

超高強度 TRIP 鋼板のスポット溶接および

プレス加工に及ぼす遅れ破壊疲労特性

長野工業高等専門学校・機械工学科

教授 長坂 明彦

(平成 27 年度 一般研究開発助成 AF-2015040)

キーワード： TRIP 鋼板，スポット溶接，残留オーステナイト特性

1. はじめに

近年、環境と衝突安全性を両立させる必要性から、水素燃料自動車および電気自動車等の車体軽量化のために、1470MPa 級以上の強度レベルの超高張力薄鋼板（超ハイテン）のニーズが高まっている。また、1180MPa 級以上の強度レベルの超ハイテンにおいては、水素脆化による遅れ破壊が問題となる。そのため、プレス成形時や溶接時の残留応力によって自動車部品が遅れ破壊（置割れ）を発生する可能性がある。しかしながら、自動車用超高張力 TRIP 鋼板のスポット溶接性に関する研究は十分に行われていない。

そこで本研究では、自動車用超高張力 TRIP 鋼板のスポット溶接性を明らかにすることを目的として、単軸引張試験、せん断試験、十字引張試験、スポット溶接引張試験およびアコースティック・エミッション（AE）測定等により検討した。

2. 実験方法

2.1 供試鋼および引張試験片

供試鋼には、0.2C-1.5Si-1.5Mn (mass%) の化学組成を有する冷延鋼板（板厚 1.2 mm）を用いた。熱処理後の試験片を、母相をマルテンサイトとした TRIP 鋼¹⁾（TM 鋼，900°C×1200s の γ 相焼鈍と 250°C×1000s の等温変態処理）、母相をベイニティックフェライトとした TRIP 鋼（TBF 鋼，900°C×1200s のオーステナイト γ 相焼鈍と 400°C×1000s のオーステンパ処理）、母相をポリゴナルフェライトとした TRIP 鋼（PF 鋼，780°C×1200s の二相域焼鈍（400°C×1000s のオーステンパ処理）とそれぞれ呼ぶこととする。表 1 にスポット溶接条件を示す。引張試験、せん断試験および十字引張試験には引張試験機（クロスヘッド速度 1mm/min）を用いた。

①引張試験

図 1 にスポット溶接試験片を示す。JIS 13B 号試験片で図 1 に示すような平行部の長さ 60 mm×板幅 12.5 mm×肩曲率半径 20 mm×板厚 1.2 mm の試験片と 20mm 角のタブ板（tab）をスポット溶接した。

引張試験には、引張試験機によってクロスヘッド速度 1mm/min で行った。また、母材試験片に、tab（20×20mm）

を重ねてスポット溶接した試験片²⁾を溶接試験片と呼ぶこととし、それぞれ TM-tab、PF-tab、TBF-tab と表す。また、水素吸蔵を行った TM 鋼の溶接試験片を TM-tab-H と表す。

②引張せん断試験

JIS Z 3136 に従って、長さ 100 mm×板幅 30 mm×板厚 1.2 mm の試験片を 2 枚重ねあわせ、スポット溶接を行った。

表 1 スポット溶接条件

電極	Material: Cu-Cr DR16×40R
加圧力	4.6 kN (0.4MPa)
電流値	I=6.5 kA
アップスロープ	2 サイクル×60Hz
初期加圧時間	20 サイクル×60Hz
通電時間	16 サイクル×60Hz
保持時間	10 サイクル×60Hz

