高マンガン鋼のガスシールドアーク溶接（第1報）*

—溶接金属の性質におよぼすシールドガスおよび溶接条件の影響—

安藤 精一** 内田 彰*** 木俣 登***

Gas Shielded Arc Welding of Austenitic Manganese Steel (Report 1)*

—Effect of shielding gas and welding conditions on properties of weld metal—

by Seiichi Ando**, Akira Uchida*** and Noboru Kimata***

Abstract

A series of study was carried out to realize automatic welding of austenitic manganese steel rail which had been conventionally performed by manual arc welding process.

Using austenitic manganese steel as base metal, 16 Mn-16 Cr wire as electrode, and mainly CO_2 , A and N_2 singly or mixed as shielding gas, build up welding was performed. Further, with the welding conditions varied, single bead welding was made. The mechanical properties, chemical composition and microstructure of weld metal were investigated on these welds.

For any shielding gas used, the mechanical properties of deposited metal are satisfactory. Impact value is particularly good in the case of A- N_2 gas; This is presumably partly due to relatively small contents of non-metallic inclusions. Among the welding defects, hardly any crack occurs, but blow holes are observed more often in N_2 - CO_2 gas and in A- O_2 gas containing considerable quantities of O_2 .

As for the chemical composition of deposited metal, with an increased CO_2 or O_2 content of shielding gas the consumption of manganese in welding increases and as the result the manganese content of deposited metal decreases (transfer efficiency of manganese is about 80% for single use of CO_2 gas). The decrease of chromium content is small but it shows the same tendency as manganese content. Nickel content hardly depends on the composition of shielding gas. Meanwhile, if the N_2 content of shielding gas is large, the N content of deposited metal also grows large (0.49% for 20% CO_2 -80% N_2). The deposition efficiency is high when the shielding gas is rich in A; and it is low when the gas is rich in CO_2 , N_2 and O_2 .

Under high arc voltage and under low welding current, the weld metal surface is liable to develop blow holes (pits), accompanied by a drop in the deposition efficiency and an increase in spattering, if the shielding gas is rich in CO_2 . In this case the manganese content of weld metal is lower than in others.

If the welding is performed in appropriate shielding gas under appropriate welding conditions, use of 16 Mn-16 Cr welding wire will assure weld metal having high mechanical properties and almost free from any welding defects.

1. ま え が き

高マンガン鋼はじん性に富み、かつ加工硬化能が大きく、衝撃的な荷重を受ける場合非常に優れた耐摩耗性を示す。このため土木機械の耐摩材あるいは鉄道の分岐器の一部（クロッシング）などに広く用いられている。

この種の鋼の肉盛あるいは接合溶接はこれまで主として手アーク溶接で行なわれてきたが、近年それらの自動化に対しだいに関心がはらわれるようになり、これに

関する文献^{1,2,3)}がいくつか見受けられるようになった。

しかし自動溶接では溶接能率の大巾の向上などの利益が得られる反面、一般に溶接入熱が大きく、さらに連続溶接を行なうときは溶接熱影響が広範囲におよび、高マンガン鋼の場合は、主として結晶粒界に炭化物が析出して、熱影響部の脆化がいちじるしくなる恐れがある。上記の文献も熱影響部の脆化その他自動溶接にともなう問題点についてかならずしもじゅう分な検討を加えていない。

ここで著者らは、諸種の自動溶接法のうち比較的熱の集中性の良いガスシールドアーク溶接法の採用、さらに母材熱影響部に対する強制冷却の併用、および溶接時間

* 原稿受付 昭和44年4月21日（昭和39年度秋季全国大会にて発表）

** 正 員 日本大学生産工学部 Member, College of Industrial Technology, Nihon University

*** 正 員 鉄道技術研究所 Member, Railway Technical Research Institute, JNR.

Fig. 2 Preparation for test specimens (unit mm)

Notes : ①Analysis sample ②Tension test specimen; Dia. 6, G.L. 24

③Impact test specimen; 10×10×55, 2 U notch ④Test specimen for inspecting cross section ⑤Inspected surface ⑥Base metal

またシングルビード溶接の場合は、Table 2(b) に示す溶接条件の範囲で、CO₂, A, N₂ または CO₂-A(50-50%) をシールドガスとして実験を行なった、実験は原則として同表の諸条件のうち一条件を表の範囲に変え、他は標準値により、高マンガン鋼母材上に溶接長 100 mm のシングルビードを置いた。

