

自動車用 0.23%C ホットスタンプ材の YAG レーザ溶接性*

長坂明彦^{*1}・長谷部賢吾^{*2}・山口貴正^{*3}・内藤純也^{*4}
 佐藤伸志^{*4}・三尾敦^{*5}・加藤正幸^{*5}・宋星武^{*6}

YAG Laser Weldability of Automobile 0.23%C Hot Stamping Steel Sheet

NAGASAKA Akihiko, HASEBE Kengo, YAMAGUCHI Takamasa, NAITO Junya,
 SATO Shinji, MIO Atsushi, KATO Masayuki and Sung Moo Song

The effects of YAG laser welding conditions on mechanical properties of ultrahigh strength 0.23C-0.19Si-1.29Mn-0.013P-0.001S-0.052Al-0.024Ti-0.21Cr-0.003V-0.003B (mass%) hot-formed (22MnB5) steel were investigated. Tensile tests have been conducted for laser butt welded joints obtained from the combination of the same steel. The tensile properties were affected by the welding speed and the pulse energy. The joint penetration was obtained by using the energy of 15.2 J/pulse (mean power: 685 W, pulse frequency: 45Hz, pulse width: 3.8ms) and the welding speed of 250 mm/min. It was concluded that the YAG laser weldability of the 22MnB5 steel was ascribed to the weld joint formation. The joint strength decreased by about 500 MPa, compared with the tensile strength of base material, and welded efficiency was 75%, because of notch effect and crack initiation at the laser weld of welded heat affected zone (HAZ) and the base material.

キーワード：ホットスタンプ材，溶接性，YAG レーザ，テーラードブランク，熱影響部

1. 緒言

近年、ハイブリッドカーおよび電気自動車等の各種メンバー類にはホットスタンプ技術により、スプリングバックのない部品延性ならびに溶接性等に優れた材料とプレス技術が期待されている。ホットプレスは材料を約 900℃に加熱して水冷のプレス型で成形する工法で、成形性と強度を同時に確保している。この工法に使用される鋼材をホットスタンプ材と呼んでいる。適用事例としては、国産車であれば、ピラーはレインフォース（内部の補強部品）またはルーフクロスで使用されている。また、フロントバ

ンパーで使用されている。これまでに、ホットスタンプ材に関する研究^{1)~2)}が報告されてきたが、ホットスタンプ材の YAG レーザ溶接性に関する報告は十分ではない。

そこで本研究では、ホットスタンプ材のレーザ溶接性を明らかにすることを目的として、YAG レーザを用いて突合せ溶接したホットスタンプ同種材質テーラードブランクを作製し、引張特性を調査した。

2. 実験方法

供試鋼には 0.23C-0.19Si-1.29Mn-0.013P-0.001S-0.052Al-0.024Ti-0.21Cr-0.003V-0.003B, mass%の MnB 鋼板(板厚 1.4mm)を用いた。突合せ接合は、熱処理後に研削したブランクをファインカッター切断し、6 軸多関節ロボット(出力: 1200W, パルス幅: 0~20ms)により YAG レーザ溶接を行った。突合せは、I 型開先により、ルート間隔 0.1mm 以下の片側溶接とした。加工条件は、パルスエネルギー 15.2J/P, パルス幅 3.8ms, パルス繰返し数は 45Hz (平均出力 $P=684W$)、溶接速度は 250mm/min 一定にし、 N_2 ガスでシールドした。なお、バックシールドは施さなかった。以後、溶接した同種材テーラ

* 2013 年 3 月 9 日 日本機械学会北陸信越支部第 50 期総会・講演会にて一部発表。

*1 機械工学科教授

*2 長野工業高等専門学校専攻科学生
(平成 24 年度機械工学科卒業)

*3 長野工業高等専門学校専攻科学生
(平成 23 年度機械工学科卒業)

*4 株式会社 神戸製鋼所

*5 技術支援部

*6 信州大学工学部助教

原稿受付 2013 年 5 月 20 日

ードブランクを MnB-MnB 鋼と呼ぶ。

引張試験には圧延方向に作製（ワイヤ放電加工）した JIS13B 号引張試験片を用い、テーラードブランクは溶接線を引張方向に対して直交方向とした。引張試験機により、クロスヘッド速度 1mm/min（ひずみ速度 $2.8 \times 10^{-4}/s$ ）で試験を行った。なお、必要に応じてマイクロビッカース硬さ試験（荷重 0.49N, 保持時間 5s）および残留応力測定を行った。

