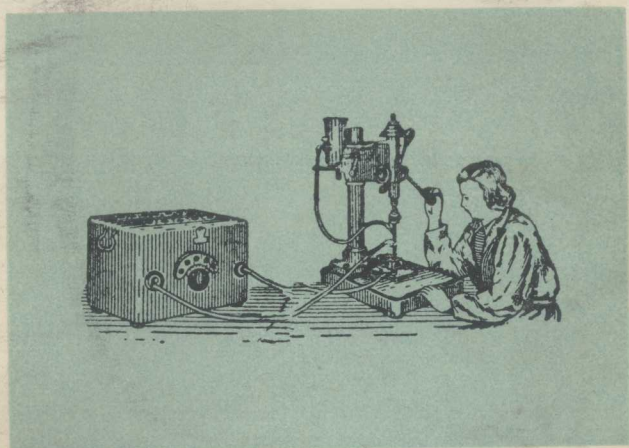


機床工人科學普及叢書

查 哈 洛 夫 著

金屬電加工法



機械工業出版社

出版者的話

蘇聯國立機器製造書籍出版社出版「機床工人科學普及叢書」的目的是爲了幫助機床工人提高他們的理論知識和實際知識。這套叢書系統地講解了金屬切削加工的基本原理。每一小冊深入淺出地敘述一個問題，文字通俗易懂，插圖多用立體圖，很適合工人閱讀。我們認爲這套叢書對我國機床工人系統地提高理論水平有很大幫助，所以決定把它陸續翻譯出版。

這套叢書分成三組，共26輯。第一組敘述有關金屬切削的一般問題，共10輯(1~10)；第二組說明金屬加工的各種方法，共10輯(11~20)；最後一組介紹各種金屬切削機床，共6輯(21~26)。

本書是這套叢書第二組的第10輯。它跟前面專講金屬切削加工的九輯小冊子不同，講的是金屬的電加工法。它介紹了有關電加工的基本知識以及金屬的電火花加工和陽極-機械加工的方法，可供機器製造工廠電加工工人學習。

目 次

一	為什麼要有金屬電加工法.....	3
二	電和金屬.....	5
三	電流.....	7
四	火花.....	9
五	電蝕.....	12
六	電火花穿孔.....	15
七	黃銅製的刀具.....	18
八	電火花穿孔的工藝特性.....	22
九	衝模的電火花加工.....	25
十	電火花加工其他方面的應用.....	27
十一	陽極-機械加工	30
十二	金屬切割.....	32
十三	切削工具的刃磨和研磨.....	35
十四	機器零件的陽極-機械研磨	37
十五	結語.....	39

一 爲什麼要有金屬電加工法

目前，一切現有的和在應用着的金屬切削加工方法，它的原理是：用刀具切入待加工零件，以切屑的形式除去零件上一部分金屬，而使這個零件具有所需要的形狀和尺寸。爲了能引起切削過程，刀具的硬度應當比待加工零件的高些。假使遵守了這個條件，那末我們在機床上加工硬度不大的零件時，切削過程通常就不會有什麼困難。如果相反地零件倒有高的硬度，那末切削過程就非常困難，有時簡直不可能進行。很明顯的，對那些白口鑄件或者淬火鋼零件進行切削加工是困難的。待加工金屬的硬度越高，那末切削速度就越低，生產率也就越低。

但是，機械工人需要加工具有高硬度的金屬正在逐年增多，問題是現代的機械製造業對機械製造材料的強度提出了一切更高的要求。隨着強度的提高，幾乎不可避免地會發生硬度的增加。爲了要說明這個問題，應當充分地比較這兩種鋼的強度和硬度：普通的3號碳鋼和某種合金鋼，例如牌號是20X2H4A的鉻鎳鋼。這種鉻鎳鋼的強度比起3號鋼差不多要強兩倍，而它的硬度比3號鋼要硬一倍多——3號鋼的硬度大約是 120公斤/公厘^2 （布氏硬度），可是20X2H4A鋼的硬度原來（在淬火以前）就有 250公斤/公厘^2 左右。

