

先进经验丛刊

电火花强化法

第一机械工业部工艺与生产组织研究院编

161
4

机械工业出版社

NO. 1419

1957年3月第一版 1957年3月第一版第一次印刷

$787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 字数 19 千字 印张 $\frac{7}{8}$ 0,001—4,800 册

机械工业出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业
许可证出字第 008 号

统一书号 15033·479

定价 (10) 0.15 元

先进經驗叢刊

电火花强化法

第一机械工業部工艺与生产組織研究院編



机械工業出版社

1957

1 版 者 的 話

电火花强化法在苏联的工业和农业各个部門中，都得到了广泛的应用。在机器制造业中，用这种先进方法来强化切削工具和机器零件可以得到显著的经济效果。学习和推广电火花强化法，对我国国民经济有着重大的意义。

本书介绍了电火花强化法及試驗电火花强化法的經驗。此外，还介绍了苏联 КЭИ-1 型电火花强化器的構造和使用。在附录里，还有我国仿苏 КЭИ-1 型电火花强化器的简要說明。

本书可供从事电火花强化工作的技术員、工人作为参考资料。

目 次

介绍电火花強化法	……哈尔滨工具厂技术員 刘元白	(3
試驗电火花強化法的經驗	……	天津拖拉机厂 (15
КЭИ-1 型电火花強化器	……	……(20

介紹电火花強化法

哈爾濱工具廠技術員 劉元白

一、什么是电火花強化 电火花強化是一种使硬度或耐磨性較低的工具，或机械零件，經過电火花強化后来提高其硬度或耐磨性的加工方法。其具体方法是：將被強化的工件，接上直流电，使工件变成負極，將強化工具作物的金屬，接上直流正电，使其变成正極（即工具極），然后使这正負兩極之間产生电火花放电，將正極的金屬微粒鍍盖于負極（工件）的表面上，而使工件的表面得到強化。

將工具極与被加工的工件之間通以直流，即可使兩極間产生电火花放电（見圖1的綫路）。

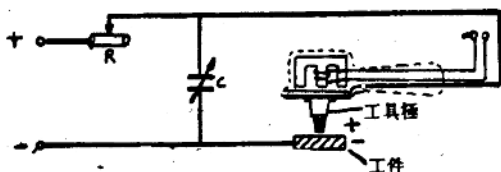


圖1 电火花強化原理。

当強化用金屬（正極）与被強化工件（負極）之間有很大距离时，此綫路虽通以直流电源，也只能使容电器充电，而無电火花放电現象。这时，容电器C把电能蓄积起来，而使容电器电位逐漸升高，此时若使工具極（正極）与工件（負極）接近，則立刻發生电火花放电。如果直流电源电压为220伏，电容器容量为300~400微法拉，当兩極距离約为0.05公厘时，正負極間的空

4
气層絕緣即被破坏，而發生电火花放电。

为了使电火花放电繼續进行，將强化用金屬裝于振動器上，使振動器綫圈通以50周波交流电源，則振動器因交流电磁鉄的作用，而使工具極每秒鐘振動100次，即工具極与工件間的距离变化忽大忽小，周而复始地每秒变化100次。当正負兩極間距离变大时，电容器被充电；当正負兩極間的距离小时，电容器在兩極間形成电火花放电。只要交流与直流电源不切断，电火花放电就可繼續下去。

