

加圧力制御を活用した抵抗スポット溶接技術 「Intelligent Spot[®] Welding」の開発

池田 倫正^{*1)} 沖田 泰明^{*1)}
小野 守章^{*2)} 安田 功一^{*3)}

1. はじめに

自動車の軽量化および衝突安全性向上を達成する材料として、自動車車体には各種の高機能高張力薄鋼板の適用が検討されているが、車体の組立工程において、これらの鋼板を有効に活用しその適用を推進していくためには、溶接技術、プレス技術などの利用加工技術が重要である。

自動車車体の組立溶接には、抵抗溶接、アーク溶接、レーザー溶接などが用いられるが、最も多く使用される溶接法は抵抗スポット溶接であり、1台当たり4000~6000点の溶接箇所がある。これらの溶接点における板組みは、板厚、鋼種などにより非常に多くの組合せがあり、中でも、三枚重ねの板組みは溶接施工条件の設定に十分な留意が必要とされている。図1は、自動車車体の部材溶接の一例として、センタピラにおける三枚重ね溶接箇所を示している。センタピラでは、外板(薄板)、補強部材(厚板)および内板(厚板)の三枚重ね溶接となるが、このような薄板-厚板-厚板の板組みでは、板厚比(=板組みの総板厚/板組みの中で外側に配置された薄板の板厚)が大きい場合に、薄板-厚板間にいかに安定してナゲットを確保するかが課題となる。図中には、板厚比が極端に大きい板組みとして、0.7 mmt(軟鋼)+2.3 mmt(780 MPa ハイテン)+2.3 mmt(780 MPa ハイテン)の組合せの溶接継手断面マクロを示しているが、実際の自動車部材では採用されない板厚比7.6の高板厚比板組みであり、薄板-厚板間ではナゲットが形成し難い状態になっている。

そこで、このような、高板厚比の三枚重ね抵抗スポット溶

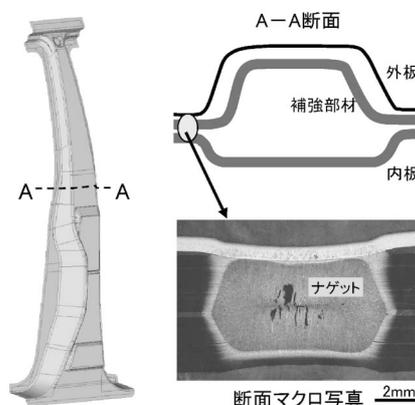


図1 センタピラ部材における三枚重ね溶接箇所および高板厚比板組み(0.7 mmt+2.3 mmt+2.3 mmt)の溶接部断面マクロ。

接においても薄板-厚板間に安定したナゲット形成を可能とするため、通電中の溶接電流と加圧力を多段化することにより溶融部形成プロセスを制御する抵抗スポット溶接技術「Intelligent Spot Welding」⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾を開発した。以下、本開発技術について紹介する。

2. 『Intelligent Spot Welding』の基本特性

(1) 高板厚比板組みにおけるナゲット形成現象

高板厚比の三枚重ね板組みとして、板厚 0.7 mm の軟鋼および板厚 2.3 mm の 780 MPa 級ハイテンを用いた 0.7 mm + 2.3 mm + 2.3 mm の板組み(板厚比7.6)について検討した。鋼板はすべて、目付量 45 g/m²、両面めっきの合金化溶融亜鉛めっき鋼板である。図2に、4 cycles(50 Hz)通電した後の溶接部断面マクロを加圧力 4.90 kN と 1.96 kN で比較した結果を示す。いずれの加圧力においても、通電初期に電流密度が高くなる領域である電極直下の鋼板部分で発熱が生じているが、4.90 kN では、溶接電流を 11.0 kA まで増加させてもナゲットは形成されていない。一方、1.96 kN では、溶

* JFE スチール株式会社

1)スチール研究所 接合・強度研究部 主任研究員

2)スチール研究所 接合・強度研究部 部長

3)スチール研究所 主席研究員

Development of Resistance Spot Welding Process for Three Sheet Joints Using Electrode Force Control “Intelligent Spot Welding”; Rinsei Ikeda, Yasuaki Okita, Moriaki Ono, Koichi Yasuda (JFE Steel Corporation)

