

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

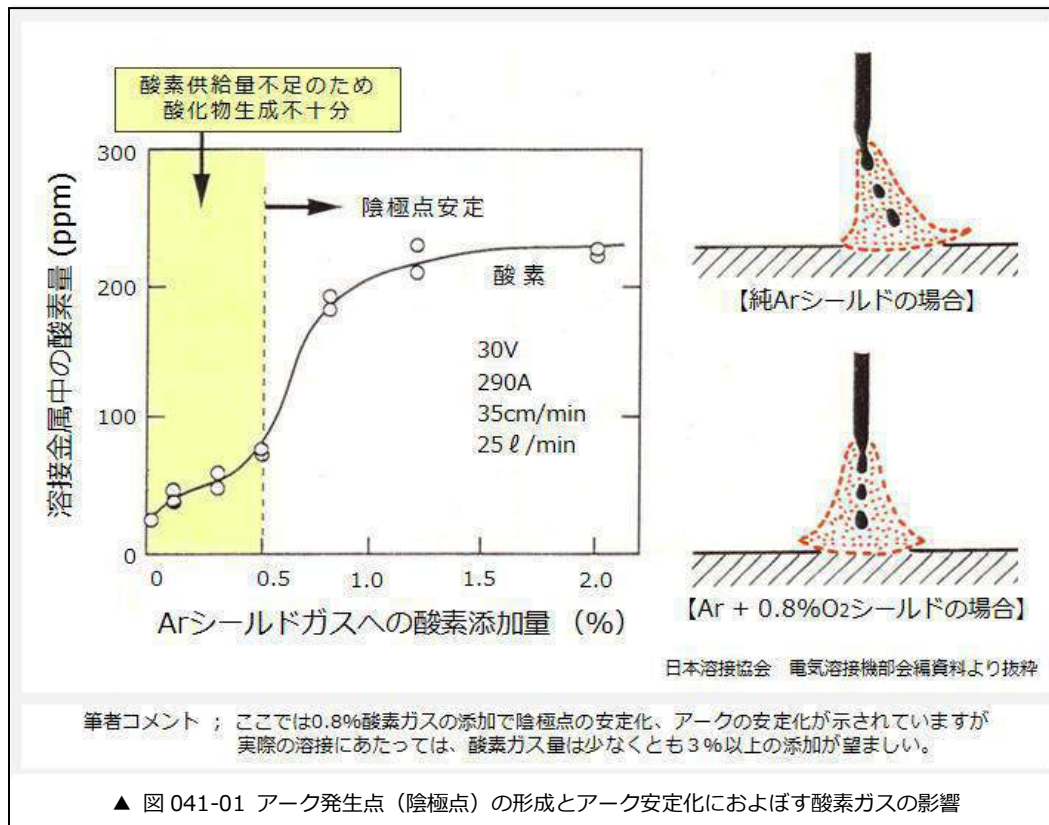
このようにガスは溶接金属のブローホール、機械的性質などの**溶接性**、アーク安定性、スパッターなどの**溶接作業性**およびビード外観、溶け込み形状などの**溶接品質**に深く関わっています。そのためガスの影響と効果を理解することが極めて重要になるのです。

