

抵抗溶接における接合強度管理システムの開発

山科 良宣 千木良 敏行
寺田 幸夫 加藤 雅浩

抵抗溶接は、金属部品の接合方法として幅広く普及している。これは、板厚3mm以下の領域において生産性の高い接合方法であり、自動車・電機・精密機械業界など幅広い業界で採用され、当社で生産しているATM（現金自動預け払い機）を代表とするメカトロニクス製品にも、多用されている工法である。

この抵抗溶接の接合強度検査は、破壊検査が一般的であり、部品そのもので検査できない欠点をもっている。一部では超音波を用いた非破壊検査装置（超音波探傷試験装置）があるものの量産工程での採用は現実的でない。

本稿では、材質・板厚の多様化、並びに多品種少量生産の環境に即した、抵抗溶接工程の全数検査方法について紹介する。

抵抗溶接の品質保証の難しさ

(1) 抵抗溶接とは

抵抗溶接とは、被溶接材料を電極で挟み込み、加圧しながら大電流を流し、被溶接材の間に発生する抵抗熱で溶融することにより接合する溶接方法である。

(2) 品質確認方法

従来の主な溶接強度確認方法は、形成されたナゲット径（図1）の確認や引張り強度測定など破壊試験する方法が一般的であり、部品を破壊しなければならないことが課題である。

本システムは、溶接時間の全域における電圧波形の変化をモニタリングし、基準の電圧波形と比較し、部品を破壊することなく全数検査できる。特に、抵抗溶接で特徴的な現象である分流など局所に現れる不具合の検出も成功した。

(3) 当社溶接部品の特長

当社で製造している製品は、ATM等の紙幣を扱うものが多数であり、この製品の特徴として紙幣媒体と接触する部分の溶接や外観に対する要求から、溶接後の

圧痕・コゲなどが許容されない。そのためには、狭い溶接条件の管理幅が要求される。

また、製品の高精度化・小型化により、溶接部品の縁距離と溶接打点間隔（図2）が小さくなる傾向で、溶接欠陥である分流現象・中散りが発生するため、この溶接欠陥を検出できる本システムの必要性が高まりつつある。

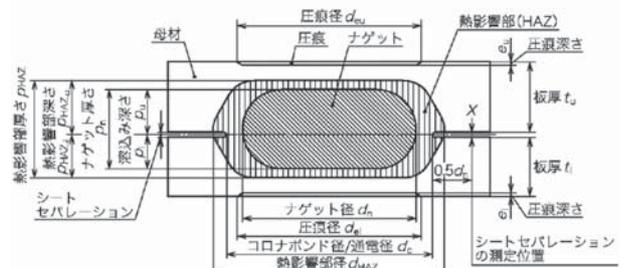


図1 ナゲット径¹⁾

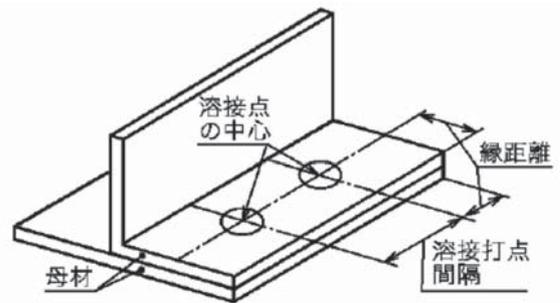


図2 縁距離と溶接打点間隔¹⁾

接合強度管理システム

(1) 溶接のパラメーター

抵抗溶接には様々な因子が影響を与えている。溶接強度確保に対するパラメーターを大きく大別すると、設備・電極・溶接条件・製品・人に分けられる。その内、主要となる溶接条件は、電流・時間・加圧力である。

(2) システムの概要

本システムの大きな役割は三つ挙げられる。

先ず一つ目には溶接条件をデータベース化し、利用する仕組みにより標準作業を促し事故を予防する。

二つ目は、先にあげたとおり電圧波形の全域モニタリングを、ショット毎に自動で良否を判定する。

三つ目は、加工履歴を自動で残すことにより、加工実績のトレーサビリティを確実に記録・保存する。

(3) システムの詳細

上記で挙げたパラメーター毎に、本システムで開発した機能を紹介する。

●設備

本溶接機は、溶接過程全域において、設定した電流値を維持する、定電流式の溶接機である。

定電流制御機能を用い、要因となる電流・電圧・加圧の内、電流に関するモニタリング判定を割愛し応答性を高めている。自動判定方法は、モニタリングした電圧波形を、正常だった電圧波形と比較し、予め設定してある、上下の閾値に対し溶接全時間帯において、0.5サイクル(0.01秒)の分解能で自動判定する(図3)。