在現代技術中應用的許多其他的金屬，也有很高的硬度。這些含有磁性的優質合金，如鋁鎳、鋁鎳鈷、錳鎳鈷等合金，一般不能進行切削加工，而要使由這些合金做成的磁鐵得到所需要的形狀，必須用鑄造的方法，隨後加以磨削加工。

加工很韌的鋼料，例如加工高錳鋼或4X14H14B2M(ЭИ69)的

耐熱鋼，也是困難的。

因此這末一個困難已擺在金屬機床加工和發展現代技術的整個進程面前。但是事情並不局限於這一個困難而已。

在現有的種種切削加工的方法下，機床承受很大的負荷，有時有幾十噸。因此，必須把機床做得十分堅固而巨大。

這樣的機床需要很多金屬、很多時間和很多勞動力來製造。切削加工時所用的刀具要用較好的優質鋼製造，同時在製造和不可避免的磨損上要花費許多勞動力和材料，所以刀具是很貴重的。

然而在這種情況下，就一切現有的金屬切削加工方法說來，往往不能解決看起來很簡單的某些工藝任務。算做這些困難任務的，就像鑽細小的孔（直徑小於1公厘），特別是這些孔假如都必須在硬度高的或非常韌的鋼料上製出的，因為在這個時候，細鑽頭時常會折斷，而且鑽頭碎片會殘留在工件內。如果用一般的方法把這些鑽頭碎片從工件內取出來往往不可能，而在孔內有着斷裂鑽頭的零件就成了廢品。

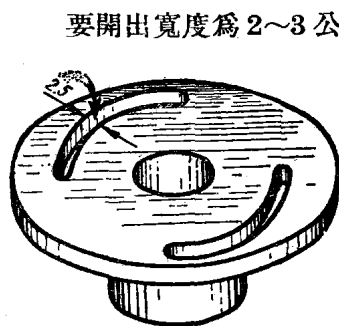


圖1 在鋼盤上需要開出二個細長的孔。

要開出寬度為2~3公厘的細長的孔（圖1），就切削加工來說，困難很大。因為加工這類孔，用直徑2~3公厘的指形銑刀時常會折斷。有一個工廠，曾經進行這類零件的加工，每班產量只不過兩個而已，更不用說製造直徑為2~3公厘的指形銑刀本身是多麼困難的了。

但是，由於現代的技術越來越發展，類似的問題都擺在生產人員的面前，而要解決這類問題，就成為金屬切削加工的第二個主要困難。

我們蘇維埃先進的技術，當然不能容許上面所講的那些困難

存在。

隨着新的完善的機器、器械和儀器等構造上的發展，隨着新的機械製造用的金屬和合金的創造及應用，這些困難一天天地增多。這些困難就是我們技術發展的證據，說明它逐漸過渡到更高的階段。這些困難必須克服，而且已經被克服；先進的蘇維埃技術已經解決了這個問題。

蘇聯學者Г.Л.拉扎連柯、З.И.拉扎連柯(Б.Р. и Н.И.Лазаренко)和古謝夫(В.Н.Гусев)曾經研究出新的特出的加工方法。用這種方法，可以加工硬度和韌度最大的金屬，能在各種工件上(甚至淬過火的)精確而快速地製出直徑很小的孔，並且能進行許多其他的工作，而這些工作的可能性，在以往甚至是不能想像的。

這件事情能獲得成功，是由於利用了某些電流的性能。

二 電和金屬

目前，電在國民經濟中，例如在工業上、交通運輸上、農業上以及日常生活上，起着無比巨大的作用。電在現代的冶金和機械製造方面也具有巨大的意義。目前，在冶金和機械製造中所採用的許多工藝過程，如果我們不能夠利用電流，那就根本不可能。

