

## 第十六章 特殊加工法

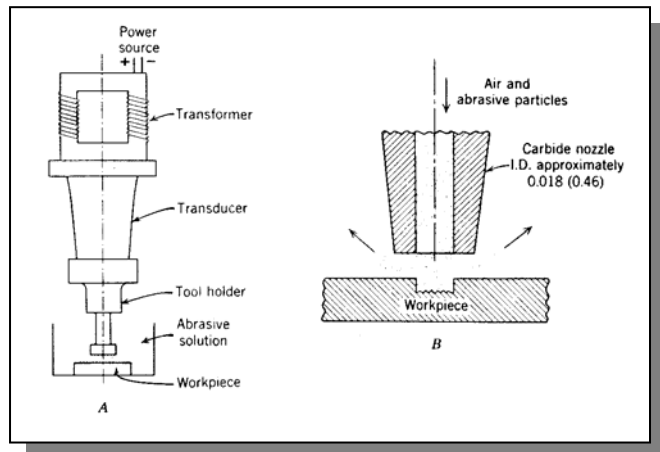
- ◎超音波切削法 (Ultrasonic Machining)
- ◎磨料噴射法 (Abrasive Jet Machining)
- ◎水噴射切削 (Water Jet Machining)
- ◎放電加工法 (Electrical Discharge Machining)
- ◎電氣化學加工法 (Electrochemical Machining)
  - 電化學研磨法 (Electrochemical Grinding)
  - 雷射光切削 (Laser Beam Machining)
  - 電子束切削 (Electro Beam Machining)
- ◎高溫加工法 (Elevated Temperature Machining)
- ◎低溫加工法 (Cold Temperature Machining)
- ◎化學能加工法
  - 化學銑切法 (Chemical Machining)
  - 化學打壞法 (Chemical Blanking)
  - 化學彫刻法 (Chemical Engraving)
- ◎電積造形法 (Electroforming)
- ◎金屬噴佈法 (Metal Spraying)
  - 金屬線噴佈
  - 金屬粉末噴佈
  - 電漿火燄噴佈
- ◎金屬塗層 (Metallic Coating)
  - 電鍍 (Electroplating)
  - 鍍鉻 (Chrome Plating)
  - 鍍鋅 (Galvanizing)
  - 鍍錫 (Tin Coating)
  - 磷酸鹽防蝕法 (Parkerizing)
  - 陽極處理 (Anodizing)
  - 滲鋁防蝕法 (Calorizing)
  - 表面硬化法 (Hard Surfacing)
- ◎電子製造 (Electronic Fabrication)

## 一、超音波加工法

超音波加工法是機械振動法的一種，其係利用一種細粒的磨料顆粒與液體混合，由液體盛載進入工具與工作物之間，再由工具的振動，使磨料高速度撞擊工作物，逐漸鑿去材料成為微粒，一直到最後，即造成與工具形狀完全相同的陰陽配合形狀。因此，所使用的工具必須與工作物相反的形狀。此法特別適用於硬而脆的材料加工，所使用的工具材料常為銅或軟鋼。

右圖示中，工具是裝置在變能器（轉換器）上，其振動的動作是由變能器激動而來。而所謂變能器，則是一種能將高頻率電能轉換成高頻率振動能的裝置。此外，在工具與變能器之間有一工具裝置器，是一種螺絲紋裝置。

此法的金屬切除速度甚低，而影響的因素則包括：工作物表面粗度與尺寸精度要求、工具振幅大小、工具材料、磨料種類與混合液材料。



## 二、磨料噴射加工法

磨料噴射加工法類似噴砂，係將磨料攜帶於高壓的空氣或CO<sub>2</sub>之中，隨氣體自噴嘴以高速噴出，並衝擊在工作物表面上。所使用的磨料有氧化鋁或碳矽（用於切削），或白雲石、重碳酸鈉（用於清潔或拋光）；因磨料使用後可能滲入雜質，不可再重複使用，以免阻塞噴嘴。由於磨料的衝擊力甚大，可能嵌入材料中，故此法不適用於軟質材料的加工。