※Intelligent Spot は JFE スチールの登録商標である。

2008年10月31日受理

接電流 9.3 kA で薄板-厚板間にナゲットが確認される。1.96 kN 設定では、長時間通電させても加圧力不足のため厚板-厚板間に十分なナゲットを形成できないが、薄板-厚板間でのナゲット形成という観点では低加圧力設定は非常に有効であることが理解される。

次に、数値シミュレーションによる加圧力 4.90 kN と 1.96 kN での溶接部断面温度分布の計算結果を図 3 に示す。

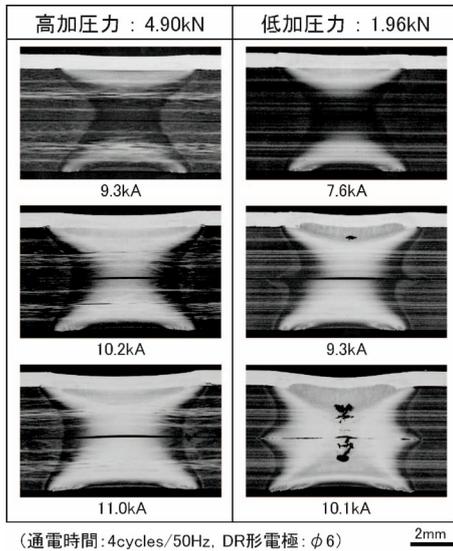


図 2 薄板-厚板間の溶融部形成に及ぼす加圧力の影響。

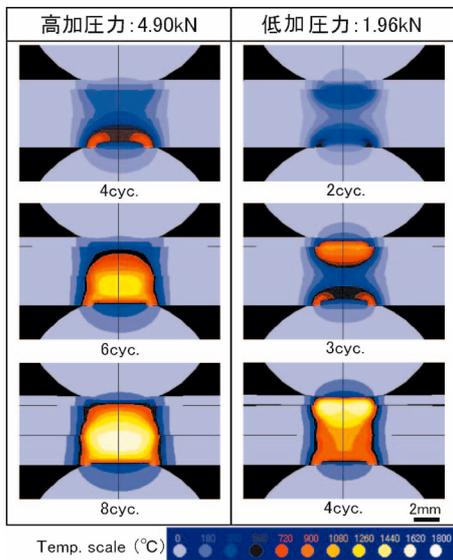


図 3 数値シミュレーションによる薄板-厚板間の溶融部形成に及ぼす加圧力の影響。

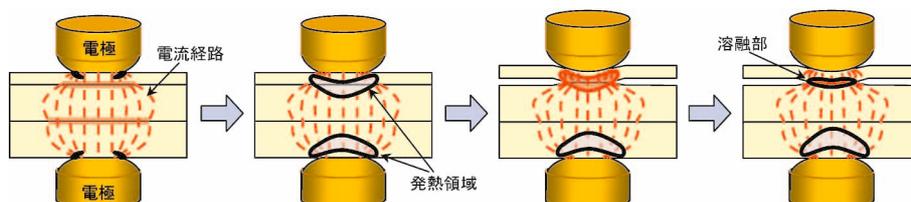


図 4 低加圧力での薄板-厚板間溶融部形成過程の模式図。

溶接電流は 9.5 kA 固定とし、通電時間を変化させた。図 2 の溶接電流 9.3 kA の断面マクロと図 3 の通電時間 4 cycles の計算結果の比較から、溶接部での発熱状態はほぼ再現できていることが確認できる。また、1.96 kN の計算結果では、4.90 kN の場合と比較して薄板-厚板間でのシートセパレーションが顕著であり、通電 3 cycles で既に薄板-厚板間の通電面積が大きく減少する現象が確認された。

