

アーク溶接 第 41 話 シールドガスとその取扱い(2)

シールドガスの種類と選択(1)

担当 高木柳平

2016 年 1 月 6 日

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。

表041-01 ガスの物理的性質						
	A r	C O 2	O 2	N 2	H e	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

- アーク発生点（陰極点）の形成、安定化
- アーク集中性の確保
- 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

- 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

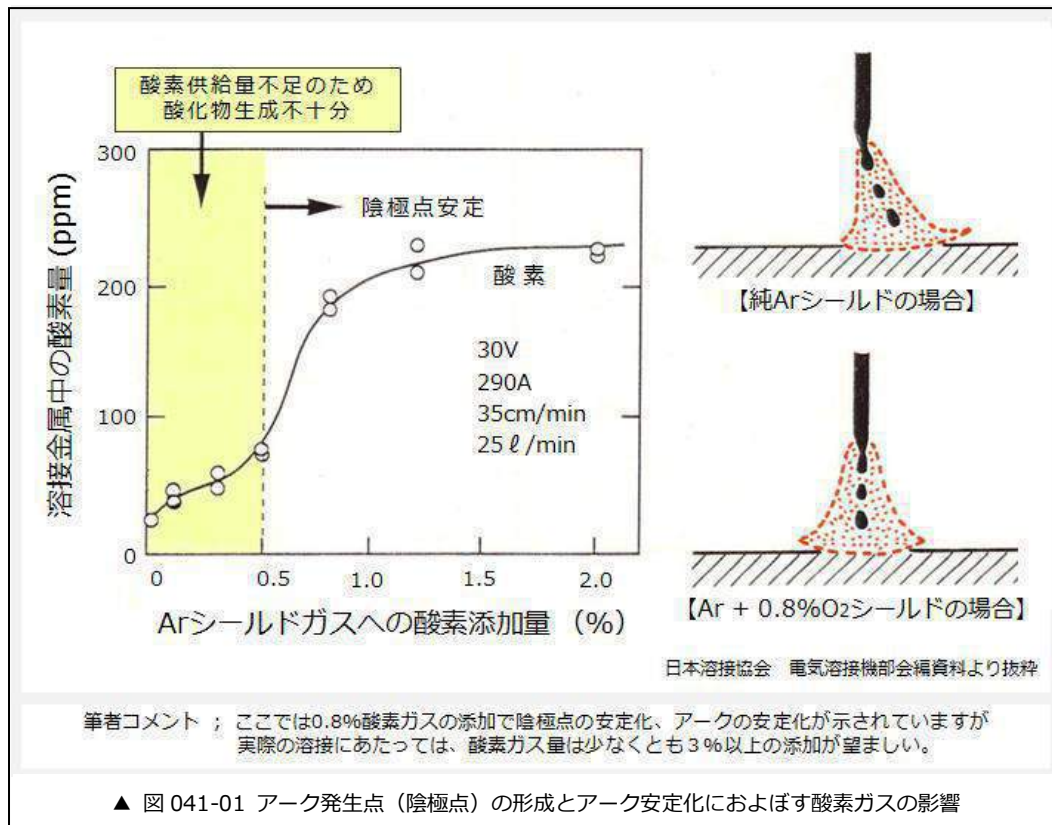
このようにガスは溶接金属のブローホール、機械的性質などの**溶接性**、アーク安定性、スパッターなどの**溶接作業性**およびビード外観、溶け込み形状などの**溶接品質**に深く関わっています。そのためガスの影響と効果を理解することが極めて重要になるのです。

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）。



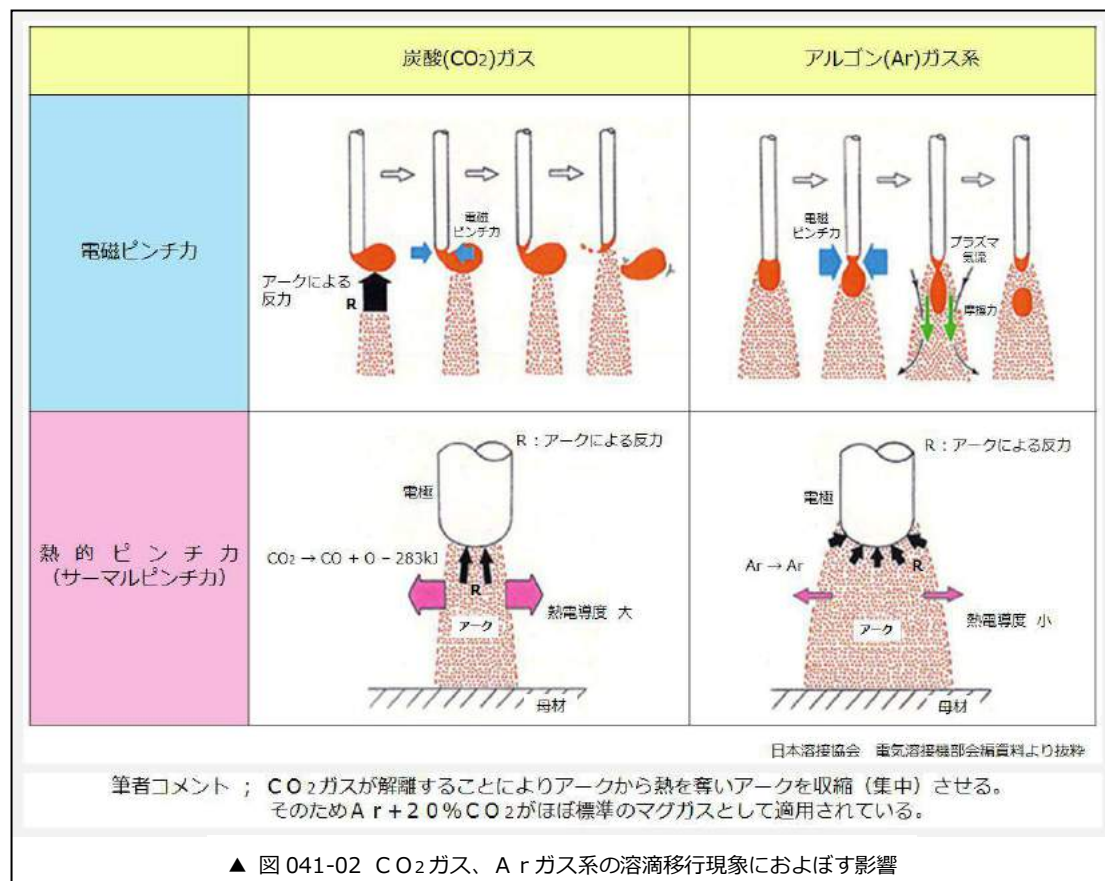
b.アーク集中性の確保

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易くなります(図 041-01 参照)。この事実をしっかりと把握して下さい。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
No.1 CO₂ 100% 電流：205A 電圧：22.2V YGW-12 Φ1.2		CO₂ 溶接特有のビード外観 * 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。
No.2 CO₂ + 10% O₂ 電流：205A 電圧：22.2V YGW-12 Φ1.2		CO₂+O₂ ガスによるビード外観 * CO ₂ +O ₂ の酸素リッチなガスにより溶接金属が強い酸化雰囲気にならされ、FeO-SiO ₂ -MnO の生成が進行し、台形型の平坦なビードを形成。
No.3 Ar + 20% CO₂ 電流：208A 電圧：21.2V YGW-16 Φ1.2		通常マグガスによるビード外観 * CO ₂ 100% に比べ、アークの集聚力が緩和され、分散するので、穏やかな溶滴移行となる。 * 一方、溶融池の揺動も少なく、安定的なビードを形成する。
No.4 Ar + 2% O₂ 電流：225A 電圧：20.3V YGW-16 Φ1.2		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 * 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。

No.5 Ar : CO₂ : O₂ (77 : 20 : 3) 電流 : 209A 電圧 : 20.8V YGW-16 Φ1.2		三元ガスによるビード外観 *O₂を3%混合しているので、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。
溶接固定条件 :	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	

▲ 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、溶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にならされ **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し、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。

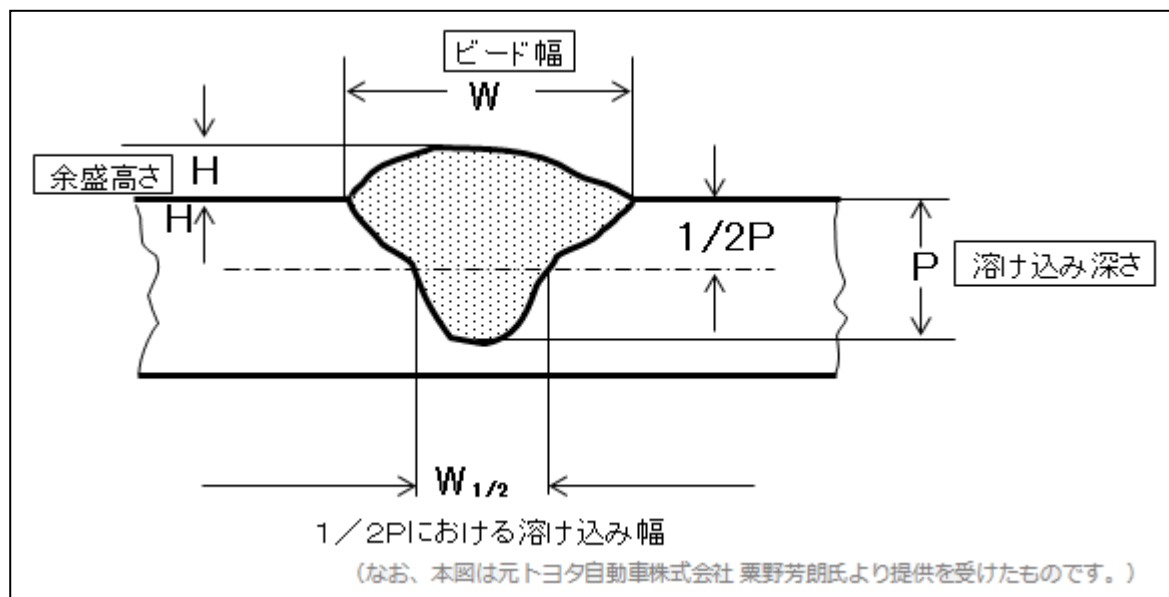
No. A042

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

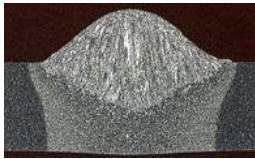
2016 年 2 月 1 日

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 $\Phi 1.2$			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。

No.12 CO₂ + 10% O₂ 電流 : 205A 電圧 : 22.2V YGW-12 Φ1.2			8.0×1.37×1.74 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。
No.13 Ar + 20% CO₂ 電流 : 221A 電圧 : 21.5V YGW-16 Φ1.2			6.9×1.87×1.91 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。
No.14 Ar + 2% O₂ 電流 : 225A 電圧 : 20.3V YGW-16 Φ1.2			6.6×1.65×1.74 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。
No.15 Ar : CO₂ : O₂ 電流 : 211A 電圧 : 22.8V YGW-16 Φ1.2			7.0×2.07×1.85 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。
溶接固定条件 :	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		

▲ 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 CO_2 100%条件のビード断面形状を示す。 CO_2 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 ; $\text{CO}_2 + 10\%\text{O}_2$)

図 043-02 のNo.12 に $\text{CO}_2+10\%\text{O}_2$ 条件のビード断面形状を示す。現行では CO_2+O_2 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。 CO_2+O_2 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にならされ 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 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 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 $\text{Ar}+2\%\text{O}_2$ 条件のビード断面形状を示す。ミグガスの中でも $\text{O}_2(\%)$ が比較的小さ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 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2+3\%\text{O}_2$ 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 O_2 ガスの解離によって直接 $[\text{O}]$ 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。

