

自動車ボディ用溶接技術の開発

Development of Welding Technologies for Automotive Body

松田 広志	MATSUDA Hiroshi	JFE スチール	スチール研究所	接合・強度研究部	主任研究員 (部長)・博士 (工学)
木谷 靖	KITANI Yasushi	JFE スチール	スチール研究所	接合・強度研究部	主任研究員 (副部長)・博士 (工学)
松下 宗生	MATSUSHITA Muneo	JFE スチール	スチール研究所	接合・強度研究部	主任研究員 (課長)・Ph. D.
谷口 公一	TANIGUCHI Koichi	JFE スチール	スチール研究所	接合・強度研究部	主任研究員 (副課長)
澤西 央海	SAWANISHI Chikaumi	JFE スチール	スチール研究所	接合・強度研究部	主任研究員 (係長)
池田 倫正	IKEDA Rinsei	JFE スチール	スチール研究所	接合・強度研究部長	博士 (工学)

要旨

自動車車体への高強度高加工性鋼板の適用拡大と構造最適化に貢献することを目的に JFE スチールで開発を進めてきた溶接技術を紹介する。本稿では、超ハイテンのスポット溶接継手強度を向上させるパルススポット[®]溶接、短ピッチスポット溶接を可能とする J-MAC スポット[®]溶接、閉断面構造を実現するシングルサイドスポット[®]溶接、高速高効率で溶接可能なりモートレーザ溶接技術について概説する。

Abstract:

The new welding technologies developed by JFE Steel, which contribute to optimise automotive body structure with applying high strength steel sheets, are introduced. This paper includes Pulse SpotTM enhancing the weld joint strength of high strength steel sheets, J-MAC spotTM welding which enables short pitch welding by new adaptive control, Single-Side SpotTM welding which realises closed cross-section structure by controlling electrode force and welding current, and high speed and high efficiency remote laser welding.

1. はじめに

自動車の安全性向上と環境負荷低減の両立に対する要求はいっそう高まっており、その実現に向けて自動車車体に適用される鋼板の高強度化・高性能化が進んでいる。これら鋼板の性能を最大限に活用し、車体構造の最適化を図るためには、組立工程に用いられる溶接技術が重要となる。しかしながら、鋼板の高強度化・高機能化は高合金成分化をともなうため、溶接性が劣化する傾向にある。また、車体の高強度化・高剛性化には、従来よりも厳しい条件下での溶接を可能とする必要がある。このため、JFE スチールでは、各種高成形性高強度鋼板の開発と合わせて、溶接技術に関しても積極的な研究開発を進めている。本稿では、車体の組立工程における新溶接技術として開発を進めてきた、超ハイテンの抵抗スポット溶接継手強度を向上させるパルススポット[®]溶接、部材の高剛性化のための短ピッチスポット溶接を可能とする J-MAC スポット[®]溶接、閉断面構造を実現可能とするシングルサイドスポット[®]溶接、高速施工が可能で高継手強度を確保可能なりモートレーザ溶接技術について概説する。

2. パルススポット[®]溶接技術

2.1 超ハイテンの十字引張強さの課題

車体の衝突安全性を向上させる上で、抵抗スポット溶接継手の破断強度確保は必要不可欠である。しかし、超ハイテンの継手では、はく離方向の応力負荷時にナゲット内部で脆性的な破断が発生し、継手強度が低下する懸念がある。この原因として、応力負荷時のナゲット端部での応力集中およびナゲットの焼入れによる硬化・脆化や凝固時の P 偏析に起因したじん性低下が指摘されている^{1,3)}。これまで、ナゲット形成後の後通電によりナゲットを焼戻すテンパー通電法が提案されてきたが⁴⁾、ナゲットを軟化させるために継手のせん断強度の低下や後通電前に長時間の冷却が必要なことなどの課題があった。そこで、JFE スチールではテンパー通電法よりも短時間で抵抗スポット溶接継手のはく離強度を向上させ、かつせん断強度の低下が生じない溶接法として、短時間・高電流通電による発熱を活用した抵抗スポット溶接技術「パルススポット[®]溶接」^{5,11)}を開発した。

2.2 パルススポット[®]溶接のコンセプトおよび特長

図 1 に、短時間・高電流後通電 (以下、パルス後通電) 時の温度分布および電流密度の数値解析結果を示す⁵⁾。パルス通電の特徴を明確に示すため、溶接電流 6 kA にてナゲッ

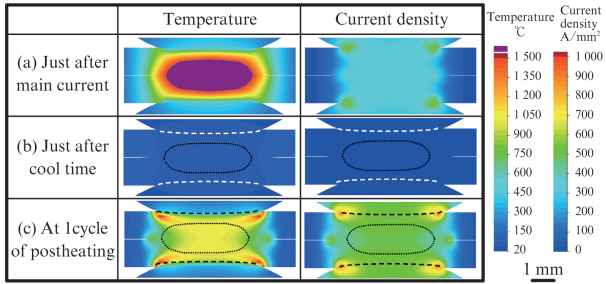


図1 高電流短時間通電による温度分布変化と電流密度分布変化⁵⁾
 Fig. 1 Temperature distribution and current density distribution by short-time high-current post-heating⁵⁾

トを形成後、100 サイクル (2s) の十分な冷却を設定し、その後 20 kA の高電流を 1 サイクル (0.02s) 通電した結果を示している。パルス後通電の場合、電流密度分布が電極接触部近傍で著しく高くなり、ナゲット内部よりもナゲット周辺の電極近傍部が高温に加熱される傾向にあることが分かる。

