

特集：抵抗スポット溶接の最近の動向

最近の抵抗スポット溶接技術の動向

大阪大学 接合科学研究所
池田 倫正

1. はじめに

溶接は、その接合形態から、図1¹⁾に示されるように「融接」、「圧接」および「ろう接」に分類されるが、抵抗溶接は、この分類においては、熱エネルギーを加えるとともに機械的圧力を付加する接合法である「圧接」に属する。抵抗溶接において用いられる熱エネルギーは、被溶接体に電流を流した際に生じる抵抗発熱（ジュール熱）であり、その発熱量 Q は、溶接電流 i 、溶接部の抵抗 R および通電時間 t から、下式にて求められる。

$$Q = \int_0^t i^2 R dt$$

この抵抗溶接にはさまざまな種類の溶接法があるが、接合機構の点から分類すると、接合界面を溶融させて接合する溶融接合、および接合界面を溶融させないで熱間変形により接合する固相接合に大別される。また、継手形式の点から分類すると、図2のように「重ね抵抗溶接」および「突合せ抵抗溶接」に分けることができ、すなわち、電流を流すことが可能な材料に限られるものの、さまざまな形状の部材に対して適用することが可能な溶接法であるといえる。

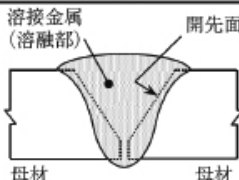
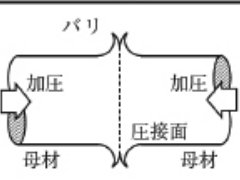
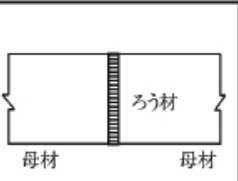
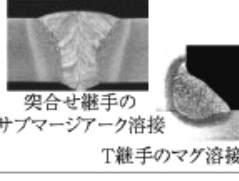


	融接	圧接	ろう接
接合形態			
適用例			
主な溶接法	<ul style="list-style-type: none"> ・被覆アーク溶接 ・サブマージアーク溶接 ・ティグ溶接 ・マグミグ溶接 ・レーザー溶接 	<ul style="list-style-type: none"> ・抵抗スポット溶接 ・アプセット溶接 ・フラッシュ溶接 ・摩擦圧接 ・ガス圧接 	<ul style="list-style-type: none"> ・トーチ(炎)ろう付 ・誘導加熱ろう付 ・光ビームろう付 ・はんだ付

図1 接合形態による分類¹⁾

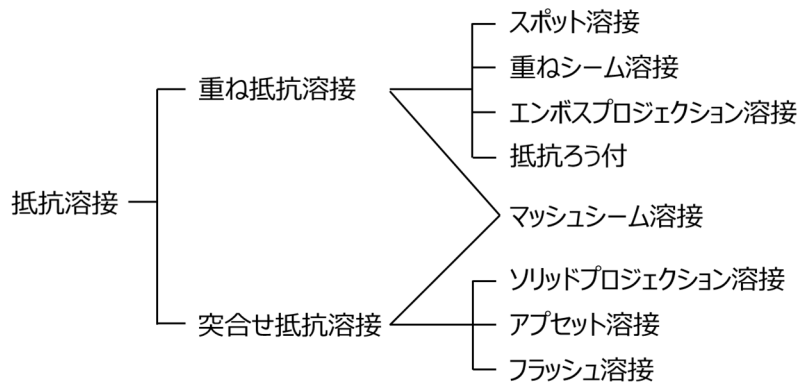


図 2 継手形式による抵抗溶接の分類

抵抗溶接の歴史は、今から約 140 年前、1886 年に抵抗溶接の父と呼ばれる Elihu Thomson により、金属棒材同士の突合せ溶接法として米国で特許登録された発明²⁾が、その始まりとされる。主に丸棒を溶接対象としており、現在のアプセット溶接に類似した溶接方法といえる。また、抵抗溶接の中で最も広く用いられている抵抗スポット溶接は、1888 年に N. V. Benardos がドイツで特許登録した発明³⁾である「電気を使用して薄い金属板を局所的に加熱して加工する方法」が最初とされる。この抵抗スポット溶接は、1900 年代以降に、米国の自動車会社フォードなどで薄板部材の重ね溶接方法として導入され、その適用は急速に拡大した。さらに、その後の自動車産業の発展とともに抵抗スポット溶接技術は大きく進展した。短時間での薄板溶接が可能なることから低コスト化、高能率化が可能であり、また電極により部材を加圧して溶接する方式であることから、部材精度に対する裕度も広いなどの利点があるため、自動車の大量生産に対して非常に有効な溶接技術であったことがその要因といえる。現在においても、車 1 台当たり 3000~6000 点の溶接点があり、自動車車体組立工程における主要な溶接技術と位置付けられている。

このような背景をもつ抵抗スポット溶接であるが、本稿では、溶接対象を鋼板とし、さらに溶接施工性および継手強度特性の観点に絞って、最近の技術開発の動向について紹介したい。

