电極間的放电。

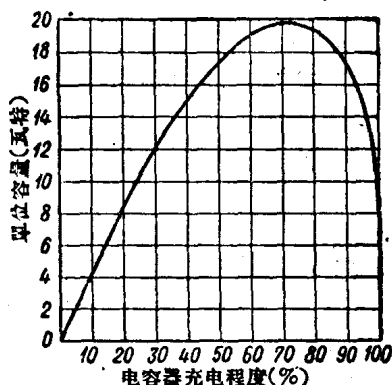


圖 6 放电迴路中的单位容量 P_{yd} 随电容器充电程度 η 而变化的关系曲线圖。

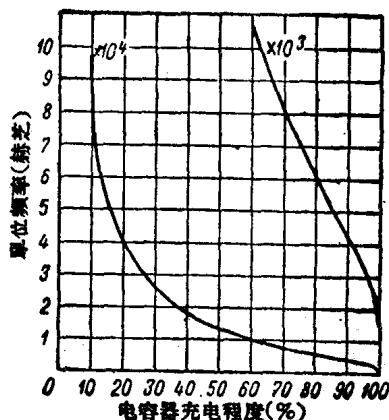


圖 7 单位频率 f_{yd} 随电容器充电程度 η 而变化的关系曲线圖。

$I_{\text{短路}} = 1$ 安培, $U_{\text{额定}} = 100$ 伏特时放电迴路中的容量 P 叫做单位容量 (P_{yd})。

圖 6 所示的曲线表示出 P_{yd} 与 η 之间的关系。利用这一曲线, 可以由下列方程式求出容量 P 的大小:

$$P = \frac{P_{yd} I_{\text{短路}} U_{\text{额定}}}{100} \text{ 瓦特。}$$

此外, 曲线还表示出: 当 $\eta = 72\%$ 时电火花装置放电迴路中的容量最大。

充电-放电的频率决定于充电迴路中的电阻与放电迴路中的电容量。

放电迴路的电容为 1 微法拉, 充电迴路中的电阻为 100 欧姆时的频率叫做单位频率 (f_{yd})。圖 7 所示的 f_{yd} 与 η 的关系曲线中, $U_{\text{额定}} = 100$ 伏特, $I_{\text{短路}} = 1$ 安培, $C = 1$ 微法拉。

把放电迴路的电路电阻 r (兩电極間的电阻) 忽略不計, 就可用公式計算出当 $U_{\text{额定}}$ 与 $I_{\text{短路}}$ 等于不同数值时电火花装置的工作频率, 計算所得的准确度对于电火花装置的实际操作是足够的。为此, 必須量出电

火花裝置工作時的電極電壓 $U_{\text{電}}$ ，確定電容器的充電程度 η ，並根據圖 7 中的曲線求出 $f_{y\lambda}$ 之值。

電火花裝置的工作頻率可由下式算出：

$$f = \frac{f_{y\lambda} f_{\text{短路}} U_{\text{額定}}}{C \cdot 100}。$$

電容器充電程度 $\eta = 72\%$ 時的頻率稱為「理想頻率」—— $f_{\text{理想}}$ 。

電極間隙值的測量

作者認為，既然目前有關電極間隙問題的資料甚為缺乏，就完全有必要在本書中研究一下電極間隙的測量方法、測量的過程以及必要設備的製造等等問題。在設計維持火花放電頻率恒定不變的裝置（即電極間隙調節裝置）時，有關電極間隙值的參考資料是必不可少的。