品種較好的優質合金鋼，只能在電熔爐內熔解，在這種電熔爐內可以得到工具鋼、滾珠軸承鋼、不銹鋼、耐熱鋼、變壓器鋼以及許多其他的鋼種和其他牌號的鋼。

有着化學成分十分正確的最貴重的合金，例如上面所提到的鋁鎳、鋁鎳鈷、錳鎳鈷等磁性金屬，它們只能在高頻率感應電熔爐內熔化。

許多有色金屬從礦石中提煉出來，只有用電流才行。例如在提煉鋁的時候，就要把礬土(氧和鋁的化合物)進行電解。只有利用電

流才能把氧從鋁中分析出來而得出純淨的鋁。由於電解礬土時，要化費大量的電能，所以我國能開始生產鋁還不過在1926年以後，也就是在以符拉基米爾·依里奇·列寧命名的伏爾霍夫水力發電站送電以後；我們祖國電氣化的偉大工作也就在當時按照列寧的電氣化計劃而開始了。

假使銅越純淨，在它裏面的雜質越少，那末它的導電性越好，而且消耗在電線發熱上的電能越少。但是要精煉銅，也就是要除去雜質，仍然要在電流的直接感應下進行。這樣所獲得的這種銅的純淨程度是不能用任何其他方法得到的。在現代的電工技術中，對於電機和變壓器的電線、電纜、母線、繞組等都完全應用電流精煉過的銅——就是所謂電解銅。

最先進的鋼表面淬火法——高頻率感應淬火和在電解質中淬火——是完全用電流作基礎的，即讓電流直接通過鋼製零件，使零件發生快速而強烈的加熱。

一種最簡單、生產效率很大又很可靠的金屬相互結合的方法——電弧銲，——是完全根據電流性能來形成電弧的。

用金屬電鍍金屬，不管是為了防止腐蝕而鍍鋅也好，或者是使工件具有美麗光澤而鍍鎳和鍍鉻也好，都是在有着電解質（經過電解質通過電流）的電鍍槽中進行的。

由此可見，電流能把金屬從礦石中提煉出來，熔化它，並且把它精煉，能夠把淬火前的鋼加熱，銲接巨大結構，用其他的金屬電鍍一類金屬。這就是說在現代的冶金和機械製造業中多樣化地應用了電流。

但是只有目前機械製造的一個方面——金屬切削加工方面——沒有直接利用電流。當然，在目前的各種情況下以及在金屬切削加工中電流是必要的，它傳動機床，並利用電流控制機

床，——可是這種電流的作用畢竟是輔助性的。沒有多久以前，幾十年以前吧，機床是用蒸汽機通過天軸和皮帶傳動進行運轉的。後來，電動機代替了蒸汽機。但是切削過程的本質並沒有因這個緣故而改變，——電流沒有直接參加到切削中去，它在具體的切去切屑的過程中沒有被利用。

在用電加工方法（關於這個問題，本書就要講到）的時候，電流却直接對待加工金屬發生作用。就本來的實際意義上直接了當地說來，電流在加工金屬零件了，如在零件上製出孔、把零件切成幾部分、磨銳刀具等。我們可以在下面見到電流能作出怎樣的好處出來。

目前，利用電流的兩種金屬加工法——電火花加工和陽極機械加工——已經獲得了實際的應用。關於這兩種方法在下面的篇幅中就要講到。

但是爲了更好地弄懂電加工法的本質，首先要研究一下電流是什麼。

三 電 流

自然界的一切物體都由最小的微粒——原子——所組成。一塊鐵，由鐵原子組成；一塊銅，由銅原子組成。有多少不同的原子類型，自然界中就有多少元素存在，也就是自然界中有 92 種元素存在（見本叢書第一冊「機械製造中的金屬」）。