ついで肉盛溶接の場合 Fig. 2(a) に、またシングルビード溶接の場合 Fig. 2(b) に示す要領で引張、衝撃および顕微鏡試験片の製作あるいは分析試料の採取を行ない、それぞれの試験に供した。

3. 実験結果ならびに検討

3.1 シールドガスと溶着金属の機械的性質

肉盛溶接部の機械的性質におよぼすシールドガスの組成の影響を Fig. 3~4 に示した。Fig. 3 において 16Mn-16Cr 溶着金属の引張試験結果には、使用したシールドガスにより多少の差が現われている。すなわち引張強さは、たとえば N₂-A 系および CO₂-N₂ 系で N₂ が多い場合にやや高く、またシールドなしの場合、すなわち大気 (80% N₂-20% O₂) 中で溶接した場合、N₂ 単独の場合よりもさらに高い。また伸びおよび絞りについ

Fig. 3 Effect of shielding gas on mechanical properties of build up Weld (1)

Note : T.S.; Tensile strength, El; Elongation, R.A.; Reduction of area

Fig. 4 Effect of shielding gas on mechanical properties of buildup weld (2)

Note : I; Impact value (2 mm U Charpy, test temperature 20°C) Hv; Vickers hardness (Load 1 kg)

ては、たとえば $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 系では CO_2 80% の場合にもっとも低く、また A-O_2 系では O_2 の増加とともに低下している。しかしいずれの場合も引張強さ、伸びおよび絞り是比较的良好で、それぞれ 70~75 kg/mm², 45~55% および 55~65% の値を示している。

つぎに Fig. 4 において、衝撃値は $\text{N}_2\text{-A}$ (N_2 あるいは A 単独を含む) の場合、26~34 kg-m/cm² でとくに高いことが注目されるが、その他の場合も 14~21 kg-m/cm² の値を示し、いずれもじん性はかなり高い。

また溶着金属のかたさはシールドガス中に A を多く含む場合他にくらべてやや低く、シールドなしの場合やや高い。

3.2 シールドガスと溶着金属の化学成分

Fig. 5 および Fig. 6 に肉盛溶接の場合の 16Mn-16Cr 系溶着金属の化学成分におよぼすシールドガスの影響を示す。シールドガス中に CO_2 あるいは O_2 が多く含まれると、ワイヤ中の Mn はアーク中あるいは溶融池で酸化消耗し、溶着金属の Mn 含量が低下するが、 CO_2 単独の場合 Mn の移行率は約80%である。Cr 含量の場合も同様な傾向を示すが、アーク中あるいは溶融池における消耗は Mn にくらべてかなり少ないようである。また Ni 含量はいずれの場合もほとんど変化が認められない。Cr および Ni に関するこれらの傾向は、オーステナイト系ステンレス鋼のガスシールドアーク溶接の場合⁴⁾と同様である。C はシールドガス中に CO_2 を多く含む場合にやや高くなる。なお耐食性の劣化が問題となるオーステナイト系ステンレス鋼溶接部の場合⁵⁾と異なり、16Mn-16Cr 系ワイヤによる溶着金属の場合は、多少 C 含量が増大しても、使用目的から考えてほとんど問題にならない。

つぎにシールドガス中に N_2 が多くなると溶着金属の N 含量も増大する。ただしシールドガスが A-N_2 系でも、オーステナイト系ステンレス鋼の場合に報じられているような Sieverts の法則の成立⁶⁾は認められない。これにはワイヤにすでに 0.2% の N を含むことに関係がある。N 含量は $\text{N}_2\text{-CO}_2$ 系 (80~20%) の場合 0.49%, シールドなし、すなわち $\text{N}_2\text{-O}_2$ のふん囲気の下では 0.60% の値を示し、多量の N_2 と少量の CO_2 との混合ガスを用いた場合、あるいはシールドなしの場合、すなわちアークふん囲気中に N と若干の O とが共存する場合に、溶着金属の N 含量はシールドガスが N_2 単独の場合よりも高い。オーステナイト系ステンレス鋼についても同様なことが報告されている⁶⁾。

なお N は C に匹敵する強力なオーステナイト化元素であることはよく知られており、これによって他のオーステナイト安定化元素を節約できる可能性があるが、シ-

ールドガスが $\text{CO}_2\text{-N}_2$ 系の場合は後述するようにブローホールを生じ易く、またアーク中で NO が生じ、さらに酸化して有毒な NO_2 を生ずる恐れがある。

