

# 扣件用球化退火實驗與應用

文/白光

**因**為熱軋(As-rolled)條鋼及線材盤元的粗波來鐵之比率較高，因此該種類的盤元經過後續球化退火時，很難獲得良好的球化組織。例如，含碳量較高的1070M鋼種，經過球化退火後仍殘留長條狀之波來鐵組織，如圖1球化率不佳的結果會導致鋼材在製造扣件的過程中，造成抽線斷線頻率或冷打(鍛)裂增加，如圖2。

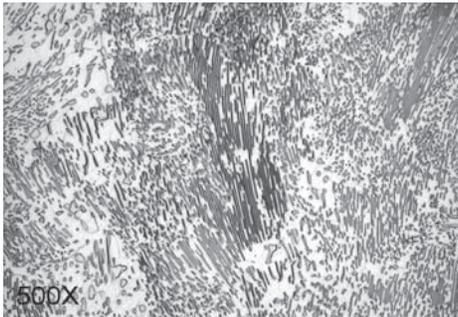


圖1 1070M球化退火後殘留波來鐵



圖2 凸緣螺帽冷打(鍛)裂外觀

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1所示可作為球化退火業者，進行最適化的球化退火模式實驗之參考及改善的依據。

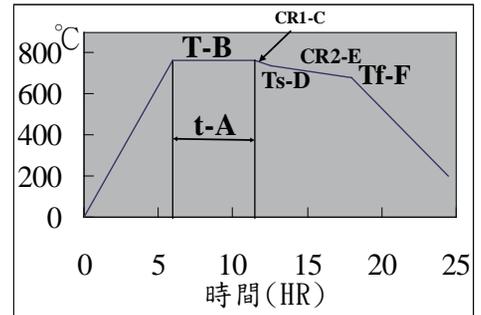


圖3 一段式徐冷法球化退火模式

因此本文深入淺出的介紹球化退火的目的與實驗設計，並且針對極不容易球化的1070M鋼種之條鋼及線材盤元，以不同的球化退火模式進行實驗，並評估比較，以尋找最適合的球化退火模式，進而降低抽線斷線頻率或扣件冷打(鍛)裂，俾使球化退火業者及扣件業者均能有所助益。

## 球化退火之目的

由於熱軋(As-Rolled)條鋼、線材盤元軋製及盤捲完成後，尤其是大尺寸的條鋼盤元，因為冷卻速率較慢，因此極易造成鋼材中碳化物呈現不規則的長條或片狀排列，堅固盤雜不容易變形，故不利於扣件業者進行後續之抽線或冷打(鍛)加工，且此現象會隨著鋼材中合金元素如碳(C)、錳(Mn)、矽(Si)、鉻(Cr)、鉬(Mo)等含量的增加而更為顯著。

為使鋼料易於搓揉成型，以利扣件業者進行冷打(鍛)加工製造高品級的螺絲、螺帽及手工具等，故針對冷打(鍛)加工嚴厲的鋼材需要進行球化退火，亦即將鋼料中的長條或片狀的碳化物組織轉變為均勻的球狀化顆粒組織並大幅降低硬度。

## 球化退火模式之設計

球化退火模式改善，主要為條線純球化材，製程為As-Rolled材→球化退火，不同成分之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 $Ac3=910-203\sqrt{C}-15.2Ni+44.7Si+104V+31.5Mo+13.1W$ ，故Ac1溫度因Mn及鎳(Ni)提升而降低，隨Si及Cr之添加而升高；另Ac3溫度則因C及Ni的提升而降低，隨Si、釩(V)、Mo之添加而升高。

條線純球化材，其球化退火模式主要分成兩大類，第一類為合金鋼球化退火模式，第二類為一般碳鋼球化退火模式，說明如後：

### 合金鋼球化退火模式

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，因此比較容易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，詳如圖3其中均溫溫度、均

表1 一段式徐冷法球化退火模式管制項目

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)

### 一般碳鋼球化退火模式

一般碳鋼因As-rolled組織以波來鐵為主，尤其是大尺寸的條鋼盤元，因鋼材完軋後盤捲成為盤元時之冷卻速率較慢，因此含有很多最難球化之粗波來鐵組織，球化退火後之球化品質較不易掌握，故一般採用反覆式球化退火模式，如圖4，將溫度加熱至Ac1~Ac3之間，藉著於Ac1直上、直下反覆的加熱冷卻，因而促進碳化物之球狀化。當加熱至Ac1以上時，鋼材中有部份的碳化物已經進行固溶，使層狀波來鐵斷裂，網狀碳化物凝集；當冷卻時，於Ac1直下的保持是使Ac1變態析出的雪明碳鐵附著成長於Ac1以上所球狀化的碳化物上，藉此反覆斷裂、析出，使鋼材內的組織，至終成為一群均勻的球狀碳化物，易於後續進行抽線及冷打(鍛)加工。

