

低碳鋼盤元線材球化率檢測方法之探討

A Study of the Measurement Method of Spheroidizing Rate on Coil of Low Carbon Steel

黃煒盛*、楊玉森**、傅兆章**、黃柏禎**

Wesley Huang*, Yu-Sen Yang**, Tsow-Chang Fu**, Bo-ZhenHuang

摘要

本研究主要探討低碳鋼盤元線材球化率檢測方法及球化退火製程與球化率的關係。本研究以兩種方式進行球化率之判定，第一種是以金相照片與 JIS 標準進行比對第二種是以 SEM 照片經電腦程式自動化檢測雪明碳鐵的長寬比判定球化率。實驗結果顯示 SEM 照片經電腦程式自動化檢測方式較 JIS 金相圖片比對具更高的檢測效率及準確度。在球化率製程條件方面，AISI 1022 盤元線材在溫度 715°C 持溫三小時，接著在 700°C 持溫 4.5 小時，並以急速冷卻方式降至 20°C，其球化率經金相照片比對為一級，電腦自動化檢測方式為 99.58%。

關鍵詞：盤元線材、球化率、低碳鋼

Abstract

This paper presents the measurement methods of spheroidizing rate on coil of low carbon steel and the relationship between heat treatment process and spheroidizing rate. The classification of spheroidizing rate is approached by two ways. One is to compare the metallographic with JIS G3539 Standards manually; the other is to calculate the length-width ratio in a SEM metallographic by a computer program which carries on the image recognizing automatically. This method has more efficiency and accuracy than comparing the metallographic with JIS Standards manually. This paper discusses the efficiency and accuracy about the two measurement methods. In the relationship between heat treatment process and spheroidizing rate, the degree of spheroidizing was No.1 by JIS Standards comparing method and the spheroidizing rate was 99.58% by computer program calculation automatically under the tempering process. The AISI 1022 coil was heated from 20°C to 715°C for 3 hours, then kept the temperature on 700°C for 4.5 hours, and cooled the coil to 20°C finally.

Keywords: Coil, spheroidizing rate, low carbon steel

* 國立高雄第一科技大學工程科技研究所

** 國立高雄第一科技大學機械與自動化系

通訊作者：黃煒盛，E-mail: wasener@gmail.com，聯絡電話：(07) 6011000 轉 2231

熱處理相關製程單位：申成興業有限公司

摘要

本研究主要探討低碳鋼盤元線材球化率檢測方法及球化退火製程與球化率的關係。本研究以兩種方式進行球化率之判定，第一種是以金相照片與 JIS 標準進行比對第二種是以 SEM 照片經電腦程式自動化檢測雪明碳鐵的長寬比判定球化率。實驗結果顯示 SEM 照片經電腦程式自動化檢測方式較 JIS 金相圖片比對具更高的檢測效率及準確度。在球化率製程條件方面，AISI 1022 盤元線材在溫度 715°C 持溫三小時，接著在 700°C 持溫 4.5 小時，並以急速冷卻方式降至 20°C，其球化率經金相照片比對為一級，電腦自動化檢測方式為 99.58%。

關鍵詞：盤元線材、球化率、低碳鋼

1. 前言

低碳鋼盤元線材為生產螺絲螺帽之生產素材。本研究首先對低碳鋼 1022 的成份及熱處理進行介紹；接著說明球化退火的意義及目的；之後對本次研究如何架構及研究方法進行說明，並定出流程圖。利用光學式顯微鏡與 SEM 電子顯微鏡進行觀察低碳鋼在不同熱處理製程下之球化程度，研究結果則以光學式顯微金相圖觀察及

SEM 金相圖兩種方式呈現出來，最後以兩種方式分別進行 JIS 照片比對與自動化檢測，並提出結論。

1.1 低碳鋼 ASTM 1022 之成份

以一般低碳鋼 ASTM 1022 之成份，見 Table.1⁽¹⁾：

Table.1 ASTM 1022 成分(單位)(%)

