Fig. 14 Relation between θ_0 and θ_1 .

4. 結 言

本報では、アーク・プラズマ光を利用して開先形状を検出する方式の原理について述べ、以下の点を明らかにした。

1. レンズを組み合わせた簡単な受像器で、開先加工

材のアーク溶接進行部を視準すると、受像器スクリーン上に、開先形状に対応する像が得られる。

2. 上記のようにして得られた像の定常的特性は、アークを円錐体と仮定し、開先面を二つの平面とし、両者の載線を求め、視準面に投影したとき得られる像によって説明できる。

3. 溶接線の湾曲や、受像器光軸方向と溶接線方向との不一致などの像への影響も、簡単な幾何学モデルを設定して、ある程度まで定量的に推定することができる。

最後に、実験に熱心な協力をいただいた森田 全 紀 君 (大阪大学工学部技官) に感謝の意を表す。

文 献

- 1) 荒田, 井上: アーク溶接の自動制御, 本誌, 41-6 (1972)
- 2) 荒田, 井上, 森田, 本郷: 炭酸ガス・アーク溶接の自動制御—自動開先トレースの新しい試み, 第32回 溶接法, 第22回 溶接アーク物理合同研究委員会資料, 1971年度提出資料, No. SW-70 (1970)
- 3) Y. Arata and K. Inoue; New Perfect Automatic Control System for Arc Welding, IIW Doc. XIHK-6-71 (1971)
- 4) Y. Arata and K. Inoue; Automatic Control of Arc Welding (Report II)—Optical Sensing of Joint Configuration—Trans. JWRI, 2-1 (1973)

吸湿低水素系溶接棒による溶接金属の気孔について*

—軟鋼溶接部の気孔生成に及ぼす被覆アーク溶接棒の吸湿の影響 (第2報) —

益 本 功**, 松 田 一 夫***, 長谷川正義***

Porosity of Weld Metal by Humid Low-Hydrogen Type Electrode*

—Influence of Absorbed Water of Coated Electrode

on Porosity of Weld Metal (Report 2) —

by Isao Masumoto**, Kazuo Matsuda*** and Masayoshi Hasegawa***

All types of the humid coated electrode except low-hydrogen type produced sound weld metals in the experimental range of absorbed water contents, as described in the previous report. And in this study on the porosity by low-hydrogen type electrode were investigated with supply of complementary shielding gas, addition of deoxidizer in weld metal, rebaking of humid coated electrode and chemical analysis of blowhole gases in deposited metal.

*原稿受付 昭和53年4月28日 (昭和53年度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

***正 員 中部工業大学 Member, Chubu Institute of Technology

The experimental results were as follows:

- 1) The porosity could not be prevented by CO_2 or Ar complementary shielding gas. Therefore, the cause of this porosity was not to be ascribed to nitrogen or oxygen by invasion of air.
- 2) The porosity could not be prevented by addition of various deoxidizing elements. Therefore, the cause of this porosity was not to be ascribed to carbon monoxide reaction in weld metal.
- 3) The sound weld metal was obtained by rebaking of the coated electrode at 150 or 400°C for 1 or 2 hours.
- 4) The gases in blowhole consisted mainly of hydrogen (ca. 80.0 %), some amount of nitrogen (ca. 3.0 %) and oxygen (ca. 1.1 %). But carbon monoxide was hardly determined.

1. 緒 言

前報¹⁾においては、軟鋼用各種被覆アーク溶接棒を故意に吸湿させ、軟鋼板のビード溶接及び水平すみ肉溶接を行ない、溶接金属の気孔生成に及ぼすアーク雰囲気水分の影響を調べた。そして、低水素系以外の吸湿溶接棒による場合は、いずれの吸湿量においても気孔のない溶接金属が得られるが、低水素系溶接棒では吸湿量が約1.3%で気孔が発生し始め、この時の溶接金属の拡散性水素量は約7 cc/100 gで、これは他の乾燥溶接棒による健全な溶接金属の水素量約32.7~45.0 cc/100 gに比べ著しく低い値であることを報告した。

