

金属电火花加工

E. M. 列文松 著

科学出版社

53

77.153

191

3

金属电火花加工

E. M. 列文松 著

于家珊 石芸生 译

科学出版社

1961

0109/20
Е. М. ЛЕВИНСОН

ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Лениздат 1957

內 容 簡 介

本书叙述金属电火花加工原理,并介绍各种脉冲发生器线路、特点和使
用范围,电火花机床的主要技术数据以及金属电火花的加工工艺。

本书通俗易懂,可供对这一先进加工方法感兴趣的广大工程师、技术
人员和工人使用。

金 属 电 火 花 加 工

Е. М. 列文松 著

于家珊 石芸生 译

科学出版社出版 (北京朝阳门大街 117 号)

北京市书刊出版业营业许可登记证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

1961 年 6 月 第 一 版

1961 年 6 月 第一次印刷

(京) 0001—6,500

书号: 2347 字数: 143,000

开本: 787 × 1092 1/32

印张: 6 插页: 7

定价: 0.86 元

致中国讀者

中国的工业化以历史上空前未有的和惊人的速度席卷了整个工业部門。

中国工业采用着最新科学成就，从而保证各种极为复杂的生产过程具有最高的发展水平。

在现代金属加工技术中，金属电火花加工是一个新的方向。目前电火花加工正在迅速发展，并且愈来愈广泛地应用于生产中。

中华人民共和国对这一新技术表现出很大的兴趣，非常重视金属电火花加工的发展问题，在中国科学院的研究所内建立了材料电加工研究机构——所有这一切，毫无疑问，必将在这一技术领域中获得新的成就，丰富科学和工业。

金属电火花加工在中华人民共和国的工厂中获得了应用。许多工厂制造电火花机床供自己需要，而且工业上需要了解金属电火花加工方面的极为广泛的实践知识。

本书没有详尽地阐述金属电火花加工方面的全部知识，只是介绍了其中的一部分。作者希望，这一部分能对在生产上应用金属电火花加工的工作人员有所裨益。

E. M. 列文松

1959年2月25日于列宁格勒

原 序

由于对难以切削加工的金属和合金的需要愈来愈大，现有的金属加工工艺不能满足现代机器制造业、仪表制造业和工具制造业的需要。

在这种情况下，金属电火花加工能够解决机械加工方法所不能解决的工艺问题。

在过去的十年中，金属电火花加工获得了很大的发展。它的工艺可能性扩大了；各种用途的电火花设备已经在工业上采用了；这一加工领域所特有的自动学出现了，并且初步阐明了金属电火花加工过程的物理本质。

本书试图简单明了和通俗易懂地向广大读者介绍一下上述资料。

主要讨论在应用电火花加工工艺和制造这种或那种用途的电火花设备时最常碰到的问题。

为此，书中介绍了电火花机床各种机构、电气元件的结构和原理，从而对实际应用有所裨益。

本书包括四个部分：

第一部分“绪论”介绍了有关金属电火花加工物理实质的基本知识。

第二部分介绍了各种脉冲发生器的线路、特点和使用范围。

第三部分介绍了工业上采用的电火花机床的主要技术数据和某些电气元件的数据。

最后一部分即第四部分，扼要地介绍了电火花机床所能完成的主要工序。

本书主要是根据列宁格勒古比雪夫汽化器厂在设计和生产电火花设备方面所积累的经验写成的。

作 者

目 录

致中国讀者.....	i
原序.....	ii
緒論.....	1
1. 金屬的电蝕.....	1
2. 放电的基本形式.....	4
3. 电极間隙.....	6
4. 极性效应.....	8
5. 电蝕加工性和金屬电火花加工的生产率.....	10
6. 利用电蝕来加工金屬.....	11
第一章 脉冲放电的产生方法.....	13
7. 弛张式发生器.....	13
8. 整流閘式发生器.....	26
9. 隔开式发生器.....	29
10. 滑弧式发生器.....	35
11. 脉冲发电机(电机式脉冲发生器).....	36
12. 电子管式发生器.....	37
第二章 电火花机床.....	39
13. 电火花机床的特点.....	39
14. 电火花加工孔穴的机床.....	41
15. 电火花磨削、刃磨和鉋孔机床.....	47
16. 电火花切割机床.....	53
17. 电极間隙的自动調节器.....	56
18. 电火花机床結構的元件.....	64
19. 电火花设备的类型.....	100
第三章 金属电火花加工工艺.....	125
20. 电火花加工孔穴.....	126
21. 制造鋼模和压模.....	129