## 三、水噴射加工法

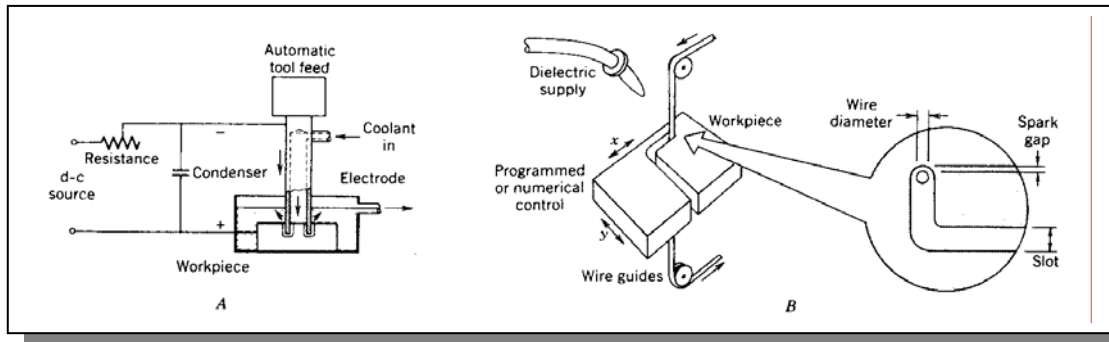
水噴射加工法，又稱為流體噴射加工法，係利用一種高速的水流作為切削工具，可用於熔接前的去角或切除鑄件上的冒口及澆口等。由於缺乏適當的高壓水幫浦設備，此方法推廣不易。若在水中加入石榴石（Garnet）或氧化矽粉末，則可增加效能，降低費用。

## 四、放電加工法

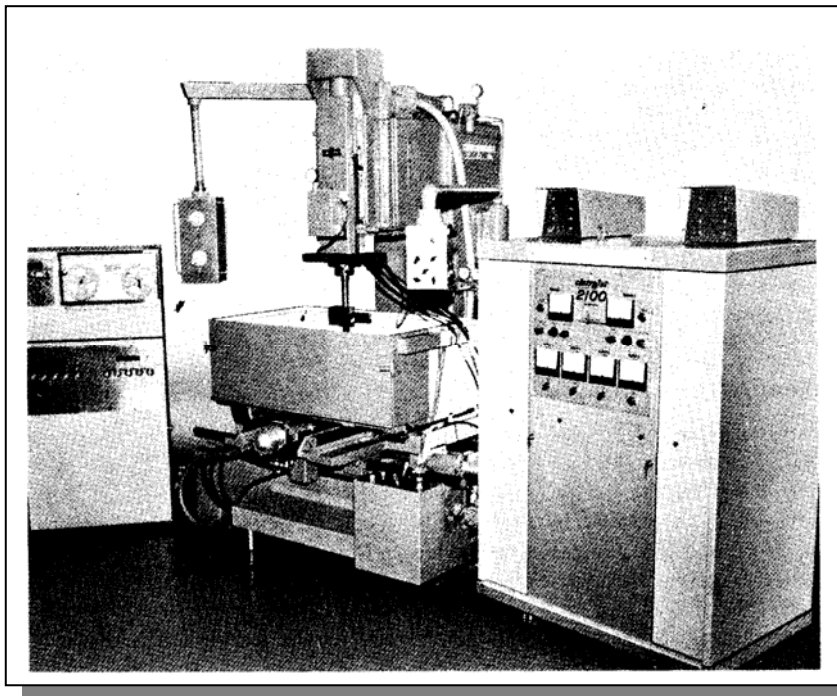
放電加工法適用於高硬度或低硬度的金屬，但對於玻璃、瓷器及其他非導電性的材料，則不適用！其係在金屬工作物與電極之間放電，產生火花，造成高溫，使工作物極微粒的熔化，甚至汽化。這些極細微的金屬顆粒隨即受到流動的絕緣體（通常採用煤油）沖洗帶走。

此法中，電極可視為工具，受腐蝕或加工的金屬則稱為工作物；由於電火花係發生在工作物表面上，且能自動、均勻的維持各部強度，故往往可以得到均勻的腐蝕效果，且使工作物的形狀與電極的形狀完全相同。因此，電極可以作成的形狀，工作物就可以得到相同的形狀。而電極材料的選擇，則須考慮消耗率、熔點及導電性，常用的材料有碳化鎢、鋼鎢合金、銅、黃銅與鋅合金等。至於適用的工作物材料，則以高導電性者為佳。