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）。



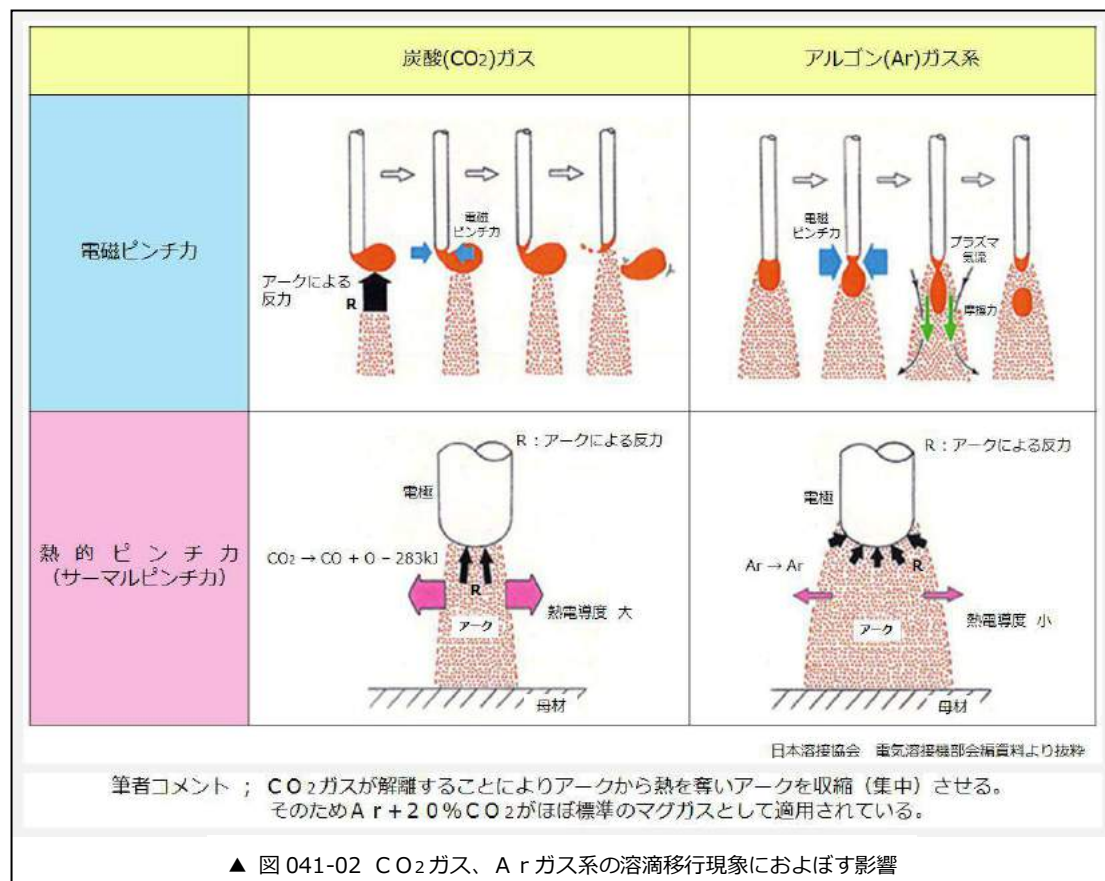
b.アーク集中性の確保

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。

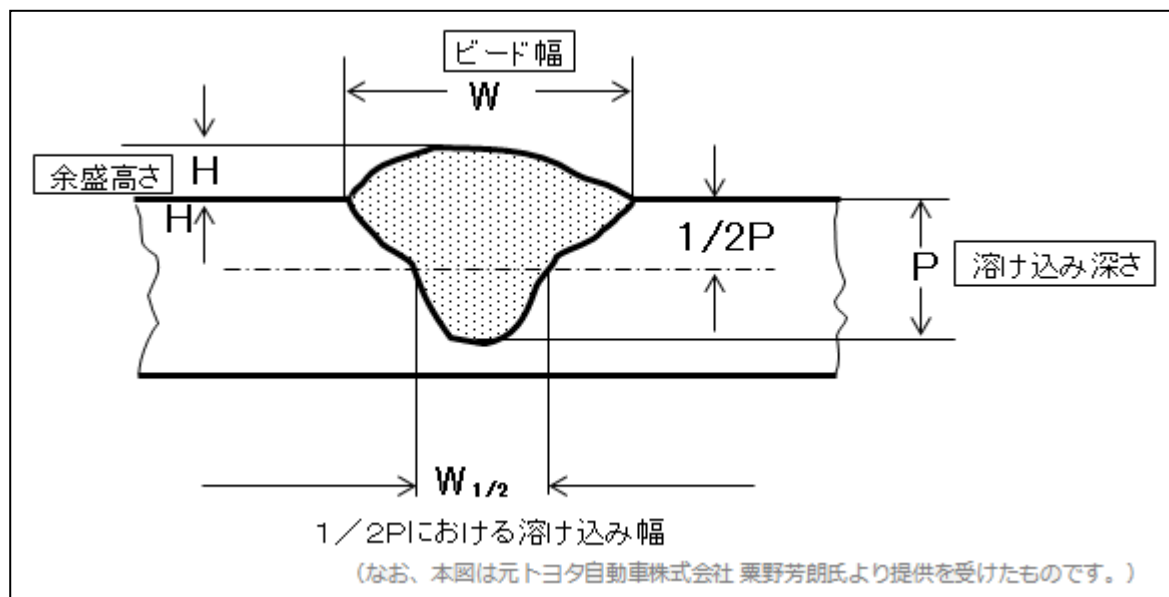
No. A042

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 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 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[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。

