

TMCP 銲件之疲勞特性研究

Fatigue Crack Growth of TMCP Steel Weldments

計畫編號：NSC86-2216-E-019-008

執行日期：85/08/01 ~ 86/07/31

主持人：蔡履文 國立臺灣海洋大學 副教授

摘要

本研究為針對 TMCP 鋼材及銲件，探討其顯微組織與疲勞裂縫成長特性之關係。實驗結果顯示：直銲銲件之熱影響區僅呈現些微硬化，其原因可歸究於 TMCP 鋼材之低碳當量，因此 TMCP 銲件將有較高之韌性。觀察銲件之顯微組織，粗晶熱影響區由大部份為下變韌鐵及些許上變韌鐵所組成。熱影響區細晶區為細化之變韌鐵及肥粒鐵並在板條狀邊界夾雜微結構相。雖然板材依滾軋方向做不同方向之取裁，呈現高衝擊韌性方向性，但滾軋方向對 TMCP 鋼材之疲勞裂縫成長特性僅有些許影響。不論銲件是否經 600 °C/2hr 銲後回火處理，銲件熱影響區疲勞裂縫成長速率均比原始板材為低。熱影響區變韌鐵組織，比原始鋼材肥粗鐵及波來鐵混合組織有較高之韌性，而導致熱影響區有較原始鋼材為低之裂縫成長速率。整體來說，經銲後回火之 TMCP 銲件，於不同區域均顯示較原始鋼材為佳之疲勞特性。

關鍵字：TMCP 鋼、變韌鐵、疲勞裂縫成長

Abstract

The microstructures and fatigue crack growth rates (FCGRs) of EH36 TMCP steel base plates and welds were investigated. A minor increase in hardness in the as-welded heat affected zone (HAZ) can be attributed to the low carbon

equivalent (CE) of the steel. Hence, the improvement in the HAZ toughness of the weld, as compared to the traditional hardened steel weld, can be anticipated. Microstructural observations indicate the coarse-grained HAZ is composed of a large amount of lower bainite with some upper bainite. Fine-grained HAZ consists of refined ferrite and bainite, together with interlath microphases. Although there is an obvious different impact energy values for L and T specimens, the effect of orientation and tempering treatment only has a slight influence on the FCGRs of the TMCP steel plate, as compared the data obtained from LT, TL and tempered specimens. The lower FCGRs of the HAZ than those of the steel base plate, regardless of the post-weld heat treatment (PWHT), can be attributed to the formation of low-carbon bainite with high toughness, instead of ferrite and intergranular pearlite in the steel plate. The as-welded fusion zone in a CW specimen shows a significantly high Paris-law gradient. The evidence shows that the TMCP steel weld after tempering at 600 °C for 2hr possesses a slightly better resistance to crack growth than the steel plate.

一、簡介

控制軋延加速冷卻 (Thermo-mechanical control process, TMCP) 為新近發展之鋼材生產

製程。此一製程主要在軋延階段，由外加強制水冷方式，達成細化組織的目的。與傳統鋼材製程相比較，TMCP製程鋼材有較高之強度及韌性。

銲件熱影響區粗晶區一般均顯示硬化組織，且隨銲接入熱量降低伴隨高銲後冷速，板材碳當量升高，硬化現象愈明顯。欲避免銲接冷裂或降低銲件應力腐蝕敏感性，鋼材碳當量必需降低。由於TMCP鋼材之強化機構主要來自於組織細化，因此在相同強度等級，TMCP鋼材碳當量低於傳統製程鋼材。碳當量或所添加合金元素降低的結果，鋼材銲接性得以改善。

銲件熱影響區顯微組織主要因鋼材化學成份及其熱循環所決定，多重銲接時，下一道次之熱循環將改變前一道次之顯微組織，因此使得組織變態變得十分複雜。本研究為針對TMCP鋼材及其銲件，探討顯微組織對其疲勞裂縫成長特性之影響，經由裂縫成長平行或橫越銲道方向，評估銲件不同區域之疲勞特性，並由破斷面觀察，瞭解顯微組織對其機械性質之影響。

二、實驗方法

實驗所使用17mm板厚EH36TMCP鋼材其化學成份為(wt%)0.13C, 1.32Mn, 0.31Si, 0.03Ni, 0.03Cr, 0.02P, 0.01S 其餘為鐵基。碳當量依據計算式 $CE = C + Mn/6 + Cr + Mo + V/5 + Cu + Ni/15$ 計算結果，實驗鋼材碳當量為0.382。圖一所示為原始鋼材不同方向之金相組織，由結果得知明顯之晶粒細化。本研究所使用之銲接製程為手工電弧銲接法，試片開槽及實驗試片取裁位置如圖二所示。實驗銲條規格符合AWS E7018，銲接道次為14次，銲接電流為190安培，銲接電壓約25伏特，銲接速度為19公分/分鐘。

