

鋼線斷線原因探討及分析(下)

張正熙

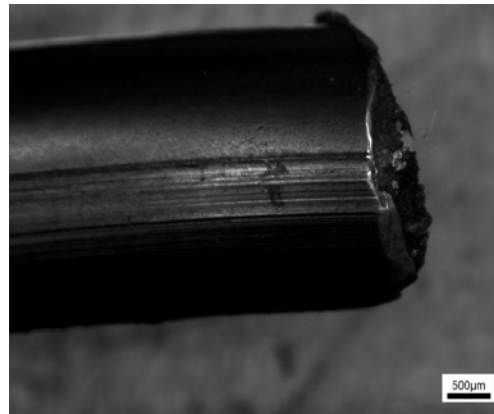
柒、客戶使用鋼線過程中的異常

我們常見的在客戶使用鋼線加工的過程中，所發生斷裂的異常，發生之原因主要取決於客戶的加工型態而定。目前，我們業界常見的鋼線再加工形式，大概有捲製彈簧、壓扁、絞線、五金零件沖壓成型、施加拉力、鋼線再伸線……等，說明如下。

鋼線在捲製成彈簧的過程中發生斷裂，通常會從彈簧外緣開始龜裂(如圖四十四)，如果持續開裂則最終有可能會引起斷線，而彈簧的內側發生龜裂的情況，則較少會發生。主要是一般在捲製彈簧時，外側會受到延伸加工，而內測則會受到壓縮的加工，因此，加工捲製彈簧斷裂，通常會發生在彈簧外側。捲製彈簧時發生斷裂，除了鋼線材質本身的問題外，客戶加工的問題也會造成斷線，其主要有二種情況：第一種情況是客戶捲製彈簧的過程中鋼線表面擦撞傷，另一種是客戶捲製彈簧外徑過小造成斷線。



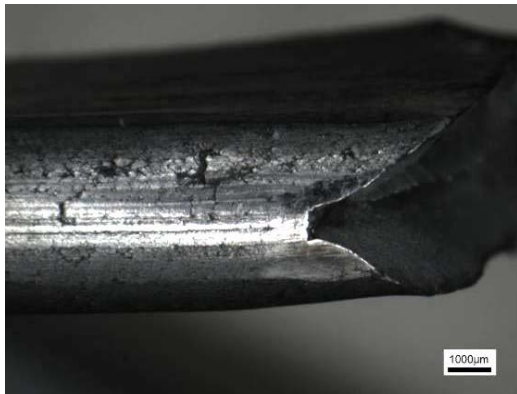
圖四十四 捲製彈簧表面龜裂



圖四十五 捲製彈簧時鋼線表面的刮痕

客戶捲製彈簧的過程中，鋼線表面擦撞傷造成表面裂紋，在捲製彈簧的過

程裂紋逐漸加深，最後就會導致斷線。這一類的斷線，我們可以在鋼線表面，明顯地發現在捲製彈簧過程中發生的擦撞傷痕跡(如圖四十五、圖四十六)，另一種則是彈簧內側的表面刮傷(如圖四十七)。

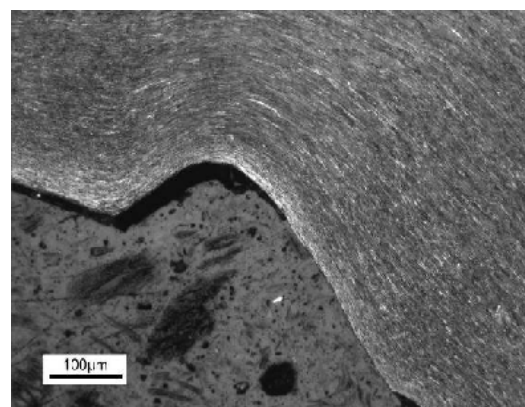
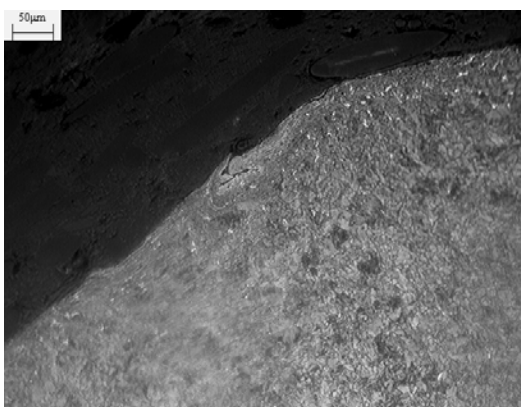


