脱酸剤を含む鋼用ガス熔接棒の化学組成 及び熔接諸条件の影響について (第3報)*

(熔接諸操作の影響)

関口春次郎**, 森本 治**, 牧 泰 司**

Effects of Welding Conditions and Chemical Composition of Steel Gas Welding Rod Containing Deoxidizers (Report 3)*

— Effects of Various Welding Operations —

By H. Sekiguchi,** I. Morimoto** and T. Maki**

Abstract

In this research, effects of welding operations on usability of gas welding rod and mechanical properties of gas weld steels were investigated by using the welding rod III containing 1.37% Mn and 0.13% Si.

The results obtained are as follows:

1. The mechanical properties of weld steels, which were deposited with layers not exceeding about 5mm in thickness, were excellent.
2. The continuous welding method should not be adopted.
3. The weld steels deposited with backhand and weaving techniques had very good mechanical properties.

I 緒 言

ガス熔接棒の化学組成及び熔接吹管火口の内径ならびに火焰の型式などとその熔接部の諸性質との関係については、既に第1報¹⁾及び第2報²⁾において報告した。そして Mn 含量1.37%及び Si 含量0.13%の熔接棒を用い、溶解アセチレン及び標準火焰の中性焰を採用し、内径の比較的大きい火口を選定すれば、優秀な熔接部が得られることを知った。今回はこれらの知識を参考にし、同種熔接棒を用い、更に熔接操作上の諸条件を系統的に変えて実験を行い、熔接部の諸性質に及ぼすこれら諸条件の影響を調べることとした。

II 熔接実施及び諸試験

第1報 Table 2 に示す軟鋼板を、同報 Fig. 1~4 の如く突合せ、同報 Table 3 の一定基礎熔接諸条件のうち、熔着層数、層間空冷放置時間、熔接進行の向き、運棒法その他の諸因子を順次に変えて、酸素アセチレンガス熔接を

行った。そして第1報と同様にして、熔接部の機械的諸性質を測定した。

III 試験結果

かくして得られた諸試験結果について、熔接操作上の諸条件とその熔接部の諸性質との関係を概観しよう。

〔A〕 熔着層数が熔接部の諸性質に及ぼす影響

(1) 層数と全熔着鋼の機械的諸性質との関係

層数と全熔着鋼の機械的諸性質との関係を Table 1 に示す。同表によれば、板厚 19mm の母材を熔接する場合には、概ね5層以上（すなわち層の平均厚さ約 5mm 以下）に盛る熔接方法によって得られた全熔着鋼の機械的諸性質は優秀であった。層厚約 5mm 以上では全熔着鋼の抗張力、延伸率及び断面収縮率は低下した。

層数と全熔着鋼の顕微鏡組織との関係を Photo. 1 に示す。同写真によってわかるように、層数が少ない場合には過熱組織（例4層盛）が多く認められ、層数著しく少い3層盛においては、非金属介在物の量が多い傾向にある。またパーライト組織が減少している。これに反し、層数が増すにつれ、過熱組織は減少し、結晶粒は細くなり、パーライト組織が多く、また非金属介在物の量は少くなる傾向が見られる。

* 原稿受付 昭和29年3月（昭和29年度熔接学会春季学術講演会において発表）

** 正員、名古屋大学工学部、
Member, Faculty of Engineering, Nagoya University

Table 1. The relation between number of layers and mechanical properties of deposited steels

Mechanical properties of all deposited steels*					Charpy impact values of deposited steels**		
Number of layers	Layer thickness, mm	Ultimate tensile strength, kg/mm ²	Elongation, %	Reduction of area, %	Number of layers	Layer thickness, mm	Impact value, kg-m/cm ²
3	9.5	41.7	18.6	36.4	4	4.7	16.7
4	6.3	42.8	29.5	48.2			
5	4.8	43.9	34.9	58.7			
7	3.2	44.8	38.9	70.7	6	2.8	12.7
9	2.4	47.1	34.8	51.8			

Remarks : * Thickness of welded plates =19mm

** ◇ ◇ ◇ ◇ =14mm

Photo. 1. The relation between number of layers and the micro-structures of deposited steels ×400

No. 1. Weld obtained with 3 layers

No. 2. Weld obtained with 4 layers

No. 3. Weld obtained with 5 layers

No. 4. Weld obtained with 7 layers

No. 5. Weld obtained with 9 layers

全熔着鋼引張破面を見ると、層数が少い程、不融合部が多く、しかも広い結果となり、また破断後の試片平行部の表面に皺が多い（即ち結晶粒粗大）傾向を示した。fish eye は層数のいかにかゝらず認められた。