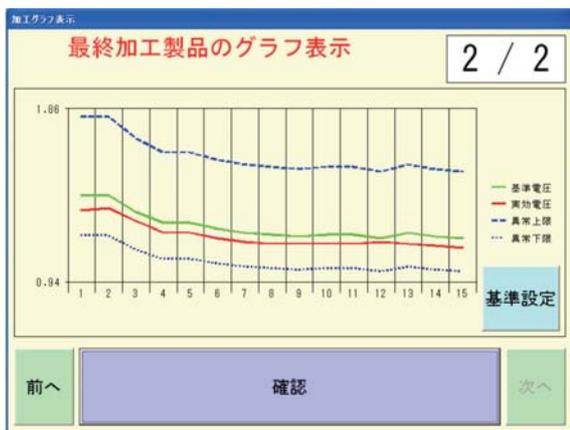


図3 電圧波形

その後、溶接判定NGを下した場合など、品質に関わる状態の時には、システム側で溶接設備を稼働できないようにインターロックを掛ける仕組みとなっている。

その他の機能として、溶接数(ロット×溶接箇所数)を管理し、溶接箇所数の間違い防止に役立っている。また、確実に設備の維持管理するため、当日のシステム立上げ時に、日常点検チェックが起動し、従来用紙のチェック

シート管理だった物をシステム上で点検し、自動で履歴を残す機能も有している。

●電極管理

電極は、ナゲット径を確保するため、板厚などから決められた電極が、基本条件指示されるようになっており、リピート品に対しても、前回使用した同じ電極を選べるよう、電極名称の工夫と識別管理を行っている。

また電極ドレッシング指示回数は、例えばめっき鋼板材だと30ショット毎をデフォルトとし、部品毎にドレッシング指示回数の設定が可能で、到達回数毎にドレッシング指示画面が表示され、作業を行わないと溶接できないような仕組みとなっている。

●溶接条件

段取り換え時に、現品票に記録されたバーコードを読み取ることにより、既存部品は指定された電極のセット指示、確定済みの溶接データの転送、溶接位置・数量・注意点などのガイダンスを行う。

新規部品については、各々の材質・板厚を選択することにより、蓄積された溶接条件(電流・時間・加圧力・電極径など)をデフォルトとして溶接条件設定作業を開始できる(図4)。

Figure 4 is a screenshot of the "溶接条件一覧選択(板一板)" (Welding Condition Selection) screen. The screen is titled "溶接条件一覧選択(板一板)" and has a sub-header "溶接種類" (Welding Type) with options for "板一板" (Selected), "板一換" (Change), and "換一換" (Change). The "溶接種類" is set to "スポット" (Spot). The "電極" (Electrode) is set to "ストレート" (Straight). There are two welding boards defined: "溶接板1" (Welding Board 1) and "溶接板2" (Welding Board 2), both set to "打出し" (Out). For each board, the material is "SPCC-SD", the thickness is "1.00", the surface treatment is "03L", and the electrode diameter is "10". On the right side, there are parameters for "初期加圧時間" (Initial Press Time) set to 20, "通電時間1" (Power On Time 1) set to 10, "溶接電流1" (Welding Current 1) set to 5, "冷却時間1" (Cooling Time 1) set to 0, "通電時間2" (Power On Time 2) set to 0, "溶接電流2" (Welding Current 2) set to 2, "冷却時間2" (Cooling Time 2) set to 0, "保持時間" (Hold Time) set to 10, and "加圧力" (Press Force) set to 60. At the bottom, there are fields for "参照品番" (Reference Part No.) set to "FP4232-2056G1", "参照版数" (Reference Version) set to 4, "測定方法" (Measurement Method) set to "板厚検査" (Thickness Inspection), and "測定値" (Measurement Value) set to "5091N". There are buttons for "検索" (Search), "決定" (Decide), and "中断" (Interrupt).

図4 新規溶接条件設定

●製品

材質・板厚の多様化に伴い、溶接加工時の材質・板厚違いによる、電圧波形の変化を検出する。

また、溶接部近傍に発生した過大な力カエリは、溶接

電流の分流を引き起こし、散りの発生、及び分流分のエネルギーを消費してしまうので、溶接強度が落ちる原因となる。

このような現象をモニタリングで検出し、未然に防止する機能がある(図5)。



図5 分流時の電圧波形

●人

本システムの起動時には、作業員毎にログインする必要があり、この情報から作業員毎の加工履歴を残している。また、作業員認定制度で取得したレベルにより、溶接条件の変更などの作業権限を付与する仕組みとなっている(表1)。

表1 作業員レベルと作業権限

作業内容	作業員レベル		
	A	B	C
新規基本溶接条件設定と加工	○	×	×
基本溶接条件を使用した、新規部品の溶接条件作成と加工	○	○	×
既存溶接条件を使用した加工	○	○	○
電圧波形異常発生時の処置	○	○	×

(4) 溶接検査の良否判定基準

溶接検査は、全数の電圧波形検査と、電圧波形異常時の外観検査で実施する。

●電圧波形検査

電圧波形が閾値内に入っていれば、自動で良品と判定する。

電圧波形が閾値上方向に外れる現象は、溶接機が定電流を保とうとするため、電圧を通常よりも多く掛けている状態で、正常な状態よりも電気抵抗が大きい場合に発生する。考えられる要因は、