このように、パルススポット[®]溶接は、短時間・高電流通電によるナゲット周辺において優先的に発熱する現象を活用し、①ナゲットの P 偏析軽減によるナゲット靱性向上、②熱影響部拡大によるナゲット端部での応力集中緩和の効果による継手強度向上を図っている。

次に、パルススポット[®]溶接による溶接継手のはく離強度の向上効果を評価した結果を示す。供試材として、板厚 1.6 mm の 1 180 MPa 級冷延鋼板を用いて、2 枚重ね溶接継手ではく離方向の破断強度評価法である十字引張試験により十字引張強さ (Cross Tension Strength, CTS) を評価した。図 2 にパルススポット[®]溶接の標準的な溶接電流パターンを示す。本通電によるナゲット形成後に、冷却と短時間・高電流のパルス後通電を 2 回繰り返す溶接電流パターンとした。

図 3 に、パルス後通電電流値 (I_p) と CTS の関係を示す。パルス後通電を行わない従来溶接の CTS=7 kN に対し、パルススポット[®]溶接では $I_p=8$ kA で CTS=12 kN を示しており、顕著な CTS 向上効果が確認された。さらに、 $I_p=7$ kA から 9 kA の幅広い範囲で CTS が向上しており、溶接施工性も良好であることが確認された。写真 1 に $I_p=8$ kA における十字引張試験後の破断状態を示す。従来溶接ではナゲッ

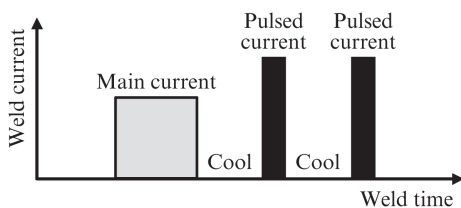


図2 パルススポット[®]溶接の溶接電流パターン
 Fig. 2 Current pattern of Pulse Spot™ Welding

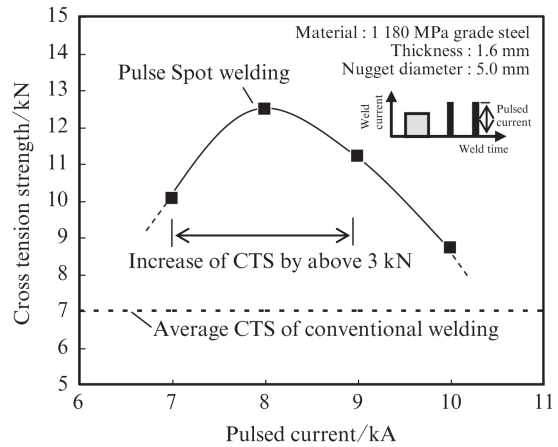


図3 パルススポット[®]溶接による十字引張強さの向上およびパルス電流範囲

Fig. 3 Increase of cross tension strength by Pulse Spot™ welding and the effective conditions of pulsed current

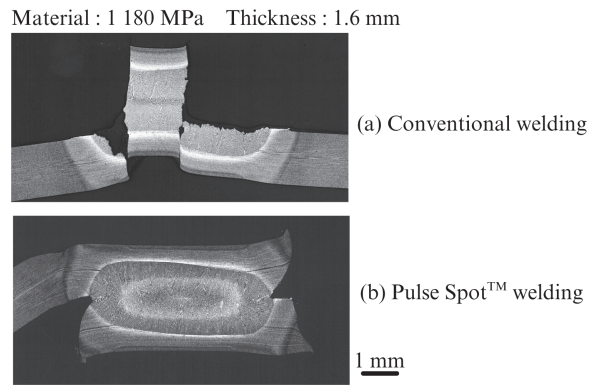


写真1 十字引張試験破断後の断面マクロ組織⁵⁾

Photo 1 Cross-sectional macrostructures of fractured specimen after cross tension test⁵⁾

ト内にき裂が進展して破断していたが、パルススポット[®]溶接ではナゲット内へのき裂の進展は認められず、良好なプラグ破断形態を示していた。ナゲット靱性向上およびナゲット端部での応力集中緩和の効果により、CTS が大幅に向上したものと考えられる。

パルススポット[®]溶接の有する施工性を、実際の車体組立工程で想定されるナゲット径の変動を模擬した試験により評価した¹²⁻¹³⁾。板厚 1.6 mm の 1 180 MPa 級冷延鋼板の二枚重ね溶接継手にて、パルス後通電電流値を一定として、本通電電流値を変化させて後通電前に形成されるナゲット径を変動させた。図 4 に、各パルス後通電回数 (N_p) におけるナゲット径 D_n と CTS の関係を示す。本通電のみ ($N_p=0$) の場合、 $D_n=5.2$ mm ではプラグ破断で CTS は 10.7 kN が得られたが、 D_n の低下とともに部分プラグ破断となり、CTS は低下した。 $D_n=4.5\sim 5.2$ mm では、 $N_p=1, 2$ のいずれの場合においてもプラグ破断となり、CTS は 10 kN 以上に向上した。これに対し $D_n=4.4$ mm まで縮小すると、 $N_p=1$ では