3. 結果および考察

表 1 に MnB の機械的性質を示す。また、図 1 に破断後の引張試験片を、表 2 に溶接した試験片の機械的性質をそれぞれ示す。ここで、F は母材あるいは溶接部（熱影響部：HAZ）の破断部を意味する。MnB-MnB 鋼の破断部は溶接部近傍で破断した。通常、母材部で破断した試験片は良好な溶接性を意味するが、溶接した MnB-MnB 鋼の引張強さ TS は、溶接無しのそれと比べ、500MPa 程度低下した（表 1, 表 2）。また、高張力鋼の溶接では、熱影響部 (HAZ) が軟化したり、溶接金属の強度が母材と比べ低い場合が生じる。このような場合は、溶接継手効率（＝溶接継ぎ手の強度÷母材の強度）が 80～70%あるいはそれ以下になることがある³⁾。以上のことから、MnB-MnB 鋼の溶接継手効率は 75%となる。

図 2、図 3 および図 4 に接合部中心断面の組織

表 1 供試鋼の機械的性質

steel	TS (MPa)	TEl (%)	Base metal	HAZ
MnB-MnB	1091	5.3		F

(TS : tensile strength, TEl : total elongation and F : fracture)



図 1 破断後の引張試験片 10 mm

表 2 溶接した試験片の機械的性質

steel	TS (MPa)	TEl (%)	Base metal	HAZ
MnB	1508	4.5	F	

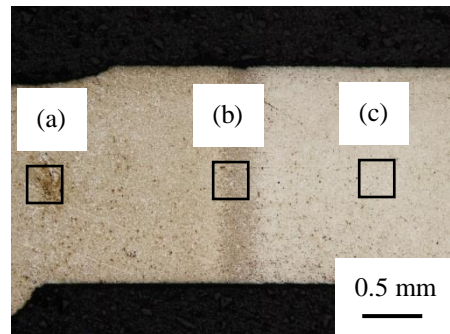


図 2 接合部中心断面の組織

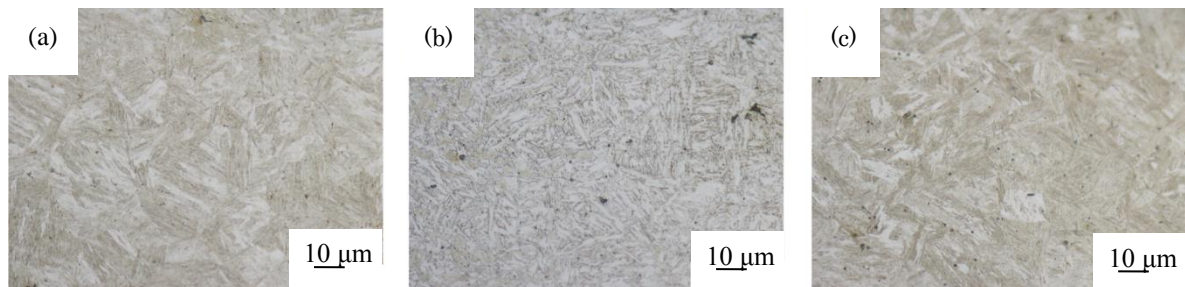


図 3 腐食した接合部中心断面の組織 ((a)溶融部, (b) HAZ 部, (c)母材部)

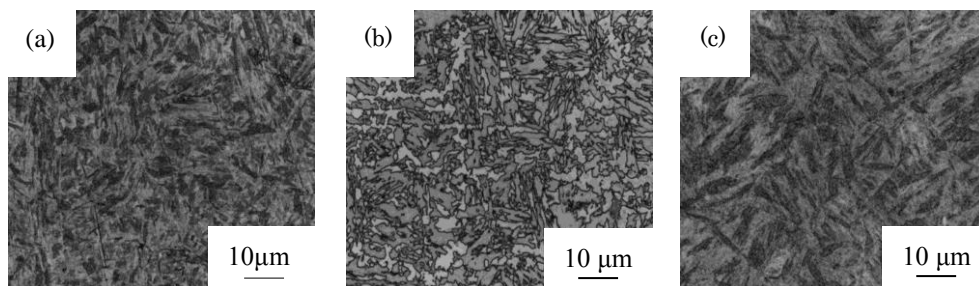


図 4 接合部中心断面の組織（レペラ腐食）((a)溶融部, (b) HAZ 部, (c)母材部)