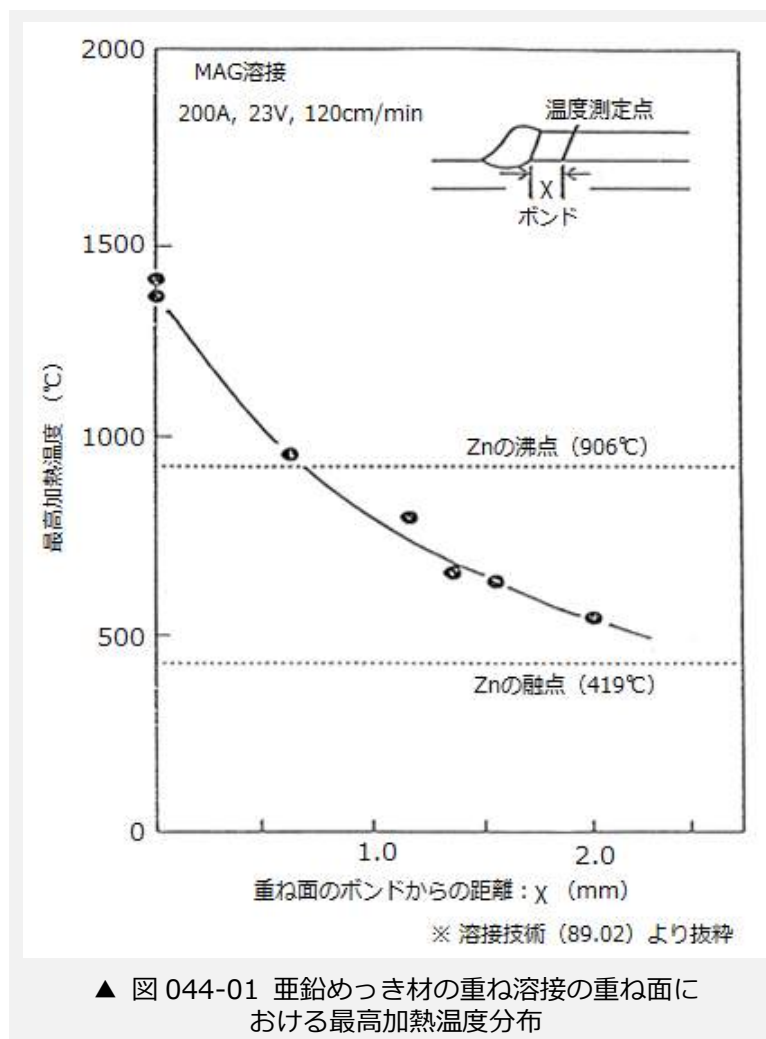
No. A043

アーク溶接 第44話 シールドガスとその取扱い(5)

