

大約20年前我曾經與一家汽車煞車系統供應商合作過。這家公司的某一種卡鉗產品使用了“Collette銷”煞車卡鉗設計，這些卡鉗透過沿著兩件式銷系統滑動來運作。其頭部有一支有攻孔的Collette銷和固定螺栓。固定螺栓連結Collette銷的表面至活塞本體凸緣的背面，讓活塞托架可以在煞車運作時沿著這些銷自由滑移。

某日這家煞車製造商在組裝卡鉗時突然在固定螺栓時發生螺栓斷裂。整個組裝過程一如往常且斷裂並非頻繁發生，它們立刻進行螺栓調查。他們很快地發現斷裂的螺栓雖然必須要達到10.9級的強度，實際上卻近乎軟鋼程度，沒有失效的部件則具備了合適的10.9級強度。

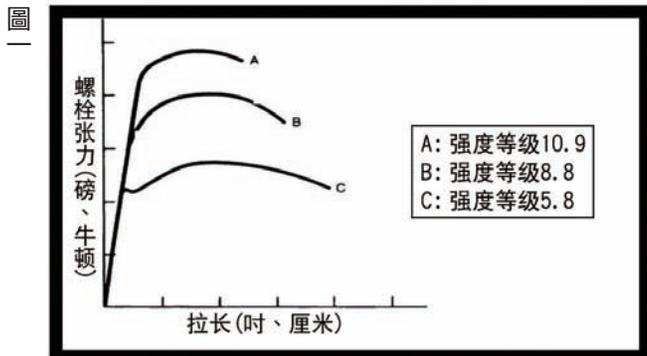
最後確定了熱處理廠商並沒有完全清空爐體輸送帶上的部件以及把假設已經清空的桶架推到爐體之後以便在製程末端收集熱處理後的部件。因此，他們不慎地把一些未經熱處理的部件與有經過熱處理的部件混在一塊。最後這些部件被進行熱浸鍍處理，導致無法分辨哪些有經過熱處理，哪些沒有經過熱處理。

在類似的案例中，2017年七月福特曾進行產品召回，許多車款都因為座椅和座椅安全帶錨栓爆裂或可能發生爆裂而被召回。福特中央實驗室調查問題後做出結論表示部件在熱處理時有回火問題。隨後確定了T2熱處理商在2014年4月17日處理一批部件時發生停電問題，因此導致部件沒有被適當地回火。

雖然這些產線失效都已是過去式，但卻顯現合適汽車扣件熱處理相當重要以及程序出錯可能發生危險的最佳寫照。很多汽車系統非常倚賴扣件是否能適當地發揮功能。因此合適的熱處理流程設計、載明和執行就變得非常關鍵。本文將進一步探討汽車扣件所使用的三種熱處理流程。

## 淬火及回火：

在我們實際看到透過淬火和回火來強化部件的步驟前，首先我們必須考慮到使用於接合處的扣件是如何運作的。記得栓合處有一支外螺紋螺栓或螺絲以及一顆內螺紋可自由轉動或被固定住的螺帽本體。不論是哪一種案例，一旦接合處被貼合定位後，額外的螺絲緊固應該會使螺絲開始出現彈性拉伸並產生可以有效擠壓和固定接合處的負荷。因此，若要使螺栓或螺絲正常運作，其就必須有彈性拉伸的能力。不過，這種能力並非毫無限制，其最終會在扣件材料無法再承受所受壓力的臨界點後產生塑性變形。根據螺栓的強度等級，有些會比其他承受更多塑性變形，但最終都會產生斷裂。



# 汽車扣件熱處理概要



文/Laurence Claus

圖一顯示這種拉伸作用以及低強度螺栓和高強度螺栓之間的比較。該圖清楚顯示兩項比對比強度等級更重要的原則，首先是若設計師需要產生很多「支撐力」（業界常稱夾緊負荷，此圖中稱作張力），就必須使用高強度螺栓；第二，我們看到當強度提高，部件會變得更加脆弱。這顯現在低強度部件在斷裂前塑性延伸與高強度扣件相較之下的相對距離。

考慮到第一點，只要設計師結論認為需要較高強度的螺栓，若使用的是鋼鐵，部件就必須透過熱處理進行強化。最常用來達到強化目的的程序就是「淬火和回火」、「透淬硬」或「中性熱處理」。不論用什麼稱呼，最終結果都是一樣的，也就是部件通過熱處理流程，然後出來時強度更強硬。