複雜的物質由幾種原子組成，比方說鋼，它是由鐵原子和碳原子組成。鋼內也存在着數量較少的混合物（錳、矽、磷、硫、氧）的原子。

原子，它並不是物質最小的細密的微粒。各種原子具有各種複雜的構造。原子的中心（圖 2）有核，在它的四周有電子作圓（軌道）

運動，如果跟核比起來，電子是非常微小的物質微粒。電子的重量是原子核重量的幾千分之一。

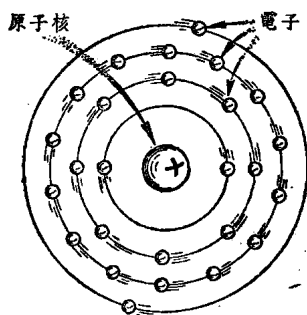


圖 2 簡化的鐵原子構造圖
(實際上的原子大小是
圖上的幾萬萬分之一)。

一切物質的電子都一樣，並沒有例外的。鐵原子雖不像銅原子，而且鐵原子核和銅原子核彼此之間並不相似，但是繞鐵原子核周轉的電子却完全跟繞着銅原子核運動的電子一樣。

鐵原子跟銅原子有着不同構造的原子核和數量不等的同樣的電子。在鐵原子核四周有 26 個電子周轉着，而在銅原子核四周有 29 個電子。其他元素的原子又是另一種樣子的，但往往嚴格地具有一定數量的電子。

原子核和電子是帶電的，或者說帶有電荷。但是，原子核電荷跟一切繞着核周轉的電子電荷是相反的，這就是說，原子核電荷的作用恰恰被這個原子所有的電子電荷的作用抵消掉。所以完整的原子沒有電荷，也就是呈中性的。

現在假定原子核電荷叫做正電荷，而電子電荷叫做負電荷。

任何一種金屬的每個原子的大部分電子總穩固地保持在原子內，這些電子不息地以很大的速度繞着原子核周轉。但每種金屬原子的另外一小部分電子却脫離自己的原子，而在金屬內原子之間的間隙中游動。從一個原子中脫離出來的這些游離電子可以跟別的那些已喪失了一部分原有電子的原子結合起來。以後，電子又重新從原子中脫離出來，繼續游動，又照樣跟某種原子結合起來。就這樣循環下去。在一塊金屬中，常常有大量的這種游離（自由）電子，它們毫無次序地或雜亂無章地作一切方向的運動（圖 3）。

但是只要給一塊金屬外加電壓，比方說加上直流發電機的電壓，這樣就立刻把許多電子投入非常有次序的運動中去：所有的電子開始朝一個方向運動；也就是從跟發電機負極端鈕相接的金屬塊一頭向跟正極端鈕相接的另一頭運動（圖4）。

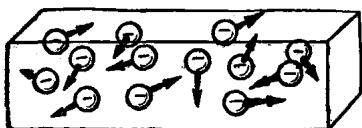


圖3 在沒有荷電的一塊金屬中自由電子雜亂地運動。

電子在外加電壓作用下有次序地運動，這就是電流。

假使一塊金屬的一頭跟交流發電機相接（或跟一般電路相接），那末游離電子的運動方向在一秒鐘的時間內將有一百次變動：在 $\frac{1}{100}$ 秒鐘的時間內，電子向一個方向運動，而在下一個 $\frac{1}{100}$ 秒鐘的時間內，電子恰好向相反的方向運動，以後，在第三個 $\frac{1}{100}$ 秒鐘的時間內又向最初的方向運動，就這樣一直到切斷發電機為止。

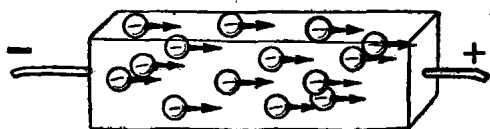


圖4 在一塊金屬中，通過電流後，自由電子有次序地運動。

以上這些，我們只是講到金屬方面游離電子的情形，在許多非金屬方面（如木材、瓷器、磚、橡皮、紙張），一切電子都非常穩固地保持在自己的原子裏面。在這些物質中的電子也是不斷地以巨大的速度繞着原子核周轉的，但是要從原子中脫離出來，它們却不能够。所以，非金屬內沒有游離電子，因此非金屬不能通過電流。這些物質，我們管它叫不良導體或是絕緣體。一切氣體，特別是空氣，都屬於絕緣體之列。

四 火花

我們這些人曾經多次地見過這種情形，就是當我們把叉子插

到插頭座子的一瞬間，在叉子的頂端會出現小小的天藍色火花。那些比較大得多的火花，在有軌電車或無軌電車的聚電環上可以常見到，當聚電環稍許離開電線，隨後又接觸電線的時候，就出現火花。

