

扣件用鋼材球化退火試製評估

壹、前言

由於熱軋(As-rolled)條線盤元，碳化物呈現不規則的長條或片狀排列，不容易變形，如圖1，不利於後續之冷打(鍛)加工。因此需經由球化退火處理，將片狀波來鐵改變成球狀碳化物，使獲得良好的球化組織，如圖2，降低硬度及提升塑性，有利於扣件業者進行冷打(鍛)加工成形，並製造高品質等級的螺絲、螺帽及手工具等。

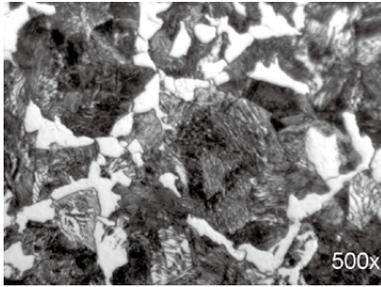


圖1 熱軋條線盤元粗波來鐵組織

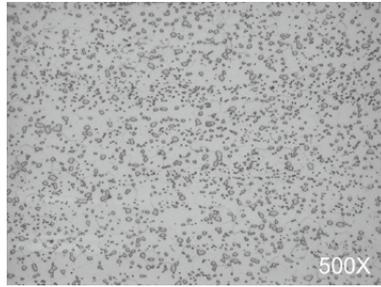


圖2 球化退火後的良好組織

貳、球化退火實驗之目的

小鋼胚經加熱爐加熱，再經軋延成條線後，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(鍛)加工，此一現象會隨著鋼材中合金元素，例如，碳、錳、鉻、鉑等含量的增加而更為顯著。

因此，若是新增或變更球化退火爐設計後，在條線球化處理時就必須針對熱軋條線盤元，進行一對一追蹤，以確保該新球化退火爐起用時，球化退火處理後的产品品質。

參、As-rolled取樣試驗與球化退火模式設計

本次一對一追蹤試驗，主要是針對條線高品質等級盤元，包括：(1)9T~12T高強度要求之螺絲(栓)扣件用料SCM435鋼種；(2)嚴厲冷打(鍛)套筒50BV30鋼種；(3)軸承鋼SUJ2鋼種，進行試驗，說明如下：

1.As-rolled取樣試驗

針對不同鋼種、尺寸的As-rolled條線盤元取試片後，放置球化爐內上、下位置，以不同球化退火模式退火後，進行一對一追蹤試驗，評估退火前後之硬度、脫碳層、金相組織及球化率。

其中As-rolled條線盤元取樣試驗結果，說明如下：

(1)SCM435鋼種：硬度HRC26.0~31.1，金相觀察主要為變韌鐵組織35~60%，最大脫碳0.02~0.04mm，平均脫碳0.01mm，如表1。

表1 SCM435鋼種 As-rolled鋼材試驗結果

鋼種	尺寸(mm)	硬度(HRC)		變韌鐵(%)	最大脫碳(mm)	平均脫碳(mm)
SCM435	5.5	31.1	NA	55~60	0.02	0.01
		27.2	NA	40~45	0.02	0.01
		26.0	NA	45~50	0.02	0.01
		28.9	NA	45~50	0.02	0.01
		26.4	NA	35~40	0.04	0.01
		29.8	NA	45~50	0.03	0.01

(2)50BV30鋼種：硬度HRB88.4~94.6，金相觀察主要為肥粒鐵組織58~70%，其次為粗波來鐵組織15~25%，最大脫碳0.10~0.14mm，平均脫碳0.05~0.07mm，如表2。

表2 50BV30鋼種As-rolled鋼材試驗結果

鋼種	尺寸(mm)	硬度(HRB)		肥粒鐵(%)	粗波來鐵(%)	最大脫碳(mm)	平均脫碳(mm)
50BV30	20	88.4	89.7	65~70	15~20	0.12	0.05
		90.1	90.5	65~70	18~22	0.12	0.05
		92.5	93.7	58~62	20~25	0.11	0.07
		93.9	94.1	60~65	20~25	0.10	0.05
		91.5	94.6	60~65	20~25	0.14	0.07
		91.7	93.2	63~67	18~22	0.11	0.06

