溶接金属の気孔について*

益本 功** 篠田 剛**

Chemical Analysis on Blowholes*

by Isao Masumoto** and Takeshi Shinoda**

Abstract

This study was carried out directly to detect the constituent of gas in blowholes of weld metal by a microscopic micro-analysing and a mass spectrometer. Aluminum and its alloy, mild steel, high strength steel and austenitic stainless steel were used as base metals. And a bead-on-plate was deposited by the gas shielded metal arc welding under various shielding gases for each base metal. The diameter of a collected gas bubble from blowholes was measured by the microscope under a thin glass in absorbent step by step. The composition of the gas bubble was determined by calculation from the difference of diameters of the bubble before and after an absorbent solution. The quantity of hydrogen was determined from the loss of explosion by a special explosion pipet. The remainder gas after the microscopic micro-analysing was determined by the mass spectrometer (JMS-OISG).

According to the results of analysis for aluminum deposit metal, a blowhole consists of the following gases; hydrogen about 75—85%, oxygen and argon several % and nitrogen 10—20%. In aluminum alloy deposit metal, oxygen could not be measured. Carbon dioxide, hydrogen sulphide, carbon monoxide and methane were not recognized in both cases. Blowhole in mild steel deposit metal is full of carbon monoxide, hydrogen and nitrogen. Under the carbon dioxide shielding gas with a wire of insufficient deoxidation elements or carbon dioxide shielding gas with excess oxygen, blowholes consist mainly of carbon monoxide over 55% and nitrogen. Blowholes which were formed in a bead on rusted steel or on greased steel contained mainly 40—60% of hydrogen and 30—40% of carbon monoxide. In austenitic stainless steel deposit metal, the gas in blowhole is also carbon monoxide, hydrogen, nitrogen and argon in the case of argon and argon-nitrogen shielding.

I. 緒 言

溶接金属中に生成する気孔の原因については、多くの研究があるが、大部分、溶接雰囲気中のガス組成および溶接金属の諸ガス含量との関係を結びつけ、間接的に推論したものが多い。気孔を形成しているガスが実際に単一のガスか、あるいは、混合ガスかについても明確なデータはない。すなわち、一般に溶接金属のガス分析に用いられている真空融溶法では金属に溶解しているガスと金属に溶解せず、気孔中に存在するガスの双方を区別して分析することはできないので、気孔内のガス組成を知ることができない。

そこで、本報では溶接金属を機械的に破壊して、溶接金属の気孔中に存在するガスを直接採取、顕微鏡を用いる微量ガス分析法¹⁾²⁾および質量分析法により、気孔を形成しているガスを分析し、その組成を明らかにすること

とを試みた。

II. 実験方法

1) 供試材料および溶接条件

供試材料としては、工業用純アルミニウム (A 1200) およびアルミニウム合金 (A 6061 P-T4)、軟鋼 (SS-41)、55 kg/mm² 級高張力鋼 (WT-55) およびオーステナイト型ステンレス鋼 (JIS-SUS27) を用い、これらの 90×150 mm の短冊型母材上に種々の被包ガスを用いてガス被包金属アーク全自動アーク溶接機によりビード溶着を行なった。

母材およびワイヤの化学組成を Table 1, Table 2 および Table 3 に示す。

溶接機としては、工業用純アルミニウムおよび6061アルミニウム合金のビード置きには、上昇特性の直流電動発電機を、鋼およびオーステナイトステンレス鋼のビード置きには定電圧特性のセレン整流器を用い、すべて直流逆極性で一層ビードを溶着した。

溶接条件を Table 4 に示す。これらの溶接条件は、

* 原稿受付 昭和45年5月14日 (昭和43年秋季、45年春季全国大会にて発表)

** 正 員 名古屋大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Nagoya University

Table 1. Chemical compositions of base metals and electrode wires of commercially pure aluminum and its alloy

