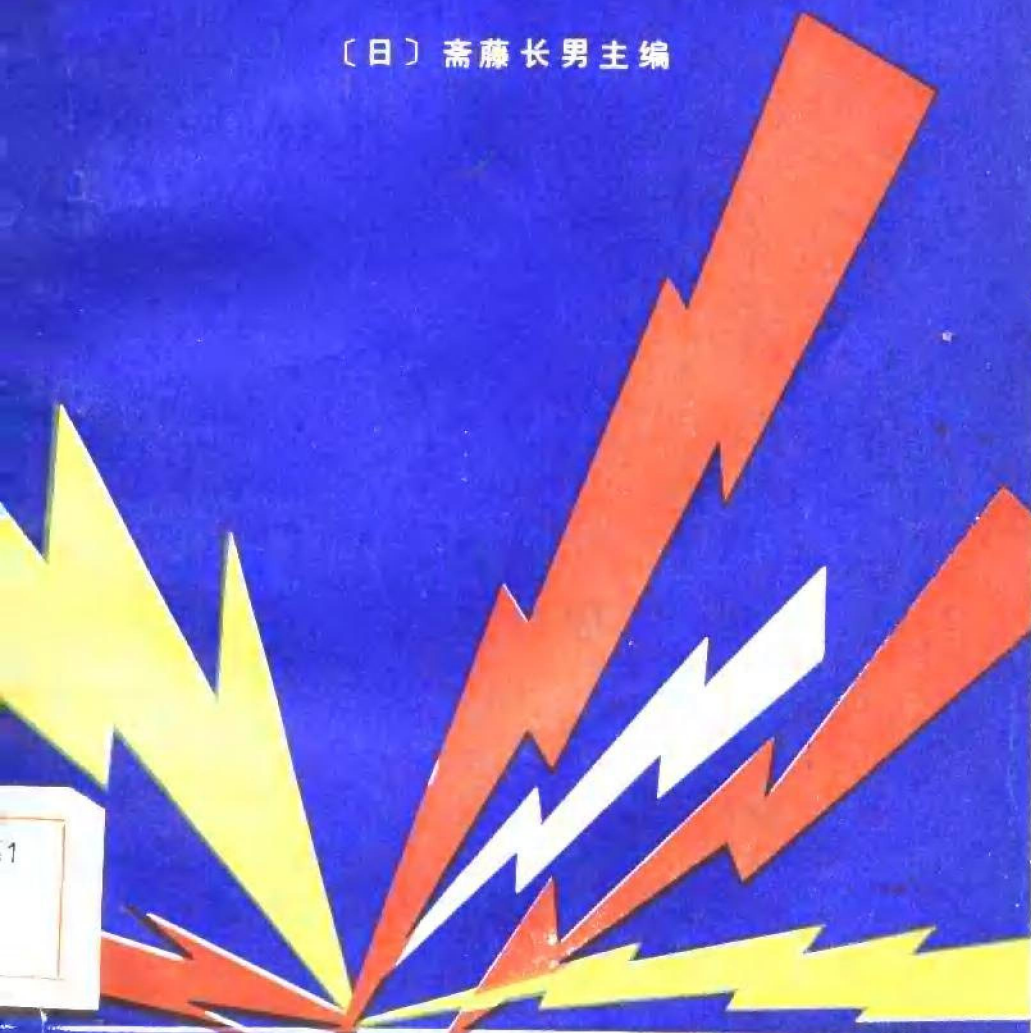


实用放电加工法

〔日〕 斋藤长男主编



中国农业机械出版社

放電加工のしくみと 100% 活用法

監修 斎藤長男
技術評論社 1979

● ● ●
实用放电加工法

〔日〕 斎藤长男 主编
于学文 译

●
中国农业机械出版社出版
北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号
中国农业机械出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
新华书店经售

●
850×1168 $1/32$ 开 6 $5/8$ 印张 171千字
1984年12月北京第一版 · 1984年12月北京第一次印刷
印数: 0,001—3,800 定价: 1.05 元
统一书号: 15216 · 213

主 编 者 序

以往公开出版过的放电加工的书籍，因为是详细叙述放电现象和加工现象，所以不具备一定知识的读者，在学习中会有难懂之处。

另外，最近线切割放电加工机床不断迅速发展，但尚无这种机床的教材和实用的书籍。

在放电加工中，不稳定因素开始出现的时候，需要如实地反映这种现象。如果不了解这种情况，有时就不能使用加工机床，所以掌握这种情况是非常有意义的。

然而现在可以看到，日本普及放电加工机床有近两台，并确立起模具加工机床的地位。

也就是说，如果从工厂管理的角度来看，它不是特殊的加工机床，而是通用的加工机床。但是作为机械工业上的常识，除加工原理以外，还包括经济性与管理问题，这些都是许多人需要了解的。

