塗装鋼板の溶接

竹内 宥公*, 川崎 成人*

On the Welding of Shop Primer-Coated Steel Plates

Yukou Takeuchi and Shigeto Kawasaki

Synopsis

New technologies in welding and coating were evaluated in point of blow-hole generation in fillet-welding of shop primer-coated steel plates.

A drastic decrease in the number of generated blow-holes was observed when a plate coated by a new inorganic primer with less amount of zinc was welded under the welding conditions of a 0.55% Si-1.3% Mn-0.07% Ti wire, a 80Ar+20CO₂ shielding gas, and a little bit lower welding current with a new pulse MAG welder.

1. 緒 言

造船や橋梁などでは製作に長期間を要するためその間の防錆処理として受入れた鋼板に、まずショッププライマーといわれる一次防錆塗料を塗装してから製作がはじめられる。

このような塗装された鋼板をすみ肉溶接するとウォームホール（いも虫状の大きな気孔）などの気孔が発生しやすく、また、スパッターが多発しやすいことが知られており、重要部の溶接に際しては、塗装を除去するなどの対策が取られているが、これには多大の工数を要する。塗装したままでの溶接における欠陥の発生状況については、昭和43～46年に日本溶接協会の溶接棒部会において広範囲な共同研究が実施された^{1),2)}。その結果、CO₂、CO₂+50% Ar、CO₂+20% O₂ガスを対象としたガスシールド溶接については、塗料の種類によって若干の差はあるが被覆アーク溶接法の約3倍という多くの気孔が発生することが明らかにされた。

本研究は主にこの共同研究以後に実用化されたガスシールド溶接法と、塗料に関する新技術と新溶接ワイヤを適用した場合の塗装鋼板の溶接における欠陥の発生防止の可能性を実験的に検討したものである。

2. 実験材料および実験方法

シールドガスとしてはCO₂、およびAr+20% CO₂混合ガス（いわゆるMAGガス）を用いた。MAGガスは、スパッター軽減にきわめて有効なため、近年その普及が著しいものである³⁾。さらに、一部の実験には酸化能の高いAr+25% O₂ガスをも使用した。溶接電源は、通常の直流定電圧電源を用いたが、MAGガスの場合に作業性を改善する目的でごく最近開発されたトランジスタ式パルス型電源をも用いた^{4),5)}。それぞれのガスに対応して用いた溶接ワイヤの組成をTable 1に示す。

プライマーは、一般的であり溶接性も比較的良好とされているウォッシュプライマーを主として用い、プライマーの影響を見るために有機ジンクリッチプライマーと近年実用化の進んでいる新しいタイプの無機ジンクリッチプライマーを加え

Table 1. Compositions of welding wire.

Wire	Compositions (wt %)						Shielding gas
	C	Si	Mn	P	S	Ti	
DS 1	0.07	0.82	1.66	0.012	0.010	0.084	CO ₂
DD 50 S	0.04	0.57	1.33	0.011	0.013	0.070	Ar+20%CO ₂
RW 703	0.07	0.82	2.78	0.014	0.006	0.18	Ar+25%O ₂

た。おのおののプライマーの主成分を **Table 2** に示す。

溶接試験材には板厚 16~18mm の軟鋼板を用いショットブラストで完全にスケールを除去した後に塗装を行った。両面を塗装した立板と上面を塗装した下板を **Fig. 1** に示すように組合わせ、両側を水平すみ肉溶接して欠陥を調べた。この場合気孔の発生率には上板と立板の密着状態が大きく影響し、密着しているほど欠陥が発生しやすいとされているので、立板の端面を平滑に機械加工し、両板をプレスで加圧密着させながら両端に拘束溶接を行った。試験溶接は水平すみ肉溶接法で、第 1 ビード溶接後室温にまで空冷してから反対側の第 2 ビードを溶接した。

溶接欠陥の検査法としては、従来は下板の中央に、スリットを入れ、プレスによって溶接金属の中央で破断させ、その破面を肉眼で検査する方法が多く用いられていたが、ガスシールド溶接では一般に溶接金属が母材より強く、また、溶込みが深いため予備テストで溶接金属の中央で破断しないことがわかったため、溶接後立板を高さ約 10 mm にまで切削除去して X 線透過試験を行った。気孔は大きさ、形状が大きくばらつくので、X 線フィルム上で、直径や長さで区分して、それぞれの個数を数えた。

Table 2. Main compositions of tested primers.