A に O_2 を混合してシールドガスとした場合、 O_2 を増すことにより、N はわずかに減少し、C は逆に増大する傾向がある。Si は Mn の場合と同様、シールドガスが CO_2 あるいは O_2 を多く含むにつれて減少する。

Fig. 5 Effect of shielding gas on chemical composition of buildup weld (1)

Fig. 6 Effect of shielding gas on chemical composition of buildup weld (2)

3.3 溶接条件と溶接金属の化学成分

溶接金属（シングルビード溶接の場合）の化学成分に

Fig. 7 Effect of shielding gas and arc voltage on chemical composition of single bead weld metal

- Notes : 1) — analyzed, calculated from chemical composition of base metal and welding wire and penetration ratio
2) Figures in parentheses show welding current when the standard value cannot be obtained (Figs. 7~13)

Fig. 8 Effect of welding conditions on chemical composition of single bead weld metal

- Notes : 1) Same as note (1) in fig. 7
2) Shielding gas; CO₂-A

およぼす溶接条件の影響を Fig. 7 および Fig. 8 に示す。これらの図で実線は実際の分析値を、また点線は母材とワイヤの分析値および溶け込み率から計算で求めた値を示す。両者の値にかなりの差がある場合は、アーク中あるいは溶融池においてその元素に増減があったことを示すものと考えられる。ただし母材の化学成分には Table 1 に示す平均値を、また溶け込み率はビード中央部 2 ケ所の横断面で測定した値の平均値を用いた。溶接条件による溶け込み率の変化は、ビード各部の寸法とともに Fig. 9 および Fig. 10 に示した。Fig. 7 において 3 種のシールドガスを用いた場合のアーク電圧の影響をみると、実際の分析値と計算値とは多くの場合かなりよく一致し、溶接金属の化学成分は溶け込み率によってほぼ決定されている。しかし溶接金属の Mn および Si 含量は、CO₂ をシールドガスとする場合に分析値と計算値との間に明らかに差があり、それらの元素が溶接中になんまり消耗することを示す。かつアーク電圧の上昇によって両者の差が大きくなり、Mn および Si の消耗が大きくなる傾向がある。さらに N₂ をシールドガスとする場合、アーク電圧にあまり関係なく、N 含量は計算値よりも実際の分析値の方が高く、溶接金属がアークふん囲気より N を吸収したことを示している。

ただし肉盛溶接の場合にくらべると N 含量の増加がかなり少ないが、これは肉盛溶接とシングルビード溶接と

Fig. 9 Effect of shielding gas and arc voltage on penetration and dimensions of single bead weld metal

Note : Shielding gas; CO₂, A or N₂

Fig. 10 Effect of welding conditions on penetration and dimensions of single bead weld metal

Note : Shielding gas; CO₂-A (50-50%)

の間の条件の差,たとえば母材による希釈,溶融池の大きさなどの差によるものであろう。

つぎに Fig. 8 に示す CO_2 -A(50-50%) をシールドガスとした場合の溶接諸条件の影響についてみると,この場合も溶接金属の化学成分は溶け込み率によって大きく支配されているが,シールドガスが CO_2 を多量に含むので,いずれの場合も Mn および Si は溶接中かなり消耗している。またアーク電圧の増大および溶接電流の減少によってわずかながら Mn および Si の消耗の程度が大となる傾向があるが,溶接速度およびトーチ(コンタクトチューブ)と母材の距離の影響はほとんど認められない。C 含量については Fig. 7 の場合と同様,分析値と計算値がおおむね一致する。また N 含量は,(1) アーク電圧の増大,(2) 溶接電流の減少および(3) トーチと母材の距離の増大によってやや大となる傾向が認められるが,(1) および (2) についてはアークの長さの増大により,また(3) については,トーチが溶融池より離れるために大気中の N_2 の侵入の影響を受けることが考えられる。