2. 溶接施工性の向上

2.1 適正溶接条件範囲について

抵抗スポット溶接は、重ね合わせた薄板材を 2 つの水冷された電極で加圧し、大電流を短時間流すことにより、碁石状の溶融部（ナゲット）を板材間に形成させる溶接方法である。抵抗溶接の三大要素とされる溶接電流、通電時間、電極加圧力に加えて、抵抗スポット溶接では電極が重要な因子となる。電極の主な役割は、溶接部を加圧保持すること、溶接部に電流を供給すること、被溶接材の表面を冷却することであり、抵抗溶接の三大要素に電極形状を加えたものが、抵抗スポット溶接の四大要素とされる。

抵抗スポット溶接の溶接施工性は、主に適正溶接条件範囲の大きさによって評価され、その下限は所定の最小ナゲット径、その上限は通電中に溶融金属が溶接部から飛散する散りの発生限界もしくは電極と鋼板が接合する溶着限界とされる。過去には、散り発生は溶融部が形成した証拠と肯定的に捉えられたこともあったが、発生した散りの被溶接部材への付着、装置への付着、作業環境の劣化などの問題が生じることから、近年では、散りのない溶接への要望が強い。そのため、適正溶接条件範

围の上限として散り発生限界を適用する場合が多くなっている。

適正溶接条件範囲を評価するために検討する溶接パラメータは、四大要素である溶接電流、通電時間、電極加圧力および電極形状となるが、多くの場合、対象となる溶接板組みが決まると電極加圧力および電極形状は既定になっており、溶接電流あるいは通電時間を変化させることにより適正溶接条件範囲を評価するが多い。

図3は、軟鋼薄板の抵抗スポット溶接において、溶接電流のみを変化させて適正溶接電流範囲を評価した例である。溶接電流の増加とともにナゲットが形成され始め、その後に、散り、溶着が順に生じている。下限を JIS Z 3140 で C 級とされる $3.5\sqrt{t}$ (ただし、 t は板厚) のナゲット径 (Dn) とし、上限を散り発生限界電流とすると、図3における適正溶接電流範囲はおおよそ 7 kA~10.5 kA の約 3.5 kA となる。また、図中の断面マクロ写真に散りが発生した場合も示しているが、板厚方向のナゲット厚さが減少し、ナゲット径は拡大しておらず、溶接品質としても好ましくないことがわかる。しかし、製造工程における実際の溶接では、実験室におけるテストピース溶接と比較して、部材の寸法精度あるいは組立位置精度のばらつきが大きいため、重ねた板材の間に隙間が生じ、電極による加圧方向に対する部材の傾きなども発生し易くなる。そのため、散り発生のない安定した溶接を実現するために、より広い適正溶接電流範囲を持つことが求められる

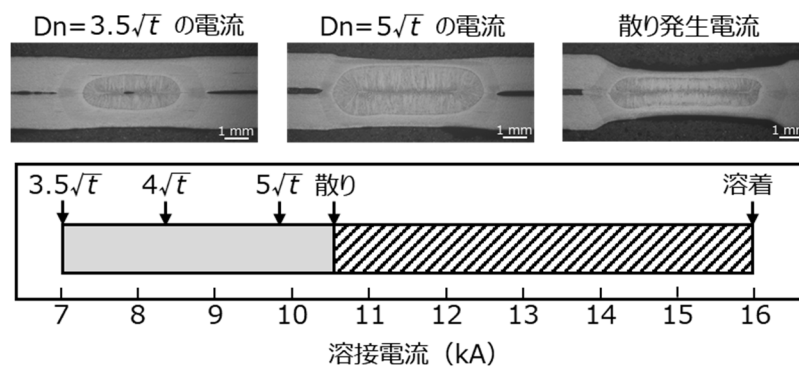


図3 軟鋼薄板の抵抗スポット溶接における適正溶接電流範囲

2.2 三枚重ね板組み溶接における施工性向上

上述したように、溶接施工性向上のためには適正溶接電流範囲の確保が必要とされるが、溶接部の板組みによっては適正溶接電流範囲の確保が困難な場合が生じる。例えば、図4に示す模式図のような、板厚の薄い鋼板を1枚と板厚の厚い鋼板を2枚重ねた3枚重ね板組みの溶接において、板厚比 (=板組みの総板厚/3枚重ね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、薄鋼板を含めた適正溶接電流範囲は狭くなる。抵抗スポット溶接では、電極による冷却効果によりナゲットは二つの電極間の中央部近傍に形成されるが、高板厚比の3枚重ね板組み溶接では薄板と厚板の接合界面位置が電極に近い位置となり、薄板-厚板間を含んだナゲット形成が難しくなるためである。加えて、厚鋼板が固有抵抗の大きい高強度鋼の場合には、厚鋼板が溶融し易くなりこの傾向はさらに顕著になる。結果として、薄板-厚板間でのナゲット形成電流と散り発生限界電流の差はより狭くなり、適正溶接電流範囲が存在しなくなる場合も生じる。そのため、実際の製造工程においては、板厚比に上限を設けて溶接施工性を確保しているのが現状である。