Materials	Thickness or diameter of materials	Elements. Wt. %								
		Cu	Si	Fe	Mg	Zn	Mn	Cr	Ti	Al
Aluminum plate	10 mm thickness	0.04	0.14	0.34	0.01	0.03	—	—	—	R
Aluminum alloy plate	6 mm thickness	0.30	0.59	0.20	1.04	0.02	0.03	0.24	—	R
Aluminum electrode wire	1.6 mm diameter	0.04	0.12	0.32	0.01	0.03	—	—	—	R
Aluminum silicon alloy electrode wire	1.6 mm diameter	0.24	5.00	0.62	0.05	0.07	0.05	—	0.20	R

Table 2 Chemical compositions of base metals and electrode wires of mild steel and high strength steel

Materials	Thickness or diameter of materials	Elements. Wt. %						
		C	Si	Mn	P	S	Cu	
Mild steel plate (SS-41)	10 mm thickness	0.19	0.06	0.68	0.018	0.020	—	
High strength steel plate (WT 55)	13 mm thickness	0.17	0.46	1.35	0.018	0.014	—	
Electrode wire (DS-1)	1.6 mm diameter	0.09	0.70	1.77	0.015	0.007	0.17	
Electrode wire (DO-1)	1.6 mm diameter	0.10	0.07	0.37	0.017	0.011	0.15	
Electrode wire (DM-2)	1.6 mm diameter	0.06	0.13	1.32	0.015	0.021	0.22	

Table 3 Chemical compositions of base metal and electrode wire of austenitic stainless steel

Materials	Thickness or diameter of materials	Elements. Wt. %							
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Stainless steel plate	6 mm thickness	0.05	0.56	1.75	0.033	0.010	9.19	18.47	—
Electrode wire	1.6 mm diameter	0.02	0.38	1.26	0.014	0.020	13.49	18.35	2.24

Table 4 Welding conditions

Base metal	Power source	Static characteristics of power source	Arc voltage, V	Welding current, A	Welding speed, cm/min.
Aluminum and its alloy	D.C. motor generator	Rising	20~22	200~220	50
Mild steel and high strength steel	Rectifire	Constant potential	35~37	380~450	40
Stainless steel	Rectifire	Constant potential	24~25	280~400	40

母材の板厚に応じて、裏波が出ないように定めた。なお、チップ間隙は 15 mm とした。

被包ガスとしては、アルミニウムのビード置きには、アルゴンおよびアルゴン—窒素混合ガスを、軟鋼および高張力鋼のビード置きには炭酸ガス、アルゴンおよび炭酸ガス—酸素、アルゴン—窒素の混合ガスを用いた。また、鋼板表面上に食塩水による錆を発生させ、あるいはグリースを塗布し、故意に溶接金属中に気孔を発生しやすくして³⁾、炭酸ガスを被包ガスとしたビード溶着を行った。

ビード溶着した試験片は、X線透過写真を撮影して、気孔の位置をあらかじめ知り、グリセリン液槽中で切削して気孔中のガスを捕集した。

2) 分析方法

i) 分析方法

上述のビード溶着試験片を 300×110×深さ 100 mm の鋼製の箱の中へ固定し、グリセリンをじゅう分な深さに満し、この箱の中でシェーパーによる切削を行ない、破壊された気孔から生じた気泡を特殊なステッキ型のピペットで捕集した。切削は低速で行ない、空気の巻きこみなどによる気泡の発生のないように注意しながら行なった。

ピペットの捕集ガスは、Fig. 1 に示す深さ 35 mm、直径 60 mm のガラス製深皿（シャーレ）に移し、球面ガラス下で、25 倍の低倍率顕微鏡に 100 等分の接眼マイクロメーターをつけ、これにより最少目盛の 1/10 まで目測

Fig. 1 Measurement of bubble diameter in an absorbent shell

Fig. 2 Flow sheet of analysis

して、泡径を測定し、気泡体積を計算した。

この捕集ガスの気泡は Fig. 2 に示す分析系統図にしたがって、各吸収液のシャーレに順々に移し、各組成ガスを吸収させた後、それぞれの段階で気泡直径を前述の接眼マイクロメーターにより測定し、気泡直径の減少から各吸収液による吸収減量を計算により求め、ガス組成を決定した。