圖四十六 捲製彈簧的鋼線表面擦痕及裂紋



圖四十七 彈簧內側的表面刮傷

如果我們對斷裂樣本進行金相組織分析，就可以在試片的橫切面組織表面發現有裂紋及 Martensite skin 的組織存在(如圖四十八)。如果我們發現斷頭樣本，表面有這些情況，或是在金相組織中有這些情況，我們就可以清楚斷定，造成客戶使用鋼線捲製彈簧的過程，造成斷線的原因，是客戶在捲製彈簧的過程中，鋼線表面擦撞傷，或是捲製彈簧的過程潤滑不良，加工溫度過高，導致斷線。另一種捲製彈簧過程中發生斷裂的情況，是彈簧的內徑過小，導致捲製彈簧時，鋼線外徑加工度過大造成斷線。這種情況通常是很少見的，主要是彈簧的製造都是經過設計，彈簧內徑過小的情況正常來講，應該不常發生。

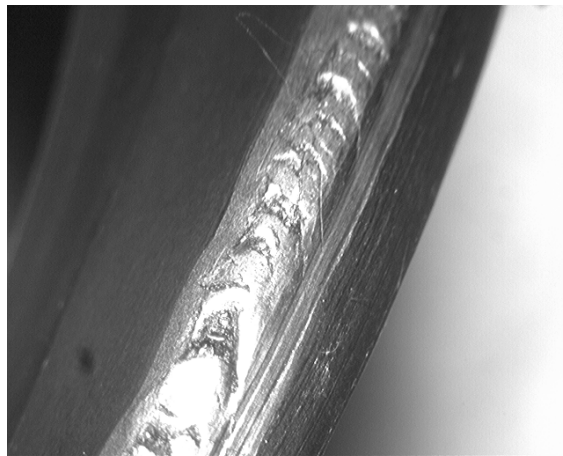


圖四十八 表層裂紋及 Martensite skin 組織 圖四十九 內外側纖維化組織不同

但如果在這種情況下發生的斷線，我們將斷線樣本，做進行金相組織分析時，就會發現在試片的縱切面組織中，鋼線外側和內側組織相比較，其纖維化的組織中，不同組織的間隙較內側組織小很多(如圖四十九)。

對鋼線進行壓扁加工，其加工的程度通常都遠比捲製彈簧來得高。尤其我們鋼線鋼纜業界，鋼線通常都是屬於高碳鋼線較多。高碳鋼線的組織通常是層狀的波來鐵，或是加上少部份的肥粒鐵組織。一般來講是不適於壓扁加工的，因為層狀的波來鐵組織，會在壓扁加工過程中，在層狀組織的層狀部份發生龜裂，而使得鋼線產生裂紋，並且進一步裂開最後導致斷線。鋼線如果要使用在壓扁加工，我們會建議使用球化的線材。

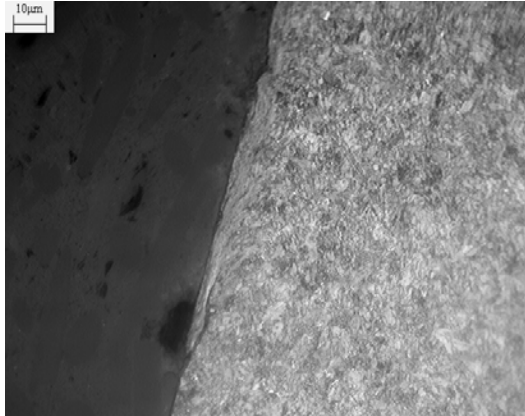
鋼線在壓扁加工過程中發生龜裂甚至斷裂，發生的原因通常有兩種，一種是在鋼線壓扁的過程中，可能是壓扁工作輓和鋼線潤滑不良，或是工作輓表面不平滑，致使鋼線表面擦傷產生擦痕及細裂紋(如圖五十)，在壓扁加工程中持續開裂，而發生龜裂甚至斷裂。這種情況我們



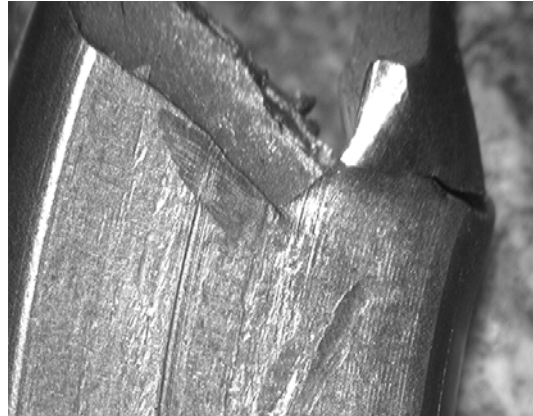
圖五十 壓扁加工過程擦痕

可以在被壓扁加工後的鋼線表面發現連續性的擦痕。另外也可以在金相組織試片的橫切面組織中，發現白色的 Martensite Skin 組織(如圖五十一)。另外一種情況是壓扁加工過程中，冷卻不良而產生高溫，導致使鋼線脆化，特別是高碳鋼因為加工中的線溫高，進行應變時效，鋼線易脆化。最後則是壓扁加工過度，加工度超過鋼線的加工限界，會使得鋼線因為加工應變硬化，而導致龜裂及斷裂(如圖

