

現行の J I S ではマグ溶接の中に CO₂ 溶接と Ar+CO₂ 系混合ガス溶接の双方が含まれ、CO₂ ガスは勿論、マグガスも活性ガス (Active Gas) に分類される。表 041-01 にガスの物理的性質を示す。N₂ についても物性を示していますが殆ど溶接用には適用されず参考値として見て下さい。

	Ar	CO ₂	O ₂	N ₂	He	H ₂
分子量	39.95	44.01	32.00	28.01	4.00	2.02
密度 kg/m ³ (0℃, 1atm)	1.783	1.977	1.429	1.251	0.1786	0.0899
熱伝導率 × 10 ⁻⁶ cal/cm · g℃ (0℃, 1atm)	38.4	35.2 55.8 (CO)	58	57.2	341.6	415.5
イオン化ポテンシャル eV	15.76	13.77 14.1 (CO)	12.07	15.6	24.587	15.43
解離熱 eV	—	5.5 10.0 (CO)	5.1	9.5	—	4.4

筆者コメント ; ここでは一般的なガスの物性を示す。アークという高温における物性ではなく 0℃、1atm における値です。N₂ ガスはアーク溶接では、ほんの一部で適用されるのみで一般的なシールドガスではありません。

ガスシールド溶接におけるガスの役割には以下の項目が考慮されます。

1) 溶融金属部の大気中からの保護

2) 溶接ワイヤとガスの適正な組合せによる清浄な溶接金属と良好な溶接部の確保

3) 溶接アーク、溶滴移行の改善

- a. アーク発生点 (陰極点) の形成、安定化
- b. アーク集中性の確保
- c. 溶滴移行性への影響

4) 溶接ビード、溶け込みへの影響、効果

- a. ビード形成性

b. 溶け込み形状

c. 亜鉛メッキ鋼板溶接における亜鉛蒸気化の防止とピット・ブローホール対策など

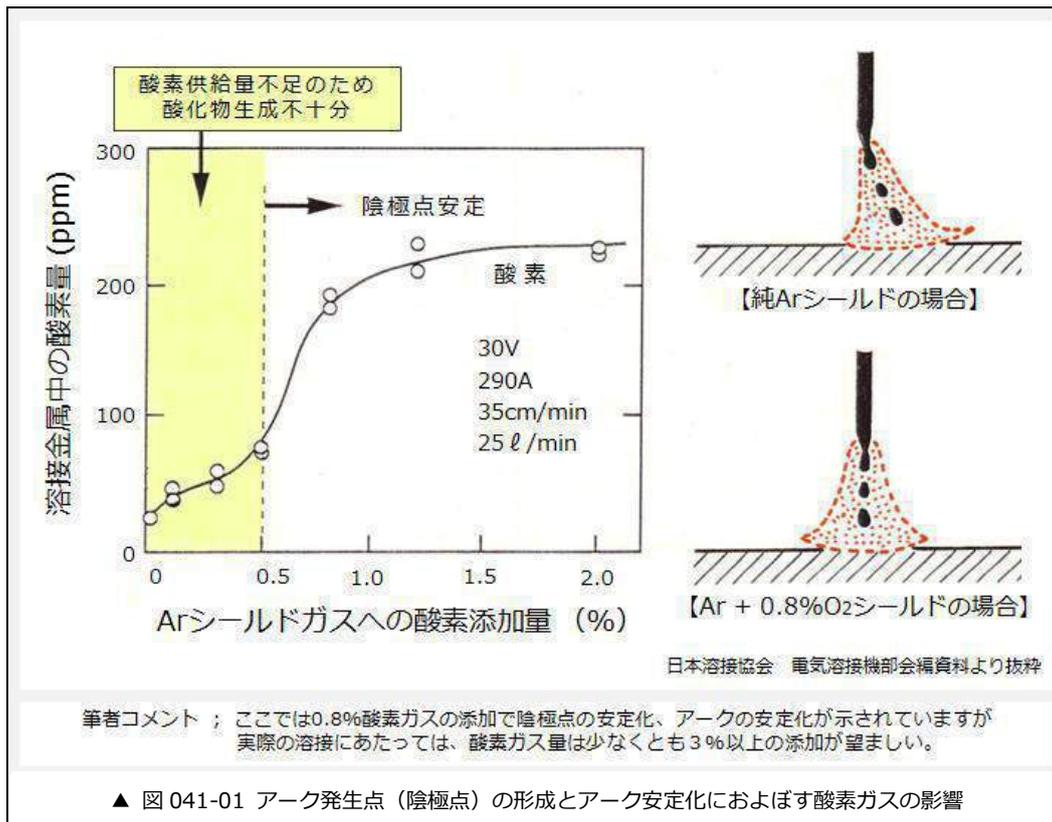
このようにガスは溶接金属のブローホール、機械的性質などの**溶接性**、アーク安定性、スパッターなどの**溶接作業性**およびビード外観、溶け込み形状などの**溶接品質**に深く関わっています。そのためガスの影響と効果を理解することが極めて重要になるのです。

上記 1) と 2) に関しては、**第 3 話「CO₂ アーク溶接法の開発と原理**」に詳細説明がありますので参照ください。4) に関しましては、次話で説明します。以下、3) について説明します。

3) 溶接アーク、溶滴移行の改善

a. アーク発生点（陰極点）の形成、安定化

ガスシールドメタルアーク溶接では一般的に溶接ワイヤが陽極（プラス）、母材側が陰極（マイナス）に接続されます。よってイオン（プラス）がプラス側から母材に向かい、母材からは電子（マイナス）が陽極であるワイヤに移動し溶接電流を形成します。この時**イオン（プラス）は母材に形成された酸化物を求めて発生します**。陰極点は酸化物のある個所に形成されやすく、陰極点は酸化物を求めて母材表面を動き回ります。このような理由でアルゴンガス中に数%の酸素（O₂）や炭酸ガス（CO₂）を添加して陰極点の安定化を計ると、安定なアーク状態が得られ、ビード形状も良好になります（**図 041-01 参照**）。



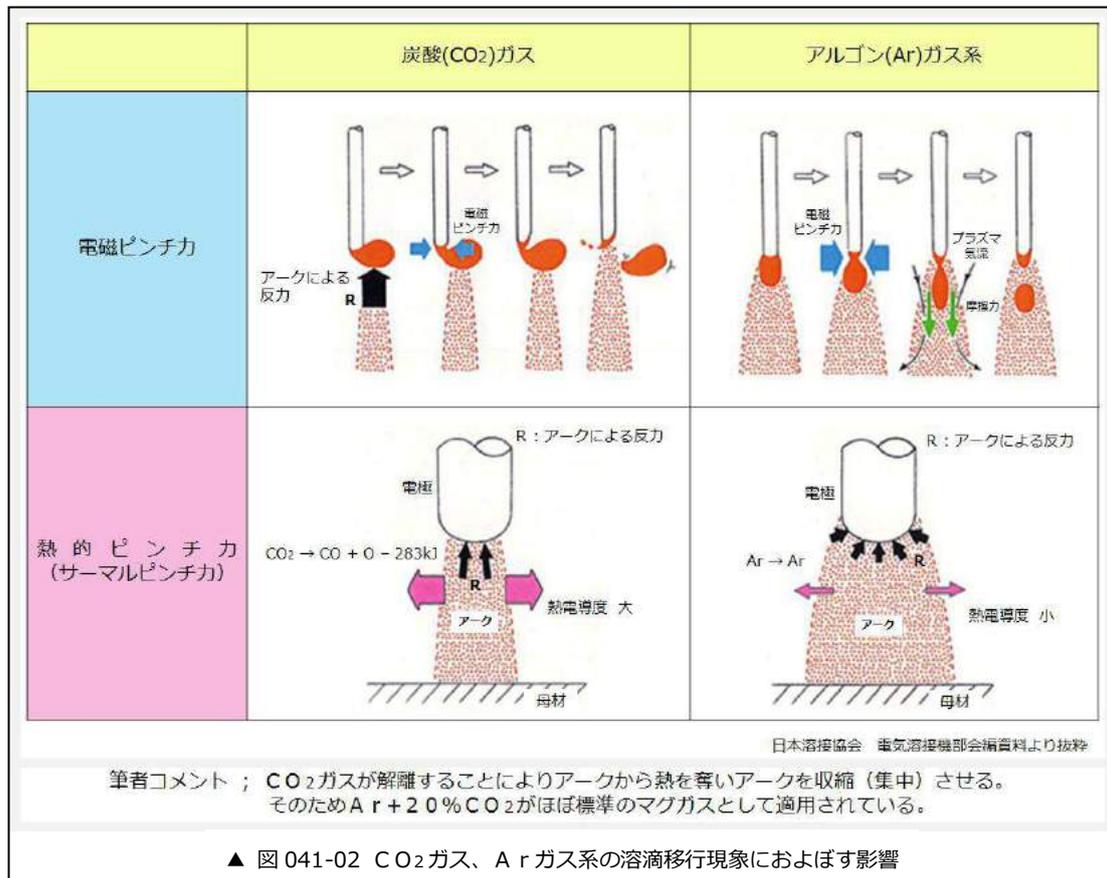
b.アーク集中性の確保

アークは電極ワイヤと母材間に発生するが周囲ガスの膨張などによるガス圧力、溶接電流により作られる電磁気などにより曲り、ふらつきやすくなります。これらの事象に対抗してアークの集中性を確保する働きがガスの解離熱による「**サーマルピンチ効果**」です。例えば CO₂ ガスはアークの高温下で解離して **CO₂ = CO+O-283KJ** に示されるようにアークから 283KJ のエネルギーを奪います。自然の摂理に従ってアークは熱を奪われまいとして表面積を極力小さくします。いわゆる収縮(集中) するのです。**O₂ ガスも CO₂ ガス同様に「サーマルピンチ効果」を発揮するので**周囲ガスに O₂ ガスを含めばアークは集中しやすくなります (図 041-01 参照)。この事実をしっかり把握して下さい。とくに軟鋼系の溶接では、ステンレス鋼も含め陰極点の安定化とアークの集中性確保のためガス中に CO₂、O₂ あるいは CO₂+O₂ の酸素成分を混合させるのです。

c.溶滴移行性への影響

CO₂ 溶接では**グロービュール (塊状) 移行**が 220-230A 程度の中電流以上で観察される。グロービュール移行はその名のとおり大きな溶滴となって移行することで知られている。なぜ塊状の溶滴になるか、

