アーク溶接時に発生するヒュームの 測定に関する研究 (第2報)

—炭酸ガス、ノンガス半自動アーク溶接の場合—

西田隆法** 宮本 栄** 三上 博***

Study on the Measuring of Fume Density Produced by Arc Welding (2nd Report)*

—In the Case of CO₂ Non Gas Shielded Semi-Automatic Arc Welding—

by Takanori Nishida**, Sakae Miyamoto** and Hiroshi Mikami***

In a previous paper, it was clarified that the welding fume produced during arc welding with coated electrode can be converted to the value measured by the filter paper method by multiplying the correction factor 2 measured with the digital dust indicator irrespective of the electrode or the weldment.

In this report, similar experiments were performed in other cases. The results obtained are as follows.

- (1) The value of fume density which is produced during semi-automatic carbon-dioxide and non-gas shielded arc welding was obtained by the filter paper method and the indication of digital dust indicator.

There is a proportional relationship similar to that of arc welding with coated electrode and not influenced by the weldment.

- (2) It is possible to obtain the same accurate value of welding fume density as that obtained by the filter paper method by multiplying the correction factor 5 to the corresponding value measured with digital dust indicator in semi-automatic carbon-dioxide arc welding and the correction factor 3 in case of semi-automatic non-gas shielded arc welding.
- (3) Welding fume is mainly composed of Fe, and Mn, and the collected welding fume in the actual welding site was quantitatively analyzed, obtaining some representative oxides, that is, 49.2% Fe₂O₃ and 7.2% MnO.
- (4) Based on these experimental results, it is possible to easily assess a working environment if the fume density in the actual welding site is measured, and the measured value is compared with the permissible fume density prescribed by the Welding Engineering Standard (WES 9004-1976) of Japan.

1. 結 言

手動被覆アーク溶接時に発生する溶接ヒュームの測定については第1報¹⁾で報告した通り、手動被覆アーク溶接時に発生する溶接ヒュームは溶接棒、溶接物の種類にかかわらず、デジタル粉塵計で測定した値に補正係数2を乗ずることにより濾紙重量法で測定した値に換算できることがわかった。また浮遊ヒュームの形状を電子顕微鏡写真により明らかにした。

今回は炭酸ガス、ノンガス半自動アーク溶接時に発生するヒュームについて前回と同様の実験を行い、デジ

タル粉塵計と濾紙重量法の両測定値の相関を求め手動被覆アーク溶接の場合と比較検討した。

また併せて炭酸ガス、ノンガス半自動アーク溶接時に発生するヒュームを電子顕微鏡で観察した。

次に炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤ、低水素系、イルミナイト系、ライムチタニヤ系の各被覆溶接棒から発生するヒュームについて JIS Z3920 (溶接ヒューム分析方法) に定められる予定の方法を用いて定性分析を行った。

さらに第1報¹⁾と今回の実験結果をもとに実際の溶接現場のヒューム重量濃度(粉じんを含むを)求め、現在溶接協会では定められているヒューム許容濃度 (WES 9004-1976…許容濃度 5 mg/m³) と比較検討した。

*原稿受付 昭和52年12月9日 (昭和50年度秋季全国大会にて発表)

**正 員 職業訓練大学校 Member, The Institute of Vocational Training

***正 員 日本溶接技術センター Member, Japan Welding Technical Center

2. 実験方法

前回と同様に絶対濃度測定法である濾紙重量法と相対的濃度測定法であるデジタル粉塵計とを用い炭酸ガスおよびノンガスアーク溶接時に発生するヒュームを測定しこの相関関係を求めた。

2.1 使用した測定器

- ・濾紙による測定法 (絶対濃度測定法)
IP-6型, 濾紙ホルダー A型 (柴田化学製), 濾紙 (日本ミリポア製 100 QTY)
- ・デジタル粉塵計 (相対的濃度法)
P-Ⅲ型 (柴田化学製)

2.2 測定場所と測定方法

測定室としては前回と同じ密閉した部屋を使用した。また測定要領も前回と同様である。

2.3 測定条件

1) 炭酸ガス半自動アーク溶接

- ・ワイヤ: YM-50T (松下産業機器) 1.2φ.
- ・溶接電流: 300A, 溶接電圧: 32V.
- ・溶接条件: ビード巾 10 mm, 余盛 2 mm, ワイヤ送給速度 12 mm/sec.
- ・供試材料: 軟鋼板 SS41, 9 mm, および軟鋼板に下記のシヨッププライマーを塗布したもの (塗膜厚さ 2μ)