C	Si	Mn	P	S
0.18~0.23	0.10	0.70~1.00	0.030	0.035

1.2 球化退火

球化退火，是將初析的雪明碳鐵球狀化的退火方法，使初析的雪明碳鐵，在淬火之前，變成球粒，並埋於肥粒鐵(Ferrite)中以使材料能具有極佳之延性。在正常組織之波來鐵內雪明碳鐵成薄片狀，過共析鋼中初析雪明碳鐵則不論其為初析或共析皆為球狀。鐵成網狀(Net-work)，球化後之雪明碳而且皆埋於肥粒鐵內，此組織謂之粒狀波來鐵(Globular Pearlite)，又雪明碳鐵經球化者為球狀雪明碳鐵⁽²⁾(Spheroidizing Of Cementite)，Fig.1 為放大 500 倍之 ASTM1022 低碳鋼之球化組織。Fig.2 為第二次處理放大 1000 倍之球化組織，圖中於晶界上之球狀為初析雪明碳鐵，於晶界內之球狀為共析之雪明碳鐵。

1.2.1 球化退火的目的

低碳鋼線材球化退火之目的為：

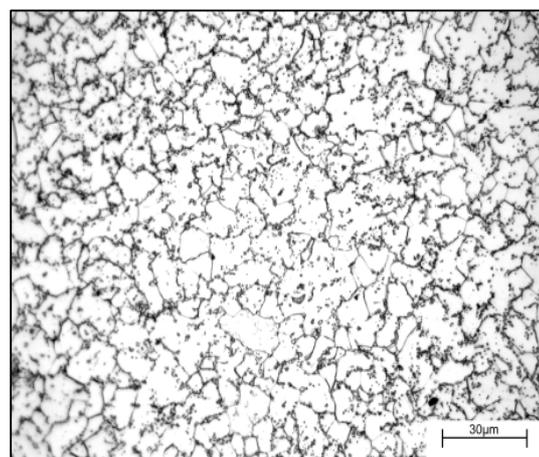


Fig.1 放大 500 倍之 ASTM1022 低碳鋼之球化組織

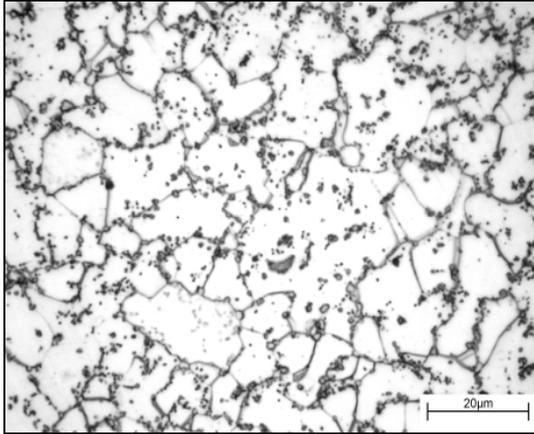


Fig.2 放大 1000 倍 ASTM1022 低碳鋼之球化組織

- (1)提高線材成形性—由於低碳盤元鋼線材用於螺絲成形，在打頭部份會形成極大之塑性變形，因此須應用球化退火達到提高延性之訴求。
- (2)防止成形脆斷—低碳鋼線材經由球化退火，將初析或共析之雪明碳鐵球化，避免在螺絲成形時，因過大之成形剪應力，沿波來鐵內較硬之條狀雪明碳鐵延伸碎裂，造成成形脆斷之結果。

1.2.2 球狀化退火方法

球狀化退火有許許多多的方法，這要依據退火前碳化物的形狀、大小、冷間加工的內容、目的來決定⁽³⁾。如 Fig.3，其方法有：

- (1) Fig.3(a) 的方法是以接近 A1 變態點 (攝氏 650~700 度) 的溫度。
- (2) Fig.3(b) 的方法是以稍高或稍低於 A1 變態點的溫度，重複加熱冷卻後徐冷的方法。
- (3) Fig.3(c) 的方法，是以 A3 或 Acm 變態點以上的溫度加熱，使碳化物固溶後，在以能防止網眼狀組織的適當速度冷卻，(爐冷或空冷)之後，以 Fig.3(a) 或 Fig.3(b) 的方法冷卻使之球狀化，此方法可以得到微

細，而且分散良好的球狀化組織。

(4)循環退火

Fig.3(d) 是滲碳鋼材的循環退火處理條件。循環退火 (Cycle Annealing)，是指從沃斯田鐵化溫度降至約攝氏 600 度等溫爐約 5 分鐘，再於所定時間裡等溫保持，之後再空冷。

3.實驗步驟與方法

3.1 實驗步驟

本研究使用低碳鋼盤元線材 (ASTM 1022) 之伸線製程如 Fig.4 所示，由盤元及抽線眼模進料開始，經過粗伸及球化退火，接著進行表面處理動作—酸洗、水洗、草酸中和、磷酸鹽皮膜、水洗、水洗中和、潤滑及烘乾，最後經過精伸與包裝。