Primer	Main compositions
Wash primer	Zinc chromate Phosphoric acid Vinyl resin
Organic zinc-rich primer	Zinc powder Epoxy resin
New inorganic zinc-rich primer	Zinc powder Electric-conductive pigment Ethyl silicate

3. 実験結果

3.1 シールドガス組成の影響

ウォッシュプライマー塗装鋼板を通常の直流電源を用いて CO₂、Ar+20% CO₂ および Ar+25% O₂ の 3 種のシールドガスを用いて溶接を行った。溶接電流は 300A、溶接速度は 30cm/min とし、アーク電圧はそれぞれのガスに適した値を用いた。それぞれの溶接部について気孔数を測定した結果が **Fig. 2** である。気孔発生部の断面マクロ組織の例を **Photo. 1** に示す。気孔は種々の形態を呈するが、ここでは単に直径 4 mm 以上か未満かで分類

Fig. 1. Welding test piece.

Fig. 2. Influence of shielding gas on number of blow-holes in welds of coated plates.

した、第1ビードについてはAr+20% CO₂を除いては欠陥の発生ひん度は少なく、Ar+20% CO₂でも気孔は微少なものである。しかし、第2ビードについてはいずれのシールドガスを用いても多数の大きな気孔が発生しており、気孔発生に及ぼすシールドガス組成の影響はわずかしき認められなかった。なお、Ar+25% O₂ガスではスラグ剥離性が不良であった。

3.2 プライマーの影響

CO₂とAr+20% CO₂ガスを用いてウォッシュプライマー、有機ジンクリッチプライマー、および新無機ジンクリッチプライマーの3種のプライマーについてすみ肉溶接部の気孔を調べた結果を**Photo. 2**と**Table 3**に示す。この実験ではプライマーの膜厚の効果を調べるため標準膜厚のほかやや薄め(標準の約0.7倍)の膜厚に塗装したもの

Photo. 1. Example of blow-hole (worm-hole) in weld of coated plates.

を加えた。写真と表より明らかなごとく気孔の発生に及ぼすプライマーの種類と膜厚の影響はきわめて大きい。すなわち新無機ジンクリッチプライマーは有機ジンクリッチやウォッシュプライマーに比べてはるかに気孔が発生しにくく、また、いずれのプライマーでも膜厚を薄くすることによって気孔の発生は明らかに減少する。そして、有機ジンクリッチやウォッシュプライマーでは、薄膜にしてもまだかなりの気孔が発生するのに対して新無機ジンクリッチプライマーは標準膜厚においても従来知られていたプライマーよりも、気孔が少なく、さらに若干膜厚を下げることによって気孔発生はごくわずかになる。

3.3 溶接施工条件の影響

前述のように新無機ジンクリッチプライマーによれば従来のプライマーよりも気孔が大幅に減少したがさらにくりかえしテストを行ったところ、ばらつきがあり若干気孔が多く生ずる場合もあった。そこで溶接施工面からの気孔の低減について検討した。具体的には溶接電流を下げるこ

Photo. 2. Transmission X-ray film of welds of coated steel plates with various primers.

Table 3. Number and size of blow-holes in second beads of weld of coated steel plates with various primers.

1) Standard coat

Shielding gas	Primer (thickness: μm)	Blow-hole (No./20cm)									
		Diameter(mm)	> 4		2.1~4		1.1~2		< 1		
		Length(mm)	> 4	≤ 4	> 4	≤ 4	> 4	≤ 4	> 4	1.5~4	<1.5
CO ₂	NIZP (15.5)								15	68	
	OZP (16.3)			1	10	7	11	17		39	
	WP (12.5)				3	0.5	5.5	7.5	3	58	
Ar+20%CO ₂	NIZP (15.5)						3			59	17
	OZP (16.3)		2		5.5	1.5	15	7	10.5	43	
	WP (12.5)		1		2	3	6.5	10.5	7.5	16	

