

炭酸ガスアーク溶接における 溶滴移行現象について

大阪大学工学部 山 本 利 雄*

1. はしがき

最近溶接技術が著しく進歩し、手溶接にかわつて自動溶接が広く用いられるようになった。現在実用されている自動アーク溶接法としては ①溶弧溶接法 ②MIG溶接法 ③炭酸ガスアーク溶接法などがある。

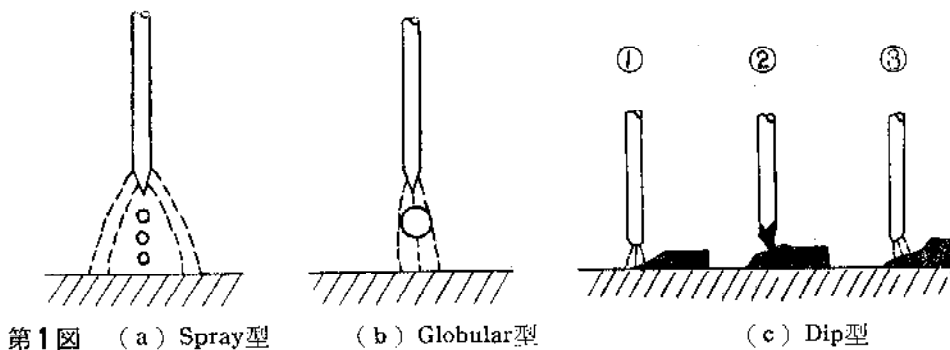
上記溶接法のうち ①はフラックス中においてアークを発生させるが、②、③はアーク発生部をガスで被包することによつて良好な溶接結果が得られるわけである。②は被包ガスとしてアルゴンガスあるいはヘリウムガスを用い、③は炭酸ガスあるいは炭酸ガス+酸素ガスを用いる。それ故両者の間には溶接装置として基本的な差はないが、(いずれも直流電源、定速電極送給方式が用いられる。) 溶接現象は著しく異なつてゐる。とくに被包ガスとして炭酸ガスを用いた場合には電極より母材に移行する溶融金属が大塊となり、かつ溶接条件によつて非常に多くのスパッタリングが発生する。こゝでは主として溶融金属の移行状態を高速度写真撮影した結果について述べる。

5. 電極溶融部金属の移行型式

一般にMIG溶接(炭酸ガスアーク溶接)においては電極溶融金属の移行型式は次の3型式に分類することができる。第1図はこれらの型式を図解したものである。

a. Spray型 b. Globular型 c. Dip型

a. Spray型 第1図(a)に示すごとく溶滴が細粒となつて母材側へ移行する型で、被包ガスとしてアルゴ



第1図 (a) Spray型 (b) Globular型 (c) Dip型

ンガスを用い電極に大電流を流した場合にこの型の移行になる。電極に流す電流値を小さくすると、溶滴は大きくなり第1図(b)のごとく globular型に近づく。第1図(a)図のごとく Spray型の移行になり始める電流値を臨界電流と呼ぶ。アルゴンガス中における臨界電流値は例えば 1.6mmφ心線を用いた場合、アルミニウム線材では約 150A、鋼線材では約 350Aである。写真1は鋼心線を用いアルゴンガス気中の場合の高速度写真の1駒である。

b. Globular型 第1図(b)に示すごとく溶滴が大塊となつて母材側へ移行する型で、被包ガスとして炭酸ガス、窒素、空気など二原子分子のガスを用いた場合には電流値を相当大きく(1.6mmφ, 500A)しても溶滴は Spray化しない。