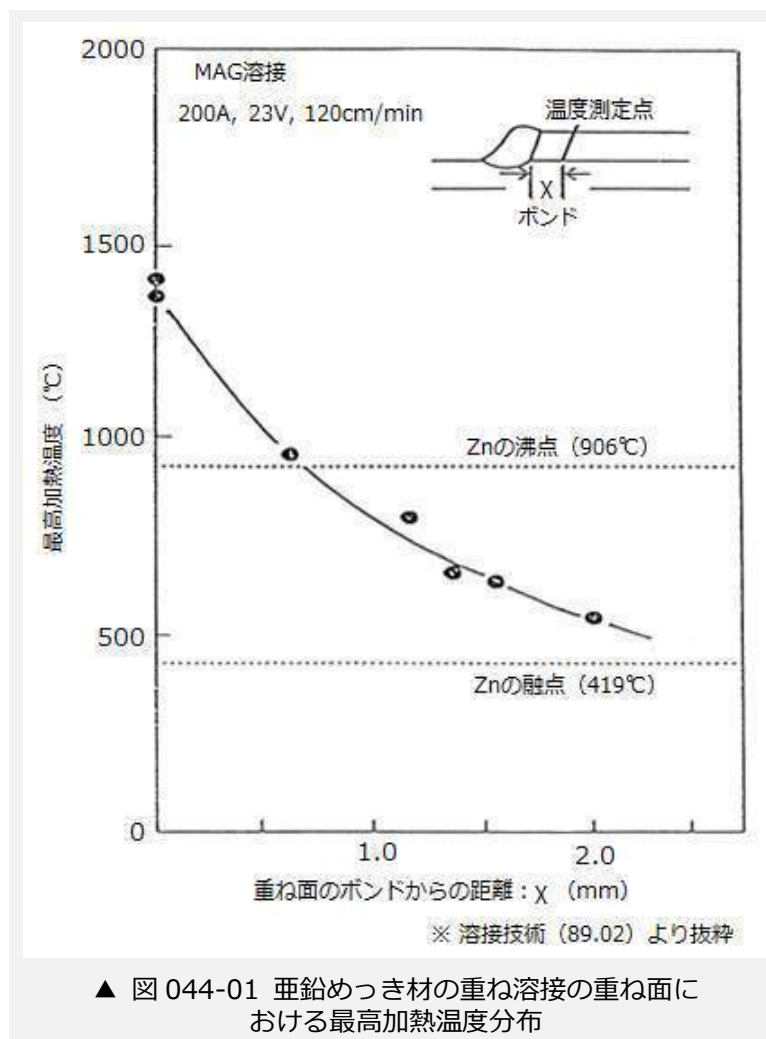
No. A043

アーク溶接 第44話 シールドガスとその取扱い(5)

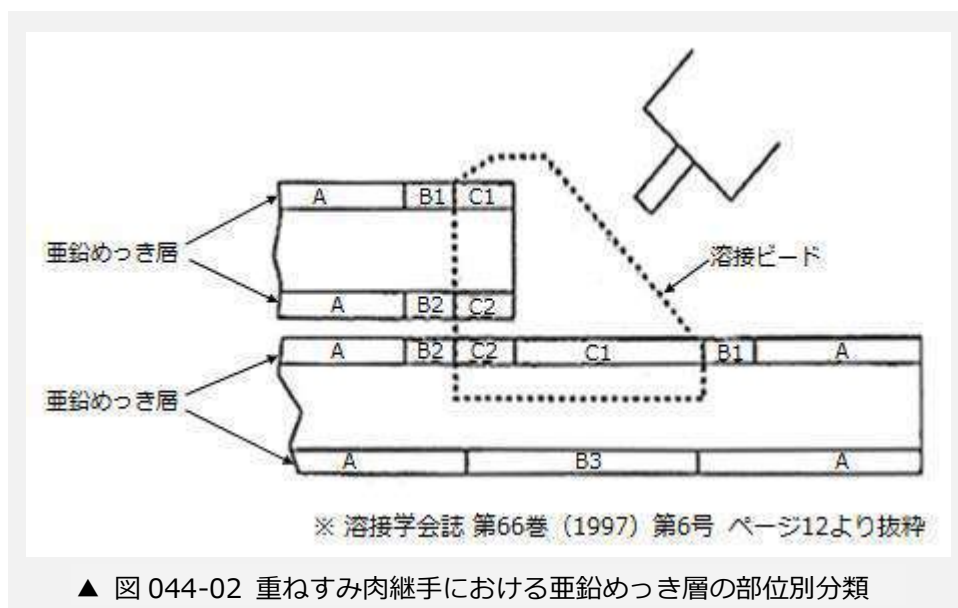
シールドガスの種類と選択(4)・・・亜鉛メッキ鋼板の溶接と混合ガスとしての酸素 担当 高木柳平

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。

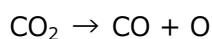


用途によっては裏ビードに生成する ZnO の白い粉末を避けなければならない場合が出てくるが、それらの対応としてはバックガスとして少量の CO₂ を流す対策が取られている。一方亜鉛の沸点は 906℃と低く、鋼の溶融・凝固段階で亜鉛は蒸気となり体積を急膨張させて溶融池に侵入型のブローホールを形成しやすくなります。図 044-02 は当時トヨタ自動車株式会社に在籍されて、現在も自動車部品溶接研究所を立ち上げ、活躍されている松井仁志氏による論文（溶接学会誌第 66 巻(1997)第 6 号）から抜粋したものです。両面亜鉛メッキ鋼板の重ねすみ肉溶接部のメッキ層部位別による考え方が示されており、大変参考に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

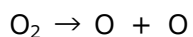


亜鉛メッキ層「B2」に多く熱を入れたり、「B2」を多く溶融させたりすると亜鉛蒸気が多く発生し過ぎてスパッターの発生、ブローホール、ピットにつながりやすくなります。多くの亜鉛蒸気の発生源を作ってしまうと、その後でブローホール対策を行おうとしても手遅れです。事前に「B2」に熱を多く掛けないよう**トーチ狙い位置、狙い傾斜角およびトーチ前後角**に注意が必要となります。これらの前提において、「B2」部の亜鉛蒸気の抑制には酸素をシールドガスに 5%程度添加して、その昇華温度が鋼の融点より高い酸化亜鉛にすることが有用な手段と示されており、**酸素を混合した三元ガスが亜鉛メッキ鋼板の溶接には多く適用される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

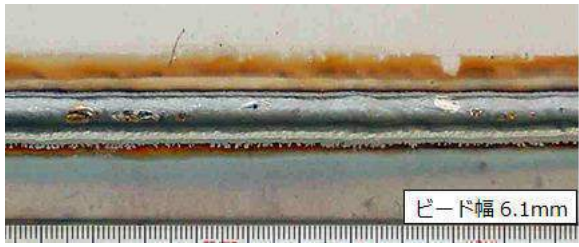
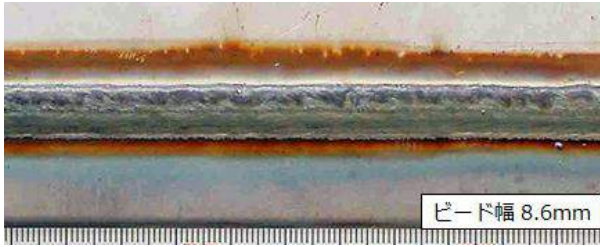


ここで発生した[O]が亜鉛蒸気と即反応して酸化亜鉛を形成するように考えられますが、実際には上述したバックガスの事例からもわかるようにこの[O]で酸化亜鉛は強く生成されません。一方、酸素ガスもアーク熱により以下のように解離します。



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)
	
主な共通の溶接条件 * 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	
▲ 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)	

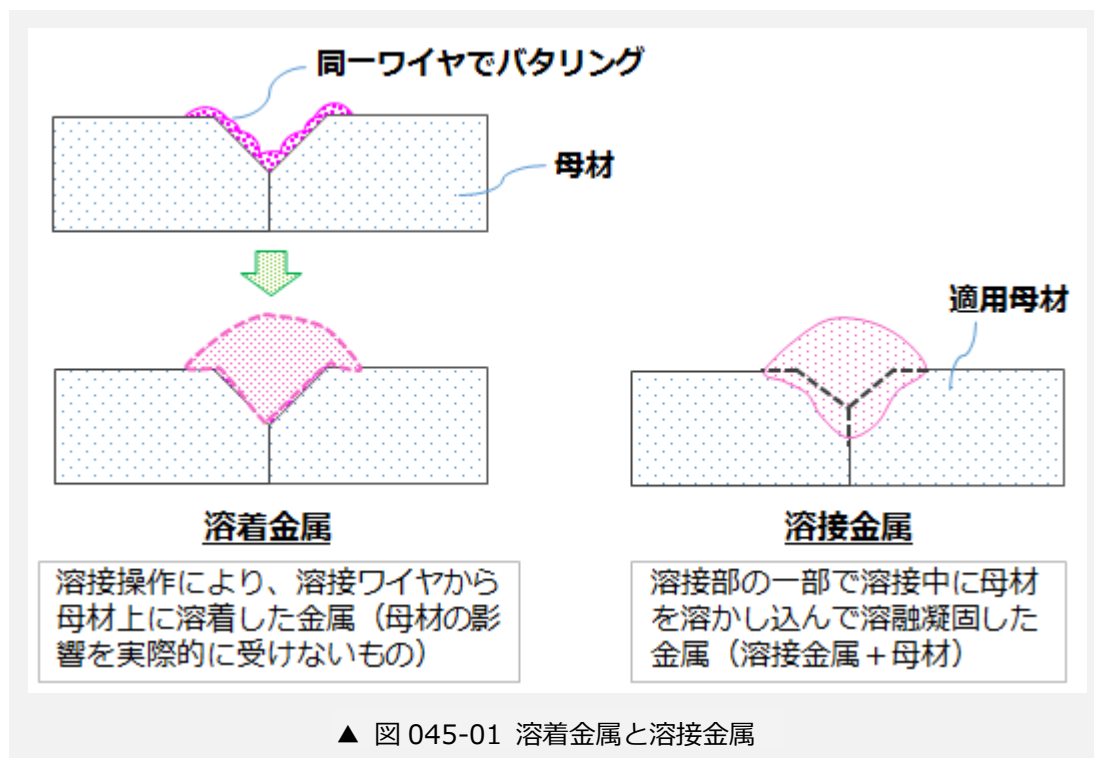
通常の Ar+20%CO₂ のマグガスと YGW-16 ワイヤとの組み合わせでは下板側にクリーニングアクションによるメッキ層の気化した領域が認められ、ビード幅が狭く、余盛高さの高いビード外観を示している。これに対し、三元ガスと YGW-17 の組合せでは、混合酸素の影響と思われる酸化亜鉛の白色粉末がビード表面に明確に現れ、かつ低脱酸素成分（主に Si が低いことを意味する）による効果と考えられるビードの広幅化が実現している。

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。

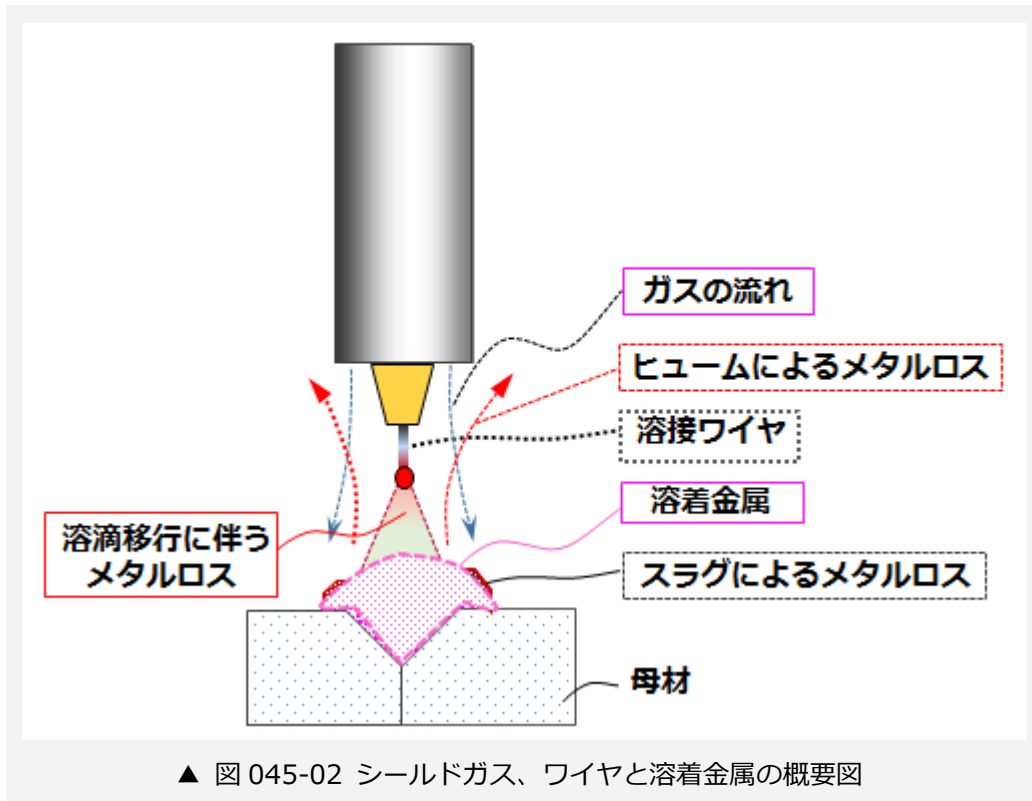
No. A044

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バタリング溶接（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。