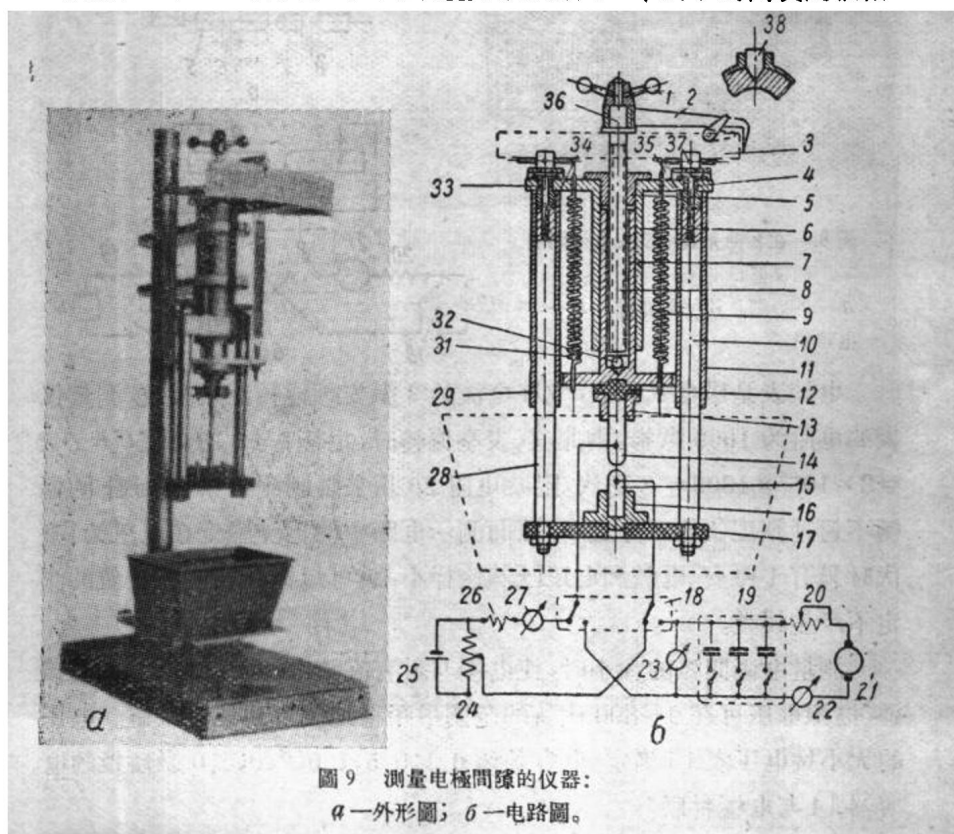
電極間隙值的測量是在空氣、煤油及變壓器油中進行的。火花放電產生在黃銅陰極與鋼制陽極之間。相對兩電極的半球形端面拋光至鏡面光潔度。電極的直徑各為 1.5 公厘，總長 40 公厘。用千分螺絲可使電極互相接近。電極位移的數值可按單位刻度為 1 公忽的刻度盤上的讀數確定。

圖 8 表示出測量電極間隙的儀器。垂直滑杆上裝有金屬卡板 1，卡板可由在球形螺帽 9 與 11 中旋轉的螺桿 10 收緊。手柄 4 帶動千分螺絲轉動。被碗形彈簧 3 壓緊的分度盤 2 裝在千分螺絲的一端。電極架 6 與 8 及電極 5 與 7 垂直地安裝在卡板 1 上（在與卡板絕緣的螺絲 10 的平面內）。螺絲 10 具有兩段同方向的螺紋，其節距各為 0.5 公厘與 0.6 公厘。螺絲旋轉一周，螺帽 9 與 11 即相對移動 0.1 公厘。兩電極端面間的距離也變動 0.1 公厘。分度盤 2 分為 100 等分，因而分度盤的每一刻度值為 0.001 公厘。

被拉緊的卡板 1 可以保證螺帽與螺紋間沒有間隙，從而保證了讀數的正確性。

儀表的電路由指示電路與供電電路組成。指示電路用來測定電極在何時互相接觸。指示電路由 1.25 伏特的直流電源 19、電位表 18 及灵敏度極高的電流表 21 與其附加電阻 20 組成。

電極間隙值的測量在接入電容器及無電容器的兩種情況下分別進行。雙極轉換開關 13 用來使電極和適當的電路接通。進行測量的順序如下。接通測示電路，仔細使電極 7 與 9 靠近，直至電流表 21 指出兩電極已經相觸時為止。分度盤 2 的零綫須與定位針 12 重合。以反時針方向旋轉手柄 4，電極間的距离即加大。旋轉轉換開關 13，可接通供電電路，并使電路端鈕的電壓調整至規定的數值。沿順時針方向調整螺帽 4 使兩個電極相互靠近，直至產生击穿，這時，電壓表 15 的指針開始偏轉，并產生火花放電的劈拍聲（在電路中接入電容器時）。這時，應將定位針指出的分度盤的讀數記下。記下的讀數即為兩電極間的距离（公忽）。利用上述的測量儀器進行了多次的測量。每次測量之后，不論電極上有無放電作用的痕迹，均將電極重新拋光。圖 4 中所示的曲綫是根據



上述儀器的測量結果而繪出的。

在電火花裝置的實際工作條件下是用圖 9 中的儀器來測量電極間隙的。這一儀器可以使電極相互移近到產生火花放電的距離，同時，電極的移動可以調節，測量的精度可達 1 公忽。