火花究竟是怎麼一回事呢？為什麼會出現火花呢？這個問題是應當弄明白的。

假定我們有一個直流電路（圖 5），它是由直流發電機、某種電

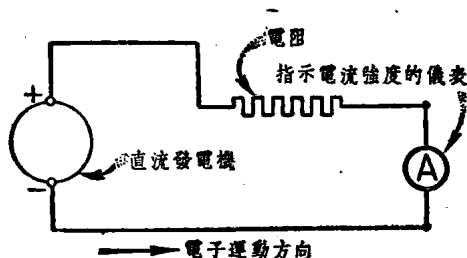


圖 5 由直流發電機、電阻、儀表在電線之間組成的電路。

阻（例如用非常細長的銅絲做成的線圈）和電線組成的。電流循着電路通過。

我們如果把兩個電線頭距離移遠一點，分開電路，電路中電流就突然中斷。為什麼？因為在切斷的和隔開的電線頭之間有了

空氣層，而空氣層是絕緣體，不能通過電流。

如果把電線兩頭相互移近到較近的距離（但是一根電線不跟另一根接觸），同時增加發電機接線頭上的電壓，利用靈敏的儀表，就可以探知在切斷的電路內出現電流，不過，實在說起來，電流畢竟是很小的。那末這樣講來，空氣不是改變了絕緣體而傳導電流了嗎？其實果然是這樣：當電壓較大而電線之間的距離不大的時候，空氣就開始通過電流。為什麼會這樣的呢？

這裏，就要講到所以這樣的道理。原來電路雖被切斷，可是電線頭還是處在電壓狀態下，從接到發電機負極端鈕的電線一頭放出一個個游離的電子，並且落到切斷電流的電線頭之間的空氣間隙中去。

那末從電線一頭脫下來的電子，落到哪兒去呢？原來空氣是兩種氣體——氧氣和氮氣——的混合物。它們像各種物質一樣，都由原子組成：氧由氧原子組成；氮由氮原子組成。大量的氣體原子，包括氧和氮的在內，都成對地結合起來，而形成分子，也就是說，氧分子由兩個氧原子組成，而氮分子由兩個氮原子組成。由此可見，切斷的電線頭之間的空氣間隙中充滿了氧分子和氮分子。

當從電線一頭脫下來的電子出現在切斷了的電線頭之間充滿了空氣分子的小小間隙中時，它究竟怎樣呢？

原來電子開始從接到發電機負極端鈕的電線一頭（陰極）運動到接到發電機正極端鈕的電線頭（陽極）上去。如果在發電機接線鈕（端鈕）上的電壓越大，也就是說不論在陰極上或陽極上的電壓越大，那末電子運動的速度就越大。因為每個電子本身帶有電荷，這就是說電線頭之間的間隙中（陰極和陽極之間）通着電流。這也可以在靈敏的儀表上看出來。

如果劇烈地提高電壓，同時讓電子以巨大的速度運動，那末電子就照本身的運動線路撞向空氣的分子上去（圖 6 甲），也就在衝擊式的降落之下，把電子從空氣分子中「打出去」（圖 6 乙）。這樣就使一個自由電子化成兩個電子。剛從分子中「打出來」的電子也跟原先成對的電子一樣，將以巨大的速度向陽極運動。

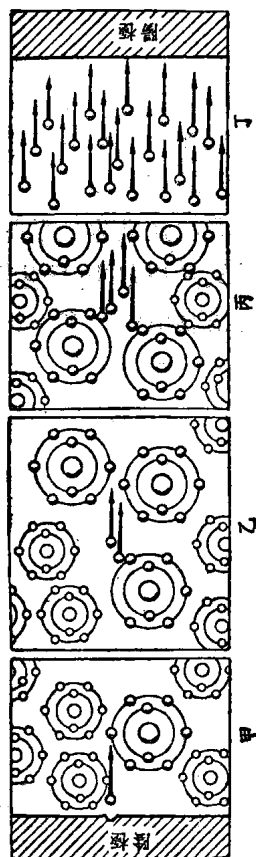


圖 6 電子擊形成倍增的過程。

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，同時從空氣的分子中[打出]電子，很快地就由兩個自由電子化成四個電子，就這樣一直繼續下去(圖 6 丙)。因此，那些以高速度運動到陽極上去的自由電子的數量將迅速地增加，結果形成一個衝擊到陽極上去的電子羣(圖 6 丁)，於是就發生了電機師們所謂的空氣間隙的破壞(擊穿)。這個時候，也就是我們看到火花的當兒，這時，儀表上就顯示出電流強度急劇地增加。