22. 制造硬质合金模具.....	134
23. 制造硬质合金成型拉丝模.....	142
24. 电火花切制螺紋.....	149
25. 电火花加工小孔.....	151
26. 电火花刃磨硬质合金刀头.....	154
27. 电火花成形硬质合金刀头.....	158
28. 电火花加工破屑槽.....	160
29. 电火花磨削.....	161
30. 电火花切割.....	167
参考文献.....	170

緒 論

1. 金属的电蝕

金属表面在放电作用下所产生的破坏现象叫做金属的电蝕。

開刀开关、断路器和繼电器等的接触面上产生放电时就会发现这种电蝕现象。

放电电流的功率愈大，破坏接触面的电蝕现象愈严重。金属电蝕的原因是在放电区域内产生高温，使金属熔化乃至汽化。

数十年来許多科学家都在研究这一现象，但是首次表明电蝕现象可以有效地用来加工金属还是在 1938—1943 年間 Б. П. 拉扎連柯和 Н. И. 拉扎連柯进行研究之后的事情^[1-3]。

接触装置的电蝕研究是在气体和液体介质中进行的，已經确定，改变电路的电参数可以在頗大的范围内控制这一现象。

图 1 是金属电火花加工法的发明者用来进行电蝕效应試驗的装置示意图。

这种装置包括直流电源 1，可上下移动的金属电极（棒）3，电容器 4，触头 2 和固定的电极（板）5。

当活动电极向上与触头 2 接触时，电容器与直流电源相連而充电。当活动电极向下移动时供电电路断开，且当两电极 3 和 5 移近时电容器放电。放电时可看到短促的火花，并伴有噼啪声。在产生放电的地方形成不大的噴火口状的小圓穴（图 2，甲）。

进一步的研究表明，如果将电极浸入某种液体中，那么电蝕的

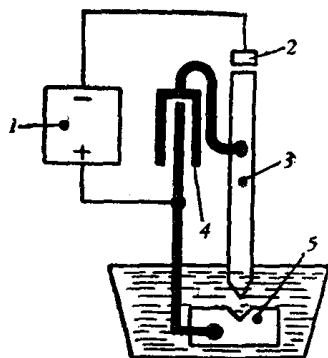


图 1 进行金属电蝕效应試驗用的装置示意图

程度便大大增加,也就是說,小圓穴的体积变大。极間放电是在介电液体(如煤油或油)中进行时电蝕的程度最大。

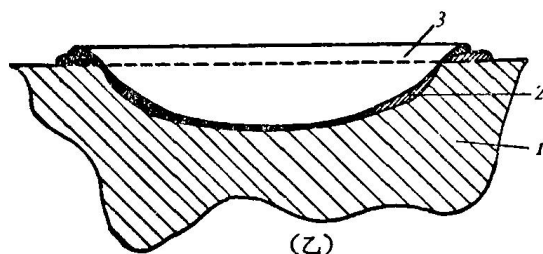
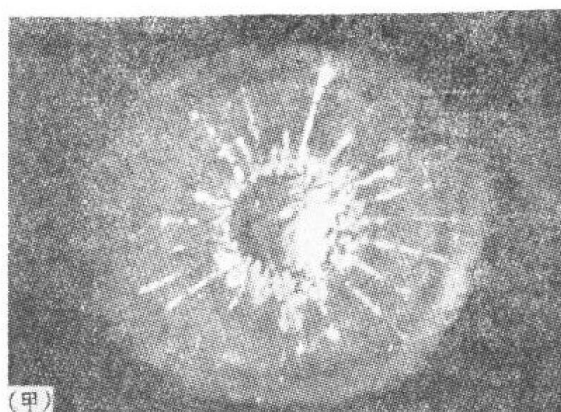


图2 小圓穴

甲. 外形图(放大20倍);

