

科學圖書大庫

# 電 鍍 教 程

編譯者 白蓉生

徐氏基金會出版

## 譯 序

本書是根據美國電鍍協會（AES）之訓練講義編輯而成，每一單元皆由各種專業廠商或研究機構之專家所撰述，著眼於實用及經濟之介紹。其原附圖尤其新穎衆多予人印象深刻，勝於文字之敘述多多，而無抄陳飯之厭。在翻閱本書之時將可發現別處找不到的新資料。在“電鍍”此一工藝尚未成爲嚴謹科學之前，唯有由經驗之探討而求精求勝因而由資料之閱讀而吸取別人的經驗，成爲電鍍技術中之不二法門。原圖除以黑白相片或圖表出現在教材上之外，尚有彩色幻燈片之配合，可惜此點無法轉移於國內讀者了。原教材共四十餘冊，本書僅取其中半數實用者集而譯之。基金會董事長徐銘信先生曾言“讓大學教授們去鑽研科學之高深理論，讓徐氏書籍促使國外最新之實用技術在國內生根。並且要儘量平實易懂，從部長到學徒，人人有志於斯者皆能閱讀吸收”語出至誠，愛國之情溢於言表。故謹再次逐譯，期能於國家科技起飛之際，略盡個人之丁點綿薄，尙望各方先進不吝指教。

因原文係隨堂之講義，配以幻燈圖表，且又由許多不同的專家各自編寫，故層次脉絡及整體組織上並不完整時有重複及遺漏現象，雖經譯者重組改編，但仍時有不夠緊湊及啣接不當之感。好在儘信書不如無書，讀者當另參考其他多種資料及由實際工作中融會貫通以收活用之效。本書圖片新穎而且簡明易懂，誠AES集合了衆多專家之智慧與財力而成，其敬事之誠，實值吾人之擊掌者再三也，其中不少匠心獨運而首次出現者更屬不凡。國內從事電鍍之同業者已不在少數，然尙多師承獨門各自爲政，較少聯絡溝通，不如美日研究風氣之盛，期盼國家於各種大部頭工業加強輔導之際，亦能於電鍍照顧一二則爲吾專業者之福矣。

# 目 錄

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 譯 序 .....          | I   |
| 第一章 導言—電鍍之選擇 ..... | 1   |
| 第一節 電鍍的選擇 .....    | 4   |
| 第二章 貴金屬電鍍 .....    | 9   |
| 第一節 貴金屬電鍍通論 .....  | 9   |
| 第二節 鍍 金 .....      | 19  |
| 第三節 鍍 銀 .....      | 31  |
| 第三章 銅鎳鉻之電鍍 .....   | 43  |
| 第一節 氰化銅電鍍 .....    | 43  |
| 第二節 酸性銅電鍍 .....    | 55  |
| 第三節 鍍 鎳 .....      | 70  |
| 第四節 鎳之電鍍 .....     | 86  |
| 第五節 鍍 鉻 .....      | 109 |
| 第四章 鋅鎢錫之電鍍 .....   | 129 |
| 第一節 鍍鋅及鍍鎢 .....    | 129 |
| 第二節 鋅鑄件電鍍法 .....   | 142 |
| 第三節 鍍 錫 .....      | 154 |

|     |              |     |
|-----|--------------|-----|
| 第五章 | 無電鍍及非導體電鍍    | 165 |
| 第一節 | 無電鍍          | 165 |
| 第二節 | 電鍍在印刷線路板上的應用 | 180 |
| 第三節 | 塑膠電鍍         | 199 |
| 第六章 | 陽極處理         | 210 |
| 第一節 | 鋁及其合金之硫酸陽極處理 | 210 |
| 第二節 | 鉻酸陽極處理       | 223 |
| 第七章 | 化成處理         | 241 |
| 第一節 | 鉻化處理         | 241 |
| 第二節 | 磷化處理         | 249 |
| 第八章 | 鍍層之試驗及測定     | 263 |

# 第一章 導言——電鍍之選擇

本章由國際鎳公司 ( INCO ) 所提供資料，該公司總公司在紐約，其所生產之鎳製品風行世界，本省各種鍍鎳陽極即多來自該公司。

一般商用的電鍍約有 23 種金屬及合金鍍法，各有不同的物理及化學性質。如由硬度極硬的鉻到很軟的鉛化學性質由極活潑的鋅到貴金屬的鉑，顏色則由白色的鎳到黑色的黑鎳，其他尚有不同的電性，機械性質等等不一而是。即使同一種金屬鍍層，由於鍍液操作條件不同，所得鍍層之性質也不一樣。鎳之硬度可自維氏硬度計 ( Vickers ) 之 130 到 650 之間變化不定。鉻則自 350 到 1000 之間起伏。

