

熱軋高強度低降伏比JSH780Y汽車用鋼開發

Development of JSH780Y Automobile Steels with High Strength and Low Yield Ratio Properties

潘俊宏¹ ■ 王元聰² ■ 陳嘉暉³ ■ 羅偉⁴

C.H. Pan, Y.T. Wang, J.H. Chen, Wei Lo

有別於傳統一般等級鋼材以肥粒鐵與波來鐵為顯微組織基地，雙相鋼採用軟質肥粒鐵與硬質麻田散鐵共同組成兩相的組織，因此兼具肥粒鐵之高延展性與麻田散鐵之高抗拉強度的雙重特性。汽車業者對零組件輕量化、美觀及造形多樣化的需求日益提高，往780MPa更高強度及高成形性等級汽車用鋼發展，已是不可避免的潮流。透過相關冶金與關鍵製程技術的充分掌握，中鋼使用兩階段冷卻控制技術，生成適量比例之肥粒鐵和麻田散鐵組織，並提高相分佈的均勻性，順利完成JSH780Y熱軋高強度汽車用鋼開發。經驗證其鋼材機性均符合規格要求，且經車廠試用亦能滿足需要的加工性能。未來將持續朝向超高強度與良好成形性兼備的次世代汽車用鋼發展，以滿足汽車產業低成本、高功能、低能耗及高安全性的產業競爭力需求。

關鍵詞：低降伏比、雙相鋼、汽車用鋼

Unlike traditional steels with main microstructure of ferrite and pearlite phases, dual-phase steels with soft ferrite and hard martensite have high ductility and high tensile strength. The automobile industry demands light-weight components and shape diversity. It is an inevitable trend to develop automobile steel of higher strength and formability.

In 2015 CSC commercialized JSH780Y automobile steels that satisfied automobile industry demands. The JSH780Y automobile steels were manufactured using new metallurgical technology, hot-rolled process, and two-step cooling control technology. In the future, ultra-high strength and good formability automobile steel of the next generation will be developed to meet the demands of automobile industry.

Key words: JSH780Y, two-step cooling, automobile steel.

一、前言

隨著節能減碳議題的興起，車體輕量化成為汽車產業發展的重要目標之一。而面對鋁、鎂等輕質材料取代的壓力，全球鋼鐵企業自1994年起便積極研發車用先進高強度鋼，由國際鋼鐵協會IISI聯合當時知名的35家鋼廠發展ULSAB(Ultra Light Steel Auto Body)計畫，針對次世代汽車用鋼進行研發革新。根據國際鋼鐵協會之研究，在不增加造價及犧牲汽車安全性能前提下，使用先進高強度鋼取代一般碳鋼，可減輕車體重量25%、節省油耗5.1%，並減少5.7%溫室氣體排放。事實上，車廠在高強度鋼的使用量逐年增加，預估未來使用強度780MPa以上超高強度用鋼於結構件之比例達50%以上。

中鋼公司 ¹冶金技術處工程師 ²鋼鐵研究發展處研究員 ³熱軋鋼帶工場工程師 ⁴鋼鐵研究發展處研究員

有別於傳統一般等級鋼材以肥粒鐵相為顯微組織基地，雙相鋼採用軟質肥粒鐵與硬質麻田散鐵共同組成兩相的組織，因此兼具肥粒鐵之高延展性與麻田散鐵之高抗拉強度的雙重特性。此特點使中鋼早期所開發的 JSH 590Y 雙相鋼被廣泛應用於需高強度與嚴苛成型要求的汽車輪盤。近年來，汽車業者對零組件輕量化、美觀及造形多樣化的需求日益提高，往 780MPa 更高強度及高成型性等級汽車用鋼發展，已是不可避免的潮流。而如何在軟、硬相組織間取得互補、調合，以發揮最佳產品性能與綜效，為高強度雙相鋼開發成敗的重要關鍵。

二、困難與挑戰

添加鈮、鈦等合金雖可有效提升鋼材強度，但其析出物同時細化晶粒，提高降伏強度及降伏比，不適用於低降伏比特性之 JSH780Y 材料，故改以組織中生成肥粒鐵和麻田散鐵作為設計基礎。但實際生產難度極高，主要原因為設計以第二相麻田散鐵提升鋼材強度，而麻田散鐵屬硬脆組織，不利於延性⁽¹⁾。如單純以第二相強化，要達成 80 公斤等級強度等級須生成約 50% 麻田散鐵相，此相比例除造成延性下降外，更影響銲接和擴孔等特性，故如何兼顧強度、降伏比和延性等材料性質，為付諸產品實現之首要嚴峻課題。

