CO₂ アーク溶接におけるコンタクトチップでの 通電現象の研究*

山田 忠昭**, 平社敬一郎**, 藤崎 洋**, 金子 保**

The Study of Passing Current in Contact-tip on CO₂ Arc Welding*

by Todaaki Yamada**, Keiichiro Hirakoso**, Hiroshi Fujisaki** and Tamotsu Kaneko**

Since a phenomena in wire feeding, when the arc current passed through a semi-automatic wire feed system had been previously reported, in this report, the several experiments in connection with electric phenomena in the contact-tip had been conducted. The results were as follows. The contact point exists at the top of the contact-tip. The contact voltage drop between the wire and contact-tip is about 1 volt. Usually, the wire touches the contact-tip and the current doesn't create sparks. But, it is fact that sometimes the wire doesn't touch the inner surface of the contact-tip in limited conditions. On the wire surface, various patterns can be observed, for example, rough surface, melting spot etc. It was assumed that these surface patterns are made by electric joule heat passing from wire to contact-tip.

1. 緒 論

自動・半自動アーク溶接において、コンタクトチップ(以下、チップと呼ぶ)が、電源より送られている溶接電流をワイヤに流すために用いられている。チップに関する研究は、以前より行われている。一例をあげると奥ら¹⁾は炭酸ガスアーク溶接法において、アークの安定性とワイヤの消費量やチップを出たワイヤの曲率との関係を調べるため、チップ内の給電状態を溶接電流の測定より調べた。又、白水ら²⁾は分割したチップを用いて、分断部位と溶込み深さ及び給電加圧力と溶込み深さについて実験を行いチップ先端部の効果の大きいことを示し、更に、安定なアークを得るためには、給電加圧力を 190 gr 以上にする必要があると報告している。

一方、著者ら^{3,4)}はワイヤの送給速度の研究から、送給速度変動を起こす原因が、チップとワイヤ間にある可能性のあることを述べてきた。このように、チップにおける通電現象の研究は、アークの安定性、送給速度変動等のアーク現象を理解するために重要であると考えられるため、本研究では、CO₂ アーク溶接を用い、チップにおける通電点の測定、ワイヤとチップ間の接触電圧の測定、チップとワイヤ間の電気的接触状況、チップ内面やワイヤ表面の観察を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置の製作

2.1.1 分割チップによる通電点測定装置

チップ内における通電点を調べるため、Fig. 1 に示すような分割チップを用いた通電点測定装置を製作した。この装置は長手方向に分割した通電片と各通電片に流れる電流を計測できる回路より構成されている。分割チップは Fig. 2 に示すように 2mm 厚の Cu 板と 1mm 厚のベークライトをサンドイッチ状に重ね、電源に接続した。又、ワイヤを分割チップ内に通して、各通電片とワイヤが導通することをテスターで確認した。溶接電流の検出部には、ホール素子を用いた。ホール素子より出力された信号は入力マルチプレックス回路を増設した波形解析装置に入力され、溶接時に分割チップのどの通電片

Fig. 1 Schematic view of measuring contact point

*原稿受付 昭和58年8月30日(昭和57年度春季全国大会にて発表)

**正員 (株)神戸製鋼所 Member, Kobe Steel, Ltd.

Fig. 7 Schematic figure of measuring contact ratio

Fig. 8 View of divided tip

し、本来ならば、無信号になるべき結線にしておいて、ノイズを調べた。検討の結果、アースの取り方でノイズは変わった。すなわち、波形解析装置はコンピュータにつながっており、AC 100/200 volt ラインとのインピーダンスが低く、別アースを考えるよりも、波形解析装置の箱体を基準アースと考えて、それと B 点とを低インピーダンスで接続し、無用の電位を生じないようにした。また、該アース回路測定線路に接続電流回路起因の磁束を鎖交させない注意もした。

2.1.3 離線率の測定装置

ワイヤとチップが電氣的に絶縁状態になる割合（離線率と呼ぶ）を測定する装置を Fig. 7 に示す。この装置においては、トーチにパワーケーブルを接続していないため、アーク通電がなく、インテングによって、ワイヤ送給を行うと、ワイヤがチップから電氣的に離れた割合がわかる。本実験において、チップは i) 市販チップそのものと市販チップの穴径のみを 1.6 ϕ , 1.8 ϕ に加工したものと ii) チップ先端のみで接触するようにしたものをを用いた。