二、电火花强化法为什么能使表面强化 在电火花放电时，由于放电的电流密度很大，刹時間在火花中产生了 $10000\sim 12000^{\circ}\text{C}$ 的高溫，同时电火花放电的時間很短（約为 $0.0001\sim 0.00001$ 秒），所以高溫来不及傳到極深的金屬層，使電極端部溫度很高，使电腐蝕作用只在 $0.02\sim 0.1$ 公厘的薄層表面上發生，即由于电子与离子化过程，就把工具電極材料化合物的微粒由正極移向負極，即使工具極的金屬微粒鍍盖到工件上，且这微粒的移动，只在有电火花放电的表面区域發生。微粒移动方向極為准确正直，所以使正極金屬微粒均匀的鍍盖在負極的表面，而且滲入其表面的薄層。强化后的金屬表面層的成分很显明地說明了强化作用的結果：經爱克司光照像后研究知道，在被强化的金屬表面層中奥氏体含量有了提高，只有显著的馬丁体和硬度很高的氮化鉄、碳化鎢（工具極為BK8）或碳化鈦（工具極用TI5K6）等耐高溫的合金屬，这是电火花强化能以强化表面的最主要道理。

其次，若所用电極不是硬質合金而是石墨，則被强化的工件的表面，將有大量碳化物出現，同样也只存于被加工工件的表面，而形成表面硬化。

当工具極的金屬微粒，因电火花放电而强化于被加工工件的

表面时，这个熔化的微粒，迅速被工件原来的金属材料冷却，引起了这个表面的急剧淬火，也提高了表面的耐磨性及硬度。

三、加工質量与电規准

1. 电容器：电容器的作用为积蓄电能並能在一瞬間以强烈的电火花形态，將电能放出。由于这种电能的放出，电极表面層溫度升高，將材料表面上的微粒鍍盖于被强化工件的表面。

增大或减小电容量，可以使电容器放电，由电弧形式变为电火花形式或使之相反。当电流很大时，如沒有或只有很小电容量，则会促成电弧放电，提高电容量，則可在适合的条件下，变电弧放电为电火花放电，但从强化工件的表面光潔度来講，电容量小时，光潔度为佳。一般的表面强化所用的电容器的容量为30~300微法拉。

其次，电容量的大小与强化厚度也有一定关系，如圖2表示。

当短路电流 $I_k = 5$ 安时，在不同的电压下，达到强化的最大厚度，需要不同的电容器容量。当电压为110伏时，达到强化層最大厚度，需要电容器容量为300微法拉。当电压为220伏时，需要电容器容量为200微法拉。

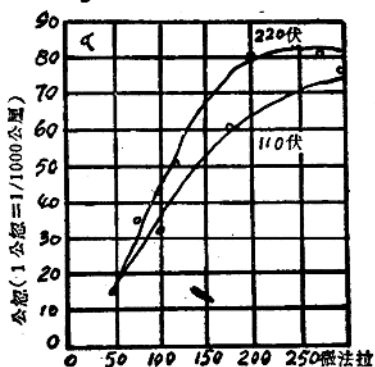


圖2 强化層的厚度与电容量的关系。

从实验中，我們得出工作电路內的电流，約为供电綫路

中电流的10倍，这样电流的来源，都是靠电容器的短时放电而供給的。放电时所放出的电能越大，則可以使工具極的金属微粒越多地轉移至工件表面，使强化層的厚度增加，所以电容器容量

的大小，直接影响强化层的厚度与光洁度。

2. 缓冲电阻：缓冲电阻是和供电线路串联的。调整电阻，即可调整电流，使电流与电容取得一定关系，电流保持电火花放电的必要条件，且电流的大小，在一定程度上也影响生产率及强化表面的质量，电流大则生产率高，但被强化工件的光洁度将降低，表面变得很粗糙，²电流小时则生产率低，被强化工件的光洁度较高。除此以外，³短路电流的大小与强化层的强化厚度也有关系；从图3中可以看出，当电压为110伏，电容量为300微法拉时，短路电流每安培可以得到最大强化厚度（100公忽），但因电流太大，则表面很粗糙，只能达到▽▽5的光洁度。