三、實驗方法

(1) 碳、錳和鉻等成分添加，使顯微組織中麻田散鐵含量增加，提高鋼材強度而延性降低，又以碳和錳成分之效果最為明顯，主要為其有延遲波來鐵變態及提升硬化能效果；添加矽有固溶強化效果，另促進雙相組織中肥粒鐵等軸晶之生成數量，搭配增加空冷時間，可提高肥粒鐵數量，提升鋼材延性。本案所開發 JSH780Y 鋼種之成分設計如表 1 所示。

表 1 JSH780Y 鋼種成分設計

	C	Mn	P	S	Si	Cr
Max	0.20	2.50	0.050	0.010	0.50	適量
Min	0.05	1.60	--	--	0.01	

(2) 與一般熱軋鋼材在完軋後採單階段冷卻的模式不同，雙相鋼須使用兩階段冷卻控制技術，即在軋延後於層流冷卻區先進行第一階段噴水降溫，至特定溫度後空冷停留，使生成足夠量的肥粒鐵，以滿足高延性的需求。接著，再於第二階段淬冷至另一特定溫度以下，使殘餘的組織再變態生成一定比例的麻田散鐵。此全製程技術，需有現場先進的控溫技術及較長的冷卻床與冷卻能力，才能達成理想的雙相組織與相比例。本案所開發 JSH780Y 鋼種之熱軋製程設計如圖 1 所示。

四、結果與討論

(一) 碳含量對機性與顯微組織影響

碳含量對 JSH780Y 鋼材之機性與顯微組織影響如表 2 和圖 2 所示，隨著碳含量增加 (0.13%)，鋼材強度隨之提升，但不利於鋼材延性，主要為顯微組織中麻田散鐵比例較高，且呈

連續帶狀，裂紋容易沿硬脆之碳化物組織生成延伸所致；當碳含量減至 0.09%，有效減少麻田散鐵數量，故鋼材強度下降，伸長率從 14% 提高至 16%；但整體組織仍呈扁長帶狀，故伸長率改善幅度有限，仍無法符合規格 17% 之下限要求，且強度已無再下降之空間。

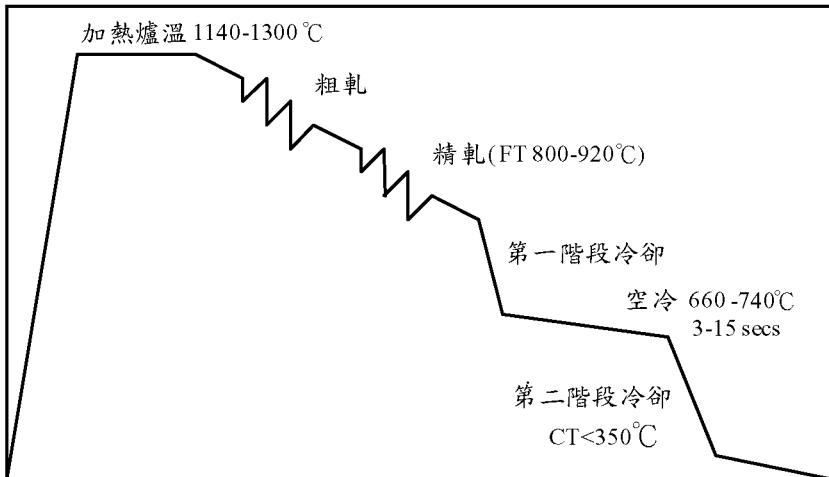


圖 1. 热軋製程設計

表 2. 碳含量對 JSH780Y 鋼材機械性質之影響

C(%)	YS(MPa)	TS(MPa)	EL(%)
0.13	602	901	14
0.09	507	814	16
目標	380~625	780min	17~31