図 4 は、低加圧力条件で薄板-厚板間に溶融部が形成される過程を模式図で示したものである。まず、通電の開始とともに電極直下の薄板側および厚板側で発熱・膨張が生じる。このとき、十分に加圧力が低い場合は、薄板-厚板間では通電部の熱膨張により板が浮き上がりシートセパレーションが発生する。これにより、板板間の接触径の減少、電流密度の増加が引き起こされ、結果として、薄板-厚板間で溶融部が形成されるという溶接メカニズムである。

(2) 高板厚比板組みに適した新溶接プロセス

上述のように、低加圧力化することで薄板-厚板間にナゲットが形成されることから、従来は一定加圧設定であった加圧力を通電に変化させ、薄板-厚板間および厚板-厚板間の両方にナゲットを形成させる「2 段加圧・2 段通電」の新溶接プロセスを開発した。図 5 に新溶接プロセスの模式図を示す。溶接プロセスの一段目では、低加圧力・短時間通電・高電流とすることで薄板-厚板間に溶融部を確実に形成させ、その後の二段目では、高加圧力・長時間通電とすることで厚板-厚板間で溶融部を形成させる、というプロセスである。

この新溶接プロセス「Intelligent Spot Welding」における溶融部形成現象を、高速度ビデオカメラを用いた溶融挙動直観観察手法によって解析した。鋼板端面を電極直下に配置す

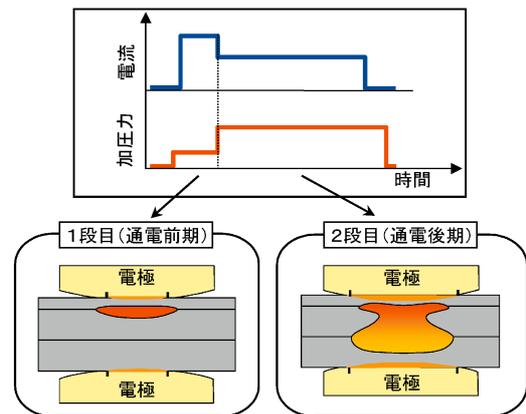


図 5 三枚重ね溶接のための新溶接プロセスの模式図。

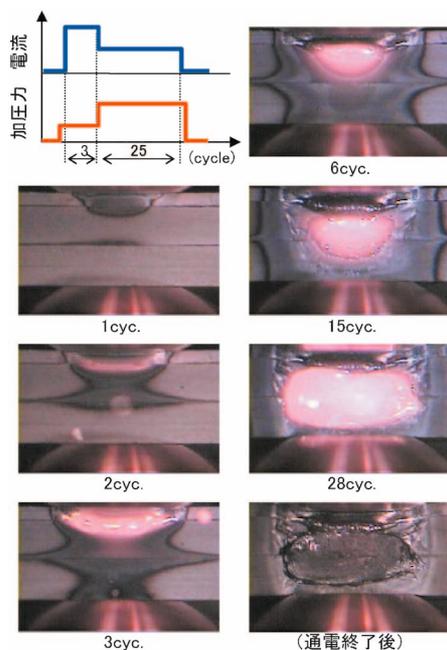


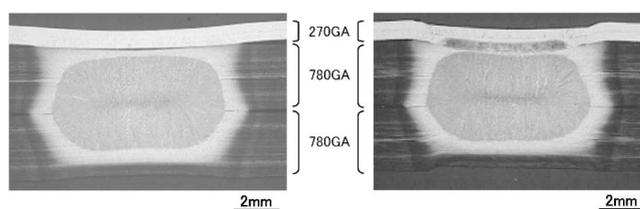
図6 高速度ビデオによる溶融部形成現象観察結果.