3.4 溶接金属の肉眼ならびに顕微鏡検査結果

3.4.1 シールドガスの影響

Table 3 に肉盛溶接部のブローホールおよび割れの発生傾向,組織ならびに非金属介在物の存在状態などによぼすシールドガスの影響について示した。

(1) ブローホールおよび割れ

シールドガスが CO_2 - N_2 系の場合(CO_2 あるいは N_2 単独の場合を除く),A- O_2 系で O_2 が20%以上を含む場合,もしくはシールドなしの場合には,表面に開口したブローホール(ピット)を認めた。ただしA単独またはA- CO_2 系でAの多い場合ブローホールは認められない。またA- N_2 系では生じても少ない。 CO_2 単独の場合,Aに多量の O_2 を含む場合およびシールドなしの場合に,切断面にブローホールを認める場合があった。また割れは一部の試験片にわずかに認められたが,これらはブローホールにともなって生じたものである。

(2) 顕微鏡組織

中および上層部の組織は一般にオーステナイト+フェライトであるが,シールドガスが CO_2 - N_2 系の場合(CO_2 あるいは N_2 単独の場合を含む)およびシールドなしの場合オーステナイトで,これらはいずれも強いオーステナイト化元素であるNあるいはCの含量が他にくらべて高いことによる。シールドガスにAが多い場合で

Table 3 Effect of shielding gas on defects and microstructure in build up weld

Composition of shielding gas (%)				Cracks ¹⁾	Blow holes ¹⁾		Micro-structure ⁴⁾	Ferrite ⁵⁾ (%)	Non metallic inclusion ¹⁾
CO_2	A	N_2	O_2		Surface	Cross section ³⁾			
100	0			—	+	—(++)	A	0~1.5	++
80	20			—	+	—	A+F	0~1.5	+++
60	40			—	—	—	A+F	0~1.5	++
40	60			—	—	—	A+F	0~1.5	+++
20	80			+ ²⁾	—	+	A+F	1.5~2.5	++
0	100			—	—	—	A+F	1.5~2.5	+
100		0		—	+	—(++)	A	0~1.5	++
80		20		—	++	+	A	0~1.5	++
60		40		—	++	—	A	0~1.5	++
40		60		+ ²⁾	+++	—	A	0~1.5	++
20		80		—	++	—	A	0~1.5	+++
0		100		—	+	—	A	0~1.5	++
	0	100		—	+	—	A	0~1.5	++
	20	80		—	—	—	A	0~1.5	+
	40	60		—	+	—	A+F	0~1.5	+
	60	40		—	+	—	A+F	0~1.5	+
	80	20		—	+	—	A+F	0~1.5	+
	100	0		—	—	—	A+F	1.5~2.5	+
	100		0	—	—	—	A+F	1.5~2.5	+
	96		4	—	—	—	A+F	1.5~2.5	++
	80		20	—	++	—	A+F	1.5~2.5	++
	60		40	—	+++	—(+++) ³⁾	A+F	0~1.5	+++
Non shield				—	++	+++	A	0~1.5	+++

Notes: 1) — none, + slight, ++ appreciable, +++ conspicuous

2) Accompanies blow holes

3) (.) ; observed in other areas than test piece for microscopic examination

4) A ; austenite, F ; ferrite

5) According to ferrite indicator

Photo. 1 Microstructure of build up weld (upper layer), $\times 200$ ($\times 1/2$)

Note : Etchant; Ferric chloride-hydrochloric acid solution

も、母材に近い部分、とくにC含量の高い母材と融合する第1層はオーステナイト組織を呈する。Photo. 1に肉盛溶接部上層部の顕微鏡組織の一例を示した。

(3) 非金属介在物

非金属介在物はシールドガスが $A-N_2$ 系の場合（Aあるいは N_2 単独の場合を含む）他に比較して少ない。さきの Fig. 4 においてこの系のシールドガスを用いた場合に、溶着金属が高いじん性を示したのは、非金属介在物が一般に少なく、かつ細かいことが一因と考えられる。Photo. 2 に上層部における非金属介在物の分布状態を示した。

3.4.2 溶接条件の影響

Table 4 にシングルビード溶接部のブローホールおよび割れの発生傾向におよぼす溶接条件の影響を示した。シールドガスが CO_2 あるいは CO_2-A の場合に、ビード表面に細かい多数のブローホールが認められることがあり、これらはアーク電圧が高いか、あるいは溶接電流が低い場合に生じ易い。この他切断面に大きなブローホールを認める場合もある。なお表面の細かいブローホールは CO_2 単独の場合よりも CO_2-A (50-50%) による場合の方が、さらに N_2 あるいはAを単独で用いた場合の方が生じ難い。溶接速度あるいはトーチと母材の距離