③十字引張試験

JIS Z 3137 に従い、150 mm×幅 50 mm×板厚 1.2 mm の試験片を十字に 2 枚重ねあわせ、スポット溶接を行った。

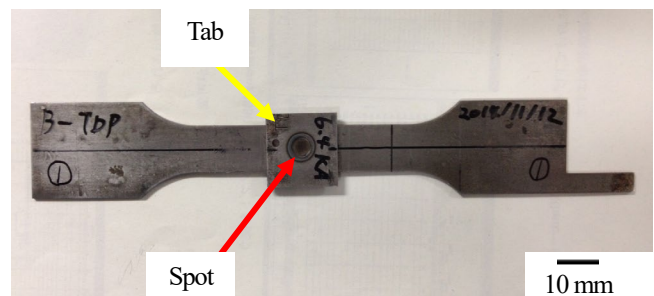


図 1 スポット溶接試験片

2.2 アコースティック・エミッション（AE）計測

図 2 に AE センサを示す³⁾。破壊のメカニズムを明らかにするために、引張試験と合わせて AE 計測を行った。AE センサには共振型のセンサを用いた。周波数範囲が 100～

1000Hz, ゲインが 40dB, しきい値 43dB で実験を行った。AE センサは引張試験片に取り付け、引張試験の開始と同時に AE の測定を行った。

2.3 水素吸蔵試験

図 3 に水素吸蔵試験を示す。水素チャージには、陰極チャージ法（陽極：白金）によって水素を吸蔵させた⁴⁾。水素チャージ部分は、マスキング処理後の JIS 13B 試験片の tab 両面の面積（ $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 2 = 80\text{mm}^2$ ）とした。

・水素吸蔵の条件

電流密度 $10\text{A}/\text{m}^2$ として、tab の総面積は 80mm^2 より、電流値は $10 \times 10^3 \times 80 \times 10^{-6} = 8\text{mA}$ とした。水溶液は水 1 リットルに 3%の NaCl (NaCl は 30g), 1%の NH_4SCN (NH_4SCN は 10g) を混合した。水溶液に試験片を入れ水素吸蔵を開始してから 48 時間水素を吸蔵した。

3. 実験結果および考察

表 2 に供試鋼の機械的特性を示す。また、図 4 に応力 σ - ひずみ ϵ 曲線を示す。図 5 に溶接試験片破断部 (a)TM-tab-H および(b)TM-tab を示す。図 6 に応力 σ - ひずみ ϵ 曲線 (TM 鋼)を示す。図 7 に応力 σ および AE エネルギー RMS と時間 T の関係を示す。図 8 にせん断力 TSS と変位 S の関係を示す。図 9 に十字引張力 CTS と変位 S の関係を示す。

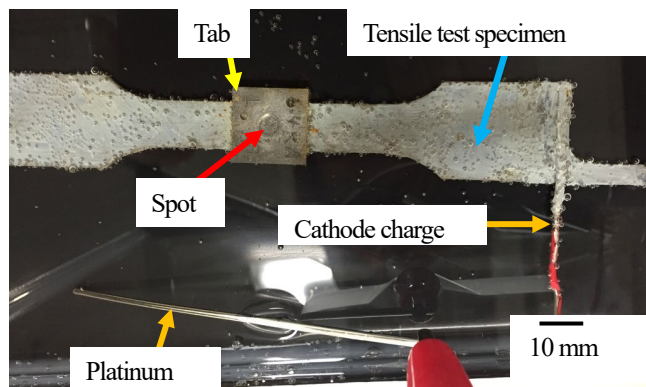


図 3 水素吸蔵試験

表 2 供試鋼の機械的特性

steel	YS (MPa)	TS (MPa)	UEI (%)	TEI (%)	YR	TS×TEI (GPa%)
TM	927	1462	7.7	9.9	0.63	14.5
TBF	806	1069	5.1	8.2	0.75	8.8
PF	586	861	27.7	32.4	0.68	27.9

YS: yield stress, TS: tensile strength, UEI: uniform elongation, TEI: total elongation, YR: yield ratio ($YR = YS/TS$) and $TS \times TEI$: strength-ductility balance.