を示す。図 2 および図 3 は、完全溶け込みの状態
3%硝酸アルコール溶液で腐食を行った。また、図 3
に接合部中心断面の組織を拡大したものを、図 4 に
レペラ腐食したものをそれぞれ示す。以上のことよ
り、溶融部と母材部はフルマルテンサイト組織（図
3 および 4(a), (c)）で、HAZ の組織は、フルマルテ
ンサイト組織と異なり、一部がフェライト化して
いることがわかる（図 4(b), 白色：マルテンサイト、
灰色：フェライト）。

図 5 に接合部中心からのビッカース硬さ HV 分布
を示す。硬さ試験には、板厚の 1/2 を距離 $x=0.1\text{mm}$
間隔で測定した。MnB-MnB 鋼は、HAZ 部で低下し、
再び硬さが溶融部と同程度まで高くなる。これは、
硬さの分布が切欠きとして作用することで、溶接の
有無による TS 差が 500MPa 低下した一因として考え
られる。MnB 鋼板の溶接性は、硬さ比（HAZ 部
 HV /溶融部 $HV=0.5$ ）は YAG レーザ溶接により、
 500MPa 程度強度低下した一因と考えられる。

図 6 および図 7 に接合部中心からの押し込み硬さ
 DHV および接合部中心からの押し込み弾性率 E を示
す。 $DHV1$ は負荷時の押し込み硬さ（塑性変形+弾性
変形）、 $DHV2$ は負荷時の押し込み硬さ（塑性変形）で、
 E は押し込み弾性率を意味する。 $DHV1$ 、 $DHV2$ および
 E の差がそれぞれ HAZ 部で大きく変化しているこ
とがわかる。

図 8 に残留応力 σ_R と中心からの距離 x との関係
を示す。 σ_R はそれぞれ、(a) $\sigma_R=17.422\text{MPa}$ 、(b) $\sigma_R=-$
 31.495MPa 、(c) $\sigma_R=-89.123\text{MPa}$ となり、溶融部に
プラスの σ_R が作用していることが確認できた（図 2）。

図 9 に引張試験片の破断面写真を示す。(a)は MnB
鋼の母材、(b)は MnB-MnB 鋼である。主として、(a)
はディンプルを有する延性的破壊、(b)はへき開を有
する脆性的破壊である。