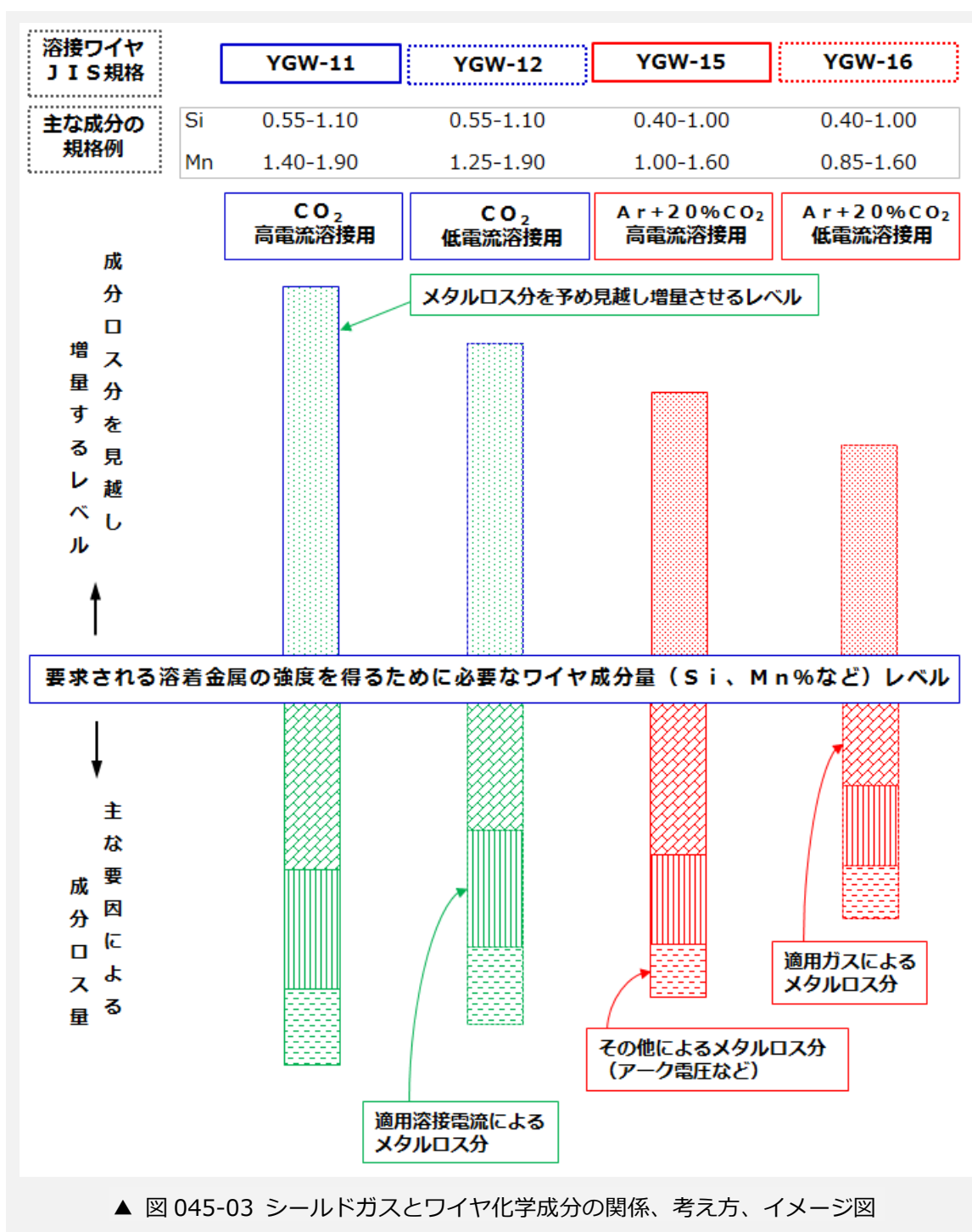
一般的に鋼の溶着金属の「強度」は「炭素当量 $\text{Ceq}(\%)$ 」に比例しますので、成分元素のメタルロスは直接強度に影響を与えます。

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

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。



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。

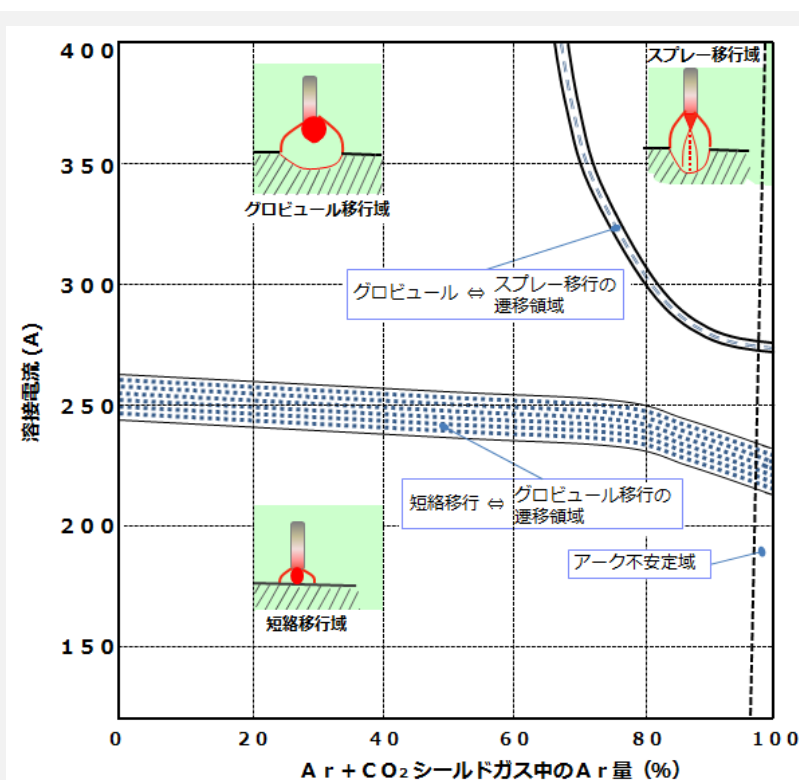
一般的に Ar+20%CO₂ に代表されるマグ溶接法ではパルス制御を行わない通常マグ法とパルスマグ溶接法に分けることができ、両法とも実用的には大変多く適用されている。そこで以下のように二つに分け、適用領域の考え方について説明します。

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%における考え方です。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



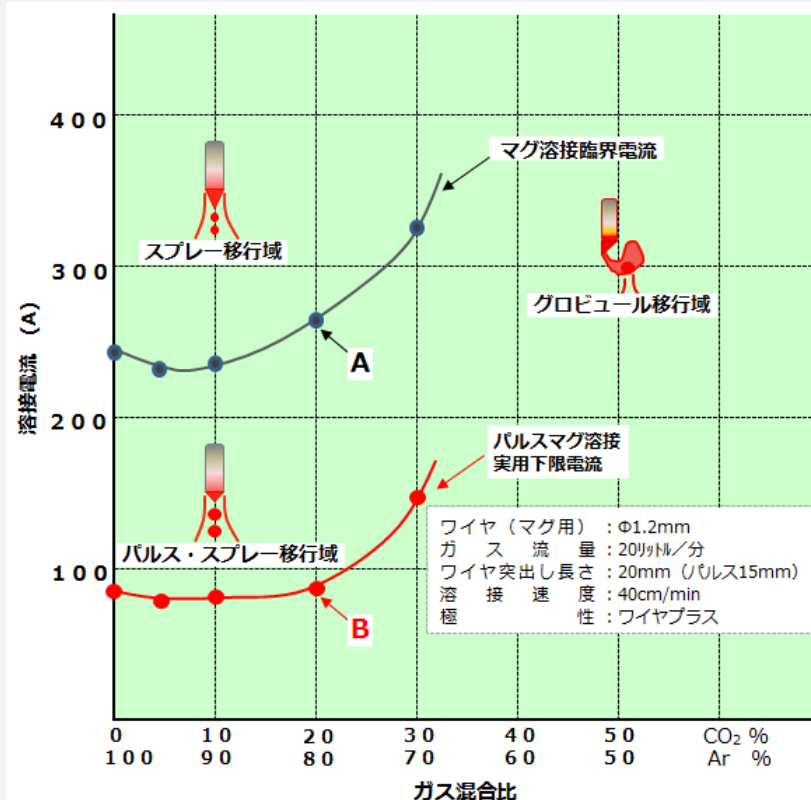
▲ 図 046-01 溶接条件と溶滴移行形態

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。混合ガスの場合は、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、スパッターの発生が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⇄グロビュールの遷移領域以上の比較的高い電流域ではグロ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、スパッター発生が殆どない、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。

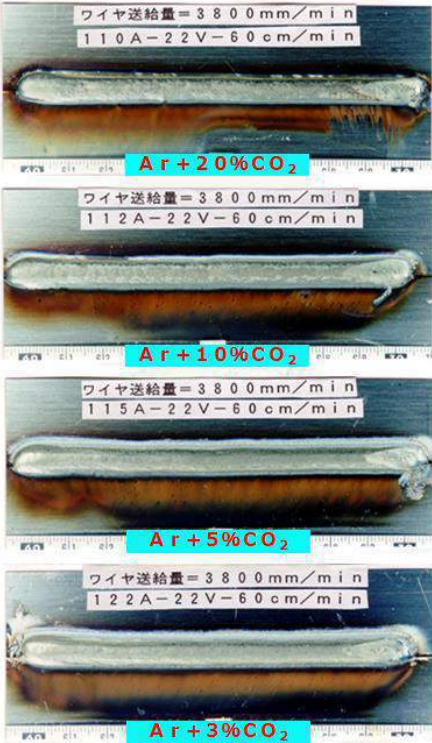
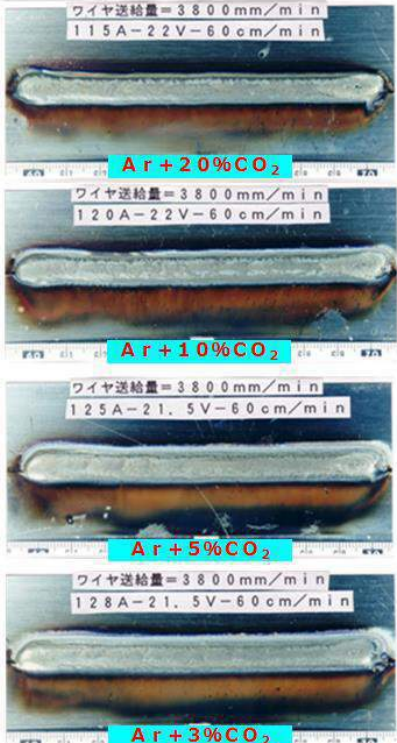
また、定常溶接時ガス流量は 溶接電流に応じた流量制御は一般的にできません。高電流と低電流の溶接条件があれば高電流条件にガス流量を合わせることであり、低電流域のビードにも高流量条件を併用せざるを得ず、アークの安定化を損ない、かつムダガスとなっていました。このような観点から皆様の溶接工程におけるガス流量とその制御状況を 捉え溶接工程を振り返ってみてください。

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、取り扱い、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 系を例にとり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	
 ▲ 図047-01 Y型混合器	 ユタカ製混合器：MX-2S型 (Ar25l/min CO₂ 10l/min) ▲ 図047-03 二種専用混合器
 ワイヤ送給量=3800mm/min 110A-22V-60cm/min Ar+20%CO₂ ワイヤ送給量=3800mm/min 112A-22V-60cm/min Ar+10%CO₂ ワイヤ送給量=3800mm/min 115A-22V-60cm/min Ar+5%CO₂ ワイヤ送給量=3800mm/min 122A-22V-60cm/min Ar+3%CO₂ ▲ 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 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。	 ワイヤ送給量=3800mm/min 115A-22V-60cm/min Ar+20%CO₂ ワイヤ送給量=3800mm/min 120A-22V-60cm/min Ar+10%CO₂ ワイヤ送給量=3800mm/min 125A-21.5V-60cm/min Ar+5%CO₂ ワイヤ送給量=3800mm/min 128A-21.5V-60cm/min Ar+3%CO₂ ▲ 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 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。

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

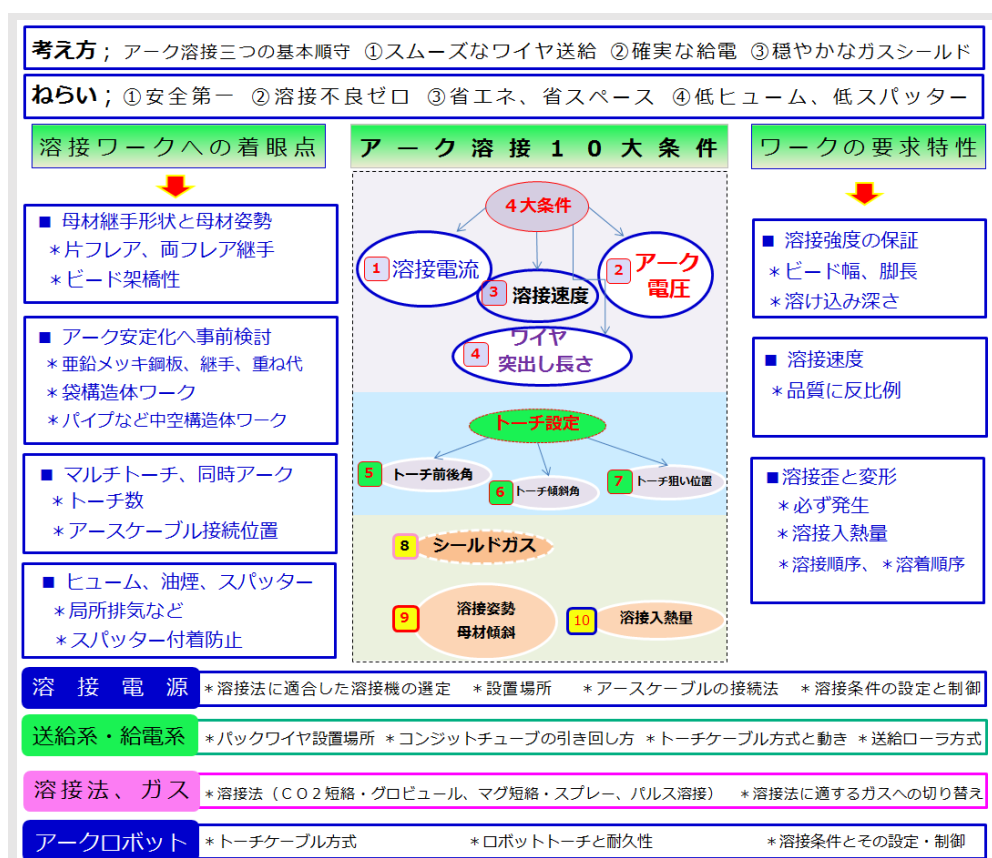
アーク溶接 第 48 話 溶接条件の選定 考え方(1) 担当 高木柳平

2016 年 3 月 28 日

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**

ボンベの縦継ぎ溶接、テーパーボールの溶接、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 **重ねすみ肉亜鉛メッキ鋼板と重ね代**