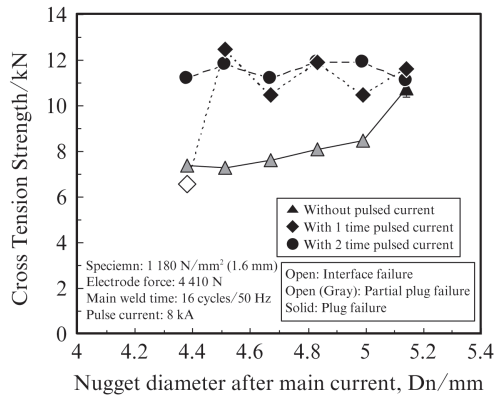


図4 ナゲット径変動時のCTSに及ぼすパルススポット[®]溶接の影響¹²⁾

Fig. 4 Influence of Pulse SpotTM Welding on CTS and failure mode with nugget diameter variation¹²⁾

$N_p=0$ と同等のCTSまで低下したが、 $N_p=2$ とすることでCTSの低下は抑制可能であった。これらの結果より、パルススポット[®]溶接では、パルス後通電の繰返しにより、CTS向上可能なナゲット径の範囲が広く、実際の車体組立工程で想定されるナゲット径変動が生じた場合にも、安定した継手強度を確保しやすいことが分かる。

2.3 パルススポット[®]溶接技術の展開

本技術は、自動車メーカーとの共同研究開発の中で、既に車体組立ラインにおける高強度鋼板の組立て溶接工程において実適用が進められている。今後、さらなる車体軽量化に向けた高強度鋼板の適用拡大と構造最適化を図る上で、極めて有効な溶接技術になるものと期待される。

3. J-MAC スポット[®]溶接技術

3.1 溶接打点間隔縮小時の課題およびJ-MAC スポット[®]溶接技術のコンセプト

近年、自動車車体の衝突強度および剛性向上のため、溶接組立工程における抵抗スポット溶接の打点間隔縮小が検討されている。しかし、打点間隔を縮小した場合、既溶接点への分流が溶接対象位置のナゲット形成に大きく影響するようになる。この結果、各溶接位置で想定ナゲット径を確保するために、打点ごとに適正な溶接電流を設定する必要が生じ、溶接条件選定に多大な工数を要するなどの課題が生じる。このような分流等の外乱によるナゲット径変動を抑制する手法として、適応制御による抵抗スポット溶接^{14,15)}が検討されている。本制御方式は、従来の定電流制御ではなく、溶接中の電流および電極間電圧をモニタリングして熱量を算出し、通電中にあらかじめ設定した目標熱量に合致するように溶接電流を逐次変化させるものである。しかし、溶接打点間隔 10 mm 以下の場合など既溶接点への分流が顕著な状態では、その効果が十分に得られなかった。加えて、

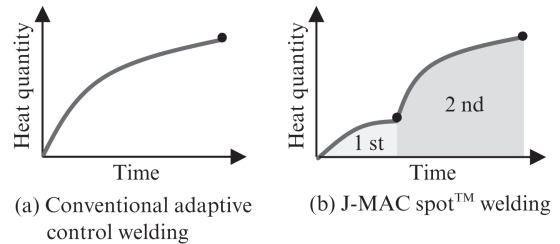


図5 適応制御における目標熱量パターンの模式図

Fig. 5 Schematic diagram of target heat quantity in adaptive control

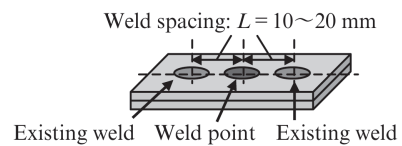


図6 溶接実験構成の模式図

Fig. 6 Schematic illustration of experimental set up

鋼板強度などにより変化する分流メカニズムの解明も進んでいなかった。「J-MAC スポット[®]溶接技術」¹⁶⁻¹⁹⁾は、最適化した多段通電パターンに適応制御区間を分割して熱量制御を行うことにより、上述した課題を解決し、分流状態および鋼板強度にかかわらず一定のナゲット径を確保可能とする溶接技術である。

図5に、通常の適応制御スポット溶接およびJ-MAC スポット[®]溶接における目標熱量パターンの模式図を示す。通常の適応制御スポット溶接は最終的な目標熱量のみを設定するのに対し、J-MAC スポット[®]溶接では適応制御区間を分割し、区間ごとに目標熱量を設定する。ここでは、制御区間を2分割し、1段目で目標熱量を低く設定することで板-板間の通電径を拡大して溶接対象位置での通電を安定化させ、その後の2段目では目標熱量を増加させて一定ナゲット径を確保するプロセスを示している。

3.2 J-MAC スポット[®]溶接技術の適用効果

J-MAC スポット[®]溶接の適用効果検証のため、図6に示すように打点間隔を変化させた2点の既溶接点間に、定電流制御、従来の適応制御、J-MAC スポット[®]溶接の各制御方式で溶接を行い、ナゲット径を計測し、比較した。

図7に板厚 1.6 mm の軟鋼板の2枚重ね板組みにおける、打点間隔とナゲット径の関係、写真2に溶接打点間隔 10 mm における従来の適応制御溶接とJ-MAC スポット[®]溶接の断面マクロ写真を示す。定電流制御の場合、溶接打点間隔の縮小に伴い分流が大きくなるためナゲット径が縮小し、溶接打点間隔 10 mm では $4\sqrt{t}$ を下回る結果となった。従来の適応制御の場合、溶接打点間隔 15 mm までは分流により低下した溶接点に流れる電流が適正に補正され、 $5\sqrt{t}$ 程度のナゲット径が得られた。しかし、溶接打点間隔