2) Thin coat

Shielding gas	Primer (thickness: μm)	Blow-hole (No./20cm)									
		Diameter(mm)	> 4		2.1~4		1.1~2		< 1		
		Length(mm)	> 4	≤ 4	> 4	≤ 4	> 4	≤ 4	> 4	1.5~4	<1.5
CO ₂	NIZP (13.2)									14	
	OZP (11.2)						6	4	7	103	
	WP (7.5)		1				2		3	43	
Ar+20%CO ₂	NIZP (13.2)									9	7.5
	OZP (11.2)						19	2	10	35	
	WP (7.5)				1		2		8	30	

(NIZP : New Inorganic Zinc-rich Primer WP : Wash Primer
 OZP : Organic Zinc-rich Primer 350 A-30 cm/min)

効と考えられるが、CO₂ガスではスパッターの激増がさけられずまた、Ar+20%CO₂ガスを用いても従来の直流電源では、溶接電流をスプレー移行の臨界電流値以下に下げるとアークが不安定になり、スパッターが著しく増加してしまう欠点がある。これをさけるために比較的最近開発されたトランジスター式のパルス型電源を採用した。この電源は低いベース電流に臨界電流値以上のパルス

電流を重ねさせ、1パルスにつき1溶滴ずつ規則的に移行させる機能を持ち、平均溶接電流を臨界電流値以下に下げてもスパッターの発生を少なくおさえられるものである^{4),5)}。パルス型電源で溶接電流を変化させて、標準膜厚の新無機ジンクリッチプライマー塗装鋼板を溶接した結果を Fig. 3 に示す。気孔はいずれも約 $\phi 1.5$ 以下の小気孔であった。300A と高い場合気孔がほとんど無い場

Fig. 3. Influence of welding current on number of blow-holes in pulse MAG welding. (Second bead. New inorganic zinc-rich primer)

合もある一方でやや多めに発生することがあるが250Aに下げることによって皆無にはならないが、ほぼ安定して少なくすることができる。200Aにまで下げると逆に多発するようになるが、これは凝固が早すぎて、発生した気孔が浮上する余裕がなくなるためと考えられる。

4. 考 察

塗装鋼板のすみ肉溶接における気孔の一因としてすみ肉の重ね面における塗料が分解し、発生するガスが溶接金属内にトラップされることが考えられる^{6),7)}。

しかし、このほかに塗料が分解して発生した水素が溶接金属中に溶解し、これが凝固速度に見合

った速度で連続的に排出されることにより、気孔が発生するという考えもあり手溶接とか、フラックスコアードワイヤの場合にはフラックス中にある程度の水素を積極的に添加することによって逆に気孔を軽減できたという報告もある^{8),9)}。そこでシールドガス中に水素ガスを添加した場合の気孔防止効果を明らかにするため、あらかじめ非塗装鋼板上にビード置き溶接をして気孔が発生しない添加量をもとめ(CO₂ガス溶接の場合で約5%)、これ以下の数水準のH₂ガスを添加して、すみ肉溶接を行ったが、H₂の添加による気孔減少の効果は認められず逆に増加した。無塗装鋼板をも加えたすみ肉溶接部のX線写真を**Photo. 3**に示す。塗装鋼板の第1ビードには細長い気孔が生じ、このタイプの気孔は水素添加により増加し、無塗装鋼板でも発生する。

これに対して塗装鋼板の第2ビードには太い気孔が生じる。無塗装鋼板の場合水素を添加してもこのタイプの気孔は発生せず、また、無塗装の場合第1、2ビード間の気孔の形状、量とも大きな差が認められない。このことから塗装鋼板の気孔には2種類あると考えられる。すなわち第1、2ビードともに塗料に含まれる水素の溶解・放出に起因する細長い気孔が発生し、第2ビードにおいてはさらに塗料から発生した溶接金属中に溶解しないガスが(第1ビードがあることによって)逃げ道をふさがれ熔融金属中にトラップされることによって、大きな気孔が発生することが考えられる。

新無機ジンクリッチプライマーは従来の無機ジ

Photo. 3. Transmission X ray film of welds with shielding gas including hydrogen.