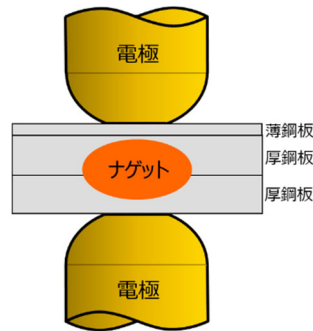


図4 3枚重ね板組み抵抗スポット溶接におけるナゲット形成の模式図

しかし、自動車車体の軽量化が進む中、この高板厚比の3枚重ね溶接部位は増加する傾向にあり、より高板厚比の板組みに対しても良好な溶接施工性を確保可能なことが要望されている。このため、さまざまな溶接プロセスが提案されている。図5⁴⁾は、溶接中に加圧力と電流を2段階に変化させた「2段階加圧・2段階通電」条件におけるナゲット形成過程を模式的に示した図である。1段階目では、低加圧力・短時間通電・高電流とすることで薄板-厚板間にナゲットを形成させ、2段階目では、高加圧力・長時間通電とすることで電極冷却と鋼板発熱のバランスにより板組み中央部付近である厚板-厚板間にナゲットを形成させている。1段階目は、短時間・高電流の通電時により電極直下で電流密度を高くし、それと同時に加圧力を低くすることで発熱による熱膨張が生じ易く薄板-厚板間の接触径が小さくなり、結果として接触部での電流密度が高くなりナゲットが形成される、という現象である。しかし、1段階目の条件のままでは厚板-厚板間での安定したナゲット形成はできないため、溶接中に2段階目の条件に切り替えて厚板-厚板間でもナゲットを形成させることで、十分な適正溶接電流範囲の確保を達成している。

1秒未満の極短時間のプロセスである抵抗スポット溶接において、溶接電流と加圧力を最適に変化させればナゲット形成位置も制御可能であることが示された訳であるが、この技術は溶接機の性能向上によってはじめて実現できたものといえる。特に、加圧力は、従来の圧縮空気によるエア加圧ガンに対し高精度の加圧力制御が可能な電動サーボ溶接ガンが開発されたことによる。電動サーボ溶接ガンは、ロボット溶接の溶接ガン移動時における電極位置の最適化など、溶接タクトタイムの短縮が当初の目的であったが、開発された高性能の溶接制御を活用することで新たな溶接技術が創出された事例といえる。この溶接中に加圧力を増加させる2段階加圧を利用して高板厚比の3枚重ね板組み溶接を可能とする方法は、図5に示した溶接電流波形以外にもいくつかの電流波形パターンが提案されており^{5)・6)}、溶接施工性を向上させる技術として実用化もされている。

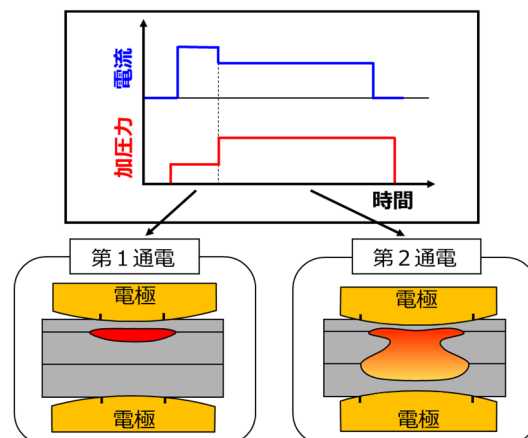


図5 電流・加圧力制御を用いた3枚重ね板組み抵抗スポット溶接過程の模式図⁴⁾

また、自動車車体の抵抗スポット溶接において、主に用いられている溶接電源方式には単相交流式および直流インバータ式があるが、これらの従来方式よりも、高板厚比3枚重ね板組みでの溶接施工性を向上させる技術として、図6⁷⁾に示すようなパルス電流波形制御技術が提案されている。

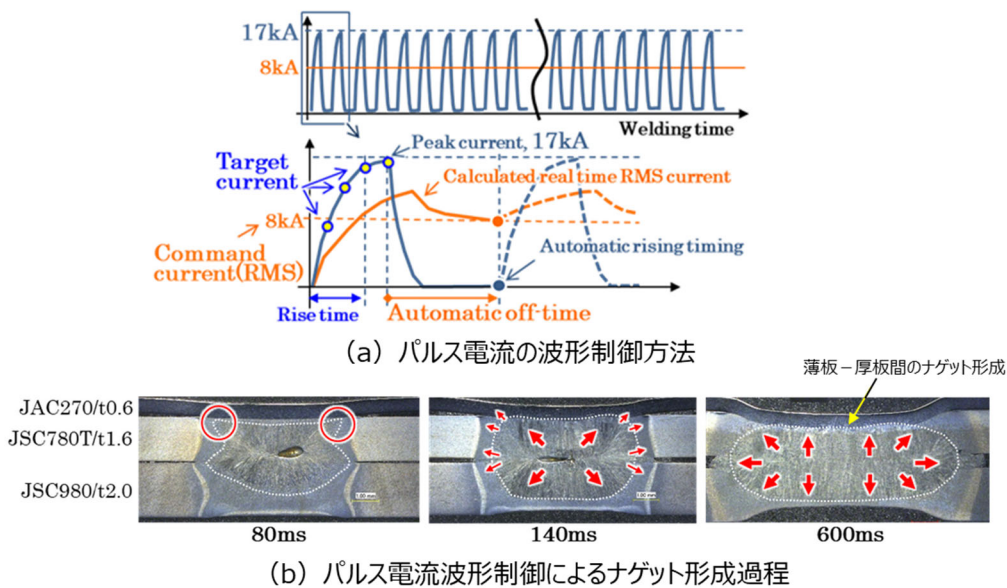


図6 パルス電流波形制御を用いた3枚重ね板組みの抵抗スポット溶接⁷⁾

図6(a)は波形制御方法についての模式図であるが、上段に示されるように、全体としては連続したパルス電流波形である。各パルス波形は、下段に示されるように、設定した溶接電流（実効値）の大きさによらず、ピーク電流値（17kA）までは常に同一の形状になるようにリアルタイムフィードバック制御されている。さらに、1パルス毎に、リアルタイム実効値演算による休止時間の可変自動制御をしており、次パルス電流の立ち上がり直前には常に設定した溶接電流（実効値）になるように制御されている。このため、図6のパルス電流波形は、溶接電流（実効値）によらずピーク電流値は同じで、溶接電流（実効値）が高ければ休止時間は短く、溶接電流（実効値）が低ければ休止時間は長くなるという特徴を有している。