CO₂, H₂S, O₂ および CO に用いた吸収液の組成を

Table 5 に示す。CO 吸収液のアンモニアと塩化銅の水溶液は濃紺で泡径測定が困難であったため、CO 吸収後アンモニアと塩化銅水溶液から微酸性水のシャーレに移し、泡径を測定した。CO 吸収後の気泡を形成している残りガスは、H₂, CH₄ および N₂ などである。

この残りガスから、さらに H₂ および CH₄ 組成を決定するため、飽和食塩水中で残りガスとほぼ等量の酸素を添加して、Fig. 3 の爆発ピペットに取り、同図に示すごとく一方をテスラーコイルに、一方をアースに接続し爆発させた。爆発後、ピペット内の気泡を再び飽和食塩水のシャーレに移し、泡径を測定して、さらに再び CO₂ 吸収液中で CH₄ の爆発反応生成物として生ずる炭酸ガスを吸収させ、CH₄ 量を計算し、次に述べるごとく水素量を求めた。水素量およびメタン量の計算は、

より、

$$\text{CH}_4 \text{ 体積} = \text{爆発生成した CO}_2 \text{ 体積} - \text{CO}_2 \text{ 減量}$$

また、

$$\text{H}_2 \text{ 体積} = \frac{2}{3} \times (\text{爆発減量} - 2 \times \text{爆発生成した CO}_2 \text{ 体積})$$

とした。

Fig. 3 Explosion pipet for hydrogen determination

Table 5 Compositions of absorbents

Gases	Absorbents
CO ₂ and H ₂ S	Glycerine solution of potassium hydroxide (HOH)
O ₂	Aqueous solution of sodium hydrosulfite (Na ₂ S ₂ O ₄) and potassium hydroxide (KOH)
CO	Aqueous solution of ammonia (NH ₄ OH) and cuprous chloride (CuCl)

ii) 質量分析法

質量分析装置としては、日本電子製 Mattauch-Herzog 型二重収束型質量分析装置 (JMS-OISG) を用いた。吸収法により分析した残りガスを爆発ピペットとガラス製の質量分析用ホルダーとを、Fig. 4 のごとく接続し、三方コックを通してホルダー部に移した。この分析ホルダーを質量分析装置の標準試料導入系へ接続して分析を行った。分析中の状況を Photo. 1 に示す。

Fig. 4 Sampling method for mass spectrometer

Photo. 1 Sample holder and mass spectrometer

iii) 気泡の体積

ガラス薄片下におかれた液中の気泡の体積は、水池¹⁾によると、温度、気圧、気泡の真球からの偏差および気泡中の溶液の蒸気圧を補正し、次式により求められる。

$$V = (1 - f_1)(1 - f_2 + f_3) \frac{\pi}{6} d^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

f_1 : 気泡体積の真球からの偏差補正係数

f_2 : 溶接の温度および蒸気圧補正係数

f_3 : 液面下静水圧による気泡内圧の補正係数

d : 気泡直径

である。

f_1 の決定は次式で求められる。

$$f_1 = 1 - \frac{V'}{\frac{\pi d^3}{6}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 V' は真の気泡体積で、平面ガラス下に保持された気泡を側面から写真撮影し、シンプソンの方法により求めた体積である。グリセリン中および蒸留水中の気泡の直径 d を顕微鏡で測定した値と、写真撮影法による真の気泡体積 V' から求めた補正係数 f_1 との関係を図. 5 に示す。測定泡径から気泡体積を求める場合は、この図によりすべて補正を行なった。

Fig. 5 Correction factor of deviation from sphericity

f_2 は溶液の蒸気圧補正係数で、

$$f_2 = \frac{P_w}{P_a} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる。ここで、

P_w : 液液の飽和蒸気圧

P_a : 大気圧

であるが、飽和蒸気圧は温度のみに依存すると考えられるので、直径約 1.5 mm の気泡を種々の温度下のグリセリン、蒸留水および酸素吸収液中に保持して、温度による直径の変化を測定し、実験的に f_2 を求めた。すなわち、20°C における気泡体積を標準として、20°C における気泡体積と測定温度における気泡体積との差を測定体積で割った値を f_2 とした。この結果を図. 6 に示す。