欲得某種特殊性質之鍍層時，則可由同時鍍出兩種或兩種以上之合金鍍層，或由兩層不同的鍍層重疊之合併效果而達到所欲達之目標。例如鋅鎳或錫鎳合金鍍層其化學性質則介於兩者之間。固然此等特殊性質鍍層選擇別無他途的要素，但一般鍍層的選擇則以防銹效果的好壞，成本的高低為其最先考慮的項目。當然其間施工技術的難易，使用的環境如何，鍍件本身的大小，形狀價格及使用年限等也是不可忽略的資料。

## 1. 分 類

按一般使用目的而言，電鍍可以分成四大類：

1.1 第一類是能增加物品之裝飾外表，使其有悅目引人的光澤而又能兼顧防銹防污增加其使用壽命者。換句話說就是為了美觀及防銹此類鍍件如機車汽車之零件，餐具給水裝置等，也是電鍍行業中最大宗的工作，此類電鍍表面到處可見。



圖 1

1.2 第二類為利用鍍層本身的特性而又能兼顧防銹的，如電話機內的繼電器（relay）鍍以鎳鉻層即屬此類電鍍。其他尚有電子零件上的鍍金是利用金屬接觸電壓非常低的特性，而增加該零件的使用價值，又如在食品罐頭上鍍錫是利用錫之無毒性耐蝕及可焊性（註：錫之化性原比底材的鐵為不活潑，故按電化原理，鍍過錫的馬口鐵應比原未鍍的底材或鍍了鋅的白鐵更容易生銹才對，但鍍了錫的馬口鐵經過高溫重熔後會在錫與鐵之間造成一薄層合金層，且經重熔後錫鍍層中的針孔都被封死了，故防銹能力大增）。

1.3 第三類的電鍍是純為了防銹的目的，其外貌及使用功能的增進並不重要，如空中纜車鋼索之鍍厚鋅，化學或食品工業製程中各種設備上所鍍的厚鎳都是此類電鍍的代表。

1.4 第四類電鍍純粹是利用鍍層金屬之特性而達到鍍件之特殊功用，至於防銹的好壞已是次要的事了。圖中的三個例子即為此類電鍍之代表，第一例是鐵鎳鉻之複層電鍍，用以補救已磨損的機械零件。第二例是

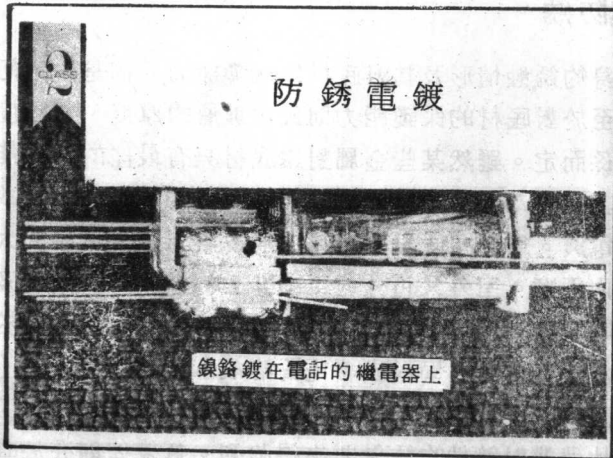


圖 2

鍍硬鉻，除了可增加物件表面上的滑潤性之外，因硬度又很高，故可減少鍍件本身的磨損性。砲管內部之鍍硬鉻除上述兩種目的外，尚可增加其防銹能力。第三例是在非導體底材上如玻璃、塑膠，等上實施鈦、金、銳等電鍍都屬此類電鍍。