圖A為放電加工機的線路圖。圖B為移動金屬線放電加工機，可用來進行形狀複雜的曲線切割，如齒輪、工具模子、轉子及渦輪葉片。



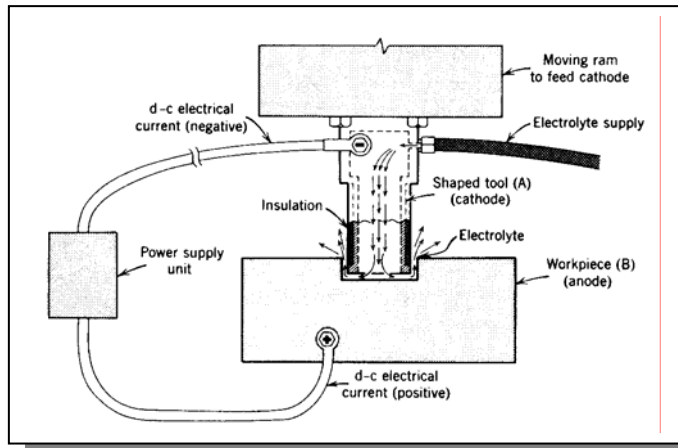
下圖所示為一具有數值控制的放電加工機。



## 五、電氣化學加工法

電氣化學加工法簡稱為電化加工法，其原理與電鍍法相同，只不過工作物為陽極，因此又稱為『反電鍍法』。圖示為電化加工法的簡圖，其中，工作物因電解作用被蝕去。

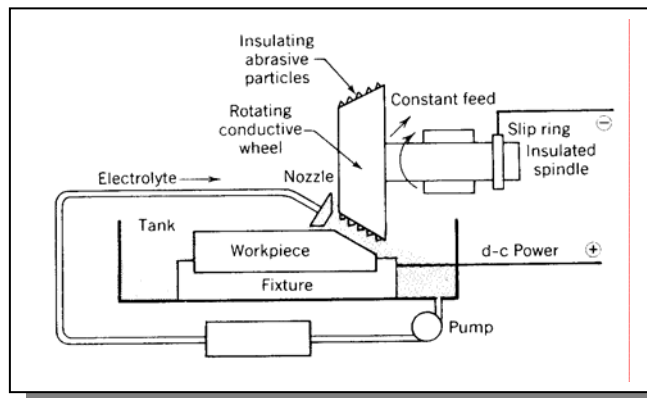
此法所加工的工作物的表面輪廓完全為工具或電極的複製品，因此，在工具製造上，必須嚴格要求尺寸精確度與光平程度，而所使用的材料必須為易導電、易切削、耐腐蝕，包括銅、黃銅、石墨及銅鎢合金。使用的電解液則以氯化鈉最為常見。操作時，溫度越高，越有助於工作物表面的光平程度與切除率。至於工具與工作物間의 間隙大小，則與金屬的去除率有關，當切除率增加，間隙隨之增加，間隙增加後，電阻加大，電流降低，切除率又往下降！



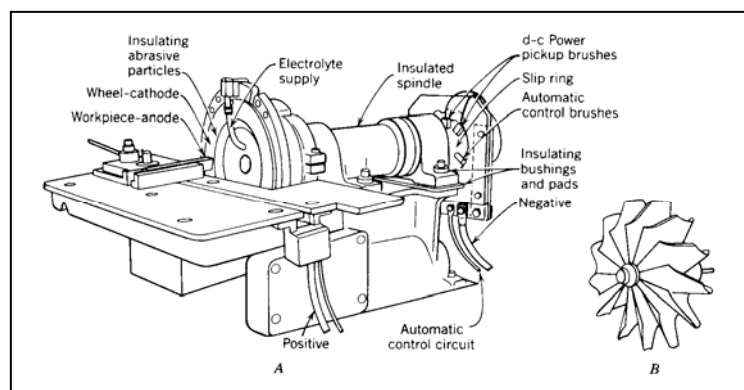
由於電化加工法不產生任何殘餘應力，且電流效率高，適用於硬而韌的複雜形狀加工，並可得到極為光平的表面。

### (一) 電氣化學磨削法

電氣化學磨削法又稱電解磨削法，此法與電氣化學加工法相似，所不同的是：此法的金屬切削除了電氣化學電解作用外，尚有部份的磨料磨削作用，前者佔90%，後者佔10%，其常用的磨料為鑲嵌的鑽石細粒，而最適用的工作則包括碳化鎢工具的磨銳及車刀切屑斷碎槽的磨削等。右圖所示為其工作原理。其中，一個大量鑲嵌磨料粒的金屬盤，聯結在直流電源的負極上，而電源的正極則聯結在工作物及電解液（兼具冷卻用途）上，形成電流迴路。