るようにして溶接し、鋼板端面での溶融部形成挙動を観察するという測定手法である。溶接する板組みは、前項と同じ $0.7\text{ mm} + 2.3\text{ mm} + 2.3\text{ mm}$ の三枚重ね板組み(板厚比7.6)、一段目通電時間 3 cycles, 二段目通電時間 25 cycles とした。図6は、撮影した高速度ビデオ映像から取り出した静止画像である。一定加圧の場合は、厚板-厚板間での発熱が先行し溶融部がかなり大きく成長しても薄板-厚板間は溶融し難いが、「2段加圧・2段通電」の場合は、図6に示すように 2 cycles で既に薄板-厚板間で溶融が始まっており、薄板-厚板間での選択的な溶融部形成現象が明確に示されている。さらに、高加圧力・長時間通電となる2段目(通電後期)では、薄板-厚板間に形成された溶融部が凝固を開始するとともに、発熱領域が薄板-厚板間から厚板-厚板間へと移動していく様子が観察された。薄板-厚板間での溶融部の凝固は、2段目の加圧力増大により薄板-厚板間接触面積が拡大し、かつ溶接電流が減少するため抵抗発熱が減少することにより生じたと推定される。また、発熱領域の移動は、電極冷却と発熱のバランスにより生じていると考えられる。なお、一段目通電時の発熱は厚板の固有電気抵抗を増大させることから、二段目通電時の発熱量を増大させる効果もあると推察される。

以上より、「2段加圧・2段通電」の Intelligent Spot Welding の適用により、薄板-厚板間と厚板-厚板間のそれぞれにナゲットを形成させることが可能と考えられる。

3. Intelligent Spot Welding を用いた三枚重ね溶接

$0.7\text{ mm} + 2.3\text{ mm} + 2.3\text{ mm}$ の三枚重ね板組み(板厚比7.6)に Intelligent Spot Welding を適用して得られた溶接部断面マクロを図7に示す。溶接中の加圧力は、最近、広く普及している電動サーボガン⁽⁶⁾⁽⁷⁾を用いて2段加圧に制御した。(a)が加圧力一定の溶接の場合、(b)が Intelligent Spot



(a)加圧力一定の溶接 (b)Intelligent Spot 溶接
図7 三枚重ね抵抗スポット溶接部の断面マクロ.

Welding の場合である。2段目通電の通電時間および加圧力は同じとし、いずれの溶接もスパッタが発生しない溶接条件に設定した。(a)では、厚板-厚板間にはナゲットが形成されているが薄板-厚板間まではナゲットが成長しておらず、薄板と厚板間は溶接されていない。これに対して、(b)の Intelligent Spot Welding では、薄板-厚板間と厚板-厚板間の両方にナゲットが形成されていることが明瞭に示されている。選択的な溶融部形成が実際の溶接においても実現可能であり、安定した薄板-厚板間での溶融部形成は継手強度の安定化に大きく寄与するものと期待される。また、2段目通電に対する適正電流範囲は、薄板-厚板間でのナゲット形成が十分に確保されることにより、非常に広い範囲を示した。

4. 実績と将来性

Intelligent Spot Welding は、高板厚比の三枚重ね板組の抵抗スポット溶接において薄板-厚板間のナゲット形成を安定化させるとともに、溶接電流を過大に流す必要がないため溶接時のスパッタ低減にも有効であるという2つのメリットがあることから、自動車車体の溶接組立ラインにて既に採用が開始されており、今後、その適用拡大が期待されている。

また、現在、各種高機能高張力薄鋼板の自動車車体への適用が検討されているが、今後、これらの高張力鋼板を実適用していく上においても非常に有効な溶接技術になるものと期待される。

5. 工業所有権

本開発技術に関しては、基本特許として特許第3922263号を取得し、関連特許として4件を出願している。

文 献

- (1) 沖田泰明, 池田倫正, 小野守章, 安田功一: 溶接学会講演概要集, 第78集(2006), 164-165.
- (2) 沖田泰明, 池田倫正, 小野守章, 安田功一: 溶接学会講演概要集, 第78集(2006), 166-167.
- (3) 池田倫正, 沖田泰明, 小野守章, 安田功一: 溶接技術, 55(2007), 78-82.
- (4) 池田倫正, 沖田泰明, 小野守章, 安田功一: 自動車技術, 61(2007), 36-41.
- (5) 池田倫正, 沖田泰明, 小野守章: JFE 技報, No. 16(2007), 40-45.
- (6) 長島伸匡, 山崎貴司: 溶接技術, 48(2000), 71-75.
- (7) 吹田和嗣, 鈴木清司, 坂本好隆, 柴田洋一: 自動車技術, 50(1996), 57-63.