

扣件生產容易被忽視的 應用技術

文/王維銘



扣件生產最後一道工序大多數都是要做表面處理。表面處理不僅能改變扣件的外觀，還能提高扣件的防銹及耐腐蝕性能。一般電鍍除外觀品質衡量以外，主要以耐腐蝕能力為主要品質衡量標準，耐腐蝕性能是模仿扣件產品的使用工作環境，設置為實驗條件，我們常用鹽霧機進行鹽霧檢測或酸雨試驗機進行酸雨試驗檢測加以腐蝕實驗其耐腐蝕性能。一般扣件的電鍍表面品質包含：

(一) **電鍍後的外觀**：扣件的電鍍表面不允許有局部無鍍層、燒焦、粗糙、灰暗、起皮、結皮狀況和明顯條紋，不允許有針孔麻點、黑色鍍渣、純化膜疏鬆、龜裂、脫落及嚴重的純化痕跡。

(二) **鍍層厚度**：扣件在腐蝕性大氣中的使用壽命，一般與鍍層厚度成正比。一般建議的經濟電鍍鍍層厚度為3~18 μm 。

(三) **鍍層實用性**：由於幾乎所有商業用扣件都是由碳鋼、合金鋼製成，一般的扣件都希望能藉由鍍層防止腐蝕，表面處理的鍍層必須附著牢固，不能在扣件使用安裝過程及卸下的過程中鍍層脫落，對具有螺紋精度要求之，除了鍍層需要足夠厚度，亦要能使得鍍後螺紋仍能旋合配合。對於電鍍表面處理，一般關注的是美觀外觀及防腐蝕，但扣件的主要功能是緊固結合被鎖附之零部件，而電鍍表面處理對扣件的緊固性能也有很大的影響，所以，扣件電鍍表面處理

時，也應考慮扣件緊固性能的因素，例如：安裝扭矩—預置扭力的一致性，電鍍鋅的扣件安裝扭矩—預置扭力的一致性較差，且不穩定，一般不用於重要部位的連接。為了改善扣件安裝扭矩—預置扭力一致性，一般可採用鍍後塗覆潤滑物質的方法改善和提高安裝扭矩—預置扭力一致性。

(四) **氫脆性**：扣件在電鍍處理過程中，尤其在鍍前的鹼洗脫脂、酸洗、以及隨後的電鍍過程中，表面吸收了氫原子，氫原子吸附俘獲氫於扣件材料及沉積的金屬鍍層中。當扣件使用鎖附時，氫原子擴散朝著應力最集中的部分轉移動凝聚為氫分子，引起壓力增高到超過基本金屬的強度並產生微小的表面破裂。氫特別活動並很快滲入到新形成的裂縫中區。這種壓力—破裂—滲入的循環一直繼續到扣件使用中斷裂。電鍍過程中易產生氫原子吸附而造成氫脆，高強度之扣件一般不採用電鍍鋅或電鍍的處理，雖然鍍後可以用烘箱去氫，但因鈍化膜在60 $^{\circ}\text{C}$ 以上時將遭破壞，因此去氫必須在電鍍後鈍化前進行。在現實中，一般扣件生產廠不會主動去氫，除非特定客戶的強制要求。

扣件電鍍原理

電鍍以具有導電表面的被鍍零件做為陰極，鍍覆金屬或不溶性材料做為陽極，商業用扣件都是由碳鋼、合金鋼製成的導電表面，將扣件浸入含有鍍覆金屬離子的電解液內，通以直流電，在被鍍扣件上沉積出鍍覆金屬的過程，其原理就是在陽、陰極上發生了電化學的氧化和還原反應。

電鍍原理包含四個方面：電鍍液、電鍍反應、電極與反應原理、金屬的電沉積過程。電鍍反應中的電化學反應：下圖是電鍍裝置示意圖，被鍍的零件為陰極，與直流電源的正極相連，金屬陽極與直流電源的正極聯結，陽極與陰極均浸入鍍液中。(如圖1)當在陰極陽極兩極間施加一定電位時，則在陰極發生如下反應：



