

吸湿低水素系溶接棒による塗装鋼板溶接部の気孔生成

松田 一夫*, 長谷川 正義*

Porosity Formation in Weld Metal of Painted Steel Plate by Moistened Low-Hydrogen Type Electrode

Kazuo MATSUDA* and Masayoshi HASEGAWA*

(Received April 9, 1985)

All types of moistened covered electrodes except a low-hydrogen type, produced sound weld metals of painted steel plate in the experimental range of absorbed water contents, as described in the previous report. In this study the porosity of low-hydrogen type electrodes were investigated with a supply of complementary shielding gas, additional of deoxidizer in weld metal, rebaking of moistened covered electrode, and chemical analysis of blowhole gases in deposited metal.

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 an 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 the covered electrode at 150 or 400°C for 1 or 2 hours.
- 4) The gases in blowhole consisted mainly of hydrogen (ca. 80%), some amount of nitrogen (ca. 3%) and oxygen (ca. 1%). However, carbon monoxide was hardly observed.

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、各種塗装鋼板¹⁾のビード溶接を行い、溶接金属の気孔生成に及ぼす鋼板表面の付着物及びアーク雰囲気中の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、いずれの塗装鋼板及び吸湿水

分量においても気孔のない溶接金属が得られるが、吸湿低水素系溶接棒では、いずれの塗装鋼板の場合も吸湿水分量が約 1.4% で気孔が発生し始め、この時の溶着金属の拡散性水素量は約 8 cc/100 g で、これは低水素系以外の乾燥溶接棒による健全な溶着金属の拡散性水素量 32.7~48.9 cc/100 g に比べ著しく低い値であることを報告した。

水素による気孔については、被包ガスとして CO_2 -

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

H₂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-H₂混合ガスの場合は 4.8%ですでにかなりの気孔の発生することが報告されている²⁾。また、著者らの水中溶接においても CO₂半自動アーク溶接により発生した気孔の気孔内ガスの主成分は水素であった³⁾。

したがって、アーク雰囲気には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、拡散性水素量が低水素系以外の乾燥溶接棒に比べ著しく低く、この気孔の生成原因が水素によるものとは断定し難い。

乾燥低水素系溶接棒による鋼材溶接部の気孔生成の原因については、脱酸剤不足のみならず、主としてアーク及び溶接金属の被包効果の不十分さにもとづくものであることが明らかにされている^{4,5)}。

そこで、吸湿水分によるアークの乱れのため、空気の混入、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った。すなわち、本報では、吸湿低水素系溶接棒による気孔の発生防止に及ぼす補助被包及び脱酸剤の効果並びに吸湿低水素系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、鋼板表面の付着物及び溶接電源は前報¹⁾の場合と全く同様（板厚 6 mm の無塗装鋼板及び塗装鋼板並びに容量 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 (D 4316) で、320℃に 1 時間乾燥後、直ちに吸湿させて用いた。

補助被包ガスとしては CO₂及び Ar の 2 種類を、脱酸剤には、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 2 種類を用いた。これらの脱酸剤の化学組成を第 1 表に示す。

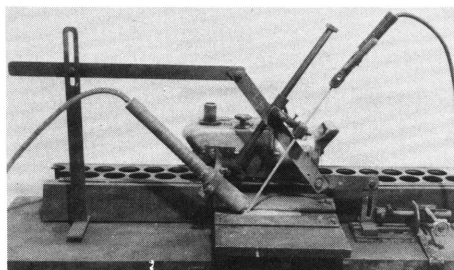
第 1 表 脱酸剤の化学組成

脱 酸 剤	化 学 組 成 (wt.%)						
	C	Si	P	S	Cu	Fe	Al
フェロシリコン	0.09	91.34	0.013	0.003	—	—	—
溶接用アルミニウムワイヤ	—	0.10	—	—	0.044	0.33	99.48