なぜ移行のスムーズ化を抑制されているのか。この要因は CO₂ ガス適用時に生ずる「**アークによる反力**」が溶滴を下から上に押し上げる結果であると考えられており、アルゴン系ガスの場合にはそれらの反力が小さいので溶滴の押し上げ力は小さくスムーズな**スプレー移行**が実現可能となります（**図 041-02 参照**）。



次話では引き続き **4) 溶接ビード、溶け込みへの影響、効果**について説明します。

以上。

No. A041

アーク溶接 第 42 話 シールドガスとその取扱い(3)

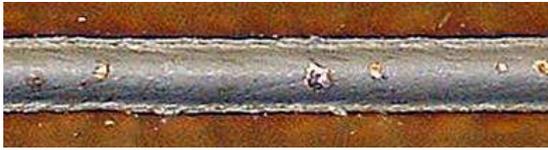
シールドガスの種類と選択(2)・・・ビード形成性への影響

担当 高木柳平

2016年 1月 25日

溶接ビード形成性に求められることは、ビード外観が美麗であり、ビード幅が適正に広く、スパッター付着が少ないことなどが挙げられる。これらの点に関し適用されるガスは、溶滴移行形態にも大きく影響を及ぼすためビード形成性への影響は大きくまた溶接コストも考慮して、CO₂ 100%、マグガス Ar+20%CO₂、ミグガス Ar+2~5%O₂ および三元系として Ar+CO₂+O₂ などが代表的である。

ビード形成性には周知のように溶接電源、溶接ワイヤおよび溶接条件などの諸要因の影響も大きいがこのここでは**ガスの種類がビード形成性に及ぼす影響について図 042-01 に従って概要を述べる。**

シールドガス条件など	溶接ビード外観 (ビードオンプレート法による)	外観観察とコメント
<p>No.1</p> <p>CO₂ 100%</p> <p>電流：205A</p> <p>電圧：22.2V</p> <p>YGW-12 Φ1.2</p>		<p>CO₂ 溶接特有のビード外観</p> <ul style="list-style-type: none"> *スラグ付着が多い。 *ビード幅両端部にビラビラが多い。 また、周囲へのスパッター飛散も多い。 *余盛が高く、外観が劣る。
<p>No.2</p> <p>CO₂ + 10% O₂</p> <p>電流：205A</p> <p>電圧：22.2V</p> <p>YGW-12 Φ1.2</p>		<p>CO₂+O₂ ガスによるビード外観</p> <ul style="list-style-type: none"> * CO₂+O₂の酸素リッチなガスにより溶接金属が強い酸化雰囲気さらされ、FeO-SiO₂-MnOの生成が進行し、台形型の平坦なビードを形成。
<p>No.3</p> <p>Ar + 20% CO₂</p> <p>電流：208A</p> <p>電圧：21.2V</p> <p>YGW-16 Φ1.2</p>		<p>通常マグガスによるビード外観</p> <ul style="list-style-type: none"> * CO₂ 100%に比べ、アークの集力が緩和され、分散するので、穏やかな溶滴移行となる。 * 一方、熔融池の揺動も少なく、安定的なビードを形成する。
<p>No.4</p> <p>Ar + 2% O₂</p> <p>電流：225A</p> <p>電圧：20.3V</p> <p>YGW-16 Φ1.2</p>		<p>ミグガスの中でもO₂ (%) が比較的少ない混合ガスによるビード外観</p> <ul style="list-style-type: none"> * 酸素量が少ないためビード両端のクリーニングゾーンが形成され、かつアーク不安定によるビード波目の不連続がある。

<p style="text-align: center;">No.5</p> <p>Ar : CO₂ : O₂ (77 : 20 : 3)</p> <p>電流 : 209A 電圧 : 20.8V YGW-16 Φ1.2</p>		<p>三元ガスによるビード外観</p> <p>*O₂を3%混合しているため、アークの集中度はマグガスに比べアップ。一方、酸素効果でビード幅が広がる傾向。反面スパッターはやや発生しやすい。</p>
<p>溶接固定条件 :</p>	<p>マグ短絡移行 短絡移行用溶接電源 ワイヤ送給速度 5.9m/分 速度 80cm/min 普通鋼板 3.2 t</p>	

▲ 図 042-01 各種シールドガスがビード外観におよぼす影響

(1) 炭酸ガス (例 ; CO₂ 100%)

図 042-01 のNo.1 に CO₂ 100%条件のビード外観を示す。CO₂ 溶接特有のビード外観を呈し、必ずしも美しい外観ではない。スラグ付着が多く、ビード幅両端部にビラビラ状のものが認められる。これは CO₂ ガスによるアークの集中度が増大し、熔融池へのアーク力などが増加した結果と考えられ、周囲へのスパッター飛散も多くなる。また、余盛もやや高く、総合評価として劣るビード外観になっている。

(2) 炭酸ガス+酸素 (例 ; CO₂ + 10%O₂)

図 042-01 のNo.2 に CO₂+10%O₂ 条件のビード外観を示す。現行では CO₂+O₂ の混合ガスは殆ど使用されていないが、シールドガスのビード形成性への影響を理解する上で大変役立つと考え加えることにします。CO₂+O₂ の混合ガスでは、酸素リッチなため、溶接金属が強い酸化雰囲気さらされ **FeO-SiO₂-MnO** の生成が進行し、台形型の平坦なビード形成となる傾向にあります。CO₂ ガスと同様 O₂ ガスもアクティブガスとして作用するため、アークを冷却し、集中度をアップし、スパッター発生を増加させる傾向にありますが、10% O₂ 以下の混合比ではそんなにスパッター発生は顕著ではありません。CO₂+O₂ ガスは大変特長あるビード外観を形成することを記憶にとどめておいて下さい。

(3) アルゴン+炭酸ガスの混合ガス

図 042-01 のNo.3 に Ar+20%CO₂ 条件のビード外観を示す。CO₂ 100%に比べ、アークの集中力が緩和され、分散するので、穏やかな溶滴移行となる。一方、溶融池へのアーク力、その他の作用も小さくなるので揺動も少なく、安定的なビードを形成する。

(4) アルゴン+酸素の混合ガス

図 042-01 のNo.4 に Ar+2%O₂ 条件のビード外観を示す。ミグガスの中でも O₂(%)が比較的少ない混合ガスによるビード外観例です。酸素量が少ないためビード両端のクリーニングゾーンが形成されることが特長で、かつ部分的にアーク不安定によるビード波目の不整が発生している。

(5) アルゴン+炭酸ガス+酸素

図 042-01 のNo.5 に Ar+20%CO₂+3%O₂ の三元ガス条件によるビード外観を示す。酸素ガスを 3% 混合しているので、アークの集中度はミグガスに比べアップ。一方、酸素効果でビード幅が広がる傾向にありますが、反面スパッターはやや発生しやすくなる。なお、これらの三元ガスは主に垂鉛メッキ鋼板の溶接に適用されるが、通常の普通鋼板の溶接に対しても酸素添加の効果がビード形成性の改善をもたらす、溶接速度向上にもつながります。

次話では引き続きガスの及ぼす溶け込み形状への影響について説明します。

以上。

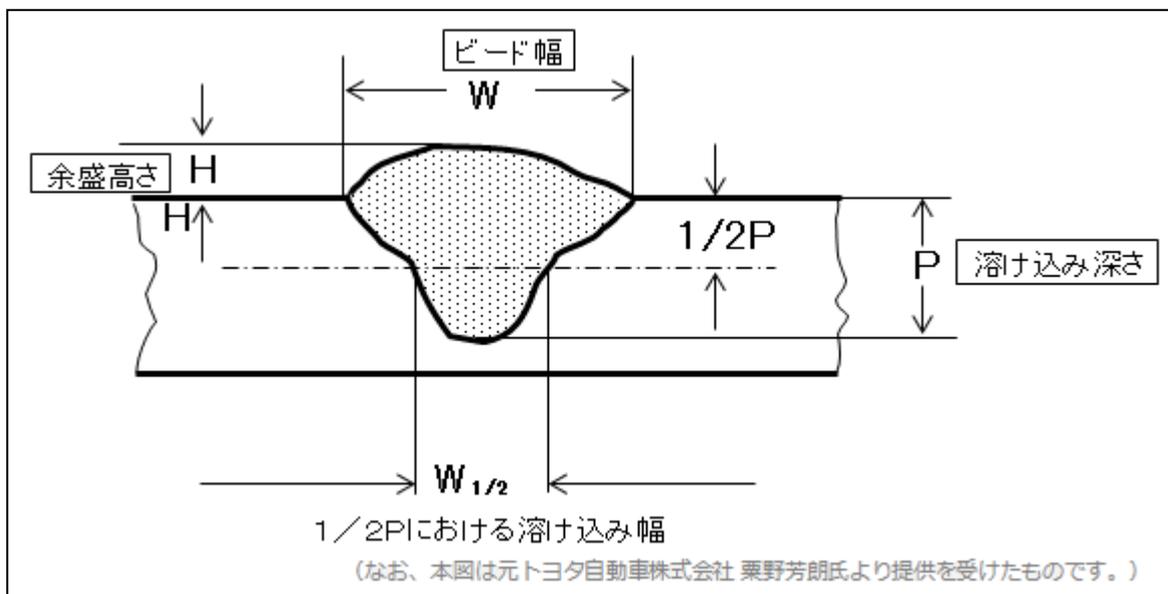
No. A042

アーク溶接 第 43 話 シールドガスとその取扱い(4)