図6(b)は、上述したパルス電流波形によって得られた溶接部断面マクロである。通電時間600msに対し、80、140、600msでのナゲット形成状態を示している。通電初期（80ms）では、高いピーク電流値をもつパルス電流により薄板-厚板間近傍での発熱が生じ易いことがわかる。その後の通電時においては、パルス電流によりナゲットが溶融拡大と外周部の一部凝固を繰り返しながら成長するが、休止時間における冷却によりコロナボンド部の幅が広く確保され、散り発生が抑制されるため、薄板-厚板間でのナゲット形成（薄板の溶融）とともに厚板-厚板間のナゲット径の拡大が可能となることが示されている。結果として、従来の溶接電源方式と比較し、広い適正溶接電流範囲の確保が達成されている。

以上、抵抗スポット溶接は、電極間の中央部にナゲットを形成する単純な溶接プロセスではなく、近年の溶接機の進歩とともに、加圧力および電流波形を高精度に制御することでナゲット形成プロセスも制御可能になってきたといえる。

2.3 分流のある溶接における施工性向上

自動車車体では多数の抵抗スポット溶接を施工することから、溶接時には既溶接点に電流が流れ

る（分流）現象について留意する必要がある。溶接打点が近接すると分流は大きくなり、溶接点に流れる電流の減少によりナゲット径は縮小し、溶接部強度は低下する。そのため、実際の製造工程においては溶接打点間隔に下限値（30 mm 程度）を設定しており、溶接施工の制約となっている。また、溶接打点間隔の縮小（短ピッチ化）により車体剛性の向上が期待できることから、分流が生じる短ピッチ溶接に対しても対応可能な溶接技術が要望されている。

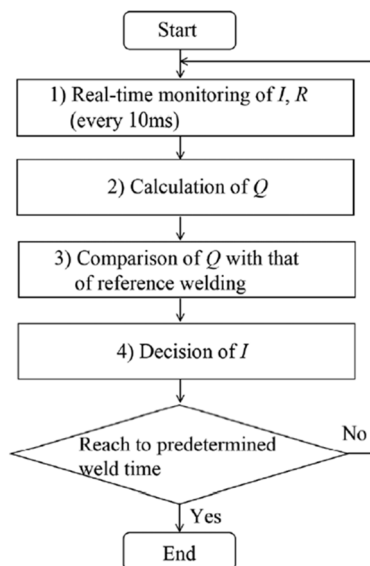


図7 抵抗スポット溶接における適応制御のフローチャート¹⁰⁾

短ピッチ溶接において、溶接打点毎に、その分流の程度に応じた最適溶接電流を設定することは可能であるが、分流量の推定には多大な工数を要するため現実的な対策ではない。そのため、従来の定電流制御ではなく、通電中の電極間抵抗をモニタリングして溶接電流を制御する適応制御溶接技術^{8), 9)}の適用が検討されている。図7¹⁰⁾は、適応制御のフローチャートの一例である。まず、あらかじめ実施した正常な溶接（リファレンス溶接）において通電中の熱量（ Q ）変化を取得する。その後の溶接においては、10 ms 毎にモニタリングした溶接電流および電極間抵抗から同様に Q を計算し、その時点までの Q と単位時間の積の総和がリファレンス溶接と同じ値となるように、次の 10 ms の電流値を決定する。これを通電終了まで繰り返し、最終的な投入熱量が目標熱量に達するようにリアルタイム制御する方法である。適応制御溶接の適用により、軟鋼板が対象であれば、溶接打点間隔 15 ~ 20 mm 程度まで短ピッチ化してもナゲット径は縮小しないことが可能であることが確認されている。

溶接打点間隔をさらに縮小可能な溶接技術として、多段適応制御スポット溶接技術^{10), 11)}も提案されている。図8¹⁰⁾は、1段適応制御と2段適応制御の場合の溶接電流パターンの模式図である。2段適応制御の場合は、1段目を低電流、2段目を通常の1段目と同じ電流としているが、2段適応制御の適用により、軟鋼板を対象とした場合は、溶接打点間隔は 10 mm まで短ピッチ化が可能であることが示されている。図9¹⁰⁾は、1段適応制御と2段適応制御での短ピッチ溶接にける通電・発熱プロセスの模式図である。1段適応制御の場合、ナゲット形成前の電極直下での板-板間の接触径が小さいため分流が大きく、溶接電流が大幅に増加するように制御される。そのため、電極近傍における電流密度が過度に高くなり、鋼板表面部での溶融が促進されて表散り（溶融部が鋼板表面から飛散する現象）が発生し、結果として、ナゲット径は縮小する。一方、2段適応制御では、1段目通電で板-

