

熱沖壓硼鋼金相組成與硬度之研究

羅培仁¹, 劉威良², 謝克昌^{1*}

Ker-Chang Hsieh^{1*}, Pei-Jen Lo¹ and Wei-Liang Liu²

1. 國立中山大學材料與光電科學學系 2. 金屬工業研究發展中心

摘要

熱沖壓用硼鋼在加熱轉換成奧斯田鐵後，會隨著不同冷卻速率而有不同的金相變化，而不同的金相組成也會對硬度造成影響，然而在熱沖壓的過程中，熱沖壓模具的溫度變化將影響到硼鋼的冷卻速率。

因此本研究針對該主題進行模擬實驗與探討，內容包括：

1. 探討不同移動時間（氣冷）對於金相組成及硬度的影響。2. 探討不同冷卻速率對於金相組成及硬度的影響。3. 探討取出溫度（結束冷卻的溫度）對於金相組成及硬度的影響。

關鍵詞：硼鋼、熱沖壓、相變化、麻田散鐵

壹、前言

隨著經濟的蓬勃發展，人們對於汽車的要求也越來越高，如：節能、環保、舒適、安全。綜觀汽車發展工業史，可以看出汽車車身做為整車所有零件的載體，其開發成本佔約整車成本的 40%-60%。過

大的車身製造誤差不僅會導致各部件的組裝誤差，還會影響整車的外觀效果與封閉功能，甚至行車的安全性。因此汽車鋼板的製造能力已經成為當前汽車製造業提升市場競爭力的關鍵所在。

然而汽車高強度鋼板總類眾多，如 IF 鋼、高強度冷熱軋鋼板、烘烤硬化鋼板、雙向鋼板、硼鋼...等。但是現代冶金技術的突飛猛進，許多高強度鋼板甚至超高強度鋼板不斷地被開發出來，沿用傳統的冷沖壓方法已經很難成型，甚至不能成型此類鋼板，這就限制了高強度鋼板在提高汽車被動安全性能方面的應用。因此熱沖壓成型工藝就此快速發展，熱沖壓成型具有以下優點：1.變形抗力小、塑性好、成型極限高、易於成型。2.因為變形能力降低、所以減小了模具的單位壓力，因此降低了對模具和機床的要求。3.由於成型性能提高，減少了變形的程序而縮短了生產週期。對於硼鋼，通過熱成型不僅具有以上所描述熱成型的優點，並且配合適當的後續熱處理方式，還可以使其發會最佳的性能，因此不僅能降低汽車零組件的重量，也提高了其抗衝擊性能，進而提高了汽車的安全性。

近年硼鋼製程的研究中，硼鋼的成分、鑄造(冷卻速度、後續熱處理條件均會造成顯微組織及性能不同的影響⁽¹⁻⁴⁾，如：1. 凝固冷卻速度對於硼鋼共晶硼化物的形狀與大小有明顯的影響。2. 在相同成分的高硼鋼的共晶硼化物形狀、大小、體積百分比對熱處理後的性能

也會產生不同的影響。

在實際應用上，熱沖壓模具會因為連續進行熱沖壓製程造成模具溫度提高，而模具溫度的上升對於板材冷卻速率有其重要的影響性。因此建立模具在不同溫度時對於板材所造成的金相組織及硬度變化是相當重要的。

本研究內容：經由中國鋼鐵公司提供 22MnB5 硼鋼基材進行不同移動時間、熱沖壓溫度與熱沖壓時間，模擬不同條件對於錳硼鋼金相及硬度的影響，相關參數將做為熱沖壓製程調整試模條件的參考。

