

先進熱作模具用鋼熱處理之材質組織探討

The Study of heat treatment structure in the hot work tool steels

張光智^{1*}

¹ 梧濟工業股份有限公司 總經理室 技術經理

*E-mail: chang.k.c@wujii.com.tw

摘要

先進熱作模具鋼在產業升級智能智慧化的改變下，符合需求特性的合金設計與效能的提昇是唯一努力的方向。另外還需有真空熱處理技術之提昇方能顯現成效。本研究旨於針對AISI H11之改良型歐洲Buderus 2343 ISO-B mod與等同AISI H13之Villares Metals VH13iso等兩種熱作模具鋼於熱處理前之原料材質組織狀態與硬化淬火後的狀態改變進行探討。在熱作用模具的型體設計複雜化以及大型化的趨勢要求時，也進而凸顯出對傳統熱處理製程思維的挑戰。在系統化製程的過程中，明確材料組織轉變的關聯性，將對上述趨勢所需熱處理後鋼材的特性改善有最大助益。在此探討中，採用工業級之高倍率光學顯微鏡與掃描式電子顯微鏡之組織觀察，呈現組織轉變之機制。兩種熱作模具鋼分別於五種不同之冷卻模式在沃斯田鐵化後進行降溫。並從組織的觀察將組織轉變可視化，以做為熱處理製程優化之參考與下一步進階研究之基礎。

關鍵詞：熱作模具鋼、顯微組織、淬火、冷卻、變韌鐵

1. 問題描述

壓鑄、擠型等領域各相關同業為提高品質，普遍採用歐日進口高精度先端設備。除了採用高速高壓注射於金屬模具腔中之壓鑄，尚有為改善捲氣、提昇機械強度等問題而發展之真空壓鑄法、低速壓鑄法。亦有將金屬液泥漿化後，在固液態共存領域進行射出充填之半固態壓鑄法。大大降低鑄孔、凝固收縮孔、偏析等缺陷。

透過鋼廠重熔品質技術的改良，真空電弧重熔精煉(Vacuum Arc Remelting, VAR)，氮氣加壓電渣重熔精煉(Protective Gas ESR, PESR)，合金成分的調整(降低硫、矽等含量及其它成分含量調整)，大幅提昇鋼材的品質。傳統上，AISI H11(DIN 1.2443)、AISI H13(DIN 1.2344)之熱作工具鋼普遍通用在模具相關組合構件單元。而H13於高溫抗磨耗性更是良好。

雖然如此，模具鋼之於產業大型模具的運用上將使得鋼材特性展現不如預期的案例仍多有所聞。此需要藉由發揮其鋼材特性之合適熱處理，將其優勢完全展現於生產端之運用。因此，熱處理組織探討與了解也成為掌握熱處理品質的重要環節之一。本研究探討藉由不同退火組織系列之熱作鋼，以不同方式的冷卻與淬火，進而了解其組織轉變與材料行為特性之關聯，作為優化熱處理熱作鋼品質製程之參考重要依據。

2. 材料處理與觀察方法

本測試設計是採用2343 ISO-B mod(DIN 1.2343 mod., AISI H11 mod., Buderus)、VH13iso(DIN 1.2344, AISI H13, Villares Metals)兩種熱作模具鋼，以下分別以2343mod、2344標示。其成分如Table 1 [1]所示。

Table 1 Chemical compositions of 2343mod and 2344 (wt%).[1]

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
2343mod, Buderus	0.35	0.30	0.40	5.00	1.35	0.5
2344, Villares Metals	0.36	0.94	0.34	5.04	1.27	0.91