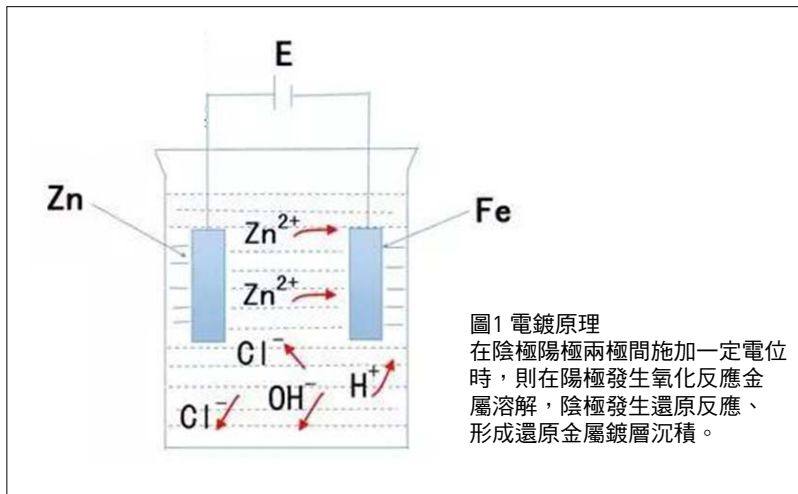


圖1 電鍍原理
在陰極陽極兩極間施加一定電位時，則在陽極發生氧化反應金屬溶解，陰極發生還原反應、形成還原金屬鍍層沉積。

主要反應：

陽極： $Zn \rightarrow 2e^- + Zn^{2+}$ 氧化反應、金屬溶解。

陰極： $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$ 還原反應、形成鍍層。

次要反應：

陽極： $4OH^- \rightarrow 4e^- + 2H_2O + O_2 \uparrow$ 氧化反應、產生氧氣。

陰極： $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \uparrow$ 還原反應、產生氫氣。

(一) 扣件電鍍按鍍層組成分類：

A. 單一金屬層電鍍，應用較廣的扣件鍍層有鋅(Zn)、鎘(Cd)、銅(Cu)、鉻(Cr)、鎳(Ni)、錫(Sn)、金(Au)、銀(Ag)等；鋅(Zn)廣泛應用於建築用扣件、電力用扣件、電子電機類扣件；鎘(Cd)多數應用於航空用扣件；鉻(Cr)、鎳(Ni)應用於車用扣件；銅(Cu)、錫(Sn)、金(Au)、銀(Ag)等應用於電子導電應用扣件。

B. 合金電鍍，

(a) 二元合金電鍍：常應用的有錫鉛合金(Sn-Pb)、鋅鎳合金(Zn-Ni)、錫鈷合金(Sn-Co)、鋅鈷合金(Zn-Co)、銅錫合金(Cu-Sn)等。

(b) 三元合金電鍍(常應用的有銅錫鋅合金(Cu-Sn-Zn)、鋅鎳鐵合金(Zn-Ni-Fe)等。

(c) 複合電沉積(電鍍層中嵌入固體顆粒形成複合鍍層)。

C. 多層鍍層電鍍，應用較廣的扣件鍍層有銅(Cu)+鋅(Zn)、銅(Cu)+鎳(Ni)、銅(Cu)+鉻(Cr)、銅(Cu)+鎳(Ni)+鉻(Cr)、銅(Cu)+錫(Sn)、銅(Cu)+金(Au)、銅(Cu)+銀(Ag)等。

(二) 扣件電鍍按用途應用方式分類：

A. 裝飾性電鍍(配合裝飾用扣件，例如：銀金、鍍銀、銅/鎳/裝飾鉻電鍍)；

B. 功能性電鍍：

a. 防護性電鍍(建築用扣件、機械用扣件，例如：鍍鋅)

b. 耐磨性電鍍(鋼軌扣件、車輛扣件，例如：鍍硬鉻)

c. 提高可焊性電鍍(電子電機電路用扣件，例如：鍍錫)

d. 增強導電性(電子電機3C扣件，例如：鍍銀、鍍金)

電鍍是利用電解方法對扣件進行表面加工的一種表面處理工藝技術。電鍍時扣件為陰極，鍍液中的金屬離子在直流電的作用下沉積在扣件表面形成金屬鍍層。不論是裝飾性電鍍、功能性電鍍、單一金屬層電鍍或多層鍍層電鍍，電鍍鍍層共同的必需條件是均勻、緻密的金屬鍍層品質。扣件電鍍的不良一般以目視直接觀察外觀，可以使用目視觀察判別的電鍍不良現象包含：

A. 扣件底材之材質起泡：主要原因是底材之材質含雜質、底材表面異物附著、材質表面多孔性、材質密度不夠等。

B. 扣件電鍍鍍層起泡：可能的原因比較多,下列原因都會產生起泡：

(a) 電鍍液調配不當；

(b) 催化劑(例如：氰化鉀或氰化鈉)比重不當；

- (c) 扣件表面清理不乾淨；
 - (d) 扣件表面導電性不均勻；
 - (e) 鍍後扣件乾燥烘烤時溫度太高。
- C. 燒焦現象: 局部電流密度太高太強, 扣件產品局部尺寸太薄。
- D. 針孔沙孔現象: 金屬由原子和分子組成, 排列時不整齊, 鍍層沉積時形成間隙可目視觀察之針孔組織或密度不足可目視觀察之多孔性疏鬆多孔性組織。

