

第8章 より良い溶接部をつくるためには

8-1 スポット溶接で品質管理すべき項目とその方法とは？

スポット溶接で品質管理する目的は、一般的には基準値以上のナゲット径を確保することである。このための管理項目として重要なのは、溶接電流、電極加圧力、通電時間、電極先端径、水冷などであることは、これまでも説明した。ここでは、それぞれについてどのように管理すべきかを説明する。なお、実ラインでの品質管理上特に重要なのは、溶接電流と電極先端径の2つである。

1. 溶接電流の管理

(1) 溶接電流上下限值の設定

溶接電流は何Aから何Aの間でなければならないとの管理基準を作る。このための基準条件設定は、ウェルドロップ（5-3参照）から求めること。

(2) インターロックの取付け

同時に2台以上の溶接機を通電すると、工場の電源電圧（一般には400Vか200V）が落ちてしまい、下限値の溶接電流を保証できる電圧が出なくなることがある。そこで通電が重ならないよう、早く通電信号が入った方の溶接が終了するまで、別の溶接機は通電できないようにし、終了信号で初めて順番に通電するようにコントロールできるインターロック装置を取付ける。

(3) 定電流コントローラの使用

いつでも設定された溶接電流が流れるよう保障する機能がついたタイマを使用する。（詳細は8-2参照）

(4) ステップ・アップ機能のついたコントローラの使用

電極先端径の拡大につれて、溶接電流をしだいに上昇させていく機能のついたタイマを使用する。（詳細は5-13参照）

2. 電極加圧力の管理

(1) プレッシャ・モニタの取付け

工場コンプレッサからの圧力が低下した場合、ある圧力以下になると注意信号を出すモニタを取付ける。

(2) 定期的な電極加圧力のヒステリシス測定の実施

機械が古くなりシリンダ部の摩擦が大きくなると、電極の上下運動の即応性が低下するとともに、電極加圧力が高くなるのと同様結果となり、溶接不良につながる。(9-4 参照)

3. 通電時間の管理

タイマの通電時間のエラーを、溶接電流計などにより定期的に検査する。さらに、ある基準値範囲以外のものが出たら、信号を出すようにする。

4. 電極形状

(1) 電極ドレッシングおよび交換時期

電極ドレッシング、あるいは電極チップ交換の時期の目安を、溶接作業内容によりあらかじめ決めておき、安全側の時期に実施する。

(2) 電極チップ・ドレッシングの方法

いつでも同じ電極先端径となるよう電極チップ・ドレッシングの方法を決めておく。(10-3 参照)

5. 水冷の管理

電極の冷却は、電極寿命に大きな影響を及ぼす。冷却水の温度は 10~30℃に保ち、流量は電極チップ 1 本当たり 2~3 ㍓/min となるよう管理すること。なお電極内部の水冷管ギャップは、5~10 mm となっているかどうか注意すること。

8-2 定電流，電源電圧補償，定電力制御の目的と効果とは？

スポット溶接およびプロジェクション溶接の溶接条件の中で，溶接電流の変動は，溶接強度に大きく影響する要因の一つである。この溶接電流を安定させて溶接部強度を安定させようとする制御方式に定電流制御方式，電源電圧補償制御方式，定電力制御方式の3つがある。なお，溶接電流を変動させる要因としては次の3つがある。

- (1) 工場内の電源電圧変動
- (2) 抵抗負荷の変動（溶接部の発熱による抵抗負荷変動，被溶接物による抵抗負荷変動など）
- (3) リアクタンスの変動（溶接機の内ふところ内に，いろいろな大きさの磁性体被溶接物が，はいた場合のリアクタンス変動）

1. 定電流制御方式

一次側または二次側の電流値を半サイクルごとに計測し，設定値と比較し，電流値を増減し，設定された溶接電流を流すよう制御する方式である。この方式によると，1)工場電源の電圧変動があろうと，(2)，(3)により二次側負荷の状態が変わっても，溶接変圧器に余裕があれば，ほぼ同じ電流に制御できる。この方式が現在最も一般的に使われている方式であるが，使用対象によっては問題がある。その二，三の例を次に示す。被溶接物の抵抗変化の大きな制振鋼板のスポット溶接の場合，通電初期に爆飛を発生することがある。スポット溶接の打点数の増大とともに電極先端径が拡大してきても，常に一定電流が流れるため，電流密度の低下が起こり，不良な溶接部の形成につながる場合が起こる。プロジェクション溶接の場合，次第に突起が潰れて接触面積が拡大し抵抗が減少しているのに，一定電流のままでは入熱が下がってしまい不良溶接につながる。

