

論文・解説

35

スポット溶接モニタシステムの開発

Development of Monitoring System for Spot Welding

小田 修二*1 山北 恭司*2 村重 滋男*3
Shuji Koda Yasushi Yamakita Shigeo Murashige

要約

スポット溶接は古くから現在に至るまで自動車構造用鋼板の主流の接合方法として用いられてきた完成度の高い接合方法であるが、残る課題の一つとして品質管理面でのチェック作業の廃止があげられる。チェック作業はその作業工数に加えて、作業のためのライン停止や抜き取り工程が必要となる。また異常発生時には、チェックした製品から異常の発生した溶接工程までの工程数分の不良品が発生する。そこで、チェック作業を自動化し、かつ溶接工程でインライン検査することが課題である。今回、スポット溶接中の電極間抵抗をモニタすることで品質管理が可能なシステムを開発し量産ラインに導入した。このスポット溶接モニタシステムによる品質保証の考え方と活用の現状について紹介する。

Summary

Spot welding is used as one of major welding methods of structural steel sheet for automobiles from past to present. One of open issues is to eliminate chisel checks in quality control. The chisel check requires the line stop for work and sampling process in addition to number of man-hours. If a problem may arise, inferior products would occur by the same number as that of welding processes ranging from a problem process to a check process. Our issue is, therefore, to automate quality verification and conduct in-line inspection in a welding process. We have developed a monitoring system which monitors the resistance between electrodes under the welding to assure positive quality control, and have introduced it into a mass production line. This paper introduces the philosophy of quality assurance and present conditions of practical use.

1. はじめに

スポット溶接は自動車構造用鋼板の接合方法として古くから用いられており、最近ではレーザー溶接やプラズマ溶接なども一部で採用されているが、今もなお主流の接合方法である。その溶接作業そのものはほぼ自動化されているが、ボデーに付着した溶接時に発生するスパッタを除去する作業や、品質管理のためのたがね試験作業は手作業である。作業環境の改善および作業工数の削減のため、スパッタの発生防止とチェック作業の自動化が課題である。

スパッタの発生防止に対しては、安定して溶接強度を確保できる最適な溶接条件の設定と、生産工程のばらつきを

低減する活動を行っている。今回、もう一つの課題であるチェック作業の自動化のため、スポット溶接中の電極間抵抗をモニタするシステム（以下、スポット溶接モニタシステム）を開発し、量産ラインに導入した。

本稿では、このスポット溶接モニタシステムによる品質保証の考え方と活用の現状について紹介する。

2. 開発のねらい

2.1 現状のスポット溶接の品質保証方法とその課題

スポット溶接の品質は、溶融部の径（以下、ナゲット径）の大きさが基準以上あるかどうかで判断する。そのため、実際に破壊してナゲット径を測定する必要があるが、実際

*1~3 車体技術部
Body Production Engineering Dept.

の製品を破壊することはできない。

そこで、事前に品質確認用の製品を準備し、溶接部の破壊試験を行って良好な品質が確認されたときの溶接条件を製品に適用する。この溶接条件を維持管理することによってスポット溶接品質を保証している。

この溶接条件の維持管理のため、定期的な溶接条件の測定を行っている。更に、稼動中には制御装置による監視と、周期的な製品へのたがね試験とを併用で行っている。

たがね試験は、溶接部近傍にたがねを打ち込んでナゲットの有無をチェックし、溶接が正常に行われていることを確認する。しかしたがね試験にはその作業工数に加えて、作業のためのライン停止や抜き取り工程が必要になる。また異常発生時には、前回たがね試験を行った製品から異常の発生した溶接工程までの工程数分の製品の品質確認が必要となり、更に不良品に対して廃棄または手直し作業が発生する。そこで、溶接条件の監視を全て自動化し、溶接工程で行うことを検討した。

2.2 開発のステップ

溶接工程で溶接条件を自動で監視する方法として、スポット溶接中の電極間抵抗の測定に注目した。スポット溶接中の電極間抵抗の変化がナゲット形成過程と密接に関係していることは、これまで報告されている研究の中で明らかにされている⁽¹⁾。ただし、めっき材の溶融過程や板の膨張など単純なナゲット形成以外の要因も電極間抵抗に含まれるため、直接ナゲット径を推定することは困難であった。

今回、直接ナゲット径を推定するのではなく、溶接条件の変化を検出する方法として、電極間抵抗を利用することを検討した。溶接条件に変動があった場合、ナゲット形成過程に影響を与えるため、電極間抵抗に大きく変化が現れることが分かった。そこで、溶接条件の変動を検出する電極間抵抗の変化をパラメータ化し判定することで、溶接条件を監視するシステムの開発を目指した。