図 4 より、単軸引張りの TM 鋼はスポット溶接部近傍で破断したが、PF 鋼および TBF 鋼は母材破断した。

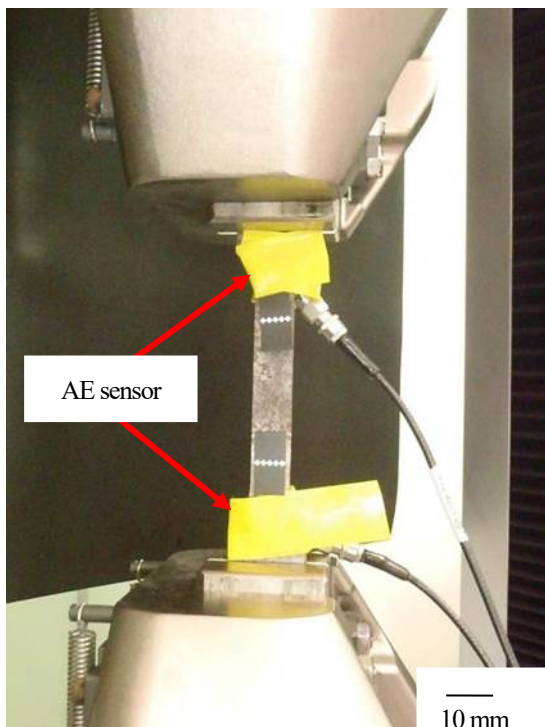


図 2 AE センサ

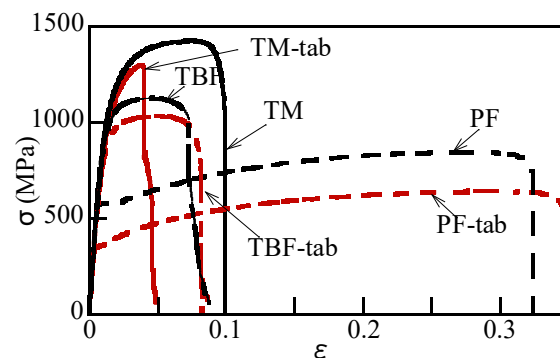


図 4 応力 σ - ひずみ ϵ 曲線

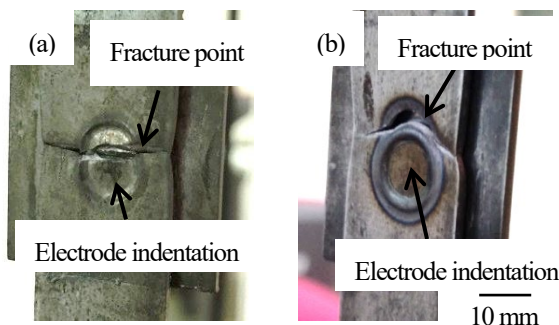


図 5 溶接試験片破断部 ((a) TM-tab-H, (b) TM-tab)

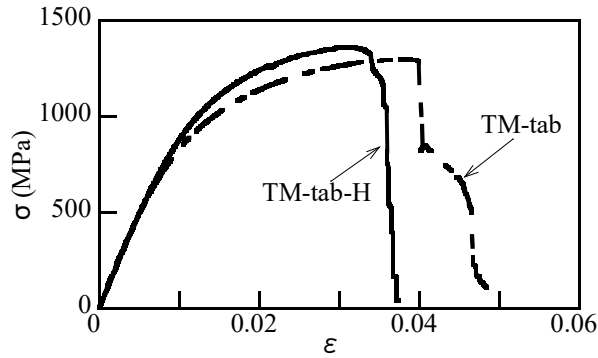


図6 応力 σ -ひずみ ε 曲線 (TM鋼)

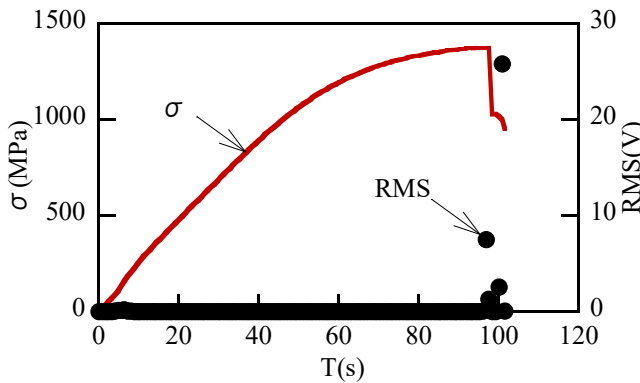


図7 応力 σ およびAEエネルギーRMSと時間 T の関係 (TM-tab-H)