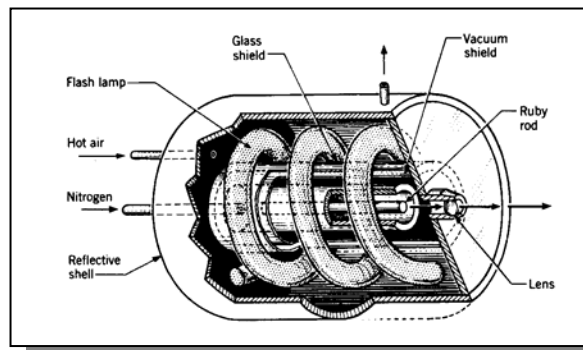
右圖 A 為一電氣化學輪磨機的構造圖。右圖 B 為一利用此法所製出的 Stellite 渦輪葉。



## (二) 雷射光加工法

雷射光束是一種極強而不分散的單色光線，其能量甚為集中。

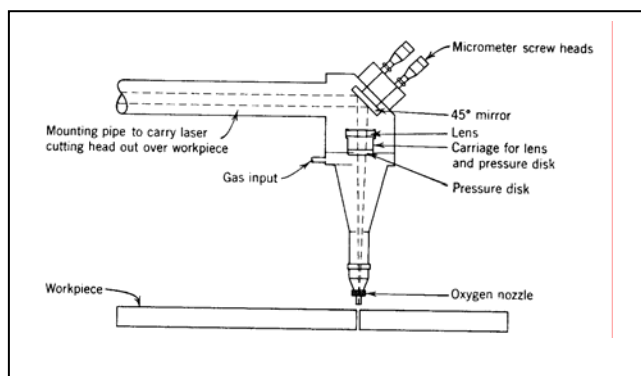
雷射加工法即是利用此種集中的光能，使金屬或其他材料在極短時間內熔化，甚至汽化、揮發而失去。因此，是一種『熱電法』(Thermo-electric Process)。下圖為一紅寶石雷射光發射器的構造圖。



紅寶石中的一部份鉻離子因光的激勵反復跳躍，產生光子，使得紅寶石中微弱的閃光因之放大，經透視鏡集中在工作物上。

常見的雷射光包括紅寶石雷射光、CO<sub>2</sub>氣體雷射光、其他氣體、液體與半導體雷射光等，其中，CO<sub>2</sub>氣體雷射光最常用於金屬切削！

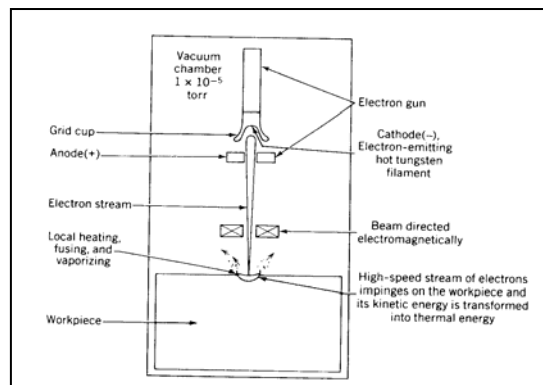
由於雷射光的切削速度甚低，但因其可克服高熔點、高硬度的金屬，故多用於碳化物的細孔鑽製或鑽打鑽石抽線模上的孔。右圖所示為一氣體輔助雷射切削頭的構造圖。



## (三) 電子束加工法

電子束加工法和雷射加工法一樣，是屬於熱電法的一種。

電子束是一種數量極多的電子流，電子以極高的速度衝擊工作物，由工作物吸收其動能，轉換成熱能，因其過程集中不散，使得局部溫度極高，金屬也隨之汽化。此法常在真空中使用。



右圖所示為一利用電磁力控制電子槍與電子束的加工機示意圖。

電子束加工法的切削速度甚低，但因精度極高，不需外力，且加工過程中除了汽化部份的溫度較高外，其餘皆不受高溫的影響。此法的設備成本高，技術需求也高，且加工過程中所產生的X光可能傷及作業人員。