3. 実験方法及び結果並びに考察

3.1 補助被包及び脱酸剤の効果

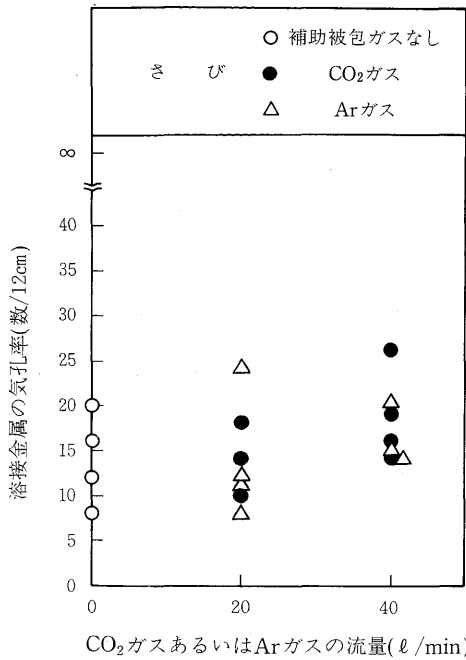
吸湿低水素系溶接棒による各種塗装鋼板溶接金属の気孔生成の原因として吸湿水分によるアークの乱れのため、溶接棒被覆剤から発生する CO₂の被包効果と溶接棒被覆剤中の脱酸剤の効果とのうち、いずれかあるいは両方が不十分となったことが考えられる。そこで、これらの効果を確かめるため、前報¹⁾と同様の方法で種々の水分量に吸湿させた低水素系溶接棒を用い、溶接電流 160 A、溶接速度 200 mm/min 及び運棒角度 60°に一定として、(1)アーク及び溶融金属を保護被包するため、第 1 図



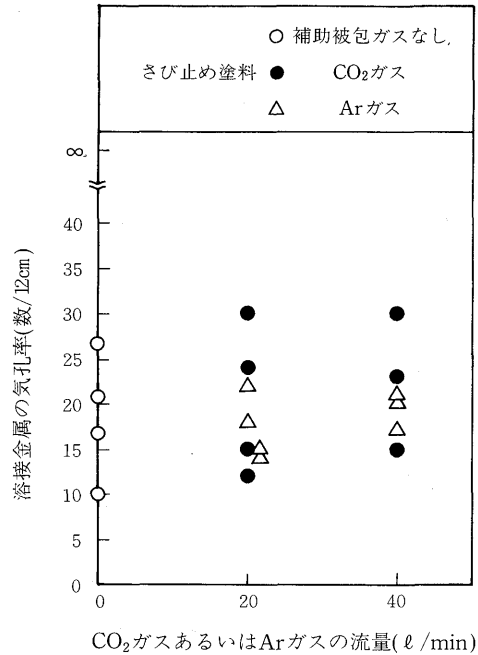
第 1 図 自動被覆アーク溶接装置

に示すように直径 40 mm のノズルを用いて、アークの側方から種々の流量の CO₂あるいは Ar を送給して補助被包を行った場合、(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 溝に種々の量の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 CO₂あるいは Ar を送給し補助被包をした場合について、ビード溶接を行った。なお、ビード試験片としては板厚 6 mm の 50×150 mm の短冊型試験片を用い、鋼板表面を前報¹⁾と同様に処理し、第 1 図に示すように、被覆溶接棒先端と母材表面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った。溶接完了後、溶接部の X 線検査を行った。

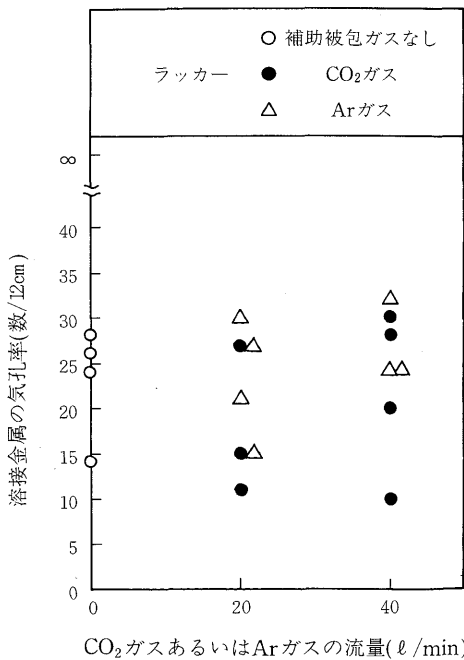
第 2～6 図は吸湿量 7.0% の低水素系溶接棒を用い、種々の塗装鋼板のビード溶接を行った場合の溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包の効果を調べた結果を示したものである。なお、気孔率は前報¹⁾の場合と同様の方法で測定した。さび(第 2 図)、ラッカー(第 3 図)、さび止め塗料(第 4 図)及びグリース(第 5 図)のいずれの塗装鋼板の場合も補助被包の効果はほとんどなく、補助被包を行わない場合とほぼ同程度の気孔が発生している。また、このことは無塗装鋼板(第 6 図)の場合も全く同様の傾向で、しかも、気孔率も塗装鋼板の場合と同程度である。これは前報¹⁾でも示したように、気孔生成に及ぼす鋼板