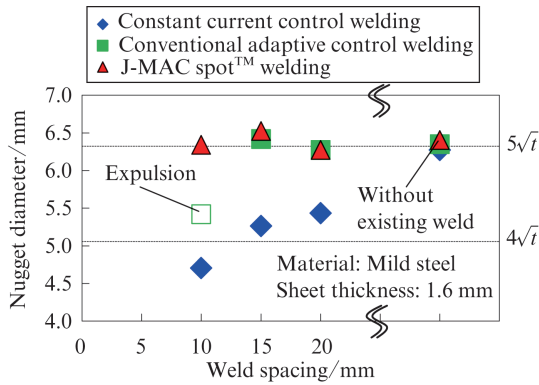


図7 軟鋼板の板組みにおける溶接打点間隔とナゲット径の関係
Fig. 7 Relationship between nugget diameter and weld spacing in the joint of mild steel sheets

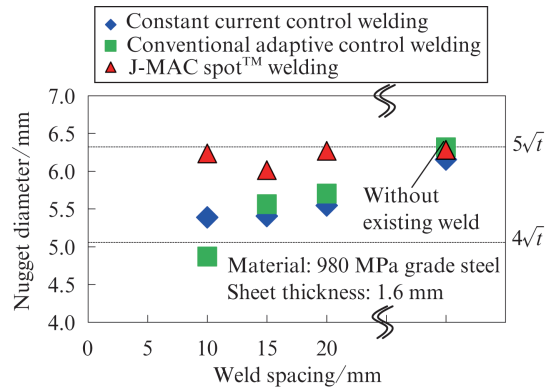


図8 高強度鋼板の板組みにおける溶接打点間隔とナゲット径の関係
Fig. 8 Relationship between nugget diameter and weld spacing in the joint of high strength steel sheets

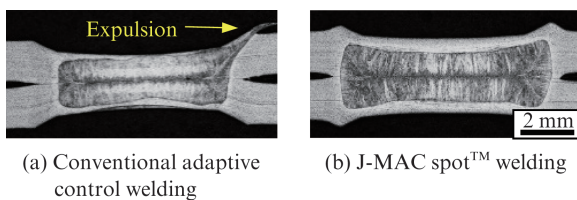


写真2 溶接打点間隔 10 mm における断面マクロ組織¹⁹⁾
Photo 2 Cross-sectional macrostructure of welds with 10 mm pitch¹⁹⁾

10 mm では表散りが発生し、ナゲット径が縮小した。通電初期は溶接点の板-板間における通電径が小さく、既溶接点への分流が生じやすい。そのため、溶接打点間隔 10 mm では、分流によって低下する発熱量を補うために、通電初期に溶接電流が急激に増加し、鋼板と電極とが接触する部分の鋼板表面周辺での電流密度が高くなることで、過剰発熱による表散りが発生したと考えられる。一方、J-MAC スポット[®]溶接の場合は、溶接打点間隔 10 mm においても $5\sqrt{t}$ 程度のナゲット径が得られた。1 段目の通電で接触径を拡大した後に、2 段目の通電で板-板間に電流を集中させナゲットを形成することで、分流量が大きい場合でも急激な溶接電流の増加がなく、表散りの発生が抑制され、安定した溶接が可能となることが分かる。

図8に、板厚 1.6 mm の 980 MPa 級高強度鋼板の 2 枚重ね板組みにおける、打点間隔とナゲット径の関係を示す。定電流制御の場合だけでなく、従来の適応制御の場合も、溶接打点間隔縮小に伴いナゲット径が縮小した。これは、既溶接点の形成時に生じたシートセパレーションの影響である。高強度鋼板の板組みでは、溶接打点間隔の縮小に伴い、板隙による溶接対象位置における板-板間の接触径の減少が顕著となり、電極間抵抗が増加する。そのため、発熱量が過大との誤認識が生じて溶接電流は減少し、ナゲット径は縮小したと考えられる。一方、J-MAC スポット[®]溶接の場合は、溶接打点間隔にかかわらず $5\sqrt{t}$ 程度のナゲット径が得られた。電極間抵抗が増加しやすい 1 段目の通電で板隙を

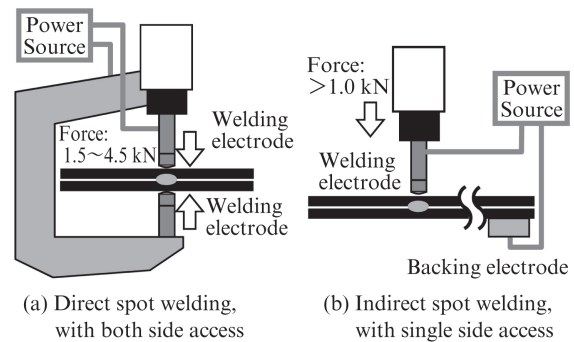


図9 抵抗スポット溶接概略図
Fig. 9 Schematics of resistance welding processes

無くして板-板間の接触径を十分に拡大することで、2 段目の通電で本来のナゲット径形成に必要な溶接電流値に制御し、安定したナゲット形成が可能となった。

以上のように、鋼板強度によって溶接打点間隔縮小時に生じる溶接現象は異なるが、J-MAC スポット[®]溶接は鋼板強度に関係なくナゲット径の安定確保に有効であることが示された。