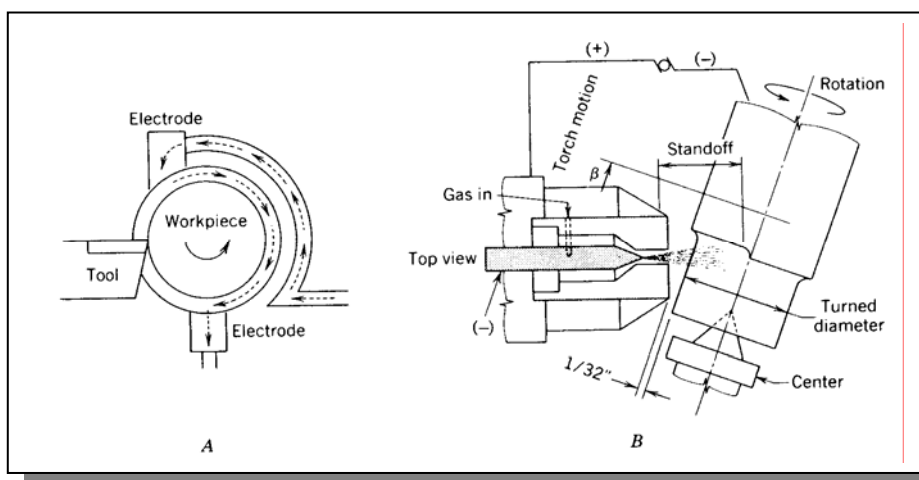
此法主要用於半導體小零件的切槽與造形，及藍寶石軸承的加工等。

## 六、高溫加工法

所謂高溫加工法是指利用電能或熱能在工具前方剪力面局部加熱，以提高待加工金屬的溫度，降低抗剪力的一種加工方法。此法可增加加工物件的可塑性變形，減少工具面上的摩擦消耗，形成連續式切屑。

使用的加熱方式依材料不同而異，對磁性材料而言，常用高週波電阻加熱法，非磁性材料則常用鎢電極惰性氣火炬。

下圖A為使用高週波電能集中加熱在工具前方檢剪力面的裝置簡圖。圖B為利用電弧電漿火鋸代替粗切削作用，其雖可切削任何金屬，但也可能損壞工件表面。



高溫加工法的最大缺點是工作物會因高溫而改變金相組織及機械性質，因此不能使用於熱處理過的機件，且加熱與操作技術也是此法的困難所在。

## 七、低溫加工法

相對高溫加工法，此法則是令金屬在極低的溫度下來加以切削加工。其中，獲得低溫的方法，包括讓切削區籠罩在低溫霧汽中，或利用乾冰冷卻，或直接冷凍工作物。



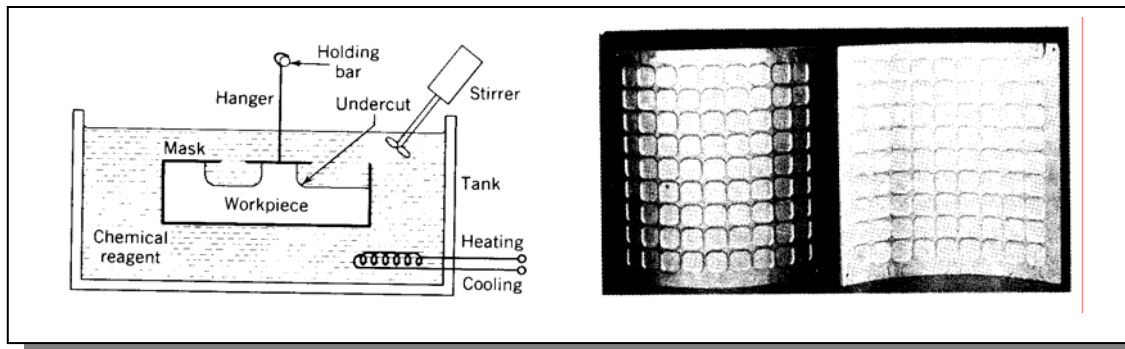
## 八、化學能加工

### (一) 化學銑切法

化學銑切法是一種在嚴密控制下的金屬腐蝕法，其過程為：

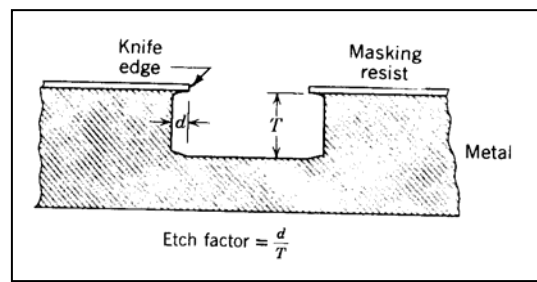
1. 清洗待加工的金屬板片或機件。
2. 將不擬去除的部份表面覆蓋一種能抗浸蝕的物質，形成保護膜。
3. 將工件物浸入化學溶液中。
4. 腐蝕後用清水洗淨，揭取覆蓋層。

其中，為了提高反應速度，可提高化學溶液溫度，而使用的覆蓋材料則是一種可以抵抗熱鹼溶液浸蝕的有機物，覆蓋的方式包括浸漬法或無空氣噴敷法，噴敷後可在空氣中乾燥或在爐中烘烤，以增加對鹼性液的抵抗力。下右圖為利用化學銑切法製造出來的甜餅形金屬板。