開発のステップを、電極間抵抗による品質管理方法の確認のためサブラインをねらいとした第1ステップと、メインラインへの展開を含む第2ステップに分けた。まず、第1ステップとしてモデルラインにトリビュートのドアラインを選び、たがね試験を廃止し稼動中のチェック作業を自動化することを開発目標とした。

3. 電極間抵抗による品質管理の考え方

3.1 電極間抵抗とナゲット形成過程

溶接中の電極間抵抗の変化とナゲット形成過程との関係を確認した結果をFig.1に示す。電極間抵抗は、①通電初期に板間の接触抵抗が消失して一旦低下する。②抵抗発熱により通電路が温度上昇し、板厚の膨張と抵抗率の温度依存性により抵抗は増加する。③通電路の温度が融点を越えるとナゲットが形成され成長に伴って、通電路面積の拡大と電極の沈み込みにより抵抗は減少する。

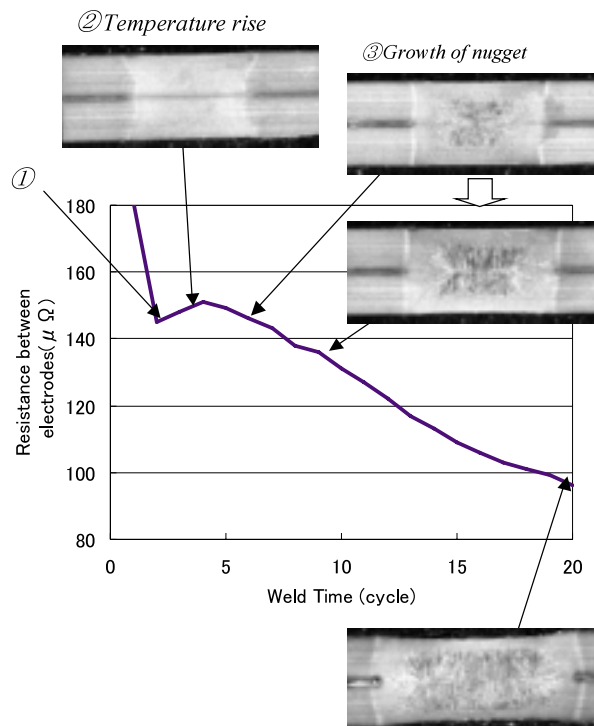


Fig.1 Resistance between Electrodes and Growth of Nugget

このように、電極間抵抗の溶接中の変化はナゲットの形成過程と密接な関係があり、ナゲットの成長に伴って抵抗が減少する傾向があることが確認できた。

3.2 溶接条件（電極先端径）の変動と電極間抵抗

次に、溶接条件の変動と電極間抵抗との関係を確認した。維持管理する条件は、溶接電流、通電時間、電極加圧力および電極先端径であり、これらの溶接条件により溶接品質は決定される。ここでは、電極先端径の変動と電極間抵抗について説明する。

電極先端面は溶接時の発熱と加圧の衝撃により損耗するため打点数が増えるにしたがって電極先端径は拡大する。電極先端径が拡大することにより通電路面積が広がり電流密度が下がるため十分な発熱が得られなくなる。電極先端径を維持するため周期的に電極先端面を研磨し先端径を再生している。

新品電極と先端径が損耗により拡大した電極における電極間抵抗をFig.2に示す。打点数が増えるにつれて抵抗のピーク以降の減少量が小さくなっていることが分かる。これは電極先端径の拡大により発熱不足となり電極間抵抗の変化量が少なくなる。この電極間抵抗の変化を、ピーク以降の減少量（以下、抵抗減少量）を判定パラメータとして捉えることにより、電極先端径の拡大を検出することが可能である。

打点数と抵抗減少量およびナゲット径の関係をFig.3に示す。打点数が増えるにつれて抵抗減少量が小さくなり、ナゲット径も減少している。

しかし、電極先端径の研磨不良などによりスパッタが発生すると、溶接中に溶融部が吹き飛び溶接部の板厚が減少するため、電極間抵抗が急激に低下する (Fig.4)。その場合は抵抗変化からスパッタ発生を検出し、異常として判断することが可能である。