シールドガスの種類と選択(3)・・・溶け込み形状、溶け込み深さへの影響 担当 高木柳平

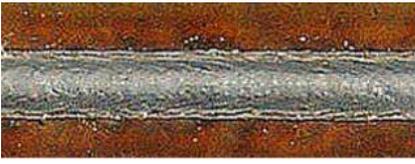
2016年 2月 1日

溶け込み形状、溶け込み深さに求められることは図 043-01 に示すビードオンプレートにおけるビード断面形状の定義より、ビード幅 W が適正に広く、余盛高さ H も適正な高さを有し、溶け込み深さ P は適正に深く、かつ溶け込み深さ P の $1/2$ における溶け込み幅 $W_{1/2}$ が相対的に広いことです。



これらの点に関し、前話のビード形成性の説明と同様にここでは CO_2 をはじめ 5 種類の代表的なガスについてそれらの及ぼす影響を図 043-02 に従って概要を述べる。勿論、溶接電源、溶接ワイヤ、溶接条件および溶滴移行の違いなどの諸要因の影響も大きいことは言うまでもありません。

シールドガス条件・ 他	溶接ビード外観 (ビードオンプレート法による)	ビード断面形状	ビード幅×余盛高さ×溶け込み深さ (単位 ; mm)
No.11 CO_2 100% 電流 : 205A 電圧 : 22.2V YGW-12 Φ 1.2			6.2×1.84×1.87 CO_2 溶接によく見られる溶け込みが深く、たまご型の溶け込み形状を示す。一方、ビード幅はやや狭い。

<p>No.12</p> <p>CO₂ + 10% O₂ 電流 : 205A 電圧 : 22.2V YGW-12 Φ1.2</p>			<p>8.0×1.37×1.74</p> <p>CO₂ + O₂混合ガスによる酸素リッチのガスによりビード形状は台形型であり、余盛高さはフラット。</p>
<p>No.13</p> <p>Ar + 20% CO₂ 電流 : 221A 電圧 : 21.5V YGW-16 Φ1.2</p>			<p>6.9×1.87×1.91</p> <p>マグガスによる典型的なビード断面形状を示す。ビード幅は適正に広く、余盛高さは適正で、かつ溶け込み深さはフィンガー形状とならず良好。</p>
<p>No.14</p> <p>Ar + 2% O₂ 電流 : 225A 電圧 : 20.3V YGW-16 Φ1.2</p>			<p>6.6×1.65×1.74</p> <p>ミグガス特有の溶け込み形状を示す。いわゆるフィンガー形状に近い。一方余盛高さは低いがビード幅も広がらない傾向を示す。</p>
<p>No.15</p> <p>Ar : CO₂ : O₂ 電流 : 211A 電圧 : 22.8V YGW-16 Φ1.2</p>			<p>7.0×2.07×1.85</p> <p>三元ガスによるビード断面形状を示す。ビード幅は広く、余盛高さも高い。溶け込み形状、深さともほぼ良好。</p>
<p>溶接固定条件 :</p>	<p>マグ短絡移行 短絡移行用溶接電源 送給速度 5.9m/min 速度 80cm/min 普通鋼板 3.2 t</p>		

▲ 図 043-02 各種シールドガスが溶け込み形状におよぼす影響

(1) 炭酸ガス(例 ; CO₂ 100%)

図 043-02 のNo.11 に CO₂ 100%条件のビード断面形状を示す。CO₂ 溶接特有の断面形状を呈し、溶け込み深さが深く、ビード幅は狭い傾向。なお、溶け込み形状は**たまご型**で良好です。

(2) 炭酸ガス+酸素 (例 ; CO₂ + 10%O₂)

図 043-02 のNo.12 に CO₂+10%O₂ 条件のビード断面形状を示す。現行では CO₂+O₂ の混合ガスは殆ど使用されていないが、シールドガスのビード断面形状への影響を理解する上で大変役立つと考え加えることにします。CO₂+O₂ の混合ガスでは、酸素リッチなため、溶接金属が強い酸化雰囲気さらされ Si、Mn の協同脱酸による化学反応が強く生ずるため、それらの反応熱により台形型の平坦なビード形成と同時に溶け込み幅 1/2 のビード幅 $W_{1/2}$ が広い傾向になるのが大きな特長です。要するにビードずれを生じた場合にもずれ量 (mm) に対し有効溶け込み深さ(mm)の減少を軽減できるため溶け込み深さが最重要視される対象には近年まで好んで適用されてきた経緯があります。

(3) アルゴン+炭酸ガスの混合ガス

図 043-02 のNo.13 に Ar+20%CO₂ 条件のビード断面形状を示す。マグガスによる典型的なビード断面形状で、ビード幅は適正に広く、余盛高さは適正で、かつ溶け込み深さはフィンガー形状とならず良好です。マグガスの場合、溶接電流が 250A を越えるとアーク電圧にも依存するが溶滴移行ガスプレー化し、溶け込み形状が急激に変化する。これらの臨界電流と呼ばれる電流付近での条件選定は避け、200A 台前半の電流選定と遅めの溶接速度、あるいは 300A を越す電流選定と早めの溶接速度選定の組合せのいずれかを選定することが望ましい。

(4) アルゴン+酸素の混合ガス

図 043-02 のNo.14 に Ar+2%O₂ 条件のビード断面形状を示す。ミグガスの中でも O₂(%)が比較的少ない混合ガスによるビード断面形状例で、ミグガス特有の溶け込み形状を示す。いわゆるフィンガー形状に近く、溶け込み深さ 1/2 P の $W_{1/2}$ が狭い傾向を示す。一方余盛高さは低いがビード幅も酸素成分が不足で広がっていない。

(5) アルゴン+炭酸ガス+酸素

図 043-02 のNo.15 に Ar+20%CO₂+3%O₂ の三元ガス条件によるビード断面形状を示す。酸素成分が多いのでビード幅は広く、余盛高さはやや高いが溶け込み形状、溶け込み深さともほぼ良好。三元ガスは O₂ ガスの解離によって直接[O]が溶融金属に与えられるため、化学反応熱の発生も含めビード幅、W_{1/2} 幅とも広くなることに優位性があると考えられます。

次話では引き続き亜鉛メッキ鋼板の溶接におけるシールドガスの影響と効果について述べる。期待下さい。

以上。

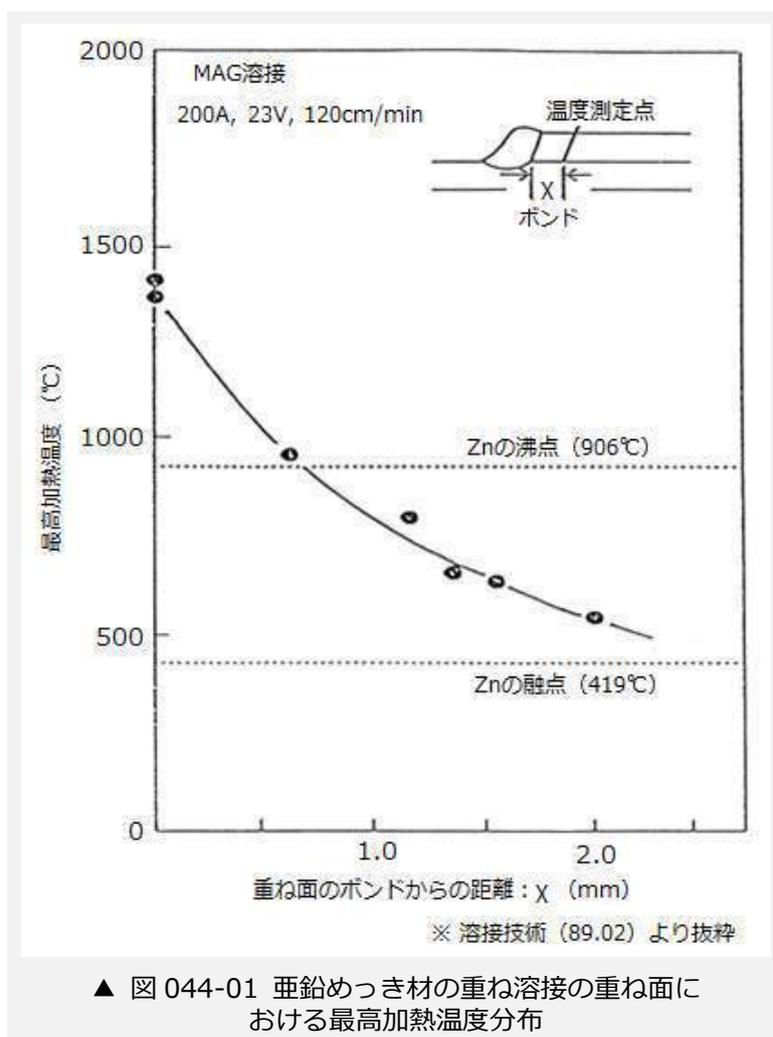
No. A043

アーク溶接 第44話 シールドガスとその取扱い(5)