當工作物或儀表板厚度不同時，可用膠帶將板面粘著，然後一部份一部份揭除，先揭除者，所留的厚度最薄。

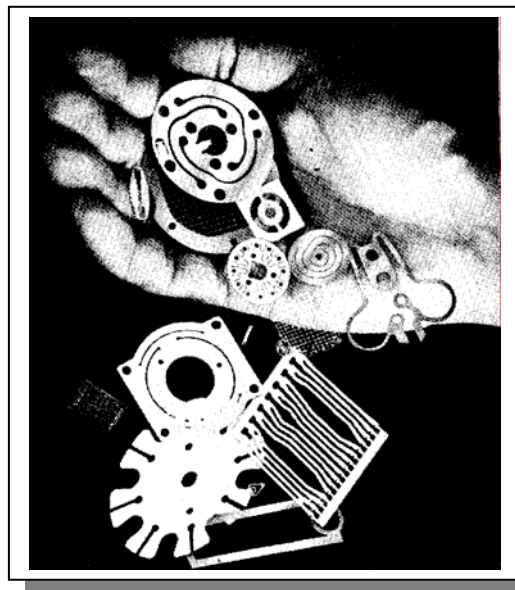
右圖為利用化學銑中所出現的不尋常問題，稱為挖切。而所以會出現挖切乃因腐蝕效應不僅會向下形成孔穴，也會向側面腐蝕。其中，向側面挖切的深度除以全部腐蝕的深度稱為「浸蝕因素 (Etch factor)」。



## (二) 化學打坯

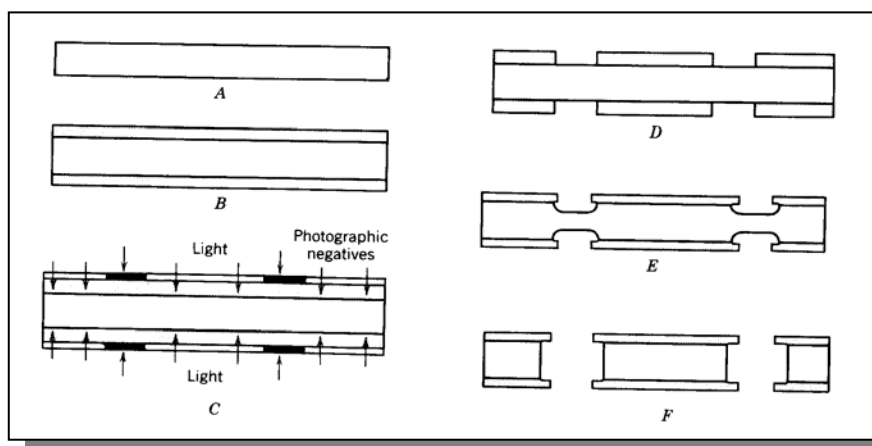
化學打坯是在金屬板上覆蓋具抵抗浸蝕能力的保護層，不擬保留的部份則否，然後浸在化學液中，或利用噴槍噴射，將部份蝕去之。

右圖所示為利用化學打坯法所製作出的各種零件，此類製品亦可以利用衝床衝製之。



下圖所示為抗蝕膜的照相處理程序：

- A：清洗金屬。
- B：兩面敷上照相抵抗材料。
- C：用紫外線投影照射，使照相板曝光。
- D：利用顯影劑將顯影、定影及部份材料去除。
- E：部份腐蝕（或 F：全部腐蝕並切開）。