球化退火製程及檢測步驟如下：

- (1) 在球化退火過程，由經驗規劃出六個製程，如 Fig.5，每個製程兩件試片，即十二根線材。
- (2) 對十二根線材進行金相切割及鑲埋，鑲埋的材料為導電樹脂。
- (3) 對所完成之試片進行研磨及拋光。
- (4) 對試片進行腐蝕作業。
- (5) 腐蝕後之試片即可使用光學式顯微鏡及 SEM 電子式顯微鏡做觀察。
- (6) 利用 JIS 圖片比對，或是 SEM 自動化球化率判斷程式進行球化率之探討。

3.2 球化率檢測方式

球化率的檢測在本研究中以兩項檢測為主。一是以 400 倍之光學顯微鏡拍攝之金相圖進行圖片比對，另一項是以 SEM 拍攝 2500 倍金相圖，進行影像辨識及自動化檢測，計算其球化率。

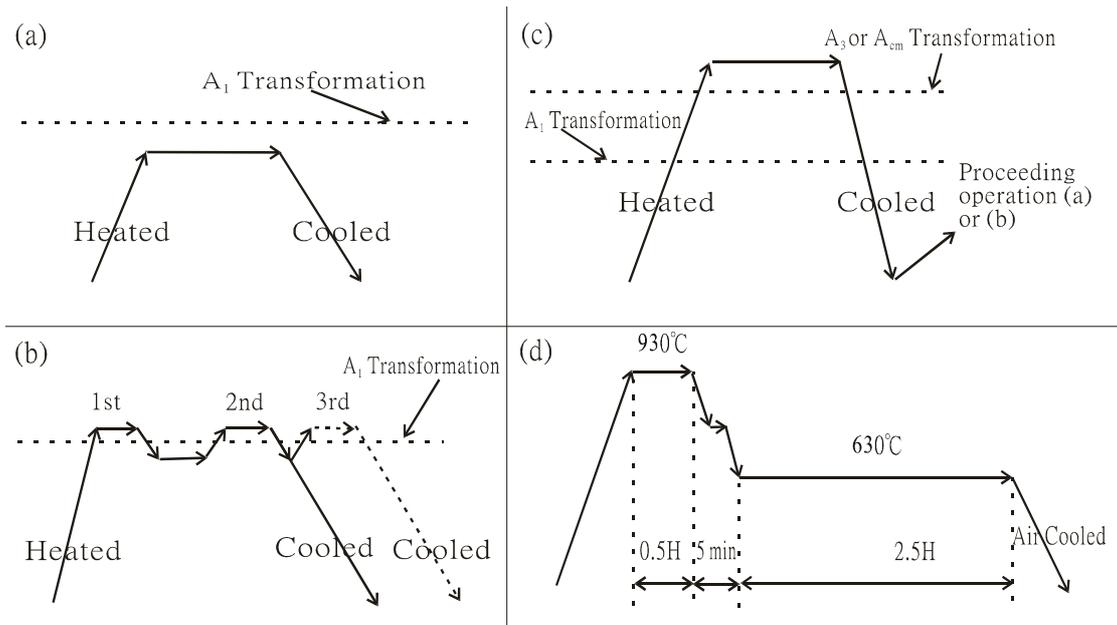


Fig.3 一般鋼材球化退火方法

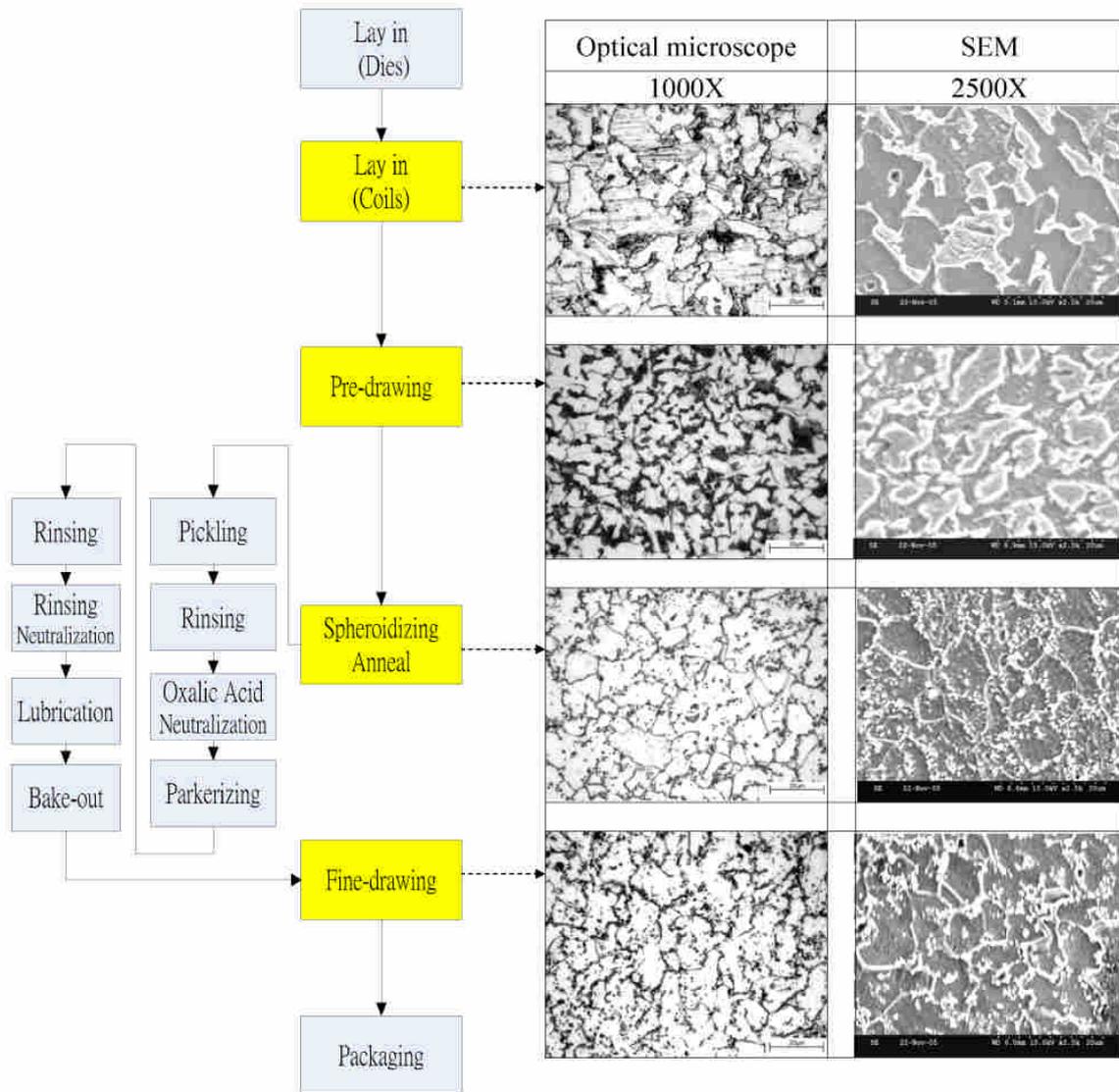