掛鍍(Rack Plating)是將電鍍扣件掛在合適的掛具上, 再將掛具放入電鍍前處理槽及電鍍浴槽中以進行電鍍處理。掛鍍對扣件工件的經濟生產批量及數量要求較寬鬆, 因此掛鍍的生產批量也較少。小批量而多樣化且鍍層均勻性緻密性要求高且尺寸較大的精密扣件生產, 通常選擇採用掛鍍(Rack Plating)進行電鍍處理。

大批量生產之螺絲扣件產品, 多數以滾鍍(Barrel Plating)方式進行電鍍過程。大批量已完成鍛造軋牙成形加工及/或熱處理之扣件放在滾動的容器中進行電鍍, 滾鍍嚴格意義上講叫做滾筒(桶)電鍍, 將一定數量的扣件置於專用滾筒內、在滾動狀態下以間接導電的方式使零件表面沉積上各種金屬或合金鍍層、以達到表面防護裝飾及各種功能性目的的一種電鍍加工方式。典型的滾鍍過程是將扣件裝進滾筒內, 經過電鍍前處理後, 將零件靠自身的重力作用於滾筒內滾動接觸或緊緊壓住滾筒內的陰極導電裝置, 以保證零件受鍍時所需的電流能夠順利地傳輸。然後, 滾筒以一定的速度按一定的方向旋轉, 零件在滾筒內受到旋轉作用後不停地翻滾、跌落。同時, 主金屬離子受到電場作用後在零件表面還原為金屬鍍層, 滾筒外新鮮溶液連續不斷地通過滾筒壁板上無數的小孔補充到滾筒內, 而滾筒內的舊液及電鍍過程中產生的氫氣也通過這些小孔排出筒外。

扣件電鍍品質控制的基本過程

扣件電鍍由於扣件的應用範圍不同, 鍍種不同, 要求不同, 而有不同的流程, 但設計操作一個完整的扣件電鍍流程, 必須包括三個階段:

第一階段：電鍍前處理

扣件電鍍前的所有工序統稱為前處理, 包括除油, 除氧化膜、酸洗或相關操作之除銹, 清洗等。其目的是去除扣件工件表面的油污和氧化膜、銹蝕等, 使鍍種要求之鍍層與扣件本體基體牢固結合, 獲得結合力良好

的鍍層。前處理主要影響外觀、結合力、甚至尺寸及鹽霧酸雨等功能性品質要求, 據統計60%的電鍍不良品是由前處理不良所造成的。一般扣件電鍍製程品質管理, 多數在製程管制焦點著重於扣件電鍍第二階段之電鍍原理, 包含四個方面: 電鍍液、電鍍反應、電極與反應原理、金屬的電沉積過程, 在設備廠商僅強調電鍍設備電源電壓電流控制及供應之狀況下, 及電鍍藥浴供應商僅強調藥浴性能濃度增加或減少之穩定性之狀況下, 往往忽略扣件工件前處理是整個電鍍的重要關鍵。如果金屬扣件表面存在油污或銹蝕等非金屬物質, 但會因油污「夾層」使電鍍層的平整程度, 結合力, 抗腐蝕能力受到影響, 甚至沉積不連續、疏鬆, 乃至鍍層剝落, 使喪失實際使用價值。因此, 電鍍前處理成為一項重要的操作。

第二階段：電鍍

扣件工件獲得符合要求的鍍層, 是整個扣件工件電鍍流程的核心程序。整個電鍍藥浴的品質管理過程包含:

(一) **主鹽濃度**: 主鹽是指鍍液中能在陰極上沉積出所要求鍍層金屬的鹽, 用於提供金屬離子。鍍液中主鹽濃度必須在一個適當的範圍, 主鹽濃度增加或減少, 在其它條件不變時, 都會對電沉積過程及最後的鍍層組織有影響。例如: 主鹽濃度升高, 電流效率提高, 金屬沉積速度加快, 鍍層組織晶粒較粗, 但造成鍍層之緻密性降低, 溶液分散能力下降, 鍍層之均勻性亦下降, 對耐蝕性及均勻性等高度功能性要求之鍍層會造成嚴重不良影響。

(二) **主鹽種類**: 有些情況下, 若鍍液中主鹽的金屬離子為簡單離子時, 則鍍層晶粒粗大。因此, 要考量採用複合主鹽離子的電鍍液。複合鹽是一種由簡單化合物相互作用而形成在鍍液中, 影響電鍍效果的主要是複合主鹽金屬離子的相對含量, 即複合鹽中金屬離子的游離量, 而促進電鍍溶液中的分散能力。