在汽車領域，幾乎所有扣件都是以公制來設計和生產。因此，設計師必須使用公制材料標準規定部件所需的強度。在汽車領域，每一家代工廠通常都會有自己的內部標準來規範螺栓、螺絲和螺帽強度。縱使每一個代工廠商都會出版自己的標準，但幾乎所有針對外螺紋部件都是以ISO 898 第一部分為基準，內螺紋部件則是以ISO 898第二部分為基準。

這些標準闡明了不同的強度等級（也稱作性能分級）。它們通常從4開始然後一般來說都會到12（級數與級數通常會有一些間隔）。因此在外螺紋部件的部分會有4.8、5.8、8.8、10.9和12.9的選擇。在內螺紋部件的部分，也會有相對應的等級，但是在小數點後面沒有額外的數字，只有4、5、8、10和12。在外螺紋的部分，這些數字是有意義的，第一個數字代表公稱最小拉力強度乘以100兆帕；第二個數字代表降伏強度相對於拉力強度比例乘以10。舉例來說，強度等級8.8的部件必須有800兆帕的公稱最小拉力強度以及該數值80%或640兆帕的降伏強度。

汽車設計師使用這些數字來區分汽車扣件強度等級，但8.8 (8)和10.9 (10)顯然已經超過常用的任何一種等級。有一些應用需要12.9級扣件，但很多供應商在這部分因為其具備高強度、關鍵性和易氫脆則顯得非常謹慎。不過，無法避免的有些應用可能會需要12.9級所能提供的額外強度。

所以淬火和回火流程究竟是甚麼？不管是淬火回火、透淬硬和中性硬化事實上都提供我們所需的不同資訊來了解這些流程。首先是淬火和回火說明了加熱部件的一般流程，將其淬火然後再將其加熱至比第一次加工程序所使用還要低的溫度。第二個透淬硬處理說明了此程序如果被妥當地完成其為結構和性能會完全一致。舉例來說，這意味M12部件的中心會跟其表面具有相同

的性能特徵和微結構。最後，中性硬化說明了部件首次被加熱的加工程序。圍繞部件的氣體必須產生保護作用，所以當表面與周邊氣體元素產生化學反應後不會有任何改變。

加工流程可以被主要分成三個部分：奧斯田鐵化、淬火和回火。第一個加工流程是奧斯田鐵化。這是提高和維持部件溫度直至整個微結構已經轉變成鋼鐵高溫結構奧斯田鐵的步驟。有很多變數會決定整個程序會耗時多久，因此熱處理廠商必須非常小心地設定加工參數以確保所有部件都能在熱處理階段達到完整的性質轉化。在可以產生所需變化的溫度下，鋼鐵會變得很容易跟特定元素產生反應。因此在加工程序第一步步驟的另一項重要考量是去確保圍繞部件的氣體是「中性的」且不會產生有害的化學反應。

在部件到達奧斯田鐵化的溫度後且維持一段時間到性質完全改變，下一個步驟就是對部件進行淬火。也就是快速使其冷卻，快速地把熱能移除。常用淬火材料包括油性溶液、水和混有其他成分的水。

雖然外面有一些材料不會對淬火產生反應，但鋼鐵會。這種淬火程序快速地冷卻部件並迫使奧斯田鐵轉化成全新的麻田散鐵結構。麻田散鐵非常強壯和堅硬，因此是非常受歡迎的鋼鐵結構。不幸的是麻田散鐵(又稱未經回火的麻田散鐵)在實際使用時太過容易脆裂。

因此，加工流程的最終階段就是部件回火。此流程部分會讓部件回復一些金屬韌性(減低脆裂性)。不過要回復這些特性也要做一些犧牲，也就是部件強度和硬度降低了。回火必須在比奧斯田鐵化的溫度還要低的溫度下完成，因為熱處理廠商想要保留住在加工程序初期所形成的麻田散鐵結構。

目前，大部分汽車扣件都會經過熱處理流程。從大部分扣件都被要求要能具備多重負載功能且會產生可以緊緊固定接合處的負荷來看這就顯得非常合理了。

## 滲碳氮化：

滲碳氮化或更常講的表面硬化是另一個汽車扣件用的典型加工程序。表面硬化暗示了成品在進行此流程後會呈現的狀態。在這樣的例子中，該流程會在內部沒有獲得明顯強化的狀態下產生一個非常堅硬的外殼。經表面硬化的部件有點類似有堅硬外殼和較軟內部結構的口香糖。

在我們做進一步探討前，我們要再觀察一下產品以及這類熱處理的理由。這種熱處理幾乎只單獨使用於螺紋成型螺絲，尤其是那些在軟鋼進行螺紋成形的螺絲。雖然其也可能被使用在於塑膠或鋁進行螺紋成形的螺絲，這些材料現今更常用的則是有經透淬硬處理的螺紋成型螺絲(理由是對這些材料進行螺紋成形不需要高硬度和表面強度，且透淬硬處理後的部件也不是那麼容易脆斷)。