如果電線頭放過了火花，那末電路中的電流也就立刻中斷。

我們如果再把電線頭(陰極和陽極)相互移近，那末先前的過程就又重複起來：發生電子羣，瞬息間突然增強電流強度，也就在這時候放出第二次火花，就這樣無限止地一直重複下去。

火花形成的過程，我們講是講得這樣慢，其實是以極快的速度進行的：形成電子羣和放出火花所需的時間相當於 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{10000000}$ 秒。

五 電 蝕

如果仔細研究一下陰極和陽極之間放過火花的陰、陽極表面，那末就能發現一個有趣的現象：在陽極上形成凹穴，而在陰極上有金屬瘤(圖 7)，好像是陽極上的一部分金屬移到了陰極上似的。其實果然是這樣的：在陰極和陽極之間放火花的時候，陽極慢慢地被

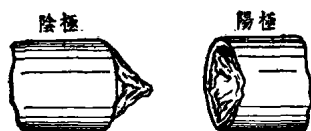


圖 7 由於陽極和陰極之間放火花，陽極上形成凹穴，陰極上有金屬瘤。

破壞着，而從陽極表面上脫下來的金屬跑向陰極，同時積聚在陰極上。這個現象叫做電蝕。在我們使用這個名詞時，可以把我們剛才所講過的內容，簡明地下個結論：在陰極和陽極之間放火花的時候就要發生電蝕。

陽極破壞(電蝕)的道理是這樣的：在陰極和陽極之間的空氣間隙中放火花時，電子羣以巨大的速度衝向陽極，把它表面上一小部分加熱，經電子羣衝擊過的陽極表面，溫度幾乎突然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。

這個過程發生得極快，相當於一個小小的爆炸：金屬氣體突然膨脹以後，熔化的一部分金屬就從陽極表面上脫出。熔化的金屬從陽極表面上脫離後，就落在陰極上，同時，也就附着在陰極上，並且硬化。這樣，在陰極上就形成了金屬瘤。

陽極和陰極的電蝕都發生在形成火花的情形中，如電氣開關中、接觸器中、開關接點中及各種繼電器中。毫無疑問，在某些電氣開關中最能見到小小的金屬瘤，或者不是瘤而是傷痕。這就是電蝕結果。

電蝕對那些金屬片之間接觸距離不大的接觸情況，有着很大的危險性。因為由於電蝕的結果，在接觸的一塊金屬片上形成金屬瘤，可以把金屬片之間的接觸間隙填滿。這樣，電路永遠成閉路，其實電路只能或時閉路；也往往有這種情形，甚至接觸的金屬片相互鉚接起來。這類情形是很危險的，因為繼電器一般會中止工作。假設繼電器是控制着燈火信號的，或者比如說，繼電器應當切斷短路電流的，而這種停止工作的繼電器，就在這類情形中往往成為嚴重事故的原因。

這樣說來，我們應當在我們說過的那些情形中推出結論說，電蝕是非常有害和危險的現象。

我們蘇維埃學者Г. Л. 拉扎連柯和Л. И. 拉扎連柯却用另外一種觀點來研究這個電蝕問題。他們想：是否可以做到把電蝕變成有利的現象呢？也許電蝕在一種情況中有害，而在其他的情況中就有利！果然，電蝕成為有利的這些事情太多了。

У.Л.拉扎連柯和Л.И.拉扎連柯的貢獻首先是在於他們使有害的電蝕現象有利於人類。

事實上，如果要在零件上需要製孔，可以把零件做成陽極，並把陰極引到它跟前，使它們之間放火花，那末由於電蝕的結果，零件局部（在陰極下）破壞，因此在零件上就形成凹穴（圖8甲）。假如