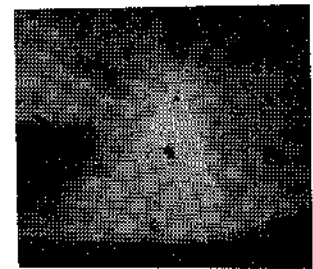


写真1 アルゴン瓦斯
Ds, 1.6mmφ 500A

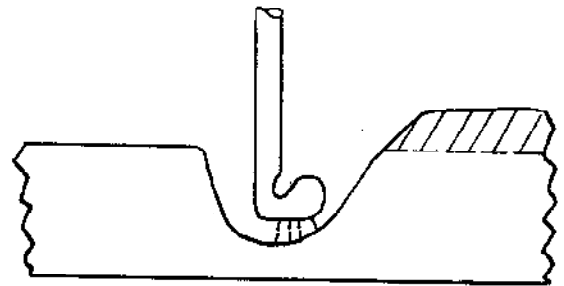
c. Dip型 第1図(c)に示すごとく電極先端溶融金属と溶融池が接触し、この時流れる短絡電流によるピンチ力と溶融金属の表面張力によつて電極溶融部金属は母材側へ移行する。移行が終るとアークは再生し、電極先端が溶融して再び溶融池と接触する。このように 短絡→アーク の現象が周期的に規則正しく繰返えされて、良好な溶接結果が得られる場合を一般に“Dip Transfer”と呼んでいる。この繰返し回数は非常に速く、1秒間当り100回以上になることがある。とくに被包ガスとしてアルゴンガス(炭酸ガスを混入する場合がある。)を用

る場合がある。)

* 溶接工学科 講師 工博

いた場合を“Short Arc”と呼んでいる。

いずれの場合も使用する電極直径が細い（約 0.8～1.2 mmφ）ほど好ましく，かつ使用する電源特性の適当なものが必要である。この溶接法はとくに薄板の溶接に適し，かつ溶接線作，全姿勢溶接が容易である。



第2図 Buried arc

3. 炭酸ガス（+酸素ガス）気中における溶滴の移行状態

3・1 実験方法および使用材料

高速度写真撮影法はアークの背面より強力な光（カーボンアークを凸レンズにて集光する。）を照射して溶滴

の陰画をフィルム上にむすぶ陰画法⁽¹⁾を用いた。なお撮影駒数は3,000～5,000 駒/秒である。極性；逆極正

心線は DS, 線材 (Si, Mn の多い軟鋼材) を用い，被包ガスとしては炭酸ガス (20l/min), あるいは炭酸ガス 20l/min + 酸素ガス (5l/min) を用いて，使用フィルムは Koclack Tri X である。

3・2 実験結果

電極径 1.6mm の心線を用いて種々の溶接条件にて行なった実験結果の代表的な写真の一例は写真2に示すごとくである。写真に示すごとくいずれの溶接電流においても溶滴は大塊となつて，写真1のごとく Spray 型移行にはならない。(a) は溶接電流を 100 A にした場合で，大塊となつた溶滴はなかなか電極より離脱しない，相当時間がたつと母材と接触する，このような溶滴移行の場合には満足な溶接結果は得られない。(b) は溶接電流を 300A にした場合で溶滴は大塊となりかつすでにおかれたビード側に片寄る傾向がとくに強い。このような溶滴移行の場合には大粒のスパッタリングが発生する。それ故実際の溶接にはこのような溶接条件は用いられない。とくにこの溶接条件を用いる場合は 第2図に示すごとく電極先端部を溶融池の中まで突込んだ状態で溶接を行なえばスパッタリングは防止することができる。これを“Buried Arc”と呼んでいる。(c) は溶接電流を 500 A にした場合で，溶滴は順調に母材側へ移行する。実際広く用いられる溶接条件は大体この附近の電流値であり，その溶接結果は良好である。以上 (b), (c) の溶滴移行状態で溶接が行なわれるため，母材の溶け込みは深くなる。したがつて従来は炭酸ガスアーク溶接では薄板の溶接は困難とされていた。しかし使用する電源特性を適当にすると Dip 型移行が容易に行なえるため薄板の溶接が可能となる。