因此，思考一下以下這種應用情況，有人有支鋼製螺絲想要在軟鋼上形成內螺紋，如果兩邊的強度類似，螺紋成形簡單來說絕對不會成功，要讓螺紋成形發生的話，螺絲上的螺紋必須相對堅硬才能夠完成整個螺紋成形過程。因此螺絲本身必須比要鑽入的材料基質還要更硬更強。雖然軟鋼材料與受透淬硬且強度達10.9或12.9級的扣件之間硬度和強度不同，也不太可能可以完全避免螺絲螺紋發生崩解的情形。

因此，螺紋成型螺絲相較於其欲鑽入形成螺紋的基質在硬度和強度上必須有明顯差別才能有效正常運作。正常來

說，這可以透過表面硬化來達成。不幸的是，表面硬化有其缺點。最顯著的是螺絲更容易脆斷且也很容易發生彎曲的現象。同樣地在較小部件或細牙部件上，螺紋也可能存在完全表面硬化的情況。雖然這可以產生很堅硬的螺紋，但其也非常容易脆斷或是在安裝時發生斷裂或切斷。

表面硬化的流程相似於淬火和回火。事實上，大多數表面硬化流程可以很輕易地轉變成透淬硬流程，反之亦然。部件被奧斯田鐵化、淬火和回火。不過最顯著的不同是圍繞部件的氣體不再呈現中性。事實上，在表面硬化中，氣體中充斥著碳和氮。充斥這些元素的氣體以及部件中不相同的元素密度將讓部件吸走這些元素。這將會讓部件表面充斥著碳和氮，使其比具更少碳元素和極少或沒有氮元素的表層底部更強硬。

再者，表面硬化會產生非常適合用在螺紋成形或其他表面硬度和強度很重要的扣件。不過最大的缺點是經表面硬化的螺絲並不是非常具有韌性。其外部容易脆斷且核心部位很少具備太高強度。此外，它們也很容易彎曲，過度外部硬化(外部延展至部件斷面)或容易發生氫脆。

## 透淬硬及感應硬化(高週波淬火)：

在一些汽車產業應用中設計師可能會選擇螺紋成型螺絲，但同時要求其不能脆斷。以座椅安全帶托架或連接汽車結構座椅滑軌的錨栓為例。在汽車發生嚴重撞擊的極少例子中，這些扣件被預期要能有完美性能，意味其必須牢牢固定座椅和座椅安全帶且不會斷裂。

不過一支經滲碳硬化的部件在嚴重車輛事故的情形下很容易發生斷裂。因此要如何設計出一支具抗撞擊不會斷裂的韌性且仍保有足夠強度硬度在軟鋼中達到螺紋成形目的的部件？

解決辦法就是使用兩階段熱處理步驟。步驟一是對部件(多數是10.9的強度)進行透淬硬處理。步驟二是透過感應硬化(高週波淬火)選擇性硬化某些區塊。讓所選擇螺紋成形發生的區域具備要求的強度來進行螺紋成形程序，同時部件本體又不會脆斷，因此可以抵抗衝擊發生時所產生的嚴重衝擊負荷。

感應硬化(高週波淬火)是唯一有選擇性的硬化程序。這意味其程序可以只針對部件上的某一區塊進行。在錨栓應用領域，也可以用來進行單點硬化，或是在其他常見的汽車領域(避震和操控接合點)被用來硬化一部分球型頭部區域來避免磨損和刻痕。

在此流程中，部件會通過感應線圈。這是很重要的強力電力場，可以在線圈內快速針對部件的特定區域進行加熱。此受熱區會轉變成奧斯田鐵。部件會被移除和淬火，形成麻田散鐵。在一些案例中，部件經過回火，在某些案例中則沒有。

在上述所描述的錨栓應用中，部件常常未經回火。只要經感應硬化的區域通過緊固接合處就可以接受。這個區域可能容易脆斷，但沒有關係，因為接合處材料內部不會脆斷。經硬化的點可以發揮功能來產生螺紋且因為接合處的錨栓部分全部經過透淬硬處理，所以沒有很大關聯性。

在一些少數情況下，汽車部件可能也會使用到退火、滲碳或軟氮化熱處理流程，但本文中提到的三種方式仍然是汽車扣件所採用的主流。不過就如前言中所提到的故事，設計師和熱處理廠商都清楚了解情況是很重要的。很多極度重要的事往往取決於是否把一些細節的事做對。