这次，技术评论社把教材与实用书籍一起规划出版。因此，把最新的成型放电加工机床和线切割放电加工机床作为中心课题，并按如下要点编辑撰稿。

1. 通过整理基本原理来理解，并介绍使用机床的知识和安全知识。

2. 在技术和设备计划方面，给出与制造厂、用户的专家对话的知识：

- (1) 阐明专业术语的意义，作出术语的索引。

- (2) 指出加工技术上的正误，以判断是否良好。

- (3) 在技术上与制造厂的维修人员进行商讨和联系，以提高效率。

- (4) 给出最低限度的修理、维护的知识（理解消耗部分与维护要领）。

3. 给出决定放电加工的设备计划、购入规格的知识（投资效率的计算和折旧、租税的优惠措施）。

4. 可以用作中等专业学校、职业训练学校和大专院校的讲义。

5. 用于制造厂的维修员、推销员、用户等新成员的教育。

本书是请三菱电机公司放电加工部门的科长、股长及其与他们相当的人分担执笔的。如果本书能成为放电加工工作者的常用书，编者将引以为幸。

主编者 三菱电机公司重电事业本部

总工程师 工学博士 斋藤长男

绪 言

放电加工机床,一九七七年度售出1464台,产值142亿日元;一九七八年度售出2234台,产值剧增至203亿日元,接近铣床250亿日元的产值。

其中,线切割放电加工机床增长更显著。与前一年相比,成型放电加工机床增长144%,线切割放电加工机床增长166%。

一九七八年比一九七七年机床的增长率,即使包括NC(数控机床),也有120%。因此,放电加工机床的增长,不仅是为了更新和增产的设备投资,而且由于技术革新产生很大的经济价值。

特别是,由于有了线切割放电加工机床并与成型放电加工机床联合应用,使模具的制造周期显著缩短。模具制造可从多年熟练的工种中解放出来,使模具制造设备和人事费等固定费用下降,模具制造环境的改变(变成穿白工作服的人员使用机床)等,这些确实获得了显著的经济效果。

此外,除了用作模具加工机床以外,最后还作为无毛刺的加工手段,在钢铁轧辊的梨皮面加工等生产加工领域中也开始被应用。

放电加工的用途在扩大,不仅用于高硬度难加工材料和难加工形状的高精度加工,也可有效地利用放电加工表面的特殊性质。

了解用于模具加工机床的放电加工当然是重要的,但是理解放电加工本身的特点,发现其巧妙的用途,这对其进一步发展有很大作用。

本书分为放电加工的基础、放电加工的应用和设备引进与经济效益三章。放电加工的基础将大体阐明放电加工是怎么回事,同时叙述主要原理、基本电路和加工表面的性质。

放电加工的应用分为成型放电加工机床和线切割放电加工机床,叙述它们的机械结构、操作、加工技术、新技术和安全。

设备引进与经济效益这一章,叙述设备引进的投资效率的计算实例和经济性。

目 录

主编者序

绪言

第一章 放电加工的基础1

第一节 放电加工原理1

一、依靠放电的加工1

二、观察加工状态3

三、放电加工的历史4

四、放电加工可在哪些方面使用8

五、放电加工进行的状况14

六、加工基准的各种单位18

第二节 电气条件与加工特性22

一、电气条件与加工的关系22

二、单次放电痕的生成23

三、单次放电痕与电气条件24

四、短路的发生与材料的组合27

五、连续放电的加工特性和电气条件28

第三节 放电加工中的问题31

一、关于加工速度的问题31

二、关于间隙的问题35

三、电极损耗的原理与问题36

四、关于加工变质层的问题40

第四节 认识电路46

一、电路的基础46

二、诸电量的计算法49

第五节 线切割放电加工中有哪些问题58

一、线切割放电加工的特点58

二、怎样自动编制纸带 (APT)58

三、缝宽的均匀性与加工精度59

四、释放残余应力引起的变形及其对策	59
第二章 放电加工的应用	61
第一节 成型放电加工机床的构造与操作	61
一、成型放电加工机床的机械结构	61
二、电源的构造与参数条件的选择	63
三、控制极间的方式	67
四、选择加工液	70
五、放电加工机床的大小	73
六、安全装置与操作	74
七、放电加工机床的维护	76
第二节 成型放电加工机床的新技术	78
一、提高加工速度及安全的适应控制加工	78
二、防止极间短路的附加高压加工	80
三、摇动加工法	82
四、数控放电加工(程序加工、摇动加工)	86
第三节 成型放电加工机床的加工技术	90
一、电极材料的选择方法	90
二、电极的制造方法	94
三、定位方法	99
四、决定电气条件的方法	102
五、提高加工效率的方法	105
六、加工法的窍门	108
七、加工数据的整理方法	110
八、模具的抛光方法	111
九、成型放电加工的实践	114
十、模具加工以外的放电加工	117
第四节 线切割放电加工机床的结构与操作	121
一、结构	121
二、怎样进行数控	127
三、怎样编制纸带	133
四、线切割放电加工机床的维护和安全管 理	141
第五节 线切割放电加工机床的加工特性	143