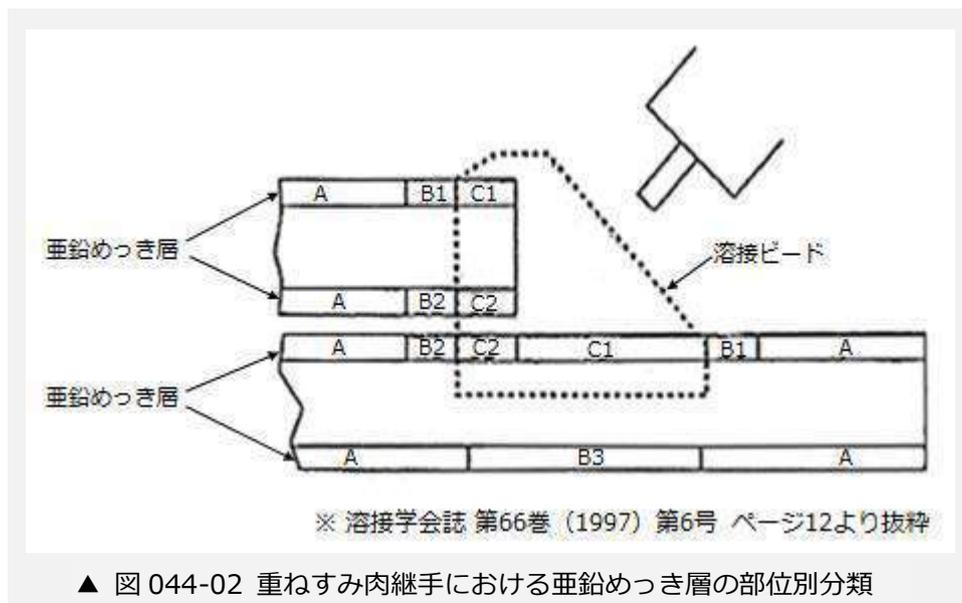
シールドガスの種類と選択(4)・・・亜鉛メッキ鋼板の溶接と混合ガスとしての酸素 担当 高木柳平

2016年2月8日

1980年代後半に亜鉛メッキ鋼板の溶接が自動車メーカーで重要な課題になりました。当時大同特殊鋼で溶接材料の研究に携わっていた筆者は、他の研究者とともに亜鉛メッキ鋼板溶接用マグワイヤの開発に取り組み、当初は何ら情報、知識もなく探索に苦心したことを思い出します。しかし、業界挙げての取り組みが進んだ結果、現在では亜鉛メッキ鋼材、溶接機器、ワイヤ、ガスおよび溶接施工の分野でほぼ技術確立された姿になってきました。亜鉛メッキ用として溶接ワイヤでは YGW-14 および YGW-17 に分類されたワイヤが好適であり、シールドガスでは CO_2 、 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ および $\text{Ar}-\text{CO}_2-\text{O}_2$ の三元系ガスが適用されている。一方、溶接法も CO_2 溶接、マグ溶接の他にパルスマグ溶接が多く適用されている。亜鉛の物理的性質の一つとして図 044-01 にみるように融点は 419°C と低いので溶融した状態で空気に触れれば空気中の O_2 と反応し ZnO の酸化亜鉛を生成し、これが白い粉末状を呈する。

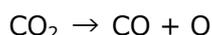


用途によっては裏ビードに生成する ZnO の白い粉末を避けなければならない場合が出てくるが、それらの対応としてはバックガスとして少量の CO₂ を流す対策が取られている。一方亜鉛の沸点は 906℃と低く、鋼の溶融・凝固段階で亜鉛は蒸気となり体積を急膨張させて溶融池に侵入型のブローホールを形成しやすくなります。図 044-02 は当時トヨタ自動車株式会社に在籍されて、現在も自動車部品溶接研究所を立ち上げ、活躍されている松井仁志氏による論文（溶接学会誌第 66 巻(1997)第 6 号）から抜粋したものです。両面亜鉛メッキ鋼板の重ねすみ肉溶接部のメッキ層部位別による考え方が示されており、大変参考になります。



亜鉛メッキ層「B2」に多く熱を入れたり、「B2」を多く溶融させたりすると亜鉛蒸気が多く発生し過ぎてスパッターの発生、ブローホール、ピットにつながりやすくなります。多くの亜鉛蒸気の発生源を作ってしまうと、その後でブローホール対策を行おうとしても手遅れです。事前に「B2」に熱を多く掛けないよう**トーチ狙い位置、狙い傾斜角およびトーチ前後角**に注意が必要となります。これらの前提において、「B2」部の亜鉛蒸気の抑制には酸素をシールドガスに 5%程度添加して、その昇華温度が鋼の融点より高い酸化亜鉛にすることが有用な手段と示されており、**酸素を混合した三元ガスが亜鉛メッキ鋼板の溶接には多く適用される根拠となっています**。一方、酸素は CO₂ の分解ガスからも供給できるから、わざわざ酸素を混合しなくてもよいではないかという考えも出そうです。

一般的にアークの高温下で CO₂ は以下のように解離します。

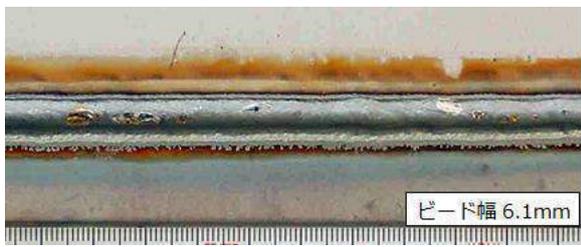
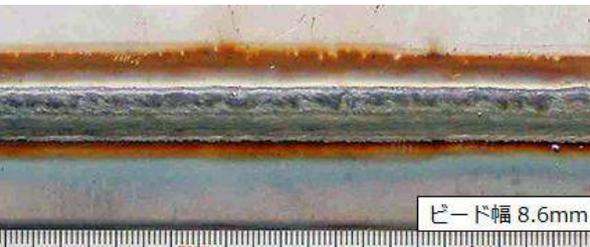


ここで発生した[O]が亜鉛蒸気と即反応して酸化亜鉛を形成すように考えられますが、実際には上述したバックガスの事例からもわかるようにこの[O]で酸化亜鉛は強く生成されません。一方、酸素ガスもアーク熱により以下のように解離します。



これらの解離[O]では経験上明確に、酸化亜鉛の生成が可能となります。ここに Ar+CO₂+O₂系などの混合酸素を含むシールドガスの、亜鉛めっき鋼板溶接における「優位性」が発生するのです。しかし、折角の3元系混合ガスにおける混合酸素の効果も溶接ワイヤとの組み合わせが悪いと、ワイヤ中の過剰な Si、Mn などの脱酸素素との結びつきによって失われ、酸化亜鉛[ZnO]生成への寄与度が減少しますので注意が必要になります。

図 044-03 に亜鉛めっき鋼板を上板とする重ねすみ肉におけるワイヤとガスの組合せによるビード外観の比較の一例を示す。

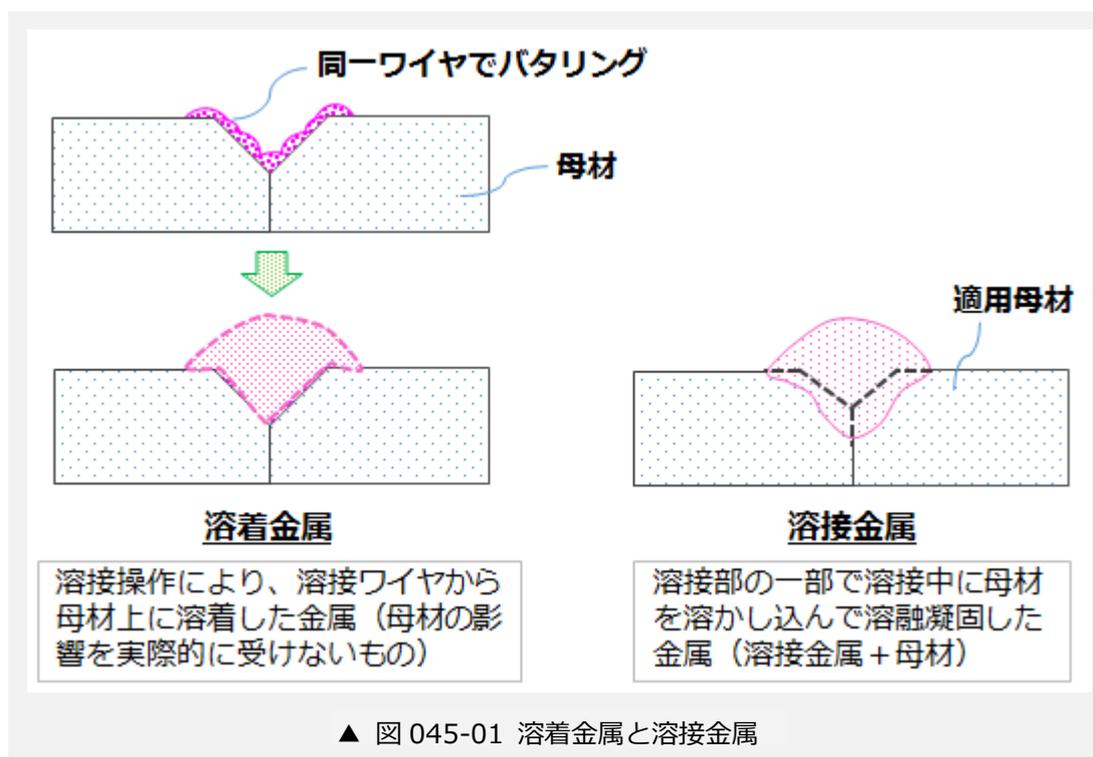
YGW16 1.2mm + マグガス (Ar+20%CO ₂)	YGW17 1.2mm + 3元系ガス (Ar+20%CO ₂ +5%O ₂)
	