2.2 実験内容

本研究においては、チップとワイヤ間におこる現象を

Table 1 Factor array number and level

factor array level	Inner diameter of tip (mm)	Wire	Cost (mm)	Wire feeding rate (m/min)
	1	2	4	8
1	1.4	A	450	2.7
2	1.8	B	3,000	5.0

調べるため、以下のような実験を行った。

i) 分割チップによる通電点の観察

分割チップの各通電片のどの位置からどの程度の溶接電流が流れるか調べた。

ii) チップ及びワイヤ間の接触電圧降下の測定

チップとワイヤ間の接触電圧降下及び溶接電流を測定した。

iii) チップ及びワイヤ間の離線について

チップとワイヤ間に電氣的にどの程度の離線が生じるか調べた。

iv) チップ内面及びワイヤ表面の観察

Fig. 8 に示すような横方向に 2 分割してあるチップを用いて、溶接後、チップ内面を EPMA で観察した。

又、チップ通過後のワイヤ表面を SEM を用いて観察した。

2.3 実験条件

本実験に用いた溶接は CO₂ 溶接であり、使用したワイヤは JIS Z 3312, YCW-2 の 1.2 mm である。溶接電流は 150 A, アーク電圧 20 V, ワイヤ突出長さ 17 mm, 溶接速度 30 cm/min, CO₂ ガス流量 20 l/min で溶接を行った。データの測定間隔は 100~500 μ sec であり、測定時間は 6.4~32.0 sec である。

離線率の測定は Fig. 7 に示すようにチップ先端のみを通電部にしたもので Table 1 に示す直交配列 L 16 の組合せ条件で行い、その他の実験は、ワイヤ送給速度 2.7 と 5.0 m/min, ワイヤをスプールから一輪とり床面に放置したときにワイヤが示す内径（キャストをよぶ）450, 3,000 ϕ mm で行った。

3. 実験結果

3.1 分割チップによる測定

各通電片における電流波形を Fig. 9 に示す。Fig. 9 では、各ホール素子の動きをわかり易くするため、零点を動かしてプロットしているが、ホール素子 2, 3, 4 すなわち分割チップの最下端以外の通電片は出力が零であり、ホール素子 1, すなわち、分割チップの最下端の通電片の出力と電源出力が一致していることを示している。すなわち、電源より供給される溶接電流はアーク点に最も近い通電片より流れており、他の通電片からは供

Fig. 9 Current wave form from each Hall element

Fig. 10 Welding current and voltage drop (B-C)

給していないことを示している。又、この分割チップを用いて、最下端のパワーケーブルを取りはずし、強制的に、最下端以外の通電部から溶接電流を流そうとすると、アークは不安定になり、ついには、ワイヤが溶断して、供給が止まる現象が観察された。

3.2 チップとワイヤ間の接触電圧降下の測定

CO₂ アーク溶接においては、溶接電流には電源リプルがのっているが、マクロ的に言えば、短絡期に溶接電流が増加し、再アーク後に減少する。接触電圧降下は短絡期に最も大きくなり、1 volt 弱の値を示す。さらに、接触電圧降下と溶接電流の関係を詳細に調べると、Fig. 10 に示すように2つのパターンのあることが認められた。1つは、Fig. 10 A に示すように、溶接電流が増加すると、接触電圧降下も比例的に増加し、接触抵抗値はほぼ一定である。もう1つは Fig. 10 B に示されるように、ループをもつパターンである。このタイプは溶接電流が上がっていくと、接触電圧降下が頭打ちになる。すなわち、接触抵抗が減少する挙動を示している。

3.3 チップとワイヤ間の離線について

市販チップ及び市販チップ内径を1.6 ϕ 、1.8 ϕ に加工

Table 2 Ratio of separation from contact-tip

No	1	2	3	4	5	6	7	8
%	0	0	0.095	0.211	0	0	0	0.019
No	9	10	11	12	13	14	15	16
%	0	0.019	0	0	0	0	0	0

(Sampling cycle 500 μ sec, sample time 32sec)