次に全熔着鋼の化学分析結果を Table 2(I) 欄に示す。同表によると、層数が増すにつれ、全熔

着鋼の Mn 含量は多くなる傾向にある。全熔着鋼の Si 含量については、ほとんど変動が見られない。

(2) 層数と熔接部の型曲げ成績との関係

層数または層の平均厚さと熔接部の型曲げ成績との関係を Table 3 及び 4 に示す。これらの表によれば、母材厚さ 6 mm の場合、単層盛（層の平均厚さ約 5mm 以上）によるときは、熔接部曲げ凸状表面にスラッグ捲込みに基づく割れ及び多くの毛割れが発生した。これに反し、2 層盛（層厚約 5mm 以下）の場合には、スラッグ捲込み及び毛割れは減少して良好な成績を示した。更に薄い母材（板厚 3mm）の場合には、単層盛でも、2 層盛と同様良好な成績を示した。また Photo. 2 には板厚 6mm 母材を単層盛して得られた熔接部の X 線透過写真を、2 層盛の場合と比較して示してある。単層盛による場合は、気孔及びスラッグ捲込みがやゝ多いように見える。

(3) 層数と熔接作業性との関係

層数の著しく少い 3 層盛（母材厚 19mm）による場合には、湯が沸きすぎて、吹管が過熱されやすく、そのため標準火焔の中性焔を常に保持することは困難となり、調節しても直ちに酸化焔となりやすかった。従ってスケールやスラッグ量が多い状態を示した。層数が多くなるにつれ、その悪影響は減少した。供試熔接棒中に適量の Mn 及び Si が存在するので、4 層盛（層厚約 6mm）程度ならば、多少酸化焔になっても、脱酸作用が起り、生ずるスラッグの流動性はよく容易に浮き上がるように見えた。

[B] 層間空冷放置時間が熔接部の諸性質に及ぼす影響

(1) 層間空冷放置時間と全熔着鋼の機械的諸性質との関係

層間空冷放置時間と全熔着鋼の機械的諸性質との関係を、4 及び 9 層盛の場合について示すと Table 5

Table 2. The relation between conditions of welding operation and Chemical compositions of all deposited steels

Conditions of welding operation				Chemical elements of all deposited steels (%)				
				C	Si	Mn	P	S
(I)	Number of layers	3		0.05	0.01	0.80	0.013	0.014
		4		0.06	0.01	0.83	0.018	0.011
		5		0.06	0.01	0.87	0.018	0.016
		7		0.05	0.01	0.83	0.018	0.013
		9		0.10	0.01	0.97	0.018	0.013
(II)	Time between layers, min.	4 layers	2~3	0.07	0.01	0.83	0.024	0.013
			15	0.06	0.01	0.83	0.018	0.011
		9 layers	2~3	0.08	0.01	0.92	0.018	0.010
			15	0.10	0.01	0.97	0.018	0.013
(III)	Proceeding direction of welding	foreward		0.07	0.01	0.90	0.020	0.009
		backhand		0.10	0.01	0.97	0.018	0.013
(IV)	Motion of rod and torch	straight		0.10	0.02	0.86	0.011	0.014
		weaving		0.06	0.01	0.87	0.018	0.016
(V)	Asbestos plate	not used		0.10	0.01	0.93	0.015	0.013
		used		0.07	0.01	0.84	0.013	0.015

Table 3. The relation between number of layers and mechanical properties of welded joints

Defects and cracks coming in sight upon convex surface of bent weld steel													
Thickness of bend specimen, 6mm													
Number of layers	Layer thickness, mm	Face bend						Root bend					
		< 1 mm		1.0~3.2mm		3.2mm <		< 1 mm		1.0~3.2mm		3.2mm <	
		Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion
1	8.0	3 1	W.M.* F.L.**	2	W.M.	0	—	2 1	W.M. F.L.	3	W.M.	1	F.L.
2	4.0	3 1	W.M. F.L.	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—

Remarks : * W.M. ... Weld Metal ** F.L. ... Fusion Line

Table 4. The relation between number of layers and mechanical properties of welded joints

Defects and cracks coming in sight upon convex surface of bent weld steel													
Thickness of bend specimen, 3mm													
Number of layers	Layer thickness, mm	Face bend						Root bend					
		< 1 mm		1.0~3.2mm		3.2mm <		< 1 mm		1.0~3.2mm		3.2mm <	
		Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion
1	5.0	0	—	1	W.M.*	0	—	0	—	0	—	0	—
2	2.5	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—