2. 電源電圧補償制御方式

この方式は，電源電圧が低下した場合それに応じて溶接電流を増やしてやろうというものである。この方式は(1)の溶接電源電圧の変動に対してのみ補償制御する。

3. 定電力制御方式

電極チップ間の電圧と溶接電流を検出し、両者を掛け合わせた値、すなわち電力が一定になるよう、溶接電流を変化させるものである。スポット溶接で打点数とともに電極先端径が拡大すると、チップ間電圧が下がってくるので、溶接電流が電極チップの損耗につれて増大して来るといふ、一応の適応制御となっている。

また、この方式によると、散り発生を、定電流制御方式に比べ少なくすることができるといふメリットがある。

しかし、電源電圧補償制御方式や定電力制御方式では、定電流制御方式のように溶接電流値を直接設定できないため、使い勝手が面倒であり一般的には、あまり使用されていない。

8-3 品質管理のために必要な計測器とは？

溶接条件の重要な管理項目として、「溶接電流」「電極加圧力」「通電時間」をいつでも監視できるように、これらを計測する機器は常時使用できるようにしなければならない。

溶接電流，通電時間 → 溶接電流計
加圧力 → 加圧力計

溶接電流計は，作業開始時には必ず使用して，設定された溶接電流，通電時間を確認すべきである。電極加圧力は，その溶接機の購入時に電極加圧力のヒステリシス測定を実施し，できれば半年毎に測定することが望ましい。

その他，用意するのが望ましい測定器と使用目的

- (1) テスタ : 電源電圧測定，二次電圧測定など
- (2) シンクロスコープ : 制御装置などの各種電流，電圧測定
- (3) メガー : 絶縁抵抗測定
- (4) 記録計 : メモリ機能付記録計など
- (5) 接触抵抗計 : 直流溶接機などの二次導体接触部の接触抵抗測定
- (6) ダイヤルゲージ : 電極のすべり，腕のたわみ測定など
- (7) 水温計 : 冷却水の温度測定
- (8) 水量計 : 冷却水の水量測定
- (9) 加速度計 : 上部電極の被溶接物への衝突速度の測定

8-4 品質管理用モニタとは？

通電はしたけれど、本当についているのか、ナゲットはできているか、と溶接の良否に不安が残る。そこで、どんなに電極がへたっていようが、電源電圧が下がろうが、どんな外乱があろうが、いつでも一定のナゲットを保障してくれるような制御装置がないだろうか。この実現を目的とするのが品質管理用モニタであるが、確実に安価なものはまだ発展途上にあるといっていよう。

品質モニタリングのための方法は、歴史的にみれば次の順序で発達してきている。

- (1) 経験情報を利用する方法
- (2) 実験式を利用する方法
- (3) 理論解析モデルを利用する方法

(1)の経験情報を利用する方法は、作業者の経験によるカンに頼る方法である。散りの発生具合、焼けあとの色、圧こんの形などによる判断である。しかし、この方法では、長年の経験と洞察力を必要とするため、誰にでもできるというものではない。このほかに、溶接部断面からのナゲット寸法、強度その他の情報による判断もある。

(2)実験式を用いる方法では、ナゲット形成に関連する各種のパラメータと、ナゲット寸法などの関係についての予備実験を行うことによって、モニタリング・パラメータと溶接結果の関係を表わす実験式、または対応式を予め作成しておき、これらを用いることによって、溶接部の品質を推定する方法、あるいは適当な制御を行う方法である。実験式を基本として採用している関係上、予め実験した範囲内にしか適用できず、対象が変われば新たな実験が必要となる。

この方法を用いるスポット溶接用品質モニタリングとして、現在までに開発されているのは、電極移動量を計測する方法（エキスパンション・モニタ）、電極チップ間電圧のピーク値による方法、電極チップ間電圧の積分値を求める方法、電極チップ間抵抗のピーク値やピーク値からの低下率を求める方法、アコースティック・エミッションを利用する方法などがある。しかし、これらの方法は、めつ

きの有無や材質が違うと使えなかったり、またバラツキが大きく、推定精度が悪いため、一般的に広く実用されているとは言えない。

(3)上記2つのモニタリングの問題点を解決する一つの方法として、近年数値計算シュミレータを組み込み、仮想溶接機を利用して温度上昇を計算し、溶接部の状態を推定する方法が考えだされた。コンピュータの演算処理時間や価格の問題があったが、最近実用に供されるようになってきている。