2.1 原料及淬火製程用之試片製作，從原料母塊進行裁切尺寸為30mm x 20mm x 10mm。

2.2 熱處理採用五種加熱與冷卻方式製程：

a. 鹽浴(大同大學材料實驗室) 1015°C 持溫30min後取出，水冷至室溫。

b. 1020°C 持溫30min取出，油冷至室溫。

c. 鹽浴1015°C 持溫30min後取出，油冷至260°C, 20min後空冷至室溫。

d. 真空爐(梧濟工業熱處理單位德國SCHMETZ製) 1020°C 持溫30min，5Bar加壓氣淬。

e. 鹽浴1015°C 持溫30min後取出，靜置室溫24°C 大氣環境空冷。

2.3 顯微組織觀察，(梧濟工業公司金屬檢驗中心所屬日本基恩斯社製高倍率光學顯微鏡 KEYENCE、日本電子社製二次電子成像掃描電子顯微鏡附EDS成分分析檢測器)。

3. 問題解決

3.1 原料退火組織觀察

Figure 1 所示為2343mod, 2344原料組織觀察。觀察到圓形細小顆粒碳化物分布於基底。兩種原料皆無發現碳化物是明顯只從晶界析出之現象。也沒有因碳化物聚集形成偏析帶狀現象。Klaus-Dieter Fuchs, Edmund HHaberling, Klaus Rasche 研究[2]指出從退火組織的碳化物形貌，可以回溯了解在煉鋼鍛打製程裡，進行軟化退火之前製程擴散退火後的冷卻階段，所產生麻田散鐵亦或是變韌鐵之狀況。不論是何種組織進行軟化退火所得之退火組織，依據北美壓鑄協會之熱作鋼組織分級，在未出現明顯碳化物析出於晶界之熱作鋼為準則，對其鋼材組織碳化物析出狀態的微量差異性在韌性上的影響並不明顯。但若出現在冷卻至900°C所產生之明顯晶界碳化物析出，將會導致脆性影響必須注意。

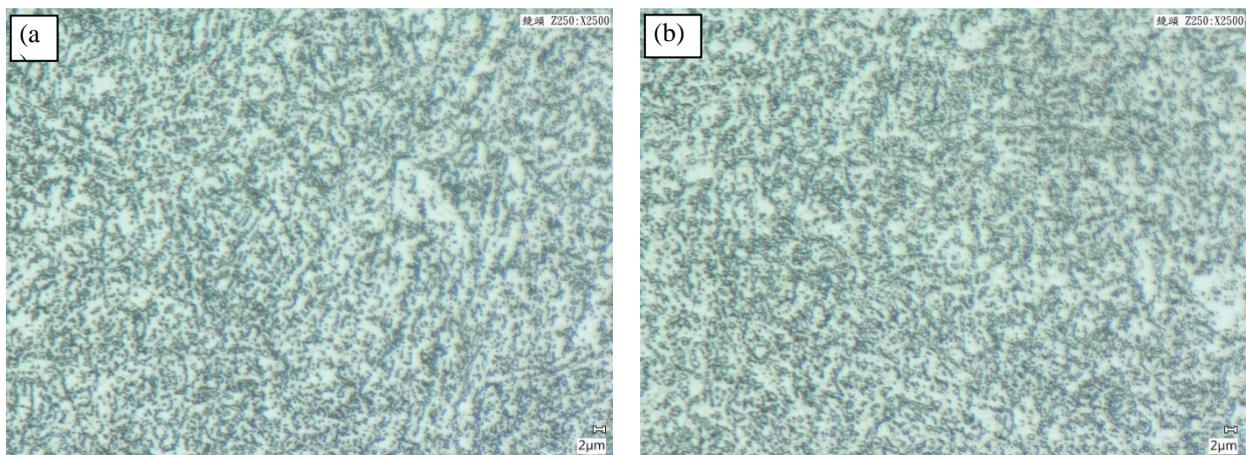


Figure 1 OM Observation of 2343mod, 2344 hot work tool steels. (a) High magnification 2500x of the 2343mod steels. (b) High magnification 2500x of the 2344 steels.

