

淬火回火滲碳扣件用 棒線品質判定

文/ 王維銘

一、前言

由煉鋼廠以盤元用小鋼胚加熱軋製成熱軋盤元或熱軋棒材，在經過粗抽精抽製程或精整製程後，成為扣件用原材料，而以棒線或盤元之型態提供使用，再加工後可生產螺絲、螺帽、鋼線等下游產品。經軋延後製成棒線或盤元依含碳量不同區分為高、中、低碳棒線或盤元，其中含碳量在0.45%以上者為高碳盤元，含碳量在0.22%~0.45%區間者為中碳盤元，含碳量在0.22%以下者為低碳盤元。依合金成分又可區分為一般碳鋼、低合金鋼、高合金鋼等。依中鋼的分類標準，直徑14mm以上者稱為棒鋼，14mm以下者稱為線材，二者合稱為棒線。當盤元原料加工生產螺絲時，容易碎裂，因此須經熱處理將材質軟化，使其金相組織成圓球化，能耐加工時的衝壓，經此處理之線材即為球化線材。

淬火回火滲碳扣件用之線材，通常為一般碳鋼材質，以冷抽的方式將其尺寸從原先的5.5-19 mm直徑縮小，再進行表面皮膜處理及熱處理將材質軟化後冷加工頭部尺寸、攻螺紋、打頭（成型）及軋牙、完成產品外形，並加以牙形的塑造。再以熱處理調整螺絲扣件的機械性能及表面處理，增加螺絲扣件的某些防蝕性能，如防鏽、美觀等。

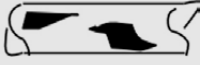
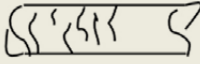
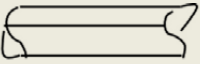
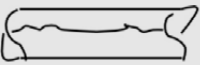
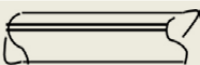
在經過粗抽精抽製程或精整製程及材質軟化或球化熱處理後，直接使用於扣件加工之原棒線或盤元材料品質，直接嚴重影響螺絲扣件的後續成形加工處理性質，不良的原棒線或盤元，於後續冷打加工時，發生冷打裂或螺絲扣件其他表面的不連續性品質缺陷。

二、鋼廠熱軋棒線或盤元的品質議題

鋼廠熱軋棒線或盤元是未經抽線加工處理之原始盤條，廠商購入時品質證明書主要包括以下幾個方面的參數：A：煉鋼廠、B：鋼種品名、C：尺寸規格、D：數量/重量、E：材質種類、F：爐號或批號、G：化學成份。品質證明書無法鑑別實際有關的盤元線材品質上的異常，常見的盤元線材的品質異常，包括盤元線材內部夾雜物、中心網狀碳化物以及中心縮孔……等金相組織上的缺陷，另一種則是盤元線材表面傷痕的缺陷。盤元線材在尚未進行伸線加工前進行的機械性質試驗，或是在伸線加工過程中，其可能發生的斷線現象。熱軋棒線或盤元線材表面傷痕型態如表1。

一般常見的盤元線材表面傷痕除了表1的種類外，盤元線材表面有時也會夾雜有碳化物的保溫材，通常是在鋼廠熱軋延盤元線材時捲入，這樣會造成盤元線材表面有網狀的雪明碳鐵存在，網狀的雪明碳鐵硬且脆，會造成我們在伸線時，鋼線表面產生裂紋，甚至抽伸加工時斷線，有時候盤元線材在尚未伸線前就發生脆性斷裂，這是由於盤元線材組織中存在高碳的白點金相組織所致。如果盤元線材組織中存在有高碳的麻田散鐵，則這種麻田散鐵組織的形成，大部份與盤元線材中的錳和鉻元素偏析有關。此外盤元線材組織中麻田散鐵的出現，和基地是為糙斑鐵組織（中波來鐵）、吐粒散鐵組織（細波來鐵）和少量變韌鐵組織的混合組織，也是斷裂的主要原因。

表1 熱軋棒線或盤元表面傷痕的缺陷型態

異常名稱	型態及特色	型態缺陷外觀
1. 縮孔	鋼材內部有縮孔殘留，因而軋成線材產生的裂痕。	
2. 結疤	表面剝缺的葉狀、喇叭狀傷痕。	
3. 橫裂	與軋軋方向成直角或斜交的橫裂狀痕。	
4. 鱗	表面較細的裂紋狀或鱗狀	
5. 刮痕	在軋軋方向刮擦、削成的凹凸狀傷痕。	
6. 折疊	沿軋軋方向折疊的傷痕。	
7. 氧化皮	氧化皮軋入表面。	
8. 蛀痕	切屑等異物壓著形成的傷痕，一部份脫落成凹狀。	
9. 耳痕	在熱軋軋方向連續溢出者。	
10. 擦痕	表面局部擦成的凹痕，常有金屬光輝。	
11. 鏽	紅鏽	