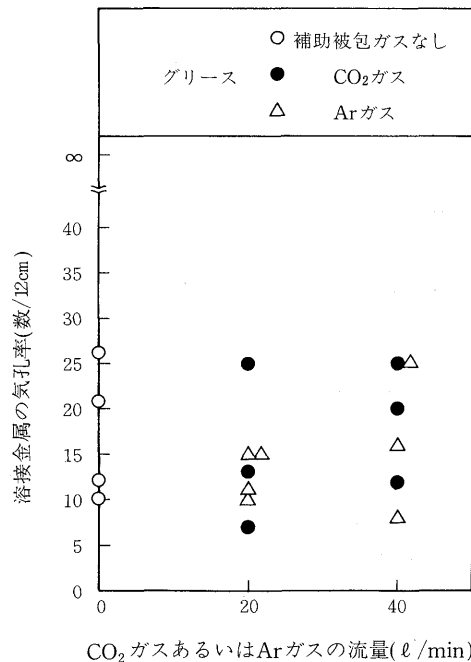
第2図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガスの影響



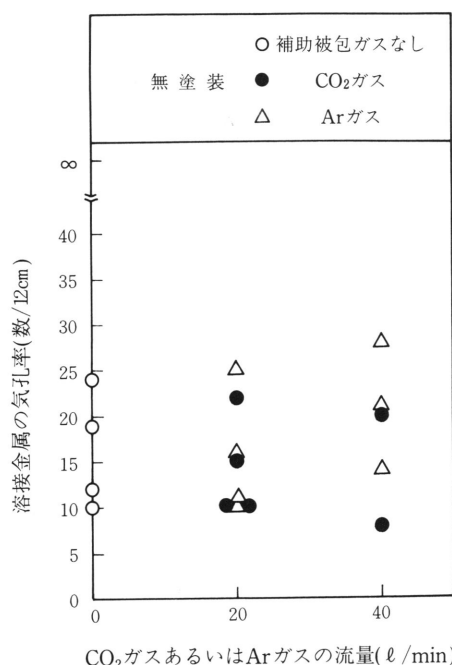
第4図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガスの影響



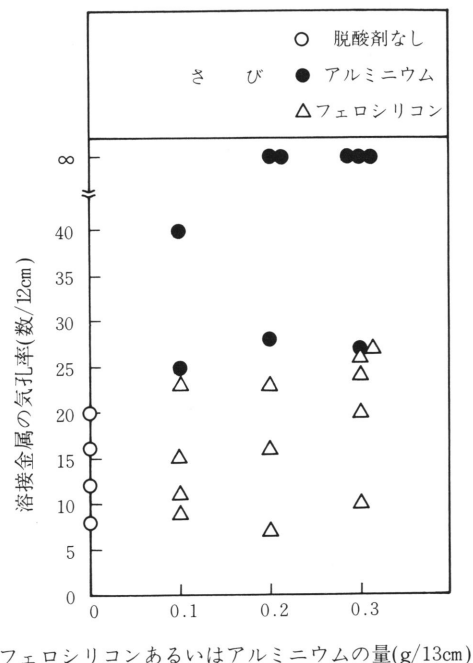
第3図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガスの影響



第5図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガスの影響



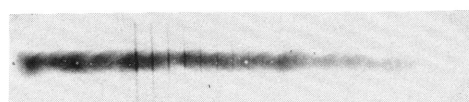
第6図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガスの影響



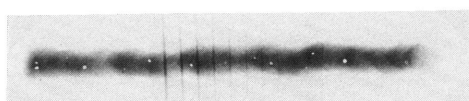
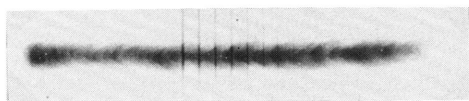
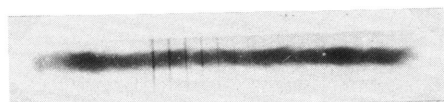
第8図 溶接金属の気孔率に及ぼす脱酸剤の影響

