

株式会社デンソー ○近江 義典、井上 哲志

大阪大学接合科学研究所 片山 聖二、松縄 朗

Laser Weldability of High Carbon Steels

By Yoshinori OHMI, Tetsushi INOUE, Seiji KATAYAMA and Akira MATSUNAWA

1. はじめに

近年、製品に使用する材料の種類は製品の高精度化、コスト低減の面から、多岐に及んできている。その中で、高炭素鋼は高強度で小型化が可能であり、耐摩耗性に優れた材料として、使用ニーズが増大している。一方、これら多種材料を高精度に溶接する方法として低入熱、高速度溶接が可能であるレーザ溶接は非常に有効な手段として用いられている。しかし、高炭素鋼をレーザ溶接した場合、溶融部に溶接割れが発生する問題点がある。そこで、本研究では、パルスYAGレーザ装置を用いて、高炭素鋼の溶接割れに及ぼす鋼中の不純物元素や溶込み形状の影響を検討し、溶接割れ発生の条件について基礎的な検討を行った。

2. 実験方法

使用材料は、炭素量を約 0.1%～1.0%に変化させた炭素鋼であり、その化学組成を **Table 1** に示す。一部の材料は、含有される P および S 量を増加させて溶接割れへの影響を調査した。使用溶接機はルモニクス製パルスYAGレーザ装置

Table 1 Chemical compositions of materials used.

Mark	C	P	S	Si	Mn	Al	N	O
C1	0.092	0.002	0.002	0.012	0.110	0.014	0.0044	-
C3	0.287	0.002	0.002	0.013	0.110	0.010	0.0042	-
C6	0.60	0.005	0.005	0.31	0.77	0.020	0.0041	0.0009
C8	0.80	0.005	0.005	0.31	0.77	0.021	0.0040	0.0008
C10	1.01	0.005	0.005	0.31	0.78	0.023	0.0039	0.0010
C8S	0.80	0.006	0.030	0.31	0.78	0.019	0.0036	0.0009
C8P	0.81	0.026	0.005	0.32	0.77	0.018	0.0038	0.0008

（平均最大出力 400W）である。溶接は、Ar ガス雰囲気中で、ピーク出力を 1.0～4.5 kW、パルス幅を 5～20 ms に変化させて、ジャストフォーカス（集光径φ0.5 mm）のビードオンプレート溶接法にて1パルスだけレーザを照射した。得られたスポット溶接部の溶込み形状、割れ発生位置およびミクロ組織の調査は試料の断面を研磨し、光学顕微鏡を使用して実施した。発生した溶接割れの破面は走査型電子顕微鏡によって観察し、その発生形態を推定した。

3. 実験結果および考察

各種使用材料に対して、パルスレーザをピーク出力とパルス幅を変化させて照射し、スポット溶接部の断面調査を実施した。その結果、C1 および C3 以外の材料では、条件によって割れが発生した。その割れ形態を整理すると、**Fig. 1** に割れ形態を模式的に示すように、3種類に分類できることがわかった。一例として、溶接部中央が縦に割れた Type L の例を **Fig. 2** に示し、Type H の割れ破面を走査型電子顕微鏡で観察した結果を **Fig. 3** に示す。破面にはセル樹枝状晶のデンドライトの2次アームが明瞭に見られることから、この割れは凝固割れであると推定できる。なお、Type L の縦割れの破面も同様の形態を呈している。一方、Type S の割れ破面はデンドライトが不明瞭となっていたが、発生位置が Type L の延長上にあるため、比較的低温度域で発生した凝固割れであろうと推定した。次に、含有炭素量だけを変化