板間の接触軽が拡大し分流が低減するため、2段目の溶接電流が大きく増加するような制御にはならず、表散りが発生することなくナゲットは正常に成長し、所定のナゲット径が得られるとされている。なお、2段適応制御溶接は、980 MPa 級高張力鋼板を対象とした場合においても、溶接打点間隔 10 mm までの短ピッチ化が可能であることも示されている¹¹⁾。

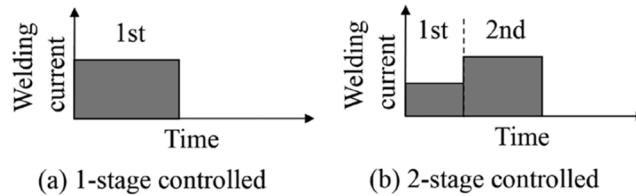


図 8 適応制御に用いる溶接電流パターンの模式図¹⁰⁾

	Before nugget formation ~ Early stage of nugget growth	During nugget growth	End of welding
1-stage adaptive control	Contact dia.: Narrow Shunting: Large	Current density: High Expulsion from sheet surface	 Expulsion from sheet surface
2-stage adaptive control	Contact dia.: Wide Shunting: Small	Current density: Low No expulsion	 No expulsion

図 9 適応制御による短ピッチ溶接における発熱過程の模式図¹⁰⁾

適応制御溶接は、短ピッチ溶接以外の溶接施工外乱が生じた場合においても有効とされているが、前節で紹介した加圧力・電流制御パターンと適応制御溶接の組合せ、あるいはモニタリング可能なさまざまな他の溶接パラメータの活用など、さらなる研究開発が期待される技術であるといえる。

3. 溶接継手強度の向上

3.1 高張力鋼板の抵抗スポット溶接継手強度について

高張力鋼板の抵抗スポット溶接の課題として、スポット溶接継手のピール試験（主に、溶接部の板厚方向に引張力を加えて破断する試験。JIS Z 3144）あるいは十字引張試験（JIS Z 3137）において、溶接部破断形態が劣化（プラグ破断から界面破断に変化）し継手強度が低下することが挙げられる。図 10¹²⁾ はピール試験時の破断形態と鋼板成分の関係を整理した例である。鋼板の C、Si、Mn の量が多いほど、また P および S が多いほどナゲット内破断が生じ易く、継手強度は低下することが示されている。C、Si、Mn の量が多くなると硬化し、P および S が多くなると脆化することが要因とされる。特に、ホールド時間 (T_h) の長い 25 サイクルの条件では、溶接部の冷却速度がより速くなるため、この傾向は顕著になる。このため、高張力鋼板では、抵抗スポット溶接性を考慮し、合金元素お

よび不純物元素を可能な限り低減した成分設計にすることが基本とされてきた。

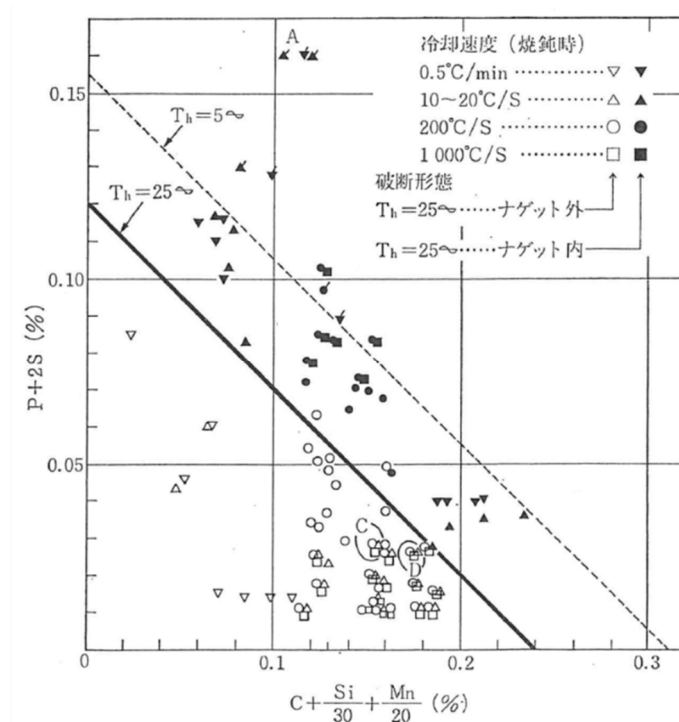


図 10 ピール試験時の破断形態と鋼板成分の関係¹²⁾

しかし、自動車車体への適用が拡大している引張強さ 980 MPa 以上の超高張力鋼板では、引張強さ、伸びなどの機械的特性を十分に確保するため、合金元素量の増加が避けられず、不純物元素を可能な限り低減しても、継手強度特性は劣化する傾向にあることが報告されている。図 11¹³⁾ は、ナゲット径 $5.3\sqrt{t}$ (t は板厚) の場合の鋼板強度と継手強度の関係を示しているが、鋼板強度が 980MPa 級以上になると、JIS Z 3136 による引張せん断強さ (TSS : Tensile Shear Strength) は鋼板強度とともに増加しても、十字引張強さ (CTS : Cross Tension Strength) は低下する傾向が示されている。