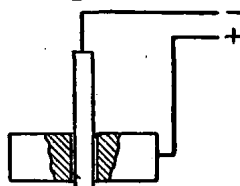
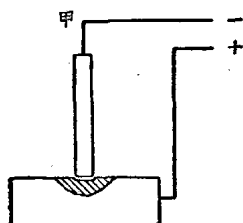


圖8 利用電火花穿孔時孔的形成：
甲—穿孔過程開始時；
乙—穿孔過程結束時。

隨時根據凹穴加深的程度，漸漸降低陰極，那末很明顯的，在零件上就可以得到穿孔（圖8乙）。

電火花穿孔的好處，不僅是能夠在零件上製出不比鑽頭製出差的孔，而且更好的是，電

火花是用同樣的效果來製孔的，不管在最軟的金屬（鋁、黃銅）上也好，在最硬的金屬（淬火鑄鐵、淬火鋼）上也好，甚至在硬質合金上也一樣。特別在淬火鋼上電鑽孔眼，甚至比在退火鋼上鑽孔更是有效，更是快速。所以說，待加工材料的硬度對於電火花說來沒有什麼關係，很可以利用電蝕現象在各種金屬上製孔（穿孔），好像根本沒有硬度一樣。

有人問為什麼在硬質合金上需要穿孔呢？這在各種場合中是需要的，例如在製造拉絲用的工具——模子——的時候，就得穿孔。硬質合金模子的製造是個非常複雜和費事的工序，不但要費十幾個鐘點，而且需要用金剛砂粉。現在把這種令人厭倦而費工的昂貴工序取消，而用既簡單又便宜的電加工來代替，這是多麼美好的事！

電加工是利用由於放火花而產生的電蝕現象作為基礎的，通

常管它叫電火花加工，我們也就這樣叫它。

不過在電火花穿孔的技術成就方面，還應當解決什麼樣的問題呢？由於電蝕的緣故，從陽極上脫下來的金屬積聚在陰極上，就在它上面形成金屬瘤。金屬瘤能夠很厲害地把陰極的形狀歪曲，於是工件上製出的孔的形狀不正確，而且尺寸又非常不精確。僅僅這一點就能把新方法的一切優點消除掉。可是，*У.Л. 拉扎連柯*和*З.И. 拉扎連柯*已經成功地解決了這個問題。其實，如果工件（陽極）和陰極之間間隙中不是空氣，而是某種不能導電的液體（油、煤油），那末在這種間隙中放火花還是跟通過空氣一樣的容易的，陽極電蝕將產生同樣的強度。而現在在陰極上卻沒有了金屬瘤。從陽極上脫下來的金屬，不傳到陰極上去，而留在液體中，形成金屬最小微粒結合成的懸浮物（澱渣）。

六 電火花穿孔

圖9是一台電火花穿孔機的裝置簡圖。製件2卡緊在小虎鉗1上，小虎鉗1位於灌注煤油的金屬槽11內。小棒4（電極）卡緊在滑筒5中，滑筒5在導架6內作縱向的上下運動。電極4用電線跟直流電源的負極端鈕7相接，而製件2用電線跟同一電源的正極端鈕8相接。電極4跟滑筒5是絕緣的，而金屬槽11跟機床面也是絕緣的。要得到絕緣，

必須應用下列任何一種絕緣材料製成的襯墊，這些材料是石棉、布質絕緣板、橡皮等。

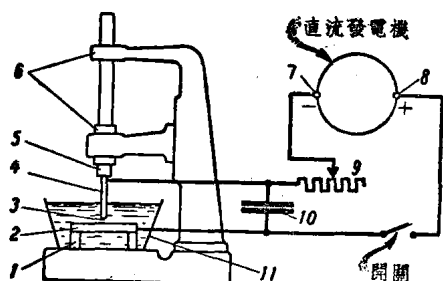


圖9 電火花穿孔簡圖。