一、怎样提高加工速度	143
二、怎样提高加工精度	146
第六节 线切割放电加工机床的新技术	151
一、适应控制的特点	151
二、用线切割放电加工机床加工锥度	153
三、怎样加工空心型件(带台形状)	157
第七节 线切割放电加工机床的加工技术	160
一、进行线切割放电加工	160
二、工件材料是否有问题	160
三、电极丝的选择方法	164
四、决定加工条件的方法	165
五、加工条件与加工结果的关系	167
六、提高加工速度	169
七、提高加工精度的方法	170
八、线切割放电加工的加工表面	175
九、二次切割	176
十、用一个工序同时加工冲头和凹模的方法	183
十一、线切割放电加工的应用实例	187
第三章 设备引进与经济效益	190
第一节 投资效率的计算方法	190
一、估算法	190
二、成型放电加工机床的情况	192
三、线切割放电加工机床的情况	194
四、在放电加工机床设备投资中的种种优惠措施	195
第二节 放电加工机床引进的实例与经济性	197
一、大型放电加工机床加工锻模的省力效果	197
二、线切割放电加工机床加工冲模的经济性	199
第三节 防止电波干扰的方法	200
一、电波干扰的产生情况	200
二、防止对电子机器干扰的方法	201
三、防止对电视机和收音机干扰的方法	201
参考文献	204

第一章 放电加工的基础

第一节 放电加工原理

一、依靠放电的加工

放电加工可以用铜之类的软质工具，把硬质合金之类的坚硬材料加工成所想像的形状。那时，工具与工件的间隙为数微米，使其间依次发生放电来进行加工。如果电极为盘状，则可加工出像把盘底压下时的形状；如果电极为线状的丝，则可像用丝锯切割那样来加工。

随着加工的进行，电极损耗相当于加工量的几成，这种情况叫做有损耗加工条件；电极损耗实际上几乎可以忽略时，叫做电极低损耗加工条件。所有这些情况，都象隔着微小的间隙把电极压向工件，加工形状是不变的，成为所谓的电极形状与加工形状实物相吻合的关系。