電極先端径と同様、他の溶接条件の変動についても電極間抵抗により検出可能であることが分かった。

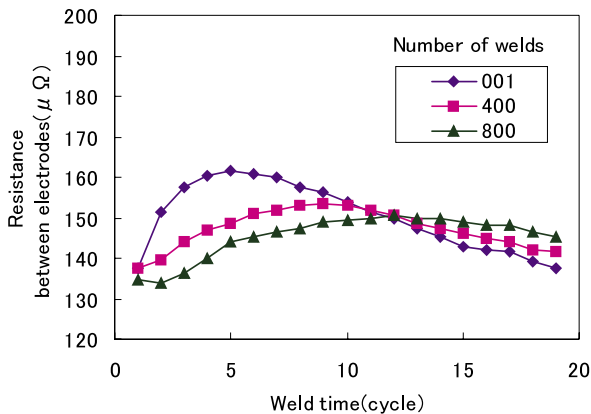


Fig.2 Resistance between Electrodes Accompanying Number of Spot Welds

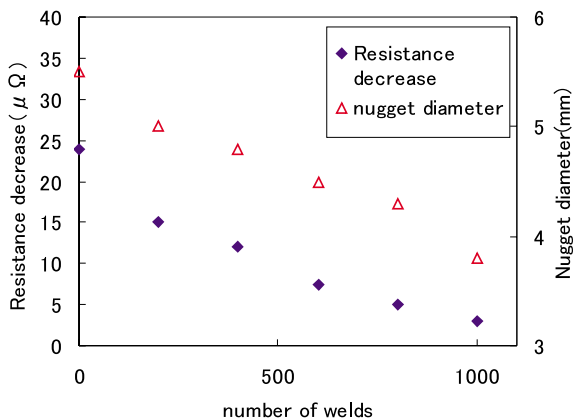


Fig.3 Resistance Decrease and Nugget Diameter

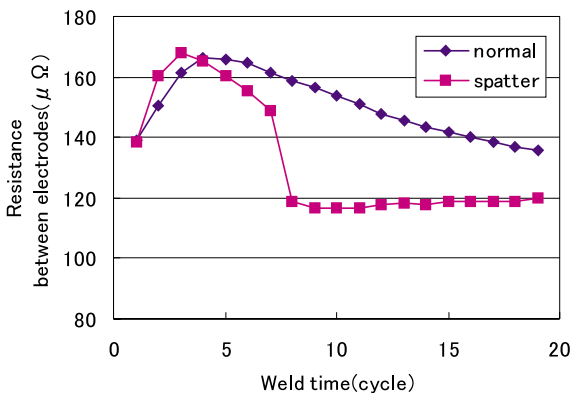


Fig.4 Resistance between Electrodes in Spatter Generating

3.3 電極間抵抗による品質管理方法

これまで述べたように、溶接条件の変動を電極間抵抗の変化から求めた判定パラメータにより捉えることが可能である。そこで溶接設備が正常に機能しているときの判定パラメータのばらつきを測定し、その範囲以上にデータが変化した場合、溶接設備に異常が発生し溶接条件が変動した可能性があるとして警報を出力させる。警報出力時には溶接設備のチェックを行うことで品質を管理することとした。

4. 溶接モニタのシステム化

量産ラインに導入するスポット溶接モニタシステムの装置構成をFig.5に示す。電極間抵抗を測定し溶接システムの良否判定を行う機能を溶接制御装置に追加した。

溶接ガンに取り付けた電圧検出線より電極間電圧値を溶接制御装置に取り込む。この電圧とトランス1次側の測定電流から換算した2次側電流値とにより電極間抵抗を計算する。溶接制御装置には、条件信号ごとに溶接条件と判定パラメータの判定レベルが設定できる。溶接制御装置は、通電中の電極間抵抗より抵抗減少量など判定パラメータを算出して判定レベルと比較し、範囲外の場合は警報をロボット制御盤に出力し、ロボットを停止する。

また、パソコンを各溶接制御装置とネットワーク接続することにより、一括して通電中の電極間抵抗値などのデータをパソコンに記録し、異常の発生時には対象号機、打点番号を表示しオペレータに知らせる。

5. 量産現場への導入

開発したスポット溶接モニタシステムをトリビュートのドラインに導入した。

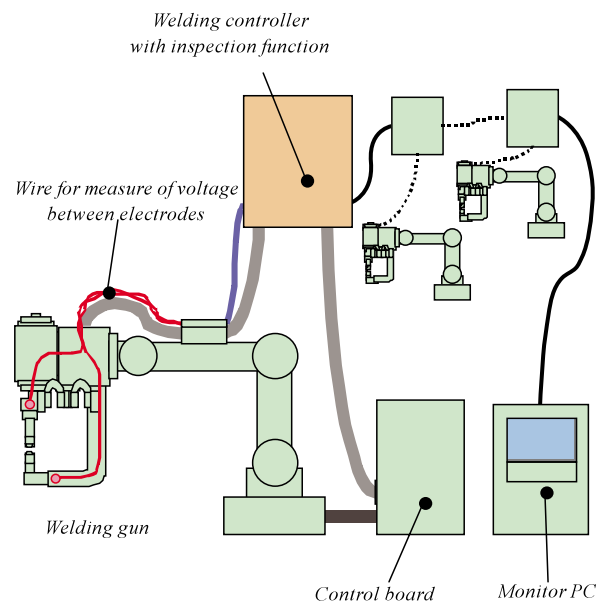


Fig.5 Monitoring System

Fig.6に溶接設備が正常に機能しているときの判定パラメータ（抵抗減少量）の推移を示す。連続打点による電極先端径の拡大により抵抗減少量が下がっているが、電極研磨により周期的に元の値に戻り、安定した推移を示している。この推移を一定期間確認し、その下限値で品質を確認して異常の判定レベルとした。