(三) **添加劑種類及濃度**: 添加劑是指不會明顯改變鍍層導電性, 而能顯著改善鍍層性能的藥劑物質。根據在鍍液中所起作用的添加劑可分為鍍液消泡劑、鍍層光亮劑、鍍層整平劑、及鍍層抑霧劑等。

(四) **緩衝劑使用**: 緩衝劑是指用來穩定溶



液酸鹼度的物質。這類物質一般是由弱酸和弱酸鹽或弱鹼和弱鹼鹽組成的，能使溶液遇到鹼或酸時，溶液的pH值變化幅度縮少，使化學反應穩定。

(五) **陽極活化劑**：鍍液中能促進陽極活化的物質稱陽極活化劑。陽極活化劑的作用是提高陽極開始鈍化的電流密度，從而保證陽極處於活化狀態而能正常地溶解。陽極活化劑含量不足時陽極溶解不正常，主鹽的含量下降較快，影響鍍液的穩定。嚴重時，電鍍不能正常進行。

第三階段：電鍍後處理

電鍍後處理的目的是確保鍍層最終的品質狀況，提高鍍層的防護性、獲得不同的色澤裝飾性及/或功能性，電鍍後處理是根據電鍍層的性能、使用要求、環境影響等因素來選定，通常包括有拋光、鈍化、著色、塗膜、封閉、除氫等。電鍍後處理不良，常在實際生產中出現操作故障，而造成甚至電鍍製程前功盡棄，重工電鍍或廢棄不良。主要的電鍍後處理如下：

(一) 拋光處理

拋光是通過化學拋光或機械拋光來提高金屬工件表面的平整性和降低表面粗糙度的過程，它既能直接用於金屬的表面加工，也用於金屬工件鍍前處理及鍍後精加工。如銅、鎳等合金以及鍍後的銅、鎳、鉻等金屬鍍層的裝飾性加工。

(二) 封閉及鈍化處理

封閉處理是為了提高工件在大氣中的抗腐蝕能力，採用物理、化學或電化學的方法，使其表面（或中間鍍層）均勻地覆蓋一層膜層，這種處理過程稱為封閉處理。而鈍化處理是指在一定的溶液中進行化學處理，在鍍層上形成一層堅實緻密的，穩定性高的薄膜金屬表面處理方法。鈍化使鍍層耐蝕性大大提高並能增加表面光澤和抗污染能力。這種方法用途很廣，鍍鋅、鍍銅等，都可以進行鈍化後處理。

(三) 著色處理

金屬表面著色是在特定的溶液中採用化學、電化學、置換或熱處理等方法在金屬表面形成一層顏色各異的膜或干擾膜層。由於各種金屬氧化物顏色不同，從而使著色金屬表面呈現不同的顏色，改變了原有金屬的外觀，達到模仿昂貴金屬、仿古、裝飾等目的。

(四) 除氫處理

大部分扣件電鍍在前處理（酸洗、陰極電解除油）及電沉積過程中，都會產生「氫」，有部分還沒來得及形成「氫氣」即以「氫原子」的形式滲入到基體和鍍層中，使鍍件產生氫脆性，嚴重降低零件的抗拉強度，稱為氫脆。因此：在氫脆性高度要求的扣件及抗應力腐蝕領域使用的扣件電鍍後都必須經過「除氫」處理，尤其在使用中要求抗拉強度高的扣件均必要進行「除氫」處理。一般而言，除氫處理是在200°C左右的溫度下或指定的烘烤溫度下進行的，處理時間根據扣件要求的抗拉強度或鍍層種類來決定。除氫處理應在電鍍後的3小時內進行，超過電鍍後的3小時則扣件烘烤除氫效果不佳無法降低氫脆化現象，扣件超過電鍍後的3小時即便再以多次烘烤除氫，氫脆性高度要求及抗應力腐蝕領域使用的扣件仍有使用時高度氫脆破壞斷裂及應力腐蝕破壞斷裂的風險。

(五) 塗膜處理/塗料處理

塗膜處理/塗料處理就是對具電鍍鍍層的扣件，塗覆或浸一層透明或具顏色的有機或無機塗料或塗層，防止變色或延續鍍層壽命或再加額外之塗覆塗料層，對扣件或扣件電鍍鍍層再防護的工序。