圖 3

## 2. 銹蝕與防銹

鍍層本身的銹蝕情形及其對底材之保護能力如何是決定何種鍍層的重要因素。至於對底材的保護能力則又由鍍層的厚度、緊密度及底材與環境間的關係而定。雖然某些金屬對鐵底材具有最佳的保護能力，如鋅、鎳等。但其本身却容易變黑變污而失去美觀的光澤外表，故無法用在汽車零件的電鍍。爲了方便討論起見一般多將對鍍件銹蝕的大氣環境分成室外及室內兩類。室外又可分成工業性，海洋性，熱帶性及農業性等四種。室外環境比室內對金屬之銹蝕要強烈的多了。此乃由於雨、露、陽光及各種污染物質而共同形成導電質溶液留置在鍍件表面上而加速鍍件電化學性銹蝕的產生。在乾燥的室內則不易發生。室外的工業性，海洋性環境又比農業對鍍件的銹蝕要來得強烈。熱帶性則介於其間。

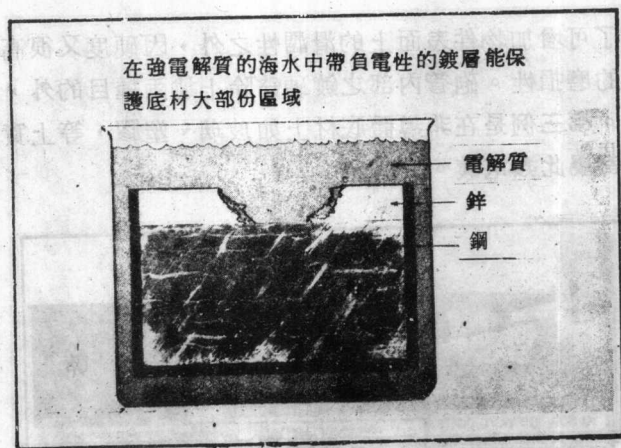


圖 4

當鍍層金屬比底材金屬之化性較活潑，而在疏孔中又有電解質溶液出現時，則鍍層呈現陽極性而漸被溶蝕掉，但呈現陰極性的鐵底材則受到保護。此種鍍層稱爲陽極性鍍層 (Anodic coating) 是一種自我犧牲性的防銹方式，當環境愈惡劣時，其效果愈明顯。

但陰極性鍍層 (cathodic coating) 其效果則恰巧相反，如將不



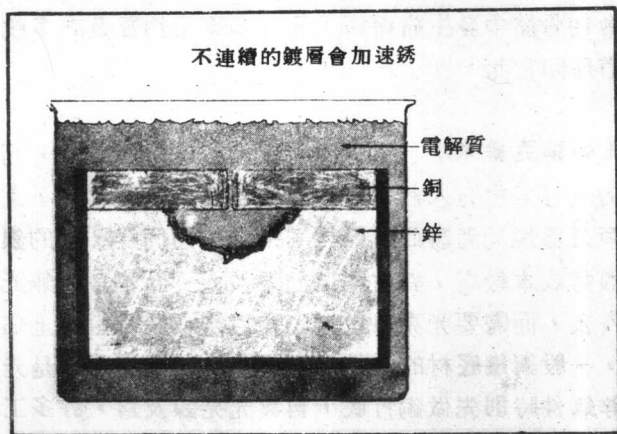


圖 5

活潑的銅鍍在活潑的鋅上時，即發生如左圖之現象底材反被海水透過疏孔所侵蝕。故知銹蝕的發生與鍍層上的針孔大有關係。當鍍層逐漸增厚時，針孔會漸漸減少，但厚度與針孔之間的確切關係如何則很難測知一般相信厚度到達 1.5-2.0 英絲時則不再會有針孔出現了。

### 3. 各種鍍層簡介

**3.1 鍍 鋅** 一般鋼鐵之表面防銹多鍍以鋅。有時為使其表面更加好看及不易發生犧牲性銹蝕時，則可再加上一層黃色的鉻化處理層 (chromate dip) 或塗上透明漆等以增加其使用壽命。鍍鋅對鋼鐵底材的保護能力在農業性戶外環境要比工業性戶外要來的更好，因為鋅的表面會在空氣中生成一種具有保護性的碳酸鋅膜，但却很容易被工業性污染物所摧毀掉。在同樣性質的地區內室內用的鍍鋅件要比室外的使用壽命延長到五倍之多，若再有鉻化膜時，則又更加耐用了。