儀器由進給機構與兩個電路組成。儀器的兩個電路和圖 8 中的儀器相同。進給機構由導軌 6，沿導軌滑動的滑筒 7 組成，滑筒 7 由螺桿 8 帶動。螺帽 5 緊固在導軌 6 中，螺桿 8 即在螺帽 5 中旋轉，產生直線運動，螺桿的壓力由螺桿與滑筒之間的支承滾珠 32 傳至滑筒上。螺帽與螺桿的間隙用強力彈簧 9 與 31 進行調整。棱形鍵 38 用來消除滑筒的徑向間隙。電極架 13 與電極 14 固定在滑筒的下部，電極架裝在夾布膠木軸襯 12 中而與滑筒絕緣。另一電極架 16 及電極 15 裝在電極台 17 上。電極台裝在兩根圓柱導軌 10 與 28 的下部，圓柱導軌可在圓筒導槽 11 與 29 中上下移動。使圓柱導軌 10 與 28 的端部和銅軸襯 34 與 35 的磨光的端面相觸，同時轉動收緊螺絲 4 與 33，使導軌的端面緊靠在軸襯的端面上，這樣，電極台即被準確地固定在上部位置。

測量時的順序如下。先裝好電極 14 與 15，使電極與電路接通，把供電電路的電壓調整至必要的數值，再接入適當的電容。使電極短路，利用電阻 20 把電流調整到需要的大小。進行測量時，應將電極浸入裝有液體電介質的升降槽中。把短路電流調整到需要的大小之後，把電路切斷，轉動手柄 1 使電極分開。再使電極靠近時，電極間即產生強烈的火花放電，放電可繼續 2~3 分鐘。在調整過程中，受止動器 37 限制的定位針 2 指向分度盤上的零綫。電極間產生強烈的火花放電時，斷開供給電路，同時停止電極 14 的進給。

測量的第二階段是量出電極間的距離。為了清除電極間隙內分離出的金屬微粒，應該先把液體槽放下，再放鬆螺絲 4 與 33，降下電極台，用汽油噴洗器仔細洗盡電極的端面。之後，把電極台 17 升至原來的位臵，再用轉換開關 18 接通測示電路。放下止動爪 37 使定位針 2 鬆開，再使電極 14 與 15 靠近，直至相觸。相觸時電流表 27 開始偏轉。止動爪 37 放下之後，定位針 2 由於摩擦連接器 36 的作用而和螺桿 8 同時轉

动。調整进給量时, 摩擦連接器 36 不起作用, 故定位針 2 的軸套自由地在螺杆 8 的軸頸上滑动。

定位針的尖端移过了等于電極間隙的一段距离之后, 兩電極即互相接触。

測量電極間隙的数值时, 所用的陰極由 ЛС-59 黃銅制成, 陽極則用硬度 $HR_c = 60 \sim 62$ 的 Y8-A 热处理鋼制成。圖 5 中的曲綫即根据測量出的結果繪出。

电火花加工的加工规范

对于任何一种工艺过程, 在生产率、加工精度与被加工面的質量方面都提出一定的要求。为了获得預定的結果, 必須控制加工过程的进行。

电火花加工时, 利用調整电参数, 即調整电压、电流与电容的方法来控制金屬的蝕除过程。

以电参数作为特征的电火花加工规范, 不論加工种类如何, 一般可分为强规范、中规范和弱规范三种。

强规范的特点是蝕除大量的金屬。加工时, 电流与电容都很大。加工后的表面粗糙, 其光潔度相当于 ГОСТ 2789-45 的 4 級以下。

中规范蝕除下較少的金屬。加工过程中, 电流与电容值不大不小。被加工面的光潔度相当于 5 級与 6 級。

弱规范的特点是蝕除下的金屬很少, 电流与电容也很小, 加工鋼件时能得到光潔度为 6 級与 7 級的表面。利用这种加工规范来加工硬質合金时, 表面光潔度更可以提高。

分离出一定量金屬所耗費的电能取决于該种金屬的物理化学性能、工作介質以及加工种类。例如, 磨削和刃磨的生产率就比制孔和穿槽的生产率要高。这是因为, 进行磨削和刃磨时, 具有較好的条件来取得一定形狀的火花放电, 并清除電極間隙內被分离出的金屬微粒。

为了获得預定的工艺效果, 必須正确选用电参数, 以保証最高的生产率, 保証所需的表面光潔度, 并保証电火花裝置产生火花放电。