通常の実重重ねすみ肉亜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亜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**溶接部と反対側に亜鉛蒸気**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 などと短い場合は伝熱が行き止まり逆に**下板亜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。

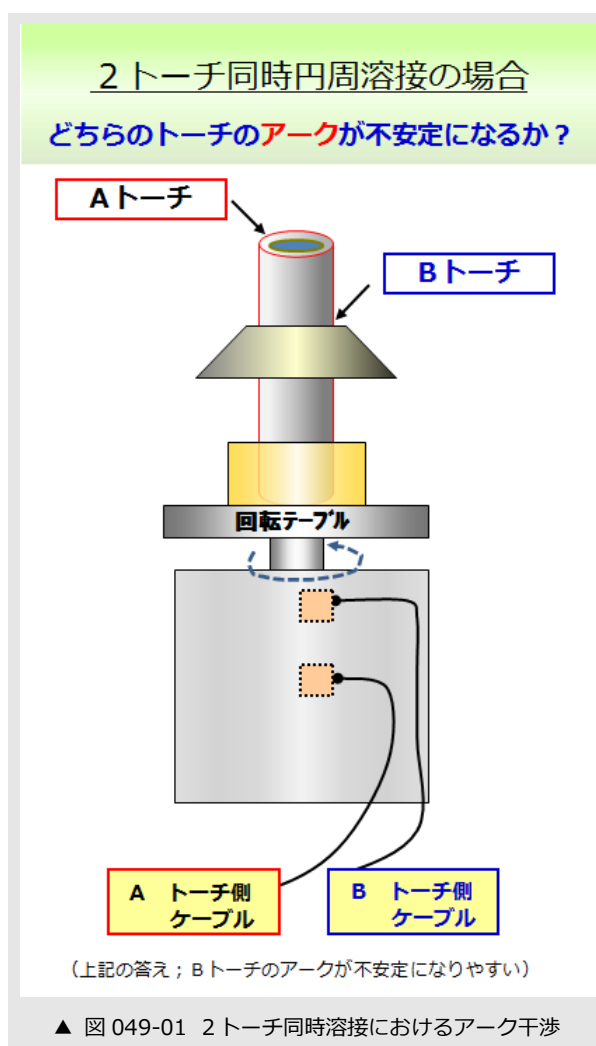
No. A048

「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。



▲ 図 049-01 2 トーチ同時溶接におけるアーク干渉

正解は B トーチのアーキが 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、**前進角のアーキ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う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

2016 年 4 月 18 日

「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。

③-4 パック巻きワイヤの設置場所

多くの皆様の溶接工程を見学してまず目に付くのがパック巻きワイヤを何とか溶接工程の同一遮光カーテン内に設置しようとして窮屈なワイヤ引き出しとなっている場合が非常に多いことです。窮屈な設置場所ではアークロボットの動作に伴って 1 次側コンジットチューブの屈曲が激しく、ワイヤの引き出し荷重が大きくなり、送給性、ワイヤ線ぐせに悪影響を及ぼします。この場合同一工程内に設置することに拘ることなく、パックの置き所を考慮し対応を図ってください。溶接工程の隣同士でパックを入れ替えるなどもひとつの方策です。

③-5 溶接法 (CO₂ 短絡・グロビュール、マグ短絡・スプレー、パルス溶接) の選定

最近では溶接電源の進展、シールドガスの多様化とガス種切り替えにより CO₂⇄マグガスおよび短絡移行⇄パルス溶接の交互変換が可能になり、また夫々のアーク特性も細部にわたって任意に設定、制御が可能になりました。サイリスター機全盛の過去を経験しているものからすれば夢のような話です。短絡移行溶接一筋で全溶接工程を押し通そうとすると無理があったり、この部位だけはパルスマグ溶接を行おうなどの発想は企画されるべきです。また 1 本のビードについてもスタート時のスパッター発生を極力抑えるために特殊溶接機をスタート専用に応用し、その後はパルスマグ法につなぐなどの実行もなされているのが現状です。品質維持、手直しゼロの観点から多様化を目指すのもひとつの考えです。

③-6 アークロボットとトーチケーブル方式

従来のアークロボットはトーチケーブルが外部取付け形になっており可動範囲は広いが過度なケーブルの揺動によるワイヤ線ぐせに課題を残しています。因みに外部取付け形トーチのコンジットを手にとって振らしてみてください。チップ先端のワイヤが大きく踊り、動くことが観察できます。ケーブル内臓ロボットの登場によりケーブルの過度な揺動が抑制でき、線ぐせ不良はかなり緩和できました。



しかしここで留意して頂きたいのはケーブル内臓ロボットでも自己の手首動作でトーチ狙いは機械的には狙い位置決めは可能ですが、ワイヤ線ぐせは改善できません。溶接ワイヤはΦ1.2 ワイヤで通常 1mm² 当たり 85~130kgf と引張強さが大きく、トーチの手首動作に容易に追従できるほど軟質ではありません。そのため手首動作で振じれが大きくなれば跳ねます。よって他のアークロボット同

様ワイヤ線ぐせ対策を設備立ち上げ時から実施して下さい。ロボットメーカーでは送給装置入口側に取り付ける**3点矯正器**がオプション部品になっていますが、標準取付け品として当初から装着することが賢明な策となります。

③-7 トーチの耐久性を考える

アーク溶接ロボット設備の稼働率はトーチの耐久性がその鍵を握っていると言っても過言ではありません。とくにパルス溶接機に供する溶接トーチには耐熱性が要求されます。

耐熱性に心配がなければ溶接速度 150～180cm/min も実現できるし、パルス溶接の高能率を活かすことが大切です。空冷ロボットトーチの限界電流は、使用率にもよりますが高々250A～270Aです。300Aを越えるとどうしても水冷トーチに依拠せざるを得ません。水冷トーチの構造はチップを取り付けるチップボディーと称する部品を水冷化することを基本とし、ガスノズル迄水冷を施せば耐熱性は一段の向上がみられます。しかしトーチ構造が複雑かつ大型になり、水漏れ頻度も増加します。なお、水冷性能を左右するものに冷却水循環装置の性能がありますが復水（戻り）温度が 25℃程度を越えないことが条件となります。

以下、次話に続けます。

以上。

No. A050

③-8 溶接条件とその設定、制御

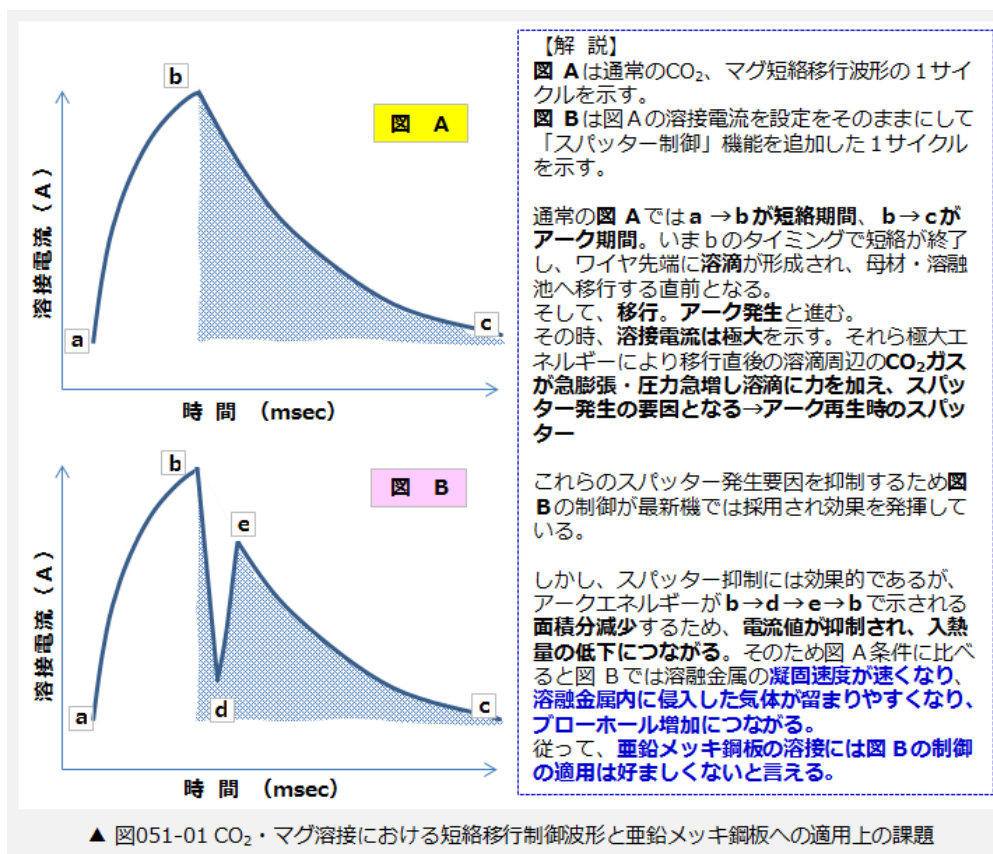
実際の溶接対象品が決まり、ワークの要求特性が示され、それらに基づいて治具、設備構想を練られます。そのなかで種々の溶接条件が検討されその一例が図 048-01 に示すアーク溶接 10 大条件です。溶接機、アークロボットの進展とともにこれらの条件・制御機能をどこで、どのように設定するか、前もって理解し適切に運用することが求められます。ここでは運用にあたって必要な考え方の一例について記します。

a) 特別な溶接条件の必要性「有・無」を事前準備段階で判別する。

* 亜鉛メッキ鋼板溶接時のブローホール低減

ここでは、亜鉛メッキ鋼板溶接に適する溶接波形の選定例について説明します。

一般的に一度侵入してきた亜鉛蒸気を溶融金属中に滞留阻止を図るには入熱を増加し凝固速度を遅らせることです。図 051-01 の図 A がこれにあたります。但し普通鋼板の溶接でスパッター抑制効果のある波形制御設定は図 B で示されます。亜鉛メッキ鋼板溶接時に図 B の波形設定を行いますとブローホール抑制には逆効果になる場合が出ますので予め注意ください。



* 亜鉛メッキ鋼板のパルスマグ溶接時にスパッター発生低減

第 44 話にも亜鉛メッキ鋼板とシールドガスおよびトーチの設定条件などを記していますが、亜鉛メッキ鋼板の溶接には普通鋼板と異なって好適なパルス波形の設定があります。ロボット・電源メーカー推奨の波形例を探索して対応することが望ましい。また、機器メーカーもこれらの波形適用に力を注いでいます。

* 密閉構造のワークの溶接は難しい。

ワークがφ50～60 程度のパイプの両端にフランジを嵌入して同時溶接する場合、アークブローなどで困難だから片側ずつ溶接を行うとします。この場合、パイプ内の油脂分のアーク熱による蒸発、パイプ内の空気の膨張などにより生じた気体がブローホールとなって熔融金属に作用し、表面に開口すればピット、熔融金属を吹き飛ばせば穴あき＋熔融金属飛散となって不良に直結します。ワークが溶接される時、クランプなども含め密閉体にならないことを確認、溶接部にガス圧力として作用が懸念される場合は必ず対策として**ガス抜き**などの処置を施してください。