在伸線過程中，發生呈杯形斷口的斷線，其主要原因為軋延盤元線材的鋼胚中心偏析、縮孔、疏鬆……等缺陷所造成。或者是由於鋼胚內部存在V形裂縫及孔洞缺陷所造成，這種缺陷是由於鋼胚中的縮孔經熱軋、冷抽伸線所演變而成。盤元線材內部組織的異常，引起我們伸線途中發生斷裂，大概有夾雜物、中心縮孔、孔洞、麻田散鐵、雪明碳鐵、粗波來鐵過多……等異常。盤元線材組織中的夾雜物，主要是非金屬夾雜物。我們可以在製作金相組織試片時，經過研磨、拋光後，而在未經腐蝕的情況，先在顯微鏡下觀察其非金屬介在物的情況。對於盤元線材非金屬介在物含量的要求，一般通常稱之為清淨度。可以依據JIS G 0555 Microscopic testing method for the non-metallic inclusions in steel的規範標準進行檢驗。

三、淬火回火滲碳扣件用棒線或盤元的品質議題

煉鋼廠小鋼胚經加熱爐加熱，再經軋延成條線後，晶粒組織經軋延成為軋延方向排列(圖1)，熱軋條線冷卻時極易造成鋼材中碳化物呈現不規則的長條或片狀排列，不容易變形，不利於後續之冷打加工，此一現象會隨著鋼材中合金元素，例如，碳、錳、鉻、鉬等含量的增加而更為顯著。鋼廠熱軋盤元(As-rolled Coil)熱軋後冷卻時，雪明碳鐵造成之大片層狀波來鐵金相組織，如圖2顯示。

條線經退火後，其內部組織改變，例如，球化處理，消除線材加工內應力，增加其可鍛造性。將片狀波來鐵改變成球狀碳化物，因此造成硬度較低、塑性更好。(圖3)

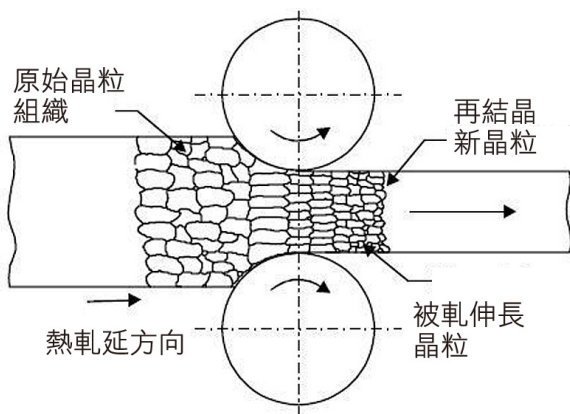


圖1 小鋼胚熱軋成條線後，晶粒組織成為軋延方向排列

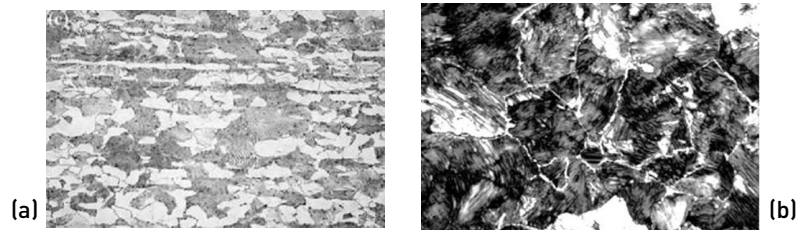


圖2 (a) 熱軋盤元(As-rolled Coil)之晶粒組織經軋延成為軋延方向排列組織
(b) 熱軋盤元(As-rolled Coil)冷卻時雪明碳鐵造成之大片層狀波來鐵金相組織