<p>主な共通の溶接条件</p> <ul style="list-style-type: none"> * 溶接電流 ; 150A * アーク電圧 ; 25V * 溶接速度 ; 80cm/min * ワイヤ突き出し長さ ; 15mm * 母材 ; 上板側 2.0t 45/45 亜鉛めっき鋼板 下板側 2.0t 普通鋼板 * 溶接電源 ; デジタル制御パルスマグ溶接機 	
<p>▲ 図 044-03 溶接ワイヤとガスの組合せによる重ねすみ肉溶接時のビード外観比較 (アークロボット適用による)</p>	

通常の Ar+20%CO₂のマグガスと YGW-16 ワイヤとの組み合わせでは下板側にクリーニングアクションによるメッキ層の気化した領域が認められ、ビード幅が狭く、余盛高さの高いビード外観を示している。これに対し、三元ガスと YGW-17 の組合せでは、混合酸素の影響と思われる酸化亜鉛の白色粉末がビード表面に明確に現れ、かつ低脱酸素成分（主に Si が低いことを意味する）による効果と考えられるビードの広幅化が実現している。

このようにシールドガスの選択も母材を含め溶接ワイヤの成分を考慮することが必要となります。

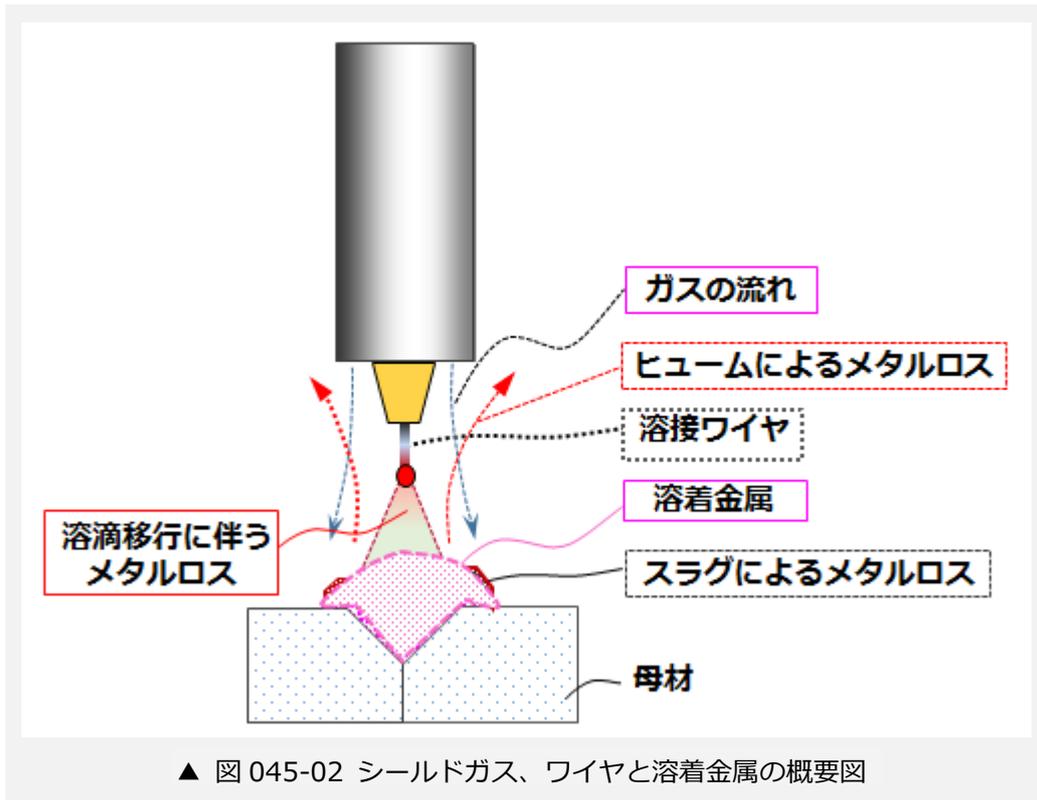
以上。

アークによって溶接ワイヤと母材を溶融し周囲からのシールドによって健全な溶接金属を得るガスシールドアーク溶接法では、適用されるワイヤとガスの組合せに明確な関係があるので、本稿ではそれらの基本的な考え方を説明します。最初に溶接技術用語で大切な「溶着金属」と「溶接金属」の違いを図045-01に示します。



溶着金属とは、事前に母材の影響が無視できるように同じ溶接ワイヤでパタリング溶接（バターを塗るという意味）した母材に、所定の溶接条件で溶着させた金属を言う。これに対し**溶接金属とは**、対象の溶接ワイヤを適用母材に所定の溶接条件で溶接し母材との希釈を生じさせ溶融、凝固した金属を言う。

ここでシールドガスの組合せによる影響を見てみましょう。図045-02にシールドガスと溶着金属の概要を示す。



溶接ワイヤがアークの熱を借り、周りから CO_2 、 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ などの酸化性のガスで被包されながら母材側へ移行する際、ワイヤの主な成分である Si, Mn などの脱酸性元素は溶融金属から浮上する**溶接スラグ**となり酸化減耗（**メタルロス**と言う）する。また、アーク空間中を移行する際に酸化物の形で**溶接ヒューム**となって飛散する、これも**メタルロス**となる。これらの**メタルロス**は、①シールドガスの酸化性が強い、②溶接電流が高い、③アーク電圧が高い（アーク長さが長い）などの場合に増加します。

一方、溶接部の強度は溶着金属の強度に比例しますので、シールドガスに何を適用しようとも「強度」を保証しなければなりません。

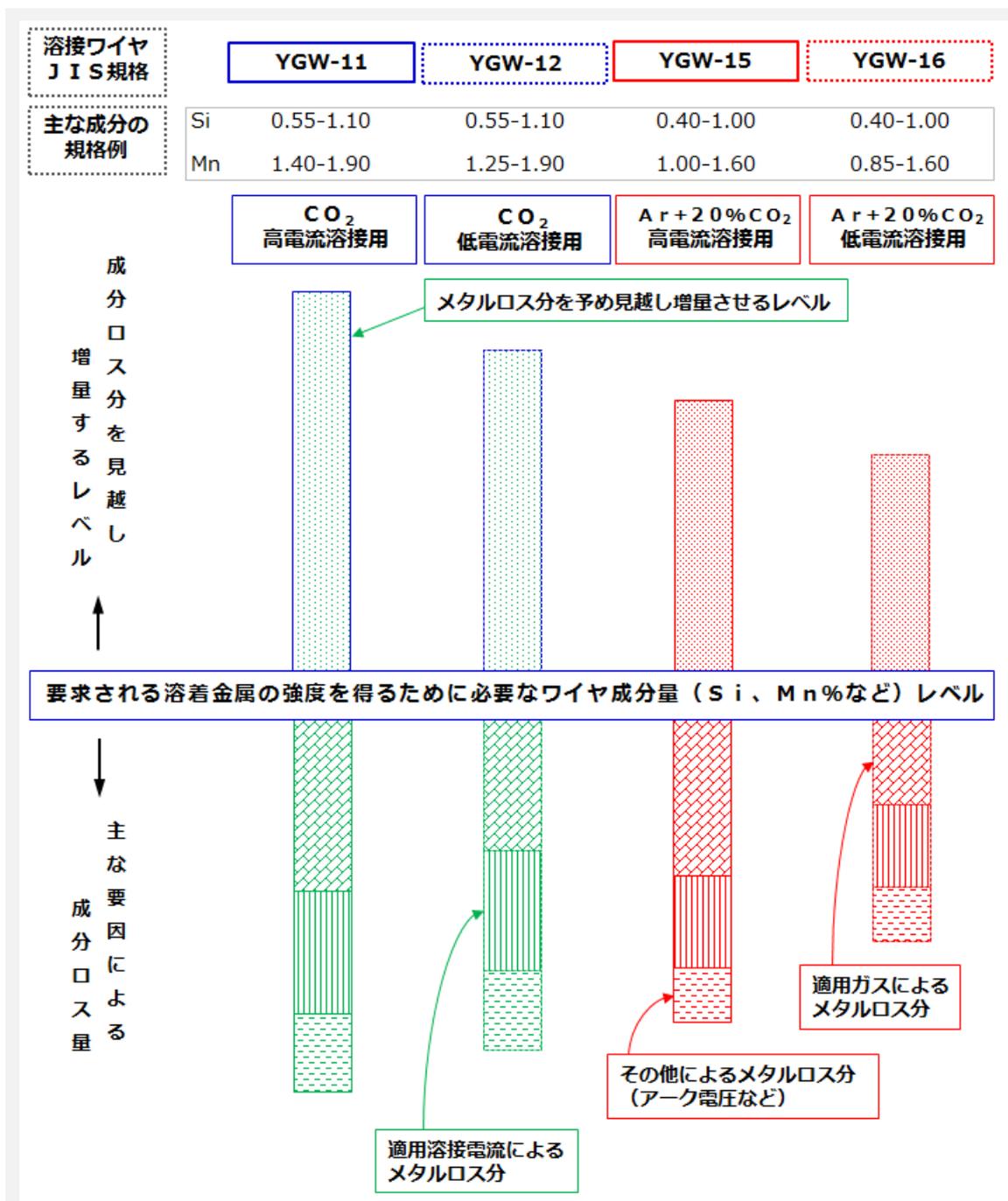
一般的に鋼の溶着金属の「強度」は「炭素当量 $C_{eq}(\%)$ 」に比例しますので、成分元素のメタルロスは直接強度に影響を与えます。

$$\text{炭素当量 } C_{eq}(\%) = C + 1/24\text{Si} + 1/6\text{Mn} + \dots$$

そこでこれらのメタルロス分を見越して予め成分元素を増量させることが溶接ワイヤには求められます。

逆に言えば、酸化性の少ないArリッチのガスで、低電流、低電圧で溶接する場合はメタルロスが少なくなりますので同一ワイヤでも成分元素の歩留まりが大きく、強度が高くなり過ぎる場合がでできます。この場合は、成分元素の増量分も少なくします。逆に酸化性が強く、高電流用ワイヤではメタルロス分が多くなるので、成分元素の増量分を多くします。