安価な装置で溶接品質を推定するため、最近はニューラル・ネットワークの手法を用いた研究がなされているほか、散りの発生状況を計測しながら溶接電流を増減させ、電極の損耗に応じて電流を散り限界電流に平均的に沿わせて上昇させるコントローラが実用化されており、このような新しいモニタリング・システムを具備したコントローラの出現が期待できるようになってきている。

8-5 電極加圧力をうまくコントロールする方法は？

1. 溶接中の可変加圧

通電最中に電極加圧力をコントロールすることにより、溶接品質を向上させようという試みは、かなり以前よりなされている。

これは、特に航空機用アルミニウム合金のスポット溶接において、ナゲット内のブローホールや割れを防止する方法として用いられてきた。これをプログラム加圧制御と称している。溶接開始時、高加圧にして、被溶接物のなじみを良くし、次に低加圧にして溶接電流を流し、ナゲットが形成された所で高加圧にし、ナゲット冷却時の割れやブローホールの発生を防止しようというものである。アルミニウム合金の場合、冷却速度が速いため、低加圧から高加圧への変化は急速にする必要があり、例えば溶接機の最大加圧力が10kNの場合、鍛圧の立ち上がりが10ms以内とMIL SPEC(米軍規格)では規定している。普通加圧力を変化させる場合、シリンダにエアを入れるよりも、抜く方が速いので、急速排気弁を使用することにより、このスピードは可能である。しかし、このような可変加圧方式は、まだ一般的には使用されていない。

2. 電空比例弁

最近では、被溶接物が変わるごとに、減圧弁を手動で回して電極加圧力設定する煩わしさを解消するために、電気信号で加圧力をセットできる電空比例弁が使用され、電極加圧力の可変が容易になった。

第9章 溶接諸条件の計測

9-1 溶接電流計の原理と使い方は？

抵抗溶接における溶接電流の測定は、溶接条件の設定、溶接の品質管理などに重要な役割を果たしている。溶接電流は短時間、高電流であるため、普通の市販電流計では測定できない。そこで、溶接機用溶接電流計（瞬間電流計と称しているメーカーもある）が必要となる。

電流の測定にはトロイダル・コイル、分流器、変流器などを使用する方法があるが、トロイダル・コイル(正式にはロゴスキー・コイルと呼ばれる)は、取り扱いが簡単であるため、現在では溶接電流計はほとんどこの方式を採用している。

計測は、溶接機の二次回路にトロイダル・コイルを巻きつけ、このコイルで検出した磁束線の時間変化率を積分して、電流値を求めるという方法で行っている。

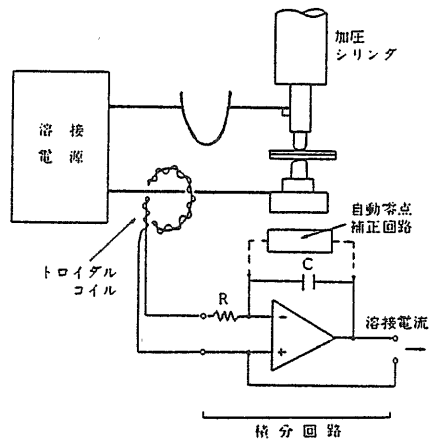


図 9.1 溶接電流計の回路構成

溶接電流計は、任意時間の溶接電流の実効値と、任意時間内での溶接電流最大値（ピーク値という）、通電時間を計測できるのが一般的である。（実効値、ピーク値については9-2参照）

溶接機の電源方式の種類により溶接電流計を使い分ける必要がある。溶接電流計によっては、測定可能なものと、不可能なものがあるので注意を要する。

溶接電流計には次の種類があるが、併用して測定できるものもある。

- (1) 単相交流式，単相整流式，三相整流式，三相低周波式，インバータ式の
スポット溶接機用溶接電流計
- (2) コンデンサ溶接機用溶接電流計
- (3) シーム溶接機用溶接電流計

なお，溶接電流計の使い方に対して次の注意が必要である。

溶接タイマによっては，初期1サイクルだけ力率測定用の小さな計測電流を流すタイプのものもある。このタイプの溶接電流実効値の計測は，この電流をはずして実施すべきで，計測としては一般に通電3サイクル目から，通電時間の終了時までの実効値を求めるようにしている。