させた試料 C1～C10 に対して、ピーク出力を変化させてレーザ照射した場合の溶込み深さと割れ発生状況について検討した。整理した結果を Fig. 4 に示す。その結果、炭素量の少ない C1 および C3 は溶込み深さに関係なく良好な溶接状態を呈している。一方、炭素量が 0.6% 以上の試料については溶込み深さが 0.7 mm 以上になると割れが発生した。さらに、試料中に含有される P および S の影響についても検討した結果を Fig. 5 に示す。C8P および C8S は C8 よりも浅い溶込み深さでも割れが発生する。さらに C8P の割れ方は C8S よりも著しい。割れは、Type S、H および L の順に発生するようである。以上、含有炭素量が 0.6% 以上の試料において溶込みが 0.7 mm 以上で高温割れが発生した理由について、①含有炭素量が多いと初晶が γ 凝固するために不純物元素が凝固中の結晶粒界の残留液相中に濃化しやすくなり、広い凝固温度範囲となること、②溶込みが深い場合、その結晶成長方向から推定すると、柱状晶が溶接部中央で正面衝突している会合面が存在し、その部分での収縮ひずみ量が多い点などが考えられる。（謝辞）材料の御提供を頂きました新日本製鉄(株)開発本部の富田幸男氏に感謝致します。

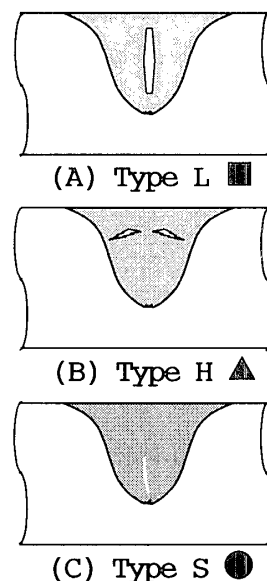


Fig.1 Illustration of typical cracks.

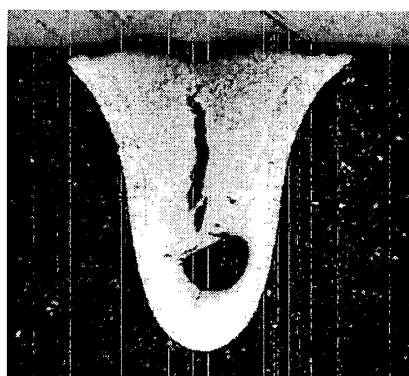


Fig.2 Cross section of laser spot weld in high carbon steel.

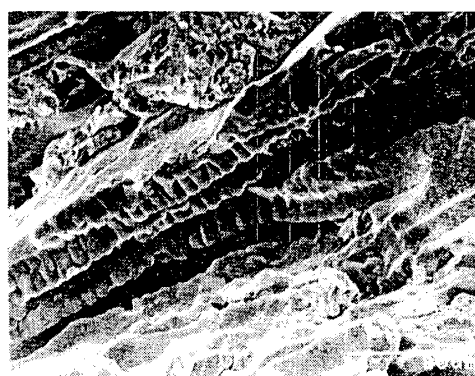


Fig.3 SEM photo of Type H crack surface.

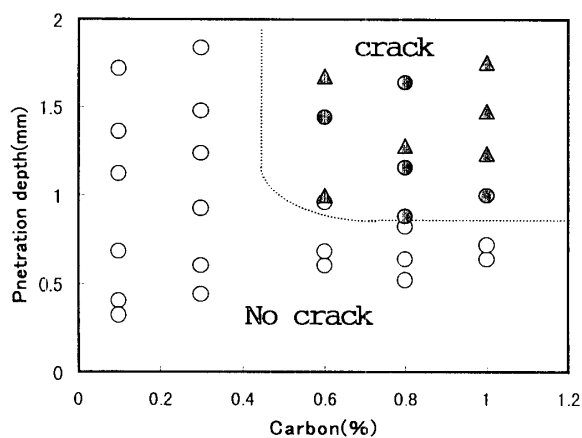


Fig.4 Effect of C content and penetration depth on crack occurrence.

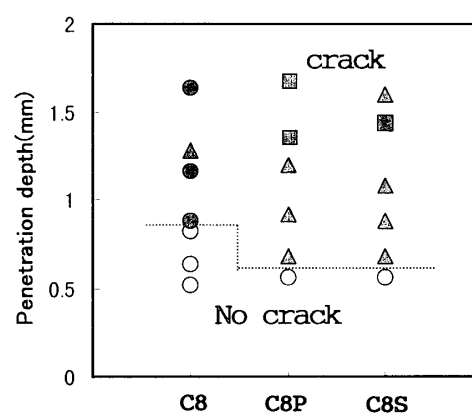


Fig.5 Effect of P and S and penetration depth on crack occurrence.