Remarks : * W.M. ... Weld Metal

の通りである。4層盛の場合に層間空冷時間が短かくほとんど連続に盛り上げる熔接方法をとるときには、その熔着鋼の延伸率及び断面収縮率は低値を示したが、層間空冷放置時間を長く15分とした熔接方法によるときは、これらの値

Photo. 2. The relation between number of layers and defects inspected by X-ray penetration photographs of welded joints

No. 1. Welded joint obtained with 1 layer

No. 2. Welded joint obtained with 2 layers

は著しく改良されて良好であった。更に層数の多い9層盛の場合では、多層盛の効果が十分現われたためか、ほとんど連続に盛り上げても、その全熔着鋼の抗張力、延伸率及び断面収縮率は良好な値を示し、15分間放冷した場合のそれらの値と大差はなかった。たゞしその熔着鋼の衝撃値はやゝ低下した。

Photo. 3 には層間空冷放置時間と全熔着鋼の顕微鏡組織との関係を示す。同写真に見られるように、4層盛の場合、連続に盛り上げて得られる熔着鋼は、全体が著しく粗大な過熱組織を呈し、細長く粗大なフェライト組織が認められる。これに対し、15分放冷した場合には、その熔着鋼内には、やはり過熱組織は多く見られるが、その粒はやゝ細かく、また一部には細粒化されたところもある。9層盛の場合では、連続に盛り上げると多少過熱組織が認められるが、4層連続盛の場合より少く、細粒化されたところもある。9層盛で層間15分放冷した熔着鋼は、最後の層を除けば、全く過熱組織はなく、細粒である。

全熔着鋼の機械的性質と顕微鏡組織との関係を見るに、著しく粗大な過熱組織（4層連続盛）からなる熔着鋼は、

Table 5. The relation between time between layers and mechanical properties of deposited steels

Mechanical properties of all deposited steels *						Charpy impact values of deposited steels **			
Number of layers	Time between layers, min.	Layer thickness, mm	Ultimate tensile strength, kg/mm ²	Elongation, %	Reduction of area, %	Number of layers	Time between layers, min.	Layer thickness, mm	Impact value, kg-m/cm ²
4	2~3	6.3	44.5	14.0	23.6				
	15		42.8	29.5	48.2				
9	2~3	2.4	47.2	31.6	42.9	6	2~3	2.8	9.7
	15		47.1	34.8	51.8		12		12.7

Remarks : * Thickness of welded plates =19mm

** ◇ ◇ ◇ ◇ =14mm

Photo. 3. The relation between time between layers and the micro-structures of deposited steels ×400

No. 1. Weld obtained with 2~3 minutes air cooling between layers (4 layers)

No. 2. Weld obtained with 15 minutes air cooling between layers (4 layers)

No. 3. Weld obtained with 2~3 minutes air cooling between layers (9 layers)

No. 4. Weld obtained with 15 minutes air cooling between layers (9 layers)

Defects and cracks coming in sight upon convex surface of bent weld steel +

Number of layers	Time between layers, min.	Layer thickness, mm	Face bend						Root bend					
			< 1 mm		1.0~3.2mm		3.2mm <		< 1mm		1.0~3.2mm		3.2mm <	
			Numb- er	Posi- tion	Numb- er	Posi- tion	Numb- er	Posi- tion	Numb- er	Posi- tion	Numb- er	Posi- tion	Numb- er	Posi- tion
2	1	4.0	3	W.M.*	1	W.M.	0	—	5	W.M.	1	W.M.	0	—
	10		3 1	W.M. FL.**	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—

* W.M. ... Weld Metal ** F.L. ... Fusion Line

熔接進行の向きと全熔着鋼の機械的諸性質との關係を

Proceeding direction of welding	Mechanical properties of deposited steels			
	Ultimate* tensile strength, kg/mm ²	Elongation,* %	Reduction* of area, %	Charpy** impact value, kg-m/cm ²
foreward	48.1	25.8	42.1	10.6
backhand	47.1	34.8	51.8	12.7

※※ // // // =14mm

(2) 熔接進行の向きと熔接部の型曲げ成績との関係
熔接部の型曲げ成績を Table 8 及び 9 に示す。母材厚

さ 6 及び 3mm いずれの場合にも、左進法による熔接部の曲げ成績は不良であり、3.2mm 長以上の大きな不融合欠陥が fusion line に出易く、ある場合には二つに折断したこともあった。また左進法による熔着部内にはスラッグを含む酸化した不融合部や気孔が存在し、曲げるにつれ、これらの欠陥を起点として割れがのびた。熔接部の裏側は透徹不足となっていて、スケールが著しく多かった。