著者の一人は、被包ガスとして $\text{CO}_2\text{-H}_2$ の混合ガスを送給して軟鋼を溶接した場合、送給ガスの水素混合率が約10%以上になると気孔が発生し、 Ar-H_2 の混合ガスの場合は4.8%ですでにかなりの気孔が発生することを報告している²⁾。また、著者らの水中溶接においても CO_2 半自動アーク溶接により発生した気孔のガスの主成分は水素であった³⁾。

したがって、アーク雰囲気に十分な水素分圧が存在すれば、当然、水素に起因する気孔が溶接金属に生ずる。しかし、吸湿低水素系溶接棒による気孔生成の場合は、前述のように、拡散性水素量が他の乾燥溶接棒に比べ著しく低く、この気孔の原因が水素によるものとは断定し難い。

そこで、吸湿水分によるアークの乱れのため、空気との混入、すなわち、窒素あるいは酸素による気孔の生成も考えられるので、この点からの実験的追究を行なった。すなわち、本報では、吸湿低水素系溶接棒による気孔防止に及ぼす補助被包及び脱酸剤の効果並びに吸湿溶接棒の再乾燥の影響を調べるとともに、気孔内ガスの定量分析を行なった。その結果、拡散性水素量からは推論し難いが、吸湿低水素系溶接棒による気孔はやはり水素によるものであることを確かめたので報告する。

2. 供試材料及び溶接電源

本実験に使用した母材及び溶接電源は前報¹⁾の場合と

全く同様(板厚6 mmのSS41材及び容量500 Aの垂下特性の交流アーク溶接機)である。

被覆アーク溶接棒は、棒径4 mmの軟鋼用低水素系溶接棒(D4316)を用い、300~350°Cに1時間乾燥した後、直ちに吸湿した。

補助被包ガスとしては、炭酸ガス及びアルゴンガスの2種類を、脱酸剤にはマンガン及びけい素含有量の高い CO_2 溶接用ワイヤ(直径1.6 mmのワイヤを長さ150 mmに切断したもの、重さ約2.3 g)、粒度90番のフェロシリコン及び粒度90番のアルミニウム(直径1.6 mmの溶接用アルミニウムワイヤを粒状にしたもの)の3種類を用いた。これらの脱酸剤の化学組成をTable 1に示す。

Table 1 Chemical compositions of deoxidizers

Deoxidizers	Elements, wt. %						
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Fe
Electrode wire for CO_2 welding	0.08	0.78	1.70	0.010	0.014	—	—
Aluminum electrode wire	—	0.10	—	—	—	0.044	0.33
Ferrosilicon	0.09	91.34	—	0.013	0.003	—	—

3. 実験方法及び結果

3.1 補助被包及び脱酸剤の効果

吸湿低水素系溶接棒による溶接金属の気孔生成の原因として、吸湿水分によるアークの乱れのため、被覆剤から発生する炭酸ガスの被包効果と溶接棒被覆中の脱酸剤の効果とのうち、いずれかあるいは両方が不十分となったことが考えられる。そこで、これらの効果を確かめるため、前報¹⁾と同様の方法で種々の量に吸湿させた低水素系溶接棒を用い、溶接電流160 A、溶接速度200 mm/min及び運棒角度60°に一定として、(1)アーク及び溶融金属を保護被包するため、Fig. 1に示すように直径26 mmのノズルを用いて、アークの側方から種々の流量の炭酸ガスあるいはアルゴンガスを送給して補助被包を行なった場合、(2)ビード試験片の中央に角度60°で、深さ2あるいは3.5 mmのV溝を切削し、その溝に脱酸剤として種々の量の CO_2 溶接用ワイヤ、フェロシリコンあるいはアルミニウムを置いた場合、(3) V溝に種々の

Fig. 1 Method of supply of complementary shielding gas

量の CO_2 溶接用ワイヤ, フェロシリコンあるいはアルミニウムを置き, さらに種々の流量の炭酸ガスあるいはアルゴンガスを送給して補助被包を行なった場合について, ビード溶接を行なった. なお, ビード試験片としては板厚 6 mm の 50×150 mm 短冊型試験片を用い, Fig. 1 に示すように, 被覆溶接棒と母材との間隔及び運棒角度を一定に保持するために作製した重力式の溶接棒保持器を電動台車に取り付け, 自動的に走行させて溶接を行なった. 溶接完了後, 溶接部の X 線透過試験を行なった.