五十二)。

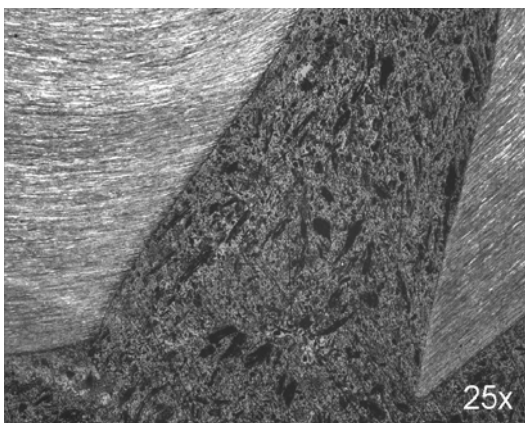


圖五十一 表層的 Martensite Skin

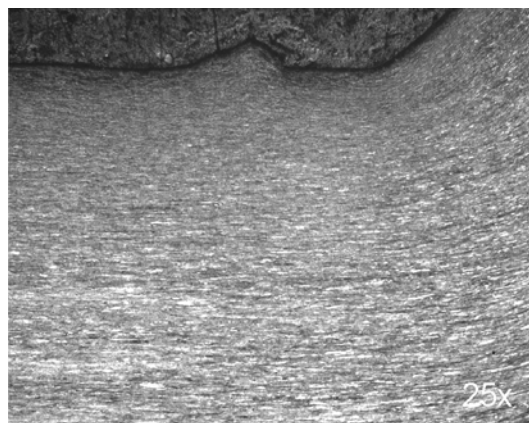


圖五十二 壓扁加工斷裂組織

造成鋼線在沖壓、彎角成型及其他加工時斷裂，常見的原因，除了在沖壓、彎角成型及其他加工時，發生鋼線表面擦撞傷外，另外，過度的加工也是造成鋼線龜裂及斷裂的原因，這部份大多是沖壓或是彎角成型的角度過大所造成，我們常見的彎角成型加工，有時候沖頭折彎 R 角過小也會導致鋼線斷線。這時候斷裂面會呈 45° 角(如圖五十三)，而我們在彎曲的斷裂處外側表面是看不出任何表面缺陷，這時在彎曲斷裂處內側面，有時會有明顯的壓痕，並且在彎曲處會有頸縮(Necking)的現象(如圖五十四)。



圖五十三 45° 角的斷裂面



圖五十四 彎曲處的頸縮(Necking)的現象

另外鋼線在沖壓、彎角成型及其他加工時，因為鋼線表面的擦撞傷導致的斷裂，這種情況我們可以在斷線樣本的表面，發現有明顯擦痕，另外在金相組織試片的橫切面組織，也可以發現白色的 Martensite Skin 組織存在。

在客戶使用鋼線過程中，最後一項常見的異常斷線，是客戶在成型彈簧或五金零件後剪斷鋼線時發生。由於刀具不夠銳利，鋼線剪不斷，造成二次剪切造成鋼線龜裂。這時鋼線的斷裂面通常會從鋼線中心劈開及龜裂(如圖五十五及五十六)。我們若由金相組織來檢視結果，會顯示出線材破裂之端面為剪切口，而由外觀來觀察，顯示此剪斷口端面呈現長短不一致之現象，這時就可以研判是剪切異常所造成之拉裂現象。



圖五十五 二次剪切造成龜裂



圖五十六 二次剪切造成龜裂

在電線電纜及通信的產業中，我們的鋼線產品常會被用來做為電纜線中的支撐及支持用材料，尤其是鍍鋅鋼線。電線電纜及通信產業，常用銅線、鋁線、光纖……等強度較低的材料，作為電力或是電訊傳導的介質，因此常會需要利用鋼線來作為支撐及支持用。鋼線如果被使用在這種用途，因為後續客戶對於鋼線的加工度很低，例如射出包覆或是絞製成鋼絞線。所以如果在客戶使用或是加工的過程中產生斷線，通常都會是我們鋼線本身品質或材質上的問題，而比較不會是客戶加工或是使用上的問題。我曾經見過偶而出現的異常，就是客戶供料不順問題，而發生被強力拉扯而導致斷線。通常發生這種情況，斷線的斷口是屬於塑性斷裂，斷口部份會頸縮的現象。