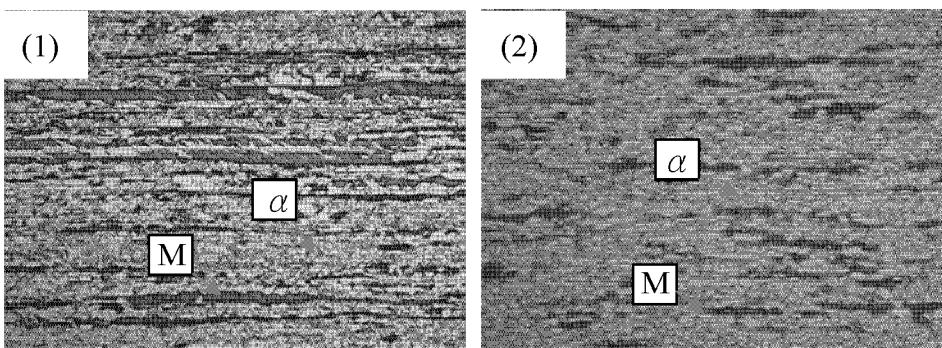


圖 2. 碳含量對 JSH780Y 鋼材顯微組織之影響 (1)0.13%, (2)0.09%

(二) 添加矽對機性與顯微組織影響

添加矽有固溶強化效果，另促進雙相組織中肥粒鐵等軸晶之生成數量，搭配增加空冷時間，可提高肥粒鐵數量，提升鋼材延性。由表 3 可知，添加矽後，鋼材之強度和伸長率同時提升，唯伸長率仍無法穩定符合規格要求。觀察顯微組織（如圖 3），麻田散鐵數量微幅減少，且帶狀組織有所改善，但未能完全消除。



表 3. 砂含量對 JSH780Y 鋼材機械性質之影響

Si(%)	YS(MPa)	TS(MPa)	EL(%)
0.02	517	813	16
0.21	552	829	17
目標	380~625	780min	17~31

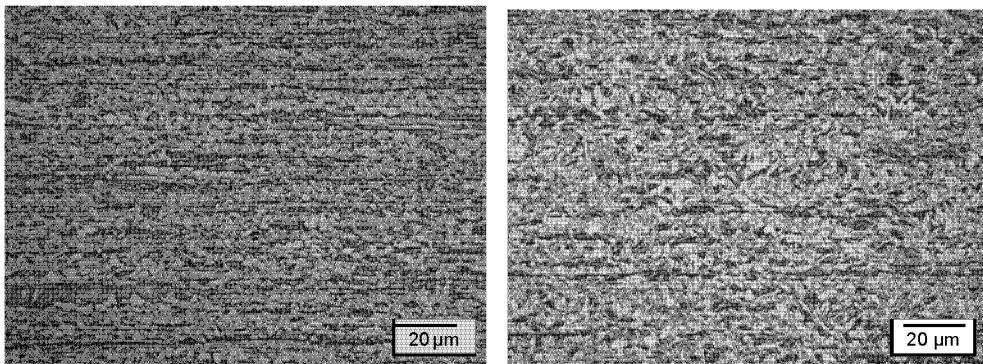


圖 3. 砂含量對 JSH780Y 鋼材顯微組織之影響 (1)0.02% (2)0.21%

(三) 热軋空冷時間對機性與顯微組織影響

熱軋層流冷卻空冷時間對 JSH780Y 鋼材之顯微組織影響如圖 4 所示，隨著空冷時間由 4 秒增加至 11 秒，肥粒鐵數量增加，且促進晶粒成長，鋼材強度略為下降，但伸長率可因此獲得提升。