貳、 實驗方法及步驟

2.1、 硼鋼試片成分與模擬條件

2.1.1 硼鋼試片成分

實驗硼鋼基材料號與成分如 Table 1 所示，此成分由中國鋼鐵公司提供。

Table 1 22MnB5 硼鋼試片成分表

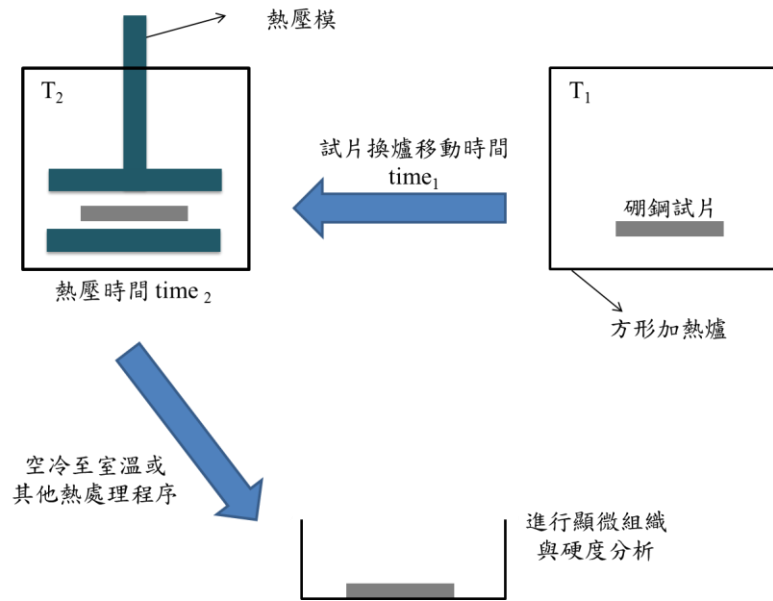
成分	C	Mn	P	S	Si
	0.21~0.24%	1.05~1.35%	~0.02%	~0.01%	0.15~0.25%
成分	Cr	Al	Ti	B	
	0.20~0.40%	0.02~0.06%	0.02~0.04%	0.0015~0.0030%	

2.1.2 硼鋼試片熱沖壓模擬方法

- (1) 熱沖壓環境模擬：在兩個不同溫度的方形加熱爐內,高溫爐(T_1)置入硼鋼試片加熱,再將硼鋼試片移入低溫爐(T_2)內鋼板夾層,模擬硼鋼試片沖壓成形後的狀態。
- (2) 移動時間($time_1$)模擬：改變硼鋼試片從高溫爐出至低溫爐的時間參數(過程為空冷),對於金相組成及硬度的影響。
- (3) 壓模時間($time_2$)模擬：硼鋼於低溫爐(T_2)鋼板夾層內的置放時間參數。

2.2、 硼鋼試片時效與熱壓條件

- (1) 將硼鋼試片銲上 K-type 熱電偶,隨時監測硼鋼試片的溫度變化。
- (2) 試片置入溫度 T_1 加熱爐(T_1 溫度為 $930\text{ }^\circ\text{C}$),使22MnB5硼鋼試片在 T_1 溫度持溫3 min。
- (3) 將試片移至溫度為 T_2 之熱壓模中(T_2 溫度為 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $200\text{ }^\circ\text{C}$),預定三組試片移動時間 $time_1$ ($time_1$ 時間為5sec、10sec、15sec)。
- (4) 試片於溫度為 T_2 熱壓模加壓 ($time_2$ 時間為10sec、20sec、30sec)。
- (5) 將試片取出後進行空冷。



(6) 熱沖壓實驗流程示意圖如圖Fig. 1所示。

Fig. 1 實驗流程圖

金相與硬度試片製作

將熱沖壓試片以噴砂機進行噴砂，以去除高溫表面氧化層，並粗砂紙(#100、#400、#600 與#800)進行粗磨，再經由細砂紙(#1000、#1500、#2000 與#2500)研磨，使試片刮痕深度變淺並平整化，最後經

利用電解拋光得到試片金相試片，其電解拋光參數為：(1) 電解拋光液：過氯酸與醋酸以 4:1 配置再加入三倍的乙醇。(2) 電解拋光溫度為：5°C。(3) 電壓為：20 V。

2.3、 洛式硬度量測

本實驗使用儀器為 Mitutoyo HR-400 型號洛式硬度量測儀，本實驗選擇鎢鋼探頭進行量測，每個試片均量測 5 個點以上，每個量測為均相距 5 倍壓痕，且量測點亦須距離試片邊緣 2mm 以上，以避免切割試片時產生的熱影響區所產生的硬度差異。