**3.2 鍍 鎳** 鍍鎳與鍍鋅在電化學陽極性犧牲型的保護功用是相同的，但鋅在工業性環境中防銹性能較好而鎳在海洋性環境中却有優良的防

銹能力，再加上可焊性良好及白而亮的外表，故雖然鎳的毒性很大（吸入人體後會在骨骼中發生痛痛病）而許多軍用物質及許多航空器材仍然要鍍鎳其道理即在此。

**3.3 鍍鉻（俗稱克羅米）** 鍍鉻也有極優良的防銹能力，而且厚度愈厚時防銹能力愈好。曾有人將鉻直接鍍在鋼件上，其厚約1英絲，經過七年之久的戶外環境的考驗尚能保持不生銹，而同樣厚度的鎳層早就生銹了，只因鍍鉻成本較高，對生態環境危害較大，而本身因無光亮劑可用故無閃亮的外表，而需要光亮鎳做襯底。鍍鉻在裝飾電鍍上佔了電鍍界極大的市場，一般鋼鐵底材的物件爲了防銹及美觀幾乎都是先鍍鎳再去鍍鉻，若爲鋅鑄件時則先做銅打底，再鍍光亮鎳及鉻，許多工具，軸心，以及其他各種需要硬度高又耐磨的表面則鍍以硬鉻（hard chrome）所謂硬鉻，其與裝飾鉻之硬度並無不同，只是厚度要厚的很多很多了，以達耐磨及修補機具上因磨損而失去的尺寸。

**3.4 鍍鉛** 在高度腐蝕性環境中，鍍鉛對底材的保護性最好，但在農業性環境中與鋅比較時，則又不及多多矣。由上述事實可知鉛對含硫的空氣的防禦能力很強，故硫酸製造工廠、電瓶廠、以及其他與硫酸有關的金屬物件最佳的防銹鍍層就是鍍鉛。

**3.5 鍍鎳** 在所有的電鍍種類中，鍍鎳是用途最大的鍍層了。因其有悅目的外表及良好的防銹能力，但因鎳之顏色略帶黃色，故需再鍍一層薄鉻，一則更增其防銹能力，二則能使表面由微黃而變成青白色而更討人喜歡，有了鉻層後尚且能防止鎳在空氣中不致有變污情形發生，第四個好處是增加鍍件的耐磨能力。另外在某些特殊的用途上鎳表面上還可另鍍金、銀、鉑等鍍層，真是無往而不利。食品工業中爲保持產品的純度及衛生，也都在器具外表鍍上鎳，這也不是其他鍍層所能取代的。鎳另外還有一種工程上的用途，即當許多機械上的零件在用舊磨損後或因加工錯誤以致無法使用時，都可用加厚鍍鎳來做補救。

一般日常生活中最常見到的銀白色裝飾鍍鉻，其底鍍的鎳有兩重鎳

或三重鍍等不同方式，目的都在得到更好的防銹能力。此類多重鍍尚具有更好的整平力及閃亮如鏡的外表。雙重鍍的第一重是不含硫而有良好整平力的半光澤鍍。第二重外面的鍍較薄只佔全部鍍的 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{1}{4}$ ，為含硫的全光澤鍍。至於三重鍍則在上面兩重之間再加多一層含硫極高的鍍。當底材為鐵材時則可直接鍍上半光澤鍍，若為鋅鑄件時則須先做銅打底。

多重鍍具有更好防銹的原因也是源自於化學電流（galvanic）的原理。當外層的光澤鍍與內層的半光澤鍍間有針孔而又有水氣及電解質出現時，因外面的光澤鍍活性比較活潑，故發生電流銹蝕扮演陽極角色，犧牲自己而保護半光澤鍍而不致往底材方向繼續惡化，此時半光澤鍍扮演了陰極的角色而不致受到侵害而穿透到底材上去。

**3.6 鍍 錫** 鍍錫也有防銹的功用，因錫無毒性，故在食品包裝及罐頭業中具最大的用途，此類鍍錫的鐵皮即俗稱的馬口鐵，為使有更好防銹效果起見一般多再做後處理。鍍錫的可焊性很好，故可用於電器電子之端子或導線等銅底材防銹及焊接用。

**3.7 鍍 銅** 因新鍍出的銅表面與空氣接觸後很快就會變污變色，故很少單獨用於裝飾用途上，但却與鍍鎳等聯合使用而廣泛出現在各種裝飾防銹用途上。尤其對於鋅鑄件而言，更是不可或缺的基礎底鍍層，用以屏障保護極其活潑的鋅底材在鍍鎳液中不致受到藥水的侵蝕，不致使物件及鎳液都受到傷害。另外單獨鍍銅尚有一種特殊的用途，即在銅件上局部鍍銅，做為銅件表面硬化熱處理時，不欲處理部份之遮蓋劑。再者自印刷線路板工業興起後，無論底材板上的銅箔或後線路加工部份之鍍銅都是鍍銅的另一片廣大的園地。