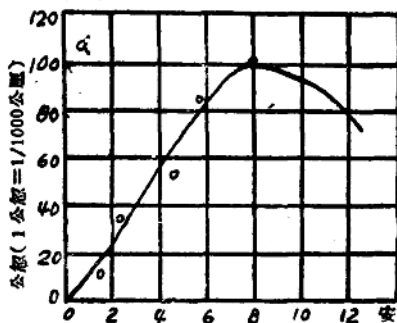


图3 强化层的厚度与短路电流的关系。

据上所述，电流对于生产率、表面光洁度、强化层

厚度等方面有一定的关系。在实际工作中，表面强化采用的电流范围为0.2~7安培。

3. 电压：电压对放电形式有很大影响。当电源电压在10伏以下，无论电流是大或是小，且不用任何电容器仍可得到电火花放电，因电弧着火的最低电位为7~15伏。在较高的电压情况下，如欲获得电火花放电，必须将电容器并入线路或改变电极材料或其他因素，但现在一般表面强化采用电压为40~160伏，所以非用电容器不可。

电压与强化表面的光洁度有关，当电压降低时，则表面光洁度可以提高。电压降低后电火花放电的间隙也需要减少，则放电

頻率提高；当提高电压則必加大放电間隙而降低放电頻率，所以电压的高低並不影响生产率。不过在前面我們講过，电压的高低，对强化層厚度是有影响的，看前面的鍍差層的厚度与电容量的关系圖就可以知道了。

4. 工具电極的材料：除了以上三种影响强化質量及生产率的因素外，採用不同的材料作为强化的工具电極，也可以得到各种不同的結果。由于电極材料的不同，其生产率、光潔度、工具电極等的消耗量也不同，因此当被强化的工件因受生产条件的限制而材料不能選擇外，工具电極的材料選擇是一件很重要的事。

現在一般表面强化的工具电極材料每 T15K6, T30K4, T40K6, T60K8, BK8 等硬質合金和 ЭГ-2, ЭГ-4 石墨，对于一般切削工具以採用 T15K6, T40K6 及 ЭГ-2, ГЭ-4 为最合适。除採用硬質合金及石墨外，也可採用純金屬如鋁、鎢、及化学純銅等来进行表面强化。在进行磨損机械零件的修复时，也可以採用鑄鉄作为工具电極，这样可使强化層加厚，可以使其恢复原来的尺寸。

5. 电規准：如前所述，电容器的容量、电阻、电流电压及工具極所用材料对被加工的表面均有很大影响。为了使被强化工件得到良好效果，根据經驗，对不同材料的工件，結合工件强化后工作性質的要求，得出了較好的电容、电压、电流的配合条件，叫电規准。

1) 当被加工工件为各种車刀、銑刀、插刀、拉刀、鑽头、鋸条、冲模、鍛模、压模，机械零件和农業机器零件，以及挖土机械之刀口，鋤鏈刀口，錘头等粗加工工具及强化表面不需較高光潔度的，可以採用硬質合金作工具电極，也可以採用石墨来进行强化，而用石墨强化时可得到更光潔的表面。当採用T15K6 硬質合金进行强化时，一般可分为三种电規准。

粗加工: 电压 $V = 110 \sim 220$ 伏

电容 $C = 200 \sim 300$ 微法拉

短路电流 $I_k = 2 \sim 4$ 安

若被强化的工件为 $P\Phi-1$ 高速鋼, 鋼制工具則表面光潔度为 $\nabla\nabla 5$, 最大扩散層与强化層厚度为 200 公忽。

細加工: 电压 $V = 110 \sim 220$ 伏

电容 $C = 90 \sim 100$ 微法拉

短路电流 $I_k = 1.5$ 安

表面光潔度为 $\nabla\nabla 6$, 最大扩散層厚度及强化層厚度为 80~100 公忽。

精加工: 电压 $V = 110 \sim 220$ 伏

电容 $C = 30$ 微法拉以內

短路电流 $I_k = 0.8$ 安以內

表面光潔度为 $\nabla\nabla 6$, 最大强化層厚度为 40~50 公忽。

以上的被加工件, 若不用硬質合金而用石墨作为强化材料, 則可採取下列电規准:

电压: $V = 50 \sim 150$ 伏

电容: $C = 30 \sim 100$ 微法拉

短路电流 $I_k = 0.5 \sim 1.3$ 安

最大扩散層厚度約为 100 公忽。

2) 当被加工件为絞刀、軸頸、螺紋切削工具及各种測量工具时, 只能用石墨来进行强化。在这种情形下, 其所採用电規准为电压 $V = 50 \sim 700$ 伏。

电容 $C \leq 30$ 微法拉

短路电流 $I_k = 0.5 \sim 0.8$ 安

採用這樣的電規准，實際上不改變表面微粒的幾何形狀，就是不減低其原有的光潔度等級。

3) 用各種不同的電規准，可以得到不同的強化厚度，單位面積所需的強化時間也不一樣，粗規准的單位面積強化時間短，細規准的單位面積強化時間長。採用同樣電規准，則適當的增加單位面積強化時間，可以增加強化表面之硬度及耐磨性，但生產率則將降低，且當強化層達到最大厚度以後，繼續強化是不妥當的。達到最大厚度後，可由眼睛觀察電火花的顏色確定：在強化開始時，火花是淡黃色的，並且強烈地迸射着火花。在強化終了時，火花是天藍色的，不強烈地迸射火花；因此我們可依此決定單位表面強化的時間。一般的單位面積強化時間為 0.5~25 平方公分。

四、我廠的電火花強化器

1. 整流器：電火花強化器雖也可用交流進行強化，但僅能提高零件與工具使用壽命的 20%，並且所得到的表面極其粗糙，所以應避免採用交流而用直流作供給電源。我廠電火花強化器採用圖 4 的綫路。

強化器所需的直流電源可以由硒整流器、氧化銅整流器、水銀管整流器、機械整流器、Г-П 組供給。我廠原有一台氧化銅整流器，其技術規格為：

單相全波整流

交流電壓 110 伏

沒有名牌不知容量

其變壓器為自耦變壓器，分為兩個綫圈，一個綫圈的抽頭為 A、B、C，另一個綫圈的抽頭為 1、2、3、4、5，因此變換兩綫圈抽頭可以組合成 15 種不同的電壓。

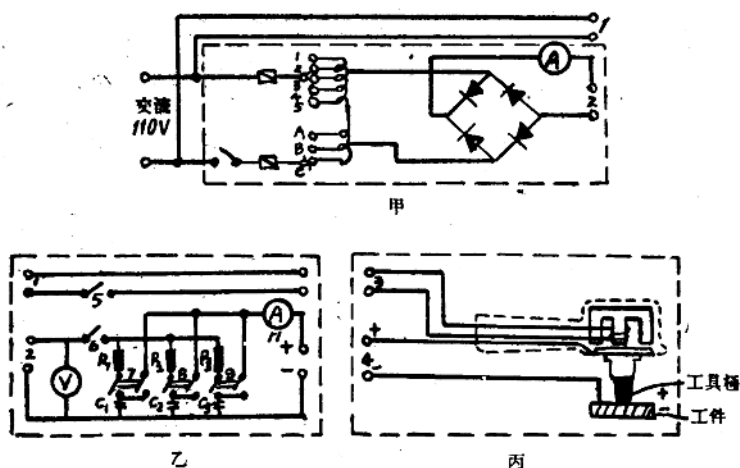


圖 4 电火花强化器的线路圖:

甲—整流器; 乙—电化發生器 (R_1 —80欧姆; R_2 —120欧姆; R_3 —240欧姆;
 C_1 —90MF; C_2 —30MF; C_3 —8MF); 丙—强化器。

經实际測量的結果, 当电源电压为 105 伏时, 各抽头的电压为:

抽头位置	交流二次电压 (伏)	直流空载电压 (伏)
A—1	52	48
A—2	55	50
A—3	59	55
A—4	62	57
A—5	66	68
B—1	74	66
B—2	78	71
B—3	85	77
B—4	89	81
B—5	94	84