Fig. 2 及び 3 は溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包の効果を調べた結果を示したものである. なお, 気孔率は前報¹⁾の場合と同様の方法で測定した. Fig. 2 は補助被包ガスとして炭酸ガスを 20 あるいは 25 l/min 及び Fig. 3 はアルゴンガスを 20, 25, 30 あるいは 50 l/min 送給した場合である. いずれの場合も吸湿量が約 4% 程度までは補助被包の効果がやや認められ, 気孔はわずかに減少する傾向が見られるが, それ以上の吸湿量ではこれらの効果はほとんどなく, 補助被包を行なわない場合とほぼ同程度の気孔が発生している.

Fig. 4 はこれらのビードの X 線透過写真の例を示す. (b) 及び (c) の吸湿量 3.4 及び 4.2% の場合には, 補助被包の効果がやや認められるように見えるが, (d) の 5.4% 吸湿の場合には補助被包の効果はほとんど認められない.

Fig. 5~7 は溶接金属の気孔率に及ぼす脱酸剤の効果を調べた結果で, Fig. 5 は脱酸剤として CO_2 溶接用ワイヤを 2 本 (4.6 g) あるいは 3 本 (6.9 g), Fig. 6 はフェロシリコンをビード長さ 13 cm あたり 0.03, 0.077 あるいは 0.275 g 置いた場合である. いずれの場合も脱酸剤の効果は全く認められない. また, Fig. 7 のアルミニウムをビード長さ 13 cm あたり 0.04, 0.18 あるいは 0.833 g 置いた場合は, いずれの場合も気孔の発生が著しく, アルミニウムを置くことがかえって気孔の発生を

Fig. 2 Effect of CO_2 complementary shielding gas on the relative porosity by humid lowhydrogen type electrode

Fig. 3 Effect of Ar complementary shielding gas on the relative porosity by humid low-hydrogen type electrode

助長しているように見られる. Fig. 8 はこれらのビードの X 線透過写真の例を示す.

Fig. 9~11 は脱酸剤を置き, さらに補助被包ガスを送給した場合である. Fig. 9 は CO_2 溶接用ワイヤを 2 本あるいは 3 本置き, 炭酸ガスを 20, 25 あるいは 40 l/min 送給した場合である. Fig. 10 は CO_2 溶接用ワイヤを 2

Fig. 4 Radiographs of beads by humid low-hydrogen type electrode with and without CO_2 or Ar complementary shielding gas

Fig. 6 Effect of deoxidizer (Fe-Si alloy) on the relative porosity by humid low-hydrogen type electrode

Fig. 5 Effect of deoxidizer (2 or 3 pieces of CO_2 electrode wires) on the relative porosity by humid low-hydrogen type electrode

Fig. 7 Effect of deoxidizer (Al) on the relative porosity by humid low-hydrogen type electrode

本置き, アルゴンを20あるいは 25 l/min 送給, Fig. 11 はフェロシリコンを 0.03, 0.077 あるいは 0.275 g 置き, 炭酸ガスを 25 l/min 送給した場合である。いずれの

場合も吸湿量が約 4 % 程度までは脱酸剤及び補助被包の効果はやや認められ, 気孔はわずかに減少する傾向が見られるが, それ以上の吸湿量では脱酸剤及び補助被包の

Fig. 8 Radiographs of beads by humid low-hydrogen type electrode with and without deoxidizer (2 pieces of CO₂ electrode wires, Fe-Si alloy or Al)

Fig. 9 Effect of deoxidizer (2 or 3 pieces of CO₂ electrode wires) and CO₂ complementary shielding gas on the relative porosity by humid low-hydrogen type electrode

効果はほとんど認められない。また、脱酸剤としてアルミニウムを置き、さらに炭酸ガスで補助被包を行なった場合には、アルミニウムだけを置いた場合 (Fig. 7) と

Fig. 10 Effect of deoxidizer (2 pieces of CO₂ electrode wires) and Ar complementary shielding gas on the relative porosity by humid low-hydrogen type electrode

Fig. 11 Effect of deoxidizer (Fe-Si alloy) and CO₂ complementary shielding gas on the relative porosity by humid low-hydrogen type electrode