**3.8 貴金屬電鍍** 常見的貴金屬電鍍有金、銀、鉑等多用於特殊表面效果如高貴感之裝飾及電子零件，探照燈之弧形反光面等。因價格太貴故很少用在專門防銹的用途。常見的做法是先鍍上很厚的銅或鎳，然後再鍍上貴金屬，以發揮其用途。有一點須特別注意的是鎳層或銅層最好不要出現針孔（一般而言，見到底材的小孔稱為針孔 pin hole，鍍面

出現許多肉眼見不到的凹孔稱為疏孔 porous，此等凹洞都大到眼睛能見到時，則稱凹孔 pit，電鍍最容易出現的是 pit)。因為若有針孔出現時，會造成貴金屬與普通金屬間，因氧化電位差異的懸殊而形成化學電流式的腐蝕，反而加速鍍件的腐蝕。

#### 4. 電鍍成本

成本的高低自然成為鍍層選擇的重要考慮因素，下列即為直接關係到電鍍成本的幾項因素：

##### 4.1 物料及製程 鍍層金屬的價格。

鍍層的厚度及重要性。

鍍件外形的複雜性及數量的多寡。

鍍件底材表面之整修情形，是否已非常平滑，或再需拋光，鍍層是否要符合某種規範的要求。

製程及操作之簡繁。

4.2 人 工 人工幾乎佔了成本的大部份，例如最費人力的拋光與自動機器作業自然無法相提並論。自動操作下即使讓鍍層加厚一倍，其成本亦增加無幾。

##### 4.3 其他因素 鍍層是否適合原件的使用環境？

鍍層與底材間之配合是否會發生某些不良的反應？

鍍層的成本與其所發揮的功能或使用的目的權衡間是否合算。

在現代精密分工的工業技術中，電鍍早已成為不可或缺重要的一環其正確的選擇，除了影響產品的外觀之外，尚且能關係到其最後的成敗，從事設計的工程人員不可不深加研討而確實熟知。

## 第二章 貴金屬電鍍

### 第一節 貴金屬電鍍通論

本節是由國際鍍公司及美國電鍍協會所共同提供。

所謂貴金屬通常係指鈦 Ruthenium，銻 Rhodium，鈀 Palladium，銀 Silver，鐵 Osmium，銱 Iridium，鉑 platinum 及金 gold 等八種金屬。此等珍貴的金屬又稱為高貴金屬 ( noble metal )，係指其化學性非常安定而言，與多種化學品及強酸等都不起反應。在週期表上是羣居在一起的，又可分為兩個副週期即：

|       |     |    |    |    |    |
|-------|-----|----|----|----|----|
| 較輕副週期 | 原子序 | 44 | 45 | 46 | 47 |
|       |     | 鈦  | 銻  | 鈀  | 銀  |
|       |     | 76 | 77 | 78 | 79 |
| 較重副週期 |     | 鐵  | 銱  | 鉑  | 金  |

貴金屬鍍層的價值除裝飾之外，在電子工業上最大的優點是不會生成氧化層，可做為接點 ( contacts ) 之用。銀為較便宜的貴金屬具有最良好的導電度，但不幸的是銀表面很容易產生變色現象，因而導致接觸電阻 ( contact resistance ) 的上升而產生不受歡迎的雜訊 ( noise )。現代微電子工業組件上所通過的電流都非常小，以減少體積及發熱現象。在這方面的表現鍍金比鍍銀要好的多了。若又要兼顧到耐磨性的良好時，則鈀、銻及鈦等也有了派上用場的機會了，且又因低熔點的銀

和金會造成接點上的固體互溶，或擴散現象時則銻或鈦成爲最佳的選擇了，以下將就貴金屬本身的性質及其鍍層的特性分別討論之。

## 1. 金屬性質

**1.1 氧化性** 將銅片與銀、金、鈀及鉑等貴金屬在空氣中加強熱，前三者用煤氣火焰去燒，後三者用乙炔去燒。銅經燒灼後很快就表面上生成一層氧化銅的層膜，充份表露了普通金屬經不起考驗的本質。當溫度升到 $400^{\circ}-800^{\circ}\text{C}$ 時，鈀的表面上也會出現氧化膜，其他三種則很少或無氧化現象，再將各金屬浸於多硫化鈉溶液中銅及銀之表面很快就受到侵害而形成硫化物的層膜，其他三種則不受影響。貴金屬中除了銀之外，其他都不會受硫的感染而經得住環境的磨練。