(i) ウォッシュプライマー, (ii) エポキシ樹脂, (iii) ノンジンク, (iv) エポキシナアルミニウム末, (v) エポキシナジンクロメート, (vi) エポキシナ亜鉛末。

2) ノンガス半自動溶接

- ・ワイヤ: OW-56 (神鋼) 3.2φ.
- ・溶接電流: 300A, 溶接電圧: 25V.
- ・溶接条件: ビード巾 10mm, 余盛 2 mm, ワイヤ送給速度 6, 3 mm/sec.
- ・供試材料: 炭酸ガス半自動溶接の場合と同一。

上記の溶接条件および供試材を使用して密閉した室内で溶接時間 15秒, 30秒, および 1分, 1½分としてビードオンプレートを行ない濃度の異なる条件でヒュームを発生させた。

3. 実験結果および考察

3.1 濾紙法による測定値とデジタル粉塵計による測定値との関係

炭酸ガス, ノンガス半自動アーク溶接時に発生する溶接ヒュームを濾紙法とデジタル粉塵計で同時に測定した測定値の相関関係を Fig 1, Fig 2 に示す。

図に示すように溶接ヒュームの濾紙法とデジタル粉塵

Fig. 1 Relation between digital dust indicator and filter paper method by the CO² arc welding

Fig. 2 Relation between digital dust indicator and filter paper method by the Non gas shielded arc welding

計の測定値は手動アーク溶接の場合と同様に溶接物に関係なく比例関係にあり, 絶対濃度測定法である濾紙法と相対的濃度測定法であるデジタル粉塵計は補正係数によ

り相互に求められる。

Fig 1, Fig 2 において横軸をX, 縦軸をYとし, 平均勾配を a とすると, Fig 1 においては $a=4.6$ となり Fig 2 では $a=2.5$ となる。

すなわち炭酸ガス半自動アーク溶接の測定結果である Fig1 から, デジタル粉塵計で測定した値に 4.6 を乗じると汚紙法で測定した値に換算できる。なお実際の溶接現場を考えた場合少数点以下を切上げて補正係数は 5 とすることが安全上適当と考えられる。

ノンガス半自動アーク溶接の場合は Fig 2 からデジタル粉塵計で測定した値に 2.5 を乗ずれば汚紙法で測定した値に換算でき, 補正係数は上記の理由で 3 となる。

この場合, 炭酸ガス半自動アーク溶接の補正係数は前報¹⁾で報告した手動被覆アーク溶接のそれに比べて高い傾向にある。

この理由として, 炭酸ガス半自動アーク溶接の場合はワイヤフラックスがなくそのためヒュームを形成する物質の比重が高く, このためデジタル粉塵計の散乱光量に対して汚紙の秤量値が高く出ると考えられる。

またノンガス半自動アーク溶接の補正係数が手動被覆アーク溶接のそれに比べ若干高くなったが, ヒュームの化学組成から検討して見て, 両者の間にはヒュームを形成する物質の比重にそれほど差がないと思われるので, 場合によって補正係数にそれだけの違いが生じるので, 現場測定ではこの点十分留意の必要があると考えられる。

3.2 電子顕微鏡による溶接ヒューム形状の観察

炭酸ガス半自動アーク溶接時に発生するヒュームの電子顕微鏡写真の一例を Photo. 1, Photo. 2, に示す。

Photo. 1, Photo. 2 からわかるように炭酸ガス半自動アーク溶接のヒューム形態は一般的な傾向として被覆アーク溶接のそれと良く類似している。形状は主として樹枝状に連なり, かつ大きな様相を呈している。