Fig.4 整體製程球化率金相觀察

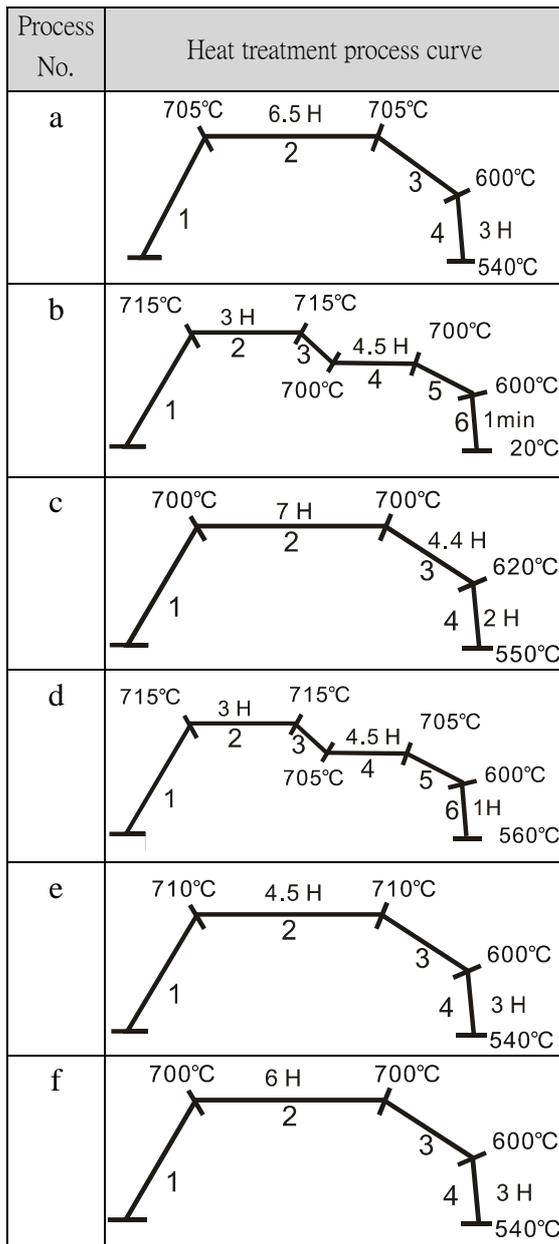


Fig.5 六個球化退火製程曲線

3.3 球化率判定方式

本研究之研究架構如 Fig.6。首先定義名詞，接著進行球化率判定分類，判定的方式為圖片比對以及自動化檢測方式。

(1) 圖片比對(Approach.1): 以 JIS G3539 為標準，每件樣材取五個 400 倍金相圖，對照標準圖片，標準圖片如第 7 圖，判定分屬第幾類。六個製

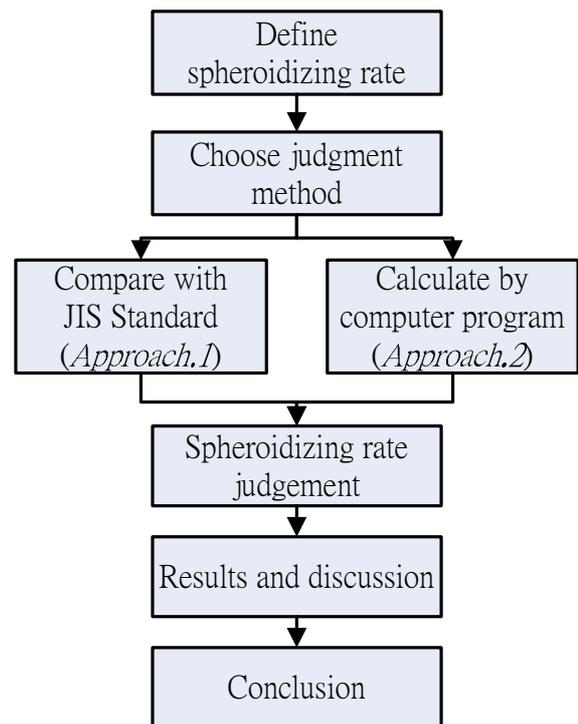


Fig.6 研究架構

程分別進行兩件試片，將每一試片拍攝金相圖時，依中間、上、下、左、右五個點進行拍攝五張，再將金相圖依序放置，位置一至位置五，並在金相圖旁依 JIS 認定方式評定球化等級，並將球化等級之平均值置於表格最下方。

