

為何表面硬化 在扣件製造中至關重要

著作權所有：惠達雜誌
撰文：Laurence Claus

大多數螺絲是透過冷鍛與搓牙製成。這些製程特別適用於大量生產的產品，例如薄板螺絲、石膏板螺絲、一般建築用螺絲及其他常見類型，因為它們每分鐘可生產出數百件產品。冷鍛與搓牙皆以圓柱形胚料為起點，透過材料重新分配形成所需的頭部、頸部、肩部及螺紋形狀。為了獲得正確的外形與幾何結構，這些製程通常需施加極大的力量，因此材料必須具備極高的延展性與可塑性，才能在成形過程中避免裂紋或破裂。為滿足此需求，冷鍛用材料通常會進行球化退火，這是一種能形成球狀微觀組織的特殊退火製程，此種微觀結構特別適合承受冷加工的嚴苛條件。然而，這種有利於成形的延展性，卻與最終產品所需的強度產生衝突。因此，大多數冷鍛產品在成形與搓牙之後，仍需進一步強化。



提升零件強度的方法有多種，選擇何種製程取決於扣件的功能需求。最常見的強化方式是淬火回火，此製程可使整個零件均勻提升強度，常用於螺栓及其他需在各部位具備一致強度的產品。然而，能形成內螺紋的自攻螺絲則有不同需求。這類螺絲的螺紋除了提供夾持力外，還需如同「攻牙工具」般在材料中形成內螺紋。因此，其螺紋必須具備足夠的硬度與強度，以避免在成牙過程中塌陷或斷裂。為達此目的，螺紋表面需比被加工的材料還要更硬更強，而這正是表面硬化的用途所在。本文將探討表面硬化的基本原理，以及其在特定扣件中的必要性。

為何需要表面硬化？



雖然某些材料（例如：熱塑性塑料、鎂及部分鋁材）相對柔軟，可使用經淬火回火的高強度螺絲直接進行攻牙，但許多較硬且強度較高的材料則無法如此處理。因此，我們需要一種強化方式，使螺紋的硬度與强度高於被攻牙的材料。目前可達成此目的的熱處理擴散製程包括滲碳、滲氮及碳氮共滲，這些通常統稱為表面硬化。

既然有多種選擇，為何多數扣件仍採用表面硬化？這需要從熱處理機制與製程方式來理解。扣件通常體積小且產量大，因此最有效率的熱處理方式是採用連續式批量處理，即讓小零件在爐中移動，而非固定於單一位置。因此，扣件多在轉動式爐或網帶式連續爐中處理。連續網帶爐利用緊密編織的金屬網帶緩慢通過爐體，零件在爐中的停留時間取決於爐長與網帶速度。儘管多數設備具備一定的速度調整能力，但零件在爐中的停留時間仍受相當限制，因此連續網帶爐難以提供長時間的恆溫（soak time）。

在熱處理過程中，鋼製螺絲的強度取決於其碳含量及合金元素。低碳鋼在淬火後無法達到高硬度，而多數螺絲正是由低碳鋼製成。因此，必須透過增加碳或其他元素，使其在淬火後能形成更硬、更強的表面。為達成此目標，熱處理製程需將碳或其他元素擴散至零件表層。常見方法即為滲碳、滲氮及碳氮共滲，這些皆屬於「擴散製程」，因為它們會在一段時間內將元素逐漸滲入材料表面，且時間越長，滲入深度越深。



綜合上述兩點，即可理解為何螺絲多採用碳氮共滲（表面硬化），而非單純滲碳或滲氮。要提升表面強度，零件必須在富含活性元素的環境中停留足夠時間，以吸收足量元素。然而，這個過程需要時間，而對於連續式網帶爐而言，最大的挑戰就在於如何讓工件在爐內停留足夠長的時間來完成擴散作用。因此，無論是單獨的滲碳處理還是滲氮處理，都需要較長時間才能使足夠的碳或氮擴散進入工件表面層，形成具有充分硬化能力的表面層。相較之下，碳氮共滲（即表面硬化處理）則是同時利用碳與氮的擴散作用，加速表面層的形成過程。這樣可以加快擴散層的形成，並且可以使用移動式帶式爐。