用來做為電線電纜及通信的產業中的支撐及支持用材料，大部份都是使用鍍鋅鋼線，因此就有可能因為鋼線在鍍鋅過程中，產生氫脆性問題，導致鋼線韌性的劣化，使得客戶在使用或是加工的過程中發生斷線的事故。另外也有客戶將鋼線再伸線加工，最常見的是水車的精抽業者。一般鋼線的再加工製品，在加工過程中斷裂，其發生異常情況及原因，基本上和我們伸線過程發生的異常是相同的。

捌、鋼線斷線異常的改善

我們對於鋼線斷線原因的探討及分析，我想最重要的目地，在於利用探討及分析，瞭解鋼線斷線原因，再提出改善對策及防止再次發生。鋼線斷線事件造成的影響可大可小，雖然我們不能保證我們的鋼線都不會出問題，不會讓客戶在加工或使用的過程中發生斷線，但是我們對於可能會造成公司龐大損失及損害的斷線事件，一定要特別小心謹慎地加以防止，不要讓它發生。

十幾年前曾聽業界的前輩談及，台灣有一家機車避震器的製造廠商，為日本機車大廠製造一款新開發機車的避震器，但在美國這款新機車在試車的過程中，因為避震器彈簧發生斷裂，而導致新開發的機車發生交通事故。因為這件交通事故在美國各大媒體的報導下，造成這家日本機車大廠除了須負擔巨額的意外事故賠償外，這款新機車的開發，也因而停頓最後被迫取消，這樣造成這家日本機車大廠極大的損失。聽說這家日本機車大廠有意向台灣這家避震器製造廠商，索取意外事故賠償費用和開發這款機車投入之開發經費損失的高額賠償。如果日本機車大廠真的要索賠，我想在我們以中小企業居多的業界，很少有廠家有辦法去承受這種巨額的賠償的壓力。

我們不能保證我們的鋼線都不會出問題，不會讓客戶在加工或使用的過程中斷線。但基本上對於可能會造成公司龐大損失及損害的斷線事件，其所使用的鋼線產品在品質上一定要特別注意及小心謹慎，避免發生斷線事件。而對於發生斷線的事件，會造成公司的損失及損害很小的鋼線產品，我們都可以比較不那麼重視，甚至可以為了節省成本，而降低對於品質的要求。例如我們電線電纜的客戶其使用於高壓電架空輸電線路中，做為高壓電纜線支撐用的鋼芯鋁絞線(Aluminum Conductors Steel-Reinforced; ACSR)所使用的鍍鋅鋼線。如果這款鍍鋅鋼線在高壓電纜線架設過程，或是使用的壽命年限內發生斷線，那依據電線電纜客戶的

講法，拉 1 條高壓電纜線要耗費數百萬元，如果是我們鍍鋅鋼線出問題，可能就會向我們公司求償。那公司可能就會為了這一次斷線事件，損失數百萬元，因此我們不得不小心及謹慎。

因為盤元線材品質異常造成的斷線事件，我們除了向盤元線材廠商提出客戶索賠及要求改善外，最主要是要評估這家盤元線材廠商的品質，是否可以達到我們的要求。如果品質無法達到我們的要求，最好不要使用於會造成公司龐大損失及損害的斷線事件的鋼線產品，真的不能用就不要勉強使用，因為有時候斷線事故，對公司所造成的損失及損害，不是我們可以事先預料得到的。這些品質比較不好的盤元線材，最好只運用在斷線事故對公司造成的損失很小的鋼線產品。例如使用於彈簧床墊製造的鋼線，製造中發生斷線，通常不會造成多大損失及損害。而在一般顧客在使用彈簧床墊的過程中，發生彈簧粒斷線也不會造成公司多大損失及損害，頂多賠顧客一張新的彈簧床墊。許多時候我們睡壞了一張彈簧床墊，大部份會認為是自己的問題，或是使用年限到了，很少會向製造廠商求償的。