乙. 剖面示意图:

1—金属基体; 2—在小圓穴底部凝固的金属层;

3—凝固金属沿小圓穴边缘所形成的圆边

电极3繼續上下移动时,每一次均有放电产生和形成新的小圓穴,即每次放电均从电极表面上抛出一小部分金属。

假如把一个电极(如活动电极)作成某一型面的棒状,而另一个固定电极作成板状(图3),那么,大量放电的結果在板状电极上便形成一个孔,活动电极可自由地穿过这个孔。

所得孔的外形与活动电极的外形非常相似。

改变直流电源的电压和电容器的电容量可以在頗大范围内調节电蝕的程度,电蝕程度随着电容量和充电电压的增大而增大。

放电能量 A 可用下式表示:

$$A = \frac{CU^2}{2} \text{ 微焦耳,}$$

式中 C 为电容量(微法);

U 为电压(伏).

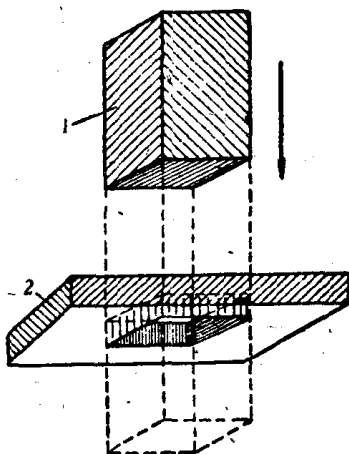


图3 金属板上的成型孔
(孔的外形与电极外形一致)

1—电极; 2—金属板

表1 是不同容量的电容器一次放电在钢板(阳极)上所形成的圆穴大小.

大量测量的结果表明,小圆穴的正确几何形状与旋转半椭圆体的形状非常相似.所以,小圆穴的体积 v 可按下式近似求出:

$$v = \frac{D^2 h}{2},$$

式中 D 为小圆穴的直径(毫米);

h 为小圆穴的深度(毫米).

同时,电容量增大, $\frac{D}{h}$ 值亦增大.

放电迴路的电阻具有很大的影响.电阻增加一点,小圆穴的体积便大大减少,且其坡度变大.

表1 鋼板表面上(阳极上)小圓穴的大小¹⁾

电 容 量 C (微 法 拉)	小圓穴的直径 (毫 米)	小圓穴的深度 (毫 米)	$\frac{D}{h}$	小圓穴的体积 v (毫 米 ³)
1	0.10	0.015	6.67	0.0000788
4	0.15	0.018	8.34	0.000212
8	0.22	0.020	11.00	0.000507
30	0.45	0.022	20.45	0.002325
100	0.75	0.025	30.00	0.00736
200	0.95	0.028	33.80	0.01322
400	1.20	0.033	36.40	0.0249
600	1.40	0.037	37.80	0.0379
800	1.55	0.040	38.70	0.0502
1000	1.65	0.042	39.30	0.0598
2000	2.00	0.050	40.00	0.1046

2. 放电的基本形式

电火花加工金属时, 常常碰到两种放电形式——电弧放电和火花(脉冲)放电。电弧放电广泛地用在熔化和焊接金属的技术中, 其特点是热效应长时间作用于电极的结果, 热量传布到很大的深度。