C-1	95	85
C-2	100	89
C-3	108	96
C-4	119	100
C-5	119	106

这个整流器是一个单独铁箱，上边有直流电流表和交流电源单极开关、保险丝、电压调整抽头板等，为了使整流器得到充分的散热，其外壳有许多通风小孔。

2. 电花发生器：在这个木箱内，装有三组电容器，其容量为90微法拉、30微法拉及8微法拉，并装有三组电阻器，其数值为80欧姆、120欧姆、240欧姆，把电容器与电阻配成不同组合，再和整流器15种电压组合，则可得到更多种不同的电规准，所以可根据不同的要求，进行适当的选择。

木箱除了电阻及电容器外，还有指示强化时工作电压的直流电压表，与指示短路电流的电流表和调整电容的三个刀型开关四个插座、两个闭火，就是包括线路图中电火花发生器部分所有部件。

3. 振动器：为了保持电火花能够继续放电，振动器上除了装有工具电极的合金以外，还有一个交流电磁铁。我厂现在用的振动器的交流电磁铁的电源为110伏50周波，所以每秒可使工具电极振动100次。

4. 我厂电火花强化器的缺点：

1) 这个振动器的外壳是铝制的，所以仍很重，使用时不够轻便，最好用木制外壳。

2) 振动器的通风不好，所以工作一段时间后，振动器就发热，需要稍停一下，影响继续工作。

3) 整流器的电压最高只 120 伏, 不能得到 120~220 伏范围的电規准, 而其出力較小, 短路电流最大只 1.2 安, 所以不能得到强电流的强化。

五、技术操作过程

1. 在强化器通电前, 將被强化工件接到放电回路的負極上並加以固定。这个联接电綫的断面与接至正極的电綫同样为 4~6 平方公厘, 且不能長于 1.5 公尺, 否則將增加放电回路电阻, 使短路电流大大减小而使出力不够。

2. 將选好的工具極材料固定于振动器內, 接通振动器的交流电源, 检查一下其振动情况。

3. 接通氧化銅整流器交流电源, 調整好所需电規准及电压。

4. 將需强化工件的表面用油輕抹一層。

5. 用右手握住振动器手把, 將工具电極接近被强化工件的表面, 直到發生电火花放电为止。

6. 移动工具电極使强化遍于所需强化的表面, 移动时电極应与工件表面尽量保持垂直或 $6^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 度角, 尤其在强化棱角的时候, 其正确移动方法如圖 5 及圖 6 所示, 移动速度不要太快, 以 $0.07 \sim 0.08$ 公尺/秒为宜, 太慢則强化面被鍍盖得很密, 可以提高硬度及抗磨性, 但生产率很低。

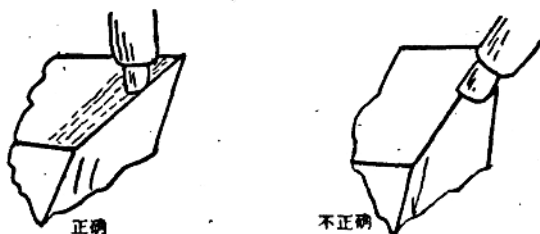


圖 5

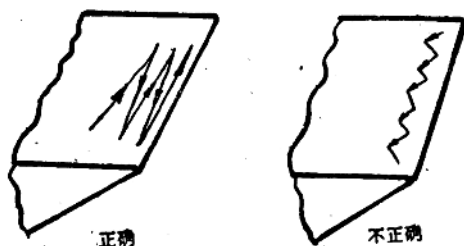


圖 6

7. 移动时，工具極对工件的压力也要合适，並保持均匀。压力大，則將形成長時間短路，压力过小，則火花不能产生或極不均匀。移动时压力及移动速度均直接影响强化質量，因此适当的掌握移动速度与压力是非常重要的。当强化表面的火花已为天藍色时，則强化面已完成。