加工所生成的加工屑和加工液的分解物，将从微小的间隙向外排出，有时要自动清除两极间隙，以防止加工产物在两极间积聚。

放电加工方式大致有如下两种。

一个是成型放电加工方式，即用特定形状的电极，把其形状进行投影加工；另一个是线切割放电加工方式，就是线电极一边卷绕，一边象丝锯那样对二元轮廓进行加工。

图1-1a为成型放电加工机床的原理，表示出由于供给放电能量，电极进入工件的情况。

根据放电加工的进展程度，伺服机构将把极间的微小间隙维持在适当的距离，使电极前进并进行加工。

图1-1b为线切割放电加工机床，表示出卷在轮盘上的线电极像丝锯一样切割二元形状的情况。

用数字控制电机，通过X、Y两轴合成二元形状的轮廓。

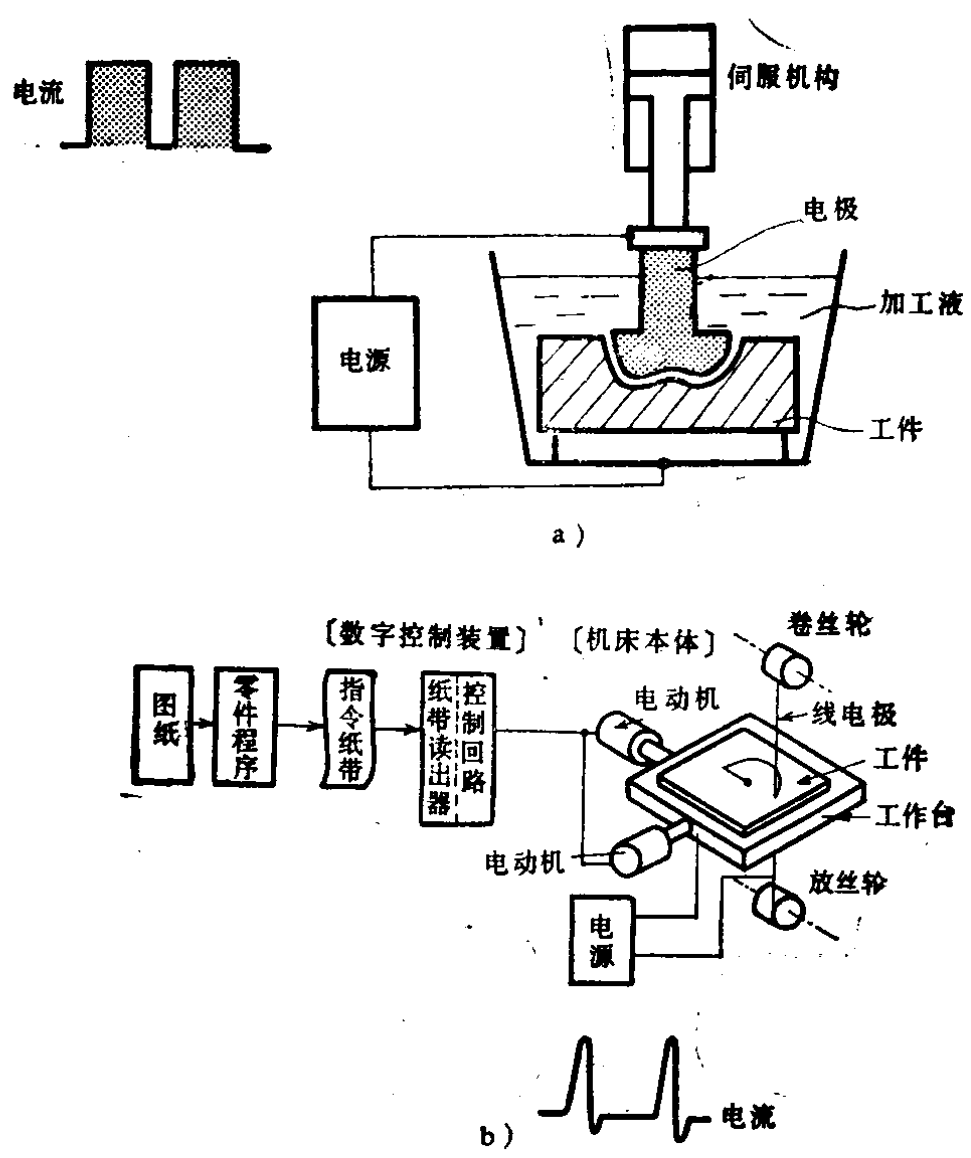


图1-1 放电加工机床的原理

a) 成型放电加工机床的原理 b) 线切割放电加工机床的原理

放电加工时，是在短间隙下通过火花放电形成短弧放电，从而进行加工的。因此，只要能在材料上流过电流，无论多么硬的材料都与软材料没多大差别，都能够进行放电加工。

因此，淬火硬化的钢材、高硬度的烧结合金等都容易加工，加工时以铜或黄铜等软材料作电极。

另外，因为是从电极相对距离近的地方（从高的地方）依次发生放电，在加工过程中，使极间的间隙趋于均匀，无论电极有无损耗，加工形状与电极形状总是隔着微小的间隙呈实物相吻合的关系，如果加工进行下去，则在电极进给方向上投影的形状就是所加工的形状。

根据这两个重要的基本性质，只要能做出电极，就能进行任意形状的投影加工；此外，若用像金属丝那样的细丝电极，尽管没有刃，也能像丝锯那样进行挖通加工。

把工具电极与工件对置在油或水之类的液体中，加上数十乃至数百伏的电压，接近到数微米乃至数十微米的微小距离时，就会发生放电，流过放电电流。主要是依靠这个电流的热的作用进行加工。

二、观察加工状态

图1-2为一次放电的加工状况。

1. 如果电极与工件接近到数微米的距离时，首先在距离最短的地方飞出火花。火花立即形成细的电弧柱，即电流密度非常高的电子流，轰击着工件上的一点。

电子流在此处变为热，使工件上该点的温度升高，达到连钨也能熔化的高温。这时，由于电子流撞击金属蒸气而产生离子，电极也同时被加热。

2. 这些热使周围的加工液气化。

3. 放电造成的加工液急剧气化、膨胀，使熔化了的工件与电极受到很大的压力。从工件与电极的整体来说，这个压力是很小的，但在每单位面积上是很大的。

4. 金属熔化的部分呈小球状粒子被吹散于加工液之中。边缘没有被吹散的部分形成“凸起”，留在工件或电极上。而且，经过几次放电后这里还将成为放电点。

5. 熔化了的金属被吹散以后，进入周围的冷却液中，把残余的热量急剧散掉。在放电的间隔时间里恢复绝缘。

实际的放电加工，在一秒钟之内要发生数千乃至数十万次的放电，因此是由所产生的许多放电痕的累积来实现加工的。

图1-3示出了这种状况。如图所见，因为加工是单次放电痕的累积，所以每放电一次的放电能量如果大，放电痕的形状就大，加工速度、间隙也大，表面光洁度也就粗糙，这是可以理解的。