电弧放电是当两电极与功率相当大的电源相接时产生的。为了产生电弧放电必须将电极瞬间闭合, 而后慢慢分开(图4, 甲), 此时电极之间出现炫目的火光。

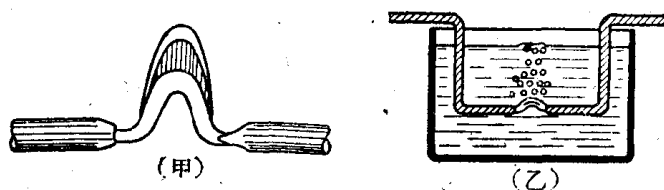


图4 电弧放电

甲. 空气中的电弧放电; 乙. 液体中的电弧放电

如果通过滤光镜(如焊接时用的护目镜)来观察电弧放电的话, 那么当电极位于水平位置时便可看到, 两极之间出现一条火

1) 所列数据是在采用黄铜工具电极和煤油的试验中得到的。

光,叫做电弧放电通道。

在空气环流的影响下放电通道弯曲,而呈圆弧形状,“电弧”放电的名字便是这样来的。

在液体(煤油和油)中进行电弧放电时放出大量的气体和烟(图4,乙)。

电弧放电通道中基本上充满了由阴极向阳极运动的电子。正质点(阳离子)在电弧中为数很少,且由阳极移向阴极的速度比较缓慢。

根据电弧能量的大小,阳极上的温度可达 $4,000-6,000^{\circ}\text{C}$ 。

火花(脉冲)放电与电弧放电的主要区别在于火花放电存在的时间短。电容器的放电可作为火花放电的典型例子:电容器在瞬间内将大量能量放出。

由于火花通道中能量密度很大,在许多情况下通道的温度可达 $40,000^{\circ}\text{C}$ 。如果说电弧放电时电极金属是逐渐变热和熔化的,且熔化区域范围很大,那么,与此相反,火花放电仅发生在严格限定的金属表面上,且其熔化和汽化进行得非常迅速和强烈,以至具有爆炸特性。

上面说过,将电极浸入液体中可以大大提高电蚀的程度。这是由于液体阻碍放电通道的扩展,从而增大了通道中的能量密度¹⁾。结果在火花放电通道中便产生很大的冲击压力,将熔化了金属及其蒸气抛向周围液体中。被抛出的金属微粒冷凝时具有大小不同的球状(图5)。



图5 在液体中凝固了的金属微粒

1) 原书中为降低了能量密度,系误。——译者注

在电火花加工的实践中采用延續時間不同的火花放电：由1微秒至数毫秒。电流脉冲的延續時間不同，放电特性亦不同。

随着脉冲延續時間的延长放电接近电弧放电，此时受热的金属范围可以达到很大的深度。延續時間小而能量大的脉冲放电对硬和脆的金属具有綜合的作用。除了熔化和汽化的作用外，強烈热冲击的結果还可能将微小的金属粒子击碎^[4]。

只有瞬間脉冲放电才能实现金属的尺寸加工。

3. 电极間隙

电极間隙的大小(击穿距离)决定于施加在电极上的电压。不同介质(电极位于其中)的这种关系如图6所示。图6表明,在金属电火花加工所用的电压下电极間隙是很小的。

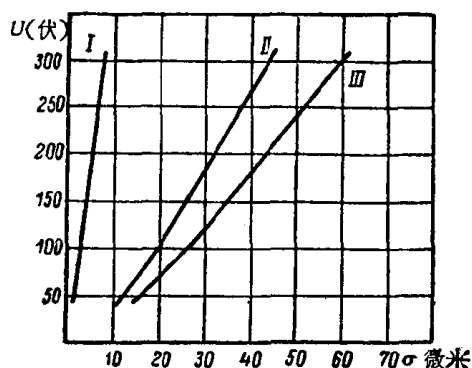


图6 电极間隙与施加在电极上电压的关系

- I. 在空气中的情形；
- II. 在煤油中的情形；
- III. 在变压器油中的情形

数微米和数十微米的小电极間隙与数毫米以上的大电极間隙有重大的不同。

大家知道，当电压和电极間隙很大时在介电液体中的击穿距离比在空气中小得多。

当电极間隙为数微米和数十微米时情况相反：在介电液体中的击穿距离比在空气中大得多。

电极間隙击穿的原因在于电极周围的介質質点在电场作用下

产生了游离。

电极表面在任何时候都是不平滑的，而是由许许多多凸起部分构成的，所以电极间隙中的电场是不均匀的。凸部顶点之间的电场强度最大(图7, 甲)。这种状况有助于间隙的击穿。

随着电极电压的提高或电极的移近, 电场强度增大, 直到电极间形成通道为止, 通道的导电性接近金属导体的导电性。闭合电路的电流便沿这一通道向前飞驰。

在良好的条件下这种导电通道产生的时间非常短促(10^{-8} — 10^{-7} 秒)。

放电总是沿最短的路径进行的。最短路径位于两个相互距离最小的微观凸部之间(图7, 乙)。

这两个微观凸部之间的电场强度最大。这里便产生导电通道和间隙击穿。放电后这些凸部及其邻近的金属部分便遭到破坏。于是放电又在另外两个相距最近的微观凸部之间产生(图7, 丙)。