圖3 經退火後，組織改變，例如，球化處理將片狀波來鐵雪明碳鐵改變成球狀碳化物

依據美國工業扣件協會(IFI, Industrial Fastener Institute)之扣件線材標準IFI-140，棒線或盤元線材製程區分為：

1. 生抽線材：[R (鋼廠盤元) → PC (酸洗+披覆) → D (伸線抽線)](Only Pickling + Drawing (No Annealing))，原盤元線材粗抽→精抽過程間之熱處理狀況不明顯之原線材，盤元酸洗披覆後直接伸線抽線之生抽線。
2. [R]AIP線材：[R (鋼廠盤元) → PC (酸洗+披覆) → A (退火熱處理) → PC (酸洗+披覆) → D (伸線精抽)](Annealing for Final Drawing Only)，原盤元線徑接近精抽最終尺度，不粗伸粗抽，盤元線材熱處理酸洗披覆後，直接伸線精抽。線材熱處理僅具應力回復及軟化，熱處理退火線材球化狀況不明顯。
3. [S]AIP線材：[R (鋼廠盤元) → PC (酸洗+披覆) → SA (球化熱處理) → PC (酸洗+披覆) → D (伸線精抽)]。原盤元線徑接近精抽最終尺度，不粗伸粗抽，盤元線材球化熱處理酸洗披覆後，伸線精抽。其過程又可區分為：

(1) SR處理 (Rough Spheroidizing for Final Drawing only)：線材熱處理僅具應力回復及軟化，熱處理退火線材球化狀況不明顯。(碳化物球化效果約≤45% JIS G 3507-2線材球化狀況No.1)

(2) SH處理 (Half Spheroidizing for Final Drawing)：熱處理線材稍具球化 (碳化物球化效果約45%~75%)(JIS G 3507-2線材球化狀況No.1)，已顯現碳化物球化變化狀況但球化狀況不明顯。

(3) SA處理 (Nearly full Spheroidizing for Final Drawing)：熱處理線材稍具球化 (碳化物球化效果約≥75%)，碳化物球化變化狀況明顯。

4. SAIP線材：[R (鋼廠盤元) → PC (酸洗+披覆) → D (粗伸) → SA (球化熱處理) → PC (酸洗+披覆) → D (精伸精抽)]。其過程又可區分為：

(1) SR處理 (Rough Spheroidizing for Final Drawing Only)：線材熱處理僅具應力回復及軟化，熱處理退火線材球化狀況不明顯。(碳化物球化效果約≤45% JIS G 3507-2線材球化狀況No.1)



[2] SH處理 (Half Spheroidizing for Final Drawing) : 熱處理線材稍具球化 (碳化物球化效果約45%~75%)(JIS G 3507-2線材球化狀況No.1) , 已顯現碳化物球化變化狀況但球化狀況不明顯。

[3] SA處理 (Nearly Full Spheroidizing for Final Drawing) : 熱處理線材稍具球化 (碳化物球化效果約 $\geq 75\%$) , 碳化物球化變化狀況明顯。

5. **PSAIP線材 :** [R (鋼廠盤元) → A (退火熱處理) → PC (酸洗+披覆) → D (粗伸) → SA (球化熱處理) → PC (酸洗+披覆) → D (精伸精抽)]。原盤元線材為已具高強度硬度、高加工硬化特性、或高合金高硬化能線材, 盤元線材先實施應力回復及軟化熱處理避免粗抽初伸時線材劣化後, 再進行粗抽初伸球化及精伸精抽。(Nearly Full Spheroidizing for Final Drawing)

6. **PSASAIP線材 :** [R (鋼廠盤元) → PC (酸洗+披覆) → SA (球化熱處理) → PC (酸洗+披覆) → D (粗伸) → SA (球化熱處理) → PC (酸洗+披覆) → D (精伸精抽)]。原盤元線材為已具高強度硬度、高加工硬化特性、或高合金高硬化能線材, 盤元線材先實施球化熱處理避免粗抽初伸時線材劣化後, 再進行粗抽初伸球化及精伸精抽。(Nearly Full Spheroidizing for Final Drawing)

淬火回火滲碳扣件用之線材棒線或盤元, 主要以JIS G3507-1或IFI-140標準為材質成分範圍, 如表2。

表2 淬火回火滲碳扣件用線材棒線或盤元材質成分範圍

JIS G3507-1標準	C	Si	Mn	P	S	Al	B
SWRCH18A	0.15~0.20	0.10以下	0.60~0.90	0.030以下	0.035以下	0.02以上	—
SWRCH20A	0.18~0.23	0.10以下	0.30~0.60	0.030以下	0.035以下	0.02以上	—
SWRCH22A	0.18~0.23	0.10以下	0.70~1.00	0.030以下	0.035以下	0.02以上	—
IFI-140標準	C	Si	Mn	P	S	Al	B
IFI-1018	0.15~0.19	0.10以下	0.65~0.85	0.020以下	0.020以下	—	—
IFI-1022/A	0.18~0.21	Al-Killed (鋁淨)	0.80~1.00	0.020以下	0.020以下	—	—
IFI-1022/B	0.20~0.23	0.15~0.30 Si-Killed (矽淨)	0.90~1.10	0.020以下	0.020以下	—	—
IFI-10B21	0.19~0.23	—	0.80~1.10	0.020以下	0.020以下	—	0.0005以上