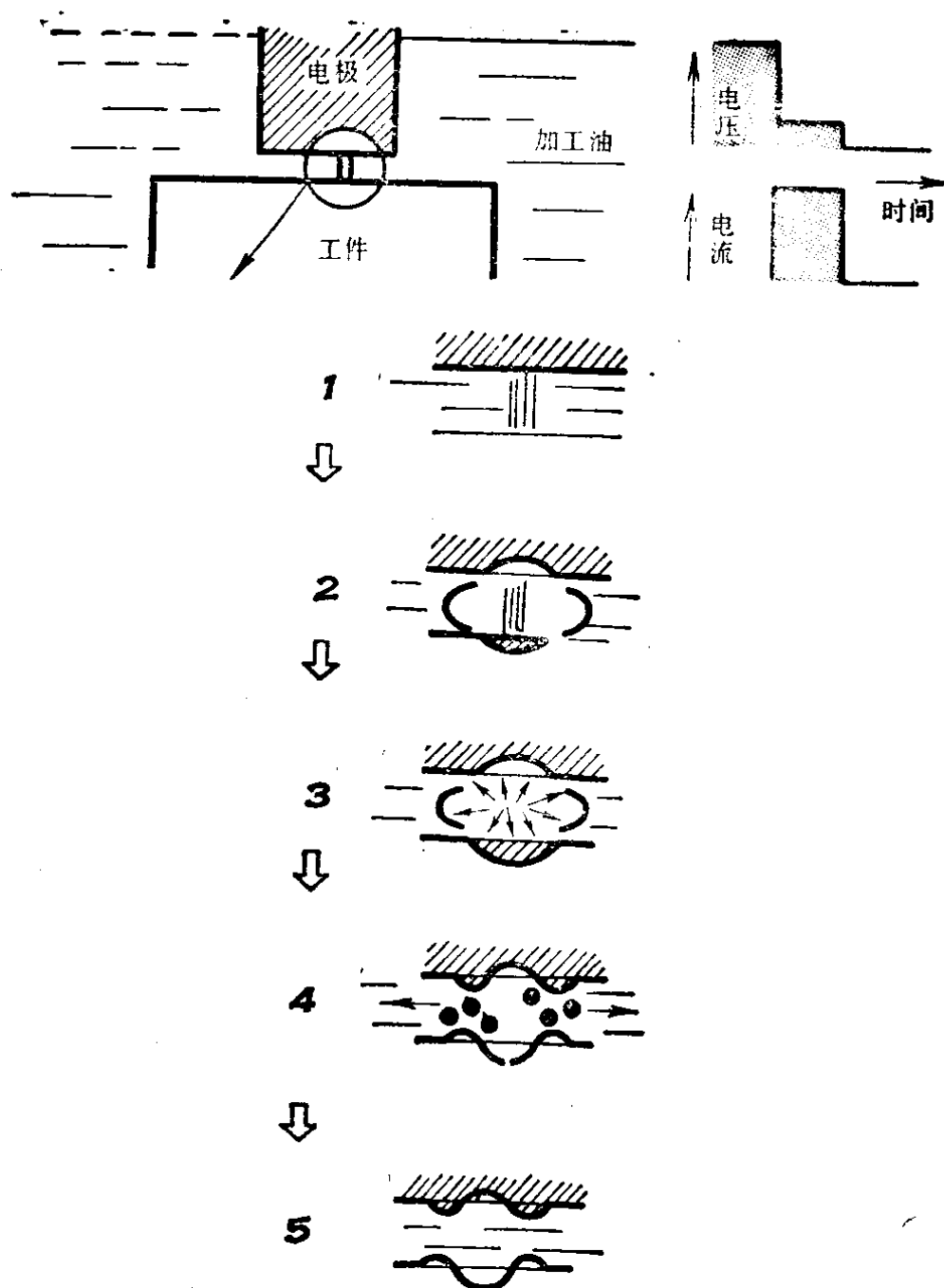


图1-2 在火花放电与油的压力下金属的加工过程

三、放电加工的历史

(一) 放电是怎样产生的

利用放电能量加工金属的历史是很早的。在1919年德国发行的文献中,就尝试了制造作为颜料的金属微细粉末。这是在装满烧杯的水中,把同样的金属对放,连续地重复进行电容器充电放电,使两金属间发生放电⁽¹⁾。

这种电路形式,酷似二十世纪四十年代苏联拉扎连柯发明的

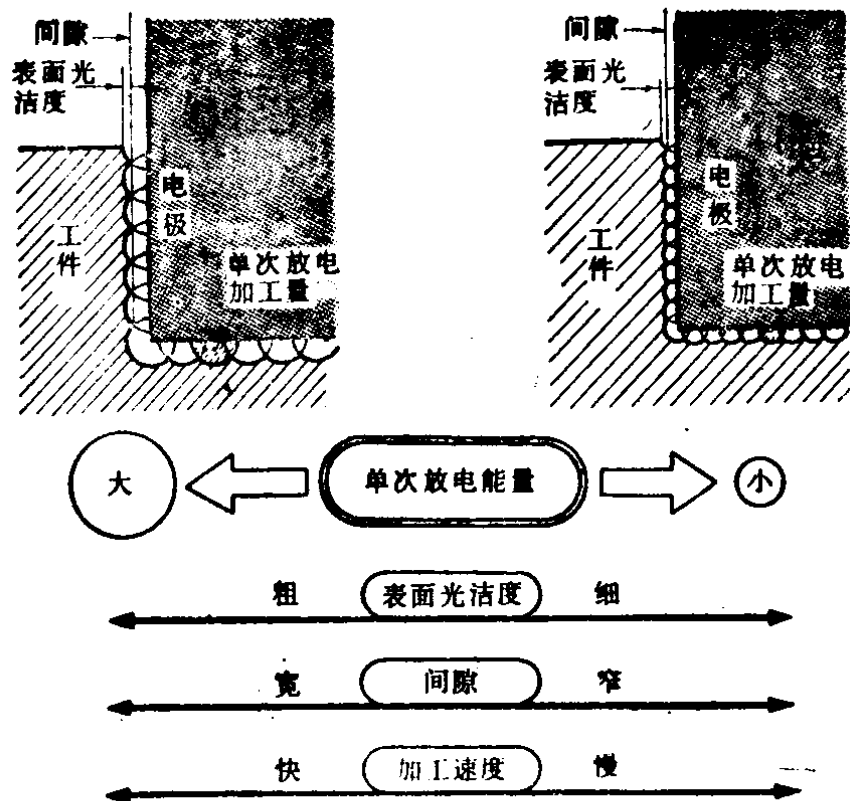


图1-3 单次放电能量与加工特性的关系

现在放电加工的雏形。为了在金属材料上加工出特定形状，利用电容器充放电回路的技术思想，可以说是拉扎连柯的发明。

当时已经确知，即使对于硬金属，也能用软铜和黄铜电极加工微细孔或异形孔。

可是，因为加工速度慢、电极有损耗等许多缺点，只限于在一些特殊范围内使用。

加工速度不能提高的理由见图1-4a、b，这是因为从电源到放电间隙的线路中没有开关元件。如c)所示，由于把晶体管开关元件接入电流通过的回路中，放电加工就有了很大的进步。