Fig. 11 Characteristic X-ray image in inner surface of contact tip x500

Fig. 11 Characteristic X-ray image in inner surface of contact-tip

したチップにおいては、ワイヤ送給速度やキャストを変化させても離線は認められなかった。すなわち、ワイヤは45 mm のチップ内面に、常に、最低1カ所は接触していることがわかる。

一方、Fig. 7 に示すように、通電部をチップ先端に固定したチップにおいて Table 1 に示す直交配列 L16 の組合せにおいて実験した結果を Table 2 に示す。分散分析からは、効果の有意な要因はなく、ワイヤは条件によって、チップ先端離線する可能性のあることを示しているが、通常の溶接条件下では、離線せず、ワイヤがチップ先端に接触していることを示している。

3.4 チップ内面及びワイヤ表面の観察

通電点は時間とともに消耗され、チップ先端が一方に拡大されるが、それと同時に、通電部及びその周辺が時間経過とともに黒色に変質してくる。チップ内面の通電部に EPMA により、2次電子線像観察及び面分析を行ってみると、Fig. 11 に示すように Cu 以外に C, Fe, Mn が検出される。

一方、チップ通過後のワイヤ表面を観察すると、Fig. 12 に示すように大きく分けて3つのパターンが認めら

Fig. 12 Observation of wire surface of contact-tip

Fig. 13 Schematic of circuit

れる。Fig. 12 A はワイヤ表面がほとんど変質を受けていないものであるが、B はワイヤ表面がむしれたように変質したものであり、C はワイヤ表面の一部が溶融している。

4. 考 察

4.1 チップにおける接触電圧降下及び接触抵抗について

本実験においては、チップとワイヤ間の接触電圧降下を測定するときに、並列固定抵抗を接続しているが、それによる誤差は、後述するようにチップとワイヤ間の接触抵抗を $10^{-3} \Omega$ とすると、約 0.5% である。

チップとワイヤ間の厳密な接触抵抗は、チップとワイヤ間の接触電圧降下及びチップ側を流れる電流値を厳密に測定していないため、直接、求めることはできない。以下に、チップとワイヤ間の接触抵抗の誤差について述べる。

Fig. 13 に示されるように

$$I = I_A + I_B \quad \dots\dots(1)$$

ここで

I : 電源より供給される電流値、ホール素子により、OA, 150 A の 2 点の出力から比例配分して求めた値で、磁束密度とホール素子出力電圧の校正は行っていない。

I_A : 固定抵抗側を流れる電流

I_B : チップ側を流れる電流

チップとワイヤ間の接触抵抗の代用値 R_4' を次式のようにする。

$$R_4' = V_1 / I \quad \dots\dots(2)$$

ここで

V_1 : 固定抵抗間での電圧降下

一方、チップとワイヤ間の接触抵抗は次式である。

$$R_4 = V_4 / I_B \quad \dots\dots(3)$$

ここで

R_4 : チップとワイヤ間の接触抵抗

V_4 : チップとワイヤ間の接触電圧降下

ここで、Fig. 13 に示すように、各抵抗値を仮定すると

$$(R_4' / R_4) \times 100 = ((V_1 / I) / (V_4 / I_B)) \times 100 \approx 100.5 \quad \dots\dots(4)$$

すなわち、チップとワイヤ間の真の接触抵抗値 R_4 を代用値 R_4' で表わすと、誤差は約 0.5% あることがわかる。但し R_1 は 100Ω の固定抵抗であり、 R_2 は固定抵抗を除くワイヤで約 0.5Ω 程度であり、 R_3 はチップの抵抗で固定であるが、チップワイヤ間の抵抗は変動するものであり、 R_4 が Fig. 13 で仮定した値より大きくなれば、(4) 式より測定誤差は小さくなり、逆に、小さければ誤差は大きくなる。又、(2) 式より求めたチップとワイヤ間の接触抵抗値は、Fig. 10 より、約 $10^{-3} \Omega$ 程度である。