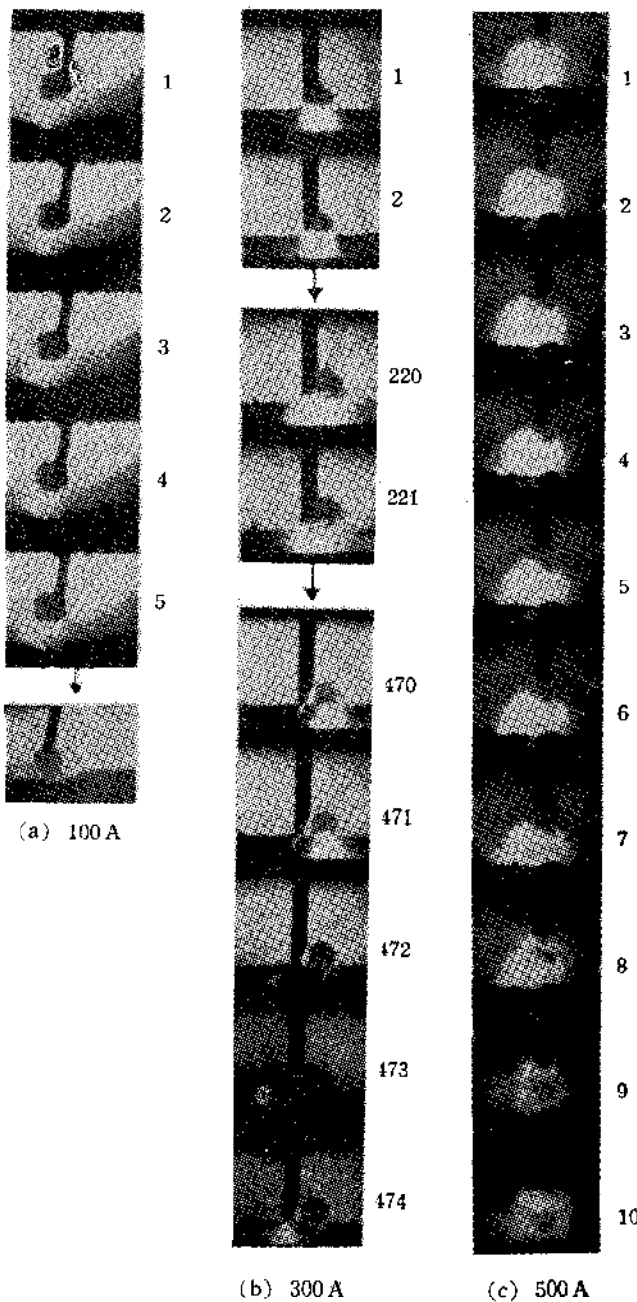


写真2 炭酸ガス+酸素 DS, 1.6mmφ

写真3 は Dip 型移行溶接の場合の溶滴移行状態を示すもので，(a) はアーク電圧が比較的低い（約 18 Volt）場合でこの場合には短絡回数は約100回/秒位である。写真 (a) に見るごとく 1 回の短絡による移行溶融金属量は非常に少ない。(b) はアーク電圧が比較的高い（約24 Volt）場合で，この時の短絡回数は 20～30 回 / 秒である。写真に見るごとく溶融金属は比較的大きくなつて

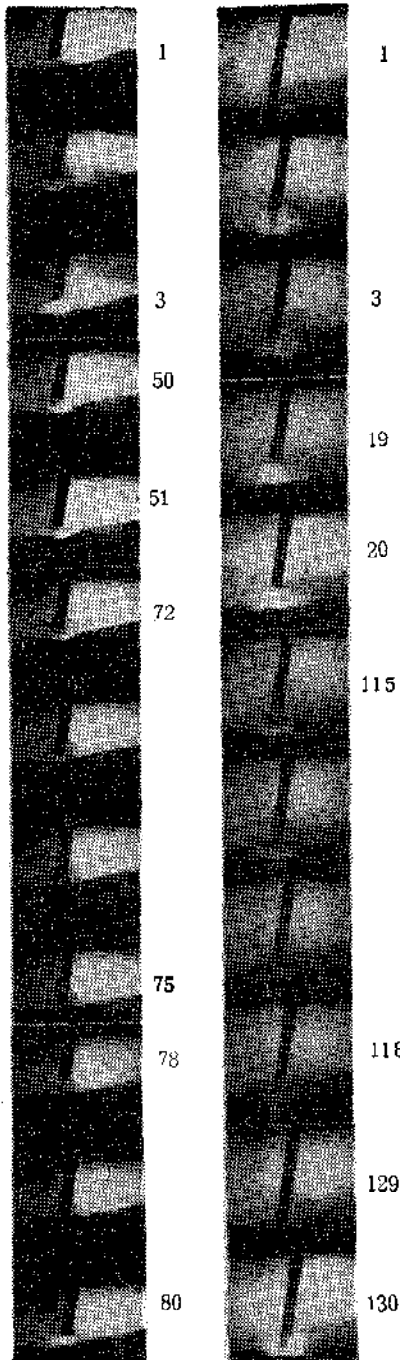


写真3 DS. 1.2mmφ CO₂ ガス
19V. 100A 25V. 150A
(a) (b)