9-2 溶接電流のピーク値と実効値の違いは？

抵抗溶接は被溶接板に電流を流し、接触抵抗や被溶接板の固有抵抗により発熱させ、重ね接合するものである。直流の溶接電流と交流の溶接電流とでは、電流波形の違いにより、ジュール発熱の度合いが異なる。

t 秒間抵抗 R に流れる直流電流 I の発熱量は $I^2 R t$ であり、電流の 2 乗に比例する熱が生じる。(R は一定とする)

では時間ごとに変化する交流電流の場合の発熱量は、どのようになるだろうか。ここで $i = I_m \sin \theta$ (A) で表わせる交流電流を R (Ω) に流したとすると (I_m は交流電流の波高値といい、ピーク値ともいう)、交流電流 1 サイクルの発熱量は、($i^2 \Delta \theta$ を 0 から 2π まで積分した値を、1 サイクルすなわち 2π で割って平均化した値) $\times R$ となる。この括弧内は 1 サイクル内での i^2 の平均値である。

$$\begin{aligned}
 & i^2 \text{ の 1 サイクル内での平均値} \\
 &= 1/2\pi \int_0^{2\pi} i^2 d\theta \\
 &= 1/2\pi \int_0^{2\pi} (I_m \sin \theta)^2 d\theta \\
 &= I_m^2 / 2 \\
 &= \text{直流電流と熱的に等価な電流 } i^2 \\
 &\text{よって、} I^2 = I_m^2 / 2 \text{ から} \\
 & \quad I = I_m / \sqrt{2}
 \end{aligned}$$

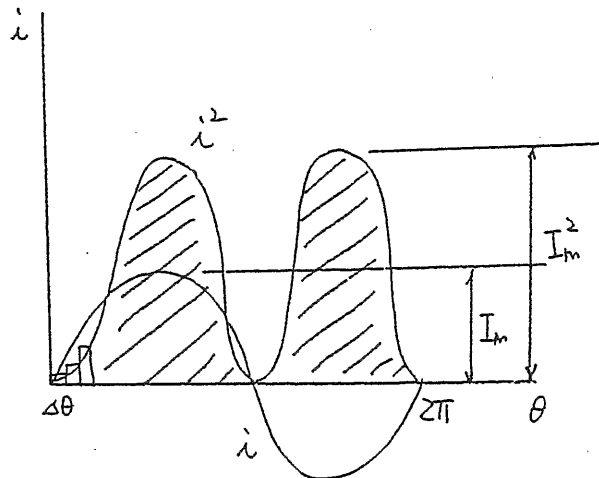


図 9.2 実効値の計算法を示す図

この I (ピーク値 I_m の $1/\sqrt{2}$ 倍の値) を交流電流の実効値というが、熱効果の等しい直流電流に換算した値のことである。

よって、実際に発熱に寄与する電流値は、溶接電流値で測定した実効値ということになる。

上記はフル・ウェイブの場合の計算であるが、実際にはヒート・コントロール (4-15 参照) している場合がほとんどである。溶接電流計は、ヒート・コントロールした場合でも実効値を表示するようになっている。

9-3 電極加圧力計の種類と使い方は？

抵抗溶接において品質保証のためには、電極加圧力は重要な因子である。したがって溶接機の加圧力のヒステリシス特性は重要であり、定期的に測定することが望まれる。

電極加圧力計には、次の3種類がある。

- (1) 音叉式加圧力計
- (2) 油圧式加圧力計
- (3) ロードセル式加圧力計

現在は、油圧式加圧力計が一般的に多く使用されているが、ロードセル式であれば、加圧の動特性をも測定することができる。

1. 音叉式加圧力計

音叉のようにU字形をした金属のたわみを測定して、加圧力に換算する。しかし、次のような欠点があり、最近はあまり使用されていない。

- (1) これは構造上、加圧力を検地する部分を薄くできないので、加圧力を測定する時、加圧力計がはいるように電極間の間隔を機械的に広げる必要がある。
- (2) 測定する位置が異なると、正確な値が得られないので、測定用の球が必要になる。加圧時、球が飛び出す危険性がある。