3.2 熱作鋼2343mod淬火組織觀察

Figure 2 所示為熱作鋼2343mod於硬化溫度適當時間持溫後，以不同方式進行冷卻與組織觀察。進行水淬後的組織形貌(a)呈現最為細小之針狀麻田散鐵組織。隨著冷卻方式的改變，針葉狀組織尺寸也隨之變大。油淬後(b)之針葉組織內部呈現半透明狀，但氣淬(c)與260°C油淬持溫20min後組織(d)，可見寬針葉內部有細小碳化物顆粒的存在。另如Figure 2(a-f) 所示可見淬火後組織，具有從試片表面沿晶界開裂之現象。

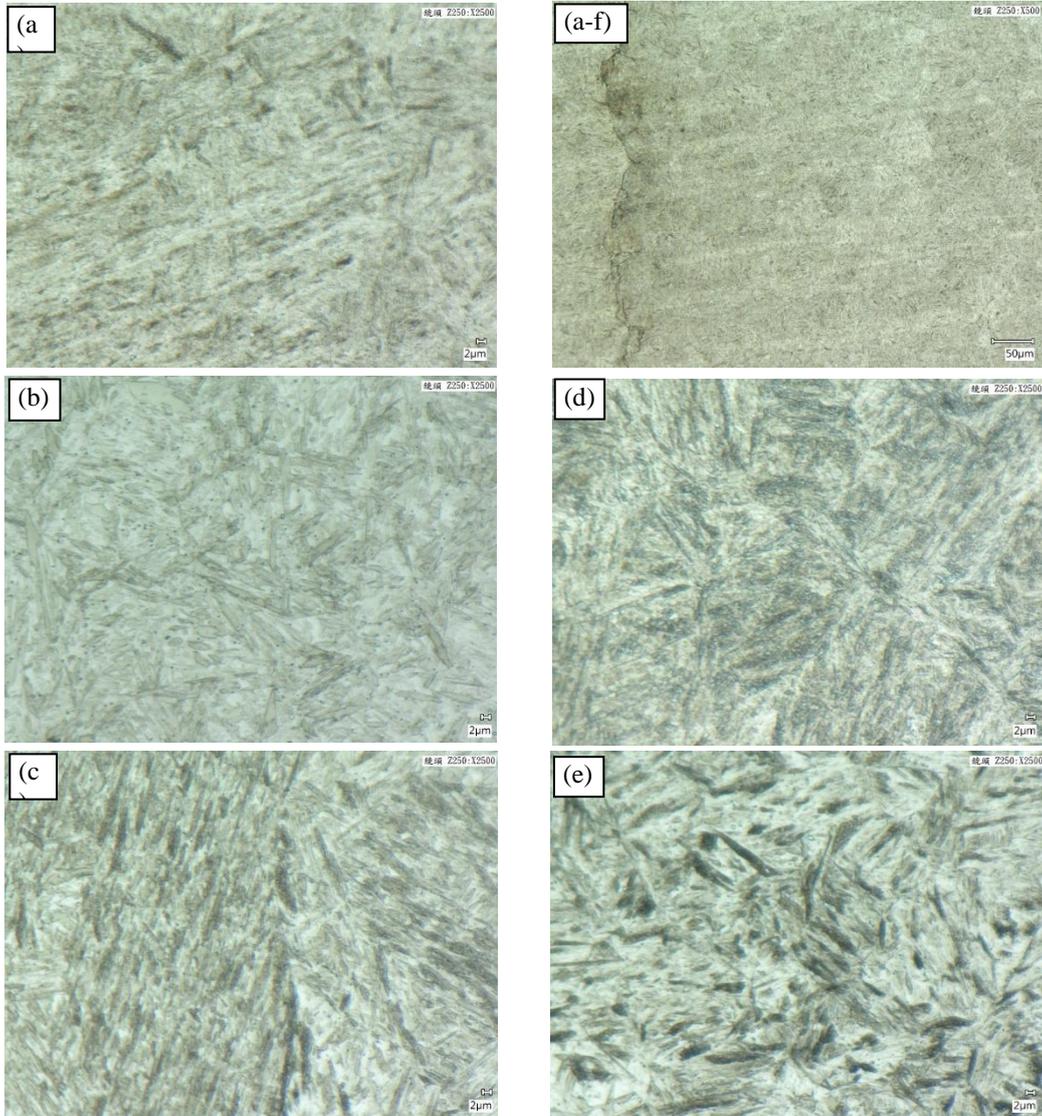


Figure 2 OM structure observation of 2343mod hot work tool steels after quenching. (a) Water quenching, (a-f) Quenching intergranular crack, (b) Oil quenching, (c) Gas Quenching, (d) 260°C Oil Quenching, 20min, and (e) Air cooling.