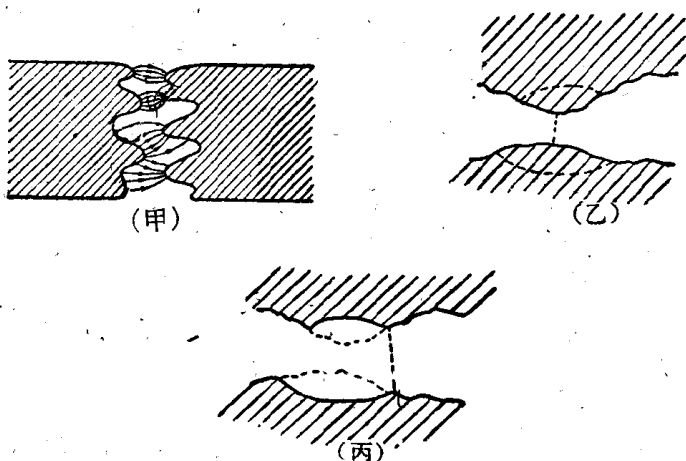


图7 脉冲放电通过电极间隙的示意图

甲. 电极间隙中电场的情况(据 B. H. 卓洛迪赫的见解);

乙. 电极凸部之间的最短距离;

丙. 脉冲放电后在电极上形成的小圆穴(两极间的虚线表示下一次放电的路径)

放电不断进行下去, 直到电极表面相对各点全部被破坏和电极间隙大到施加在电极上的电压不足以击穿间隙为止。移近电极

时放电又继续进行。

只有当充满电极间隙的液体完全清洁，即未被电蚀产物弄污时上述过程才是正确的。电火花加工金属时电极间的液体介质中多多少少充满着金属微粒和小气泡。显然，当金属微粒存在时，常常造成电阻小于直线情况下的放电路径，而小气泡又具有非常大的耐电强度，从而使火花通道在放电开始时发生弯曲。

此外，放电易于发生在具有尖角的凸部之间，而不大易于发生在顶点变圆的凸部之间，即使前者相距较远情况亦是如此。

放电结束后便开始去游离过程，即恢复间隙的耐电强度过程。这一过程的时间为 10^{-4} — 10^{-3} 秒。

如果脉冲放电如同电火花加工金属时连续不断地进行，那么，开始时击穿电压增大，因为此时极间液体中的小气泡提高了间隙的耐电强度。

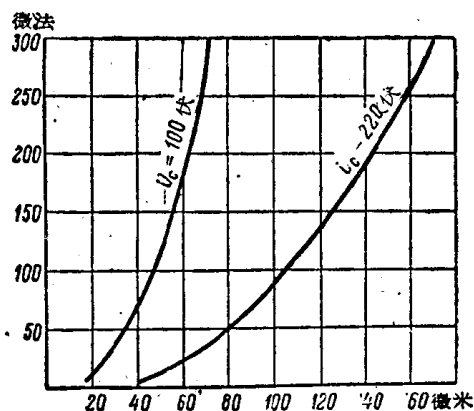


图8 在弄污的液体中电极间隙的大小

此后，随着液体被电蚀产物(金属微粒)弄污程度的加剧，间隙的耐电强度大大降低，并且达到图8中所示的大小。

4. 极性效应

电火花加工金属时两极均遭到破坏，但在多数情况下一个电极的破坏程度大于另一个电极。

这种现象叫做极性效应，电火花加工的所有工艺过程都是利

用这一效应的。被加工件与电蚀强烈的那个脉冲电源极相连。在多数情况下阳极的破坏程度大于阴极(图9)。

极性效应的原因在于能量(热量)在两极上分布不均、而且电极材料不同时其耐蚀性也不相同的缘故。

极性效应可出现在同一金属的电极上和不同材料的金属对上。

从阳极上蚀除的金属量与阴极上蚀除的金属量之比叫做极性系数。例如,在钢板上加工孔时黄铜制的工具电极(阴极)的耗损为50立方毫米,而钢的蚀除量为100立方毫米,这就是说,在该加工规范下这一金属对的极性系数等于2¹⁾。