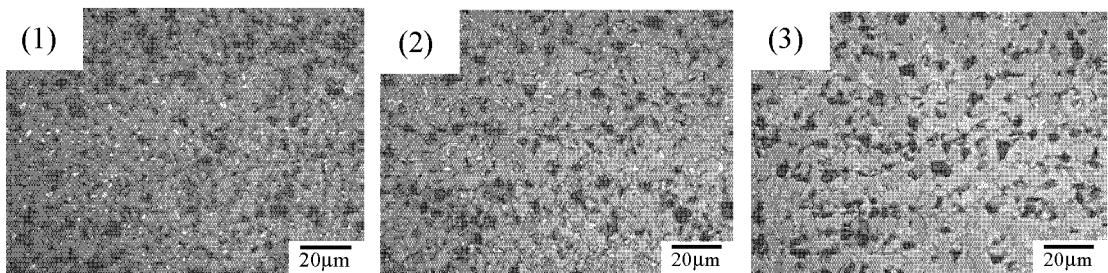


圖 4. 热軋空冷時間對 JSH780Y 鋼材顯微組織之影響 (1)4 秒 (2)6 秒 (3)11 秒

(四) 热軋盤捲溫度對機性與顯微組織影響

為生成雙相組織，鋼帶出精軋後先經過第一階段冷卻至肥粒鐵生成溫度短暫停留後，生成足量之肥粒鐵，再經第二階段淬冷至 M_s 溫度以下，使殘留沃斯田鐵轉變為麻田散鐵。一般而言，高溫狀態之熱傳機制為膜沸騰，即鋼帶表面生成穩定蒸汽膜，冷卻水須藉此蒸氣膜吸收鋼帶熱能。接近層流冷卻尾段溫度相當低，鋼帶表面之穩定蒸氣膜易破裂，轉而形成核沸騰之熱傳機制，此時冷卻效能大增，生成大量水蒸氣，無法直接測得盤捲溫度，導致硬化明顯，對於產出鋼捲之相組成及機性難以掌握，成為製程監控盲點。因此，熱軋層流冷卻改採控制冷卻水量方式生產，並研究水量多寡對組織與機性的影響。

熱軋盤捲溫度對 JSH780Y 鋼材之機性與顯微組織影響如表 4 和圖 5 所示，當層流冷卻採低水量控制（估算盤捲溫度提高至 300°C 以上），產出鋼捲除麻田散鐵外，同時可發現變韌鐵組織生成，故鋼材強度下降，低於目標下限；反之，當層流冷卻採高水量控制（估算盤捲溫度降至 200°C 以下），生成第二相均為麻田散鐵組織，避免鋼材強度大幅下降。

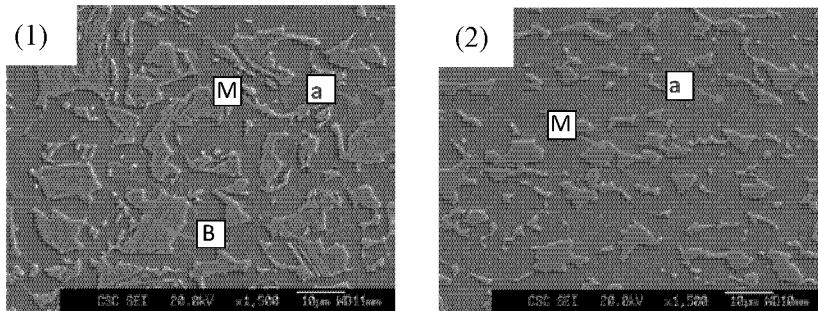


圖 5. 盤捲溫度對 JSH780Y 鋼材顯微組織之影響 (1)>300°C (2)<200°C

表 4. 盤捲溫度對 JSH780Y 鋼材機械性質之影響

CT(°C)	YS(MPa)	TS(MPa)	EL(%)
>320	532	752	21
<180	488	816	18
目標	380~625	780min	17~31

(五) JSH780Y 試製機性結果

由上述實驗結果，可得 JSH780Y 鋼種之適化生產條件為碳含量：0.10%、矽含量：0.20%、盤捲溫度低於 200°C 和層流冷卻空冷時間：9~13 秒，機性測試結果如表 5。經本案開發後，產出 JSH780Y 鋼捲之 YS、TS 和 EL 均可符合規格要求。

表 5. JSH780Y 鋼材之機性測試結果

鋼捲位置	YS(MPa)	TS(MPa)	EL(%)	Y.R.(%)
中段	486	811	22	0.60
端部	495	830	20	0.60
目標	380~625	780min	17~31	--

五、結論

- 與傳統高強度低合金鋼 (HSLA) 相較，雙相鋼具有高強度、低降伏比和良好伸長率等特性。
- 為達成高強度與低降伏比特性，關鍵技術在於兩相比例與組織型態之掌握，過量之麻田散鐵相和扁長帶狀組織均不利於延性提升。
- 煉鋼採添加矽設計，擴大肥粒鐵生成窗口及延性，搭配適量碳、鉻成分，同時提高強度；熱軋優化兩階段冷卻製程條件後，可成功生產熱軋高強度低降伏比 JSH780Y 汽車用鋼產品。

參考文獻

- 鄭國華、魏豐義等總編，“鋼鐵材料設計與應用”，中國礦冶工程協會，P95-96，2007。