4. シングルサイドスポット[®]溶接技術の開発

4.1 片側アクセス式抵抗スポット溶接の課題

近年、自動車車体の設計自由度と生産性の向上および車体の軽量化・高剛性化を目的に、部材の片側からのアクセスによる重ね溶接方法に対する要望が大きくなっている。現状の自動車車体の組立には、主に図9(a)に示す抵抗スポット溶接が用いられるが、両側からの電極加圧が必要で片側アクセス溶接は不可能である。そこで、図9(b)に示すインダイレクト方式^{20,21)}が片側アクセス溶接可能な抵抗スポット溶接方法として開発されている。インダイレクト方式は、重ね合わせた板部材に対し 1 本の電極を一方の部材に

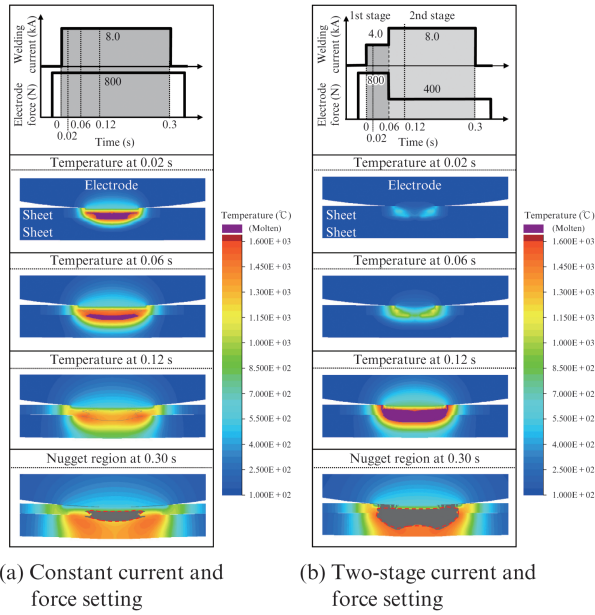


図 10 溶接中の温度分布の変化に対する数値計算結果

Fig. 10 Temperature distribution during welding predicted by numerical simulation

片側から押し当て、もう一方の部材の離れた位置に給電用電極（アース電極）を取り付けて通電し溶接する方法である。溶接点で部材間に跨った電流が流れやすくなるため、抵抗発熱によって得られる溶融部（ナゲット）は比較的得やすい。しかし、部材の板厚、既溶接点の存在によって溶接点以外に流れる溶接電流（分流）が変化するため、形成されるナゲット径はその影響を大きく受ける²⁰⁻²³。

この課題を克服するために、インダイレクト方式の片側スポット溶接において、電流・加圧力の2段階制御により分流比率が変化してもナゲットを安定して形成可能な「シングルサイドスポット[®]溶接技術」²⁴⁻²⁷を開発した。

4.2 数値シミュレーションによる溶接現象解析

汎用溶接現象解析ソフト「SORPAS[®]」(SWANTEC Software and Engineering ApS 製)を使用し、熱弾塑性有限要素法による数値シミュレーションで加圧力・電流の2段階制御によるナゲット形成の安定化効果を検証した。板組は上板を板厚 0.7 mm の 270 MPa 級冷延鋼板、下板を板厚 1.6 mm の 980 MPa 級冷延鋼板とした。

図 10 に計算結果を示す。(a) 加圧力・電流一定パターンでは、通電開始直後では電極-上板間で発熱し、その後は通電中にもかかわらず温度が融点以下に低下した。結果として溶接中の溶融ナゲット（通電時間 0.30 s 時の最高到達温度分布でグレー表示部分）は非常に限定的となった。一方、(b) 加圧力・電流 2 段階制御パターンでは、溶接中に上板-下板間の発熱が持続し、(a) と比較してナゲットが顕著に拡大した。

以上の結果から、加圧力・電流 2 段階制御パターンでは、

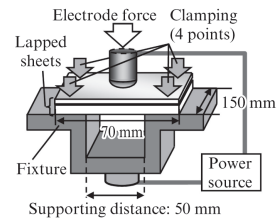


図 11 片側スポット溶接実験装置

Fig. 11 Experimental setup of Single-side spot welding

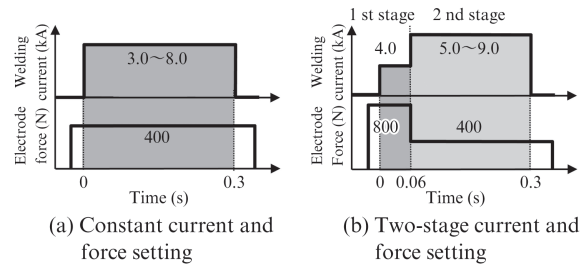


図 12 溶接条件

Fig. 12 Welding parameters

次のようなメカニズムによりナゲット形成促進効果が得られると考えられる。初めに高加圧力・低電流とすることで、十分な加圧力を負荷しながら鋼板を予熱し、上板-下板間に密着面が形成されて、安定した通電経路が確保される。その後、低加圧力・高電流とすることで、加圧によって生じる鋼板への電極の沈み込みを回避して密着面積増大を抑制し、一方で増加させた溶接電流を形成した局所的な通電経路に優先的に流してナゲット形成を促進し、安定したナゲット形成が可能となったと考えられる。

4.3 溶接実験によるナゲット形成促進効果の検証

数値シミュレーションと同様に、上板を板厚 0.7 mm の 270 MPa 級冷延鋼板、下板を板厚 1.6 mm の 980 MPa 級冷延鋼板とした板組みにおいて、図 11 に示す装置構成でインダイレクト式片側スポット溶接を行った。無効電流となる分流を意図的に大きくするため、重ね鋼板をクランプして鋼板間を密着させた状態で溶接を行った。溶接には、先端曲率半径 40 mm の R 形電極を用い、図 12 に示す (a) 加圧力・電流一定、(b) 加圧力・電流制御の二つの通電パターンを評価した。