表面の付着物の影響は吸湿量の影響に比べ小さいものと考えられる。

第7図はこれらの溶接ビードの X 線写真の例を示す。



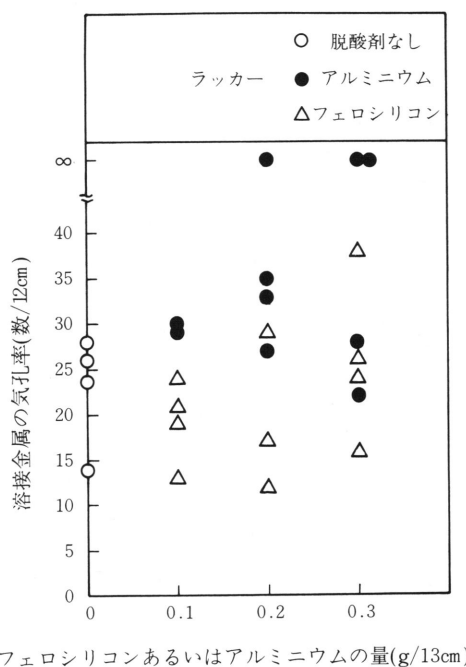
(a)無塗装 補助被包ガスなし

(b)無塗装 CO₂ガス：20 l/min(c)さび CO₂ガス：40 l/min

(d)さび止め塗料 Arガス：20 l/min

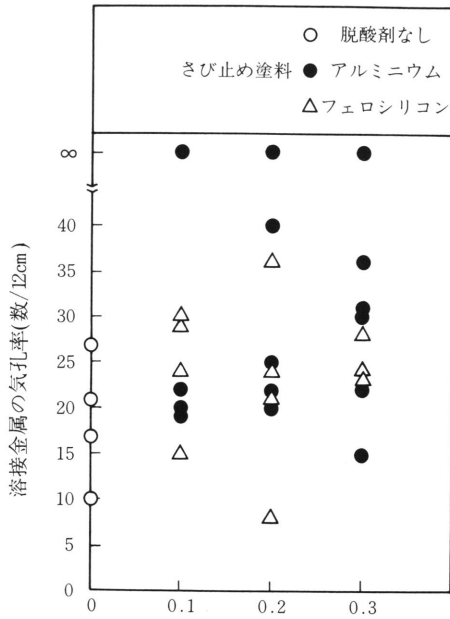
第7図 補助被包ガスを供給した場合の溶接ビードの X 線写真

第8～12図は溶接金属の気孔率に及ぼす脱酸剤の効果を調べるため、ビード長さ 13 cm 当りフェロシリコンあるいはアルミニウムを 0.1, 0.2 及び 0.3 g 付加した

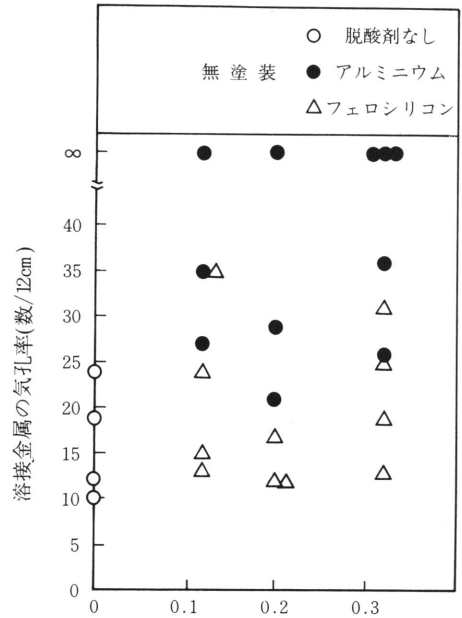


フェロシリコンあるいはアルミニウムの量(g/13cm)