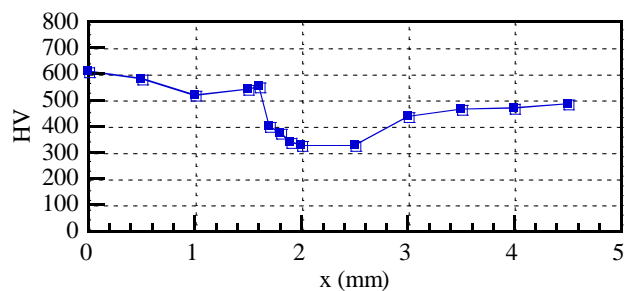


図 5 接合部中心からのビッカース硬さ HV と距離 x との関係

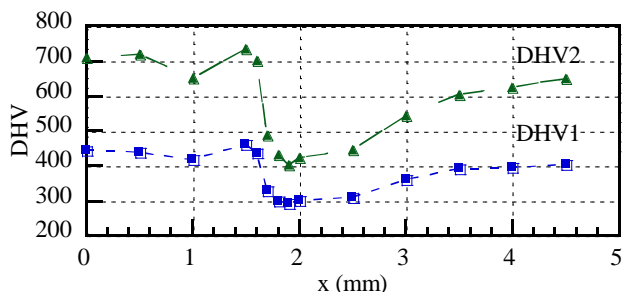


図 6 接合部中心からの押し込み硬さ DHV と距離 x との関係

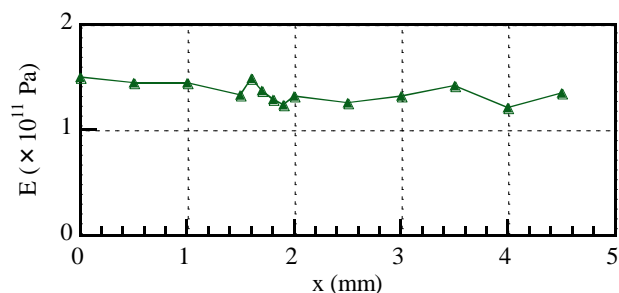


図 7 押し込み弾性率 E と接合部中心からの距離 x との関係

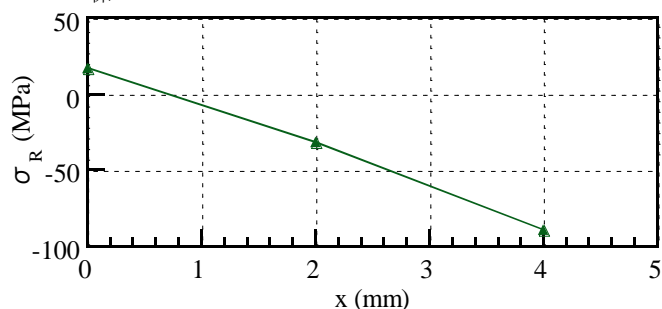


図 8 残留応力 σ_R と接合部中心からの距離 x との関係

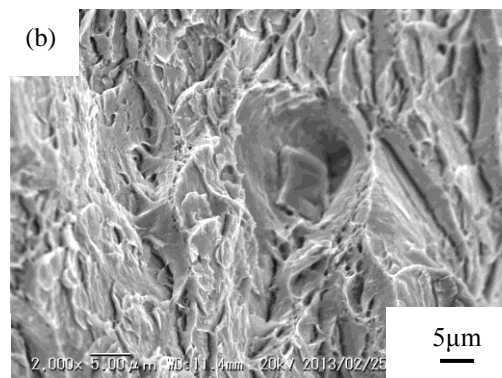
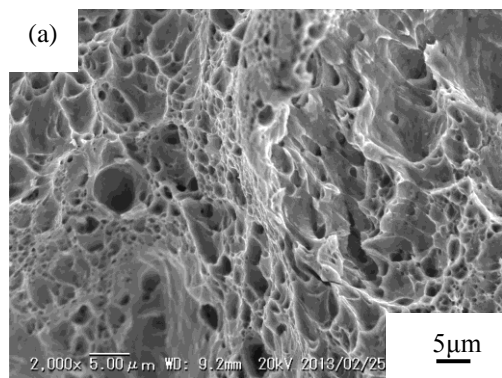


図 9 破断面写真

4. 結言

ホットスタンプ材のレーザ溶接性を明らかにすることを目的として、YAG レーザを用いて突合せ溶接したホットスタンプ同種材質テーラードブランクを作製し、引張特性を調査した。得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) MnB 鋼板の溶接性は、YAG レーザ溶接により、500MPa 程度強度低下した。
- (2) HAZ 部の硬さの分布が切欠きとして作用したことで硬さ比 (=HAZ 部 HV/溶融部 HV) は 0.5 となり、溶接の有無による引張強さ TS の差

が 500MPa 低下した一因として考えられる。

- (3) MnB-MnB 鋼の溶接継手効率率は 75%であった。

参 考 文 献

- 1) 今井 和仁, 吉川幸宏, 土岐保: 熱間プレスされた亜鉛めっき鋼板の特性, CAMP-ISIJ, vol. 18, (2005), 557.
- 2) 中田匡浩・今井和仁・小嶋啓達・総田良之: 熱間プレス用 GA 鋼板の摺動特性および熱伝達特性, 熱間プレス用 GA 鋼板の開発-その 4, CAMP-ISIJ, vol. 24, (2011), 302.
- 3) 林誠二郎: 溶接教育シート (シラバス). 日本溶接協会 (2004). No. Q04-02-8