三、結果與討論

圖三所示為銲件橫斷面巨觀硬度分佈，如結果所示，由於手工電銲之低銲接熱輸入量，銲件熱影響區約僅有2mm寬度。銲件經多重銲接，銲道及熱影響區均會因下一道次熱循環而產生回火效應，因此銲件硬度值產生些許變動。不論銲後回火與否，銲道位置較不同區域顯示較高硬度，銲件經600°C/2hr回火處理，銲件整體硬度均下降。原始鋼材之低碳當量，導致粗晶熱影響區硬化較輕微。

銲件直銲組織如圖四所示，原始鋼材由細化之肥粒鐵及晶界波來鐵(圖四(a))所組成。銲道組織主要為晶界肥粒鐵、費德曼肥粒鐵及些許微結構相(圖四(b))。由於受到金相顯微鏡解析度限制，銲件熱影響區組織主要藉由熱模擬實驗方式觀察其顯微組織。使用TEM觀察熱模擬試片，粗晶熱影響區主要由下變韌鐵，些許上變韌鐵以及微量殘留沃斯田鐵所組成。銲件細晶熱影則由細化肥粒鐵、變韌鐵及些許存在於板條組織邊界之微結構相所構成。一般低碳變韌鐵和麻田散鐵相比較，對回火效應顯示較低之敏感性，長時間回火僅是使碳化物球化及粗大化。即使經高溫銲後處理，變韌鐵板條狀微結構亦變化不大。由此得知，銲後回火對TMCP鋼材銲件性質影響較低。

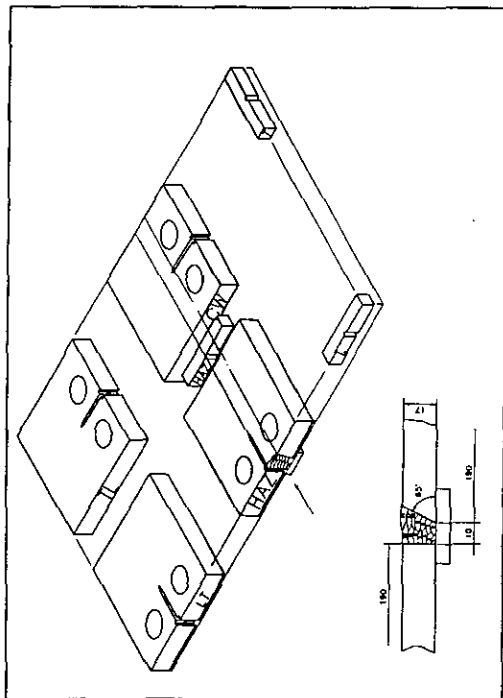
TMCP鋼材及銲件衝擊值如表一所示，雖然金相組織顯示低試片取裁方向性，但L及T試片仍然存在高衝擊值差異性。銲件熱影響區，不論回火與否，均呈現高衝擊值。圖五所示為原始鋼材之裂縫成長特性，如結果所示，LT試片較TL試片於相同 ΔK 值條件下，有略微較低之 da/dN 值(圖五(a))，鋼材經回火後其裂縫成長特性與未回火母材約略相同(圖五(b))。裂縫成長沿銲件熱影響時，實驗結果如圖六所示。整體上熱影響區裂縫成長速率低於原始鋼材，且於低 ΔK 值範圍，其差異性更加明顯。圖七所示為裂縫成長橫越銲道 $da/dN \sim \Delta K$ 關係圖。