3.3 熱作鋼2344淬火組織觀察

Figure 3 所示為熱作鋼2344於硬化溫度適當時間持溫後，以不同方式進行冷卻。進行水淬後的組織(a) 與油淬組織(b) 形貌並未呈現如2343mod細小之針狀麻田散鐵組織。反而於基底存有許多細小黑色微顆粒碳化物。氣淬(c)與260°C油淬持溫20min後組織(d)，顯示白色明顯針狀組織。同樣可以觀察到隨著冷卻方式的改變，此組織尺寸也隨之改變。

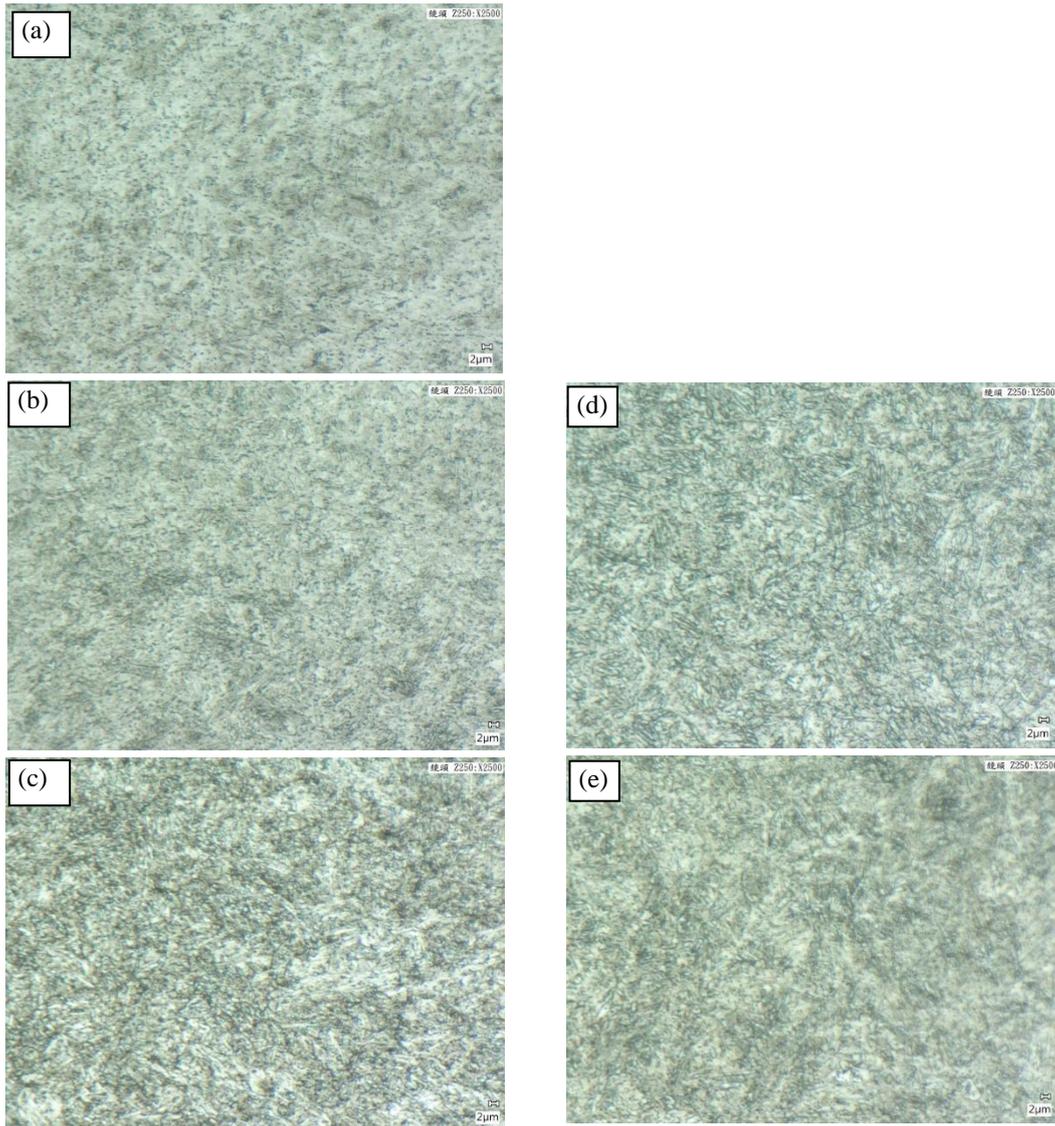


Figure 3 OM structure observation of 2344 hot work tool steels after quenching. (a) Water quenching, (b) Oil quenching, (c) Gas Quenching, (d) 260°C Oil Quenching, 20min, and (e) Air cooling.

3.4 分析討論

藉由不同的冷卻方式淬火，可以了解當熱處理厚件模具鋼時，可能產生的組織變化行為。2343mod與2344之元素成分極為相近，原料退火組織也無很大的相異之處。但其淬火後組織，卻明顯不同。C. C. Chu等之研究[3]指出成分釩(V)易與C形成碳化釩VC，VC固溶溫度高，具有抑制晶粒成長的效果。在此2344之淬火組織確也是呈現出比2343mod組織細小。2344鋼材於水淬與油淬後之透明狀針葉組織尺寸比較差異上，也比2343mod水淬與油淬的差異小。參考兩鋼材之連續冷卻曲線CCT資料，此針葉組織是為麻田散鐵組織。Figure 4組織觀察可見麻田散鐵組織之內部形貌呈現平坦狀。而空冷冷卻後之組織則呈現於粗葉狀組織內可見白色碳化物之不平坦狀形貌。此特徵尤其以2343mod鋼材最為明顯可辨別。Maria Teresa Coll Ferrari之研究[4]指出此類型組織為變韌鐵組織。在此也透過EDS成分分析(Figure 5)進一步確認其含碳量低於他處。因此當大型模具進行淬火時，其心部深處如何取得合適之組織是必須注意。