このような考え方で、ガスとワイヤの関係を検討するイメージを、**図 045-03** に示します。



▲ 図 045-03 シールドガスとワイヤ化学成分の関係、考え方、イメージ図

このような関係を知ることにより、溶接品質、強度、機械的性質などに関係する一例として「化学成分」がありますが、その**化学成分**一つをとっても「ワイヤの化学成分」「溶着金属の化学成分」「溶接金属の化学成分」と言うように夫々違いがあり、かつ適用した溶接電流、アーク電圧、溶接速度、ガスの種類などの溶接条件によって違いが出ることに着目して下さい。

以上。

No. A045

Ar+CO₂系マグガスなどの混合比はアークに及ぼす影響も大きく、かつガス費用からも考慮が必要ですが、ここではAr+CO₂系混合ガスのアーク現象、とりわけ溶滴移行に及ぼす影響について説明します。

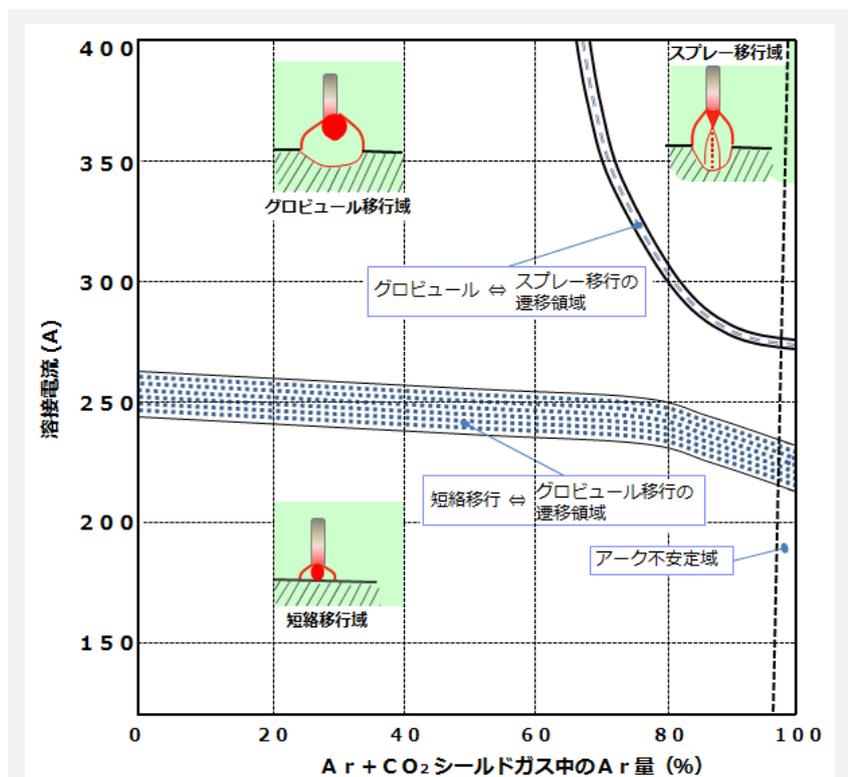
一般的にAr+20%CO₂に代表されるマグ溶接法ではパルス制御を行わない通常マグ法とパルスマグ溶接法に分けることができ、両法とも実用的には大変多く適用されている。そこで以下のように二つに分け、適用領域の考え方について説明します。

1) 通常マグ法と混合ガス、溶滴移行

図046-01に、Ar+CO₂系混合ガスにおける溶接条件と溶滴移行形態の関係を示す。

溶滴移行現象は主に**短絡移行**、**グロービュール移行**および**スプレー移行**の3つの形態があります。

まず最初は何と言ってもCO₂ 100%における考えからです。現行のフルデジタル溶接機であれば性能に優れた短絡移行溶接が可能です。250A近辺の電流域は短絡移行からグロービュール（塊状）移行への遷移域でスパッター発生も多く推奨はできません。300Aを越えれば安定したCO₂グロービュール溶接が可能となります。要するに機器の進展によりスパッター発生が緩和されたとは言え250A前後では溶滴移行性が劣るので避けることが望ましい。その代替として、例えば220-230Aで溶接



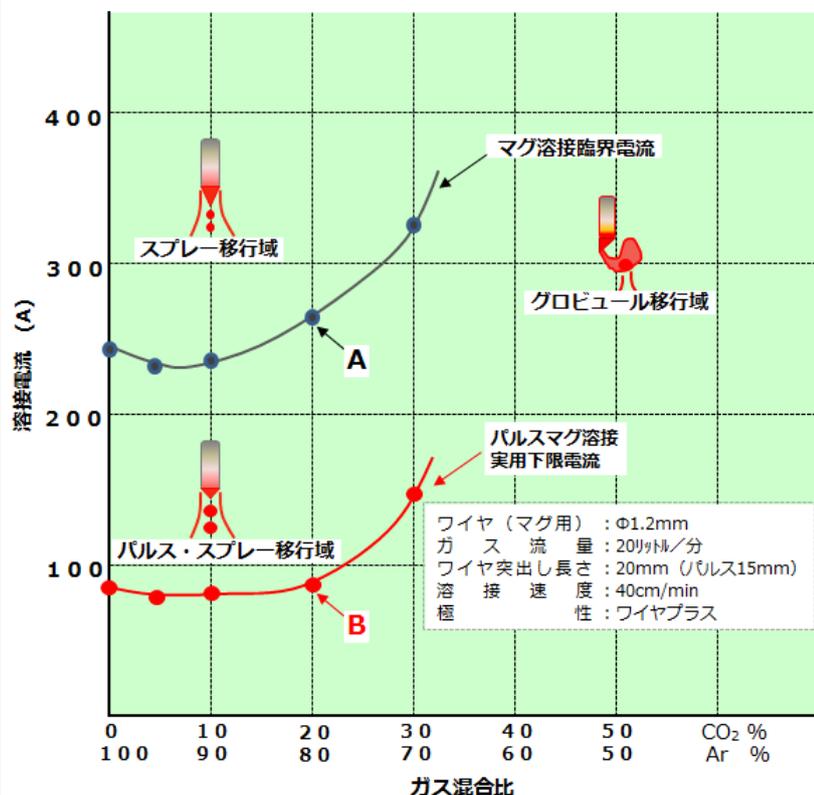
▲ 図046-01 溶接条件と溶滴移行形態

速度をやや遅くし、逆に 300-320A と高電流にして溶接速度を早くするなどの方策をお奨めします。混合ガスの場合、理論上は Ar 30%以上の混合率で効果があるように言われていますが、実際の現場では少なくとも Ar 60%以上が必要で、私見ですが Ar 70%は欲しいところです。短絡移行で CO₂ ガスを混合することの利点はアークの集中力が高まることです。弱点は CO₂ ガスの急膨張および反力の作用による溶滴の大粒化、スパッターの発生の増大とスラグの生成が多くなることです。Ar の混合比が 70~90%の範囲では比較的アークが安定で、短絡⇔グロービュールの遷移領域以下の電流で良好な短絡移行条件となります。一方、短絡⇔グロービュールの遷移領域以上の比較的高い電流域ではグロービュール移行を呈しますが溶滴移行はスムーズでなく、適用は好ましくありません。グロービュール⇔スプレーの遷移領域以上の電流（臨界電流と呼ばれる）では、スパッター発生の殆どない、アーク音で言うと「ブ・・・ン」となり、そこにアーク電圧が少々低いと短絡が混ざり「ブーン・・・ジャ」という音で短絡の混ざり具合が聞き分けられます。代表的ガス組成は Ar+20%CO₂ ですが、Ar ガスの混合率の上限は 88~90%と考えて下さい。それ以上ではアークのフラツキが生じやすく、溶け込み深さも浅くなるので推奨できません。

2) パルスマグ溶接法と混合ガス、溶滴移行

図 046-02 には横軸に Ar と CO₂ のガス混合比を、縦軸に溶接電流を取り、Ar リッチな混合比におけるパルス移行可能な下限電流曲線およびパルスなしの条件におけるスプレー移行を生ずる臨界電流曲線を夫々示す。

しかし、実際には CO₂ が 0~10%の Ar リッチ側では、溶滴移行が可能となってもアークのフラツキが生じやすく、



▲ 図 046-02 アルゴンガスと炭酸ガスの混合比と溶滴の移行形態の関係(例)

溶け込みも浅く、かつ高電流ではフィンガー形状になりやすいなどの課題がでてきます。また、酸素成分が少ないのでビード形状に滑らかさを欠くなど適用に当たっては注意を要します。従ってパルスマグ溶接ではCO₂10~20%の混合比が望ましく、ワイヤ径Φ1.2で図に示すパルス下限電流以上で安定的なパルス溶滴移行を行うことができます。**パルスによる溶滴移行制御**は、低電流域では短絡移行をさせることなくアーク空間を規則的に小粒移行させるものであり、中・高電流域ではグロービュール移行を排除しスプレー移行と同等な美しい溶接ビードを得ることであります。なお、CO₂の混合比が30%と大きくなるとパルス下限電流およびマグ溶接臨界電流値が急激に増加し溶滴移行に大きな影響を及ぼすことに注意して下さい。