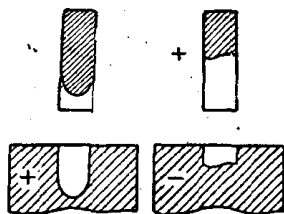


图9 同一金属(黄铜)电极上的极性效应

极性系数取决于许多因素。已经确定,电压愈低极性系数愈大。工作液弄污时会降低极性系数。放电的延续时间和能量具有很大意义。

放电延续时间短(数微秒)时,放电能量减少,极性系数增加。放电延续时间延长至数毫秒和低压时,即使放电能量很大,极性系数亦大大增加,而且在许多情况下符号改变。

关于各种不同加工条件下极性系数的某些数据列于表2。从表2中可见,加工规范不同极性系数 K 也不相同。

规范 No.1 表示脉冲能量小、延续时间短,而频率较高的情形;规范 No.2 表示频率低、能量大和脉冲延续时间长的情形。

规范 No.1 的参数是:放电能量 $A = 0.125$ 焦耳;放电延续时间 $t = 14 \cdot 10^{-6}$ 秒;频率 $f = 1200$ 赫;电源电压 $U_H = 220$ 伏;放电开始的电压 $U_P = 30$ 伏;电流幅值 $I_a = 250$ 安。

规范 No.2 的参数是:放电能量 $A = 10$ 焦耳;放电延续时间 $t = 2500 \cdot 10^{-6}$ 秒;频率 $f = 200$ 赫;电源电压 $U_H = 36$ 伏;放电开始的电压 $U_P = 30$ 伏;电流幅值 $I_a = 60$ 安。

1) 极性系数也可以用重量单位,即克来表示。

表2 用不同規准进行金属电火花加工时的极性系数

电极材料		极性系数		电极材料		极性系数	
阳 极	阴 极	規准 No.1	規准 No.2	阳 极	阴 极	規准 No.1	規准 No.2
黃 銅	黃 銅	2.5	3.2	鈦	鈦	1.25	—
銅	紫 銅	3.5	1.28	鈦	鋁	0.64	—
黃 銅	紫 銅	1.8	260	鈦	黃 銅	1.38	—
銅	黃 銅	3	34	鈦	紫 銅	1.7	—
鋼	紫 銅	3	5	鈹	紫 銅	1	—
鋼	黃 銅	1.5	5.5	鈹	鑄 鉄	1.5	—
鋼	鋁	12.7	—	鈹	鋁	1.1	—
硬質合金	紫 銅	1.8	—	鈹	黃 銅	0.5	—
硬質合金	鑄 鉄	1.45	—	鉬	紫 銅	2	—
硬質合金	黃 銅	0.7	—	鉬	黃 銅	0.45	—
硬質合金	鋁	1.4	—	鉬	鑄 鉄	5.3	—
硬質合金	鋼	0.54	—	鉬	鋁	1.4	—

极性系数 $K = \frac{Q}{q}$, Q 为从阳极上蚀除的金属重量(克), q 为

从阴极上蚀除的金属重量(克)。

在全部試驗中均采用柴油作工作介質。

5. 电蚀加工性和金属电火花加工的生产率

电火花加工的生产率(或金属蚀除速度)用电能消耗(克/仟瓦小时)来表示或用(毫米³/分)的蚀除量来表示。計算过程的能量和机床的功率时常常用(克/仟瓦小时)表示;进行工艺計算时用金属蚀除量(毫米³/分)来表示則比較方便。

有一些金属极易被破坏,而另一些金属則不易被破坏。

如果在相同的加工条件下将电蚀的程度加以比較,那么便可以确定一定的規律,叫做电蚀加工性。

所有的金属和合金可以分为三类。第一类是电蚀加工性高的金属和合金;第二类是电蚀加工性中等的金属和合金;而第三类則是电蚀加工性低的金属和合金。如果以鋼的电蚀加工性作为1,那么在規准 No. 1 (見表2) 下的其它材料的电蚀加工性可大致用下