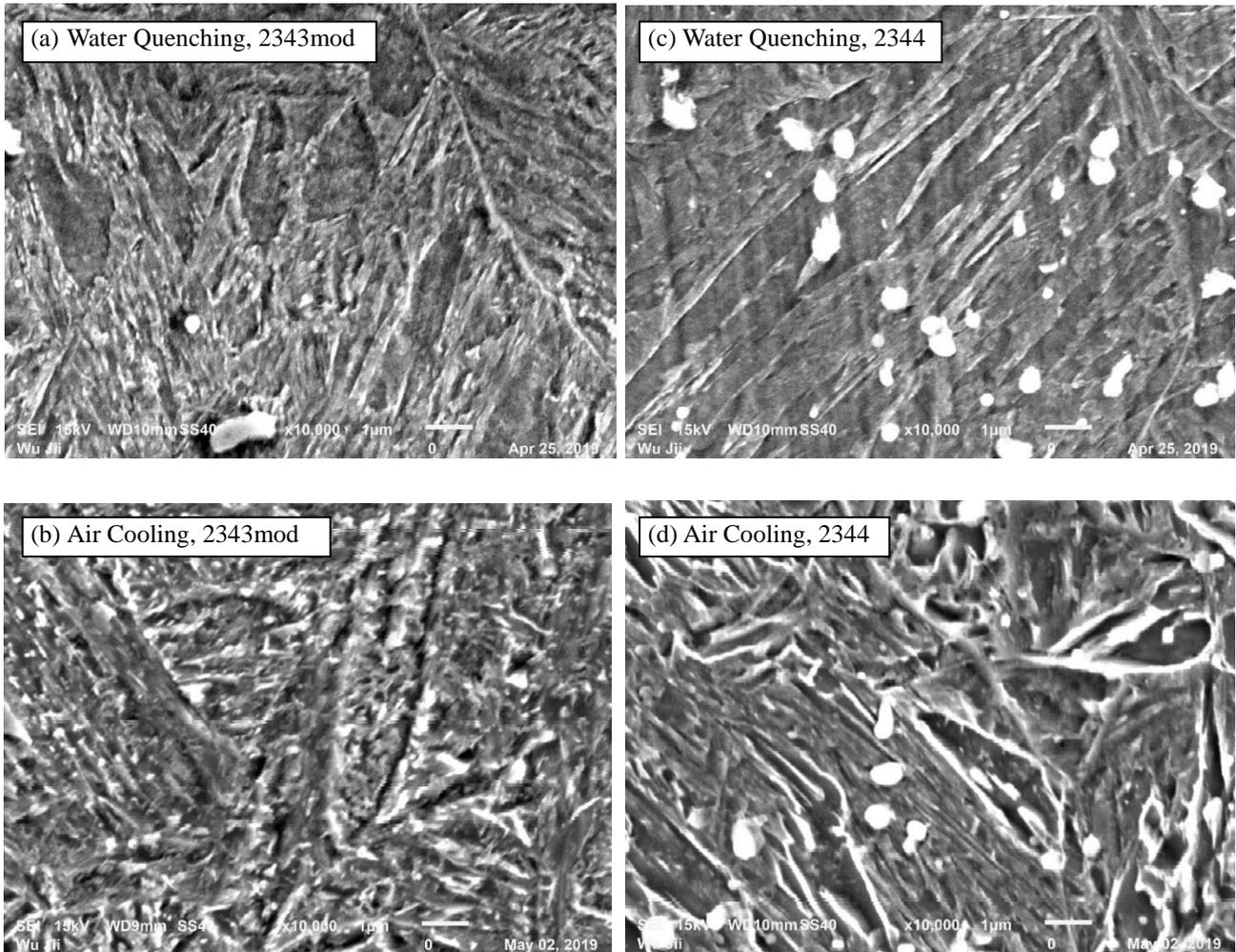


Figure 4 SEM quenching microstructure of 2343mod, 2344 hot work tool steels after quenching. Water quenching of 2343mod steel (a), 2344 steel (c), Air cooling of 2343mod steel (b) and 2344 steel (d).

4. 產業應用

了解不同的冷卻方式淬火組織，可以確立熱處理製程確立標準之明確方向。降低淬火時變韌鐵的析出，也會提高組織的均勻性與確保品質。合適的淬火雖是發揮鋼材特性之基本，亦可透過合金成分之微調整取得更佳的淬火組織。