* すみ肉継手の同時溶接は難しい。

ここに $t = 9 \text{ mm}$ 軟鋼板の T 字水平すみ肉継手があり溶接仕様が両面すみ肉であるとします。**アークロボット 2 台で同時アーク溶接を行うとします。**さて、うまく施工できますか。正解は先行アークは安定ですが後行アークが不安定になってしまうというものです。何故でしょうか。これは先行アークの熔融金属が、後行アークを密閉状態にし、かつ先行アークにより生成された気体などの膨張圧力が後行熔融金属に作用する結果、不安定になるものと考えられます。このような溶接仕様が要求される場合は前もって母材黒皮を含めた表面状況、油脂分有無の確認を事前に行い、板厚によっては開先を取ることも考慮する中で、後行の溶接に悪影響を及ぼさないよう配慮することが望ましい。

b)溶接制御機能の役割を理解し、設定方法・設定場所などを事前にマスターすること。

デジタル溶接機が当たり前の時代になって従来は困難であった溶接条件の切り替え、設定があらゆる溶接部位で任意に可能になってきました。ロボット・溶接機器メーカーの指導を受けながら、対象設備の制御可能範囲を当初から理解し、最善の機能を引き出すようにして下さい。紙面の都合でここでは詳述をしますが、以下の項目が含まれます。

* 「各溶接制御機能」の意味を理解する。

例えば、短絡移行溶接では前述のアーク波形制御・スパッター制御などは代表的な機能であります。パルスマグ溶接ではパルスピーク電流、パルスピーク時間など適切な設定が求められます。波形制御の立ち上げ速度に関しても「ハード、標準、ソフト」の設定がありますが「標準」の設定も結構ですが、皆様の溶接条件にふさわしくなるように理解する中で設定して下さい。

***「各機能設定」はどこで設定できるか。**

各機能設定がどこでできるかを予め把握して下さい。その殆どがロボット側と考えられますが溶接電源との関係も事前に機器メーカーに確認をして下さい。

***全体教示、部分教示、分割教示など**

ワークの溶接ビードN本に対し、どのような条件設定が可能で、かつビード1本毎に対しどのような分割教示が可能かなど予め機器メーカーに確認をして下さい。

以上。

No. A051

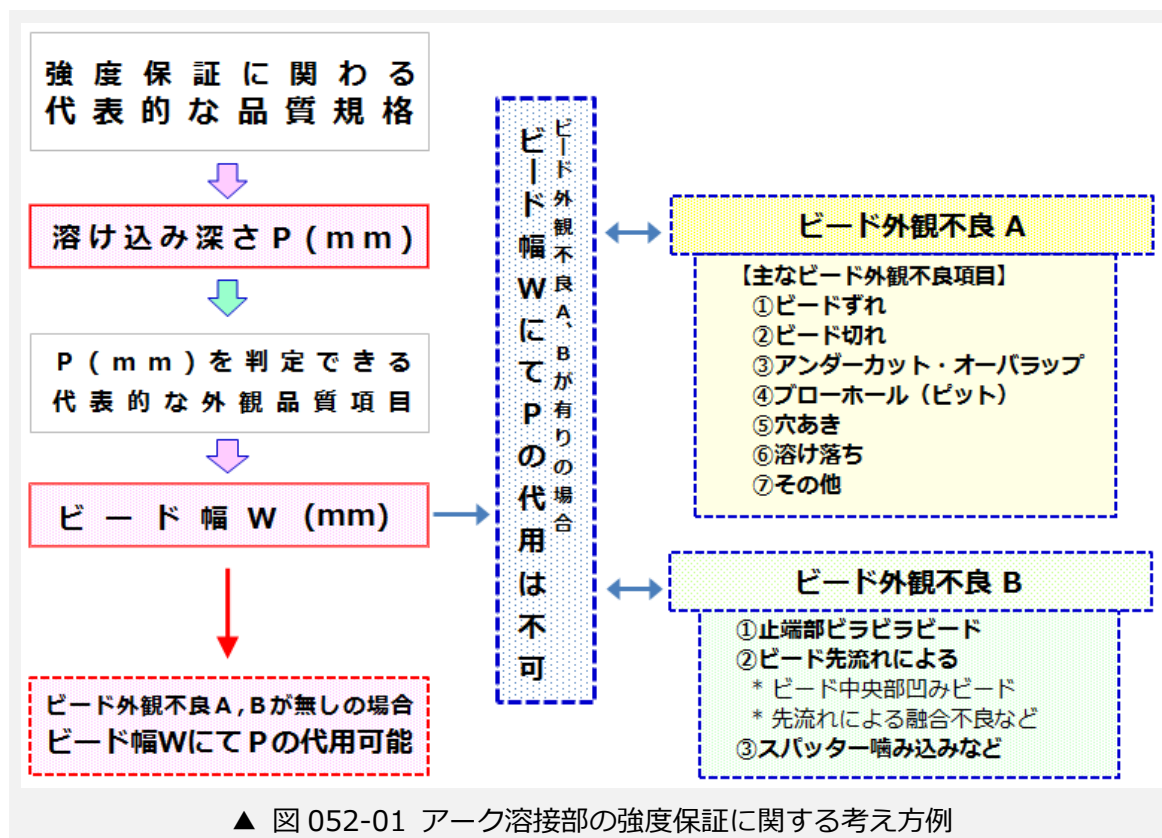
④溶接対象部品（ワーク）の要求品質特性

ワークの要求特性から見て設備立ち上げに向け予め検討しておかなければならない項目に「**要求品質特性**」がある。本話ではこれらに関連のある項目について概要を記します。

④-1 溶接部の強度保証

強度保証上の品質項目には種々ありますが何と言っても重要な項目は「**溶け込み深さ**」（以下 P ）と考えられます。しかし P (mm)は断面マクロ検査であり、破壊試験ですので常に実行するわけには行きません。そこで必要な項目が**ビード幅**（以下 W ）です。外観検査とノギスなどで常に測定可能です。

図 052-01 にそれらの考え方の一例を示す。



$P \rightarrow W$ で判定するが、判定できない場合としてビード外観不良 A, B を示しています。A の外観不良は通常指摘されますのでここでは触れません。B の外観不良について着目することをお勧めすると同時に、以下に示す要因で不良を発生させないよう予め注意ください。

＊**止端部ビラビラビード**；溶融池に強い衝撃をもって溶滴移行させた結果生ずる現象で「**アーク特性の設定不良**」などが主な要因です。

＊**ビード先流れ**；ワーク傾斜などにより生じやすく、溶け込み不足、融合不良を生じやすい。適正なワーク姿勢がとれる治具設備が求められる。

＊**溶接姿勢が立向上進姿勢しかとれない**；これは何としても避けて下さい。適正なビード品質を得ることが困難です。

＊**大きな前進角しかとれない**；吹き出しスパッターが発生しますので当初より避けて、適正なトーチ前後角がとれる設計にして下さい。

④-2 溶接速度の設定について

タクトタイムは設備設計上重要な仕様であります。溶接速度（cm/min）はそれらタクトタイムの主要な部分を構成するもので速ければ速い方がタクトタイム改善に寄与できます。しかし溶接技術上の原理からは**溶接品質は溶接速度に反比例する**ため、むやみに速度をアップすることは不良発生につながりやすくなります。一方、速度アップを図るためには、それらを裏付ける対応、例えば第 4 話で示した「**三つの基本**」を忠実に守り点検しながら事前準備することが求められます。

④-3 溶接歪

溶接歪、ワークの変形は必ずと言ってよいほど発生します。これは**溶融金属が凝固して溶接金属になる際必ず「収縮する」**という事実に基づくものです。よって、計画段階から「**溶接歪、変形**」への対応を考慮して下さい。溶接法、ワイヤ径の選定、溶接入熱量、溶接順序、ワークへの要求、逆ひずみなどが関連します。

④-4 溶接継手

＊**ヘリ継手の溶接にはコツがある。**

ヘリ継手は二枚の母板が拝む形に配列された溶接継手で、二枚の母板の端はほぼ揃っている。薄板であれば T I G 溶接で、また肉厚に応じてマグ、ミグ溶接も適用されている。ここで主な品質課題は波打つようなビード形状になりやすいことです。これを克服する方法は T I G、ミグ・マグ共にかなりの大きさの**トーチ前進角の採用**をすることです。是非、対象があればトライして見て下さい。

* 溶接継手のギャップには限度がある

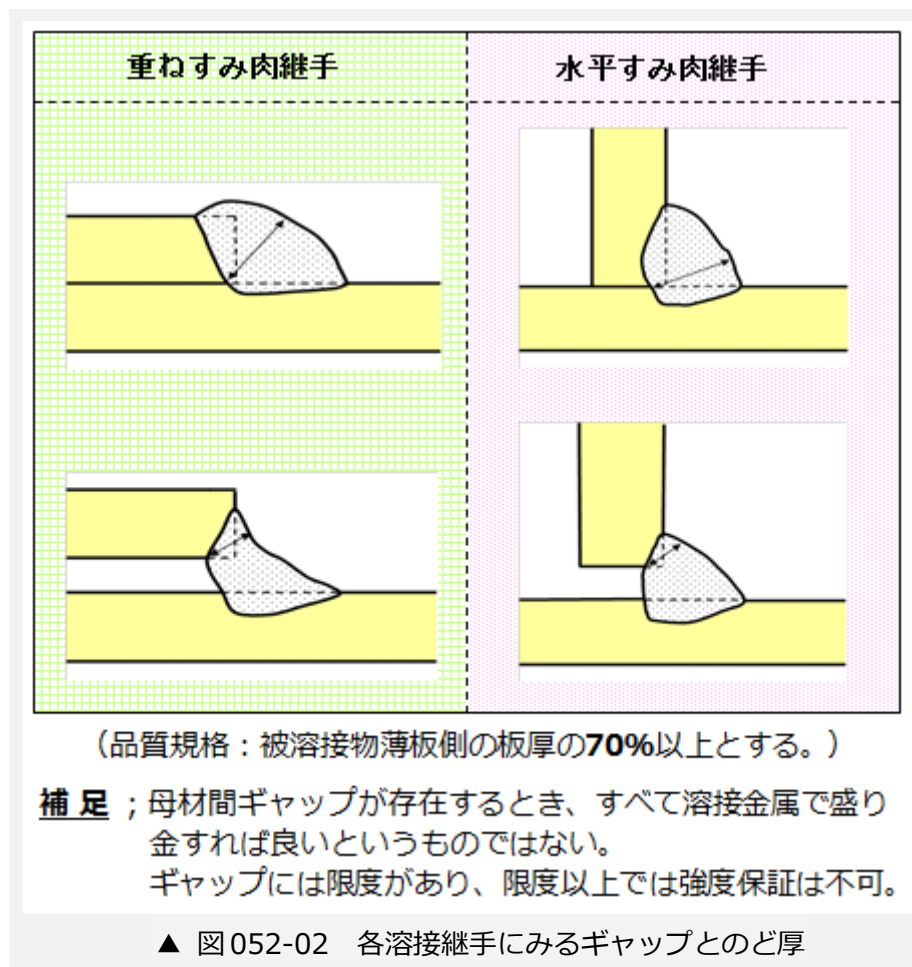


図 052-02 にみるように継手ギャップを限度以上に大きくすると「のど厚」が確保できず、強度保証ができません。最近の機器の進展により交流マグ・ミグ溶接機など高溶着を可能にできるようになりましたが、ギャップの空いた継手部を単に盛り金すれば良いというものではありません。これらの考えを忘れずに溶接と向き合っていくことも大切です。以上で溶接条件に関する考え方・・・事前準備編・・・をひとまず終了します。

以上。

No. A052

2016 年 5 月 23 日

1. 溶接条件指示書への思い

溶接条件の選定は予め生産準備グループが設備立ち上げのトライ、量産試作、流れ生産開始の中で検討し築き上げるものです。多くの部品メーカーの「**溶接条件指示書**」について拝見しますとその実態はかなりまちまちで苦労されているようです。

代表的には以下の 3 通りに分類できます。

- ① **指示書**は現場溶接工程内に示され、溶接条件を確実に知らせ、守らせ、現場には指示書以外のことはさせない。
- ② **指示書**は存在するが、ハウスの資料ファイルに綴じられて有機的な活用がなされていない。
- ③ 自動車部品の溶接と言っても溶接状況はその都度変化する要素を持っているので敢えて現場を縛る条件指示書を発行しないなど。

但し、上記①が圧倒的に多く、②、③は少ないですが、見掛けましたので敢えて分類に入れました。

また中味的には、指示書の書式、指示書の大きさ（A4 or A3）、細部までの指示方法、ワークとその表し方、使用機器・ワイヤ・ガスの記入とその方法、ワーク溶接後の溶け込み状況のチェックなどに工夫がなされています。

指示書への思い、考え方は事務所と現場の間であって、思った製品（ワーク）を思い通りに作るための相互情報伝達の道具であり、それらは日常管理され、日々不適合な指示内容があれば書き改めなければなりません。生きた道具として使ってこそワークの品質管理に役立てることができます。