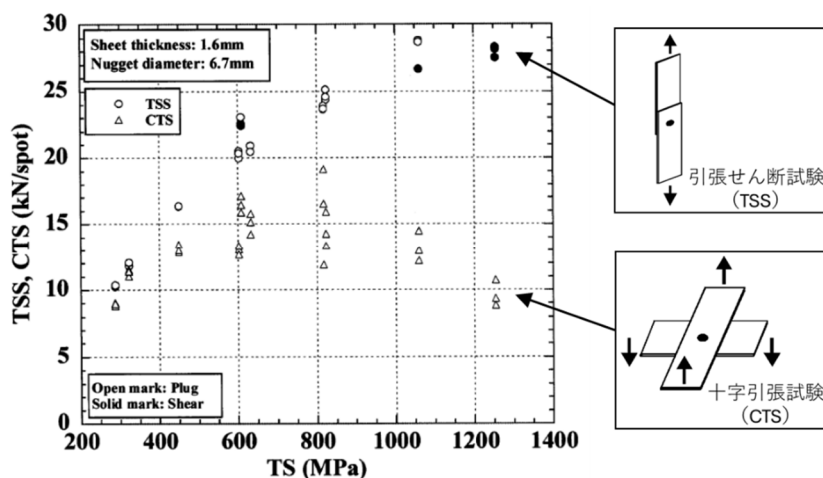


図 11 抵抗スポット溶接継手強度と鋼板強度の関係¹³⁾

3.2 溶接継手強度向上のための溶接技術

上述したように、980 MPa 級以上の超高張力鋼板では、鋼板成分の制限（最適化）により継手強度を確保することが難しいことから、溶接技術による継手強度向上が検討されている。特に、ナゲット形成後の後通電が溶接部の改質に効果的であることから、いくつかの方法が提案されている。

従来から知られている後通電法として、テンパ通電がある。ナゲット形成のための通電（本通電）後に十分な冷却時間を設けて溶接部を急冷し、マルテンサイト変態後にテンパ通電をすることで溶接部端部を焼戻しする方法である。テンパ通電時には、ナゲット中心部から再加熱され周辺部はその後に加熱されるため、ナゲット端部が焼戻し温度（ A_{c1} 点以下の温度域）に加熱されるように、適切に溶接条件を調整することが必要である。「本通電+冷却+テンパ通電」を一連の溶接として実施することができ、十字引張試験での破断形態が界面破断からプラグ破断あるいは母材破断へと改善され、継手強度も増加するとされる。しかし、テンパ通電では、長時間の冷却時間が必要なため溶接作業時間が長くなる課題があり、実際の自動車車体工程での実用化はほとんどなされていない状況であった。

そのため、溶接作業時間を短くすることが可能な後通電法が検討されている。以下に、その提案技術について紹介する。まず、**図 12**¹⁴⁾ に、短時間クール偏析緩和型後通電の提案例を示す。本技術は、本通電の後に 2~6 cycles の短時間の冷却時間を設定し、その後に本通電の 90% 程度の電流を通電する方法であり、従来のテンパ処理のように長い冷却時間を必要としない通電パターンとなる。下段は、板厚 2 mm の Al めっきホットスタンプ材を用いた場合の冷却時間と十字引張強さの関係であり、本通電時の溶接電流はナゲット径が $5\sqrt{t}$ (t は板厚) になる 8.3 kA、後通電時間を 5 cycles、後通電電流を本通電電流の 90% の 7.6 kA に設定した場合の結果である。後通電後の十字引張強さは、本通電後の冷却時間 0 cycle では 10 kN 程度であるが、短時間の冷却時間を設けることにより増加しており、冷却時間 6 cycles の場合には 14 kN 程度にまで大きく向上することが示されている。また、冷却時間 35 cycles の場合には、後通電時間を 20 cycles と長時間にする必要も確認される。なお、ホットスタンプ材は、熱間プレス成形時にプレス金型により急冷することで、組織をマルテンサイト化して高強度化した鋼板である。

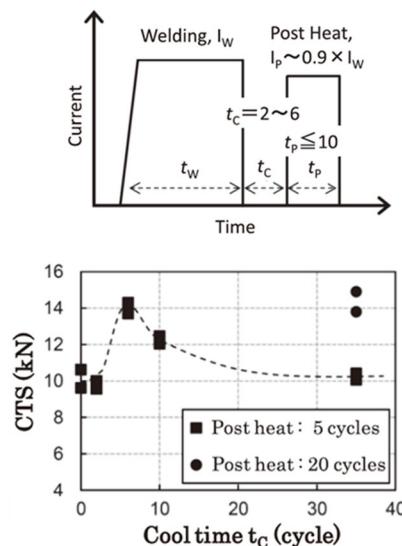


図 12 短時間クール偏析緩和型後通電パターンと CTS に及ぼす冷却時間の影響¹⁴⁾

短時間クール偏析緩和型後通電の継手強度向上機構は、テンパ通電のようなマルテンサイトの焼戻しではなく、ナゲット端部での偏析緩和、とされている。**図 13**¹⁴⁾ は、Al めっきホットスタンプ材

