

AEによる溶接の健全性評価

○西本重人¹

Integrity evaluation of the welded state by AE

Shigeto Nishimoto

概 要

溶接中に発生するアコースティックエミッション（AE）の挙動を検討したところ、発生した AE のエネルギー値と溶接状態に相関が観察された。そこで、AE の挙動を詳細に検討した結果 ①溶け込み量は発生した AE のエネルギー積算値と相関があること ②溶け込み不良やブローホール、芯ブレなどの溶接不良は、AE のエネルギー値とそのばらつきにより識別できることが判明した。本結果により、溶接部を切断して組織観察する方法や、目視観察などにより評価されていた溶接部の健全性が、AE により定量的にしかも溶接加工中に評価できる可能性が明らかになった。

キーワード：溶接、AE、非破壊検査、品質管理、溶け込み量

1. 緒 言

溶接は、構造物の生産によく使用される加工技術であるが、構造物の信頼性を決定する重要な技術である。しかし、溶接結果の健全性評価の方法としては、溶接部を切断して溶け込み量を判断する方法や、目視検査により溶接状態を判断する方法などが行われているが、加工中に、しかも非破壊で評価することは困難であった。本報では、溶接中に発生する AE を検出し、その特徴量から溶け込み不良やブローホールなどの溶接不良を識別する技術を開発したので、結果を報告する。

2. 試験方法

溶接加工中に発生する AE 挙動を検討するにあたり、繰り返し精度のよい溶接を行うためにロボットを使用して溶接を行った。図 1 に試験状況を示す。加工方法はアーク溶接による重ね合わせ溶接とし、AE センサは火花などにより破損しないように、加工部から少し離れた位置で、さらに試験体直接ではなく試験体を固定している固定台に取り付けた。

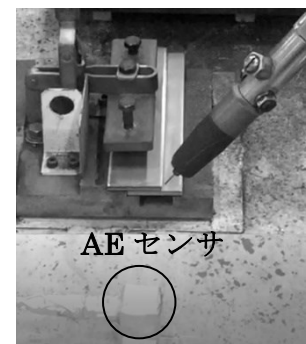


図 1 試験状況

¹ 藤村クレスト株式会社, 〒113-0034 東京都文京区湯島 3-26-11 YM ビル 4 階
Fujimura Crest Co., Ltd. 4F, YM Bldg.,3-26-11, Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0034

3. 試験条件

試験条件を表 1 に示す。本試験では、溶け込み量を変化させる方法として、電流値を変化させて溶け込み量を調整した。ただし、溶け込み量を少なくするために電流を小さくする場合は、溶接機の制御方法の関係で電圧値により制御した。

4. 計測条件

計測条件を表 2 に示す。本試験前に、溶接時に発生する AE の周波数特性を検討した結果、発生する AE の周波数成分は 10kHz~500kHz と幅広い周波数成分を有していた。そこで、ガスや外乱ノイズの弁別を考慮して、本試験で使用する AE センサは 150kHz 共振型とした。外乱ノイズが大きい場合や、溶接加工が近接して行われる場合などでは 300kHz 共振型を使用するのも有効だと思われる。なお、計測するデータは、源波形でなく、包絡線検波信号とパラメータ変換したデータを収集した。

5. 試験結果

5.1 溶け込み量の評価

図 2 に、溶接時に発生した AE の包絡線検波波形を示す。溶接による金属の溶け込みを考えると与えられた熱エネルギーが蓄積されて材料を溶かして融合すると考えられる。したがって、溶け込む量は与えられたエネルギーと相関すると考えられるので、発生した AE 信号の積算値、すなわち AE のエネルギー値と相関があると推測できる。また、レーザー溶接に関しては AE と溶け込み量の相関が報告されている¹⁾²⁾。図 3 に、溶接電流を変化させて溶け込み量を変化させた場合の AE のエネルギー値の変化を示す。エネルギー値は 100ms ごとの積算エネルギー値を示すが、電流の増加に伴い、すなわち、溶け込み量の増加により AE のエネルギー値が増加していることが分かる。