(3)SUJ2鋼種：

硬度HRC35.4~40.4，金相觀察SUJ2軸承鋼As-rolled熱軋鋼材組織，中心雪明碳鐵十分明顯，其次為粗波來鐵組織15~35%，如圖3，最大脫碳及平均脫碳皆為0mm，如表3。

表3 SUJ2鋼種As-rolled鋼材試驗結果

鋼種	尺寸(mm)	硬度(HRC)		粗波來鐵(%)	最大脫碳(mm)	平均脫碳(mm)
SUJ2	10	39.7	40.4	15~20	0	0
		39.1	39.8	18~22	0	0
	20	36.3	36.5	30~35	0	0
		35.4	36.2	30~35	0	0



圖3 SUJ2軸材組織承鋼熱軋



2. 球化退火模式設計

不同成分之球化退火溫度設計，可參考Andrews(1)之迴歸式： $Ac1=723-10.7Mn-16.9Ni+29.1Si+16.9Cr+290As+6.38W$ ，及 $Ac3=910-203-15.2Ni+44.7Si+104V+31.5Mo+13.1W$ ，故 $Ac1$ 因錳(Mn)及鎳(Ni)提升而降低，隨矽(Si)及鉻(Cr)添加而升高；另 $Ac3$ 因碳(C)及Ni提升而降低，隨Si、釩(V)、Mo添加而升高。

由於進行試驗的條線純球化材，皆可利用合金鋼球化退火模式進行球化處理，經參考該合金鋼因添加Cr、Mo、V等合金成分，均為強碳化物形成元素(Carbide-Former Elements)，所形成之合金碳化物，在較高的球化退火溫度之

下，仍不易完全固溶，而能成為後續球化反應之理想核，獲得良好的球化組織，故一般採用一段式徐冷法球化退火模式，如圖4。

其中均溫溫度、均溫時間、緩冷速率、緩冷起始溫度及緩冷結束溫度為球化退火模式設計的主要項目，如表4所示。

代號	管制項目
t	A.均溫時間(hr.)
T	B.均溫溫度(°C)
CR1	C.冷卻速率(°C/hr.)
Ts	D.緩冷起始溫度(°C)
CR2	E.緩冷速率(°C/hr.)
Tf	F.緩冷結束溫度(°C)

圖4 一段式徐冷法球化退火模式

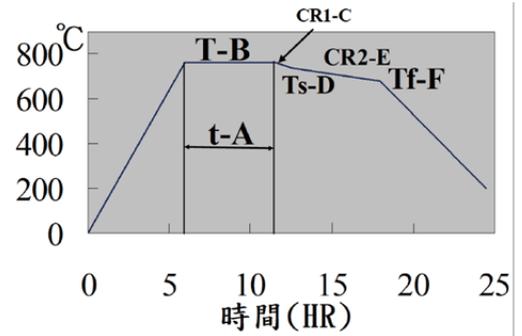


表4 一段式徐冷法球化退火模式管制項目

肆、試驗結果與討論

本次試驗製程為As-Rolled材→球化退火，故針對不同鋼種、尺寸的As-rolled條線盤元取試片後，放置球化爐內上、下位置，以不同退火模式球化退火後，進行一對一追蹤試驗，評估退火前後之硬度、脫碳層、金相組織及球化率。

1. 合金鋼球化退火模式與退火後試驗結果

(1)SCM435鋼種及50BV30鋼種球化退火模式：以T1、T2、T3球化退火模式進行球化退火試驗，如圖5~7，均溫溫度760~765°C、均溫時間4.5~5.5小時、冷卻速率20°C/hr.或不設限(盡速降溫)、緩冷起始溫度730~735°C、緩冷速率5.90~10°C/小時、緩冷結束溫度675~680°C。