第9図 溶接金属の気孔率に及ぼす脱酸剤の影響



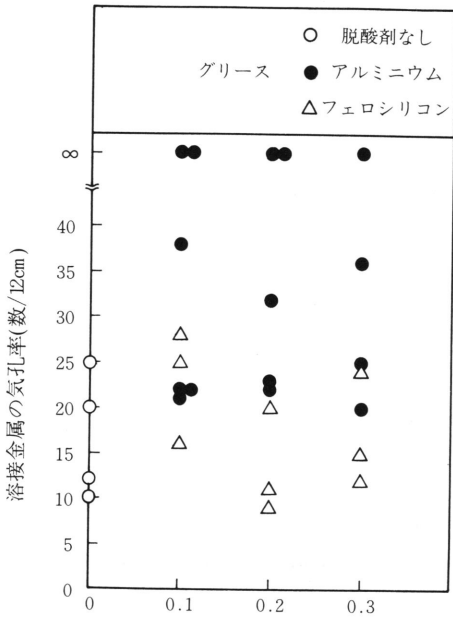
第10図 溶接金属の気孔率に及ぼす脱酸剤の影響



第12図 溶接金属の気孔率に及ぼす脱酸剤の影響

場合である。さび(第8図), ラッカー(第9図), さび止め塗料(第10図), グリース(第11図)及び無塗装鋼板(第12図)のいずれの場合も脱酸剤の量の多少にかか

わらず, 脱酸剤の効果は全く認められない。また, アルミニウムを付加した場合は, いずれの場合も気孔の発生が著しく, アルミニウムを付加することが, かえって気孔の発生を助長しているように見られる。



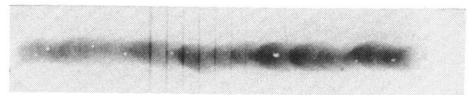
第11図 溶接金属の気孔率に及ぼす脱酸剤の影響



(a)無塗装 脱酸剤なし



(b)さび フェロシリコン:0.1g



(c)さび フェロシリコン:0.3g



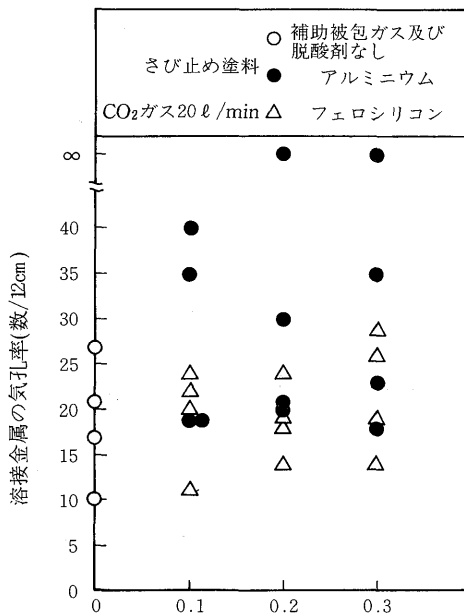
(d)無塗装 アルミニウム:0.3g

第13図 脱酸剤を付加した場合の溶接ビードのX線写真

第13図はこれらの溶接ビードのX線写真の例を示す。

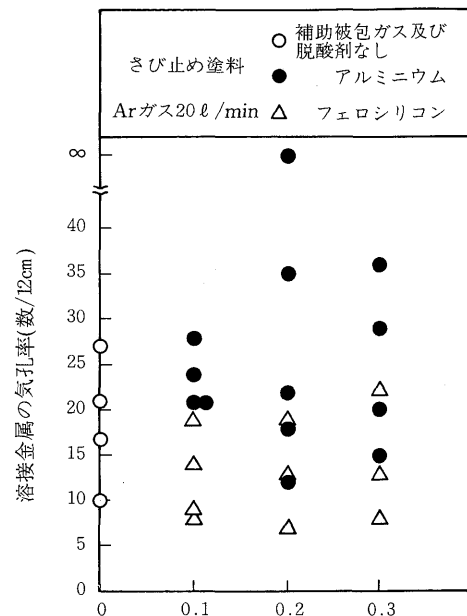
第14～17図は脱酸剤を付加し、さらに補助被包ガス

を送給した場合である。第14及び15図はフェロシリコンあるいはアルミニウムを0.1, 0.2及び0.3g付加し、 CO_2 を20あるいは40 ℓ/min 送給した場合である。第



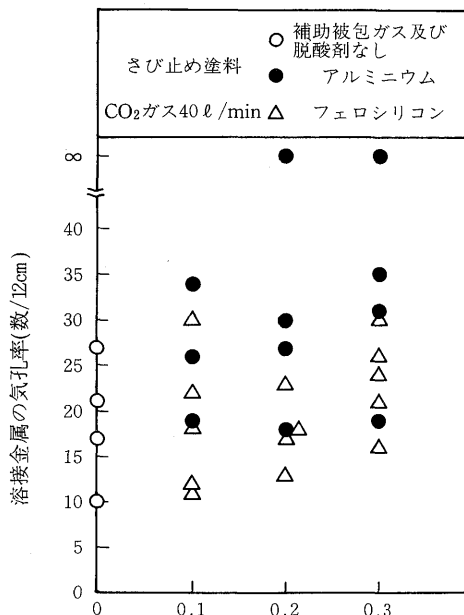
フェロシリコンあるいはアルミニウムの量(g/13cm)