図 13 に溶接性試験結果を示す。加圧力・電流一定の場合では、ナゲット径 $4\sqrt{t}$ 以上かつ散り発生しない適正溶接電流範囲は 1 kA 以下であったが、加圧力・電流 2 段階制御パターンの場合では、適正溶接電流範囲が顕著に広がるが示された。写真 3 は、加圧力・電流一定、加圧力・電流 2 段階制御パターンの断面マクロ組織を示すが、加圧力・電流 2 段階制御パターンでは良好なナゲット形成状態が確認された。

以上より、開発した加圧力・電流 2 段階制御パターンは、分流が大きい際の片側スポット溶接においてもナゲットの

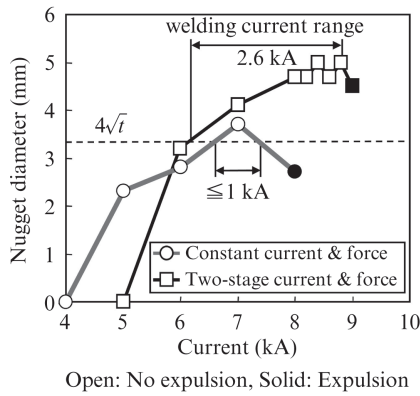


図 13 適正溶接電流範囲

Fig. 13 Welding current range testing results

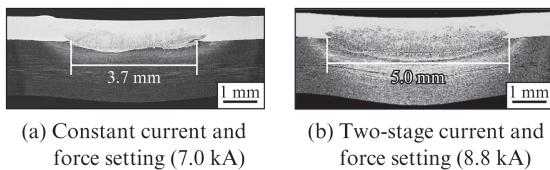


写真 3 溶接部断面マクロ組織

Photo 3 Cross-sectional macrostructures of the welds

安定形成において有効であることが確認された。

4.4 シングルサイドスポット[®]溶接技術の展開

開発したシングルサイドスポット[®]溶接は、従来の抵抗スポット溶接と比較して自動車車体の設計自由度を大きく向上させることが可能である。例えば、先鋭的で魅力的な車体外装デザインを実現させるため、従来の抵抗スポット溶接では部材と溶接ガンが干渉するため溶接施工が困難である箇所への適用性が検証され、溶接施工が十分可能であることが確認されている²⁷⁾。更に本開発技術は、車体の軽量化および製造コスト削減にも有効であると考えられ、今後の適用拡大が期待される。

5. リモートレーザ溶接技術

5.1 車体溶接におけるレーザ溶接技術の課題

レーザ溶接は、抵抗スポット溶接に代わる自動車ボディ組立て溶接技術として以前から注目されていたが、抵抗スポット溶接に比べて設備が高価であること、溶接対象となる部材の組立て精度の要求が厳しいことなどが制約となり、広く普及するには至っていない。しかし近年、ガルバノスキャナなどのビーム走査光学系を有したリモートレーザ溶接が実用化され、自動車ボディ部品の溶接に適用されるようになった²⁸⁾。

このリモートレーザ溶接は、図 14 および写真 4 に示すようにレーザビームを走査するガルバノミラーなどの機構と超

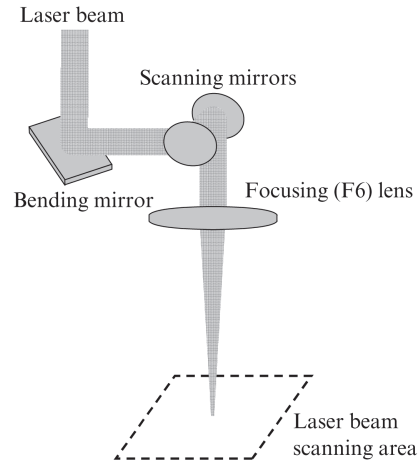


図 14 リモートレーザ溶接プロセスの模式図

Fig. 14 Schematic illustration of remote laser welding process

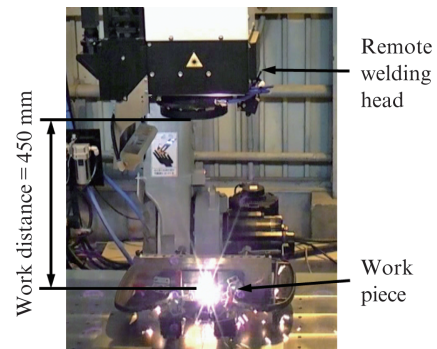


写真 4 ロボットリモートレーザ溶接システムの例

Photo 4 Example of robotic remote laser welding system

焦点の集光レンズを組合せることにより、一定領域内の任意の場所に自由にレーザビームを照射可能にしたもので、ロボットの動作と連動することにより溶接箇所間の移動時間を大幅に短縮できる。そのため、従来のレーザ溶接よりも格段に高能率の溶接が可能となり、高価なレーザ溶接設備を使用しても十分なコストメリットが得られるということで関心が高まっている。

また、これまでレーザ溶接は、抵抗スポット溶接の点溶接に対して直線連続溶接とすることで部材の強度および剛性を向上させるメリットがあると認識されていた。これに対し、リモートレーザ溶接では、レーザビームのスキャン機構によって自由な形状の溶接線で溶接を行うことができる利点がある。しかし、これまでレーザ溶接線形状が高強度鋼板の継手強度に及ぼす影響については十分に検討されていない。以下では、各種引張試験方式におけるレーザ溶接継手強度について紹介する。