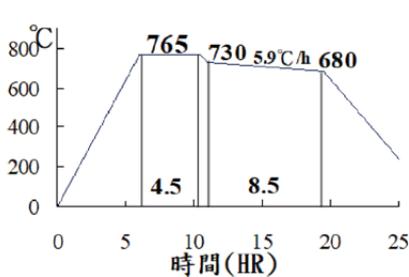


圖5 T1球化退火模式

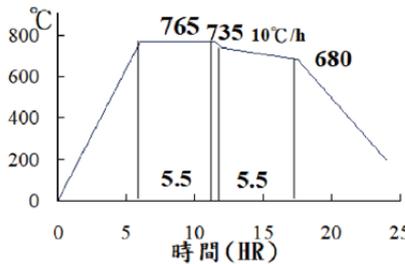


圖6 T2球化退火模式

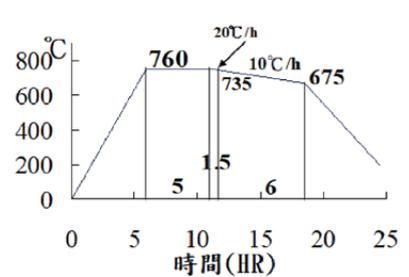


圖7 T3球化退火模式

(2)SCM435鋼種球化退火後試驗結果，如表5，無脫碳，球化率1~1.5級，球化退火後組織良好，硬度HRB76.1~77.7，因此，無論以何種球化退火模式退火後，皆符合扣件業者進行後續冷打加工之需求。

表5 SCM435鋼種以不同球化退火模式退火後試驗結果

球化退火模式	鋼種	尺寸(mm)	試片No.	爐內位置	樣本數	硬度(HRB)	球化率(級)	全脫碳(mm)	總脫碳(mm)
	SCM435	5.5	扣件業者需求			≤85	≤0.15	≤3	≤0.03
T1			1	上	1	76.2	1	0	0
			2	下	1	77.2	1	0	0
T2			3	上	1	77.6	1.5	0	0
			4	下	1	77.2	1	0	0
T3			7	上	1	76.1	1.5	0	0
			8	下	1	77.7	1.5	0	0

(3)50BV30鋼種球化退火後試驗結果，如表6，總脫碳0~0.08mm，球化率2~3級，球化退火後組織良好，硬度HRB71.7~74.6，因此，無論以何種球化退火模式退火後，皆符合扣件業者進行後續冷(鍛)打加工之需求。

表6 50BV30鋼種以不同球化退火模式退火後試驗結果

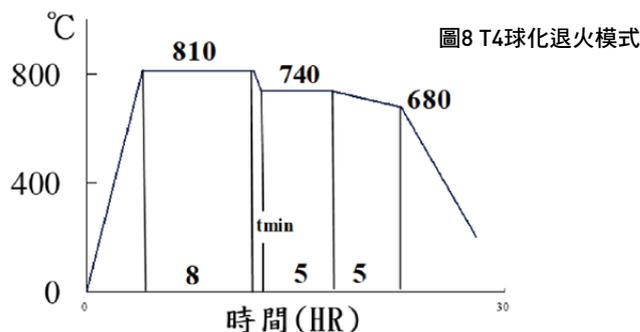
球化退火模式	鋼種	尺寸(mm)	爐內位置	樣本數	硬度(HRB)	球化率(級)	全脫碳(mm)	總脫碳(mm)
	50BV30	20	扣件業者需求			≤77	≤3	≤0.05
T1			上	1	71.9	2.5	0	0
			下	1	73.3	2	0	0
T2			上	1	71.7	3	0	0
			下	1	72.9	2.5	0	0
T3			上	1	74.2	3	0	0.02
			下	1	73.9	3	0	0.08



綜合上述，SCM435鋼種因盤元尺寸較小，As-rolled金相觀察主要為低溫變態之變韌鐵組織35~60%，故球化效果較佳，球化率1~1.5級。然而50BV30鋼種因盤元尺寸較大，故As-rolled金相觀察含有最難球化之粗波來鐵組織15~25%，故球化效果較差，球化率2~3級。雖然此二鋼種，無論使用T1、T2、T3球化退火模式，皆符合扣件業者進行後續冷打(鍛)加工之需求，但因50BV30鋼種球化效果較差，故建議球化處理時，採用緩冷速率較慢(5.9°C/小時)之T1球化退火模式，以提升球化退火品質及鋼料之成形性。

2.SUJ2軸承鋼球化退火模式與退火後試驗結果

(1)SUJ2軸承鋼球化退火模式：以T4球化退火模式進行球化退火試驗，如圖8，均溫溫度810°C、均溫時間8小時、冷卻至740°C再均溫5小時後緩冷5小時、緩冷結束溫度680°C。