る。このような溶滴移行状態の時に電源特性が適当でなければ著しいスパッタリングが発生する。以上のごとくDip型移行溶接には2つの型式がある。一般に“Dip 溶接”と呼ばれているのは写真(a)の場合である。

3・3 溶滴が大塊となる理由

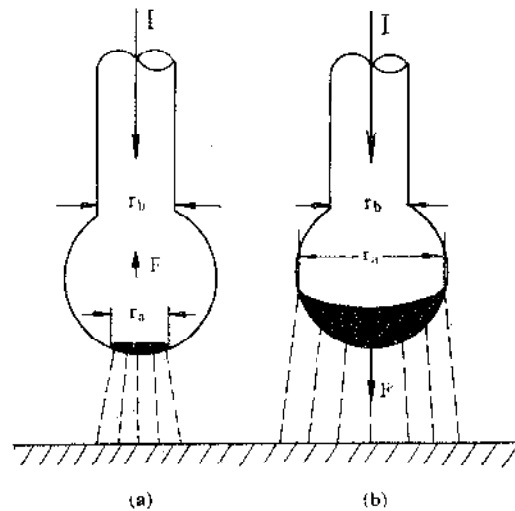
炭酸ガス気中における溶滴移行の最も大きな特徴はすでに記述したごとく溶滴が大塊となることである。これに関して先ず電極先端溶融部に作用する力について考えると次のごとき力が働いている。
1) 重力
2) 表面張力
3) ピンチ力

4) アーク力 5) プラズマ気流の力

上記力の中 1), 3), 5) の力は溶融金属が電極より引離れる力として働き 2), 4) は押し上げ力として働く。2) の表面張力は電極材料が定まれば略一定と考えることができる。1) の重力による力はあまり大きな力にはならない。(2) (例えば表面張力を1200 dyne/cm と仮定し電極直径が1.6mm の場合について計算すると重力のみで溶滴が落下するためには溶滴を球形と仮定すると

その直径は約5.4mm となる。実際にはこのように大きくはならない。) 5) のプラズマ気流による力はアルゴンガス雰囲気における場合(写真1)のようにアークが円錐形に拡がる場合に強く働き炭酸ガスの場合には写真2に見るごとくアークは溶融金属の略底面より発生し、かつアルゴンガスの場合のように拡がらない。したがって上記 5) の力は考えることができない。アルゴンガスの場合は 3), 5) の力が強く電極先端部に働くため、溶滴の Spray 化が容易になる。(3)

したがって炭酸ガス気中の場合は 3) 4), の力について考えればよい。3) のピンチ力についてはアーク発生面の大きさによつてその働く方向が異なる。第3図はアーク発生面の大きさとピンチ力との関係をモデル化した



第3図 ピンチ力の方向

図である。いま電極直径を Rb, アーク発生面(有効断面積という)の直径を Ra とし、球形の部分をも溶融金属とする。電極に流れる電流を I とすると溶融金属内に働くピンチ力 F は

$$F = I^2 \log Ra/Rb$$

となる。第3図(a)のごとく Ra < Rb ならば F は上向の方向に働き溶滴はますます大きくなる。(写真2(a) 100A の場合に相当する。) Ra < Rb ならばピンチ力は下向の方向に働き溶滴が電極より離脱するのが容易になる。写真2(e) は500Aに相当。

4) の力は一般に“アーク力”と呼んでいるが、その概念についてはあまり明確にされていない。その内容については a) イオンおよび電子の衝突, b) 静電的および電磁力的な力, c) 噴出蒸気の衝突力あるいは反動力, d) 化学反応から起る力

などが考えられているが、いずれの力も溶融金属が電極より離脱する助けにはならない。炭酸ガス気中においてはとくに溶融金属の蒸発による反動力が押し上げ力として働くものとする。炭酸ガスの分解による体積膨脹

($\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}_2$) も考えられるが、もしアークが定常に発生していると考えたと局部的に圧力の高い所へ新しい炭酸ガスが流入し難いので、このガスの分解による押し上げ力は考え難い。