同様にアルミニウムを置いたことがかえって気孔生成を助長しているように見られた。なお、Fig. 9~11 の CO₂ 溶接用ワイヤあるいはフェロシリコンを置き、さらに炭酸ガスあるいはアルゴンで補助被包を行なった場合の気孔率と Fig. 2 及び 3 の炭酸ガスあるいはアルゴンで補

助被包のみを行なった場合のそれとを比較すれば、両者はほぼ同様な傾向である。しかも、Fig. 5 及び 6 に示したように、気孔生成の防止に CO_2 溶接用ワイヤあるいはフェロシリコンの脱酸剤の効果が全く認められないことから、この場合も脱酸剤の効果よりも補助被包の効果の方がより大きいものと思われる。

以上の実験結果に示したように、吸湿低水素系溶接棒による気孔は、アーク及び溶融金属を保護被包するため、アークの側方から炭酸ガスあるいはアルゴンを送給して溶接を行なっても完全には防止できなかった。したがって、被覆材から発生する炭酸ガスの被包効果が吸湿水分によるアークの乱れのため、不完全となり、空気が混入し、これに基づく窒素あるいは酸素による気孔ではないと思われる。また、 CO_2 溶接用ワイヤ、フェロシリコンあるいはアルミニウムの脱酸剤のみを置いた場合はその効果が全く認められないことから、溶接棒被覆中の脱酸剤の不足に基づく一酸化炭素による気孔とも考え難い。

3.2 吸湿溶接棒の再乾燥の影響

吸湿量が約 4～7% の低水素系溶接棒を乾燥炉で 150 あるいは 400℃ に 1 又は 2 時間乾燥し、補助被包ガス及び脱酸剤を用いないで、溶接電流 160 A、溶接速度 200 mm/min 及び運棒角度 60° に一定としてビード溶接した後、溶接部の X 線透過試験を行なった。その結果、低水素系溶接棒が著しく吸湿した場合でも 150 あるいは 400℃ で再乾燥して用いれば、気孔のない健全な溶接金属が得られることが認められた。Fig. 12 はこれらのビードの X 線透過写真の例を示す。なお、150℃ で再乾燥した後の吸湿量は約 0.2～0.5% であるが、400℃ で再乾燥すれば、吸湿前の吸湿量（受入れのままの溶接棒を 300～350℃ で

1 時間乾燥後の吸湿量を 0% とした）よりもさらに約 0.2～0.5% 減少した。

3.3 気孔ガスの分析

吸湿量が約 5～6% の低水素系溶接棒により、補助被包ガス及び脱酸剤を用いないで、前述の溶接条件によりビード溶接を行なった試験片を既報の方法⁴⁾のように鋼製の箱 (155×300×深さ 100 mm) の中に固定し、グリセリンを十分な深さに満し、このグリセリン中で溶接金属をシェーパで切削して破壊された気孔から生じた気泡を捕集し、ガスクロマトグラフ (島津製作所製・GC-3 BT 形) を用いて気孔内ガスの定量分析を行なった。切削はできるだけ低速で行ない、空気の巻き込みなどによる気泡の発生がないように注意をしながら行なった。Table 2 は分析結果を示す。同表によれば、吸湿低水素系溶接棒で溶接を行なった場合に発生する気孔のガスの主成分は水素であり (約 80.0%)、ほかに窒素が約 3.0% 及び酸素が約 1.1% 含まれている。なお、一酸化炭素はほとんど含まれていなかった。したがって、吸湿低水素系溶接棒による溶接金属の気孔内ガスの主成分は水素である。この点は既報³⁾の低合金鋼を十分乾燥した低水素系溶接棒で溶接した場合の気孔内ガスの成分は窒素が主で、ほかに一酸化炭素及び水素からなっているのと著しく異なっている。

Table 2 Determination of blowhole gases in deposited metals by humid low-hydrogen type electrode

Number of determination	Chemical compositions, vol.%				
	H ₂	N ₂	O ₂	CO	Remainder
1	78.7	3.8	1.4	tr.	16.1
2	77.3	3.6	1.3	tr.	17.8
3	83.7	2.0	0.8	tr.	13.5
4	80.0	2.8	0.8	tr.	16.4
5	78.7	3.9	1.4	tr.	16.0
6	81.3	1.9	0.8	tr.	16.0
Average	80.0	3.0	1.1	tr.	16.0

Notes: Absorbed water content: about 5-6%.