(2)φ10mm SUJ2軸承鋼球化退火後試驗結果，如表7，無脫碳，球化率1級，為碳化物良好且均勻完全的球化退火組織[CS4CN1LC1：碳化物粒度(CS)、網狀碳化物(CN)、層狀碳化物(LC)]，硬度HRB86.6~87.6，因此，以T4球化退火模式退火後，可滿足業者製造軸承鋼珠之品質要求。

表7 φ10mm SUJ2軸承鋼以T4球化退火模式退火後試驗結果

球化退火模式	尺寸(mm)	爐內位置	樣本數	硬度(HRB)		球化率(級)	CS(級)	CN(級)	LC(級)	全脫碳(mm)	總脫碳(mm)
T4	10	軸承鋼珠需求			≤94		≤1.5	≤5	≤2	≤0.04	≤0.05
		上	1	86.6	87.1	1	4	1	1	0	0
		下	1	87.3	87.6	1	4	1	1	0	0

(3)φ20mm SUJ2軸承鋼球化退火後試驗結果，如表8，無脫碳，球化率1級，為碳化物良好且均勻完全的球化退火組織CS5CN2LC2，硬度HRB86.3~88.0，因此，以T4球化退火模式退火後，可滿足業者製造軸承鋼珠之品質要求。

表8 φ20mm SUJ2軸承鋼以T4球化退火模式退火後試驗結果

球化退火模式	尺寸(mm)	爐內位置	樣本數	硬度(HRB)		球化率(級)	CS(級)	CN(級)	LC(級)	全脫碳(mm)	總脫碳(mm)	
T4	20	軸承鋼珠需求			≤94		≤2	≤5	≤4	≤3	≤0.05	≤0.10
		上	1	86.3	86.9	1	5	2	2	0	0	
		下	1	87.6	88.0	1	5	2	2	0	0	

圖9 φ20mm SUJ2網狀組織CN2

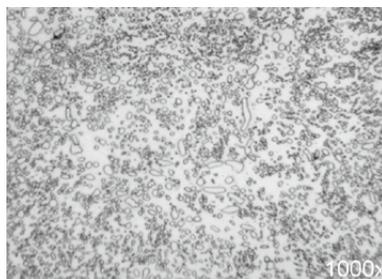
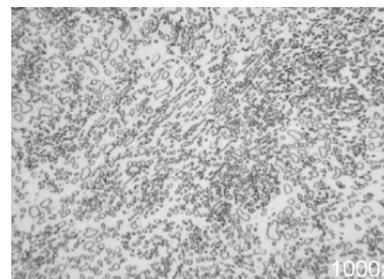


圖10 φ20mm SUJ2層狀組織LC2

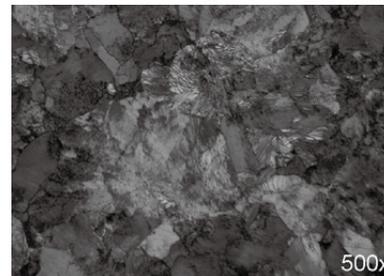


綜合上述，SUJ2軸承鋼以810°C高溫球化退火試驗結果：φ10mm為CS4CN1LC1，未發現網狀及層狀組織，效果佳；另φ20mm為CS5CN2LC2，仍有網狀組織，如圖9，及層狀組織，如圖10，主要為As-rolled盤元的中心雪明碳鐵十分明顯，如圖11，且含有高達30~35%最難球化的粗波來鐵組織造成，如圖12。

圖11 φ20mm SUJ2中心雪明碳鐵



圖12 φ20mm SUJ2含30~35%粗波來鐵



伍、結論

1.球化處理業者在新增或變更球化退火爐時，當務之急就是立即進行一對一追蹤試驗，鋼材以該球化退火模式退火後，是否能獲得良好的球化品質，並且符合後續加工業者之需求。

2.本次一對一追蹤試驗，主要是針對條線高品質等級鋼材，包括：(1)9T~12T高強度要求之螺絲(栓)扣件用料SCM435鋼種；(2)嚴厲冷打(鍛)套筒50BV30鋼種；(3)軸承鋼SUJ2鋼種，進行試驗，針對熱軋條線鋼材，一對一追蹤，以不同球化退火模式處理後的產品品質，以實際了解該新的球化退火爐退火後球化材是否皆能符合後續加工業者之品質需求。