この原因としてはシールドガスである炭酸ガスの熱分解, およびアークの電流密度の高さが一因をなしていると思われる。

すなわちヒュームは金属酸化物の形で発生するので炭酸ガスの熱分解による酸素がヒューム形成に重要な働きをなし, 写真のような形状を呈すると思われる。

次にノンガス半自動アーク溶接時に発生するヒュームの電子顕微鏡写真の一例を photo. 3, photo. 4, に示す。

ノンガス半自動アーク溶接のヒュームは手動被覆アーク溶接や炭酸ガス半自動アーク溶接のヒュームと違って丸味をおびた特異な形態をしているものが形状の中に含まれている。

炭酸ガス, ノンガス半自動アーク溶接ともそれぞれの

ヒュームの一般的な形状は同じだが溶接物の種類によって若干それが異なってくる。

4. 溶接ヒューム分析結果

手動被覆アーク溶接棒と炭酸ガス半自動アーク溶接用心線のヒュームの定性分析結果を Table. 1 に示す。

この定性分析は JIS Z3920 にもとずいて行った。

分析実験の条件としては軟鋼板 (ss41, 9mm) に各溶接棒およびワイヤの適正電流範囲でビードオンプレートを行ない, 発生したヒュームを汚紙に捕集し上記の原子吸光光度法により定性分析を行なった。

Table 1 から分析された成分の範囲ではヒュームの主成分は Fe, Mn で構成されていることがわかる, しかしライムチタニヤ系と半自動溶接用ワイヤにはわずかに Cu 成分が見受られる。

Table 1 Analyzed Value of Fume Generated by Arc Welding
Method of Analysis: Atomic Spectrum Method

Sampling	Fume weight (mg)	Chemically analyzed Compositions(%)									
		Mn	Cu	Ni	Cr	V	Co	Pb	Zn	Sb	Fe
Ilmenite type	18.1	906	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	2357
Low hydro-gen type	26.0	319	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	844
‘ ‘	9.6	083	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	3.33
Lime titan-ia type	23.7	302	0.03	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1705
CO ₂ Arc welding	13.4	910	067	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	3433
‘ ‘	19.1	520	021	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	2155

5. 溶接現場の測定例

今までの実験結果をもとにして実際の溶接作業現場のヒューム測定を行ったので, ここにその中のいくつかを紹介する。

5.1 手動被覆アーク溶接棒を使用する溶接作業場

手動被覆アーク溶接棒を使用する代表的な例として造船所を選んだ。

・作業場: A社造船所, 小組立工場。

・溶接棒: D5016 (LB-52) 6.0×450 mm。

・材料 (塗料): MS 部材 (エバポンド)。

・溶接電流: 260~270 A。

作業場平面図を Fig 3 に示す, また測定結果の第一回目を Fig 4, 第二回目を Fig 5 に示す。

Fig 4 よりヒューム重量値が最も高い部分が 6.0 mg/m³ で, この値は日本溶接協会規格 (WES 9004-1976)

Photo. 1 ($\times 10000$)

Welding Process: CO_2 Gas Arc
Weldment: Mild Steel

Photo. 3 ($\times 10000$)

Welding Process: Non Gas Arc
Weldment: Mild Steel

Photo. 2 ($\times 10000$)

CO_2 Gas Arc
Mild Steel Primed with Wash

Photo. 4 ($\times 10000$)

Non Gas Arc
Mild Steel Primed with wash

で定めているヒュームおよび粉塵の許容濃度 $5\text{mg}/\text{m}^3$ をわずかに越えているが, 幸いこの部分は風下で溶接作業者がいない。

作業場内平均濃度としては $1.3\text{mg}/\text{m}^3$ であるので許容濃度の約 $3/10$ であることがわかる。

またヒューム濃度分布傾向としてはアーク発生点を中心として風下方向に分散している。

Fig. 5 については作業場内平均濃度が $3.0\text{mg}/\text{m}^3$ と高くなっているが, これは溶接作業者の数が第一回目の2倍になっているためヒューム濃度も第1回目の2倍に

Fig. 3 Plan of welding shop

Fig. 4 Result of measurement

- (1) LB-52 6.0×450 Manual welding 5 machines under working
Measuring period: 10°50' to 11°10'
Average fume density within welding shop: 1.3 mg/m³

Fig. 5 Result of measurement

- (2) LB-52 6.0×450 Manual welding 10 machines under working
Measuring period: 11°52' to 11°55'
Average fume density within welding shop: 3.0 mg/m³