では、どのような内容、項目を盛り込む必要があるか一般的になりますが、以下に挙げてみました。

2. 溶接条件指示書における主な記載項目

1) 溶接ワーク（対象溶接品）

ワーク名称、型式、適用用途、特長

適用溶接法、材厚、材質、溶接箇所、継手形状、溶接順序など図面、写真、模式図で明示。

2) 使用機器、関連部品・副資材など

溶接電源、アークロボット、送給装置

溶接トーチ、適用コンジット、チップアダプター、コンタクトチップ、ノズル

適用シールドガス（混合ガスなど）

溶接ワイヤ（銘柄、メーカー名、ワイヤ径、YGW-xx）など

3) 溶接条件（汎用条件）

* スタート条件、クレータ条件、エンド条件の記入必要性あり。

- * 溶接電流（ワイヤ送給速度）、アーク電圧、溶接速度、突き出し長さ
トーチ前後角、トーチ傾斜角、ねらい位置、ワークの状態、溶接姿勢（下向き(F)、横向き(H)、水平すみ肉、立向き下進(V)など）、ガス種と流量、溶接入熱量など
- * 溶接箇所の多い場合の記入法、ワークのR、Lの場合の記入法など
- * ワーク図溶接箇所番号と条件表の番号を一致させる。なお、条件表示を代表的なもので済ますか、逐一表示するか
- * 波形制御の設定表示・・・例；アーク溶接波形制御指定、パルス波形制御指定など

4) 特定溶接条件

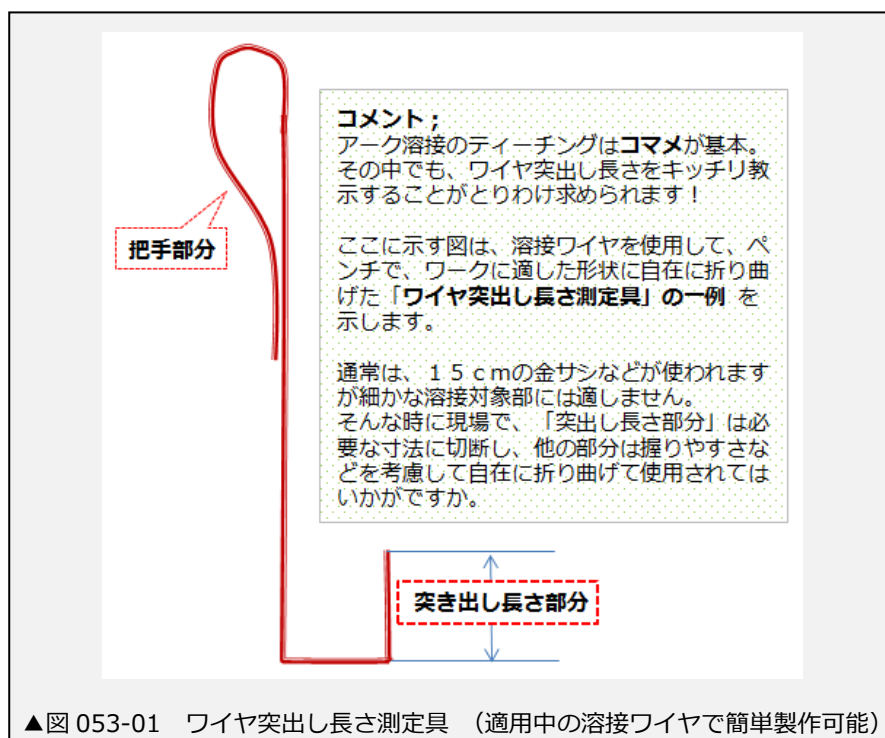
- * 円周溶接、ビード継ぎ、ウィービング有無、溶接法の切り替え、ガスの切り替え、トーチセンシングの有無、スラグ除去など

5) 日常点検、清掃、交換頻度および適用測定具

- * ノズル清掃、ノズル交換、チップ清掃、チップ交換、スパッター除去、清掃など
- * 適用測定具・・・スケール、ノギス、マイクロメーター、角度計など

6) 測定対象

- * ワイヤ径、突き出し長さ（図 053-01 参照）、トーチの各角度、ワーク、ポジショナー等の傾斜角
- * デジカメによる撮影、撮影用フィルターなど



なお、条件指示書内に溶接部品質、溶け込み深さなど断面マクロによる指示を記載する場合がありますが**第 52 話**の図 052-01 にみるビード外観不良 A, B を発生させないことが前提となります。また、条件指示書の効果を発揮するには溶接工程における**日常的な 4 S 活動**が基本です。その点は呉々もよろしくお願いします。今後各個別溶接条件について事例を含めた詳しい説明を予定します。参考に願えれば幸いです。

以上。

No. A053

◆はじめに

本話からしばらく「個別溶接条件の選定」について説明します。

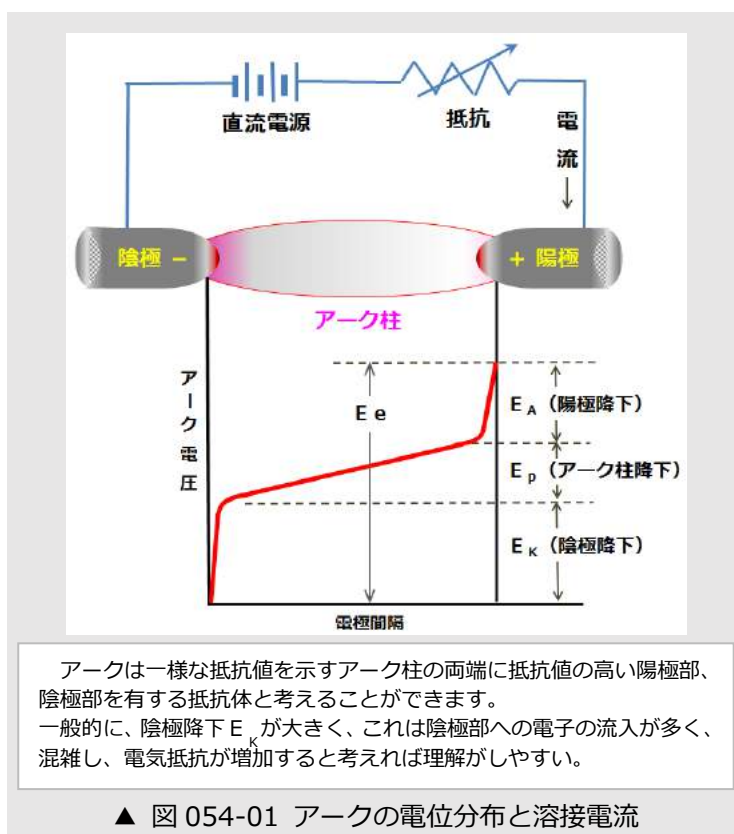
第 6 話、第 48 話のなかで「アーク溶接の主要 10 大条件」を示しましたが、溶接条件ではとりわけ溶接電流、アーク電圧、溶接速度の 3 条件が重要であり、そのわけはビード形状、溶け込み深さをほぼ決定するためです。まず、「溶接電流」の説明から始めます。

溶接電流には瞬時電流などの動的電流と平均電流などの静的電流がありますが、ここでは平均電流 I (A) で話を進めます。溶接アークと言う負荷はオームの法則に従い、例えば $200\text{ A} - 24\text{ V}$ であればその抵抗 R は以下の公式により 0.12Ω となります。

$$\text{オームの法則} : R = \frac{V}{I} = \frac{24}{200} = 0.12\Omega$$

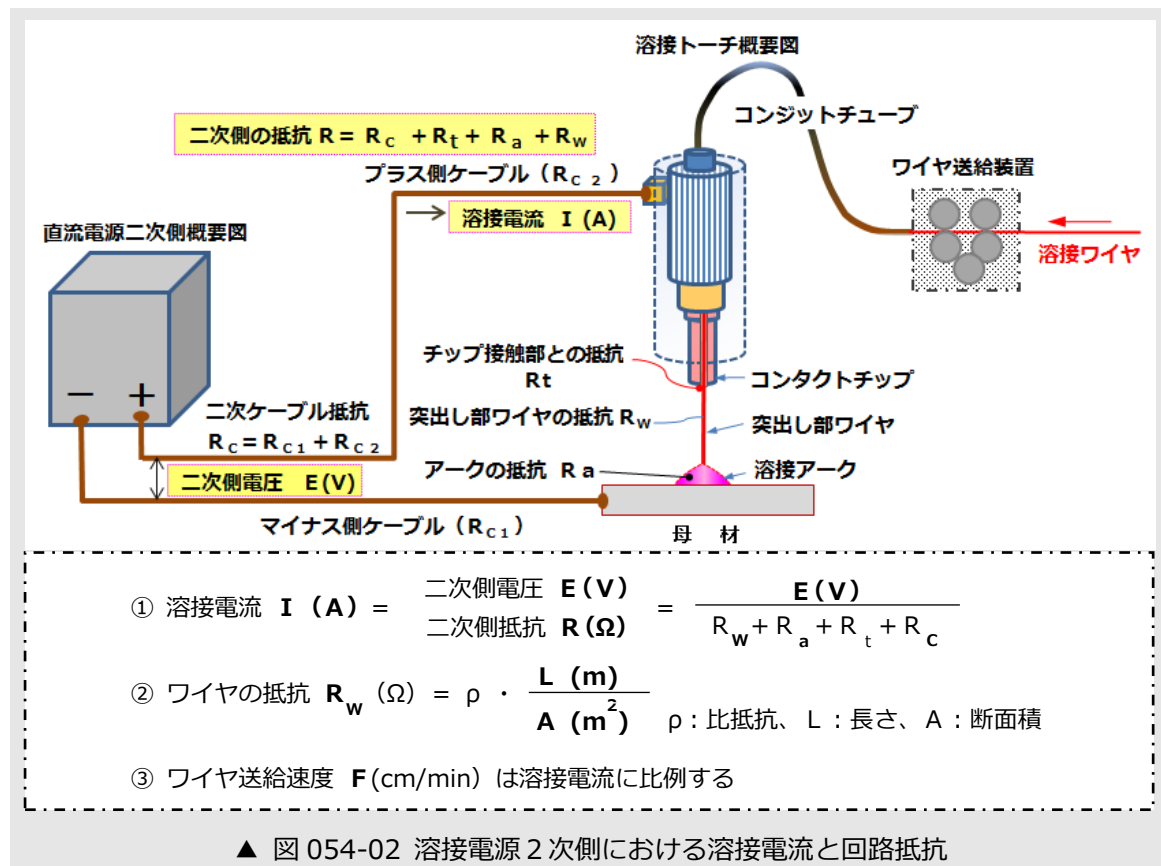
ここで I ; 溶接電流(A) V ; アーク電圧(V) R ; 抵抗(Ω)

アークはほぼ 0.1Ω 前後の抵抗値を有する負荷と考えれば良く、周りの状況（接触給電抵抗、磁気、ガス圧力など）によってばらつきやすく、純粋な電気抵抗と比べると**不安定負荷**と言えます。オームの法則はアーク溶接を理解する上で大変役立ちますので、今後ともその都度活用することをお勧めします。ここで直流溶接電源をアークと言う負荷に接続した模式図を図 054-01 に示す。



この図は一般的にアークの電位分布を説明するために用いられますが、図から陰極と陽極およびそれらの近傍で急激な電圧降下があることが読み取れます。すなわち両極部とその近傍では抵抗が高くなっていることを示しています。アークは一様な抵抗値を示すアーク柱の両端に抵抗値の高い陽極部、陰極部を有する抵抗体と考えることができます。

一方、実際のアークの場合の模式図を図 054-02 に示します。



溶接電源直流側のプラス側ケーブルはトーチ・コンタクトチップに、マイナス側ケーブルは母材に接続され、この場合のアークからみた外部抵抗 R は二次側ケーブルの抵抗 R_c 、チップ孔との接触抵抗 R_t および突出し長さ部分のワイヤ抵抗 R_w の総和です。アークの抵抗を R_a とし、溶接電源の二次側電圧を E (V)とすると溶接電流 I (A)は次式で表すことができる。

$$I \text{ (A)} = \frac{E \text{ (V)}}{R \text{ (}\Omega\text{)}} = \frac{E \text{ (V)}}{R_w + R_a + R_t + R_c \text{ (}\Omega\text{)}} \quad \cdots (1) \text{ 式}$$

これよりわかることは、 E (V)は設定電圧のためほぼ一定であり、抵抗を構成するなかでも R_a 、 R_t 、 R_c などの変動は少ないが R_w は突出し長さの変動により溶接電流 I (A)値に大きな影響を与える。細部をみれば R_t のチップとの接触抵抗の変動と同時に接触位置の変動が R_w のバラツキにもなる。ここでワイヤの抵抗値 R_w についてみてみましょう。第 11 話でも説明しましたが R_w は以下の式で表すことができます。

$$R_w (\Omega) = \rho \cdot \frac{L (m)}{A (m^2)} \dots (2) \text{ 式}$$

ここで ρ は比抵抗 ($\Omega \cdot m$)、 A はワイヤの断面積 (m^2)、 L はワイヤ長さ (m) を示す。以上から溶接電流の値は設定電圧 $E (V)$ を一定とするとワイヤによる抵抗値に反比例の関係にあり、次のように表現できる。