8. 車刀强化前面，銑刀强化后面（余角面），冲模强化冲子和模子的磨礪面，切削工具强化后的表面不可磨礪。

9. 为了提高生产率及强化厚度，强化时可先用粗規准，然后用細規准，最后用精規准，則可得到强化層厚而表面光潔度較高的强化表面。各規准强化時間各为全部强化時間的 $\frac{1}{3}$ 。

10. 从固定工件的夹具上取下工件，擦去油膜檢查强化質量。

11. 更換被强化的工件时，必需切断振動器交流电源和供电機構的接連插头，而不必切断电源。

六、安全知識

1. 强化器的金屬外壳及直流电源負極均应接地。

2. 工作者应站在橡皮絕緣垫上。

3. 工作时应戴上防护眼鏡，以免眼睛过度疲劳。

4. 工作完畢后，切断設備电源，再將电極短路，以便电容器放电。

5. 强化的工作場所最好配置于 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 的干燥地方。

七、电火花强化的前途 电火花强化的效果，从苏联許多工厂得到的平均数据可以說明；在引用的表 1 內，普通工具的使用寿命为 100%。

表 1

工 具 名 称	强化过的工具寿命对普通工具寿命的百分比%
車刀	約 200
各种銑刀	150
扩孔鑽	約 200
兩合拉綫槓	約 500
木鋸	400
冲的陽槓和陰槓	約 300
深孔螺旋鑽头	約 200
砲型鑽头	約 200
机械嘴鋤和空气鑿的刃口	約 300
拉刀	200
耘土机犁头	約 400

由表 1 中可以看出，强化后的工具寿命普遍提高 $2 \sim 2\frac{1}{2}$ 倍以上。我厂在車刀、銑刀等方面也得到相同的結果。由于工具寿命的提高，也节省了高級合金工具鋼的消耗量，为国家节约了大量資金。

从强化器本身制造費用来看，因其可以利用工厂原有的整流器及电流表、电压表、电阻等設備，花錢不多、費事不大就可以得到很大的經濟效果。就是完全新制，其設備費用也不大，且設備輕便，操作簡單，有条件得到广泛推广。由下面的比較中，可以看出电火花强化在各种表面强化中具有絕对的优点（見表 2）。

从表 2 中可以看出，电火花强化法的优点不但多于缺点，且缺点都不是主要的，所以电火花强化法虽然自苏联科学家拉扎連科

表 2

表面強化法	優點	缺點
鍍鉻法	光潔度好，鍍層均勻	費工時，設備費而複雜，材料耗費量大強化工件有限，鍍層結合不好銳角易變鈍
金屬噴鍍法	噴鍍層厚，有磨量	鍍層結合不好，技術操作過程複雜，設備費貴，材料耗量大
電火花強化法	設備簡單，使用方便，操作過程簡單，不受工件任何形狀的限制，材料耗量小鍍層結合良好	表面光潔度略有降低，鍍層不夠均勻

發明到現在只有 21 年，却已較鍍鉻及金屬噴鍍优越。目前這門年輕的科學已經得到很多國家的重視，在蘇聯及我國的各個科學研究部門中都設立了專門研究組織，各生產單位也在不同的程度上獲得了很大的經濟效果，所以這門科學一定能在最短時期內獲得更大的發展，及更完善地應用到各個工農業部門中去，更大的造福於人類社會。最後，讓我預祝同志們在學習與推廣電火花強化這一蘇聯先進科學經驗中，獲得很大的成功！

在社會主義的經濟建設戰線上，取得極其輝煌的勝利！

試驗電火花強化法的經驗

天津拖拉機廠

我廠陳雪衡工程師，根據蘇聯先進經驗試驗成功的電火花強化法，經使用證明，效果良好，為廣大工人所歡迎，在節約工具上起了很大的作用。

未進行電火花強化前的情況：