なったものと考えられる。しかしこの値も許容濃度の 3/5 である。

Fig. 5 においてヒューム濃度が許容値を越えている部分が 5 ケ所あるがいずれも風下で溶接作業には影響が少い。

ヒューム濃度分布傾向としてはやはりヒューム発生地点およびその風下方向が高く、その周囲は著しく低いことがわかる。

A 社造船所の各測定点のヒュームを汚紙に捕集し、

JIS K0121 にもとずいて原子吸光光度法により分析した結果は平均して Fe₂O₃ 49.2%, MnO 7.2%, ZnO 1.2% であった。この結果は前述の溶接ヒューム分析結果と良く一致している。ただ ZnO の存在は溶接材の塗料からくるものであろう。

5.2 閉鎖された狭隘な場所

- ・作業場：A 社造船所、二重船底。
- ・溶接棒：D5016 (LB-52) 6.0×450 mm。
- ・材料(塗料)：MS 部材 (エバポンド)
- ・溶接電流：260~270A。

作業場平面図を Fig. 6 に示す。

Fig. 6 の作業場内における測定結果は次のようになった。

(1) A-3 ボックス内での

溶接作業

溶接作業

ヒューム濃度

1 名 18~27 mg/m³

2 名 60~90 mg/m³

ヒューム発生
量の平均

1 名 24 mg/m³

2 名 75 mg/m³

(船舶内濃度

: 0.18 mg/m³)

(2) C-6 ボックス内での溶接作業

測定結果を Fig. 7 に示す。

(3) 二重船底内のヒューム濃度分布

測定結果を Fig. 8 に示す。

測定結果 (1) より狭隘な場所での溶接作業において発生するヒュームは容易に許容限を越えることがわかる。また溶接作業が 2 名になるとヒューム発生量の平均が 1 名に比べて約 3 倍になるのは狭隘な場所なのでヒューム発生量に比例してファンの吸引が充分に行えないものと考えられる。

測定結果 (2) の Fig. 7 については (a), (b) におけるヒューム濃度分布を見ると、発生したヒュームは上昇しボックスの上部に滞留している。

測定結果 (3) の Fig. 8 においては溶接作業が 2 名しかいないのに、二重船底内の各ボックスのヒューム重量値はほぼすべて許容限を越えている。

以上のように閉鎖された狭隘な場所での溶接作業はヒューム重量が許容限を越えやすい。この場合の対策としては溶接作業に防塵マスクの着用がなされていた。

Fig. 6 Plan of welding shop

Fig. 7 Result of measurm measurement

(2) Work within C-6 Box

(a) LB-52 one welder (b) LB-52 two welders

Average fume density: one welder 18 mg/m³
two welders 30 mg/m³

Fan under operation

Fig. 8 Fume density distribution within C-6 Box
LB-52 two welders working within C-6 Box

5.3 炭酸ガス半自動アーク溶接を使用する溶接作業場

炭酸ガス半自動アーク溶接のみを使用する組立工場を選んだ。

- 作業場: B社組立工場。
- ワイヤ: MG-50 (神鋼) 1.6φ。
- 材料: MS 部材。
- 溶接電流: 300~350A

作業場平面図を Fig. 9 に示す。

この測定結果を Table 2 および Table 3 に示す。

Table 2 から作業場内のヒューム平均濃度は1回目 2.8 mg/m³, 2回目のそれは 1.9 mg/m³ となり, これはヒューム許容濃度の約 1/2~2/5 であ。た。

個々の測定点について検討した場合は一回目の No. 12 の地点だけが許容量をこえているが, これはアーク発生点の近くでかつ風下のため極部的に高い値になったと考えられる。

Table 3 における個人サンプラーとは労研式個人サンプラー (絶対濃度測定法, 柴田化学製²⁾: 8015-02 型) で, 炉紙ホルダー, 吸引ポンプからなり, 測定前に所定の流量計で明らかじめ流量を 1 l/min に調整する。機構は炉紙法と全く同じであるが炉紙ホルダーが溶接作業者の口元付近にセットできるようになっていて作業者の溶接ヘルメット内の溶接ヒューム濃度が測定できる。

Table 3 から個人サンプラーの結果については, ヒューム濃度は作業場内平均濃度の約 6.0 倍~8.9 倍の値になった。これは溶接作業者がヒュームに暴露される濃度が作業場内平均濃度の約 6 倍~9 倍の値であることを示している。