以上のことがうから炭酸ガス気中においては溶滴が大塊となる主な理由は溶接電流値が大きい場合にはテークカによる押し上げ力、すなわちアーク発生面における蒸発金属のジェット作用によるものとする。さらにアーク発生面は溶融金属の底面に集中して発生することも考えなければならない。(この発生面の大きさは溶接電流 300A では溶滴の約 $\frac{1}{2}$, 500A では約 $\frac{1}{3}$ である。) 溶接電流値が小さくなれば上向のピンチ力をも考慮しなければならない。(アークが溶融金属の底面に集中することは一般に2原子分子のガスは熱解離損失が大きいためアーク極の電位傾度が大きくアークはできるだけ最短距離から発生する傾向が強いためである。(4))

4. スパッタリング

炭酸ガスアーク溶接において最も悪い現象はスパッタリングが多いことである。高速度写真の観察結果代表的なスパッタリングの発生機構を図解すると第4図に示すとき型式に分類することができる。その発生型式は溶滴が B 非接触移行する場合 A と接触移行する場合とに大別することができる。図にしたがってその発生

原因を述べると次のごとくである。

A 非接触移行の場合

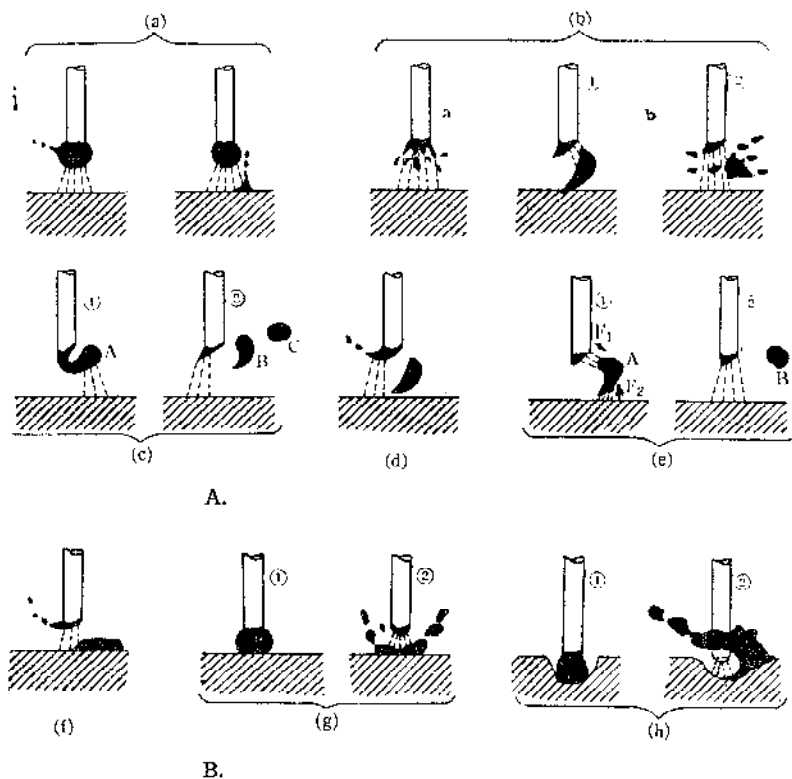
a 溶融金属内部のガス (CO ガス) が溶融金属外で出るときに発生するもの。

b 溶滴の爆発。 a 内部ガスの爆発 . b 一旦電極より離脱した溶滴の下部が母材と短絡して溶滴の上端と電極間にアークが発生してその時のアーク力によつて一旦離脱した溶滴が爆発する場合

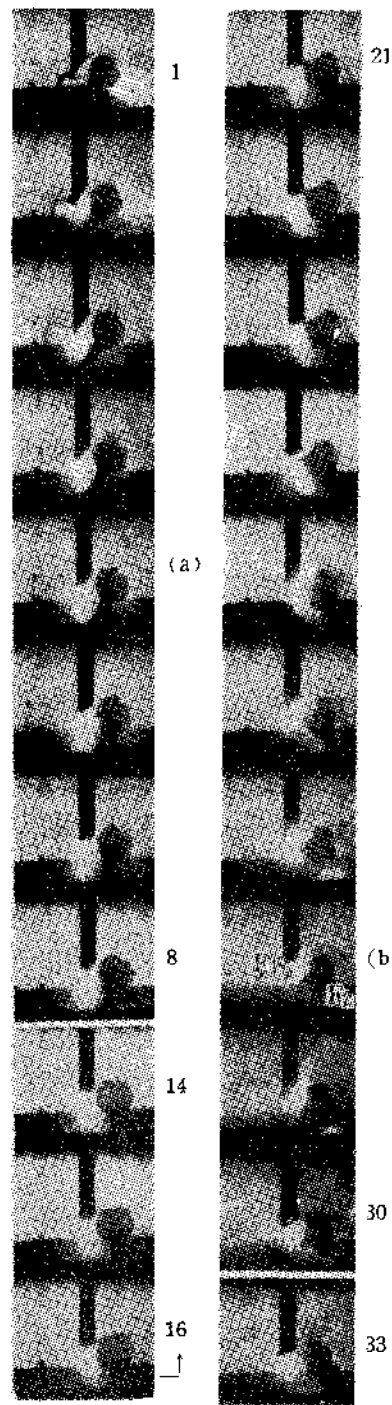
e. 大塊となつた溶滴が電極より離脱した時その離脱時の反動によつて溶滴が B. C と飛んでスパッタとなる場合。