5. 誌謝

承蒙大同大學邱六合教授材料實驗室協助提供相關設備，使本案例得以順利完成，特此致上感謝之意。

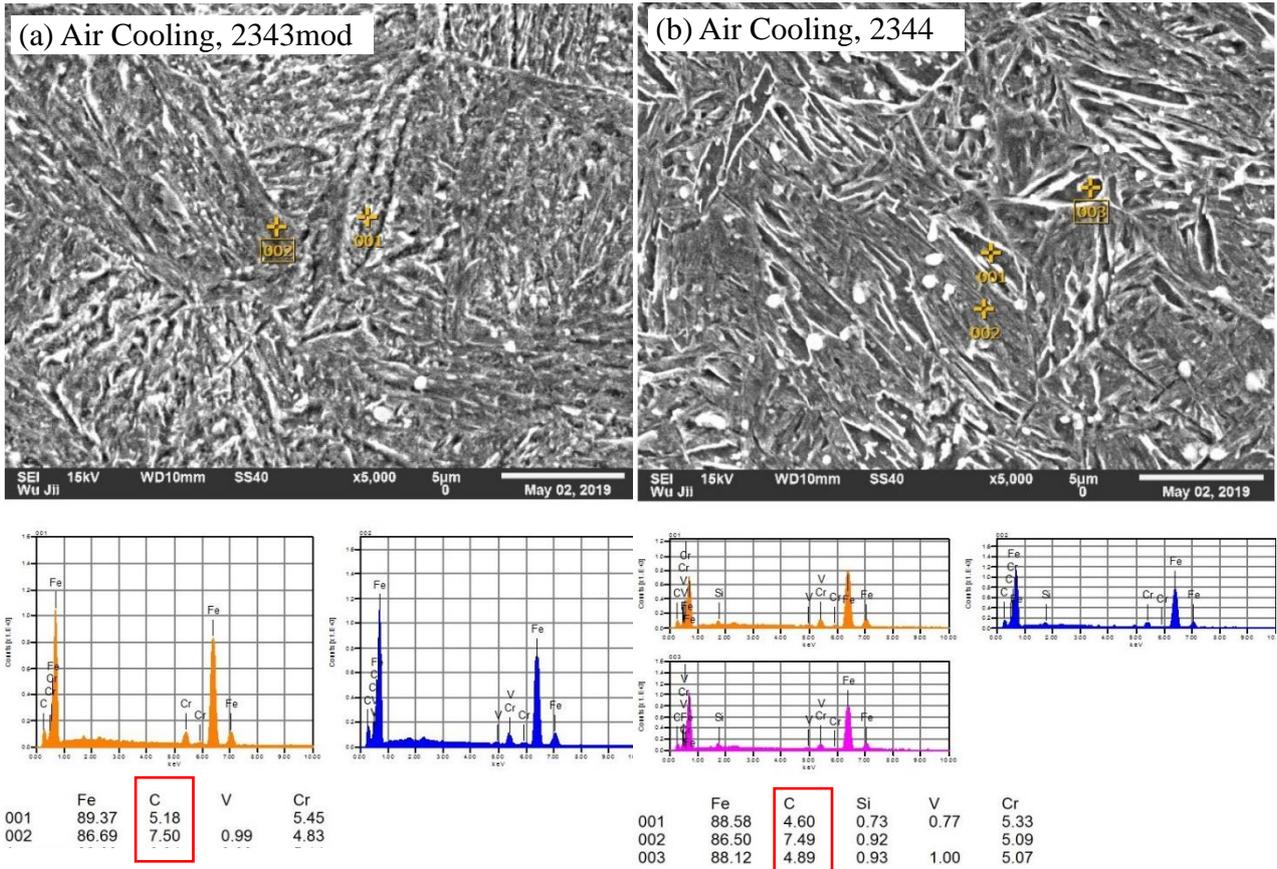


Figure 5 SEM-EDS analysis of 2343mod, 2344 hot work tool steels after air cooling. 2343mod steel (a) and 2344 steel (b).

6. 参考文献

1. 鋼材技術資料: 2343 ISO-B mod (AISI H11 mod., DIN 1.2343 mod., Buderus) 、VH13iso (AISI H13, DIN 1.2344, Villares Metals)
2. Klaus-Dieter Fuchs, Edmund HHaberling, Klaus Rasche: Influence of the Annealed Microstructure on the Toughness of Hot-Work Tool Steels, Thyssen Edelstahl, Technische Berichte, 1990, pp. 45-52.
3. C. C. Chu, P. H. Chu, T. C.Chen and Y. C Chen: Effects of Different Quenching Temperatures and Different Holding Time on the Mechanical Properties of SKD61 and Its Modified Steels, 2011, pp. 1-7.
4. Maria Teresa Coll Ferrari, Effect of austenitising temperature and cooling rate on microstructures of hot-work tool steels, Licentiate Thesis Production Technology 2015, No. 4.