## (三) 化學彫刻

化學彫刻與化學打坯的原理及操作過程相同，只是腐蝕作用僅在工作物的一面而已，常用來製作名牌。

## 九、電積造形法

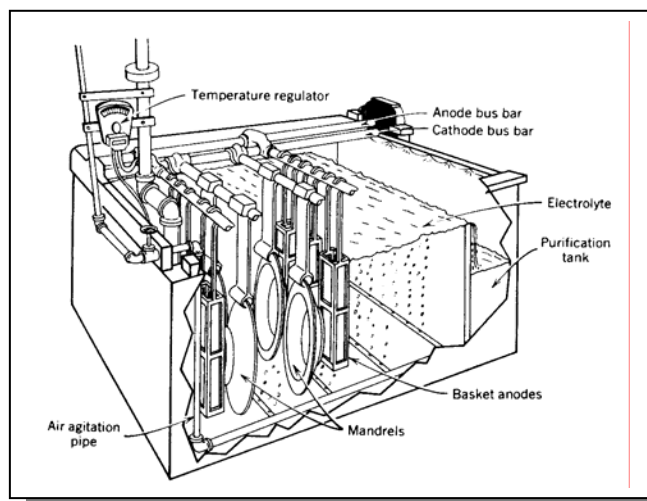
電積造形法是金屬特殊造形法的一種，其是利用電積或電鍍原理，金屬由陽極上的金屬桿或板供給，通電後經過電解液，聚積在具有導電性且可以取下來的基礎或模型上，所不同的是電鍍僅為一薄層。完工後，自槽中取出，加以沖洗，並取下模型，所留下來的就是製品本身，其尺寸大小、形狀、表面光平程度則完全由原模型來控制。



右圖所示為一鍍鎳電積法電解槽內部的構造，其中，陰極模型可以是永久模型，也可以是消耗性模型；另外，為加速電積作用，可使用空氣加以攪拌。

本法中常使用的電積材料包括：銅、鎳、鐵、銀等四種，這些材料均具有較佳的複製性、抗蝕性、導電性及強度。

至於製品的強度，則除了與電積金屬的機械性質有關外，也受到電積速度、電鍍液溫度及其他以有關電鍍的變數有關。

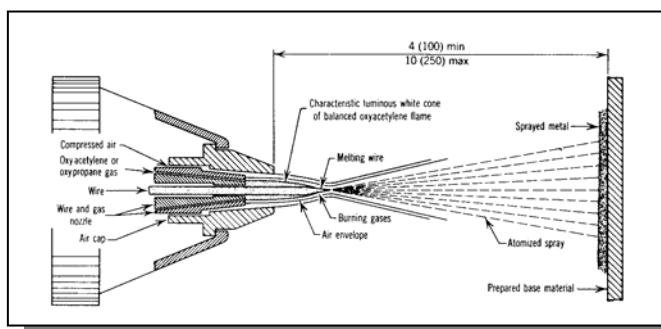


## 十、金屬噴佈

所謂金屬噴佈是指在噴佈前，將作為噴佈用的金屬加熱至熔融狀態，並且依噴佈金屬的種類、形狀與熔點高低，設計不同的噴槍。其中，噴佈金屬的材料通常是桿棒、線或粉末等形狀。

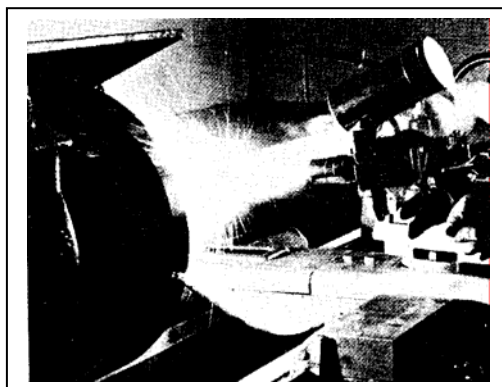
### (一) 金屬線噴佈

金屬線噴佈是利用金屬線當作原料，經高溫熔化而噴佈，如右圖所示。其中，金屬線是經過一對輓子輸送，由左向右進入噴槍，並在噴嘴處由  $C_2H_2$  火焰加熱熔化，再利用壓縮空氣的吹動使其微粒化，並噴射在準備妥當的工作物表面。而工作物的準備必須注意表面的清潔，不得有油污、污染、氧化層，也不可以太粗糙，但也不可以太光平。



### (二) 金屬粉末噴佈

金屬粉末噴佈是指使用粉末作為原料，代替金屬線，因此，可以免掉金屬線的進給設施，也可以不必使用壓縮空氣。操作上，係將金屬粉末放在噴槍上的一個圓筒內，藉粉末本身的重量及電動振動器的輔助，流入混合空氣流道，然後送到噴嘴，遇氧- $C_2H_2$ 或氫氧瓦斯火焰而熔化、霧化。右圖為一裝置在車床刀架上的噴槍，工作物在噴佈的同時進