2. 油圧式加圧力計

油圧シリンダに加圧力を加え、ブルドン管により加圧力を測定する。値段も安く、現在多く使用されている。

この加圧力計の欠点は衝撃に弱いことで、使用する場合、電極の下降スピードを絞って衝撃を与えないようにして加圧する必要がある。

3. ロードセル式加圧力計

金属の歪みを測定するストレイン・ゲージを使用したロード・セル式加圧力計は、精度が高く、また信号をメモリに取り込めるため、加圧力の動特性をも採ることができる。

これらの電極加圧力計は、測定中、溶接電流を流さないように注意する必要がある。精密な測定器であるため、計測値に影響する。

9-4 溶接機の電極加圧力ヒステリシス測定とは？

例えばスポット溶接の場合、通電するにつれて溶接部は熱膨張する。熱膨張に応じて、上部可動電極側が、その分上昇すればよいが、シリンダ内の摩擦が大きい場合上昇できず、実加圧力が増加してしまう。加圧力の増加は、通電面積の増大に繋がるため、溶接電流密度が低下し、不良な溶接部が形成されることになる。このように機械特性は、溶接品質に重要な因子であるので、ヒステリシス・カーブを測定し、ここより可動電極部の質量とシリンダの摩擦力の値を推定する方法を紹介する。

測定方法

- (1) 上部可動側電極を上昇させておき、上下電極間に加圧力計を挿入する。
- (2) 加圧側の圧力を減圧弁によりゼロセットする。加圧バルブをメカ的にオンしつづけ、上部電極をゆっくり自重下降させる。

- (3) 自重下降した状態を $0\text{kPa}\{0\text{kgf/cm}^2\}$ とし、以後空気圧を $49\text{kPa}\{0.5\text{kgf/cm}^2\}$ ずつあげて行き、各設定加圧力時の実加圧力を測定する。さらに、この加圧力が $490\text{kPa}\{5.0\text{kgf/cm}^2\}$ に達した後、今度は $49\text{kPa}\{0.5\text{kgf/cm}^2\}$ ずつ下げながら電極の実加圧力を測定する。そして図 9.3 のような電極加圧力のヒステリシス曲線を作成する。

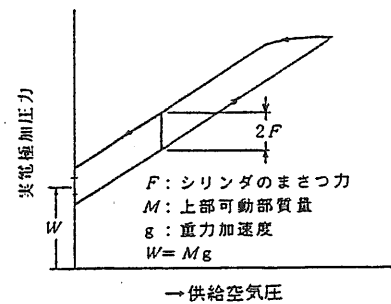


図 9.3 ヒステリシス曲線

可動部の質量 M と、摩擦力 F とを図から求める。一般的にヒステリシス曲線は図 9.4 のように高加圧の方で、電極のたわみにより摩擦が大きくなるのが普通である。

溶接機が古くなり、かつ整備不良の場合は図 9.5 のようになることもある。

ピストン・シリンダでなく、ダイヤフラム・シリンダのように摩擦が少ない場合、図 9.6 のようになる。

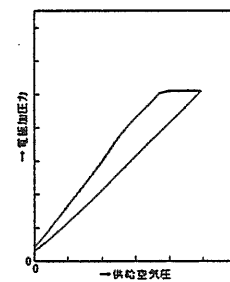


図 9.4

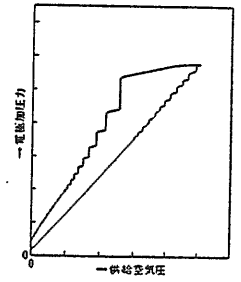


図 9.5

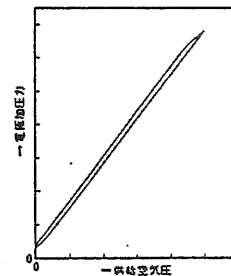


図 9.6

図 9.4~9.6 各種ヒステリシス曲線例

9-5 溶接中の電極間電圧、電極運動、電極加圧力計測の留意点は？

溶接中の電極間電圧、電極運動、電極加圧力変化を計測することは、ナゲットの生成の様子や散り発生の様子など様々な情報を与えてくれる。ところが、溶接電流値が大きいため、磁界の影響を受けて正しい計測をすることは難しい。そこで、計測のための注意点を述べる。

