

大阪大学 ○石川 清 康, 眞 岩 卓 臣, 西 紀 昭, 大 村 悦 二, 宮 本 勇

Study on Keyhole Behavior Based on Image Processing of High-Speed Photography
—Analysis of Keyhole Phenomena in Laser Welding (Report. 3)—

by Kiyoyasu Ishikawa, Takuomi Maiwa, Noriaki Nishi, Etsuji Ohmura and Isamu Miyamoto

1. はじめに

レーザ溶接におけるキーホール挙動の解析は、溶接条件の最適化や溶接欠陥の防止において有用である。特に高速度撮影は、キーホール現象の激しい変動を時系列で解析できる有効な手段である。本報では、高速度カメラで得られた映像をデジタル画像処理により定量的に解析して、貫通および非貫通溶接におけるプラズマプルームの挙動を考察した。

2. 実験方法

定格出力 3 kW の CW CO₂ レーザを焦点距離 7.5 インチ (187 mm) の ZnSe レンズで集光し、板厚 0.8 mm と 4 mm の軟鋼 SS41 に溶接速度 2.4 m/min でビードオン溶接した。溶接部は、直径 6 mm の銅製ノズルで Ar ガスを 20 l/min 供給してシールドした。溶接時の様子を、最大撮影コマ数 40500 f/s の高速度カメラ 2 台により、俯角 60 度および 5 度から同時撮影した。得られた画像はグレースケール 256 階調である。これを画像処理し、プラズマプルームの大きさや吹き出し角度等を定量的に評価した。

3. 結果と考察

3.1 貫通溶接 板厚 0.8 mm の場合は貫通溶接である。高速度撮影画像の例を Fig. 1 に示す。上が俯角 5 度から、下が 60 度から撮影したものである。図の右側が溶接の進行方向である。俯角 60 度で撮影した画像を 2 値化し、明るい方のプルーム部の面積を抽出した結果を Fig. 2 に示す。俯角 5 度から撮影した画像から、上下に噴き出すプルームの面積を求めた結果を Fig. 3 に示す。Fig. 2 で特に明るさの大きいときは、Fig. 3 の上方プルームも大きく、約 60 μ s 遅れて裏面からプルームが噴き出す。このとき、Fig. 2 の明るさが極端に低下する。Fig. 1 (c) はこのときの画像であるが、キーホール開口がはっきりと認められる。この遅れ時間と板厚から、貫通速度は約 13 m/s と見積もられる。

プルームが上に噴き出すときは、Fig. 1 よ

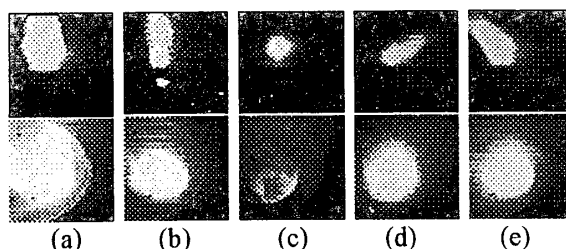


Fig. 1 Images of plasma plume by high-speed photography in full penetration welding of steel 0.8 mm thick. Upper and lower images are taken at aiming angle of 5 and 60 degrees, respectively.

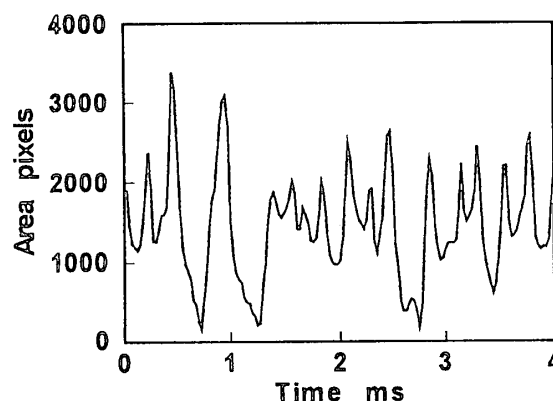


Fig. 2 Transition with time of plume area in the images taken at aiming angle of 60 degrees in full penetration welding of steel 0.8 mm thick

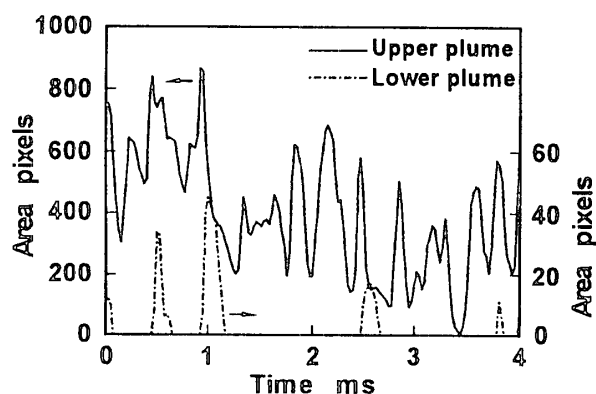


Fig. 3 Transition with time of plume area in the images taken at aiming angle of 5 degrees in full penetration welding of steel 0.8 mm thick