(2) 自動化檢測方式(Approach.2): 以程式進行自動化檢測，同樣以六個製程分別取兩件試片，進行 SEM 拍攝，其判別方式以 2500 倍放大倍率選取符合標準之樣本，其計算方式如 Eqn.1:

$$S.R. = \frac{N_p}{N_{Total}} \times 100\% \quad (\text{Eqn.1})$$

其中 $S.R.$ 為球化率， N_p 為符合長寬比小於五之樣本數， N_{Total} 為取樣總量，其取樣標準以影像辨識為主，SEM 圖片中，如 Fig.8，其白色球化物周圍之顏色灰度值及點數大

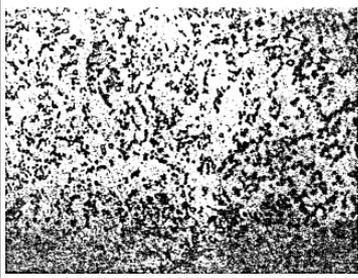
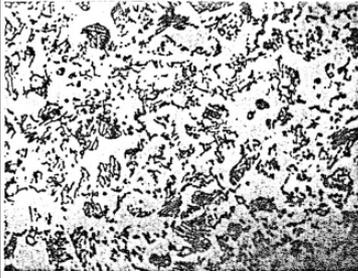
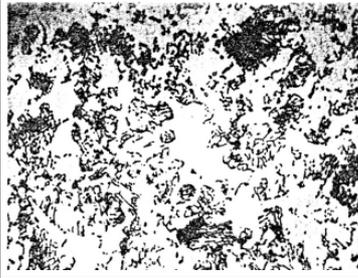
Degree of Spheroidizing Structure	The optical microscope metallographic
No.1	
No.2	
No.3	
No.4	