表 1 試験条件

項目	条件
電流	230A、250A(溶け込み過多)
電圧	21V、26V (溶け込み過少)
ガス量	弁開度 100%
速度	80cm/min

表 2 計測条件

項目	条件
HPF、LPF	100kHz, 1000kHz
サンプリング周波数	10MHz (14bits)
プリアンプ増幅率	20dB
AE センサ	150kHz 共振型

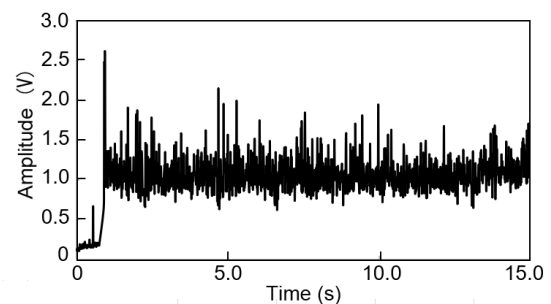


図 2 正常溶接時の包絡線検波波形

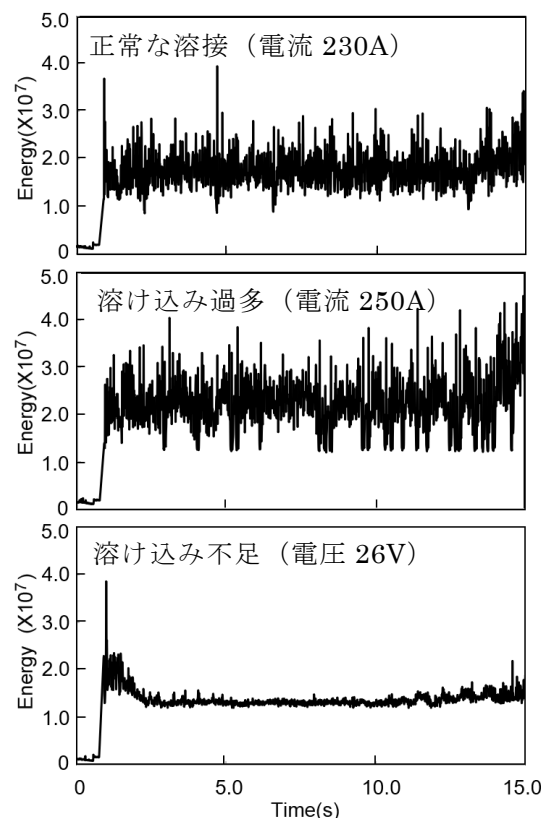


図 3 溶接中のエネルギーの挙動

5. 2 溶接不良の評価

今回は、評価する溶接不良として、一般的によく発生する ②溶け込み不足 ③溶け込み過多 ④ブローホール ⑤芯ブレを取り上げ、AE による識別の可能性を検討した。試験条件を表 3 に示す。溶け込み量を評価する試験では、上述のように電流値を変化させて溶け込み量を評価し、溶け込み量を少なくするためには電圧値を上げて電流を制御した。ブローホールは、溶接金属内で発生したガスもしくは侵入したガスが凝固時に大気中へ放出されないで、溶接金属内に閉じ込められて生じる。そこで、試験ではアルゴンガスと CO₂ のガス量を調整して強制的に発生させた。芯ブは、溶接位置をずらして発生させた。図 4 に試験後の各溶接状態を示す。前述の溶け込み量の評価において、溶け込み量と AE のエネルギー値に相関が認められた。また前述の図 3 の AE のエネルギーの挙動から、条件によりばらつきが生じているように見える。そこで、各溶接のエネルギー分布を評価することにした。図 5 に計測された AE のエネルギー分布を示す。各溶接状態により、分布の中心とばらつき幅が異なることが分かる。過電流（溶け込み過多）と過電圧（溶け込み不足）は、単純に溶け込みの影響であるので、エネルギー値の絶対値に違いがみられた。芯ブレではワイヤー先端で生じる放電の方向が安定しないので、発生する AE も安定せず、エネルギー値のばらつきが大きい。また、ブローホールは溶接が安定せず、またブローホール生成時に溶接部内部に生成された気泡の破裂等により AE が発生し、AE のエネルギーにばらつきを生じていると考えられる。