鋼廠熱軋盤元經酸洗、伸抽、退火、精抽、精整等製程後, 達到螺絲加工所需要的線材棒線或盤元直徑及鍛造加工成型性。淬火回火滲碳扣件用之線材棒線或盤元的機械性質標準規範如表3。

表3 一般淬火回火滲碳扣件用線材棒線或盤元的機械性質

鋼種材質		拉伸強度, N/mm ² (Tensile strength)	延伸率, % (Elongation)	硬度, (參考) Hardness, HRB
JIS G 3507-2	SAE/IFI			
SWCH 16A SWCH 18A	1016	370以上	≥ 55	85以下
	1018	370以上	≥ 60	
	IFI-1018	最高525 [AIP 76 ksi] 最高470 [SAIP 68 ksi]	≥ 60 ≥ 62	
SWCH 16K SWCH 18K	1016	410以上	≥ 55	86以下
	1018	410以上	≥ 55	
	IFI-1018	最高525 [AIP 76 ksi] 最高470 [SAIP 68 ksi]	≥ 60 ≥ 62	
SWCH 22A SWCH 22K	1022	440以上	≥ 55	88以下
	IFI-1022/A	最高558 [AIP 81 ksi] 最高496 [SAIP 72 ksi]	≥ 60 ≥ 62	
	IFI-1022/B	最高565 [AIP 82 ksi] 最高503 [SAIP 73 ksi]	≥ 60 ≥ 62	
IFI-10B21		最高580 [AIP 84 ksi] 最高517 [SAIP 75 ksi]	≥ 60 ≥ 62	88以下 82以下

依據IFI-140標準, 精抽、精整後提供螺絲扣件冷打成形加工之盤元線材代號包含:

1. 直接伸抽盤元線材: DD (Direct Drawn)
2. 熱處理後直接伸抽盤元棒線材: DFAR 或 DFAB (Direct Drawn from Annealed Rod or Bar)
3. 球化熱處理後直接伸抽盤元棒線材: DFSR 或 DFSB (Direct Drawn from Spheroidized Annealed Rod or Bar)
4. 直接伸抽至規格尺寸後球化熱處理之盤元棒線材: SAFS (Drawn to Size and Spheroidized)

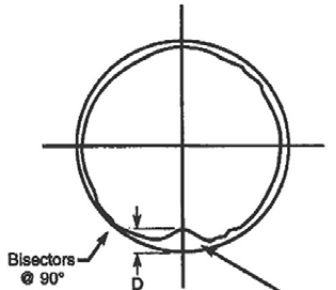
精抽、精整後提供螺絲扣件冷打成形加工之盤元線材尺寸精度如表5。

盤元、伸抽、退火、精抽、精整過程容易造成脫碳, 脫碳不良品質直接影響螺絲扣件之淬火回火滲碳處理, 淬火回火滲碳扣件用之線材棒線或盤元的脫碳標準如表4及圖4。



表4 淬火回火滲碳扣件用之線材棒線或盤元的脫碳標準

JIS G 3507-2		ASTM F2282 IFI-140	ISO 4954
肥粒鐵組織脫碳層深度 (Ferrite decarburization layer depth)	0.02 mm 以下	0.0254mm以下 (0.001 in.以下)	0.01 mm 以下
全脫碳層深度 (Total decarburization layer depth)	0.15 mm 以下	平均0.127 mm以下 (Average 0.005 in.以下) 最嚴重區0.20 mm以下 (Worst Location 0.008 in.以下)	0.10 mm 以下



在全平均影響脫碳深度
觀察區域中最嚴重位置

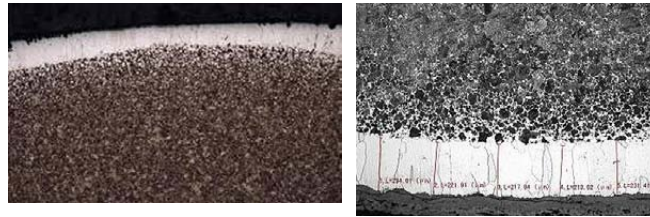


圖4 線材棒線或盤元的脫碳深度觀察區域
(Reference: IFI-140 & ASTM F2282)