①ワイヤの長さ $L (m)$ は突出し長さに関係し L が長ければ電流が減少し、短ければ増加する。

突き出し長さ部は溶接電流 I が流れることによって $I^2 \times R_w$ 熱が発生し加熱されワイヤ保有熱量が増加する。ワイヤの比抵抗 $\rho (\Omega \cdot m)$ は温度と相関があり、温度上昇とともに増加する。よって突き出し長さが長くなれば R_w が大となり $I^2 \times R_w$ 熱によりさらに多く発熱し比抵抗 ρ が増加し R_w を大きくするという関係になります。

②ワイヤ断面積 $A (m^2)$ はワイヤ径を表し A が大きければ R_w が減少し、電流が増加、小さければ R_w が増加し、電流が減少する。

ワイヤ送り速度 $F (cm/min)$ を一定とすると $\Phi 1.2$ のワイヤは $\Phi 0.9$ ワイヤより大きな電流が流れることになる。逆に言えば薄板溶接で小さい電流が必要な時は、 $\Phi 0.9$ ワイヤは $\Phi 1.2$ に比べ小電流域で適用範囲が広く、都合がよくなります。一方、突出し長さ（ここでは L ）、ワイヤ径（ここでは A ）を一定としワイヤ送給速度 $F (m/min)$ とすると溶接電流 $I (A)$ とは正比例の関係を示します。すなわち F を速くすると I は増加し、 F を遅くすると I は減少します。この関係は溶接条件設定には大変重要です。そのわけは、単位時間当たりのワイヤ送給量が a 倍になったと仮定すると(2)式 A に $a \times A$ を代入すれば R_w は $1/a$ となり(1)式より溶接電流は $a \times I$ となることから容易に理解することができます。

次回は溶接電流とワイヤ径、ワイヤ送給速度の関係について基本的な考え方を説明します。

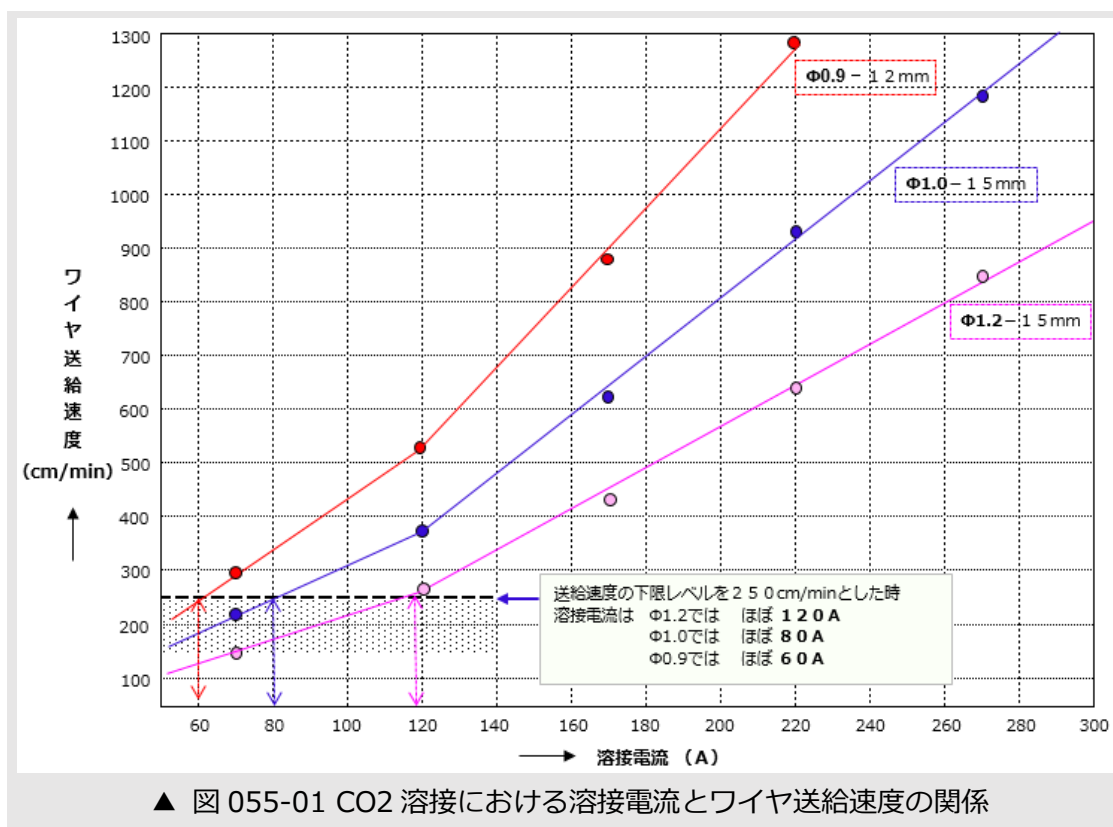
以上。

No. A054

2016 年 6 月 20 日

前話では、溶接電流は「ワイヤ送給速度」および「ワイヤ径」に比例することを学びました。最近の進展した溶接機器においては第 20 話でも触れましたが、何れの送給装置にもワイヤ送給速度を精度よく測定可能なエンコーダが装備されている。そのため、機器メーカーでは溶接電流よりも正確を期するためには「ワイヤ送給速度」で管理することが望ましいとの見解を出しています。的を射たアドバイスです。要するに「溶接電流値」は突き出し長さ、チップとの接触抵抗およびワイヤ径などのバラツキの影響を受けるので、変動要因の少ない「ワイヤ送給速度」をその中心軸にしようとする考え方は、しかし、エンコーダなどない時代を長く過ごしてきたアーク溶接界では「溶接電流」は管理上必須条件項目の 1 番目であり外すわけには行きません。そこでベストな対応は「溶接電流」と併用で「ワイヤ送給速度」を管理されることが望ましいと考えます。

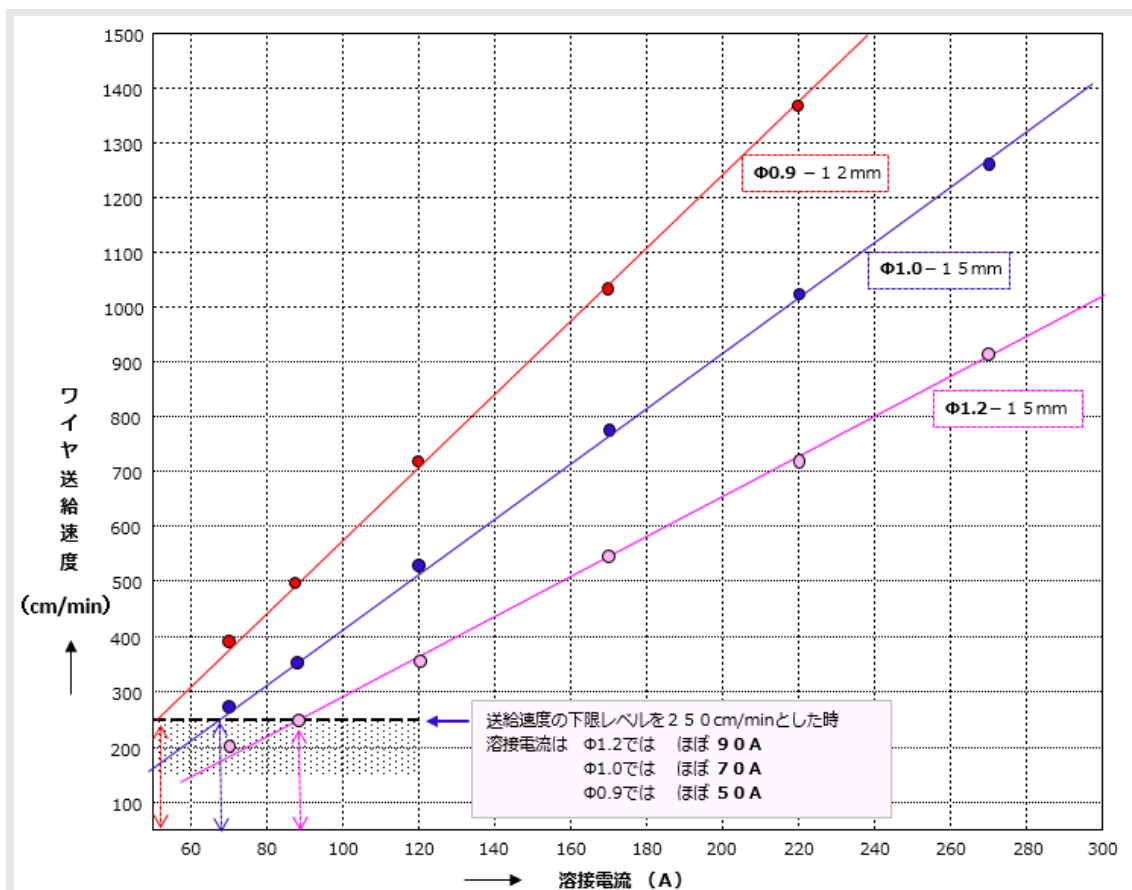
図 055-01 に溶接電流とワイヤ送給速度、ワイヤ径の関係の一例を示します。



ここで課題のひとつは送給速度 (cm/min) の下限をどの程度に抑えるかです。またこれらの溶接電流はメイン電流 (定常溶接電流) に限らずエンド時電流にも当てはめる必要があります。送給速度の下限値はアークの安定化、均一な溶接ビードを得るために必要で、一般的には 200~300cm/min に設定されています。ここでは仮に下限値を 250cm/min とします。短絡移行溶接の場合をみると、アーク安定域の短絡移行回数はほぼ 50~100 (回/sec) でありこれらの短絡移行回数は適用電流に

よる明らかな相関はありません。**必要なことは溶滴 1 個分のワイヤ長さを連続的に確保・供給できるか**と言うことであり、**送給速度が遅すぎると 1 溶滴分のワイヤ長さがバラツキ、移行が乱れやすくなります**。例えばΦ1.2 ワイヤで送給速度下限域になれば、ワイヤ径をサイズダウンしてΦ1.0 あるいは 0.9 ワイヤに交換する必要がでてきます。細径に交換すれば所定溶接電流を得るための送給速度が上昇するので送給速度下限域を脱することができます。

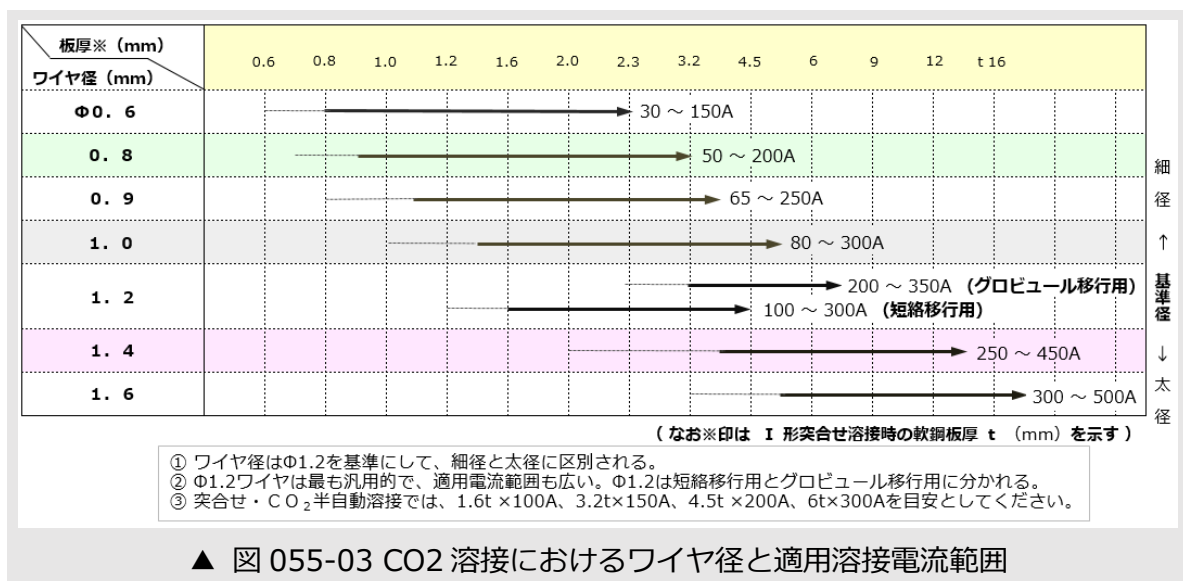
またパルスマグ溶接では原則 1 パルス 1 溶滴が安定パルスの確保に必要ですが、**図 055-02** にみるようにΦ1.2 ワイヤ径における溶接電流の下限域が短絡移行同様設けられます。



▲ 図 055-02 パルスマグ溶接における溶接電流とワイヤ送給速度の関係

この場合もワイヤ送給速度の低下が原因で適正な 1 パルス 1 溶滴が成立しなくなるためで、ワイヤ径のサイズダウンが必要な対応となります。余談ですが、ワイヤ単価は径でみるとΦ1.2 が基準でΦ1.0、0.9 と細径になるほど高く、逆に 1.4、1.6 と太径になるほど安くなります。調達・購入の立場からはワイヤ径の適用種類を増やしたくないという管理上の課題も含めΦ1.2 径で統一したくなります。しかし上記の送給速度下限域における薄板溶接品を対象とする場合はΦ1.0、0.9 などの細径を採用することが品質維持に不可欠な場合も多く手直しレスとなり製造サイドからは歓迎されます。

