

# 扣件博士 — 比較鍍鋅、黑氧化、鋅片塗層、鈍化與 陽極處理及其抗腐蝕表現



在本期扣件博士專欄中，我將比較標題所述的幾種表面處理製程在抗腐蝕方面的表現。乍看之下，似乎只需依耐蝕效能高低做個排序即可，但實際上並沒有那麼單純。原因在於這些製程彼此之間差異極大，無法簡單以「由好到差」進行線性比較。因此，我將改採回答問題的方式，逐一說明各種製程與表面處理的優點與用途，藉此呈現它們在防止氧化與腐蝕方面的作用，以及彼此之間的優劣差異。

## 問：這些製程是否有共通點？

答：有的。它們皆屬於鍍覆、塗層或轉化處理的一種，主要目的都是為基材提供抗腐蝕或抗氧化保護。不過也必須理解的是，這些製程除了耐蝕性之外，往往還能帶來其他性能上的附加效益。

## 問：可以簡要介紹各種製程嗎？

答：可以。

- **鍍鋅**：實際是指鋅的電鍍處理。現今的鍍鋅產品多為經過精密設計的一套「系統」，由多個關鍵步驟構成。首先進行鋅電鍍，將純鋅沉積於鋼製基材表面。鋅層厚度可依需求調整，一般商用鍍鋅厚度約為 5 微米以下，而汽車等高要求應用則可能達到 13 微米。電鍍完成後，通常會浸入三價鉻鈍化溶液（現今多稱為鈍化處理），在表面形成一層轉化膜，其化學性質較純鋅更為穩定，有助於提升整體耐蝕性。最後，多數鍍鋅件還會再加上一層封閉劑，進一步強化防腐效果。
- **黑氧化**：此製程是生成一種鐵氧化物—磁鐵礦（ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ）。其形成方式為將鋼材（或其他適用金屬）浸入含氫氧化鈉及亞硝酸鹽、硝酸鹽的加熱溶液

中。該處理可產生深黑且具有質感的外觀。然而，單純的黑氧化層本身幾乎不具備實質的防蝕能力。若需要一定程度的防蝕效果，通常需再進行油或蠟的浸潤處理，但其保護效果仍相當有限。

- **鋅片塗層**：此為一種通用型系列塗層，將燒結鋅（或鋁）的微粒分散於類似塗料的黏結劑中，通常透過浸鍍旋轉製程施加於扣件表面。工件先浸入塗料中，再經旋轉去除多餘塗層以確保厚度均勻，最後於低溫爐中固化。此類塗層通常為多層結構，至少包含底層與一道面漆，有些「系統」甚至超過兩層。由於其多層且類塗料結構的特性，塗層厚度通常較厚，約 20 微米以上。顏色常見為銀灰色或黑色。其耐蝕性能依塗層設計與製程而異，在鹽霧試驗中從約 400 小時出現紅鏽起算，高階系統可達 2,000 小時。
- **鈍化處理**：此製程專用於不鏽鋼。透過將工件浸入酸性溶液，使其表面原本自然生成的氧化層更加穩定（鈍化），從而提升抗氧化能力。常見使用於扣件的酸包括檸檬酸、硝酸或醋酸。
- **陽極處理**：主要應用於鋁與鈦材料。這些金屬本身會形成自然且穩定的氧化層，而陽極處理則進一步強化該氧化層的抗腐蝕能力，同時提升表面硬度與耐磨性。



## 問：針對前三種製程，其防蝕能力如何比較？



答：雖然實際表現會受到塗層厚度及整體系統設計影響，但一般而言，其耐蝕能力由高到低大致為：鍍片塗層 > 電鍍鋅 > 黑氧化。

如前所述，鍍片塗層具有高度客製化特性，部分系統在鹽霧試驗箱中可穩定達到 1,500 至 2,000 小時才出現紅鏽。電鍍鋅的表現則高度依賴鍍層厚度與封閉劑種類，一般約在 72 至 400 小時之間，部分產品可超過 400 小時，但通常不會達到 1,000 小時。不過，若採用鋅合金鍍層（例如鋅鎳合金），則有機會達到約 1,000 小時的表現。至於黑氧化，如前所述，本身幾乎不具備防蝕能力；在乾燥環境中尚可維持表面狀態，但在中等或嚴苛環境下，則不具備實用的耐蝕性能。

## 問：在前三種製程中，是否有不同顏色可選？

答：可以說有，也可以說沒有。在這三者之中，電鍍鋅的顏色選擇最多，但基本上仍以三種為主：銀色、黃色與黑色。電鍍鋅也可以透過染色呈現其他顏色，例如綠色、藍色或紅色，但這些屬於染料著色，並非永久性，尤其在日光紫外線照射下容易褪色。鍍片塗層則主要提供黑色與銀灰色，而黑氧化則僅有黑色一種。

## 問：在前三種製程中，其供應情況如何？

答：在以扣件製造為核心的產業聚落中，這三種表面處理都不難找到合適的供應來源。其中，商業電鍍鋅廠最為普遍，因為鍍鋅是全球最常見的扣件表面處理方式，因此供應商數量相當充足。鍍片塗層近年來的應用已不再侷限於汽車產業，其市場需求持續成長，過去二十年間相關產能也大幅擴充，因此找到具備技術能力的塗佈廠並不困難。同樣地，黑氧化處理的供應亦相當普及，不致構成問題。

## 總結

整體而言，這些製程皆屬於提升扣件抗腐蝕或抗氧化能力的不同方法。當然，實務上可選擇的表面處理方式遠不止這五種，但上述幾類已涵蓋扣件產業中相當大比例的應用。如同許多與扣件相關的技術議題，使用者與供應商都應充分了解各種選項，以及其各自的優缺點。 ■

## 問：除了防蝕之外，前三種表面處理是否還具備其他特殊功能？

答：鍍鋅與鋅片塗層產品通常會再進行上蠟或添加潤滑劑，以達到摩擦係數調整的效果，這在汽車產業中是備受關注的議題。鍍鋅產品可提供多樣顏色選擇，因此在電氣元件等產業中相當常見，例如將鍍鋅螺絲染成綠色以標示接地端子。黑氧化則能呈現深邃且質感佳的黑色外觀，在重視外觀且使用環境乾燥或負載較低的應用中，是不錯的選擇。同時，黑氧化具備消光效果，可降低反射，因此在國防產業中，常用於外露但需避免反光以防暴露位置的扣件。

## 問：為什麼不鏽鋼零件需要進行鈍化處理？

答：鈍化處理具有多重作用。首先，它能強化不鏽鋼表面的氧化鉻保護層，使零件更能抵抗氧化，並防止接觸到鋼或鐵時因外來鐵粒附著而產生表面鏽蝕。由此，鈍化同時也具備清潔不鏽鋼零件的效果。在加工過程中，不鏽鋼零件通常會被收集於鋼製容器中，當零件在滾牙或成形機加工後與容器的側面碰撞時，可能附著微小鐵粒。這些微粒會氧化，導致零件表面出現鏽斑，容易被客人誤認為材料本身生鏽。鈍化處理可有效去除這些污染，同時提升氧化膜的穩定性，避免未來發生汙染再次產生類似問題。

## 問：為什麼鋁件需要進行陽極處理？

答：陽極處理同樣是為了強化氧化層的性能，同時使該氧化層更加緻密，提升耐磨性。此外，某些陽極處理會形成所謂的「多孔結構氧化層」，其表面具有細微孔洞或凹槽，能夠吸附潤滑劑或染料，這也是鋁製品能呈現多樣化顏色的原因。