Photo. 6 には左進法によって得られた熔接部曲げ試片が二つの折断した場合の破面の状況を示す。

次に厚さ 6mm の母材を左進法により熔接した場合の熔接部の X 線透過写真を、右進法の場合と比較して Photo. 7 に示した。左進法による熔接部内には、右進法による場合に比べて、気孔やその他の欠陥が多い。

(3) 熔接進行の向きと熔接作業性との関係

左進法によるときは、右進法による場合に比べて、得られるビードは凹み勝ちであり、同一時間では層厚は小となり易い。そして本質的に熔湯が火焔によって熔接進行方向へ吹き流され易い傾向を示し、従って未だ熔けていない母材削稜部上に熔湯がのった形となつて、母材と充分融合することができない場合が生じ易

い。また左進法による場合は、直前に熔接したビードからの幅射熱によって、吹管が過熱され易く、火口の先にスケールが附着して爆発を起し易い傾向にある（熔接時間が長くなれば、この傾向は著しい）。そしてスパッターも多くなり、酸化焔となり易かった。従って左進法では熔接操作に熟練を要する。これに反し、右進法は操作し易い。しか

Photo. 5. The relation between proceeding direction of welding and the micro-structures of deposited steels $\times 400$

No. 1. Weld obtained with foreward technique

No. 2. Weld obtained with backhand technique

Table 8. The relation between proceeding direction of welding and mechanical properties of welded joints

Defects and cracks coming in sight upon convex surface of bent wldd steel												
Thickness of bend specimen, 6mm												
Proceeding direction of welding	Face bend						Root bend					
	< 1mm		1.0~3.2mm		3.2mm <		< 1mm		1.0~3.2mm		3.2mm <	
	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion
foreward	fractured along by fusion line						3	W.M.	2	W.M.	4	W.M.
							3	F.L.	3	F.L.	1	F.L.
(2)	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	1	F.L.
backhand	3	W.M.*	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
	1	F.L.**										

Remarks : * W.M. ... Weld Metal, ** F.L. ... Fusion Line

Table 9. The relation between proceeding direction of welding and mechanical properties of welded joints

Defects and cracks coming in sight upon convex surface of bent weld steel												
Thickness of bend specimen, 3mm												
Proceeding direction of welding	Face bend						Root bend					
	< 1mm		1.0~3.2mm		3.2mm <		< 1mm		1.0~3.2mm		3.2mm <	
	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion	Num- ber	Posi- tion
foreward	0	—	1	C	0	—	1	C	0	—	2	W.M. and F.L.
backhand	0	—	1	W.M.	0	—	0	—	0	—	0	—

Remarks : W.M. ... Weld Metal, F.L. ... Fusion Line, C. ... Corner

し左進法によるビードの外観は右進法によるそれに較べて美麗であった。

[D] 運棒法が熔接部の諸性質に及ぼす影響

Fig. 1 に示すように、直線 (straight) 運棒法を採

Photo. 6. Fracture of bent welded joint with forward technique

Photo. 7. The relation between proceeding direction of welding and defects inspected by X ray penetration photographs

No. 1. Welded joint obtained with forward technique

No. 2. Welded joint obtained with back-hand technique

Weaving (5pass)

Straight (9pass)

Fig. 1 Motion of Rod and Torch

Table 10. The relation between motion of rod and torch and mechanical properties of all deposited steels

Motion of rod and torch		Mechanical properties of all deposited steels*		
		Ultimate tensile strength, kg/mm ²	Elongation, %	Reduction of area, %
Straight	5layers 9passes	43.5	20.1	37.8
Weaving	5layers 5passes	43.9	34.9	58.7

Remarks: * Thickness of welded plate =19mm

Photo. 8. The relation between motion of rod and torch and the micro-structures of deposited steels ×400