5.2 レーザ溶接継手強度に及ぼす溶接線形状の影響

リモートレーザ溶接によってさまざまな形状の溶接を適用することで、特に抵抗スポット溶接での継手強度確保が困

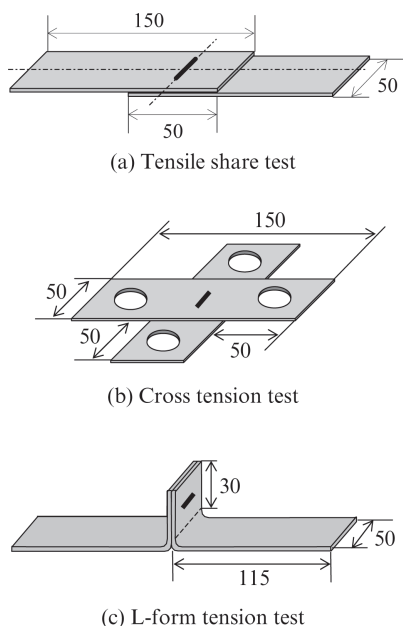


図 15 リモートレーザー溶接における引張試験片形状

Fig. 15 Dimensions of tensile test specimens for remote laser welding

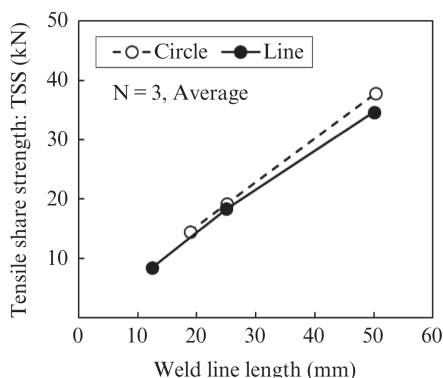


図 16 1 180 MPa 級薄鋼板リモートレーザー溶接継手の引張せん断試験結果

Fig. 16 Tensile share test results of remote laser welded joints of 1 180 MPa grade steel sheet

難とされる 980 MPa 以上の超ハイテン材での溶接継手強度の向上が期待できる。図 15 に、板厚 1.6 mm の 1 180 MPa 級自動車用冷延高強度鋼板（鉄鋼連盟規格 JSC1180 YNN）の重ね溶接において、3 種類の試験片形状で継手引張試験を行った結果を示す。円形および直線の形状で同じ溶接線長としても継手強度が異なり、その傾向が試験片形状によって変化するという結果が得られている^{29,30)}。図 16 の引張せん断試験では、引張せん断強さ（TSS）は円形と直線の溶接線形状で溶接線長さが同じであればほぼ同じ値となり、また TSS は溶接線長さに比例する。図 17 の十字引張試験では、十字引張強さ（CTS）は円形の溶接線形状の方が同じ溶接長では直線の溶接線形状よりも高くなり、直線では溶接長を大きくしても必ずしも CTS が増加しない。図 18 の L 字

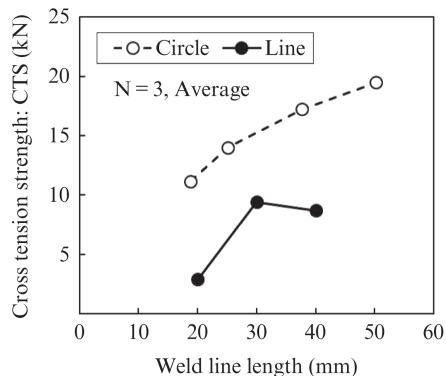


図 17 1 180 MPa 級薄鋼板リモートレーザー溶接継手の十字引張試験結果

Fig. 17 Cross tension test results of remote laser welded joints of 1 180 MPa grade steel sheet

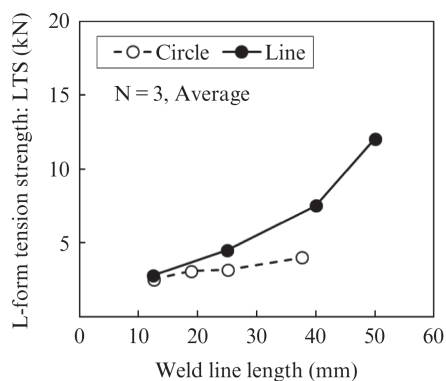


図 18 1 180 MPa 級薄鋼板リモートレーザー溶接継手の L 字引張試験結果

Fig. 18 L-form tension test results of remote laser welded joints of 1 180 MPa grade steelsheet

引張試験では、溶接長の増加に伴う L 字引張強さ（LTS）の増加が円形の溶接線形状よりも直線の溶接線形状の方が大きく、特に試験片幅全長を溶接した溶接長 50 mm の直線溶接（連続溶接に相当）で高い LTS が得られる。これらの試験片形状あるいは溶接線形状の差異による継手強度変化の挙動は、引張試験中に溶接部に作用する応力および歪の分布状態が影響していると考えられ、それぞれの試験片形状での引張試験中の応力・歪分布の有限要素解析（FEA）によってその機構を推定している³¹⁾。

以上のように、ボディの組立溶接にリモートレーザー溶接を適用し、継手形状あるいは継手に作用する応力・歪分布を考慮した溶接線形状を選択することにより、使用が拡大が望まれる超ハイテンの溶接継手強度確保の課題を解決できる可能性が示されている。今後の超ハイテンを使用した自動車ボディの溶接技術として、抵抗スポット溶接の技術開発とともにリモートレーザー溶接の技術開発にも大きな期待が寄せられる。