Fig. 6 Correction factor of saturated vapor pressure in bubble

す。グリセリン溶液の場合、補正係数 f_2 の温度依存性は小さいが、他の水溶液中では、水溶液の種類によらずほぼ一定の関係が認められている。

液面下の静水圧による気泡内圧の補正係数 f_3 は次式で示される¹⁾。

$$f_3 = \frac{2\sigma}{r} + \frac{\rho gh}{P_a} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

- r : 気泡半径
- h : 気泡の水面下の深さ
- σ : 液体の表面張力
- ρ : 溶液の密度
- g : 重力加速度

本実験の場合、気泡の深さ h は 2~3 mm 以下におさえられているので、直径 1 mm の気泡が深さ 2 mm の位置にあれば、(4) 式において気泡半径 $r=0.05$ cm、深さ $h=0.2$ cm、水の表面張力 $\sigma=75$ dyne/cm、水の密度 $\rho=1$ g/cm³、重力加速度 $g=980$ cm/sec² および大気圧 $P_a=10^5$ dyne/sec²・cm を代入すれば

$$f_3 = \frac{2 \times 75}{0.05} + \frac{1 \times 980 \times 0.2}{10^5} = 0.003 \dots\dots\dots (5)$$

となる。

一方、マイクロメーターの読みとり誤差が最小目盛の $\frac{1}{10}$ とすると、これは約 0.0045 mm に相当するので、1.0 mm の直径の気泡の場合に 1.3% の体積誤差を生ずる。これに比べ、 f_3 による誤差は 0.3% 程度であるので、無視することにした。

III. 実験結果および考察

1) 分析精度の検討

i) 顕微鏡による気泡分析

最初、予備実験として工業用純アルミニウムのビード溶着金属中の気孔ガスを、上述の方法により採取、分析した結果、気孔中には酸素約 5%、水素約 85% およびいずれの吸収液にも吸収されない残りガス 10% 程度を含んでいることを認めた。しかしながら、最初採取した泡径がかなり分析精度に影響をおよぼすことを認めたので、まず酸素 7%、水素 82% およびアルゴン 11% の既知組成ガスにより分析精度の確認を行なった。すなわち、この既知組成ガスの種々の泡径の気泡について、酸素、水素、および残りガスとしてのアルゴンを測定した。この結果を、Fig. 7, Fig. 8 および Fig. 9 に示す。

これによると、酸素の場合は、 $\pm 1.5 \sim 2.0\%$ の精度で、採取泡径の影響は余り顕著ではない。しかしながら、泡径が 2.0 mm 以上ではかなり顕微鏡のレンズ収差の影響により、誤差が大きくなる傾向が見られるようである。

Fig. 7 Effect of diameter of bubble on the accuracy of oxygen analysis

Fig. 8 Effect of diameter of bubble on the accuracy of hydrogen analysis

Fig. 9 Effect of diameter of bubble on the accuracy of argon gas analysis

Fig. 8 に示す水素分析結果では、泡径の影響をかなり受けていることを示している。水素の場合、採取泡径が 1.0 mm 以下では爆発がじゅう分行なわれないために、誤差が大きくなっていく。したがって、本実験条件で実験精度を上げるためには、採取泡径を 1.0~1.5 mm とすることが必要である。もっとも、この値は顕微鏡の倍率あるいは爆発ピペットの内径の影響をうけると考えられるので、絶対的なものではない。

Fig. 9 のアルゴンの分析値は、Fig. 7 および Fig. 8 から残りガスとして求めたものである。これらの実験結果から、採取ガス量の少ないアルミニウム母材および軟鋼の一部を除いて、採取泡径をおおむね 1.3~1.5 mm に調整した。

ii) 質量分析の検量線

予備実験として、アルゴン被包ガス中で軟鋼板上にビード溶着した溶着金属の気孔ガスを質量分析した所、アルゴンおよび窒素が検出されたので、予め直径 1.2 mm 程度アルゴンと窒素の混合比率を種々変えた既知組成試料ガスを作製し、Fig. 4 に示す質量分析用試料容器へ移し、分析精度の確認と検量線を求めた。