影響扣件電鍍品質的主要因素

(一) 電源

A. **電流密度**：電流密度是指每單位面積的電流強度。扣件電鍍每種金屬時，電鍍的厚度與被鍍扣件上的電流密度和電鍍時間有關。電鍍時扣件上電流密度影響鍍層的品質，設備廠商強調電鍍設備電源電壓電流之控制及供應僅限於供電電極上的電流強度，並未考量被鍍扣件之個別扣件表面積及供電電極上所承受之被鍍扣件總數量，供電電極上控制及供應實際分配至電化學作用之個別扣件電流密度應受個別扣件尺寸大小表面積影響，以相同標稱尺寸之扣件為例：細牙類扣件之個別扣件表面積大於粗牙類扣件之個別扣件表面積，在以相同供電電極上的電流強度進行電化學作用操作，細牙類之個別扣件所獲得之個別扣件電流密度將低於粗牙類之個別扣件，相同製程之扣件電鍍所獲得之電鍍效率、鍍層厚度、鍍層結晶效果、鍍層緻密性均勻性不同。



B. 電流波形：電鍍用的直流電流波形有多種，為便於理解，可將其簡單地分為兩大類：(A)普通直流電流；(B)特殊直流電流。普通直流電流如圖2所示，是一種電流方向不隨時間改變的、連續的平穩電流，簡稱DC。傳統電鍍採用的電流形式一般為普通直流電流，常見的有單相半波、單相全波、三相半波、三相全波、純直流等。

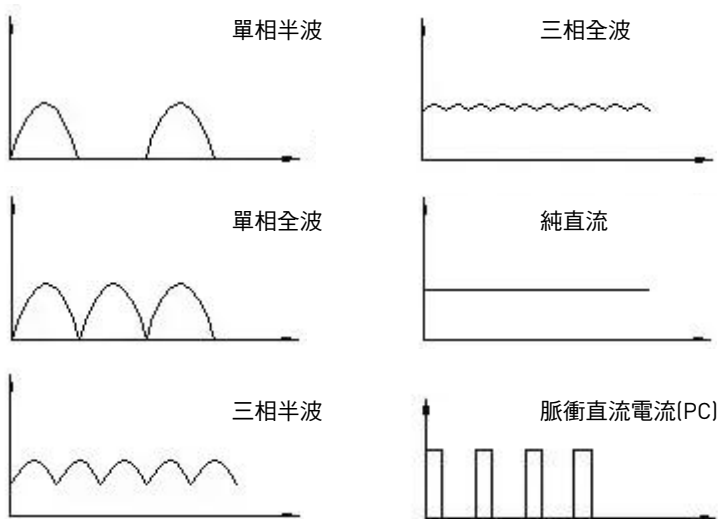


圖2 常見的電鍍用直流電流波形

特殊直流電流是一類經脈衝信號或其他交變信號調製以後的直流電流，嚴格來講，這類電流叫調製電流，為簡單起見稱之為「特殊直流電流」。常見的特殊直流電流有脈衝電流、不對稱交流電流、交直流疊加電流、直流換向電流等。其中脈衝電流是目前應用最多且收益最大的特殊直流電流，其實只是一種通斷直流電，即一種斷續的直流電流，導通時電流極大，關斷時電流為零，簡稱PC。

電流波形對鍍層的影響主要在於對鍍層的結晶組織、光亮、鍍液的分散能力及覆蓋能力等都有影響，例如：鍍鉻使用脈動成分較大的電流（如單相全波），當電流波動到谷底時因電流較小（或中斷）造成鍍層電化學反應變緩，電流正常後再鍍則瞬間電化學反應加速而造成瞬間電流密度過高而發灰燒焦發黑等狀況。而同樣的單相全波電流用於鍍鋅時則可得到合格的鍍層。因此，鍍層電化學反應變緩敏感度高的鍍層（如：鍍鉻），越不宜使用脈動成分大的電流，而宜使用脈動係數小的電流。而電流脈動波形愈大，愈容易影響金屬鍍層沉積的結果。

一般用直流電電鍍時，也容易在陰極和溶液界面處形成較厚的擴散層，使陰極表面金屬離子濃度降低產生濃差極化，限制了電沉積的速度，使用較大的電流密度不但不能提高鍍速，反而使陰極上的氫氣析出量增加，電流效率降低，鍍層變壞出現氫脆、針孔、麻點、燒焦和起泡等。脈衝電鍍是使電鍍迴路周期性地接通和斷開，或者在固

定直流上再疊加某一波形脈衝的電鍍方法。雖然脈衝電流脈動波形極容易因脈動造成電化學反應瞬間電流變化，但脈衝電鍍與傳統的直流電鍍比較，由於有關斷時間，被消耗的金屬離子利用這段時間擴散補充到陰極附近、當下一個導通時間到來時，陰極附近的金屬離子濃度得以恢復，故可以使用較高的電流密度。脈衝電鍍峰值電流可以大大高於平均電流，促使晶種的形成速度高於晶體長大的速度，使鍍層結晶細化，排列緊密，孔隙減少，硬度增加提高延展性和耐磨性，改進了鍍層的物理性能。脈衝電鍍大幅度提高了瞬時電流密度，使其平均電流密度有可能大於直流電鍍的實際電流密度。因而，加速了電沉積速度，使生產效率增高。