に対し、後通電条件とナゲット端部でのマイクロ組織および P の凝固偏析について観察した結果である。下段では、後通電の前に短時間冷却 (6 cycles) を設けることで凝固偏析が大幅に低減することが示されており、本通電時に凝固偏析した元素が後通電工程で拡散したと推定されている。さらに、超高張力鋼の抵抗スポット溶接継手を対象とし、十字引張試験での破断現象を破壊力学に基づいた検討も実施されており、ナゲット端部でのじん性向上により十字引張強さが増加することが明らかにされている¹⁵⁾。本通電→冷却→後通電という通電パターンはテンパ通電と同じであるが、継手強度向上機構は全く異なることがわかる。

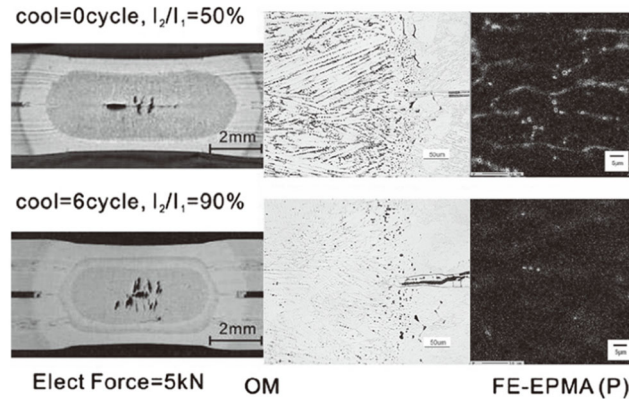


図 13 短時間クール偏析緩和型後通電によるナゲット端部の偏析状態¹⁴⁾

次に、後通電パターンとして、短時間・高電流のパルス通電を検討した例を図 14¹⁶⁾ に示す。本技術は、本通電後に短時間の冷却時間と、本通電よりも高い電流での短時間通電 (パルス通電) を繰り返す後通電パターンである。下段は、板厚 1.6 mm の 1180 MPa 級冷延鋼板を用い、パルス通電を 2 回繰り返した場合のパルス電流と十字引張強さの関係が示されている。本通電条件は通電時間 16 cycles、本電流 5.5 kA、ナゲット径が $4\sqrt{t}$ (t は板厚)、パルス通電条件は通電時間 3 cycles、冷却時間 8 cycles とした場合の結果である。十字引張強さは本通電だけの従来溶接では 7 kN であるが、パルス通電を加えた場合は幅広いパルス電流範囲で継手強度は増加しており、パルス電流 8 kA では 12 kN 以上にまで向上している。また、従来溶接ではナゲット内破断であるが、パルス通電を加えることによりブラグ破断に変化するとされている。

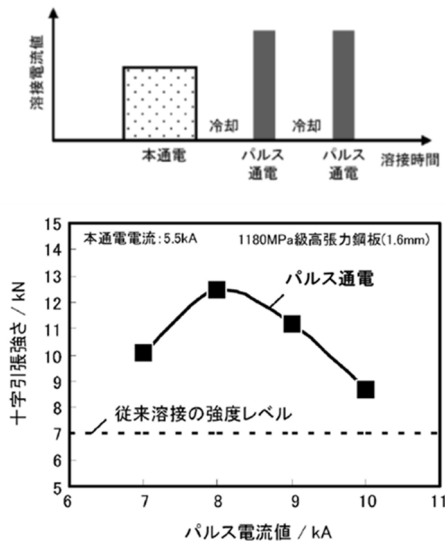


図 14 パルス通電パターンと継手の十字引張強さに及ぼすパルス電流の影響¹⁶⁾

また、図 15¹⁷⁾は、パルス通電時の溶接部における温度分布を数値計算により解析した結果である。板厚 1.6 mm の 1180 MPa 級冷延鋼板に対し、本通電条件は通電時間 16 cycles、本電流 5.8 kA、ナゲット径が 5.0 mm ($4\sqrt{t}$)、パルス通電条件は通電時間 3 cycles、パルス電流 8 kA、冷却時間 8 cycles とした場合である。本通電時には基石形状の発熱形態であるが、パルス通電時には四角形状の発熱形態と変化している。本通電時のナゲット形成により、板-板間および電極-板間では十分な接触部が確保されるため、高電流のパルス通電時には、電極-板間および板-板間の通電部外周で電流密度が高くなり、加えて、通電時間が短いため電極および溶接部周辺への熱損失の影響が少ないことが要因と考えられる。なお、短時間・高電流のパルス通電による継手強度向上機構としては、ナゲット端部での偏析緩和、熱影響部での硬化抑制によるナゲット端部での応力集中低減とされている。加えて、ナゲット径がある程度変動しても継手強度向上効果は保持されることから、ロバスト性に優れた後通電法とも報告されている¹⁷⁾。