四、結 論

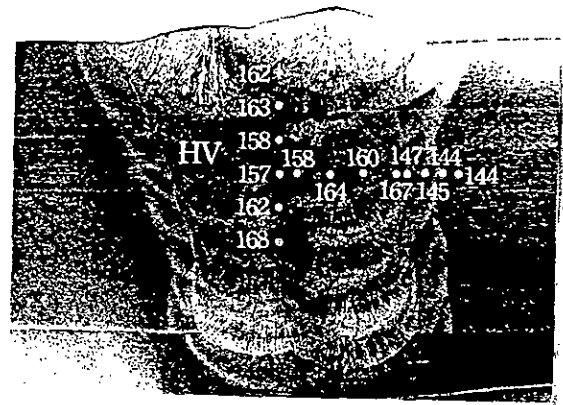
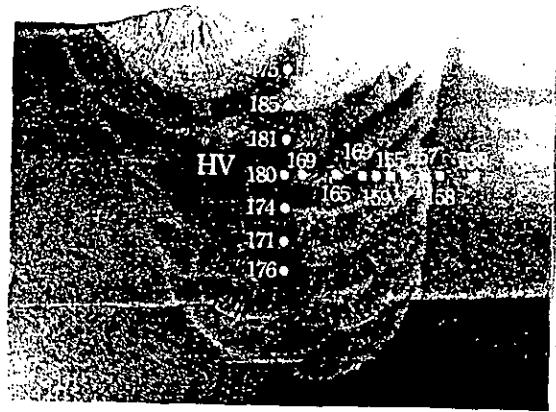
1. 實驗 TMCP 鋼材具明顯晶粒細化，存在於傳統鋼材內部之帶狀組織亦被完成消除，但衝擊試驗結果卻顯示，滾軋方向仍對衝擊值有顯著影響。疲勞裂縫成長試驗結果得知，不同試片取裁方向對實驗結果影響輕微。
2. 實驗 TMCP 鋼材之低碳當量導致熱影響區硬化不明顯，鐸後熱處理對其衝擊韌性值及硬度變化影響不顯著。
3. TMCP 鐸件經由鐸後熱處理，可獲致較原始板材為佳之疲勞裂縫成長特性。



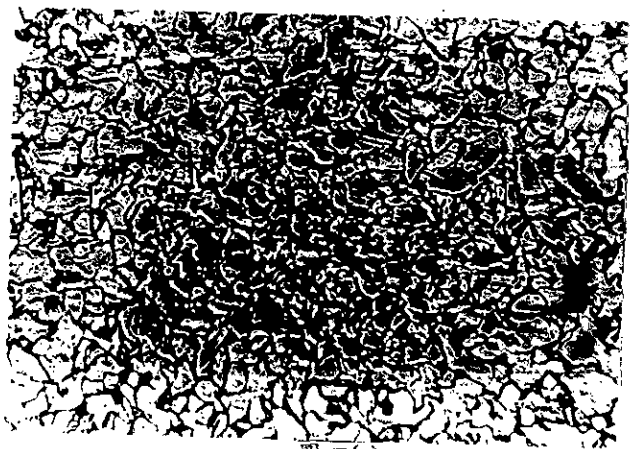
圖一



圖二



圖三



圖四(a)

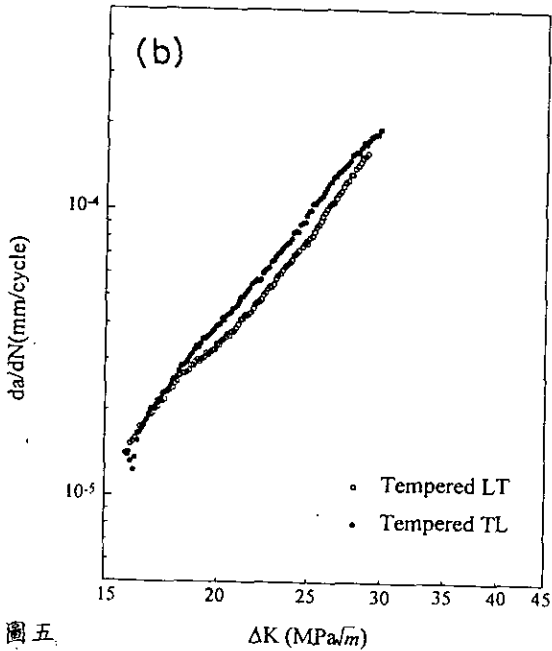
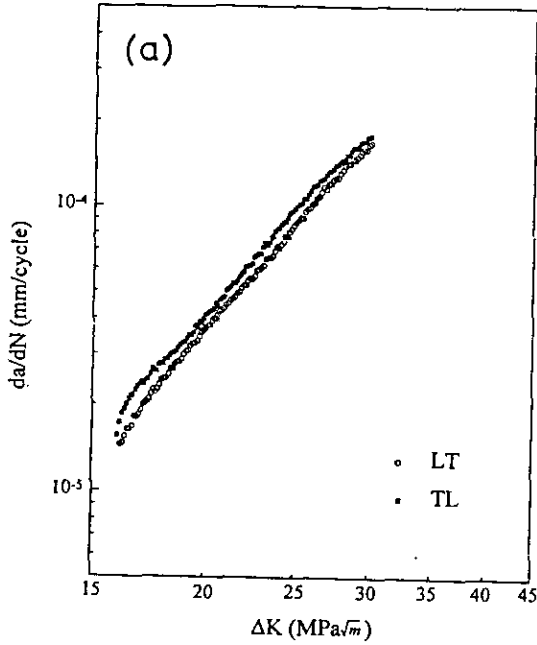