(1.6mmφ心線で約 300A 附近で起る。)

d, C の場合とほとんど同時に起るが、電極部に



A. 非接触移行の場合 B. 接触移行の場合
第4図 スパッタリング発生式



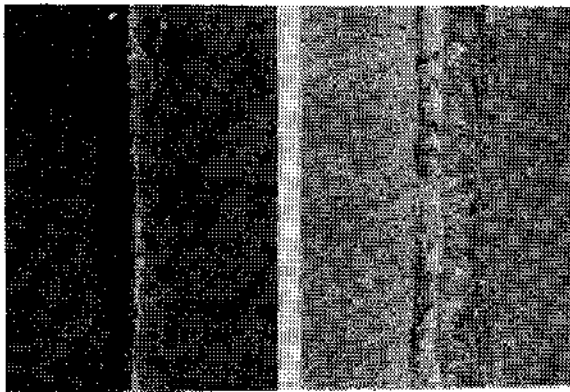
35 V, 280 A

写真4 炭酸ガス+酸素 DS, 1.6mmφ

残った熔融金属が小さなスパッタとなつて飛散する。写真4 (a) c, d, のスパッタの発生する主原因は溶滴が電極より離脱する場合、電極と溶滴の境界面が細く糸状(写真4.1)になるがその糸状部が切れる時に発生するフューズ作用による力である。

e. 電極より一旦離脱した溶滴が電極—溶滴—母材と直列アークを形成し、その時のアーク力 F_1 , F_2 (写真4参照) によつて溶滴が遠方に飛ばされて大粒のスパッタになる。

以上のスパッタの中溶接結果に最も悪影響をおよぼすのは c, e, 型式のスパッタである。これらのスパッタは炭酸ガス, DS₁ 線材を使用するかぎり防止することは困難である。たゞしこれらのスパッタの発生する電流値は略決まっている。したがつて大電流 (1.6mm φ500A) にすればピンチ力が大きくなつて溶滴の移行が順調になり、スパッタはほとんど発生しない。



インダクタンス小 インダクタンス大
 写真5 フェズ作用にするスパッタ
 100A : 18V 炭酸ガス DS 1mmφ

B 接触移行の場合

f. 溶滴が母材と接触し、短絡電流によつて溶融部が離脱する場合にヒューズ作用により発生するスパッタ。これは Dip 型溶接を行ない時 電源回路のインダクタンスが小さい場合に発生する。インダクタンスの値を適当にすれば完全に防止することができる。写真5はインダクタンスの値の差によるビード外観を示す。

g. 溶滴が大塊となつて母材と接触した場合アーク再生時のアーク力によつて移行した溶滴が飛散してスパッタとなる場合。(写真6)

h. 溶滴が大粒となりしかも "Buried Cre" になつた場合短絡が破

れてアークが再成する場合に発生するスパッタ。この型式のスパッタが従来炭酸ガスアーク溶接において発生した最も多いスパッタの型式である。このスパッタの発生原因は短絡中に溶融地内のガスは冷いガスと入れ替るため、短絡が破れてアークが発生した場合そのアーク熱によつてガスが急膨脹するため溶融地内部からふくれ上り、あたかも大波が岩にあつて碎けるがごとき様相となつてスパッタとなる。写真7はこの状態を示している。