C. 電極：電極的形狀、尺寸、位置影響鍍層的分佈效果，電鍍的陽極主要作用為金屬離子的補充，陽極產生鈍化，溶解不良，陽極溶解性能變差，致使鍍液中的金屬離子含量下降，會影響電鍍鍍層沉積。陽極溶解陽極表面積縮小，陽極電流密度增加，析出氧氣，pH值變化影響化學反應。若陽極金屬溶解的電流效率大大地高於陰極金屬沉積的電流效率，隨著電鍍過程的進行，勢必造成鍍液中金屬離子愈來愈高，致使無法實現正常的電鍍。扣件電鍍時，扣件直接或間接與陰極接觸，接觸導電狀況直接影響扣件上用於電鍍的電流密度效率，陰極接觸檢查及適時調整決定鍍層沉積的結晶效果。

(二) 鍍浴：

A. 鍍浴成份配方：添加劑、導電鹽、金屬離子濃度等直接影響鍍層的好壞。

B. 溫度：適當的溫度可以提高溶液的導電性，促進陽極溶解，提高陰極電流效率，穩定電化學反應，減少金屬沉積針孔產生、降低鍍層內應力等。

C. 混合攪拌補充：加速溶液對流，降低陽極陰極鍍浴的濃度差異及變化與極化作用。

(三) 被鍍扣件工件：

A. 扣件表面狀態：清潔、平整無銹蝕氧化物的扣件表面，鍍層效果越好。

B. 扣件尺寸及形狀：扣件尺寸大小影響電鍍操作批量及個別扣件電流密度分佈、電鍍位置混合週期及定位等。



扣件電鍍容易被忽視之應用技術

(一) 滾筒(桶)之管理

無論採用何種鍍覆方式，與待鍍製品和鍍液接觸的鍍槽、吊掛具等，滾鍍溶液和電鍍條件與槽鍍基本相同，應具有一定程度的通用性。滾鍍與掛鍍最大的不同在於它使用了滾筒，最容易被忽略是滾筒(桶)的管理，滾筒(桶)是承載著扣件在不停地翻滾的過程中受鍍的一個盛料裝置。典型的滾筒(桶)呈六角邊或八角邊棱柱狀，水平臥式放置。滾筒(桶)壁板的一面開口，電鍍時一定數量的受鍍扣件從開口處裝進滾筒(桶)內，然後蓋上滾筒(桶)門將開口封閉。滾筒(桶)壁板上佈滿了許多小孔，電鍍時零件與陽極間電流的導通、滾筒(桶)內外溶液的更新及廢氣的排出等都需要通過這些小孔。滾筒(桶)內的陰極導電裝置通過銅線或棒從滾筒兩側的中心軸孔內穿出，然後分別固定在滾筒(桶)左右牆板的導電腳座上。

扣件在滾筒(桶)內靠自身的重力作用與陰極導電裝置自然連接。扣件的滾鍍就是在這樣的裝置內進行的。滾筒(桶)的結構、尺寸、大小、轉速、導電方式及開孔率等諸多因素均與滾鍍的生產效率、鍍層品質等有關。所以，滾筒(桶)的使用及維護是影響整個滾鍍技術品質的重要項目，滾筒(桶)的導電裝置的連接維護為直接影響電解電流通過的因素，導電接觸不良、短路及油垢異物均極易影響鍍層特性。而滾筒(桶)壁板孔之大小及分布也影響內外溶液的更新及陽極及陰極產生氣體的排出，尤其以陰極產生氫氣若無法迅速排出而由扣件吸附，滾筒(桶)壁板孔堵塞則受鍍工件更容易引起而造成扣件內部氫脆化現象(Internal Hydrogen Embrittlement, IHE)。

掛鍍的電流傳輸平穩，接觸電阻小，被鍍扣件所獲得的電流基本不因電流傳輸問題而有所不同。但滾鍍

時，扣件是以重力堆壓在滾筒(桶)內的陰極導電裝置上與陰極接觸的，與陰極導電裝置直接相連的扣件只有極少部分內層扣件，而絕大部分扣件只能藉由堆積重疊的扣件間接觸而獲得陰極電流導通。所以，滾筒(桶)內的陰極導電裝置只能首先將電流輸送給與自己直接接觸的內層扣件，然後才能由這些內層扣件輸送導電給其它的非內層扣件，並在其扣件與扣件間一個一個地傳輸下去，這就是滾鍍的間接導電方式。這種間接導電方式無疑是滾鍍的又一重要特徵。它由於主要靠扣件與扣件間之間接導電，而不是所有扣件皆直接與陰極接觸導電，所以，滾鍍時零件的接觸電阻較之掛鍍相對應增大，更應注意滾筒(桶)內的陰極導電電極裝置維護及影響導電性技術因子之管理。