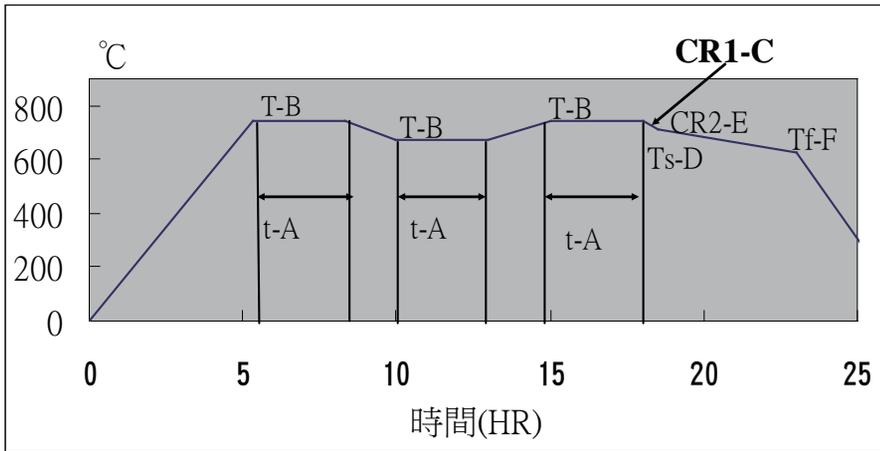


圖4 反覆式球化退火模式

### 球化退火實驗與應用

本次球化退火模式最適化實驗，主要是針對金相觀察各鋼種球化退火後碳化物分佈情況，在不增加球化退火模式及設備實際操作良好之情況下，進行條鋼及線材盤元之球化退火實驗，並於球化退火後取樣試驗球化率及硬度及追蹤球化產品品質，作為改善球化退火模式之依據。

以下針對不同鋼種、尺寸的條鋼及線材盤元，針對各項問題點，進行不同的球化退火實驗，並加以改善，說明如下：

表2 各類實驗鋼種、尺寸及球化退火模式

鋼種	尺寸(mm)	各項問題點改善
6140	16-32	改善球化退火後碳化物擴散差的問題
50BV30	33-42	減少均溫時間，增加球化退火鋼材的產量
8660V	5.5-30	減少均溫時間，增加球化退火鋼材的產量
9254	5.5-13	改善球化率，以利後續抽線及冷打(鍛)加工
SUJ2	5.5-15	使鋼材球化退火後，球化率更良好並維持更穩定的球化品質
	16-36	
1070M	20-36	改善球化退火後殘留波來鐵，避免後續抽線斷線
10B21	5.5-14	避免部份球化盤元，球化退火後發生球化率不佳
	17-34	改善球化退火後鋼材內的碳化物擴散差之情況

上述各項問題點皆因球化退火理念正確並且進行實驗，因此找出了最適合的球化退火模式而獲得改善。

由於篇幅有限，因此以下僅針對極難球化之鋼種進行不同的球化退火模式實驗，並加以說明如下：

#### 鋼種1070M球化退火實驗與改善

鋼種為1070M，因含碳量較高，成分接近共析點(Eutectoid point：碳含量0.8%)，故Ac1~Ac3溫度間距較一般中、低碳鋼窄小，因此球化退火溫度要落在該範圍內之難度相對提升，易造成同一爐內的條鋼及線材盤元，分別產生再生型波來鐵(Pearlite)與殘留層狀波來鐵等過與不及之球化組織。

由於條鋼盤元尺寸較大，介於 $\phi$ 20~36mm，且因熱軋條鋼盤元採用捲線(Pouring reel)堆疊方式，吹風冷卻效果不佳，冷卻速率緩慢而形成較多的粗波來鐵組織，如圖5，因其雪明碳鐵(Fe<sub>3</sub>C)間距較細波來鐵大，造成碳原子在高溫球化退火之擴散時間較長，故為最難球化的前組織。由球化退火後之金相組織研判主要為