g, h, のスパッタの原因はアーク発生時のアーク力およびアーク熱

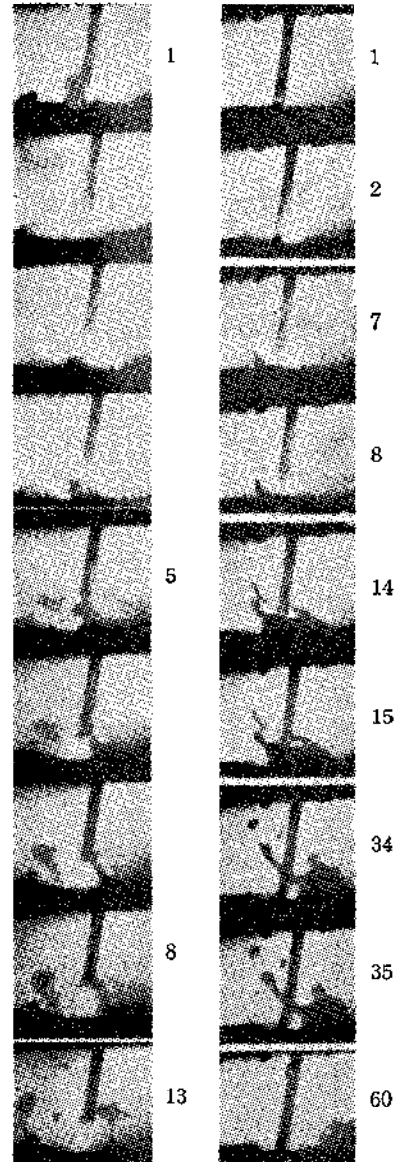


写真6 炭酸ガス DS. 1.2mmφ 写真7 炭酸ガス DS. 1.7mmφ

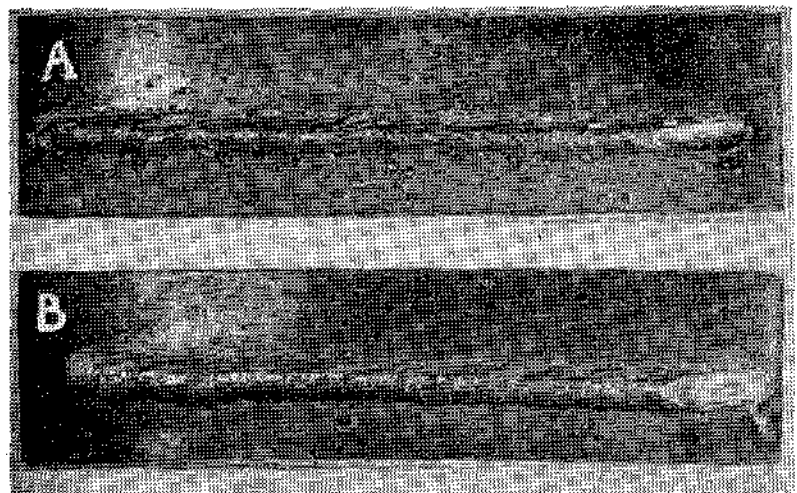


写真7 インダクタンスの値の差による溶接ビード外観
 A. アーク電圧23~24V 溶接電流260~300A, インダクタンス 小
 B. アーク電圧23V, 溶接電流260~280A, インダクタンス 大

(以下47頁へ続く)

(52頁より続く)

によるため、電源回路のインダクタンスを大にしてアーク再成時の電流値を小さくすることによつて防止することができる。実験においては溶着効率約50%のものが電源特性を適正にすることによつて溶着効率約80%に上昇することができた。写真8はそのビード外観の一例を示している。

5. む す び

以上炭酸ガスアーク溶接における溶滴移行現象について高速度写真撮影結果によつて熔融金属の移行現象を中心に述べたが、この一連の研究の結果炭酸ガスアーク溶接における熔融金属の移行状態を明らかにするとともにスパッタリングの発生機構およびその防止法を明確にすることができた。したがつて従来炭酸ガスアーク溶接においては非常に溶接範囲が狭いといわれていたが、上記の事項により用いる電源特性を改良することによつて広範囲の溶接条件による溶接が可能となつた。

参 考 文 献

1. 岡本, 安藤, 長谷川, 溶接協会誌 6 (1936), 244
2. E. Jackson. W. J. 39 (1960), 177 S
3. J. C. Needhan, C. J. Cookrey and D. R. Milner, B. W. J. 7 (1960) 101
4. 福田節雄, 電弧, 河出書房 (1948) 197