(二) 滾筒(桶)之旋轉操作

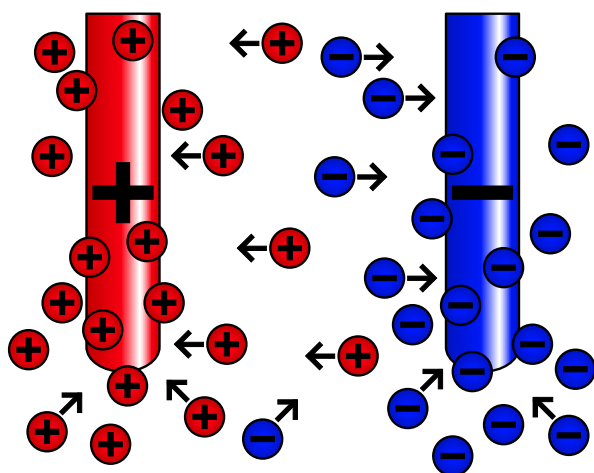
扣件滾鍍時，扣件在滾筒(桶)內並非靜止不動的，而是要隨著滾筒(桶)的旋轉不停地翻滾。這種翻滾具體的情況是：扣件一會兒被埋進整個堆積的內部，一會兒又翻到外表面。這樣周而復始，直到整個滾鍍過程結束。因此扣件的外觀幾何尺寸型態會影響扣件翻滾旋轉的狀態，扣件標稱尺度及標稱長度比例差異愈高之扣件，扣件從堆積的內部翻到外表面的混合周期變化狀況差異愈高，混合周期對滾鍍的電鍍時間和鍍層厚度波動性均產生重要影響；扣件分佈在滾筒內堆積體的內部，稱為內層被鍍扣件；另一部分零件則分佈在堆積體的外表面，稱為表層被鍍扣件。滾鍍時，主金屬離子實際只在表層零件的表面還原形成金屬鍍層，而內層被鍍扣件由於受到表層被鍍扣件的遮罩、遮擋等影響只有電流通過，若無鍍浴交換補充則幾乎沒有電化學反應發生。為了能夠有機會受鍍，內層被鍍扣件就需要從堆積體的內部翻出變為表層被鍍扣件。而表層被鍍扣件也不能長時間停留，電鍍進行一會兒後，受到滾筒的旋轉作用又變成了內層被鍍扣件。只有不停適當地翻滾，才能促使內層被鍍扣件與表層被鍍扣件不斷地變化、轉換，並最終保證每個扣件都有均勻受鍍的機會。

因此，旋轉操作控制扣件混合周期亦為極易被忽略之關鍵技術因素，扣件在滾筒(桶)內如果不翻滾而處於靜止狀態，由於幾乎無電化學反應發生，很小的電流密度，就可能使表層零件附近的金屬離子匱乏而產生「燒黑」或「燒焦」現象。而貼近滾筒壁板的表層扣件電流分散受到阻礙，而電流集中停留在表層扣件上緊挨孔眼部位扣件的狹小表面，造成該處鍍層燒焦留下黑色眼點，即所謂的「壁板孔印焦痕」。滾筒(桶)之旋轉操作控制若無法造成鍍浴交換效果，如同掛鍍時無鍍浴攪拌作用或陰極移動的作用，電化學反應降低，電流密度變低，則電流密度上限不易提高，鍍層沉積速度變慢也難於加快。