次に溶接電流と適用ワイヤ径の関係を**図 055-03** に示します。



前述のようにワイヤ径の基準はΦ1.2で適用溶接電流範囲はほぼ 100A～350A です。またΦ1.0では 80A～300A と細径になるに従って低い電流側にシフトします。最細径Φ0.6 ワイヤで、30A～150A の電流範囲を示します。とくにΦ0.6 ワイヤは自動車板金分野に好んで用いられ 50-60A 前後の極低電流域では熱伝導型の溶け込み形状を示し穴あきしにくくなります。Φ1.0 の高電流域の代表的な適用例としては、高溶着・高速溶接を必要とする冷蔵庫コンプレッサハウジング周溶接などがあります。一方、Φ1.2 より太径ワイヤであるΦ1.4、1.6 は高電流側で適用され 500A までの電流域をカバーします。Φ1.4 ワイヤはΦ0.6 ワイヤと同時期の昭和 58 年に JIS 化されました。とくに断面積比でみると $\Phi 1.2 : \Phi 1.4 : \Phi 1.6 = 36 : 49 : 64$ と丁度中間になるためΦ1.6 ワイヤ対比作業性に優れ、かつ電流密度を大きくとれるので溶融速度を高められるなどの効果があり高電流域において適用が進みました。さらに太径であるΦ2.0、2.4 ワイヤなどはトラック関連部品の大型ホイールのすみ肉溶接、アクスルハウジングの突合せ溶接などに 600A を越える領域で適用されているのが現状です。

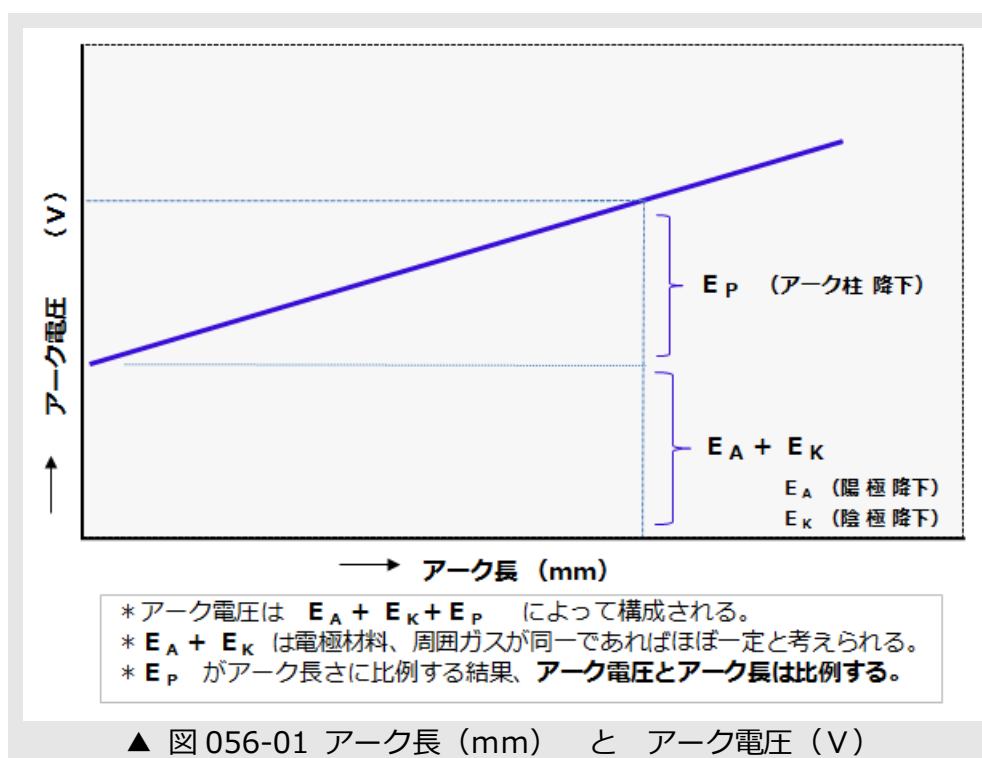
次回はアーク電圧、アーク長さ、正特性の関係について説明します。

以上。

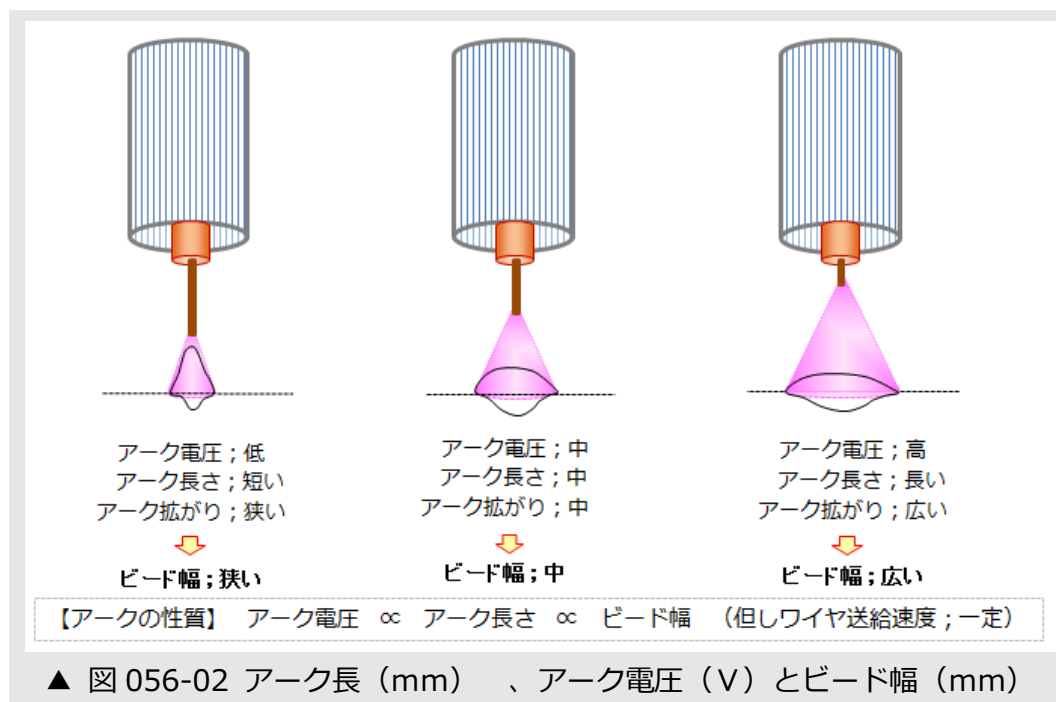
No. A055

2016 年 7 月 4 日

「溶接電流」とともにビード形成に大きな影響を与える「アーク電圧」について解説します。第 54 話の図 054-01 にみるように炭素電極間に直流電源を接続し接触させ、それらを引き離すとアークが発生します。ここで横軸の電極間距離とは引き離れた炭素電極間の距離で「アーク長さ」に相当し縦軸の「アーク電圧 E_e 」は次式のように 3 つの電圧降下の和です。 $E_e(V) = E_K + E_P + E_A$ ここで E_K ; 陰極降下電圧、 E_P ; アーク柱降下電圧、 E_A ; 陽極降下電圧。 E_K 、 E_A は電極材質と周囲ガスが決まればほぼ一定値と考えられるのでアーク電圧はアーク柱降下電圧に比例し図 056-01 のように表すことができます。



軟鋼 CO₂ ワイヤ径φ1.2 の場合溶接条件として例えば 100A-17V、150A-18V、200A-23V などの電圧値は定数分 ($E_K + E_A$) がほぼ 8 V 程度で残りはアーク長さ分となります。ここからアーク長さはアーク電圧に比例することになり、アーク長さはビード幅を決めるため、アーク電圧、アーク長、ビード幅は相互に比例することになります (図 056-02 参照)。



一方、周囲ガスの違いによるアーク電圧は**電位傾度（V/cm）の比較**として知られており**表 056-01**に代表例を示す。

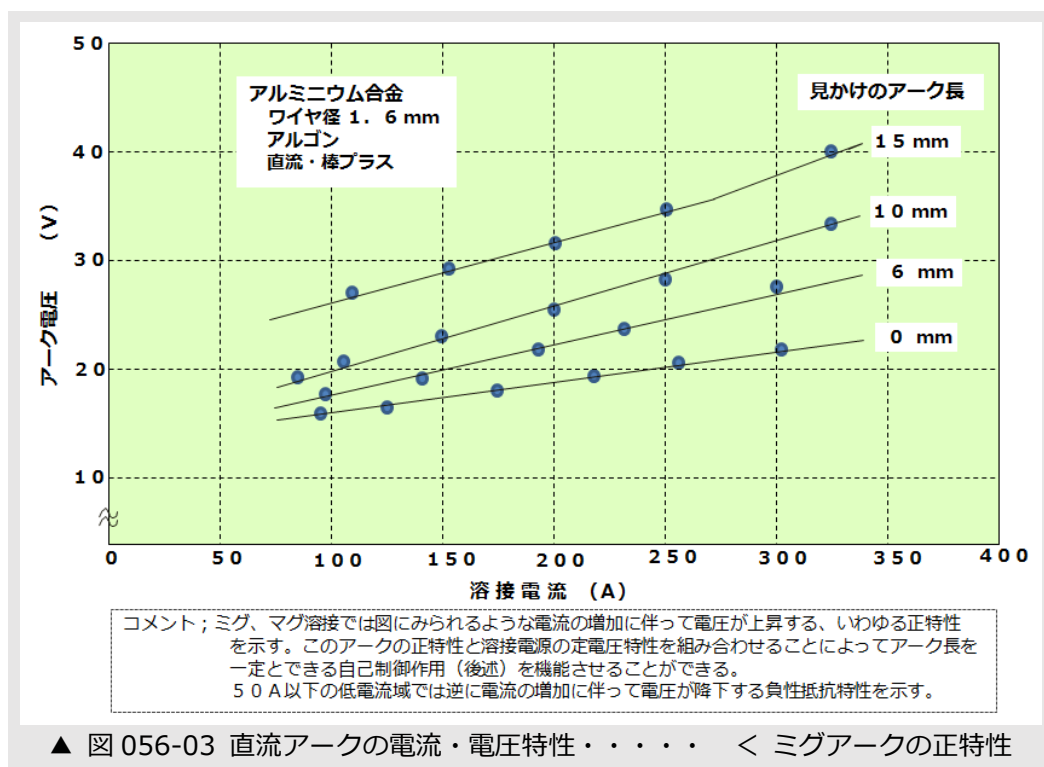
表056-01 各種周囲ガス気中の電位傾度の比較	
ガ ス	電 位 傾 度（V/cm）の 比
アルゴン	0.5
空 気	1.0
窒 素	1.1
炭 酸 ガ ス	1.5
酸 素	2.0
水 蒸 気	4.0
水 素	10

コメント； 電位傾度の大きさはアーク長さ 1mm当たりの必要電圧（V）を表す。同じアーク長さでもアルゴンガスに比べ、炭酸ガスでは高い電圧値が必要になる。
見方をかえれば、同一アーク長に対し同一電流では、 $I \times V$ により表されるエネルギーがガス種によって変化できることを意味します。

Ar ガスは溶接用シールドガスの中では最も電位傾度が小さく、炭酸ガス、酸素ガスの順に大きくなります。そのため純 Ar、Ar+20%CO₂などを適用するミグ、マグ溶接より、CO₂ 溶接の方が適用電

圧を高くする必要があります。アークを安定にするために必要なことは、アーク長を一定にすることであり、それらのアーク長さを確保するための電圧設定が求められます。例えばマグ(Ar+20%CO₂)溶接で適正な溶接ビードを得て、それをCO₂溶接でトライしようと思えば、まず溶接電流(ワイヤ送給速度)、アーク長さをほぼ同一とし、それに見合うアーク電圧の設定になるように高めにします。

また、アークの電流・電圧特性についても触れなければなりません。極低電流域を利用するアーク溶接法にTIG溶接、マイクロプラズマ溶接などがあります。これらの低電流域では溶接電流が増加するに従ってアーク電圧が低くなる、いわゆる「負性抵抗特性」を示します。この事象は電流、すなわち電子の流れが低電流域では少なく、たとえていえば乗客の少ない電車の状態と言えます。一方、電流がある程度大きくなるとほぼ乗客が一杯になり、さらに電流が増加すると乗客がすし詰め状態の電車になり身動きがとれなくなります。電流が増加するに従ってアーク電圧(抵抗)も高くなる場合を「正特性」と呼称します。図056-03にミグアークにおける電流・電圧特性(正特性)の一例を示します。電流が増加するに従いアーク電圧も上昇し、かつ見掛けのアーク長の長短に応じて所要電圧が増減していることが読み取れます。



次話では「溶接電流・アーク電圧(2)」について説明の予定で、理解を深めて頂ければ幸いです。

以上。