晶体管电路不仅对于提高加工速度是有益的，对于得到电极损耗极少的电气条件也是非常有效的。

另外，为着获得良好的加工性能，要控制放电电压和电流。在这些方面，晶体管电源也将发挥威力，成为当今放电加工发展的基础。

图1-5为现在的成型放电加工机床。

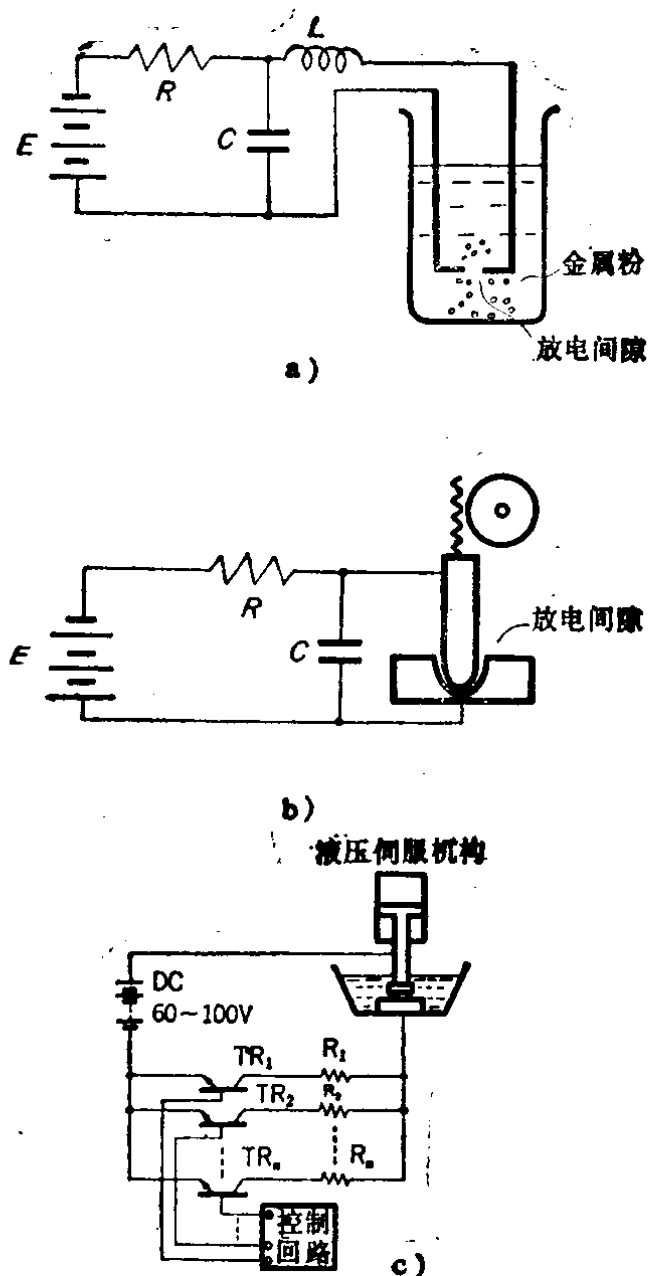


图1-4 放电加工电路的变迁

- a) 金属粉加工电路 (1919年发行的文献记载) b) 拉扎连柯放电加工电路
c) 现在的晶体管式放电加工电路

(二) 新的线切割放电加工机床的出现

线切割放电加工机床也是1960年左右苏联发明的，当时是用投影仪一边看着轮廓，一边用手动前后左右进给工作台来加工的。从那时起，虽然加工速度慢，但明确了线切割放电加工有利于微细加工与难加工形状的加工。