對於在鋼線製造過程中的異常，也就是伸線製程中發生異常的斷線事件。我們一定要加強伸線製程管制，讓伸線製程在我們預期的管制下作業，也就是讓我們伸線製程的生產條件及作業，能夠合乎 SOP 的要求及規定。例如伸線眼模、眼模配置、伸線製程冷卻、伸線潤滑粉……等作業項目。另外一點要注意的事，就是對於會造成公司龐大損失及損害的斷線事件的鋼線產品，在製造過程中我們一定要特別的注意，加強製程的管制，甚至加強製程的檢驗。例如上述做為高壓電纜線支撐用的鋼芯鋁絞線(ACSR)，製造所用的鍍鋅鋼線，在品質上就要做特別的要求。如果鋼線表面或內部有傷痕及裂紋，可能會造成在後續的使用中發生斷線，因此我們最好能夠在出貨送交客戶前，對這些鋼線產品進行探傷檢驗，篩選出有傷痕及裂紋的鋼線產品，避免客戶在後續的使用中發生斷線。

對於客戶在鋼線使用或加工的過程中發生斷線事件，我們處理最重要的原則，就是積極及誠意。我們在處理這些斷線的過程中，如果能夠展現積極及誠意的態度，除了可以獲得客戶的正面評價外，也有助於我們瞭解斷線的真相及原因。因為客戶在鋼線使用或加工的過程中，其異常所導致的斷線事件，我們要讓客戶認同是他們使用或加工之過程中的異常所造成，通常是非常不容易，除了一定要有很明確的事證外，有時候甚至要動用到具公信力機構的檢驗報告。因此我們要

讓客戶承認是他們作業上的異常所造成，那麼在斷線樣本及事證的蒐集上，及客戶使用或加工過程中的資料，我們一定要蒐集完整，除了要展現專業能力外，也要顯示出積極及誠意的態度，讓客戶感覺到我們對於斷線事件的處理，是友善的，是和他們站在同一邊的，不是敵對的，也不是要推卸責任。

對於客戶在鋼線使用或加工的過程中發生斷線事件，如果是因為客戶使用或加工上的異常所造成，那麼我們處理這個斷線事件，其最主要的目的，應該就在於讓客戶能夠認清及瞭解，他們在鋼線使用或加工上的異常，而且能夠幫忙找出改善對策，協助客戶改善異常。這樣就可以讓客戶瞭解我們公司的鋼線產品，在品質上是優良的、沒有問題的，而且也可以讓客戶瞭解要如何正確地去使用我們的產品，提升他們自身的生產技術水準，最後就可以提高客戶對我們公司的信賴度、忠誠度及倚存度。

玖、結論

由於盤元線材的材質以及伸線技術原因，所引起伸線或是客戶使用鋼線加工之過程中發生的斷裂，在我們鋼線鋼纜業界的生產中，常見的原因大概可以分成兩大類，一種是斷裂源起源於盤元線材或鋼線的外表面，其產生原因可能在於盤元線材上，本身表面就存在較嚴重的線紋，而引起伸線時的斷裂，或是由於伸線生產技術不良，冷卻及潤滑不良所引起伸線後產生的龜裂，以及在鋼線外表面的皺折等。這一類型的斷裂，通常在實際的生產作業中是可以加以避免的，但如果是在鋼胚上存在有未消除的裂紋、皮下氣泡、非金屬夾雜物，或是熱軋所引起的翹皮以及皺折等表面缺陷，就比較不好消除，而且也會成為盤元線材表面的斷裂源。

另外一種類型是斷裂源是起源於盤元線材或是鋼線的內部，探討其產生原因，可能是盤元線材基體中的夾雜物、中心縮孔、中心麻田散鐵及網狀的碳化物，就比較和我們鋼線的伸線生產製程無關。這一類型的斷裂，直接與鋼鐵的冶煉技術相關，所以提高鋼鐵的冶煉技術，才是提高盤元線材品質的保證。這也是我們必須要找冶煉技術比較好的盤元線材供應廠商，才能保證我們使用的盤元線材的品質，也才能保證我們生產鋼線的品質。

每一件盤元線材或是鋼線的斷線分析，可能都有其相同的地方，但也有其不

同的地方。作為盤元線材或鋼線斷線的分析人員，我們的任務不僅只是要完成每一件盤元線材或鋼線斷線的分析，更重要的是要從巨觀上系統，掌握失效分析的方式，並且對於每一種盤元線材或鋼線，產生的斷裂原因要具備有一個巨觀的認識，然後再從巨觀到微觀逐一編排檢查。我們要針對盤元線材及鋼線的斷裂，制定了一套比較有系統的分析方法，並且能夠總結分析盤元線材及鋼線斷裂的方式，歸納出了盤元線材及鋼線在伸線或是加工的過程中，產生斷裂的真正原因。

（本文作者現任佳大世界股份有限公司主任）