圖四(b)

表一

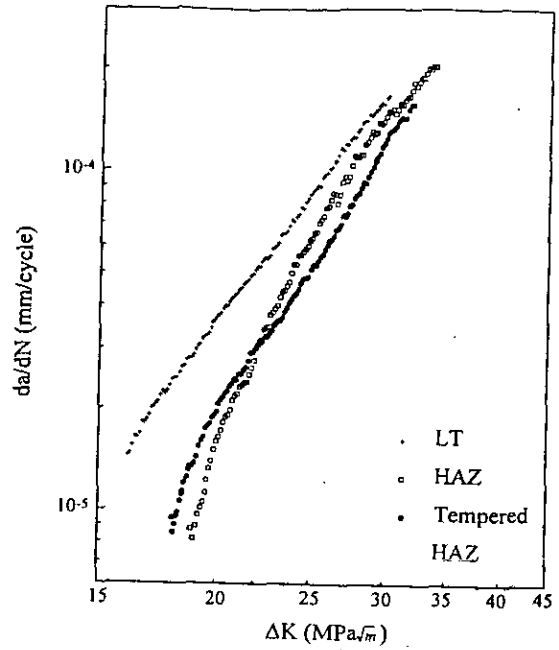
Specimen	L	T	HAZ	Tempered at 600 °C/2hr		
				L	T	HAZ
CVN* Joules	204	147	212	216	149	221

CVN : Charpy V-notched impact test

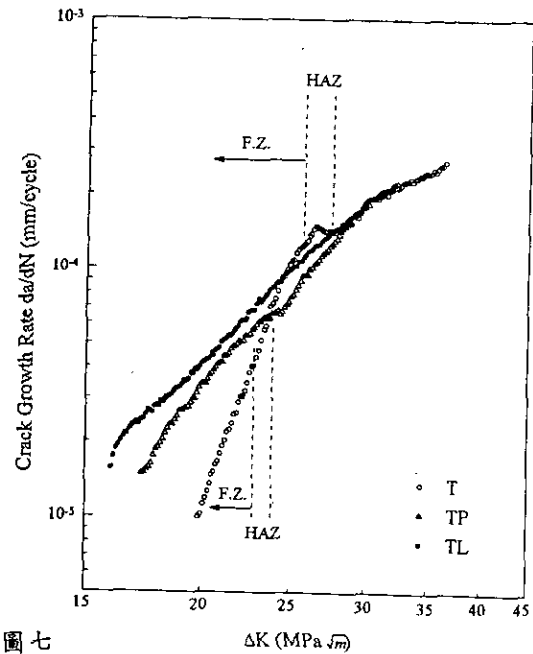


圖五

4. Tamehiro, H., Yamada, N. and Matsuda, H., Effect of the thermo-Mechanical Control Process on the Properties of High Strength Low Alloy Steel, Transactions ISIJ, 1985, vol. 25, No.1, pp.54-61.
5. Yurioka, N., TMCP Steels and Their Welding, Weld in the World, 1996, Vol.35, No.6, pp 375-390.
6. Kusuhara, Y., Kobayashi, E., Ohnishi, F., Hirai, I., Amano, K. and Tarui, R., Structural Steel Plates for Arctic Use Produced by Multipurpose Accelerated Cooling System, Kawasaki Steel Tech. Report, 1985, No.13, pp. 77-82.



圖六



圖七

1. Tsukada, K., Ohkita, T., Ouchi, C., Nagamine, T., Hirabe, K. and Yako, K., Application of On-Line Accelerated Cooling (OLAC) to Steel Plates-Development of OLAC Part 1, Nippon Kokan Tech. Report, Overseas, 1982, No.35, pp.24-34.
2. Ohno, Y., Okamura, Y., Uchino, K., Yamamoto, K., Matsuda, S., Ikeda, K. and Satou, T., Development of Low-Temperature Steel for Welding with High Heat Input, Nippon Steel Tech. Report, 1988, No.36, pp.49-59.
3. Tsukada, K., Yamazaki, Y., Kosuge, S., Tokunaga, T., Hirabe, K. and Arikata, K., Development of YS 36 Kg/mm² Steel with Low Carbon Equivalent Using On-Line Accelerated Cooling (OLAC)-Development of OLAC-Part2, Nippon Kokan Tech. Report, Overseas, 1982, No.35, pp.35-46.