到数字化控制(以下简称NC化)线切割放电加工机床出现后，

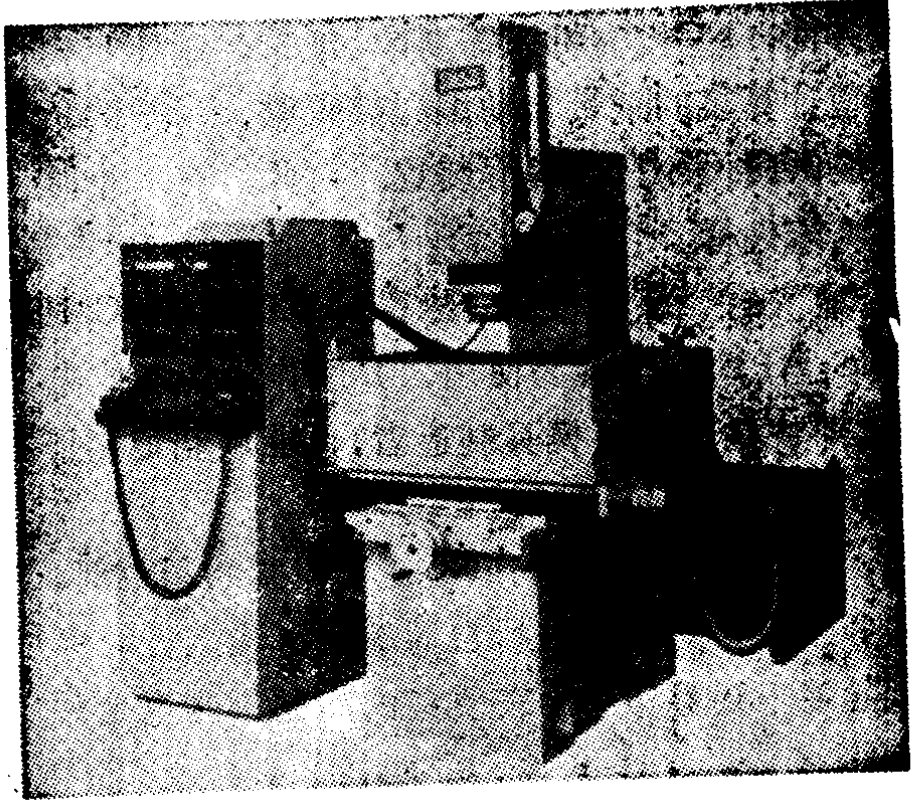


图1-5 现在的成型放电加工机床

其实用性和经济性显著提高。另外，在去离子水（近似蒸馏水状态）中加工，提高了加工速度，确立了无人运转状态下的安全性，更促进了实用化。

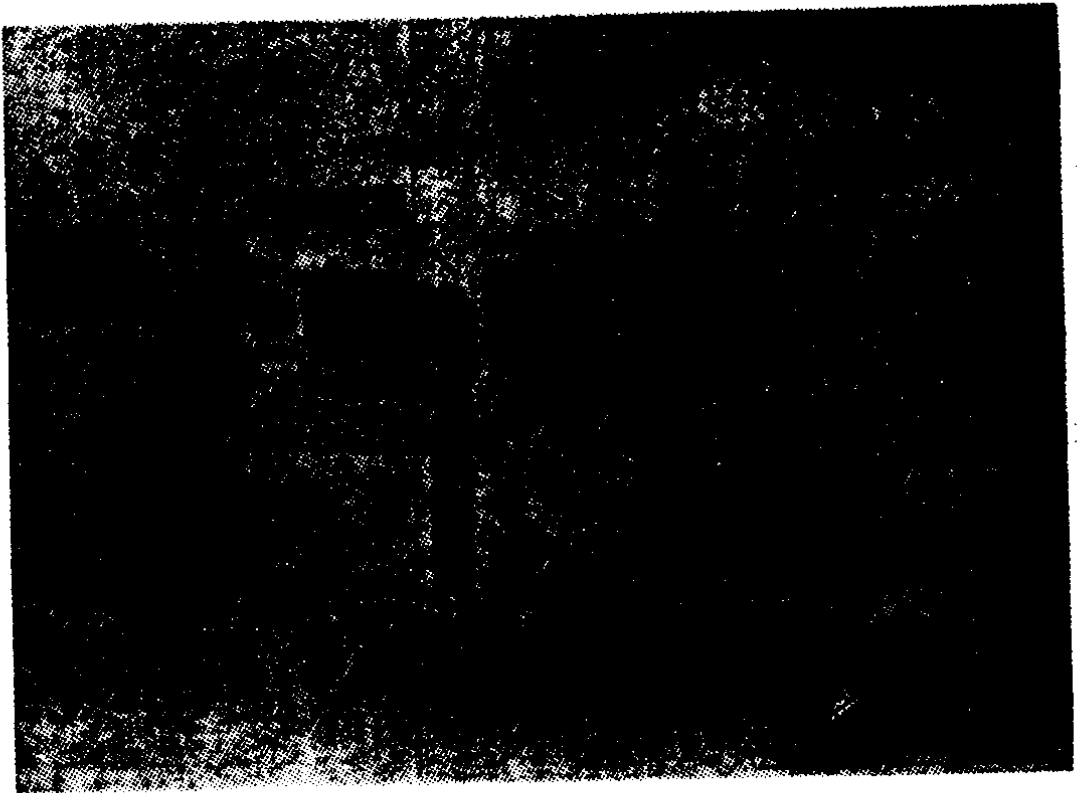


图1-6 现在的线切割放电加工机床

另一方面, NC化的机床需要NC纸带, 制作它相当费功夫, 在没有大型计算机的纸带自动编程装置时, 用户的负担非常重, 所以要求提供廉价的自动编程装置。对此, 有一个时期由图面仿型方式的机床代替了它。

现在, 廉价的纸带自动编程装置(AUTOMATIC PROGRAMMING TOOLS; APT)非常容易使用, 并用作线切割放电加工机床的附属装置。即使是一般的模具制造者, 也能顺利地制作出NC纸带, 并驱动线切割放电加工机床运转。

对此, 把微型计算机用作NC装置控制的司令部, 与此同时, 也按时间分配方式对纸带进行自动编程, 看上去好象可以同时运转似的, 把整个装置作为比较便宜的商品。这也是对实用化的促进。