次回はシールドガスと一般的な混合装置について説明します。

以上。

No. A046

Ar+CO₂ 系マグ混合ガスを得るには主に以下の方法がある。そのひとつは Ar、CO₂ の各高圧ボンベや LGC (リキッドガスシリンダー) よりガス調整器、流量計を経て夫々適正なガス混合装置に接続し所定の混合比率のガスとして取り出す方法 次に、ガスメーカーで所定のガスを予め混合し、プレミックスガスとして供給を受けるもの さらには、タンクローリーにより運搬したガスを設置式貯槽である CE (コールドエバポレーター) に充填し専用の混合装置、工場内配管を経て溶接工程まで送られるものなどに分類できる。これらの方法により製造された混合ガスを溶接工程にて適用する場合、夫々の混合方式によって多少違いがあるが、概略以下の 2 項目に着目することが望ましい。

1) 混合ガスの流量について

ガス流量を考慮するとき、初期ガス、定常溶接時ガス、エンドガスの 3 つに分けることができる。初期ガスの流量に求められることは 穏やかな流れでアーク発生とその後の維持を阻害しないこと。アーク起動時は母材、ワイヤに加え周囲ガスも常温で冷えた状態にあり、アーク起動には都合がよくありません。従来の溶接用ガス調整器では初期ガス時オーバーシュートが生じていました。これらの現象を発生させると低電流域ではアーク起動性を悪くし、かつムダガスの発生となり好ましくありません。一方、エンド時ガス流量に求められることはアフターフロー (後流ガス) 時間終了後は直ちに流量ストップをしたいが従来の調整器では即座に流量をストップさせることができずムダガスの発生につながっていました。

また、定常溶接時ガス流量は 溶接電流に応じた流量制御は一般的にできません。高電流と低電流の溶接条件があれば高電流条件にガス流量を合わせることになり、低電流域のビードにも高流量条件を併用せざるを得ず、アークの安定化を損ない、かつムダガスとなっていました。このような観点から皆様の溶接工程におけるガス流量とその制御状況を 捉え溶接工程を振り返ってみてください。

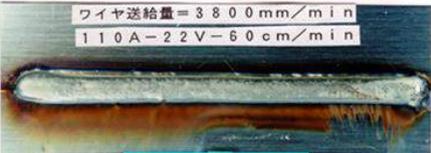
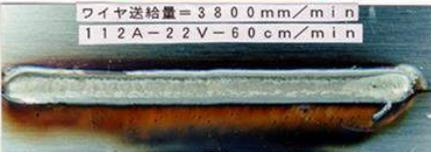
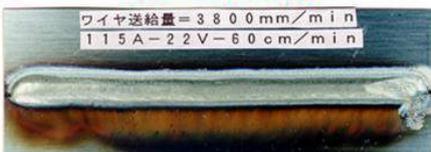
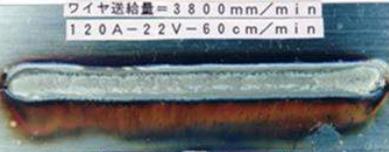
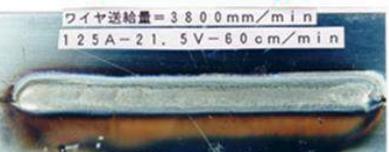
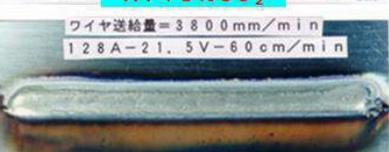
当社ではこれらの現状に鑑み、ガス流量と流し方に関し画期的な改善を可能とした「レギュラシステム」を販売しています。当社技術部主任の赤尾恭央がこの 2 月よりこの「溶接技術だより」に「レギュラシステム」に関し、取扱い、販売経験を活かして解説しています。参考にしてください。

2) 混合ガスの混合精度について

一般的に需要家サイドで混合が可能なガスの組合せは Ar+CO₂ 系で、精度良好な混合装置の力を借りれば Ar+O₂ も混合可能となります。また粗アルゴン + 炭酸ガスの 3 元ガスも適用可能となっています。ここで Ar+CO₂ 系を例にとって混合精度におけるビード外観への影響を説明します。図 047-01 はガス調整器に取り付けられた通称「Y 型混合器」と呼ばれるものを示す。この混合器を使用し、種々の混合比率で薄肉ステンレス鋼板重ねすみ肉溶接を行ったビード外観を図 047-02 に示す。

一方、「二種専用混合器」の外観例を図 047-03 に、同様にそれらのビード外観を図 047-04 に示します。

適用混合器と溶接ビード外観のバラツキ

 <p>▲ 図047-01 Y型混合器</p>	 <p>コタカ製混合器：MX-2S型 (Ar25l/min CO₂ 10l/min)</p> <p>▲ 図047-03 二種専用混合器</p>
<p>ワイヤ送給量=3800mm/min 110A-22V-60cm/min</p>  <p>Ar+20%CO₂</p> <p>ワイヤ送給量=3800mm/min 112A-22V-60cm/min</p>  <p>Ar+10%CO₂</p> <p>ワイヤ送給量=3800mm/min 115A-22V-60cm/min</p>  <p>Ar+5%CO₂</p> <p>ワイヤ送給量=3800mm/min 122A-22V-60cm/min</p>  <p>Ar+3%CO₂</p> <p>▲ 図047-02 SUS薄鋼板重ねすみ肉溶接と Ar-CO₂混合比率 使用混合器；Y型混合器</p> <p>コメント； 定常ビード部はCO₂混合比率の低下と共にクリーニングゾーンの幅が広がる。Ar+3%CO₂のビードのスタート側では混合精度の低下によりアルゴンガスが先に流れ、アークが酸化物を求めて這いずり回った結果、アーク不安定を生じている。</p>	<p>ワイヤ送給量=3800mm/min 115A-22V-60cm/min</p>  <p>Ar+20%CO₂</p> <p>ワイヤ送給量=3800mm/min 120A-22V-60cm/min</p>  <p>Ar+10%CO₂</p> <p>ワイヤ送給量=3800mm/min 125A-21.5V-60cm/min</p>  <p>Ar+5%CO₂</p> <p>ワイヤ送給量=3800mm/min 128A-21.5V-60cm/min</p>  <p>Ar+3%CO₂</p> <p>▲ 図047-04 SUS薄鋼板重ねすみ肉溶接と Ar-CO₂混合比率 使用混合器；二種専用混合器</p> <p>コメント； 定常ビード部はCO₂混合比率の低下と共にクリーニングゾーンの幅が広がる。二種専用混合器で、かつ二次圧調整を行うことが可能により良好な混合精度を得られる。Ar+3%CO₂のビードのスタート側でも混合率に見合った安定スタートが可能。</p>

これらを比較してみると明瞭にわかることは混合精度の劣る Y 型混合器ではアークスタート時および終了時の外観バラツキが明らかなです。二種専用の混合器では各々の 2 次圧を任意に調整できる結果アーク起動時より混合比率精度の良好なガスを送給でき、良好なビード外観が得られやすくなります。

Ar ガス比率が多めに流れればクリーニング幅の広いビードになり、CO₂ 比率が高くなればクリーニング幅の狭いビードになる事実をしっかりと把握すれば、溶接ビード外観の観察によって、混合ガスの混合率のバラツキ、変化に気付くことができます。是非参考にしてください。

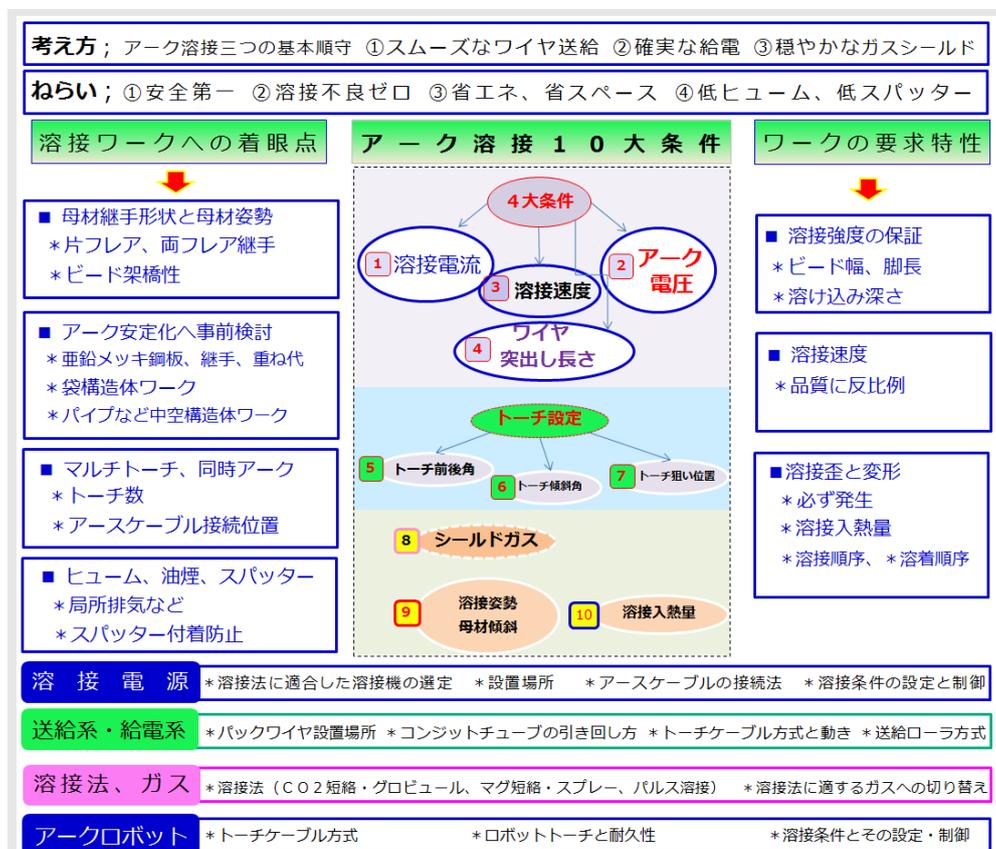
以上。

No. A047

本話より主題を「溶接条件の選定」に移します。溶接条件の選定と一口に言っても広範囲なため考え方として溶接条件選定を支える必要な予備知識、事前準備について筆者が多くの自動車部品メーカー殿に赴き見学、アドバイス、講習など行う中で気付いた諸点についてコメントをします。実際の溶接設備がどのように企画・設計・製造・試運転され生産準備を整えたか、整えられるべきかを予め知ることはとりわけ重要です。ここでは設備と言っても機械、電気、制御などには専門外のため触れません。あくまでアーク溶接技術、品質につながる観点からです。