第14図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガス及び脱酸剤の影響



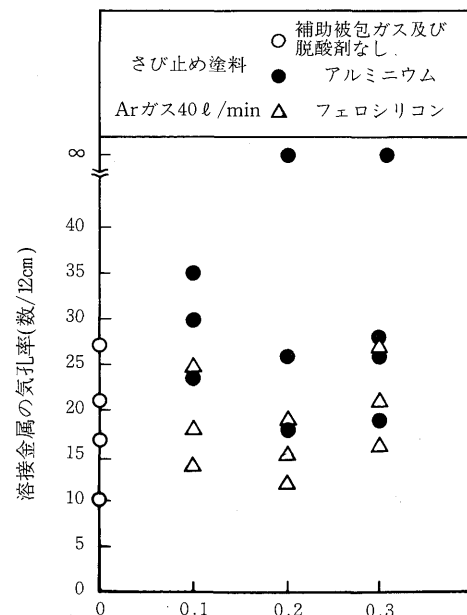
フェロシリコンあるいはアルミニウムの量(g/13cm)

第16図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガス及び脱酸剤の影響



フェロシリコンあるいはアルミニウムの量(g/13cm)

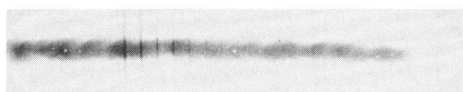
第15図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガス及び脱酸剤の影響



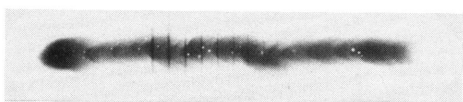
フェロシリコンあるいはアルミニウムの量(g/13cm)

第17図 溶接金属の気孔率に及ぼす補助被包ガス及び脱酸剤の影響

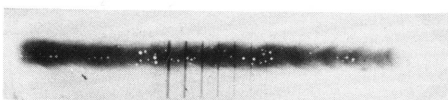
16 及び 17 図はフェロシリコンあるいはアルミニウムを 0.1, 0.2 及び 0.3 g 付加し, Ar を 20 あるいは 40 ℓ / min 送給した場合である。いずれの場合も脱酸剤及び補助被包の効果はほとんど認められない。また, 脱酸剤としてアルミニウムを付加し, さらに CO_2 あるいは Ar で補助被包を行った場合には, アルミニウムだけを付加し



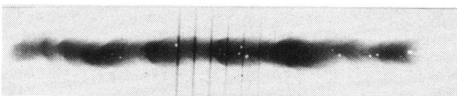
(a)無塗装 補助被包ガスなし 脱酸剤なし



(b)さび止め塗料 CO_2 ガス: 20 ℓ / min
フェロシリコン: 0.3g



(c)さび止め塗料 CO_2 ガス: 20 ℓ / min
アルミニウム: 0.3g



(d)さび止め塗料 Ar ガス: 20 ℓ / min
フェロシリコン: 0.3g

第18図 補助被包ガスを送給し, 脱酸剤を付加した場合の溶接ビードの X 線写真

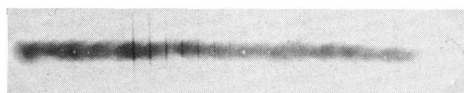
た場合(第 8~12 図)と同様にアルミニウムを付加したことがかえって気孔生成を助長しているように見られる。第 18 図はこれらの溶接ビードの X 線写真の例を示す。

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種々の塗装鋼板溶接金属に発生する気孔は, 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 CO_2 あるいは Ar を送給して溶接を行っても気孔は全く減少しなかった。したがって, 溶接棒被覆剤から発生する CO_2 の被包効果が吸湿水分や鋼板表面の付着物によるアークの乱れのため不完全となり, 空気が混入し, これにもとづく窒素あるいは酸素による気孔ではないと思われる。

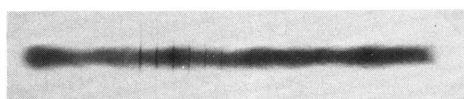
また, フェロシリコンあるいはアルミニウムの脱酸剤のみを付加した場合はその効果が全く認められないことから, 溶接棒被覆剤中の脱酸剤の不足にもとづく一酸化炭素による気孔とも考え難い。