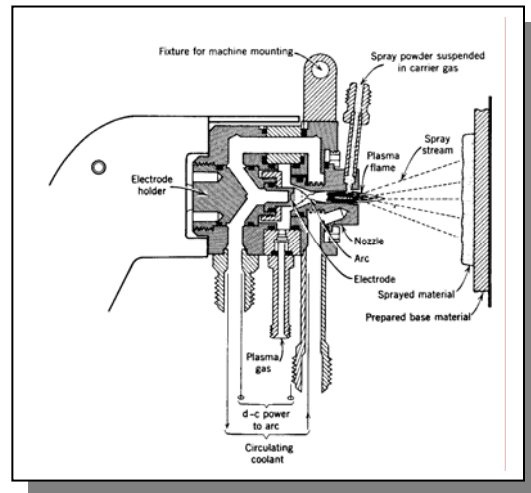
行旋轉。

### (三) 電漿火燄噴佈

電漿火焰噴佈法與金屬粉末噴佈法相似。

當氣體通過電弧時，溫度升高到約 $1,700^{\circ}\text{C}$ 時，產生離子化現象，而噴佈用的材料（金屬或非金屬）則通過此氣流、熔化，並噴佈到目的物上。其中，離開噴嘴的高速氣流稱為電漿噴流，是一種離子化的導電氣流。

由於這種方法的溫度甚高，因此，特別適用在高溫金屬與耐火瓷質的噴佈，如鎢、氧化鋯、鈷、鎢、氧化鋁等。



## 十一、金屬塗層 (Metallic Coating)

所謂金屬塗層是指將一種材料覆蓋在另一個金屬工作物上至某一厚度的操作，包括用化學或電氣的方法生成原金屬的氧化層。

除了少數金屬外，大多數的金屬材料所製成的商品，常要經過某種方式予以處理，來達到下列目標：

- 增加美觀。
- 增加銷售能力與競爭力。
- 抵抗磨損。
- 防止電解分離。
- 避免腐蝕性氣體侵蝕。

然而，在進行金屬表面覆蓋前，工作物表面必須經過適當的清潔處理程序，以確保優良的粘著性。而清潔的方法則依工作物尺寸大小、表面特殊情況與覆蓋金屬的種類而包括：

- 機械式：吹砂或滾筒摩擦。
- 化學式：酸、鹼或有機物清洗。
- 電解法。

### (一) 電鍍 (Electroplating)

電鍍是將工件置於適當的電解液中，以電鍍的純金屬接陽極，工作物接陰極，電鍍金屬鹽的溶液為電解液，再通以6-24V的直流電，使得金屬離子積集到陰極的工作物表面。

## （二）鍍鉻（Chrome Plating）

鍍鉻是電鍍法的一種，也是利用直流電通過電解槽中的陽極與陰極，以及含有鉻的電解液，液中含有適當的觸媒劑，該觸媒劑並不隨電化作用消失。

由於鍍鉻後，表面硬度極高，已成為耐磨的表面處理的一種，因此，又稱為硬鉻電鍍。

## （三）鍍鋅（Galvanizing）

鍍鋅並非如同電鍍法一般，而是將鋅熔化在容器中，並維持在450°C的高溫，然後將工作物浸入熔鋅中，提出後表面即附黏一層薄鋅。

鍍鋅的方法除了浸蘸法之外，尚有熔融鋅的噴佈法、滲鋅法。

鍍鋅法常用於低碳鋼的表面防銹處理，其處理費用低廉，外表美觀，且有良好的耐磨損性，此外，鋅中若加入少量的錫與鋁，則可產生「閃耀效應」。

## （四）鍍錫（Tin Coating）

鍍錫可用一般的電鍍方式，也可以利用浸蘸法。其中，以浸蘸法為主。此法加熱到溫度約為300°C，因溫度低，不致影響到基礎材料，且操作容易，但因易生小孔，所以得以快乾漆密封之。

鍍錫鐵皮多用於食品容器，如罐頭

## （五）磷酸鹽防蝕法（Parkerizing）

磷酸防蝕法是在鋼料浸到90°C的磷酸二氫錳溶液中約45分鐘，作為油漆或磁漆的底層。

## （六）陽極處理（Anodizing）

陽極處理法是專為鋁所發展出來的氧化處理法，其係以鋁工作物作為陽極，硫酸、草酸或鉻酸作為電解液，以在表面產生一層氧化面層。所產生的氧化面層具永久性，且與基礎金屬成為一體，具高硬度、多孔性、美觀、易於有機物與顏料黏著等。

### （七）滲鋁防蝕法（Calorizing）

滲鋁防蝕法是在高溫的狀態下，使鋁滲入鋼的表面，並造成一層氧化鋁的保護層，可防止內部繼續氧化。

### （八）表面硬化法（Hard Surfacing）

表面硬化法是在機件表面上附著一層硬質金屬（利用熔接法），或給予一種特別處理使表面具有高度的耐磨性（利用熱處理法）。