6. おわりに

本稿では、自動車車体の高性能化に向けた鋼板の適用拡大に貢献するためにJFE スチールで開発したさまざまな溶接技術について概説した。自動車産業においては、EV化の加速などさらなる環境負荷低減に対する要求が高まっており、安全性の確保と合わせて車体の性能向上に貢献できる鋼板開発と適用ニーズが進むと考えられる。JFE スチールではこれまでに開発した技術の実適用を推進するとともに、さらなるニーズに応える新溶接技術の開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 田中甚吉, 樺沢真事, 小野守章, 長江守康. 日本鋼管技報. 1984, No. 105, p.72-81.
- 2) Ferrasse, S.; Verrier, P.; Meesemaeker, F. Welding in the World. 1998, vol. 41, p. 177-195.
- 3) 西武史, 齊藤亨, 山田有信, 高橋靖雄. 製鉄研究. 1982, 第307号, p. 56-62.
- 4) たとえば, 溶接学会抵抗溶接研究委員会編. スポット溶接・下抵抗溶接現象とその応用. 1982, p. 39 など.
- 5) 谷口公一, 沖田泰明, 池田倫正, 遠藤茂. 溶接学会全国大会講演概要集. 2010, 第87集, p. 96-97.
- 6) 谷口公一, 貞末照輝, 伊木聡, 池田倫正, 遠藤茂. 溶接学会全国大会講演概要集. 2011, 第89集, p. 4-5.
- 7) 澤西央海, 小椋智, 廣瀬明夫, 谷口公一, 池田倫正, 遠藤茂, 安田功一. 溶接学会全国大会講演概要集. 2011, 第89集, p. 8-9.
- 8) 谷口公一, 池田倫正, 大井健次. 溶接学会全国大会講演概要集. 2012, 第90集, p. 240-241.
- 9) 谷口公一, 澤西央海, 池田倫正, 小椋智, 廣瀬明夫. まてりあ. 2014, vol. 53, no. 2, p. 63-65.
- 10) 谷口公一, 松田広志, 池田倫正, 大井健次. 溶接学会論文集. 2014, vol. 32, no. 3, p. 164-171.
- 11) Taniguchi, Koichi; Matsuda, Hiroshi; Ikeda, Rinsei; Oi, Kenji. SAE Technical Paper 2015-01-0705.
- 12) 谷口公一, 松田広志, 池田倫正, 大井健次. 溶接学会全国大会講演概要集. 2014, 第94集, p. 26-27.
- 13) 谷口公一, 松田広志, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要集. 2015, 第97集, p. 316-317.
- 14) 魚田渥一, 西脇由起男, 川松悟. 溶接技術. 2012, vol. 60, no. 3, p. 42-47.
- 15) 安江大輔, 佐橋賢治, 原祐太. 溶接学会誌. 2015, vol. 84, no. 2, p. 452-457.
- 16) 澤西央海, 沖田泰明, 松田広志, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要. 2015, 第96集, p. 202.
- 17) 澤西央海, 松田広志, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要. 2015, 第97集, p. 341.
- 18) 澤西央海, 沖田泰明, 松田広志, 池田倫正. 軽構造接合加工研究委員会.

2015, 第111回, MP-590-2015.

- 19) 澤西央海, 松田広志, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要. 2016, 第99集, p. 341.
- 20) Cho, Y-J.; Chang, I.; Lee, H. Weld. J. 2006, vol. 85, August, p. 26-29.
- 21) 長谷川芳春, 藤田浩史, 近藤岳晴, 藤本雅昭, 田辺順也, 古田正樹. Honda R & D Technical Review. 2008, vol. 20, no. 2, October, p. 106-113.
- 22) Nishibata, H.; Fukumoto, M.; Uchihara, M. Welding in the World. May 2009, vol. 53, issue 5-6, p. 15-22.
- 23) 西畑ひとみ, 菊池庄太, 福本学, 内原正人. 溶接学会全国大会講演概要. 2009, vol. 85, p. 117.
- 24) 松下宗生, 池田倫正, 遠藤茂. 溶接学会全国大会講演概要. 2011, vol. 88, p. 324.
- 25) 松下宗生, 池田倫正, 大井健次. 溶接学会論文集. 2014, vol. 32, no. 3, p. 191-200.
- 26) Matsushita, M.; Ikeda, R.; Oi, K. Welding in the World. July 2015, vol. 59, Issue 4, p. 533-543.
- 27) 松下宗生, 池田倫正, 樽井大志. まてりあ. 2017, vol. 56, no. 2, p. 85-87.
- 28) 吉川暢広, 樽井大志, 森清和, 坂本剛. レーザ加工学会論文集. 2010, no. 73, p. 53-56.
- 29) 原亜怜, 木谷靖, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要. 2017, no. 100, p. 50-51.
- 30) 原亜怜, 木谷靖, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要. 2017, no. 101, p. 342-343.
- 31) 原亜怜, 木谷靖, 池田倫正. 溶接学会全国大会講演概要. 2017, no. 101, p. 344-345.



松田 広志



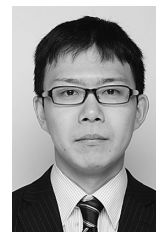
木谷 靖



松下 宗生



谷口 公一



澤西 央海



池田 倫正