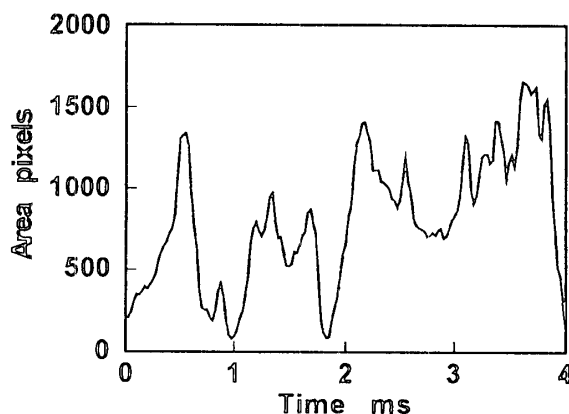


Fig. 5 Transition with time of plume area in the images taken at aiming angle of 60 degrees in partial penetration welding of steel 4 mm thick

り、その方向が進行方向に対して前後に振れていることがわかる。Fig. 1 (c)ですら、俯角 5 度で見ると上方にプルームが円状に存在しており、Ar プラズマであることがわかる。キーホールからプラズマが噴き出すとき、密度の大きい Ar プラズマによって遮られ、噴き出す角度を変化させられると考えられる。

3.2 非貫通溶接 板厚 4 mm の場合は非貫通溶接である。高速度撮影画像の例を Fig. 4 に

示す。俯角 60 度の撮影画像からプルーム部の面積を抽出した結果を Fig. 5 に示す。同様に、俯角 5 度の撮影画像からプルームの面積を求めた結果を Fig. 6 に示す。貫通溶接のときと比較して、Fig. 5 では明暗の差が小さい。プラズマが裏面に抜けず、キーホール内に残留しやすいためと考えられる。Fig. 7 は、俯角 5 度の撮影結果を基に、キーホール開口から噴き出すプルームの、溶接進行方向からの角度を求め、10 度ごとに頻度で示したものである。Ar プラズマに遮られ、80 度と 110～120 度近辺に集中しているのがわかる。

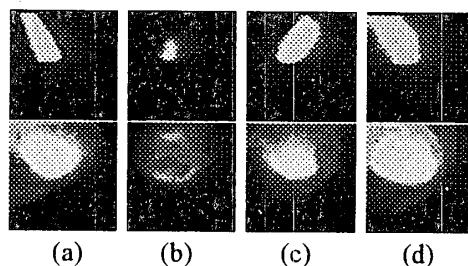


Fig. 4 Images of plasma plume by high-speed photography in partial penetration welding of steel 4 mm thick. Upper and lower images are taken at aiming angle of 5 and 60 degrees, respectively.

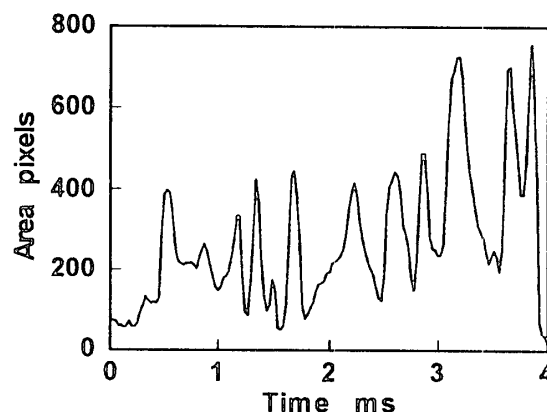


Fig. 6 Transition with time of plume area in the images taken at aiming angle of 5 degrees in partial penetration welding of steel 4 mm thick

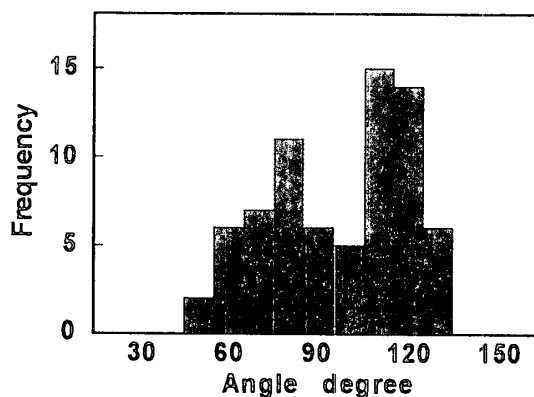


Fig. 7 Frequency of blowing-out angle of plume from keyhole opening in partial penetration welding of steel 4 mm thick