分析結果は、記録紙上の測定ピーク高さからバックグ

Fig. 10 Mass spectrum for calibration with Argon 55% + Nitrogen 45% bubble

ラウンドのピーク高さを引いた値の比率とした。

このチャートの一例を Fig. 10 に示す。横軸は原子質量単位 M と電荷数の比をとったもので、 $M/e=18$ が H_2O 、 $M/e=28$ が N_2 、 $M/e=40$ が Ar であり、 $M/e=15$ は O 、 $M/e=17$ は HO あるいは他の物質と思われるが不明である。このチャートから、 $M/e=28$ および $M/e=40$ のそれぞれのピーク高さの比を試料ガスのアルゴンと窒素の比率とした。Fig. 11 はこのようにして求めた検量線である。

Fig. 11 Calibration line of mass spectrometer from known composition

2) 分析結果

i) 工業用純アルミニウムおよび 6061 アルミニウム合金溶着金属

工業用純アルミニウムおよび 6061 アルミニウム合金のビード溶着金属気孔中のガス分析結果をまとめて Table 6 に示す。

一部の試験片については、質量分析も行なったので、Table 6 にはこの結果もまとめて示した。また、工業用純アルミニウムおよび 6061 アルミニウム合金の母材をシェーパーで切削すると、Table 6 の試料番号 14~17 に示すごとく、少量ながらガスの放出が認められた。これらのガス組成は溶着金属中の気孔と同様に水素が主成分である。

Table 6 の結果によれば、溶着金属気孔中には、 CO_2 、 H_2S 、 CO 、および CH_4 のガスは分析精度内で 0% と考えられ、気孔ガスの主成分は水素であり、75~85% を占めている。

従来、アルミニウム溶接金属中の気孔生成ガスは、水素であり、気孔生成の原因は凝固点における水素溶解度の急激な減少によるものであるとされてきたが、本実験もこのことを裏づけている。

工業用純アルミニウム溶着金属気孔中には、微量ながら酸素が検出されたが、6061 アルミニウム合金については酸素は認められなかった。

質量分析による残りガスの分析では、残りガスの大部

Table 6. Analytical results of blowhole gases of commercially pure aluminum and aluminum alloy deposit metal

Shielding gas flow rate l/min	Base metal	Electrode wire	Test number	Blowholes by X-ray radiograph	Chemical compositions by absorption method, (Vol.%)							Mass spectrum analysis (Vol.%)		
					CO ₂	H ₂ S	CO	CH ₄	O ₂	H ₂	Rema- inder	Remainder gas		
												N ₂	Ar	N ₂ : Ar
Ar 15.0	pure Al (A1200)	pure Al (1100)	1	Yes	—	—	—	—	2	85	13	12	1	10:1
			2	Yes	—	—	—	—	1	88	11	7	4	2:1
			3	Yes	—	—	—	—	2	84	14			
	Al alloy (A6061)	Al alloy (4043)	4	Yes	—	—	—	—	—	93	7			
			5	Yes	—	—	—	—	—	91	9			
Ar 13.5+N ₂ 1.5	pure Al (A1200)	pure Al (1100)	6	Yes	—	—	—	—	4	82	14			
Ar 10.5+N ₂ 4.5	pure Al (A1200)	pure Al (1100)	7	Yes	—	—	—	—	2	79	19			
Ar 7.5+N ₂ 7.5	pure Al (A1200)	pure Al (1100)	8	Yes	—	—	—	—	2	85	13	12	1	10:1
			9	Yes	—	—	—	—	1	88	11	7	4	2:1
	Al alloy (A6061)	Al alloy (4043)	10	Yes	—	—	—	—	—	82	18			
			11	Yes	—	—	—	—	—	80	20			
Ar 6.0+N ₂ 9.0	pure Al (A1200)	pure Al (1100)	12	Yes	—	—	—	—	3	75	22			
Ar 1.5+N ₂ 13.5	pure Al (A1200)	pure Al (1100)	13	Yes	—	—	—	—	5	85	10			
Base metal	pure Al (A1200)	No	14	No	—	—	—	—	5	85	10	10	0	
			15	No	—	—	—	—	3	80	17	17	0	
	Al alloy (A6061)	No	16	No	—	—	—	—	—	88	12			
			17	No	—	—	—	—	—	85	15			