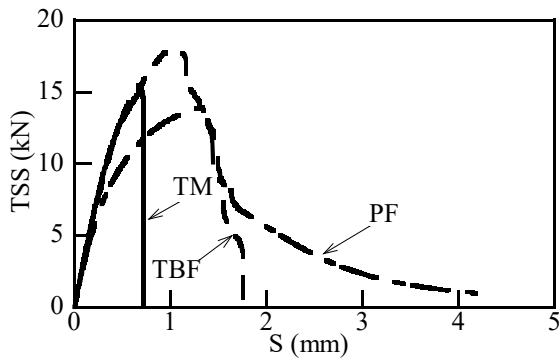


図8 せん断力 TSS と変位 S の関係

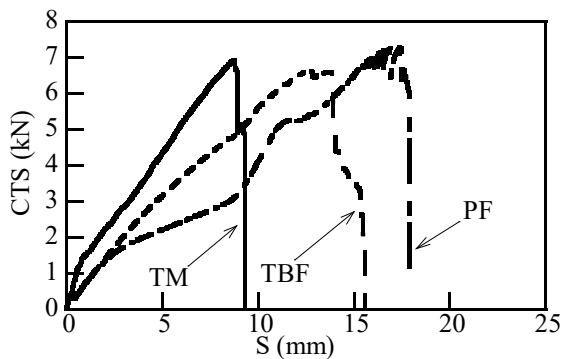


図9 十字引張力 CTS と変位 S の関係

図6より、水素チャージしたTM鋼はスポット溶接部近傍で破断したが、水素吸蔵の影響は見られなかった(図5)。これは、オーステナイトのマルテンサイト変態を抑制して水素の破壊起点への拡散を抑制することが考えられた。図7より、時間 $t=100s$ で、RMSが急激に検出されることが分かる。これは、TM鋼の最高荷重点の直前に、き裂が発生することを示唆する。図8および図9より、せん断力TSSおよび十字引張力CTSともに変位 S より、TM鋼、TBF鋼およびPF鋼の順に荷重低下することがわかる。これは、母材強度レベルが一因と考えられる。

4. 結言

- (1) 単軸引張りのTM鋼はスポット溶接部近傍で破断したが、水素吸蔵によりスポット溶融部で破断したが、引張強さは低下しなかった。遅れ破壊の影響は見られなかった。
- (2) 単軸引張りのTM鋼はスポット溶接部近傍で破断したが、PF鋼およびTBF鋼は母材破断した。
- (3) せん断力TSSおよび十字引張力CTSはTM鋼、TBF鋼およびPF鋼の順に荷重低下した。これは、母材強度レベルが一因と考えられた。

謝辞

最後に、本研究にあたり、ご支援いただきました公益財団法人 天田財団に対し、深く感謝の意を表すとともに、東北大学金属材料研究所 北條智彦先生、長野工業高等専門学校 古澤拓郎氏、花岡伸哉氏、市川亮太郎氏に併せてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) K. Okita, J. Naito, T. Murakami and S. Ikeda: 4th International Conference HOT SHEET METAL FORMING of HIGH-PERFORMANCE STEELCHS, Lulea, Sweden, (2013), 137.
- 2) T. Okada, K. Hamada, H. Fujimoto, H. Ueda, M. Yasuyama and M. Uchihara: Japan Welding Soc. Meeting, 90, (2013), 1.
- 3) M. Mukherjee, O. Nath Mohanty, S. Hashimoto, T. Hojo and K. Sugimoto: ISIJ Int., 46 (2006), 1241.
- 4) T. Hojo, S. Song, K. Sugimoto, A. Nagasaka, S. Ikeda, H. Akamizu and M. Mayuzumi: Tetsu-to-Hagane, 90 (2004), 177.