Photo. 2 Distribution of non-metallic inclusion in build up weld, $\times 200$ ($\times 1/2$)

がブローホールの発生におよぼす影響は、この実験ではほとんど認められない。また割れは一部の試験片のクレータに軽微なものが存在するが、その他の部分には認められない。

3.5 溶着率およびスラグ量

3.5.1 シールドガスの影響

Fig. 11 に肉盛溶接時の溶着率および生成されたスラグ量 (ワイヤ 100 g 当り) を示す。シールドガスに CO_2 -A 系を用いた場合、 CO_2 含量が多くなるとスラグ量が増し、同時に溶着率が低下する。 N_2 が多くなるとスラグ量が減少するが、溶着率の向上は少ない。これはスパッタが増加するためとみられる。また A- O_2 系で

は O_2 が多くなると溶着率が下り、スラグ量が増してくる。さらにシールドなしの場合も、溶着率が低くスラグがやや多い。スラグの量は溶接中における Mn, Si などの合金元素の消耗が大きい場合に大となるが、 CO_2 をシールドガスとする場合のスラグ中の元素の割合はつぎの通りである。

Fe : 15.6%, Mn : 58.3%, Cr : 5.8%, Ni : Tr., Si : 5.6%. これから溶接中における Mn の消耗の大きいこと、Cr の消耗はこれにくらべてかなり少ないこと、また Ni はほとんど消費しないことが推定でき、これらはさきの溶着金属の化学分析の結果と一致する。

3.5.2 溶接条件の影響

Table 4 Effect of welding conditions on weld defects in single bead weld

Shielding gas	Arc voltage (V)	Welding current (A)	Welding speed (mm/min)	Torch to plate distance (mm)	Deefects in weld metal ¹⁾					Spatter ³⁾
					Blow holes			Cracks		
					Surface	Transverse section	Longitudinal section	Transverse section	Longitudinal section ²⁾	
CO ₂	30	330	150	20	++	+	—	—	+	A
	35	350	"	"	++	—	—	—	+	A
	40	350	"	"	+++	—	+	—	—	C
A	25	315	150	20	—	—	—	—	+	A
	30	315	"	"	—	—	—	—	+	A
	35	325	"	"	—	—	—	—	—	A
N ₂	30	290	150	20	—	—	—	—	—	B
	35	310	"	"	—	—	—	—	—	A
	40	325	"	"	—	—	+ ⁴⁾	—	—	A
CO ₂ -A 50-50 (%)	25	340	150	20	—	—	—	—	+	A
	30	350	"	"	—	—	—	—	+	A
	35	350	"	"	—	—	—	—	+	A
	40	350	"	"	++	—	—	—	+	C
	35	350	100	20	+	—	—	—	+	A
		350	150	"	—	—	—	—	+	A
		350	200	"	+	—	—	—	+	A
		350	300	"	+	—	—	—	+	A
	35	350	150	15	+	—	—	—	+	B
		350	"	20	—	—	—	—	+	A
		330	"	25	+	—	—	—	+	A
		280	"	30	+	—	—	—	—	B
	35	250	150	20	++	—	—	—	+	C
		300	"	"	++	—	—	—	—	C
		350	"	"	—	—	—	—	+	A

Notes: 1) - none, + slight, ++ appreciable, +++ conspicuous

2) Cracks observed at crater

3) A slight, B appreciable, C conspicuous

4) Large blow holes

Fig. 11 Effect of shielding gas on deposition efficiency and slag formation in build up welding

Note: Slag(g); Per 100 g of melted welding wire (Figs. 11~13)

Fig. 12 および Fig. 13 にシングルビード溶接の場合の溶着率およびスラグ量におよぼす溶接条件の影響を示した。Mn, Si などの溶接中における消耗の程度はスラ

グ量からおおむね推定できる。Fig. 12 において CO₂ をシールドガスとする場合アーク電圧が高くなると溶着率が低下し、スラグ量が増える。とくにアーク電圧が 40V の場合溶着率が低いが、これは Table 4 中に示したようにスパッタが非常に多いためである。シールドガスが A あるいは N₂ の場合、スラグ量はアーク電圧に関係なく少ないが、スパッタが多くなるため、溶着率は高電圧あるいは低電流の場合に低下する。また Fig. 13 の CO₂-A (50-50%) をシールドガスとする場合の溶着率およびスラグ量におよぼす溶接条件のうち、アーク電圧については、Fig. 12 の CO₂ 単独の場合と同様な傾向を示すが、同一アーク電圧では、CO₂ 単独の場合よりも当然溶着率は高く、スラグは少ない。溶接速度およびトーチと母材の距離の影響は小さい。ただし後者が 30mm の場合はスパッタが多く、溶着率がやや低く、またスラグ量も多いが、この場合溶接電流が標準値よりかなり低いので、いずれの影響が判定し難い。溶接電流が大となると溶着率は向上し、スラグ量が低下する。なお Table 4 には観察によるスパッタの発生程度を示した