**1.2 密度** 貴金屬之密度可分成截然不同的兩個羣落（公制中密度的單位是 $\text{g}/\text{cm}^3$  比重在公制中與密度的數值完全相同，但比重無單位），前四個之平均密度約爲 $12\text{g}/\text{cm}^3$ ，後四個則高達21，是所有金屬及非金屬元素中最重的了。

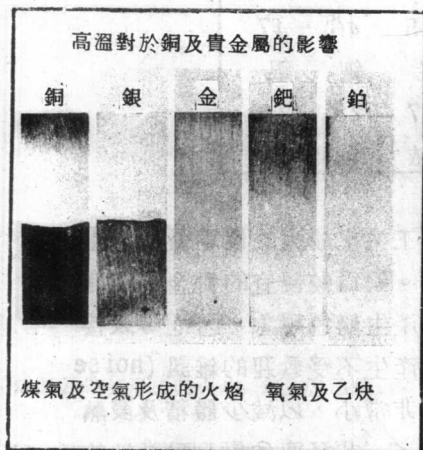


圖 6

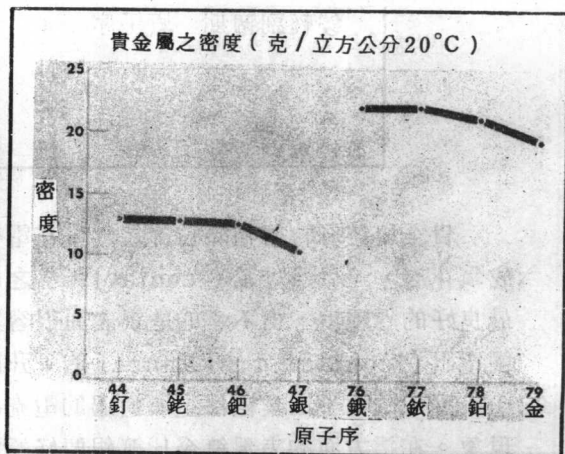


圖 7

此種差別極大的比重數值，對其等之用途影響並不大，但對經濟成本的觀點上其意義就非同小可了。因為一般成本的度量及計算都是以重量為基礎而不是以體積的大小來比較，故不同比重時若鍍出同樣厚度的鍍層時，比重大的就吃了大虧，在同樣重量下比重大的就無法得到像輕比重金屬那樣厚的鍍層了，下表為兩種絕然不同價值觀點下的價格比較。

| 貴金屬種類 | 重量價格 ( 貴英兩 Troy ounce<br>= 31.1 g ) | 體積價格<br>( 每立方英寸 ) |
|-------|-------------------------------------|-------------------|
| 鐵     | \$ 230                              | \$ 2739           |
| 鈹     | 165                                 | 1968              |
| 銻     | 197                                 | 1288              |
| 鉑     | 100                                 | 1130              |
| 鈦     | 55                                  | 361               |
| 金     | 35                                  | 356               |
| 鈾     | 33                                  | 209               |
| 銀     | 1.29                                | 7                 |

當上述之價格經過 80 年初之金價飛漲，早已面目全非成了明日黃花之歷史陳跡了，但那却是令人懷往那一段二次大戰後長時間的每貴英兩 35 美元的穩定金價時間，由兩種價格的比較可以看出其間之差異，那個貴那個便宜就很難說了，現如今金價暴漲暴跌，一日數變，其他各種貴金屬價格也跟著亂成一團，其影響所及又豈僅是電鍍一種行業而已。

**1.3 熔 點** 雖然貴金屬鍍件並非常在接近熔點的高溫下使用，然而其等之熔點有時也會影響到用途。由左圖中又可見兩種截然不同的軌跡，兩條都是隨原子序增加而熔點下降的曲線。有趣的是銀和金都是兩個副羣中原子量最高而熔點最低的。

在電子工業上，於導電用接點鍍層即因熔點的高低而有重要的影響，因熔點高的鍍層使用中之黏附，固熔及冷焊 ( cold welding ) 現象就會大量減少，而且比熔點高的鍍層還可以當成底材與其他金屬間的阻