2.4、 顯微組織探討

利用電子微探儀(EPMA Jeol JXA-8900)分析其顯微組織與成分變化，進而判斷相成分變化對於硬度差異所造成的影響。

參、 結果與討論

22MnB5 硼鋼試片在 930 °C 時效處理三分鐘後，分別進行了不同的熱壓模擬，其硬度分佈如 Fig. 2 所示，從圖中可發現熱壓時間所造成的硬度變化，其以移動時間 5sec 及熱壓時間 10sec、20sec 與 30sec 為例(於 Fig. 2 橫座標為 5--10、5--20 與 5--30 部分)，隨著熱壓時間增加其硬度值也對應的提高，從硬度數據可知道熱壓時間越長其冷卻速率越快其硬度最高約 434 MPa 最低約 365 MPa；從 Fig. 3 22MnB5 硼鋼試片之 CCT 曲線⁽³⁾可以發現，此實驗的冷卻速率約 25 °C/sec 之

後，圖中冷卻速率 $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 曲線為完全麻田散鐵化的界線，本實驗試片硬度坐落在變韌鐵與麻田散鐵之間。對於所有試片的硬度值皆顯示熱壓時間越長有助於提高冷卻速率且提升硬度值。在熱壓溫度為 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的試片中我們也發現提高熱壓時間並不會將硬度值提高過多，此原因在於 T_1 與 T_2 之間的溫差較小使冷卻速率變化差異較小，因此其硬度值只有小幅提升。在所有熱壓試片的硬度表現中發現，壓模時間大於 20 sec 後，硬度值差異較低，硬度值的提升也較不明顯。

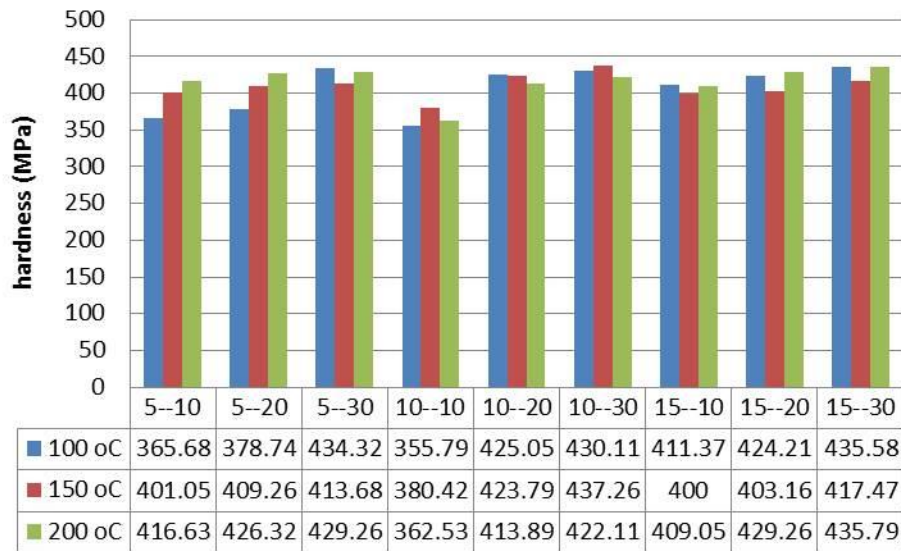


Fig. 2 $930\text{ }^{\circ}\text{C}$ 硬度分析圖(5--10 第一個數字表示移動時間 5 sec ，第二個數字表示熱壓時間 10 sec ；三個顏色的長條圖分別代表了藍色熱壓溫度 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 紅色熱壓溫度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 綠色熱壓溫度 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$)