No. 1 Weld obtained with straight technique

No. 2. Weld obtained with weaving technique

用した場合には 9 pass とし、ウィービング (weaving) 運棒法の場合には 5 pass で熔接を行った。そしていずれも 5 層にした。

運棒法と全熔着鋼の機械的諸性質との関係を、Table 10 に示す。同表によれば、直線運棒法による全熔着鋼の延伸率及び断面収縮率は、ウィービング運棒法によるそれらより低値を示している。直線運棒法によるときは、既に盛ったビードに並行に次のビードを盛る際、前のビードに対して熔込みが少く、しばしば熔解しない部分が生じやすく、そのため不融合部が現われた。それで引張破面にも不融合部が認められた。かくして全熔着鋼の延伸率及び断面収縮率は低い値を示したものと思われる。故に直線運棒法によるときは、大きい火口を使用して熔込不足部を作らぬよう注意することが必要であろう。これに反し、吹管及び熔接棒をウィービングさせる方法によるときは、母材との境界及び既に盛ったビードをよく沸かし得るので、不融合部は著しく減少したものと思われ、全熔着鋼の引張破面には不融合部が認められず、優秀な機械的性質を示した。Photo. 8 には各運棒法による熔着鋼の顕微鏡組織を示す。同写真によ

Table 11. The relation between existence or non-existence of asbestos plate and mechanical properties of all deposited steels

Asbestos plate	Mechanical properties of all deposited steels*		
	Ultimate tensile strength, kg/mm ²	Elongation, %	Reduction of area, %
not used	44.0	29.4	50.2
used	43.2	38.1	63.2

Remarks: * Thickness of welded plates =19mm

れば、組織的には、いずれの運棒法によるも、差異は認め難い。Table 2 (IV) 欄にはそれぞれの運棒法によって得られた全熔着鋼の化学成分を示す。

【E】 アスベスト板の有無が熔接部の諸性質に及ぼす影響

(1) アスベスト板使用の有無と全熔着鋼の機械的諸性質との関係

厚さ 19mm 母材と台鋼板との間に厚さ約 15mm のアスベスト板を敷いて台鋼板と隔離して熔接した場合と、アスベスト板を使用しなかった場合とにつき、全熔着鋼の機械的性質を調べた結果を示せば、Table 11 の通りである。強いていえば、アスベスト板を使用して得られた全熔着鋼の方が、僅かに抗張力が低く、延伸率及び断面収縮率は高い値を示している。

Photo. 9. The relation between existence or non-existence of asbestos plate and the microstructures of deposited steels $\times 400$

No. 1. Weld obtained without asbestos plate

No. 2. Weld obtained with asbestos plate

Table 12. The relation between existence or non-existence of asbestos plate and mechanical properties of welded joints

Defects and cracks coming in sight upon convex surface of bent weld steel *													
All welding times	Asbestos Plate	Face bend						Root bend					
		< 1 mm		1.0~3.2mm		3.2mm <		< 1 mm		1.0~3.2mm		3.2mm <	
		Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion	Numb-er	Posi-tion
5' 30"	not used	0	—	0	—	0	—	0	—	6	W.M.	0	—
5' 30"	used	3	W.M.	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
		1	F.L.										
10' 30"		1	F.L.	0	—	0	—	6	W.M.	3	W.M.	0	—

Remarks: * Thickness of bend specimen = 6mm

W.M. --- Weld Metal, F.L. --- Fusion Line

Photo. 9 には全熔着鋼の顕微鏡組織を示す。同写真によれば、アスベスト板を使用して得られる熔着鋼は、使用しない場合よりも多少パーライト組織が減じている。Table 2 (V) 欄にはこれら熔着鋼の化学成分を示す。アスベスト板を使用した場合の熔着鋼の Mn 及び C 含量は、使用しない場合に較べてやゝ少い。

(2) アスベスト板使用の有無と熔接部型曲げ成績との関係

厚さ 6mm の母材と台鋼板との間に、厚さ約 15mm のアスベスト板を敷いて台鋼板と隔離した場合と、アスベスト板を使用しなかった場合の熔接部型曲げ成績を Table 12 に示す。同表によれば、アスベスト板を使用しない場合には、才 1 層部分に比較的に大きな開口孔を生じたため、裏曲げの場合に長さ 1.0~3.2mm の比較的に大きな欠陥及び割れが生じた。Photo. 10 にはその熔接部の X 線透過写真を示した。しかしアスベスト板を使用して冷却速度を著しく小にすると (10分30秒の全熔接時間)、却って曲げ欠陥が多くなる傾向にあった (Table 12 参照)

(3) アスベスト板使用の有無と熔接作業性との関係

Photo. 10. The relation between existence or non-existence of asbestos plate and defects inspected by X-ray penetration

No. 1. Welded joint obtained without asbestos plate

No. 2. Welded joint obtained with asbestos plate

板厚 6mm 母材をアスベスト板を使用せずに熔接速度を大にして熔接すると、台鋼板により急冷されて、ガスが熔湯から逃げきれず、しばしば比較的に大きな開口孔を生じた。そしてこの傾向は冬季すなわち室温の低いとき特に起