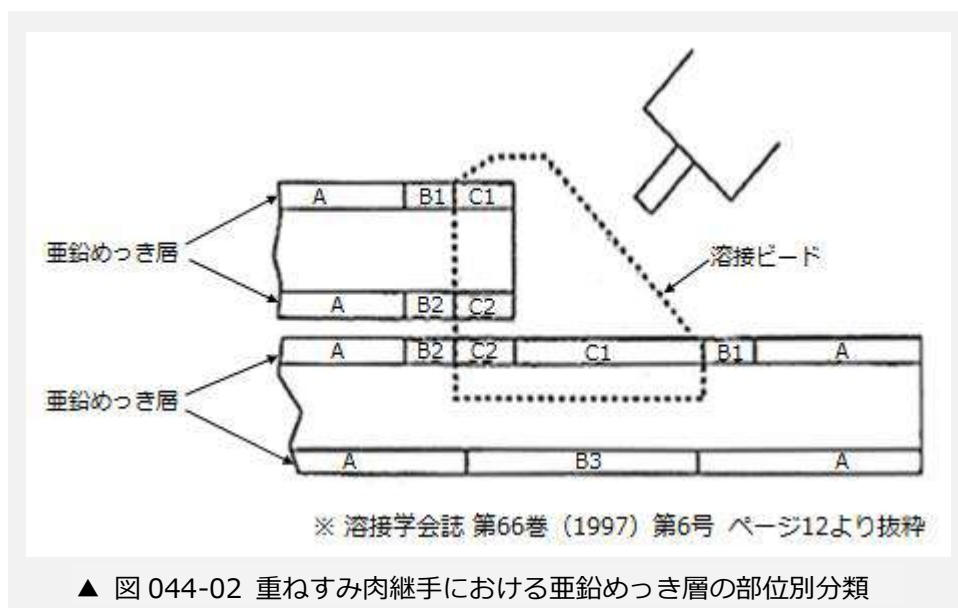
シールドガスの種類と選択(4)・・・亜鉛メッキ鋼板の溶接と混合ガスとしての酸素 担当 高木柳平

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。

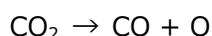


用途によっては裏ビードに生成する ZnO の白い粉末を避けなければならない場合が出てくるが、それらの対応としてはバックガスとして少量の CO₂ を流す対策が取られている。一方亜鉛の沸点は 906℃と低く、鋼の溶融・凝固段階で亜鉛は蒸気となり体積を急膨張させて溶融池に侵入型のブローホールを形成しやすくなります。図 044-02 は当時トヨタ自動車株式会社に在籍されて、現在も自動車部品溶接研究所を立ち上げ、活躍されている松井仁志氏による論文（溶接学会誌第 66 巻(1997)第 6 号）から抜粋したものです。両面亜鉛メッキ鋼板の重ねすみ肉溶接部のメッキ層部位別による考え方が示されており、大変参考に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

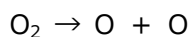


亜鉛メッキ層「B2」に多く熱を入れたり、「B2」を多く溶融させたりすると亜鉛蒸気が多く発生し過ぎてスパッターの発生、ブローホール、ピットにつながりやすくなります。多くの亜鉛蒸気の発生源を作ってしまうと、その後でブローホール対策を行おうとしても手遅れです。事前に「B2」に熱を多く掛けないよう**トーチ狙い位置、狙い傾斜角およびトーチ前後角**に注意が必要となります。これらの前提において、「B2」部の亜鉛蒸気の抑制には酸素をシールドガスに 5%程度添加して、その昇華温度が鋼の融点より高い酸化亜鉛にすることが有用な手段と示されており、**酸素を混合した三元ガスが亜鉛メッキ鋼板の溶接には多く適用される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

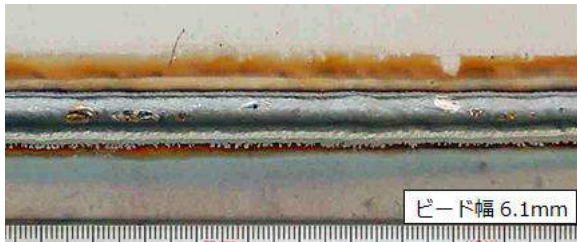
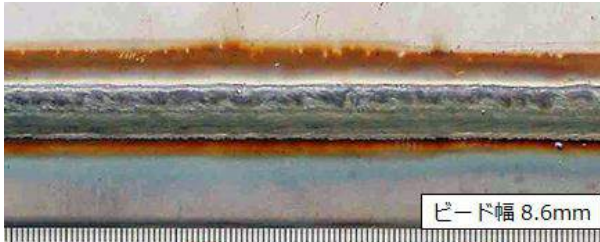


ここで発生した[O]が亜鉛蒸気と即反応して酸化亜鉛を形成するように考えられますが、実際には上述したバックガスの事例からもわかるようにこの[O]で酸化亜鉛は強く生成されません。一方、酸素ガスもアーク熱により以下のように解離します。



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