分は窒素であり、少量のアルゴンが認められた。窒素はアルゴンの被包効果の不充分なことに原因するものと考えられる。被包ガス中に窒素を混合して溶着した気孔中では、窒素は高くなり17~18%となっている。

少量検出されたアルゴンに関しては、安藤ら⁴⁾も指摘しているように、スプレー移行状態で周囲のガスを巻きこむ現象がおきているためと考えられる。

ii) 軟鋼および高張力鋼溶着金属

軟鋼および高張力鋼溶着金属の気孔の分析結果を総括して Table 7 に示す。

被包ガスが CO₂ だけ、あるいは CO₂+O₂ の適正な溶接条件で溶接を行ない、X 線的には気孔のない溶着金属からも、グリセリン浴槽中で切削すると、少量ではあるが気泡が生じた。この場合の分析結果を Table 7 の試料番号 1~5 に示してあるが、一酸化炭素が約10%、水素が約20%で大部分は吸収法で分析できない残りガスである。この残りガスは質量分析により窒素であることが確かめられた。

試料番号 9 および 10 のごとく、CO₂ あるいは CO₂-O₂ 被包ガスにより、脱酸性元素である硅素やマンガンの含有量の少ない DO-1 あるいは DM-2 ワイヤにより溶接した場合および試料番号 6~8 の CO₂ 10+O₂ 10 l/min のように極端に酸化性の被包ガスの下で溶接した場合には、とくに溶着金属気孔中の一酸化炭素含量が高くなっ

ている。

しかしながら、アルゴン、アルゴン-窒素およびアルゴン-酸素被包ガスの下で溶着したビードの気孔では(試料番号16~32)、残りガスが70%にも達しており、この残りガスの質量分析結果では、かなりのアルゴンが検出された。アルゴンあるいはアルゴン-酸素被包中の MIG 溶接では溶滴の移行状態はスプレー移行となることはよく知られているが、このような移行をする場合には噴霧状の溶滴の流れがアーク柱でアルゴンを巻きこんで、溶融金属に移るものと考えられる。これに対し、試料番号21~25のアルゴン-窒素混合ガスあるいは、試料番号30~32の炭酸ガス-アルゴン被包ガスの被包の下で溶着したビード中の気孔では、アルゴン対窒素の比率が小さくなっている。この場合の溶滴移行は粒状移行で、比較的大粒の溶滴が溶融池に移行するため、周囲のガスを巻きこむことはないでアルゴンはほとんど含まれていない。アルゴン-窒素混合ガスで被包した溶着金属の気孔に窒素含量が高いのは、アーク中を移行する溶滴の吸収によるもので、当然と考えられる。

Fig. 12 および Fig. 13 に、本実験により得られた質量分析チャートの例を示す。Fig. 12 には、CO₂-O₂ 被包ガスによる Table 7 の試料番号 2 のチャートで、アルゴンは検出されなかった例である。

Fig. 13 は、アルゴン被包ガスによる Table 7 の試

Table 7. Analytical results of blowhole gases of mild and high strength steel deposit metal