(三) 電流密度之穩定性控制

定電壓控制或定電流控制是一般掛鍍或滾鍍之操作方式，掛鍍受限於工件陰極導電接觸面積，通常陰極的陰極電流密度較小，但陰極電流效率轉換為被鍍扣件之效率高；而滾鍍





在滾筒(桶)內陰極導電接觸面積較掛鍍陰極導電接觸面積大，滾鍍可於陰極給予較大陰極電流及電流密度，但滾鍍由於內層被鍍扣件及外層被鍍扣件的電流用於電化學反應之效率差異性高，內層被鍍扣件及外層被鍍扣件的電流密度差異懸殊，多數電流消耗在高電流密度的外層被鍍扣件工件上，平均電流密度卻小於掛鍍作業，結果是滾鍍陰極電流效率低，如操作中稍有疏忽，鍍層厚度、均勻性及緻密性就難以保證。滾鍍過程中產生扣件的混合周期對滾鍍的電鍍時間及鍍層品質產生波動性的重要影響；而滾筒(桶)的封閉結構造成滾鍍鍍層沉積速度慢、鍍浴中溶液分散能力、深鍍能力下降及槽電壓較高等結構缺陷；滾鍍過程扣件間接導電方式造成滾鍍時槽瞬間電壓升高、及/或瞬間電流傳輸不平穩、各被鍍扣件上電流分布不均勻等；均難以定量控制鍍件表面的電流密度，使滾鍍生產品質帶來極大變異；以微觀角度分析，滾鍍內層被鍍扣件及外層被鍍扣件的溶液組分變化快，內層被鍍扣件及外層被鍍扣件的鍍浴溶液及鍍液成分的交換，使得滾鍍在電沉積條件、條件控制、設備條件、穩定生產等方面均比掛鍍複雜且困難得多。單一的定電壓控制或定電流控制操作均無法簡單的符合達成被鍍扣件電流密度之穩定性控制，應同時考量扣件的形狀、大小，先考量滾鍍被鍍扣件內部翻到外表面的混合周期變化狀況穩定性，再配合定電壓控制或定電流控制之調整，才能避免有關扣件滾鍍的知識及內容是散落的、混亂的，以面對扣件滾鍍存在的問題與對策能有效進行歸納、總結並整理。

於相同容量承裝相同重量扣件之滾筒(桶)，

扣件標稱尺寸愈小，被鍍扣件承裝數量愈多，被鍍扣件之被鍍總表面積愈多，陰極傳導至扣件表面之電流密度愈小。被鍍扣件承裝數量愈多，旋轉操作控制扣件混合周期變大，內層被鍍扣件及外層被鍍扣件的電流密度差異愈大。扣件的形狀、大小及其承裝於滾筒(桶)內適當的混合周期控制應是被鍍扣件電流密度之穩定性控制的基礎，僅調整電壓控制或電流控制，而忽略依扣件的形狀大小調整滾筒(桶)陰極接觸及其承裝於滾筒(桶)內的混合周期，扣件電鍍時的不穩定生產是經常發生的，也是扣件滾鍍技術發展過程中容易忽略取得的寶貴經驗與成果。

(四) 滾鍍前處理之控制技術

滾鍍扣件通常在承裝於滾筒(桶)後，先進行電鍍工件之前處理，鍍前處理大致包括以下基本內容：除油(鹼洗)、酸洗、除銹、除氧化皮、浸蝕、活化、(必要時：磨光、拋光、滾光、噴砂、局部絕緣)、清洗、預熱等。滾鍍扣件只能在滾筒(桶)筐裡處理，難免有重疊，故難以徹底除油、除銹、除氧化皮、浸蝕、活化、清洗，扣件表面之髒污、異物完全去除，即使去除亦可能再度附著殘留於扣件表面，滾筒(桶)進入電鍍槽前，扣件表面不潔淨，如仍有油污塵粒及其他非導電微粒等黏附，而致使後續滾鍍時，電鍍槽中之浴液易受污染，而滾鍍操作時對電鍍槽浴液對雜質較敏感，故滾鍍時電鍍槽浴液的淨化交換處理及調整工作負荷量較大，往往容易因鍍浴污染或鍍浴變化調整困難而造成電鍍不良產生。因此，扣件滾鍍前處理之各項工序中使前處理不足而殘留影響電鍍槽中浴液之因素常常被輕忽，例如：除油技術能力、酸洗技術能力、清洗技術能力等。

(五) 電鍍槽中之鍍浴交換控制技術

當扣件工件滾鍍過程翻滾時，會使電流時斷時續，同時存在化學溶解反應，要求加厚鍍層需要延長滾鍍時間，然而在局部處的鍍浴交換不足使鍍層仍難以增厚及沉積。滾鍍溶液中主鹽消耗較快，這主要是陽極面積常常不足，扣件工件出槽時損耗較多等原因引起的。主鹽含量過低時會引起電流效率下降，鍍層難以沉積，為此需根據化驗分析數據及時予以調整。pH值的變化尤其在滾鍍陰極反應的局部區域更為明顯，也是因為滾鍍過程中局部析出氫氣激烈反應區域，鍍浴交換及時調整主鹽濃度並使pH值更緊密調整以維護電化學鍍層沉積的穩定反應。扣件滾鍍只能在滾筒內在電鍍前處理，難以徹底除盡汙物，滾鍍時藥浴溶液易受污染，加速鍍浴交換控制亦為及時調整穩定主鹽濃度方式。