殘留波來鐵，請參考圖1，易造成抽線斷線。

因此，改善構想為適度延長均溫時間或提升均溫溫度，在該鋼種不容易球化的情況下，寧可產生少量的再生波來鐵組織，如圖6，以避免殘留波來鐵造成抽線斷線次數增加。



圖5 1070M 26mm條鋼盤元組織

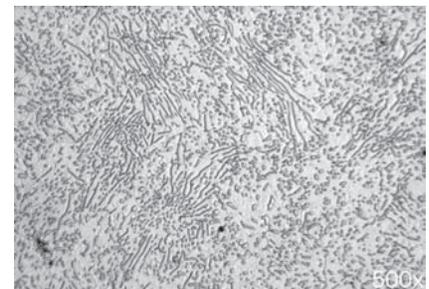


圖6 1070M 26mm再生波來鐵

故將球化退火模式由T001改為T002，如圖7、8，將745°C之均溫時間延長2小時(1.5小時→3.5小時)，同時再提升之後的均溫溫度及時間，將670°C(1.5小時)提升為690°C(2.5小時)，及740°C(2.5小時)提升為745°C(4小時)，另將緩冷時間由13小時(溫度由725°C降至660°C)，降為10小時(溫度由745°C降至680°C)。

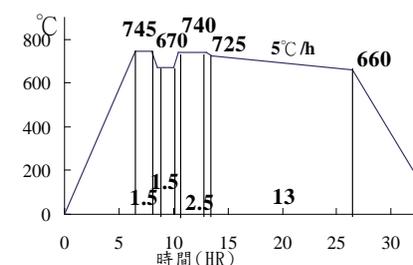


圖7 T001球化退火模式

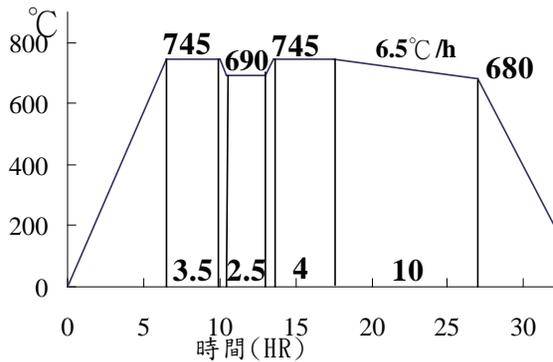


圖8 T002球化退火模式

## 球化退火實驗結果與應用

球化退火後，經取樣試驗結果如表3，說明如下：

- (1) T001球化率平均為2.6級，T002球化率平均為2.5級。
- (2) T001硬度平均為HRB 82.5，T002硬度平均為HRB81.4。

綜合上述，1070M鋼種，改善後以T002球化退火模式退火後，條鋼盤元取樣試驗結果，雖然球化率平均2.5級與T001球化退火模式退火後鋼材的球化率平均2.6級相近，但因球化退火後組織由殘留波來鐵轉換為少量的再生波來鐵組織，因此硬度較低，且變異小，球化退火後品質較穩定。

球化退火模式改善後，條鋼盤元球化退火後，經扣件業者進行後續抽線加工，斷線次數明顯減少，品質大幅改善。

## 結論

適時檢討球化退火模式，以提升條鋼及線材盤元之球化品質，實為球化退火業者當務之急。

純球化材球化退火模式，可分成兩大類，包括：第一類為合金鋼之球化退火模式，第二類為一般碳鋼之球化退火模式。

1070M鋼種因球化退火後殘留波來鐵造成抽線斷線，故研擬對策為調整球化退火模式，以避免該組織之存在，經延長745°C均溫時間(1.5→3.5小時)，並提升均溫溫度740°C(2.5小時)→745°C(4小時)，已大幅改善該鋼種球化退火後殘留波來鐵造成抽線斷線之問題。

由於波來鐵組織中，球化的難易度為細波來鐵最佳，而粗波來鐵最差。因此，長期方向應朝低溫軋延細化晶粒，及加強熱軋條鋼盤元之冷卻能力改善球化前組織著手，例如：條鋼盤元完軋盤捲後，立即由鼓風機(Blower)吹風，使盤捲溫度迅速下降至Ac1變態點以下，以減少高溫變態之粗波來鐵比率，並使波來鐵晶粒較細緻，且均勻分佈，則有利於後續球化退火後獲得良好的球化組織。

## 參考資料：

K.W. Andrews, D.Sc.: Journal of The Iron and Steel Institute, July 1965, P724~P725。

表3 鋼種為1070M條鋼盤元球化退火後試驗分析

球化退火模式	尺寸 (mm)	硬度(HRB)				球化率(級)			
		樣本	平均值	最大值	最小值	樣本	平均值	最大值	最小值
改善前	20-36	15	82.5	89.6	79.0	20	2.6	4	1.5
改善後		8	81.4	85.9	78.2	8	2.5	5	1.5

**FASTENER**  
WORLD

Tel: 06-295 4000  
sales@fastener-world.com.tw

加入好友

✓ 加入滙達官方帳號，立即獲知即時發布訊息!!

✓ 最新產業動態，最熱門展會資訊，  
讓您掌握第一手資訊，搶得先機!!

✓ 每月電子報發送，定時更新業界最新資訊!!



跟我們Line  
在一起



**Fastener World**