参考に設置した炉紙法のヒューム濃度はデジタル粉塵計で測定した値にはほぼ等しいので, 炭酸ガス半自動アーク

Fig. 9 Examples of measurement in welding shop

Table 2 Measuring of Room Density by Digital Dust Indicator

13°12'~13°37'
(The first trial)
Measuring Time: 14°02'~14°20'
(The second trial)

Measuring point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Density in the first trial (mg/m ³)	1.3	1.5	1.7	2.2	2.3	2.3	2.7	1.9	2.2	1.6	3.6	1.4	1.2	1.3	1.2	0.8
Density in the second trial (mg/m ³)	1.6	1.6	1.7	1.6	1.8	1.6	2.8	2.7	2.7	2.8	1.7	3.5	1.2	1.2	1.2	1.3

Table 3 Measurement by Personal Dust Sampler and Filter Paper Method

Measuring point	Measuring time	Measuring value (mg)	Density (mg/m ³)
Personal sampler A	12°00'~14°34'	2.6	16.9
Filter paper method B	13°12'~14°33'	0.2	1.6

ク溶接の補正係数 5 が適当であることが証明される。

6. 結 言

炭酸ガスおよびノンガス半自動アーク溶接時に発生するヒュームも手動被覆アーク溶接の場合と同様にデジタル粉塵計で簡易にしかも正確に測定できることがわかった。

またこの実験結果を用いて実際の溶接現場のヒューム濃度を測定し、測定値を日本溶接協会規格のヒューム許容濃度と比較検討することにより作業環境を容易にすることができる。

炭酸ガス半自動アーク溶接のヒュームは一般的傾向として手動被覆アーク溶接棒のヒュームと類似している。

ノンガス半自動アーク溶接のヒュームは手動被覆アーク溶接や炭酸ガス半自動アーク溶接のヒュームと違ってヒューム形状の中に丸味をおびた特異な形をしているものを含んでいる。

分析された範囲のヒュームの成分としては大部分が Fe, Mn で構成されている, これは現場でヒュームを捕集し分析した結果と良く一致している。

終りに本実験を行なうにあたって有益な御指導をいただいた労働衛生研究所本間研究員, 柴田化学 (株) 阿部, 榎本両技師に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 西田, 宮本, 三上: アーク溶接時に発生するヒュームの測定に関する研究 (第 1 報), 本誌, 46-9 (1977)
- 2) 柴田化学総合カタログ, No. 500 (1976), p. 224
- 3) 三上, 宮本, 西田他: アーク溶接時に発生するヒュームの測定に関する研究 (第 3 報), 溶接学会全国大会講演概要集, 第 17 集 (1975) 206-207
- 4) T. Nishida, S. Miyamoto and H. Mikami: Study on the Measuring of Fume Density Produced by Arc Welding, Trans. Japan Welding Society, Vol. 5, No. 2, 1974

軟質溶接継手の HT80 水圧鉄管現場円周 継手への適用性について (第 2 報)*

—— 継手性能の検討 ——

佐藤邦彦** 豊田政男** 浮田和明***
下田隆二**** 中村明弘**** 松浦十四彦****

Applicability of Undermatching Electrode to Circumferential Welded Joint of HT80 Penstock (2nd Report)*

—— On Joint Performance ——

by Kunihiro Satoh**, Masao Toyoda**, Kazuaki Ukita***, Ryuji Shimoda****,
Akihiro Nakamura**** and Toshihiko Matsuura****

In this report, joint performance tests of HT80 heavy plates for penstock with lower strength weld metal are carried out to investigate load-carrying capacity, joint ductility, brittle fracture initiation and fatigue behavior.

Test results obtained are summarized as follows:

(1) According to the tension tests of transverse welded wide plate specimens free from appreciable weld flaws, joint strength σ_u and percent elongation ϵ_u in a large gauge length are given by the con-

*原稿受付 昭和52年12月13日 (昭和52年度春季全国大会にて発表)

**正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering
Osaka University

***正 員 四国電力(株) Member, Shikoku Electric Power
Inc.

****正 員 (株) 酒井鉄工所 Member, Sakai Iron Works
Co., Ltd.