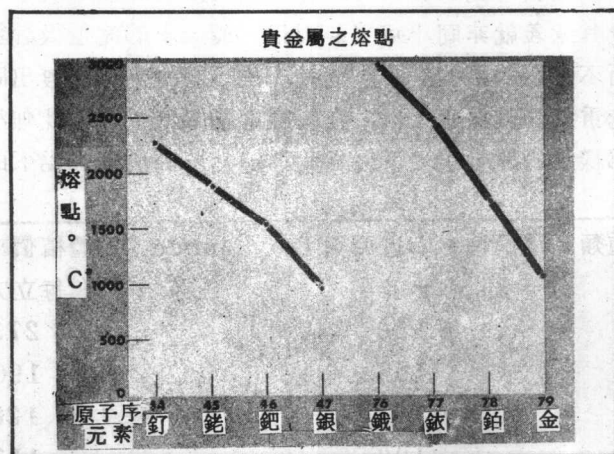


圖 8

礙層 (Barrier deposit) 以阻止其間的固熔現象。

**1.4 膨脹** 若鍍件是在高溫環境下使用時，則底材與鍍層間膨脹係數之配合變得非常重要。二者之係數愈接近時，則因溫度變化而產生的應力就愈小，貴金屬中熔點愈高時其膨脹係數愈小。

**1.5 電阻** 銀和金都具有極其突出的低電阻然而有一點要注意的是，各種貴金屬之電阻對於雜質都非常敏感，即使有少量雜質金屬混入時，也會使原有的電阻值增加。

**1.6 反射** 貴金屬的反射度對某些特別的用途很有價值，銀是一種非常潔白的金屬，其表面在未變污以前時能反射一般可見的光。鈹也是潔白的金屬，在空氣不氧化不變污比銀好的多。金的黃色表面在綠紫光的範圍中反射度很低，而於紅外線中却有很好的反射度。

**1.7 硬度** 貴金屬之硬度也是隨原子序增加也作兩個羣的下降曲線，一般而言其強度，耐磨性也與硬度的起伏差不多，但延展性則相反，



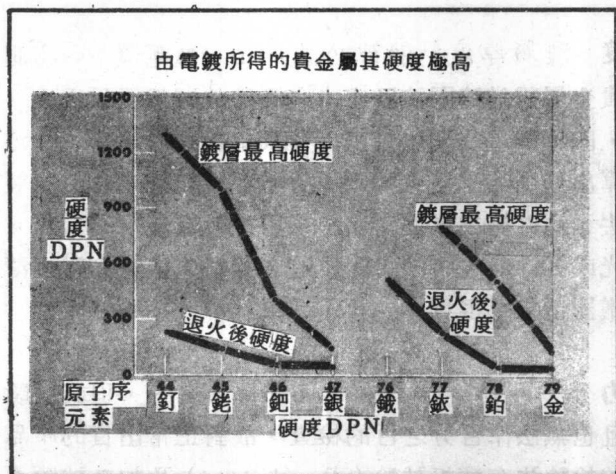


圖 9

如硬度非常大的鐵及鈦，延展性很差，很容易脆斷。但鎳及鈦的強度及延展性則相當適中，另外鈰、銀、鉑、及金等之強度很差，但延展性却非常好。硬度高的能耐磨，但卻無法延展。

## 2. 鍍層性質

影響貴金屬品質的因素很多，但製程的好壞却是最重要的主因。製程包括鍍件之前處理情況，處理液及鍍液的組成，操作條件，後處理等，其中任何狀況的改變都可能影響最後結果的成敗。因而對於各種既定條件之遵守其重要性自不待而言。如今各種貴金屬之製程多已齊備，甚方便。一般對貴金屬鍍層品質可用下列各種性質來做評估，即外貌、厚度、附着力、疏孔度、硬度、耐熱性、可焊性、及耐用性等 (Serviceability)，現分述於後：

**2.1 外貌** 鍍件之顏色及表面組織之變化可視品質管制的一項極敏感的指標。例如在鍍液攪拌下所得到的鍍層則較光亮無疏孔。由靜止鍍液所得到的鍍層則呈昏暗而多孔。在加厚鍍層時，若條件控制不當時，尤其容易出現凹孔及粗糙的小瘤狀物。