ンクリッチが約80%の亜鉛末を含んでいるのに対してこれを約40%に低減したことにその特徴がある。(亜鉛末量の低減により亜鉛末同志の電気的結合がやぶれて電気防食効果が無くなるのは、燐化鉄などの電導性顔料を添加することで防いでいる)。従来の亜鉛末の多い無機ジンクリッチプライマーについては、今回試験しなかったが日本溶接協会の共同研究で試験されており、その結果では他のプライマーに比べてとくに気孔発生が少ないという特徴は得られていない。そこで気孔の減少が亜鉛量の減少によるのかどうかを明らかにするため、亜鉛量を0%~40%にして塗装して溶接した結果をFig. 4に示す。0%の場合に気孔はほとんど発生しないことがわかる。結局「この塗料はベースが無機質であるためベースの分解・燃焼によるH₂ガスと燃焼ガスの発生が少ないこと」、「亜鉛末を減少させたことにより、亜鉛末が加熱されて発生するガスの量が少なくなったこと」によりすぐれた耐気孔性が得られているものと考えられる。

5. 結 言

- 最新の溶接法であるトランジスタ式パルスMAG法を用いること、新しく開発したMAG用ワイヤDD50Sを用いること、更に、最近開発された新無機ジンクリッチプライマーを用いることにより、ショッププライマー塗装鋼板のすみ肉溶接部の気孔を大幅に軽減できることがわかった。すなわち、
- (1) 気孔防止傾向に対するシールドガスの影響は、あまり大きくない。しかし、CO₂ガスにはスパッター、75Ar+25O₂ガスにはスラグ剥離性に若干の不利がある。
 - (2) 各種の要因のなかで、プライマーの種類と膜厚との影響が最も大きく、新無機ジンク（ベース：無機質、ジンク含量：40%以下）では、気孔が0にまでは減少しないが、大幅に減少することが判った。
 - (3) パルス型電源、これによく合致する80Ar+20CO₂ガス、0.55%Si-1.3%Mn-0.07%Ti(DD50S)ワイヤおよびやや低い電流密度（約222A/mm²）とを組み合わせることにより、スパッター、スラグ剥離性を犠牲にすることなく、気孔を安定して少なくすることができる。
- 最後に、本研究を推進するに当たり、種々有益な

Fig. 4. Influence of amount of zinc powder on the number of blow-holes (CO₂, 300A-30cm/min).

御助言をいただいた大同特殊鋼常務取締役研究開発本部長 澤 繁樹 博士、中央研究所副所長 加藤哲男 博士ならびに研究第一部次長 阿部山尚三氏に深く感謝いたします。

(文 献)

- 1) 安藤精一ほか：“溶接と塗料—第1報”溶接棒の研究，(1969) No.10, 120~205 (日本溶接協会発行)
- 2) 安藤精一ほか：“溶接と塗料—第2報”溶接棒の研究，(1972) No.11, 42~118 (日本溶接協会発行)
- 3) 竹内育公ほか：“MAG溶接の溶接作業性と継手特性に及ぼすシールドガス組成の影響”，電気製鋼，51 (1980) 1, 34
- 4) 殖栗成夫ほか：“トランジスタパルスマグ「クリーンマグ」溶接の原理と特徴”第81回溶接法研究委員会資料
- 5) 岡田明之ほか：“トランジスタ制御MAGパルス溶接諸現象の検討”第64回アーク物理研究委員会資料
- 6) 石山菊三ほか：“すみ肉溶接部の気孔について”機械技術研究所所報，25 (1971) 5, 35
- 7) 小林実ほか：“ペイント塗布鋼板のCO₂アークすみ肉溶接部における気孔生成現象に関する研究”溶接学会講演概要，No.26 (1980), 70
- 8) 常富栄一ほか：“水平すみ肉溶接時の水素による気孔”溶接学会誌，44 (1975) 2, 17
- 9) 森垣脩ほか：“耐ペイント性にすぐれた自動溶接用フラックス入りワイヤについて”溶接学会講演概要，No.13 (1973), 472