Shielding gas flow rate, l/min	Base metal	Electrode wire	Test number	Blowholes by X-ray radiograph	Chemical compositions by absorption method, (Vol.%)							Mass spectrum analysis, (Vol. %)		
					CO ₂	H ₂ S	O ₂	CH ₄	CO	H ₂	Rema- inder	Remainder gas		
												N ₂	Ar	N ₂ : Ar
CO ₂ 20	SS-41	DS-1	1	No	—	—	—	—	12	20	68			
CO ₂ 15+O ₂ 5	SS-41	DS-1	2	No	—	—	—	—	13	—*	87**	87	0	35:1
			3	No	—	—	—	—	9	—*	91**	91	0	
			4	No	—	—	—	—	11	17	72	70	2	
			5	No	—	—	—	—	9	25	66			
CO ₂ 10+O ₂ 10	SS-41	DS-1	6	Yes	—	—	—	—	58	19	23	23	0	
			7	Yes	—	—	—	—	60	17	23	23	0	
			8	Yes	—	—	—	—	58	16	26			
CO ₂ 20	SS-41	DO-1	9	Yes	—	—	—	—	78	8	14			
		DM-2	10	Yes	—	—	—	—	67	12	21			
CO ₂ 20 Greased plate	SS-41	DS-1	11	Yes	—	—	—	3	38	42	17			
	WT-55	DS-1	12	Yes	—	—	—	—	40	33	27			
CO ₂ 20 Rusted plate	SS-41	DS-1	13	Yes	—	—	—	—	28	67	5			
CO ₂ 18+N ₂ 2	SS-41	DS-1	14	Yes	—	—	—	—	21	18	61			
	WT-55	DS-1	15	Yes	—	—	—	—	18	16	66			
Ar 20	SS-41	DS-1	16	Yes	—	—	—	—	17	15	70	54	14	4:1
			17	Yes	—	—	—	—	14	12	74	53	21	5:2
			18	Yes	—	—	—	—	16	11	73	56	17	3:1
			19	Yes	—	—	—	—	15	14	71			
	WT-55	DS-1	20	Yes	—	—	—	—	11	13	76			
Ar 18+N ₂ 2	SS-41	DS-1	21	Yes	—	—	—	—	14	13	71	65	6	10:1
			22	Yes	—	—	—	—	16	19	65	65	0	
			23	Yes	—	—	—	—	11	15	74	70	4	20:1
			24	Yes	—	—	—	—	12	18	70			
	WT-55	DS-1	25	Yes	—	—	—	—	10	12	78			
Ar 18+O ₂ 2	SS-41	DS-1	26	Yes	—	—	—	—	17	—*	83**	76	7	10:1
			27	Yes	—	—	—	—	15	11	74	59	15	4:1
			28	Yes	—	—	—	—	11	16	73	48	25	2:1
			29	Yes	—	—	—	—	17	14	69			
Ar 15+CO ₂ 5	SS-41	DS-1	30	Yes	—	—	—	—	14	16	70	64	6	10:1
			31	Yes	—	—	—	—	16	13	71	68	3	20:1
			32	Yes	—	—	—	—	13	12	75	75	0	

*) Sample gas bubble was too small to detect hydrogen in blowhole gas by explosion method.

**) The value includes the unexplosion hydrogen content.

料番号17のチャートを示し、アルゴンがかなり検出され、その窒素/アルゴンの比は5/2となっている。

軟鋼母材上に故意にグリースを塗布して溶着金属に気孔を発生させた Table 7 の試料番号11および12については、有機炭化水素化合物の分解により、気孔中に一酸化炭素、水素および少量ながらメタンが認められた。また、3%食塩水により錆を発生させた母材鋼板にビード溶着して、気孔を発生させた試料番号13の分析結果は、錆の結晶水の分解によるものと思われる水素がいちじるしく高くなっている。

iii) オーステナイト・ステンレス鋼溶着金属

オーステナイトステンレス鋼を母材として、アルゴン

あるいはアルゴン-窒素被包ガスで溶着したビードに発生した気孔の分析結果を Table 8 に示す。

同表によれば、オーステナイトステンレス鋼溶着金属中の気孔の主成分は、吸収法では分析されない残りガスであることがわかる。またこの残りガスの質量分析結果によれば、アルゴンガスのみによる被包の場合には、軟鋼の場合と同じようにアルゴンがかなり高く、アルゴン-窒素混合ガス被包の場合には、アルゴンはごくわずしか検出されず、気孔ガス中の大部分は窒素である。