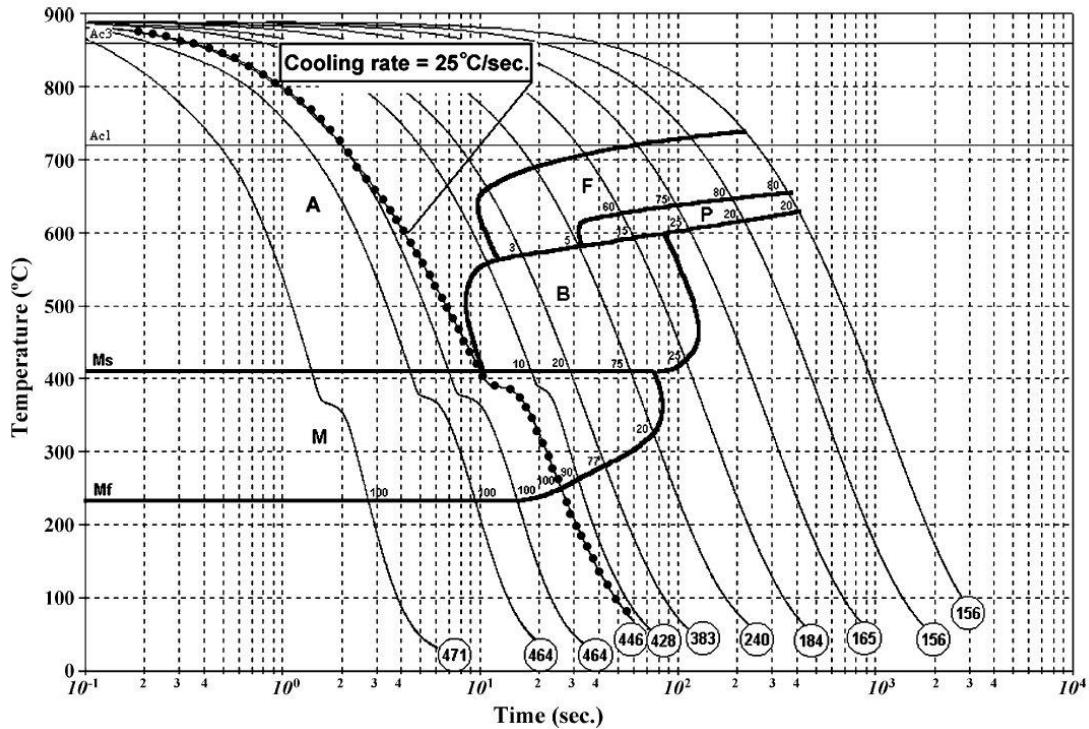


Fig. 3 22MnB5 硼鋼試片之 CCT 曲線(M：麻田散鐵相，A：沃斯田鐵相，F：肥粒鐵相，P 波來鐵相，B 變韌鐵相；曲線下數字為硬度值，

單位為 MPa)⁽³⁾

觀察 T_1 ：930 °C， T_2 溫度 100 °C，移動時間 10 sec 且熱壓時間分別為 10 sec、20 sec 及 30 sec 的試片，其顯微組織如 Fig. 4 所示，其中(b) (c)試片有較均勻的麻田散鐵組織，且在晶界中有許多硼顆粒析出，而相較於(a)其組織較為粗大，此試片硬度值分別為(a) 355.79 MPa，(b) 425.05 MPa (C) 430.11 MPa，由於(a)試片熱壓時間短冷卻速率慢，因此會有晶粒粗大的現象，此試片麻點散鐵含量較低，以至於硬度值較低。