图1-6为现在使用的线切割放电加工机床的组成。

特别是在普及程度方面, 纸带自动编程技术已凌驾于NC机床之上, 已成为线切割放电加工机床发展的重要因素, 为此, 将在133页中详细说明。

四、放电加工可在哪些方面使用

(一) 成型放电加工的适用范围

放电加工出现以来, 按各国的实际情况, 使用范围多少是有差异的。

美国开始主要用在宇航业耐热性高的材料加工中, 也用于加工发动机或火箭的零件。在机械加工中, 用于加工难加工的材料。

另外, 也作为破碎机用于去除折断的丝锥。不论哪一方面, 比加工精度更重视追求加工速度。结果高精度冲模加工等被推迟了。

因此, 加工机床即使多少牺牲些加工精度, 也要追求低价格和高的加工速度。

还有, 优质石墨得到迅速生产, 使用石墨电极的多起来了。这如在第二章中叙述的那样, 在高速加工中, 对于减少电极损耗, 石墨电极比铜电极要优越, 所以促进了用高加工速度加工零件的

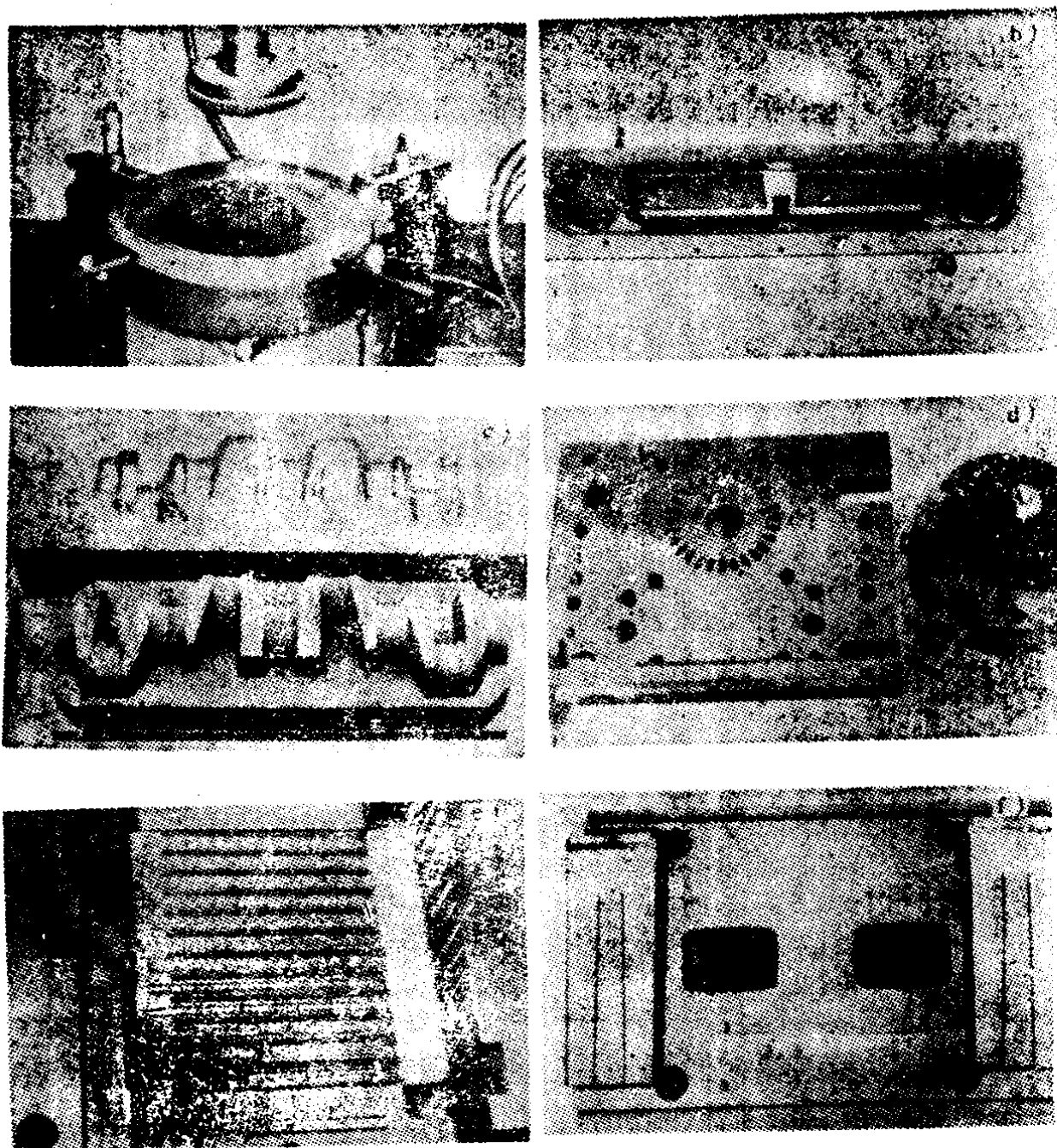


图1-7 成型放电加工的模具实例

- a) 齿轮粉末冶金模 b) 轿车用前面罩模 c) 曲轴锻模 d) 电机铁芯冲模
e) 塑料模 f) 容器模具

进展。

另一方面，日本与欧洲把以冲模为中心的模具加工作为第一目标，所以，比加工速度更重视加工精度，确立起模具加工机床的方向。

由此，可以获得加工精度高、表面光洁度好、电极损耗极少的加工机床，即使价格高、却可得到能实现目的的加工机床。