何謂表面硬化？

表面硬化亦稱碳氮共滲，是一種熱擴散製程，能將碳和氮同時引入富含活性元素的氣體中。在此過程中，由於零件本身的碳與其他元素濃度低於周圍活性氣體，因此碳與氮會向表面擴散，形成一層「硬化層」。在隨後的淬火過程中，該層會轉變為由麻田散鐵及氮化物組成的高硬度結構。由於擴散時間有限，扣件的硬化層通常較淺。

表面硬化製程

在表面硬化製程中，零件會被送入奧氏體化爐中，在富含碳與氮的氣氛中進行保溫處理。碳的導入採用雙氣體系統：首先產生並注入一種稱為吸熱氣（endothermic gas）的載氣。此氣體約由 20% 一氧化碳、40% 氫氣與 40% 氮氣組成，因此在爐內氣體中碳的含量本身較低。為提升含量，會再加入甲烷或丙烷，這些富含碳的氣體會迅速分解，提供高碳環境。氮則來自於氨氣的添加，氨在高溫下會分解為氮與氫。在高溫爐內，鋼材會趨向與周圍環境達成平衡，使碳與氮迅速向零件表面擴散，形成一層碳氮含量高於核心材料的表層，而核心區域則因時間不足，尚未被充分擴散。

隨後進行淬火處理，使表層高碳奧氏體轉變為麻田散鐵，同時氮形成氮化物。最終結果是形成一層淺而堅硬的硬化層，以及相對較軟的核心。與淬

火回火製程類似，表層麻田散鐵本身較脆，仍需進行回火以恢復韌性。完成後，零件表面硬度約為 HRC 40 中段至 50 中段，而核心硬度約落在 HRC 30 中段至高段。

碳氮共滲與滲碳、滲氮的差異

簡言之，碳氮共滲（表面硬化）的最大特點在於同時引入碳與氮，因此兼具滲碳與滲氮的優點。滲碳是將碳擴散至表面，而滲氮則是將氮擴散至表面，兩者同樣都能形成強化層。

然而，由於單一元素的擴散速度較慢，若要形成有效的硬化層，通常需要更長的處理時間。因此，滲碳與滲氮多在固定式爐中進行，使零件可長時間停留於爐內。實務上，為形成較深的硬化層，零件在固定式爐中停留 24 至 36 小時並不罕見。

採用表面硬化的螺絲類型

使用表面硬化製程的螺絲幾乎皆為自攻螺絲，例如 AB 型薄板螺絲、木螺絲、石膏板螺絲、適用於低碳鋼的成形螺絲，以及各類金屬用的特殊自攻螺絲。這些產品仰賴表面硬化層所提供的高硬度與高強度，以避免在攻牙過程中螺紋受損或崩裂。此類螺絲通常不承受顯著的拉應力，因為其所加工的材料本身即限制了可承受的張力。

使用注意事項

使用表面硬化螺絲時需留意幾項重要風險。首先，由於其結構為外硬內軟，相較於經適當淬火回火處理的零件，整體較為脆弱。在存在彎曲應力的應用中，螺絲更容易發生斷裂。因此，設計人員和使用者必須採取預防措施，避免嚴重的錯位或配合、形狀或功能方面的問題，以免螺絲彎曲。

其次，表面硬化螺絲屬於容易發生氫脆的材料類型。值得注意的是，儘管表面硬化螺絲具有這種特性，但它們很少出現氫脆問題，主要原因推測為其在安裝後較少承受高軸向拉應力。然而，現行工程觀點仍是建議使用者保持警覺，特別是在螺絲經過鍍鋅處理，且核心硬度超過 HRC 36 時，更應謹慎評估使用條件。

結語

表面硬化是扣件製造中的關鍵製程之一，能有效提升低碳鋼的表面強度，使其得以應用於低碳鋼及其他金屬的內螺紋成形。然而，表面硬化螺絲亦存在其限制與潛在風險，使用者在應用時應充分理解其限制與弱點。■