Fig.7 JIS G3539 圖像比對圖例⁽⁴⁾

小超過設定，即自動取為取樣樣本。

4.實驗結果

Fig.4 為製程 f 整體製程的光學式顯微鏡金相圖與 SEM 金相圖，可明顯看出球化處理前後製程，初析及共析之雪明碳鐵球化之情形，本研究針對球化退火這一段製程，規劃 6 個製程，以照片比對及自動化檢測，探討其方

法的效率及優缺點。

4.1 圖片比對—JIS 判定

Table.2 為六個球化退火製程之製程曲線參考、光學式顯微鏡金相圖與照片比對結果。其中 JIS 照片比對為同一試片，依中間、上、下、左、右五個點進行拍攝五張金相圖，根據 Fig.7 之 JIS 標準圖片進行比對，再將結果平均，第 2 表中之照片平均值為兩件試片之平均球化率。以 Table.2 中製程 b 為例，經 JIS 照片比對結果，其試片一之球化評定分別為 1、1、2、2、1，平均為 1.4；試片二之球化評定分別為 1、1、2、1，平均為 1.2；二個試片總和平均為 1.3。

照片比對結果以製程 c 及製程 f 球化評定為 1.9，其球化程度較差；製程 b、d、e 的平均值為 1.5 或 1.3，其球化程度較佳。

4.2 自動化檢測—SEM 金相圖

SEM 金相圖拍攝結果如 Fig.8，為製程 a 之 SEM 金相圖，圖中白色外圍區域為低碳鋼的晶界，白色球狀物為其初析或共析之雪明碳鐵之球化情形；可清楚觀察到其晶界相當明顯，而且碳化物數量較少。

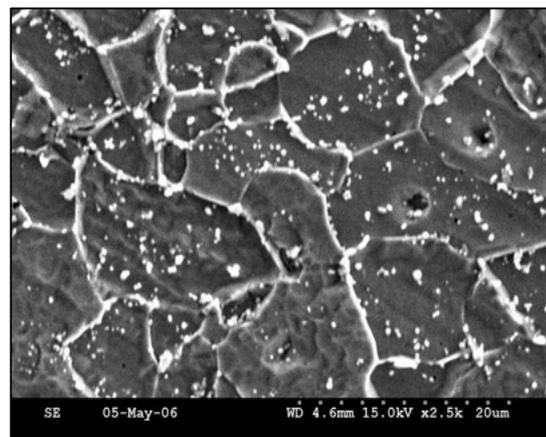


Fig.8 SEM 所拍攝之金相圖(製程 a)

Table.2 六個球化退火製程曲線、金相圖、照片比對平均值與自動檢測平均值

Process No.	Heat treatment process curve	The optical microscope metallographic	Approach.1	Approach.2 (%)
a			1.6	99.45141
b			1.3	99.20203
c			1.9	99.47212
d			1.5	99.41052
e			1.3	99.50311
f			1.9	99.44105

如 Table.2 所示，依 SEM 2500 倍金相圖，利用影像辨識原理，以 5:1 長寬比及 Eqn.1 進行自動化檢測計算，發現球化率皆達 99% 以上。其中以製程 b 球化率較高，但其球化率平均值亦有 99.58 % 之多。

5. 討論

5.1 圖片比對—JIS 認定

根據每個製程的溫度曲線圖來觀察，可以發現溫度的高低，似乎是影響球化程度的主要原因之一；製程 b、d、e 的球化溫度達到 715°C 與 710°C，所以球化等級較佳，為 1.3 與 1.5；而製程 c 及製程 f 之球化溫度僅為 700°C，因此球化等級較差，為 1.9。製程 a 的球化等級較有落差，依前面所講，製程 a 的持溫溫度有 705°C，球化等級應較佳，試品一等級較差，為 1.8，但試品二等級較佳，為 1.4，很有可能是 JIS 相片比對判別上的誤差，或其他原因所致。