とくにアーク溶接設備専門メーカーによる設計・製作であれば経験豊富でしょうが、ノウハウの持ち出しを敬遠するためなどの理由で自社設計、製作の部品メーカー殿にあってはアーク設備特有の留意点を見落とす場合がありますので参考になれば幸いです。

考え方の基本は、第 6 話の「アーク溶接三つの基本」をイメージしながら進めることが肝要です。図 048-01 にアーク溶接設備立ち上げに関する溶接技術側面からのチェックポイントを示します。



▲ 図 048-01 アーク溶接条件選定に当たって・・・必要な予備知識、事前準備

① **ねらい：品質不良を流出させたら社の命取りの時代です。**

「安全第一」の次に「品質不良ゼロ」を掲げました。また、品質不良が発生する背景には「ヒューム、スパッターの悪影響」があります。さらに電気、エア、水、ガスなど「省エネ、省スペース」にも取り組みが欠かせません。

② **溶接品（ワーク）への着眼点を磨く。**

設備立ち上げ段階から、ワークが必要とする品質特性を満足させるため個々の溶接で「見落とし」はないか事前検討し、新設備に反映させることです。

以下にそれらの対象事例を2，3示します。

②-1 **母材継手形状と母材姿勢**

溶接ではしばしば**溶接架橋性**という表現をします。パイプ部品が溶接対象になると片フレア、あるいは両フレアと呼ばれる継手形状になります。これらの継手を有するワークを下向姿勢で溶接すると溶接金属が片側に寄り架橋性を害することがあり、ワイヤ狙い位置がシビアになります。緩和策としては**ワークを傾斜させてトーチ前後角を後退角サイドにして「湯の先流れ」に留意しながら施工**することが望ましいと考えられます。

②-2 **袋構造体の溶接**

3方向が立体的に囲まれた袋構造体の部品がしばしば溶接対象になります。このようなワークの場合スパッターの発生が懸念されます。ガス流量制御などの機能を設備に持たせたり、トーチ後退角の採用により袋構造体の奥側から開放側へトーチ走行させることが望ましい場合があります。

②-3 **丸パイプなどの中空構造体の縦継ぎ溶接**

ポンベの縦継ぎ溶接、テーパボールの溶接、プレスで折り曲げ角形に縦継ぎ溶接する場合などにしばしば顕われるアーク不安定は**磁気吹き**と称され、己の溶接電流で生じた磁力でアークが乱される現象。これらの構造体を溶接対象とする場合は事前に治具設備に**磁気吹き対策**を行う必要があります。

②-4 **重ねすみ肉垂鉛メッキ鋼板と重ね代**

通常を重ねすみ肉垂鉛メッキ鋼板の溶接では、重ね代が少なくとも5 mm 以上あるものとして説明されます。その場合は重ね部の垂鉛メッキ部を極力温度上昇させない条件が推奨されます。しかし重ね代が2 mm 程度に狭くなると温度上昇させても**溶接部と反対側に垂鉛蒸気**のガスが抜けて**ブローホール感受性が低下**します。また、二枚重ねで下板の出代(mm)が2 mm など短い場合は伝熱が行き止まり逆に**下板垂鉛メッキ母材の温度上昇**につながり**ブローホール感受性を高めたり**します。重ね代、継手形状によって溶接結果を左右されるので事前に溶接部をしっかりと観察しながら、事前トライすることが求められます。

次回も続編として「溶接条件の選定にあたって必要な予備知識、事前準備」について記します。

以上。

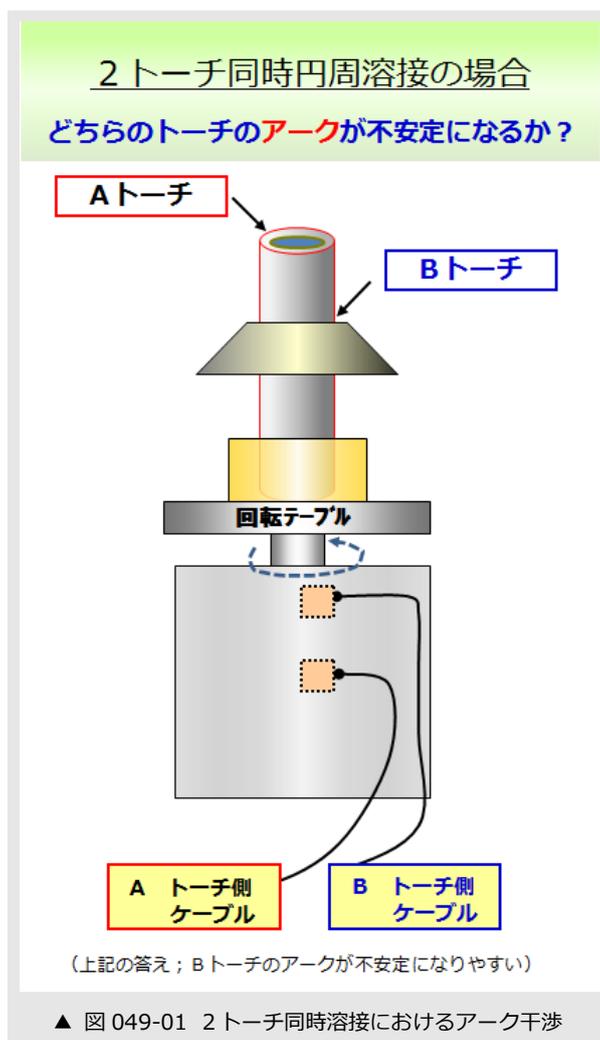
No. A048

「溶接条件の選定にあたって必要な予備知識、事前準備」に関し前話より続けます。

②溶接品（ワーク）への着眼点を磨く（参照 第 48 話 図 048-01）

②-5 同時アーク、マルチトーチ

古い経験で恐縮ですが専用溶接機の時代に **18 本トーチ同時溶接**というマルチトーチ、マルチアークを検査員として対応したことがあります。ワークはコンクリート型枠、仕切板の立向下進すみ肉溶接で、他トーチからの干渉によるアーク異常に泣かされ、種々トライした結果、当時の先輩が発案したトーチ近傍の底板に個別にエアシリンダーでアースをとることにより解決できました。図 049-01 にみる 2 本トーチ同時アークは、円周溶接のためアースはブラシで回転軸にほぼ同一箇所に取り付けられています。さてどちらのトーチがアーク不安定になりますか。



正解は B トーチのアークが A トーチの溶接電流の作る磁界の妨げにより不安定になります。この場合も対策としては分割アースなど適宜対応する必要があります。考え方は A トーチ、B トーチの電流の流れを別個に干渉させないよう適切な絶縁方法、アース位置を考慮することです。また、干渉の度合いをチェックするには同時 2 本アークと個別 1 本アークとの比較によって判定します。

②-6 ヒューム、油煙、スパッターなど

溶接ワークには母材表面にプレス油など潤滑油が残存する場合が多い。これらを立向下進姿勢ですみ肉溶接を行うとします。下進溶接の先には底板がありトーチは前進角姿勢しかとれないと仮定します。このような場合は、**前進角のアークによる油煙の発生と吸い込みによりブローホールが発生**し対策に苦慮する所となります。ブローホールの主要因のひとつにガス、油煙の吸い込みがあり、これらを防止するには逆にやや後退角で立向下進溶接姿勢がとれるようにワークを配置することが必要で、事前検討の段階でクリアしましょう。

③ 溶接電源選定にあたって

③-1 溶接法に適合した溶接機の選定

アークロボットと共に溶接電源も機器メーカー推奨品が適用されている。ここでは少々留意した方がよい点を以下に記します。

最近の溶接電源は制御の進展に伴って短絡移行も、パルス溶接もどちらも任意に選定可能となっている。当初から溶接法を複数切り替えで適用しようと計画する場合はこれら複合機が必要ですが、設備してから何れの溶接法に決めることは得策ではありません。**短絡移行機とパルス機では溶接機の「生まれ」が違います**のでどちらも同時に 100%満足を得ることはできません。結論的には**パルス溶接が主力の溶接電源は短絡移行溶接では、短絡移行専用機に比べ劣ります**。よって、**最初から短絡移行溶接を見込んでいるのであれば、パルス仕様を含んだ高価格の溶接機を購入することはありません**。購入前に溶接法を決定し、それに見合った溶接機を設備して下さい。

③-2 溶接電源の設置場所

結論的には溶接工程内に溶接電源を設置しないことです。一度溶接機がヒューム、油煙、スパッターを吸い込み溶接電源内を汚すと元には戻せません。常に不定愁訴に悩まされます(図 049-02 参照)。



③-3 アースケーブルの接続方法

溶接電源二次ケーブルは太目、短め、ぐるぐる巻きにしないことです。しかもアースケーブルの接続は治具でもワークの近くに確実に締め付けて接続することが必要です。前述②-5で触れましたようにアークの近くにエアシリンダーで直接アース接続を取るといった例にもありますように、メインのアースケーブルから各クランプ金具などに**分割アース**を取ることによってアーク安定を増大させることもできます。

次回も「溶接条件の選定にあたって必要な予備知識、事前準備」について記します。

以上。

No. A049