3.2 吸湿溶接棒の再乾燥の影響

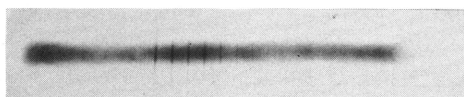
吸湿量が 7.0% の低水素系溶接棒を乾燥炉で 150 あるいは 400℃ に 1 または 2 時間乾燥し, 補助被包ガス及び脱酸剤を用いなくて, 溶接電流 160 A, 溶接速度 200 mm/min 及び運棒角度 60° に一定とし, 種々の塗装鋼板のビード溶接後, 溶接部の X 線検査を行った。その結果, 低水素系溶接棒が著しく吸湿した場合でも 150 あるいは 400℃ で再乾燥して用いれば, いずれの塗装鋼板の場



(a)無塗装 吸湿のまま



(b)無塗装 再乾燥温度: 150℃, 1 時間



(c)無塗装 再乾燥温度: 400℃, 1 時間

第19図 吸湿溶接棒を再乾燥した場合の溶接ビードの X 線写真

合も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。

第19図はこれらの溶接ビードの X 線写真の例を示す。

3.3 気孔内ガスの分析

吸湿量が 7.0% 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くて, 前述の溶接条件により, 種々の塗装鋼板のビード溶接を行った試験片を鋼製の箱(縦 155×横 300×深さ 100 mm)内に固定し, グリセリンを十分に深さに満し, このグリセリン中で溶接金属を形削り盤で切削して破壊された気孔から生じたガスを捕集し, ガスクロマトグラフを用いて気孔内ガスの定量分析

第2表 吸湿低水素系溶接棒による無塗装鋼板溶接金属の気孔内ガス組成

測定回数	化学組成 (vol.%)			
	H_2	N_2	O_2	CO
1	78.7	3.8	1.4	tr.
2	77.3	3.6	1.3	tr.
3	83.7	2.0	0.8	tr.
4	80.0	2.8	0.8	tr.
5	78.7	3.9	1.4	tr.
6	81.3	1.9	0.8	tr.
平均	80.0	3.0	1.1	tr.

を行った。切削はできるだけ低速で行い、空気の巻き込みなどによる気泡の発生がないように十分注意しながら行った。

第2表に分析結果の例を示す。同表によれば、吸湿低水素系溶接棒で溶接を行った場合に発生する気孔のガスの成分は主に水素であり(約80%),ほかに窒素が約3%及び酸素が約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、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⁶⁾のと著しく異なっている。

4. 結 言

吸湿低水素系溶接棒による種々の塗装鋼板溶接金属の気孔生成についての諸実験を行い、次の結論を得た。

(1) 吸湿低水素系溶接棒による種々の塗装鋼板溶接金属に発生する気孔は、アークの側方からCO₂あるいはArの補助被包ガスを送給し、アーク及び熔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、吸湿水分及び鋼板表面の付着物によるアークの乱れのため、空気が混入し、これにもとづく窒素あるいは酸素によるものではない。

(2) 吸湿低水素系溶接棒による種々の塗装鋼板溶接金属に発生する気孔はフェロシリコンあるいはアルミニウムの脱酸剤を付加しても防止できない。したがって、溶

接棒被覆剤中の脱酸剤の不足にもと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または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%),ほかに窒素が約3%及び酸素が約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。

本研究は、昭和59年度本学特別研究費の交付により行われたことを特に記し、本学関係者各位に対して深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 松田, 長谷川; 塗装鋼板溶接部の気孔生成に及ぼす被覆アーク溶接棒吸湿の影響, 中部大学工学部紀要, 第20巻(1984)13-20
- 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), 溶接学会誌, 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), 溶接学会誌, 40-8(1971)748-754
- 4) 関口, 益本, 織田; 低水素型被覆アーク溶接棒による鋼材溶接部の気孔発生について(第1報), 溶接学会誌, 27-8(1958)445-450
- 5) 関口, 益本; 低水素型被覆アーク溶接棒による鋼材溶接部の気孔発生について(第2報), 溶接学会誌, 27-9(1958)514-518
- 6) 益本, 篠田; 溶接金属の気孔について(第2報), 溶接学会誌, 41-7(1972)801-810