Sample volume: 300 μ l

Carrier gas: Ar for H₂, N₂ and O₂

H₂ for CO

Absorbent: Molecular sieve 5A

4. 結 言

吸湿低水素系溶接棒による溶接金属の気孔生成についての諸実験を行ない、次の結論を得た。

(1) 吸湿低水素系溶接棒により発生する気孔は、アークの側方から炭酸ガスあるいはアルゴンの補助被包ガスを送給し、アーク及び溶融金属を保護被包しても完全には防止できない。したがって、吸湿水分によるアークの乱れのため、空気が混入し、これに基づく窒素あるいは

Fig. 12 Radiographs of beads by baked low-hydrogen type electrode

酸素によるものではない。

(2) 吸湿低水素系溶接棒により発生する気孔は, CO_2 溶接用ワイヤ, フェロシリコンあるいはアルミニウムの脱酸剤を置いても防止できない。したがって, 溶接棒被覆中の脱酸剤の不足に基づく一酸化炭素によるものではない。

(3) 低水素系溶接棒が著しく吸湿した場合でも 150 あるいは 400℃ で 1 又は 2 時間再乾燥して用いれば, 気孔のない健全な溶接金属が得られる。

(4) ガスクロマトグラフによる測定の結果, 吸湿低水素系溶接棒による溶接金属の気孔内ガスの主成分は水素であり (約 80.0%), ほかに窒素が約 3.0% 及び酸素が約

1.1% 含まれていた。なお, 一酸化炭素はほとんど含まれていなかった。

参 考 文 献

- 1) 松田, 長谷川, 益本: 気孔生成に及ぼす被覆 アーク 溶接棒の吸湿量の影響, 本誌, 47—9 (1978), 662—667
- 2) 益本: ガス被包金属アーク溶接による鋼材溶接部の気孔生成について (第 2 報), 本誌, 29—12 (1960), 956—962
- 3) 益本, 近藤, 中島, 松田: 水中溶接に関する研究 (第 2 報), 本誌, 40—8 (1971), 748—754
- 4) 益本, 篠田: 溶接金属の気孔について, 本誌, 38—10 (1969), 1075—1083
- 5) 益本, 篠田: 溶接金属の気孔について (第 2 報), 本誌, 41—7 (1972), 801—810

単層溶接部の局部集積水素濃度におよぼす 溶接諸条件の影響*

佐藤邦彦**, 寺崎俊夫**, 山下泰生****

Effect of Welding Conditions on Local Hydrogen Concentration at the Root of Weld Metal*

by Kunihiko Satoh**, Toshio Terasaki** and Yashuo Yamashita****

This paper deals with the effect of welding conditions on hydrogen concentration at the root of weld metal. The calculations of hydrogen concentrations in weld metal and HAZ are done by means of two dimensional finite difference method based upon hydrogen diffusion equation which is composed of temperature, stress and strain terms.

The results obtained in this report are summarized as follows:

- (1) Hydrogen diffusion equation and numerical method for hydrogen concentration at the root of joint are described.
- (2) On comparison of hydrogen concentrations among single-bevel-groove, double-Vee-groove and implant specimen, hydrogen concentration of single-bevel-groove turns out to be largest.
- (3) The influence of stress term on hydrogen concentration is large as compared with strain term.
- (4) Hydrogen concentration at the root of joint increases with yield strength of weld metal increasing and transformation temperature of cooling process decreasing.

1. 緒 言

低温割れ発生部の局部集積水素濃度は低温割れの主要因子であるが, 他の主要因子 (割れ発生部の応力, ひず

み, 組織) と低温割れの研究¹⁾ に比較して, あまり研究されていない。この原因は溶接現象に伴う複雑な水素拡散現象を理論化し難いことや拡散計算に必要な諸定数の不明確さに起因しているようである。

本報告は溶接継手部に発生する溶接応力, ひずみおよび溶接熱サイクルを考慮した水素拡散理論を導くと共に 2 次元有限差分法を用いた数値解析法を導き, ルート部の局部集積水素濃度におよぼす溶接諸条件の影響を研究

*原稿受付 昭和53年9月5日 (昭和53年秋季全国大会にて発表)

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

***学 生 員 大阪大学工学部 Student Member, Faculty of Engineering, Osaka University