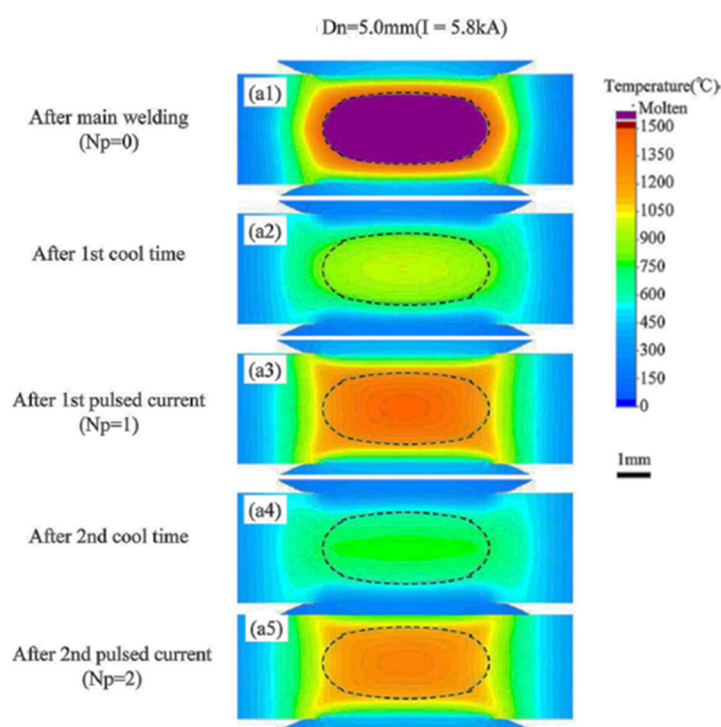


図 15 短時間・高電流のパルス通電における溶接部の温度分布変化¹⁷⁾

以上、超高張力鋼の抵抗スポット溶接継手強度を向上させる通電パターンについて紹介したが、従来から検討されていた硬化した溶接部の焼戻しだけでなく、新たな通電パターンの検討により溶接部での偏析緩和などの技術開発が進んだといえる。今後、前章で紹介した溶接施工性向上技術も活用することにより、さらなる継手強度向上技術の研究開発が進むものと期待される。

4. おわりに

本稿では、最近の抵抗スポット溶接技術の動向について、溶接施工性および継手強度特性に関する点に絞って紹介したが、これら以外にも多くの技術が開発されている。超高張力鋼板の溶接においては、溶接部での亜鉛めっきに起因する液体金属ぜい化割れ、あるいは遅れ破壊などの課題もあり、そのメカニズム解明とともに、課題を解決するための新技術が提案されている。また、アルミニウム合

金の溶接においては、溶接施工性向上のための新しい先端形状である MRD (Multi-Ring Domed) 電極が提案されている^{18),19)}。図 16¹⁹⁾に電極外観写真を示すが、抵抗スポット溶接の四大要素の中では検討例が少なかった電極に焦点をあてた開発である。アルミニウム合金に限らず、電極に焦点をあてた研究開発は今後増加するものと考えられる。

また、軽量化などの観点から、同種金属の溶接だけではなく、異種金属接合への抵抗スポット溶接技術の適用に対する要望も大きく、精力的に研究開発が進められ多くの報告・提案がされている。さらに抵抗スポット溶接技術の高度化が進むことで、今後も、抵抗スポット溶接が薄板材料のものづくりに貢献することに期待したい。



図 16 MRD 電極の外観¹⁹⁾

参考文献

- 1) 溶接学会・日本溶接協会編：溶接・接合技術入門 (2019), p.9
- 2) U.S. Patent 347140, Patented Aug.10, 1886
- 3) German Patent 46776, Patented Jan.21, 1988
- 4) 池田, 沖田, 小野, 安田, 寺崎：溶接学会論文集, 28-1 (2010), pp.141-148.
- 5) J.Gould, W.Peterson and J.Cruz：Weld World, 57 (2013), pp.243-256.
- 6) 上川路, 森田, 水篠：マツダ技報, 40 (2023), pp.123-129.
- 7) 渡邊, 斉藤, 譚, 豊田, 池田：溶接学会全国大会講演概要集, 114 (2024), pp.74-77.
- 8) U. Matuschek and K. Poell：IIW Annual Assembly Meeting C-III, 1346-05 (2005)
- 9) 安江, 佐橋, 原：溶接学会誌, 84-6 (2015), pp.452-457.
- 10) 澤西, 沖田, 松田, 池田：溶接学会論文集, 37-4 (2019), pp.173-180.
- 11) 澤西, 松田, 沖田, 池田：溶接学会論文集, 40-1 (2023), pp.1-10.
- 12) 西, 斎藤, 山田, 高橋：製鉄研究, 307 (1982), pp.56-62.
- 13) 及川, 村山, 崎山, 石川, 高橋：新日鉄技報, 385 (2006), pp.36-41.
- 14) 宮崎：溶接学会誌, 86-4 (2017), pp.243-251.
- 15) 渡辺, 古迫, 浜谷, 宮崎, 野瀬：溶接構造シンポジウム 2011 講演論文集 (2011), pp.271-278.
- 16) 谷口, 澤西, 池田, 小椋, 廣瀬：まてりあ, 53-2 (2014), pp.63-65.
- 17) 谷口, 松田, 池田：溶接学会論文集, 37-4 (2019), pp.215-223.
- 18) L.Deng, Y.Li, B.Carlson and D.Siger：Welding Journal, 97 (2018), pp.120s-132s.
- 19) 渡辺, 永瀬, 松陰, 木下, 樽井：溶接学会全国大会講演概要集, 115 (2024), pp.26-27.

<略歴>

池田 倫正 (いけだ りんせい)

1989年 大阪大学大学院 工学研究科 修了

1989年 川崎製鉄株式会社 入社 鉄鋼研究所 配属

2003年 JFE スチール株式会社 スチール研究所

2018年 JFE テクノリサーチ株式会社 構造材料ソリューション本部

2022年 大阪大学 接合科学研究所

現在に至る