4.2 通電点とアークの安定性

第 3.3 章で述べたごとく、通常の溶接状態において、第 3.3 章で行ったような極端条件ではないためワイヤはチップ先端に接触している。これは、溶接時の通電点が分割チップの先端である事実とよく一致している。しかし、確率は低いけれども、チップ先端での離線はおこるらしいことは離線率の測定より示されており、チップ先端での接触がなくなると、白水²⁾が示しているように次の接触点で給電がおこり、アークの安定性が悪くなる。なお、著者らは、このようなアーク不安定になる原因として、チップ先端での離線の他に、溶接時のスパッタリングの影響もアークを不安定にする要因の一つであると考えている。すなわち、チップ内の EPMA 観察より、C, Fe, Mn が検出されており、チップ内面には、潤滑剤の残査、ヒューム、ワイヤの溶融部等が推積していると推定されるが、特に、球状の Fe が認められることから、これが、スパッタである可能性が高い。CO₂ アーク溶接においては、スパッタの発生が多いため、チップとワイヤ間にスパッタが入り込む可能性は高く、スパッタが入り込むと給電状態が変化し、アークの不安定がおこると考えられる。

一方、分割チップの最下端以外から通電させると、ワイヤが溶断して、送給停止する現象があらわれている。この理由としては、以下のことが推定される。すなわちワイヤがチップ先端で適正な加圧力で接触しているのが最も安定した給電状態であるが、チップ端以外の通電片

から溶接電流を流す場合を考えると, 本実験においては分割チップの長さが 12 mm であったため, チップ先端以外の接点がなく, チップとワイヤ間に多少のクリアランスを生じていたため, チップとワイヤ間にスパークが生じて, ワイヤが溶けたものと考えられる。

チップとワイヤ間の接触電圧降下の値は 1 volt 弱であり, この事実より, ワイヤとチップ間の給電状態は通常スパークをとまなわない接触通電をしているものと考えられる。

4.3 チップ内での給電状態及び接触抵抗の減少機構について

一方, 溶接電流と接触電圧降下をプロットすると Fig. 10 B に示すように, ループを示すものがあり, 見かけ上, 接触抵抗が減少している。この理由としては,

- i) ワイヤとチップ間に負性抵抗特性を持つ半導体物質が存在する。
- ii) チップ内面の皮膜が破壊される。
- iii) ワイヤとチップ間の接触面積が増大する。

等が考えられるが, Fig. 12 B, C に示すように, チップ通過後のワイヤ表面に変化が認められている。この現象は, 溶接電流がワイヤに供給されたとき, ワイヤはジュール熱で加熱されるが, 発生熱量によって, ワイヤの一部が軟化したり, 溶融していると考えられる。

今後の課題として, ワイヤ表面の変化とワイヤ送給現象との間にどのような関連があるか検討することは, 半自動溶接におけるワイヤ送給現象を考える上において, 一つの方向であるとする。

5. 結 言

チップにおける通電現象を調べた結果, 以下のような事実が明らかとなった。

- 1) チップにおける通電位置はチップ先端は集中している。
- 2) ワイヤとチップ間の接触電圧降下は 1 volt 以下である。
- 3) チップ先端における離線の可能性は条件により, なすかであるがおこる可能性がある。しかし, 市販チップにおいては, チップ内面に常に接点がある。
- 4) チップ通過後のワイヤ表面には, 表面がザラザラした状態や溶融した形跡が観察される。

上記の結果より, ワイヤはチップ先端よりスパークをとまなわない接触通電を行っている。又, ワイヤ表面の変化は給電時に, ジュール熱の発生によって起こることが推定される。

参 考 文 献

- 1) 奥武, 西田順紀, 田中優, 高木政治, 「炭酸ガス・アーク溶接法におけるコンタクトチップ内給電状態の検討」溶接学会全国大会講演概要集21集 286p
- 2) 白水宏典, 栗野芳朗, 榎原健二「CO₂ アーク溶接の給電方法」溶接学会全国大会講演概要集30集 102p
- 3) 山田忠昭, 平社敬一郎, 金子保「コンピュータを利用したアーク現象の研究(第3報)」溶接学会全国大会講演概要集30集 98p
- 4) 山田忠昭, 平社敬一郎, 金子保「CO₂ アーク溶接におけるワイヤ送給速度変動について」本誌投稿中
- 5) 山田忠昭, 平社敬一郎, 六条正治「コンピュータを利用したアーク現象の研究」溶接学会全国大会講演概要集 28集 152p