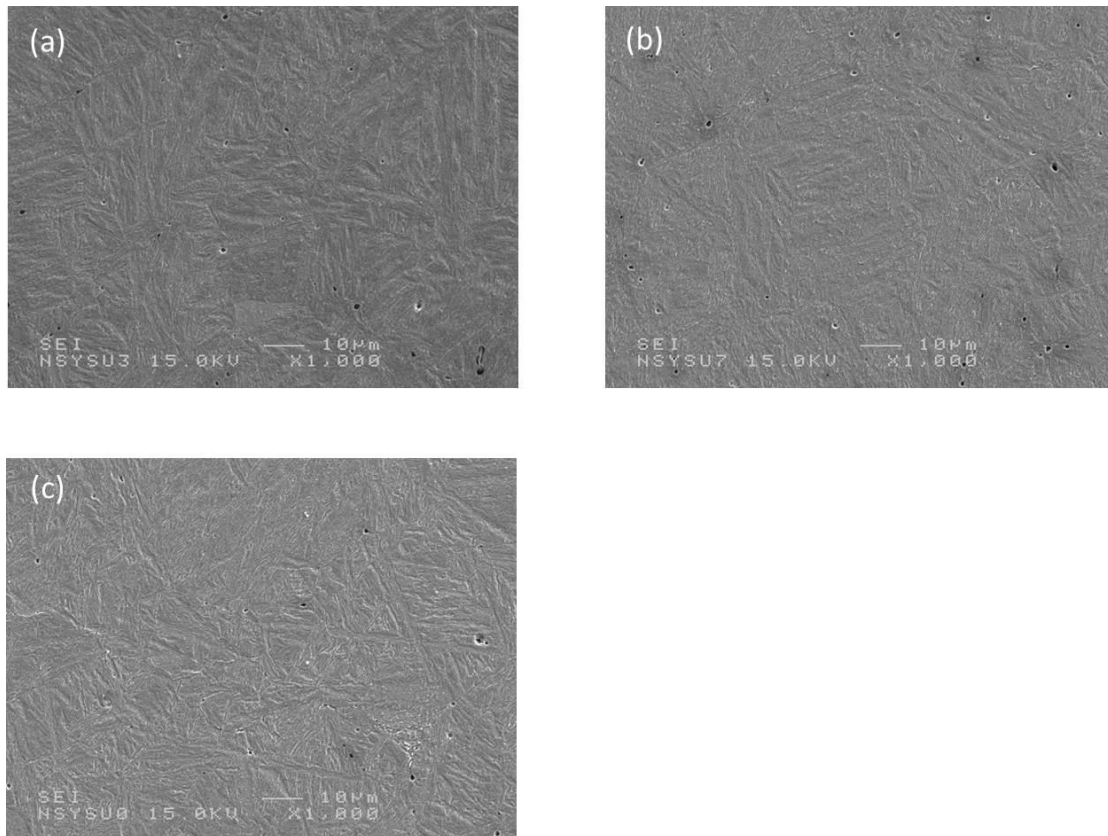


Fig. 4 930 °C 時效 3 min，熱壓溫度 100 °C，移動時間 10 sec 試片，其中(a) 熱壓時間：10 sec，(b) 熱壓時間： 20 sec，(c) 熱壓時間：30 sec

肆、 結論

由硬度分析與顯微組織的觀察發現，熱壓時間拉長將有效提高提試片冷卻速率進而增加其硬度值；在現實工業製程中，沖壓模具會受到試片溫度影響，當連續生產時沖壓模具溫度上升將會影響其產品的硬度值表現，實驗結果也顯示增加壓模時間將會使冷卻速率提高，可使沖壓試片硬度上升，且硬度值差異也會降低，而壓模時間超過 20 sec 以後沖壓試片硬度質的提昇較不明顯。

因此壓模時間約 20 sec 將有效消除因連續沖壓製程所造成的模具

溫度上升使硬度值下降的問題。

伍、 參考文獻

1. M. Naderi, A Saeed-Akbari, W. Bleck, “The effects of non-isothermal deformation on martensitic transformation in 22MnB5 steel”, *Materials Science & Engineering A*, 487, 2008, pp. 445-455.
2. Junying Min, Jianping Lin, Yongan Min, Fangfang Li, “On the ferrite and bainite transformation in isothermally deformed 22MnB5 steels”, *Materials Science & Engineering A*, 550, 2012, pp. 375-387.
3. Junying Min, Jianping Lin, Yongan Min, “Effect of thermo-mechanical process on the microstructure and secondary-deformation behavior of 22MnB5 steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 2013, pp. 818-825.
4. Lijuan Zhu, Zhengwei Gu, Hong Xu, Yi Lu, Jiang Chao, “Modeling of Microstructure Evolution in 22MnB5 Steel during Hot Stamping”, *Journal of Iron & Steel Research*, 21(2), 2014, 197-201.