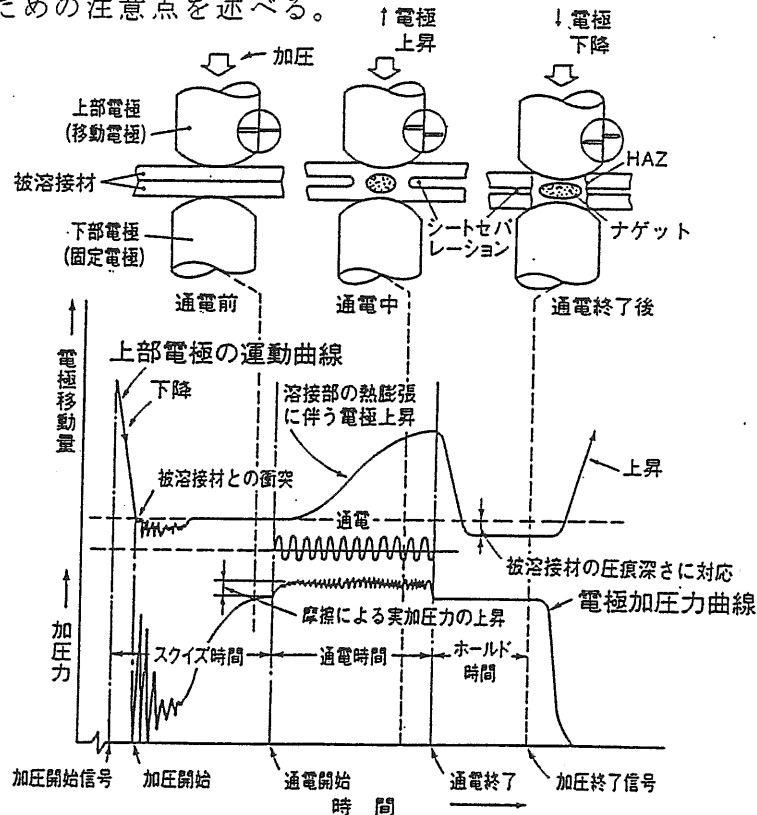


図 9.7 溶接中の電極加圧力と電極の移動特性

1. 電極間電圧の計測

抵抗溶接用電極や電極ホルダには、銅合金が採用されているので、ここでの電圧降下量は、ほとんど無視できると思われるかもしれない。しかし、溶接電流が数 10 k A という大電流のため、銅合金といえども接触部での電圧降下は無視できない値となる。

このため、溶接現象観察などのために、チップ間電圧をできるだけ正確に計測したい場合には、電極ホルダと電極チップ部との接触抵抗などによる電圧降下のかさあげ分を除くため、電極チップに電圧検出線を取付けるのが望ましい。この場合でも、電圧検出線には溶接電流自身によって作られる磁束が鎖交し、この磁束による誘導電圧分だけずれ、チップ間電圧は正しい波形とは多少異なった形となる。そこでインダクタンスの影響をできるだけ抑えるため、実験室

的には、電極チップ先端に電圧検出線を取付け、しかも2本のリード線の空間が小さくなるようリード線長さを設定し、引き出し線はシールドしたツイスト・ケーブルを採用している。

しかし、生産現場では上記の実験室内のように、インダクタンスの影響をできるだけ抑えて測定するという方法とはとれない。その場合、溶接機2次回路の適当な所にキャンセル・コイルを取付け、誘導電圧分を取り除く方策が必要となる。

2. 電極運動の計測

通電中の被溶接板の熱膨張に伴う電極運動量は、板厚の10%程度で、現在自動車産業でよく利用されている0.8mm程度の板厚材に対しては、0.1mm程度の値にしかならない。このため、かなり精度のよい変位検出器が必要となる。

現在では、差動変圧器を用いる方法が主となっている。差動変圧器の変位測定器出力の直線性は $\pm 0.5 \sim \pm 1.0\%$ 程度であるが、数 $10 \mu\text{m}$ 程度という小さなストロークをもつ装置も製作可能なため、必要精度は十分確保できる。抵抗溶接に利用する場合の問題点は、この方式が電磁誘導を利用しており、溶接電流による磁界の影響を受けやすいということである。差動変圧器を利用して電極移動量を測定する場合には、取付け位置に十分な配慮が必要になる。価格は高くなるが、この他にコンデンサ容量によるものや、レーザ光線による変位検出器も利用されている。これらの検出器には電磁誘導の影響はない。

3. 溶接中の電極加圧力の計測

電極加圧力の計測はストレンゲージを電極に貼れば可能である。しかし通電中ノイズが乗り、計測不能となる。そこで、溶接中の電極加圧力の計測には、シリンダのロッドとシャフト間にロード・セルをビルトイン（溶接用電極からは、十分は離れていて誘導の影響の少ない所）させることにより、計測可能となる。なお、通電により発生する逆ノイズを付加して計測しようとする装置も開発されている。