上記のように溶接不良により AE のエネルギー値とそのばらつきに差異が認められたが、図 5 のような分布図は、実機における制御に使用するには不向きである。そこで、分布の中心を平均値でばらつき幅を標準偏差で表して整理した。図 6 に結果を示す。溶接不良が正常の状態と分離して評価できることが分かる。

表 3 試験条件

試験内容	電圧	電流	ガス量
① 通常条件	21V	230A	100%
② 溶け込み不足	26V	230A	100%
③ 溶け込み過多	21V	250A	100%
④ ブローホール	21V	230A	60%
⑤ 芯ブレ	21V	230A	100%
	芯ずれ量：1mm		

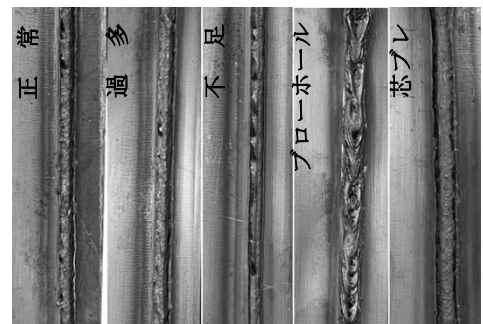


図 4 溶接状態

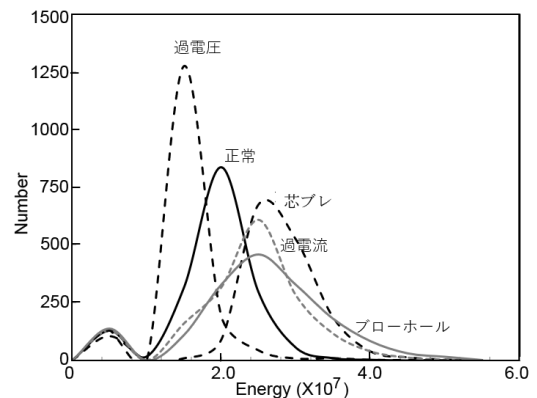


図 5 エネルギー分布

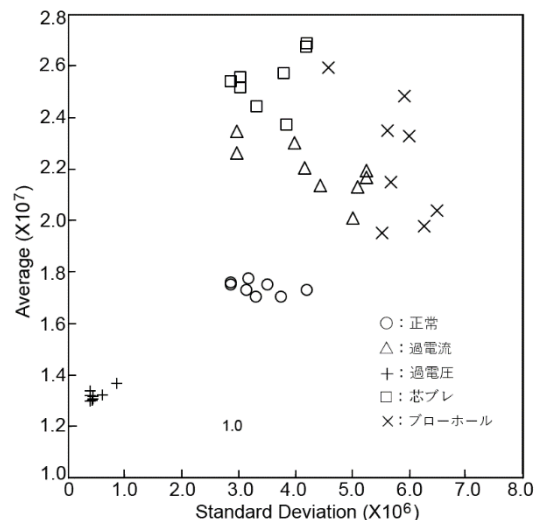


図 6 溶接状態の評価

6. 結 言

溶接加工中に発生する AE の挙動を評価した結果、溶け込み量と AE のエネルギー積算値に相関が認められた。また、ブローホールや芯ブレなどの溶接異常が生じると AE のエネルギー値とそのばらつきに変化が生じるのが認められた。上記より、エネルギー値を平均値で表し、ばらつき幅を標準偏差で表現したところ、溶接状態の健全性を判断できることが判明した。今回は、比較的明確な不良状態を判断したが、今後は各不良の条件を変化させて、精度の検証を実施していく。

なお、今回はアーク溶接について検討したが、現在はレーザー溶接が採用される工程が急激に増加している。レーザー溶接はレンズの汚れや焦点の管理など、他の溶接と比較して管理要素が複雑であり、早急な溶接状態の評価方法が望まれている。今後、精度の検証と合わせて評価を実施していく予定である。

最後に、今回の研究において試験のお手伝いを頂き、また計測装置の借用にご協力頂いた信和産業株式会社に深く感謝する。

参考文献

- 1) 村尾、榊原：レーザー溶接状態インプロセス評価技術の開発, デンソーテクニカルレビュー、11(2), pp.94-102, (2006)
- 2) 西本重人：スマート工場における AE 適用の現状, 非破壊検査, 67(6), pp255, (2018)