表5 螺絲扣件冷打成形加工之盤元線材尺寸精度

JIS G 3507-2			IFI-140		
線 Ø 公厘	許容差	偏差	線 Ø 英吋(公厘)	許容差	偏差
3以下 $3 < \phi$	+0 -0.025	0.013 以下	$\phi < 0.076$ ($\phi < 1.930$)	± 0.0010 (± 0.025)	± 0.0010 (± 0.025)
3以上6以下 $3 \leq \phi < 6$	+0 -0.030	0.015 以下			
6以上10以下 $6 \leq \phi < 10$	+0 -0.036	0.018 以下	0.076~0.500 (1.930)~(12.7)	± 0.0015 (± 0.038)	± 0.0015 (± 0.038)

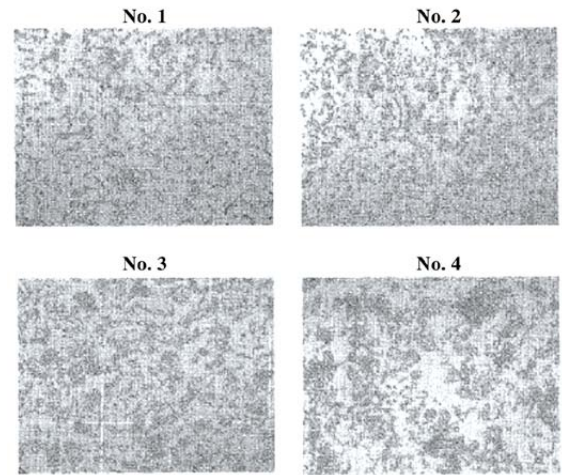


圖5 JIS G 3507-2球化組織級別判定對照圖

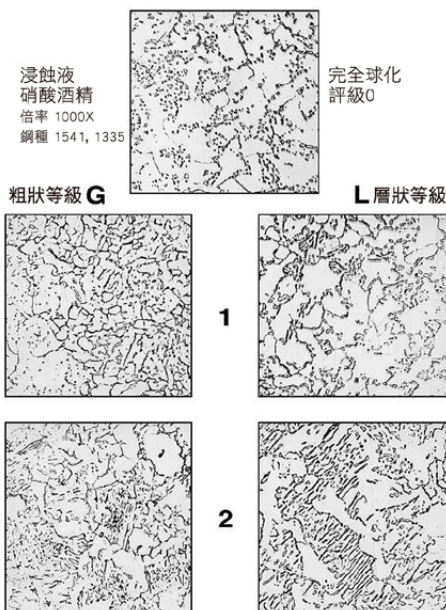


圖6 IFI-140 & ASTM F2282球化
組織級別標準對照

球化等級判定，可依據比較標準圖來判定。碳鋼球化後球化率評級標準通常以JIS G 3507-2標準(圖5)或IFI-140 & ASTM F2282標準(圖6)評定線材棒線盤元成品或半成品之球化等級。JIS G 3507-2標準主要以球狀碳化物之大小分佈區分為No.1至No.4四個等級。IFI-140 & ASTM F2282不僅單純以碳化物之大小分佈區分外，尚且對碳化物型態區分評級考量，IFI-140 & ASTM F2282先對碳化物型態區分為粒狀(Granular)或層狀(Lamellar)，先鑑別為G粒狀等級或L層狀等級，再以大小分佈個別各區分為1至5五個等級，因此IFI-140 & ASTM F2282球化率評級標準對球化率鑑別較為清楚，不僅限定應用於螺絲扣件原材料之線材棒線或盤元，更可廣泛應用於其他用途冷鍛成型加工件線材棒線之球化率評級應用。■

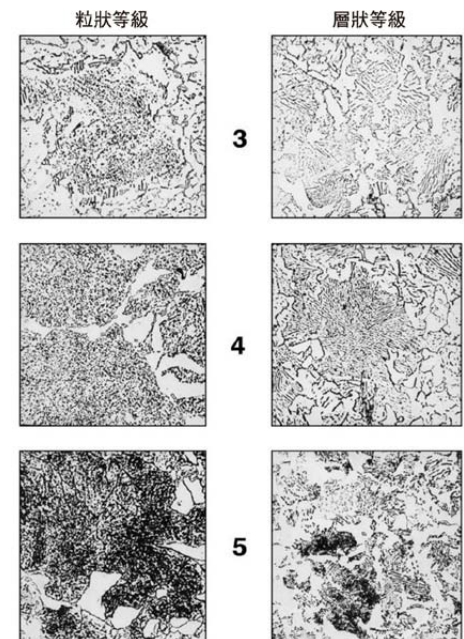


圖6 IFI-140 & ASTM F2282球化組
織級別標準對照(續)