- ・段取り換えした電極が規定より長かったことによる、固有抵抗の増加
 - ・電極と電極ホルダ間の汚れによる、接触抵抗の増加
 - ・部品カエリなどによる散り発生
 - ・電極ドレッシング不足による汚れ
 - ・溶接機加圧不足(エア圧低下など)による、接触抵抗の増加
- などが挙げられる。

一方、下方向に外れる現象は、通常よりも電圧を掛けなくても、設定電流を保てる状態にあり、正常な状態よりも電気抵抗が小さい場合に発生する。

考えられる要因は、

- ・段取り換えした電極が規定より短かったことによる、固有抵抗の低下
 - ・被溶接部品間で、通電ルートが溶接部位を迂回してしまったことによる、電気抵抗の低下
 - ・溶接機加圧過多(上部プラテンの急激な落下など)による、接触抵抗の低下
- などが挙げられる。

●外観検査

本システムは、溶接不具合を検出できるが、わずかな確率で良品を不具合とみなす虚報事象も発生する。確実に不具合品を検出するためには不可避な事象である。

電圧波形の異常が発生した場合、溶接の不具合が虚報事象かを判定する必要がある。この判定手段として、従来の溶接確認方法である散り発生や、溶接やけ状態、隙間などの外観検査と、ハンマリング試験、引張り強度試験などを検査する。

この検査結果を本システムに入力できるようにして、その場面に応じた判定作業が行えるようになっている。

また、感覚的な作業をより確実な物とするため、超音波探傷試験装置も導入し、超音波探傷試験装置で測定したナゲット径を本システムに入力することにより、自動で溶接強度を判定する機能を組み込み済みである(図6)。

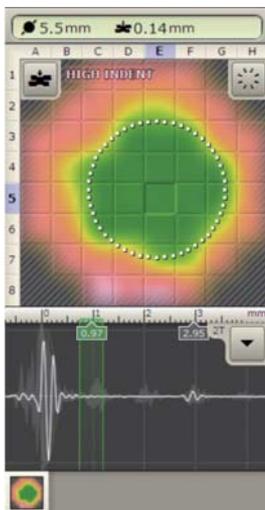


図6 超音波探傷試験装置測定イメージ²⁾

(5) 履歴管理

溶接履歴情報は、加工日時、オーダー番号、品番、数量、作業者、溶接条件、電圧波形、基準電圧波形、判定結果、NG解除作業内容などを溶接箇所毎に自動で記録している。収集した溶接履歴情報は5年間保存しておき、全溶接実績のトレーサビリティを確実にできるようにした。

今後の展開

今回は、ATMに代表されるメカトロニクス製品の、材質・板厚の多様化、並びに多品種少量生産の環境に即した、抵抗溶接工程の全数検査方法を確立し、量産時の部品破壊検査を無くし高い品質を維持することができた。ただし、僅かであるが波形判定における虚報事象が発生している。この解決のため、蓄積された履歴情報を分析・体系化することにより、虚報事象の解析を行い、波形判定精度向上に繋げていきたい。

世の中になく品質保証方法や生産方法を自社技術で確立し、世界一のメカトロニクス工場^{*1)}を目指していきたい。

参考文献

- 1) JIS Z3001-6 溶接用語—第6部：抵抗溶接
- 2) RSWAパンフレット(PDF：771.5kB) - ナ・デックス
https://www.nadex.co.jp/showroom/file/20090818162620_1.pdf (2015年2月24日)

*1) メカトロニクス工場はOKIでの呼称で、メカトロニクス製品の製造工場を示す。

●筆者紹介

山科良宣：Yoshinobu Yamashina. システム機器事業本部 メカトロシステム工場 製造部

千木良敏行：Toshiyuki Chigira. システム機器事業本部 メカトロシステム工場 製造部

寺田幸夫：Yukio Terada. システム機器事業本部 メカトロシステム工場 製造部

加藤雅浩：Masahiro Katou. システム機器事業本部 メカトロシステム工場 製造部

TIP 【基本用語解説】

ナゲット径

文中図1に示す、溶融結合された部分の直径。

縁距離

被溶接材の端面から溶接箇所までの距離。

溶接打点間隔

隣り合う溶接打点との間隔。

分流

本来溶接を行うべき溶接電極で挟まれた場所以外のルートで、電流が分岐してしまうこと。

散り

溶接の瞬間、溶けた溶融物が飛散する現象。

中散りは被溶融物の間から飛散する現象で、表面散りは電極と被溶融物の間から飛散する現象。

ドレッシング

溶接回数が重なると、電極の変形・汚れが発生するがこれを対象物に応じて適時、電極を修正する作業。

カエリ

金属板などの素材を、金型により部品形状に抜き加工などを行った際に発生する突起物。

上部プラテン

溶接機の上側電極把持部。

ハンマリング試験

溶接などで結合された部品を、ハンマーで叩き、その音や感触により、結合度合いを検査する試験方法。