吸収法により分析した結果を見ると、母材およびワイヤの炭素含量は0.02~0.05%でかなり低いにもかかわらず、一酸化炭素が認められている。

Fig. 12 Mass spectrum of the residual gas of blowholes in mild steel deposit metal shielded by
CO₂ 15 l/min + O₂ 5 l/min
Final results of blowhole; CO; 13%,
N₂+H₂; 87%

Fig. 13 Mass spectrum of the residual gas of blowholes in mild steel deposit metal shielded by Ar 20 l/min
Final results of blowhole; CO 14%,
H₂ 12%, N₂ 53% Ar 21%,

Table 8. Analytical results of blowhole gases of austenitics stainless steel deposit metal

Shielding gas flow rate l/min	Base metal	Wire	Test number	Blowholes by X-ray radiograph	Chemical compositions by absorption method, (Vol. %)							Mass spectrum analysis, (Vol.%)		
					CO ₂	H ₂ S	O ₂	CH ₄	CO	H ₂	Rema- inder	Remainder gas		
												N ₂	Ar	N ₂ : Ar
Ar 20	18-8 Stainless	316 Stainless	1	Yes	—	—	—	—	15	15	70	52	18	3:1
			2	Yes	—	—	—	—	18	14	68	54	14	3:1
			3	Yes	—	—	—	—	17	13	70	56	14	3:1
			4	Yes	—	—	—	—	20	—*	80**			
Ar 10+N ₂ 10	18-8 Stainless	316 Stainless	5	Yes	—	—	—	—	12	15	73	73	0	
			6	Yes	—	—	—	—	15	14	71	71	0	
			7	Yes	—	—	—	—	15	13	71	60	11	6:1
			8	Yes	—	—	—	—	16	17	67			

*) Sample gas bubble was too small to detect hydrogen in blowhole gas by explosion method.

**) The value includes unexplosion hydrogen content.

VI. 結 言

溶着金属の気孔を生成しているガスを直接定量するために、溶着金属をグリセリン中で機械的に切削して、気孔から出るガスを一つの気泡として捕集し、顕微鏡により各吸収液中における気泡の体積変化を測定して、微量ガス分析を行なった。この吸収法によって分析できない残りガスについては、さらに質量分析を行ない次の結論を得た。

- 1) 溶着金属の気孔は、単一のガスではなくいくつかのガスで形成されている。
- 2) MIG 溶接による工業用純アルミニウム 溶着金属の気孔ガスの主成分は水素で、他に窒素および少量のアルゴンと酸素が存在する。
- 3) 脱酸剤が不十分な場合の軟鋼および高張力鋼溶着金属の気孔ガスは一酸化炭素が主で、他に水素、窒素が認められた。
- 4) 炭酸ガスまたは炭酸ガス+酸素混合ガス被包中で脱酸剤がじゅう分な場合、溶着金属に気孔は認め

られなかったが、切削により気泡が捕集された。この気泡ガスの主成分は窒素であった。

- 5) アルゴン被包中で得られた溶着金属の気孔ガスも窒素が主成分であったが、他にアルゴンもかなり認められた。
- 6) 錆びた母材鋼板に溶着して発生した気孔には、多量の水素が認められた。
- 7) オーステナイトステンレス鋼の MIG 溶着金属の気孔の主成分も窒素であり、他に水素、一酸化炭素、アルゴンが認められた。

最後に、本研究を遂行するにあたり、名古屋大学工学部、水池敦教授の有益な助言を得た。記して謝意を表す。

文 献

- 1) 水池, “顕微鏡を用いる微量ガス分析法”, 分析化学, Vol. 3 (1954), No. 1 p. 17~21
- 2) I. M. コレマン, 稲葉, 藤井訳, “ウルトラ・ミクロ分析入門”, 産業図書, 1966年, p. 161~168
- 3) 益本, 松田, “ガス被包アーク溶接部の気孔生成におよぼす電極鋼線組成の影響について”, 溶接学会誌, Vol. 37 (1968), No. 8, p. 826~838
- 4) 安藤, 長谷川, “溶接アーク現象”, 産業図書, 1962, p. 210~215