5.2 自動化檢測—SEM 金相圖

自動化檢測部分，係由程式進行影像辨識，數據可以有量化之效果，可以精確掌握球化之程度。由第 2 表結果可以得知，其結果球化率皆大於 99%。以製程 b 為例，如 Fig.9，可以觀察得知圖片左上角之初析網狀雪明碳鐵，其球化效果並不好；在進行辨識時，需將灰階值提高，也就是將圖片每一圖素 K 值（黑色）提升，以去除雜質，如 Fig.10。

Fig.10 可以看到左上角經 K 值增加過濾後，網狀雪明碳鐵部分已被消除，可以減少計算時之誤差，Fig.10 經計算後，以最小 5 圖素方圓為最小取

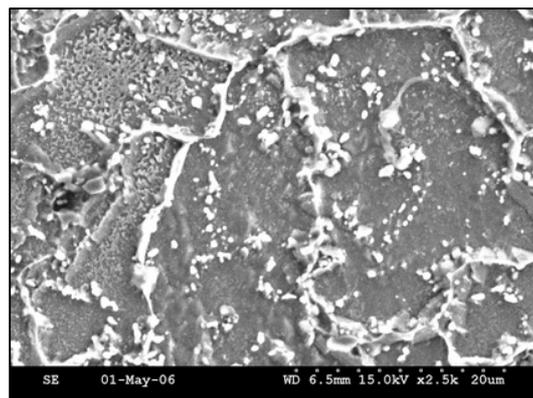


Fig.9 製程 b 之 SEM 金相圖

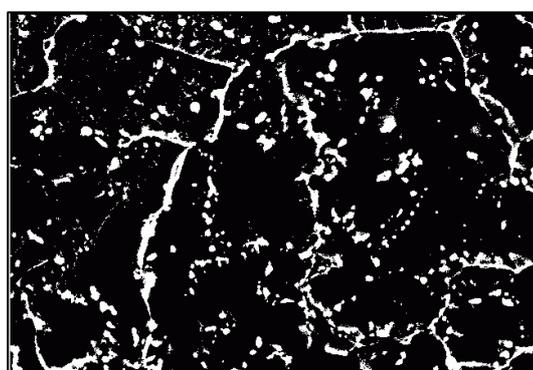


Fig.10 增加 K 值之製程 b 金相圖

樣顆粒圖素(目的在於過濾較小雜質)，計有 606 個樣本，其球化率為 99.67%，平均長寬比為 1.427。

自動化檢測的辨識誤差值來自灰階門檻值的設定、最小取樣顆粒圖素及 SEM 金相圖之拍攝技術。當 SEM 金相圖對比較低時，取樣誤差會增大；最小取樣顆粒圖素設定較小時，易取到雜質或雜訊；灰階門檻值設定較低時，非球化雪明碳鐵之雜質易被誤認，造成辨識誤差。

由上可知應用自動化檢測技術於球化率之認定可以達成所求，並求出精確之球化率；相較之下，JIS 圖片比對之方式誤差較大，亦無精確之球化率數值，同時由於認定人員不同，會產生不同之認定結果。

6. 結論

本研究的主題為低碳鋼盤元線材球化率檢測方法之探討，根據一開始的實驗規劃使用 JIS 認定的方式來判別線材的球化等級，但實驗完成之後發現 JIS 認定的方式太過模糊，而且無法清楚確定球化率的百分比；因此規劃使用 SEM 電子顯微鏡拍攝金相圖再以自動化檢測之方式來判別球化等級，結果發現其線材之球化率皆達 99% 以上。

未來可依照此方式，規劃出其他熱處理製程，直接使用 SEM 拍攝金相圖，並利用自動化檢測程式，判斷其球化率，將符合所求之熱處理製程應用在實際生產作業程序上，以提高熱處理品質之需求。

7. 致謝

本研究由「教育部推動技專校院與產業園區產學合作實施計畫」進行研究，並感謝「申成興業股份有限公司」進行計畫合作、材料之提供與技術建議。

8. 參考文獻

1. Paul M. Unterweiser, "HEAT TREATER' S GUIDE", American Society for Metals, 1988.
2. 金鴻儒, 鋼熱處理學, 百成書店, 1975.
3. 綱島正一, 熱處理技術與實務, 中衛發展中心, 2003.
4. 財團法人日本規格協會, JIS ハンドブック - 鉄鋼 II, 2003, pp.1017-pp.1021.