Fig. 12 Effect of shielding gas and arc voltage on deposition efficiency and slag formation in single bead welding

Note : Shielding gas; CO₂, A or N₂

Fig. 13 Effect of welding conditions on deposition efficiency and slag formation in single bead welding

Note : Shielding gas; CO₂-A (50-50%)

が、スパッタもブローホール同様アーク電圧が高い場合および溶接電流が低い場合に多くなる傾向がある。

4. 結 論

高マンガン鋼母材および 16Mn-16Cr 系ワイヤを用い、主として CO₂, A および N₂ を単独または混合してシールドガスとし、肉盛溶接を行なった。またさらに溶接条件を変えてシングルビード溶接を行なった。ついで得られた溶接金属の機械的性質、化学成分、顕微鏡組織などを調べた。

(1) いずれのシールドガスを使用した場合も、溶着金属の機械的性質は比較的良好である。引張り性質は差が少ないが、じん性は A-N₂ 系の場合とくに優れている。

(2) 溶接中における Mn の消耗はシールドガス中に CO₂ もしくは O₂ を多量に含む場合に多く、A-N₂ 系の場合に少ない。Cr も Mn と同様な傾向を示すが、

溶接中の消耗は比較的少ない。シールドガス中に CO₂ が多い場合、溶着金属中の C 含量が高くなる傾向がある。また N₂ が多い場合およびシールドなしの場合は N 含量が高くなる。

(3) CO₂-N₂ 系 (CO₂: 20~100%) あるいは A-O₂ 系 (O₂: 20%以上) をシールドガスとする場合もしくはシールドなしの場合、溶着金属にいちじるしいブローホールの発生を認める。その他の場合は生じても少ない。割れは一部のクレータを除きほとんど認められない。

(4) 溶着金属あるいは溶接金属の組織は一般にオーステナイトであるが、シールドガス中に A を多く含む場合、溶着金属に少量のフェライトを認める。非金属介在物はシールドガスに A-N₂ 系を用いた場合他に比べて少ない。

(5) CO₂ もしくは CO₂-A (50-50%) をシールドガスとする場合、溶け込みに支障のない範囲でアーク電圧は低目に、また溶接電流は高目に設定することが望ましく、これによって Mn の消耗を少なくし、かつブローホールの発生を防止できる。また同時にスパッタを少なくし、溶着率を向上させることができる。

(6) 高マンガン鋼の溶接に際し、ワイヤに 16Mn-16Cr 系を、またシールドガスに CO₂-A または A-N₂ 系 (たとえば 50-50%) を使用し、適切な溶接条件のもとにガスシールドアーク溶接を行なえば、機械的性質が良好でかつ溶接欠陥を含まない溶接金属を得ることができる。

終りに本実験に協力された鉄道技術研究所溶接研究室、萩原健三氏を初め鉄道技術研究所の関係各位に対し厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) H.S. Avery and H.J. Chapin, "Austenitic Manganese steel Welding Electrodes", W.J., Vol. 33 (1954) No. 5, 459-479
- 2) Е.Н. Морозовская, "Автоматическая наплавка высокомарганцевой аустенитной стали Г13", Авт. Св. 1961, No. 3, 31-41
- 3) Welding handbook, Fifth Edition, 1966, p. 66.29-66.31
- 4) 関口, 益本, 栗林: "18-8 ステンレス鋼のガス被包金属アーク溶接について", 本誌, Vol. 31 (1962) No. 6, 435-451
- 5) B.H. Hopkinson and D.W. McDowell, "Corrosion of Stainless-Steel Welds Formed With Carbon-Dioxide Shielding", W.J., Vol. 38 (1959) No. 4, 188a-193a.
- 6) 小林, 桑名, 菊池: "ステンレス鋼溶接金属の窒素含量および気孔", 本誌, Vol. 35 (1966) No. 4, 330-338.