Fig.7は、同工程において電極研磨を行わず、意図的に異常状態を発生させたときの、モニタデータの推移である。打点数が増加するに伴ってモニタデータが下がっていき、判定レベルを下回った。このときの溶接部を破壊検査して確認したところ、品質基準以上のナゲット径は得られているが小さくなっており、溶接システムの異常を早期に見ることができることが分かった。

一定期間たがね試験と、スポット溶接モニタシステムによる品質管理を併用し一致度を確認した。打点位置のずれや板間隙によっても抵抗値は変動し、電極のかみ合わせが公差範囲内でわずかにずれた場合でも、溶接設備の異常と判定してしまうことがあった。しかし今回、生産工程のばらつきを抑える必要のある因子を洗い出し抑えることで、過剰な異常判定を減らすことができた。これらの結果から、スポット溶接モニタシステムにより品質管理を行うことでたがね試験を廃止し、第1ステップを完了した。

引き続きアテンザ、デミオ、RX-8、およびアクセラの一部サブラインに水平展開し、生産工程のばらつきを抑えるための課題解決を行いながらたがね試験の廃止を進めている。

今後、第2ステップとしてメインラインへ適用を拡大していく。サブラインでは薄板が中心であったが、メインラインでは総板厚も厚くなっていくため、電極間抵抗の変化も変わってくる。そのために、電極間抵抗の変化とナゲットの形成過程について、厚板にも対応した判定パラメータの開発に取り組んでいる。

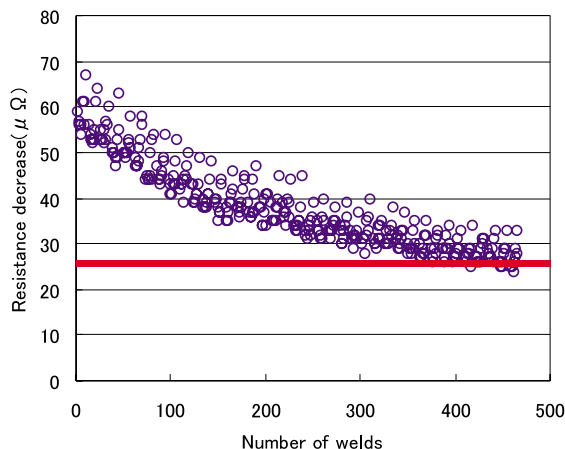


Fig.7 Resistance Decrease and Number of Spot Welds (Problem Arise)

6. おわりに

スポット溶接の品質保証方法の中で、これまでたがね試験にたよってきた部分を電極間抵抗により定量的に取り扱うことができるようになったことは、チェック作業の自動化だけでなく、溶接条件の適正化による品質の向上や予防保全に対しても有効である。また、溶接工程での全数チェックにより不良の発生を最小限に抑えることが可能となる。今後、モニタデータを量産ラインでの溶接現象の解析に用いることで、たがね試験の廃止と同時にスパッタレス活動に活用していく。

参考文献

- (1) 溶接学会抵抗溶接研究委員会：抵抗溶接現象とその応用(第1編),東京,生々文献サービス,p.96-100(1982)

著者



山北恭司



村重滋男

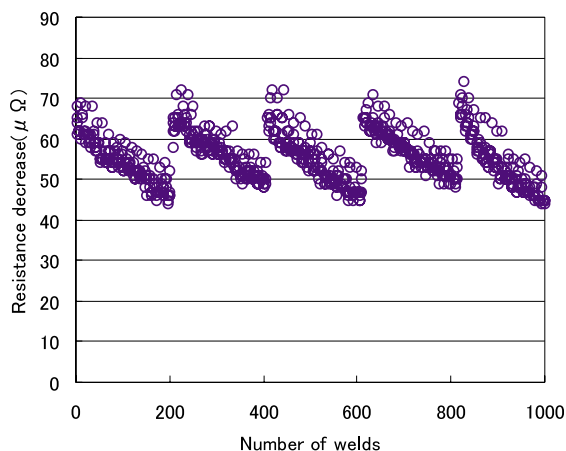


Fig.6 Resistance Decrease and Number of Spot Welds (Normal)