気孔生成に及ぼす母材表面処理の影響*

—アルミニウム及びアルミニウム合金ミグ溶接部の気孔防止に関する研究 (第1報)—

阪口 章** 水野政夫*** 富井 洋一***

Effect of the Surface Treatment Adopted for Base Metal on the Blow Hole Formation*

—Studies on the Prevention of Blow Holes Formed in Aluminum and Aluminum Alloy MIG Welds (Report 1)—

by Akira Sakaguchi**, Masao Mizuno*** and Yoichi Tomii***

In this report, the tendency of blow hole formation was investigated for MIG welds of aluminum alloy A5083P-O, in case of which the surface treatments adopted for base metal were changed. The adopted treatments were three kinds, machining, wire brushing, and chemical treatment, and welds were produced in horizontal position, using mainly V-groove bead on plate test pieces.

Furthermore, the effect of intervals after treatment was also investigated.

The results obtained are summarized as following.

- (1) Chemical treatment surface forms more blow holes than machining and wire brushing surface.
- (2) Several days interval after chemical treatment increases the number of blow holes, but even about 30 days interval after machining does not affect.
- (3) Butt welds form more and large blow holes than V-groove bead on plate in case of same surface treatment.
- (4) At chemical treatment, temperature, concentration, dipping time of NaOH solution were changed, keeping HNO₃ conditions constant. The heavier conditions (temp. was higher, conc. was stronger, time was longer), the more blow holes were formed. Especially, in case of omission of dipping in HNO₃ solution, blow holes increase markedly.

1. 緒 言

アルミニウム及びアルミニウム合金のミグ溶接部に気孔が発生しやすいことは、その溶接法の開発当初より問題とされており、これまで各方面で多数の研究が実施されて来ていることは周知の通りである¹⁾。これらの研究結果により、定性的な気孔の発生傾向はほぼ明らかとなっているものの、詳細に亘ると文献によって相異なる点が多々見受けられる。これは気孔の発生に関与する因子が多岐に亘り、且つ気孔形成のプロセスが極めて複雑であることに起因すると考えられる。従って気孔の発生機構に関しても断片的な理論は提出されているものの、統一された理論の確立には到達していないのが現状である。

さらに実用的な見地からは、気孔の存在が溶接継手の諸性能にどのように影響するかが問題であり、この点に関する研究も古くから実施されている²⁾。

一方、昨今アルミニウム合金はその軽量特性、低温特性を生かして、鉄道車両、超低温容器などの重要溶接構造物の分野に用途を拡大しつつあり、必然的に高度な溶接継手品質が要求されるようになって来ている。このような情勢を背景とし、各種規格の整備と相俟って、気孔の防止に関する研究が以前にも増して重要視されるに至っている。

筆者らは上述のような事情を考慮し、気孔の防止策の確立を目的として一連の研究を推進して来ている。本研究ではこれまで各方面で実施された研究結果を踏まえて、気孔の発生に関与する因子を整理し、これらの因子毎に統一した試験方法により気孔の発生傾向を明確にすることを試みた。次いで気孔の水素源に対する検討を加え、さらに発生機構の一端を解明しようとするものである。

本報は施工時の前処理として重要視されている母材の

*原稿受付 昭和53年2月21日第71回溶接冶金研究委員会 (昭和53年2月17日)にて発表)

**正 員 川崎重工業(株)車輦事業部 Member, Rolling Stock Div. KHI Co., Ltd.

***正 員 京都大学工学部 Member, Faculty of Eng. Kyoto University.

表面処理に着目し、本研究全体の予備試験の意味も兼ねて、実施したものである。すなわちミグ溶接部に発生する気孔の大部分が水素ガスによるものであることは、溶着部のガス分析を通してほぼ明白となっているところであり³⁻⁵⁾、その水素源としては次のような種々のものが考えられている。

- (1) 母材、電極ワイヤに固溶している水素
- (2) 母材、電極ワイヤ表面に吸着または化学結合された水分の分解による水素
- (3) 母材、電極ワイヤ表面に付着した水分、有機物、腐食生成物などの分解による水素
- (4) シールドガス中の水素および水分
- (5) シールド不完全の場合、アーク雰囲気中に混入した空気中の水分

これまで文献では上述の種々の水素源のうち、(1)、(2) (3) に着目してかなり多数の研究が実施されている⁶⁾。中でも母材、電極ワイヤの表面状況を変化させた場合の発生ガス量を測定したものや、溶着部の含有ガス量を測定したものが多くみられる。また溶着部に形成された気孔を調査した文献でも、母材、電極ワイヤのガス量との対応、気孔と溶着部の含有ガス量との関係をつけようとするものが多いようである。

すなわち従来の文献の多くはガス量の測定を通じて母材、電極ワイヤ表面状況の影響を論じており、直接溶着部の気孔との関係を求めた文献は余り見当たらない状況である。これは気孔を形成するメカニズムが極めて複雑であることに起因して水素源よりの、水素のすべてが気孔の形成に関与しないため、母材、電極ワイヤ表面状況の相異による水素源の多小と気孔の間に直接的な関係をつけ難いことによるものであろう。また表面状況の変化、特に電極ワイヤ表面状況の変化は溶接アーク現象や電極ワイヤ送給性の変化を伴うため、実験技術上の困難さが生じることも理由として上げられる。

そこで本報では上記の点並びに実際の施工時には、気孔の発生傾向が重要であることを勘案し、母材の表面状況のみを実用的によく採用されている方法で変化させるとともに、溶接姿勢は後述するような理由で横向とした場合の気孔の発生傾向について検討を行なった。

なお電極ワイヤの製造条件、保存条件と気孔との関係については、2, 3 の報告がみられる⁷⁻⁹⁾。これらによれば現在一般に市販されている電極ワイヤ表面状況、包装状態などはほぼ満足し得るものとなっており、施工側での保存状態、保存期間が特に異常でない限り安定した品質が得られるとされている。従って本報における電極ワイヤについては保存状態、保存期間に留意するのみで、特に溶接直前の前処理を施さずに使用した。

2. 実験方法

2.1 供試材および供試電極ワイヤ

試験に供した母材および電極ワイヤはすべて市販の A 5083 P-O 6 mm^t および A 5183 WY 1.6 mm ϕ である。これらのミルシートによる成分は Table 1 の通りである。

Table 1 Chemical compositions of used materials

	(Wt%)								
	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
A5083P-O (6mm ^t)	0.04	0.10	0.25	0.48	4.60	0.16	0.01	0.02	Re
A5183 WY (1.6mm ϕ)	0.02	0.09	0.19	0.52	4.98	0.07	0.01	0.06	Re

2.2 試験材形状、寸法

試験材の形状、寸法ならびに開先形状、V溝形状はすべての試験を通じて Fig. 1 に示すものを用いた。またシェーパー加工による開先およびV溝の表面に対して種々の処理を施した。

(1) 溶接に際しては Fig. 1 (A) に示した試験材によるV溝ビードオンプレートとを主体とし、比較のため Fig. 1 (B) による突合せ溶接 (ルートギャップ 0, 1mm) も実施した。

Fig. 1 Shapes and dimensions of base metals (V-groove, bead on plate and butt joint)

(2) 採用した母材の表面処理方法とその記号は Table 2 に示すごとくである。機械加工したV溝および開先面に対して最初に施す処理を一次処理と呼び、溶接直前に実施する処理を二次処理とした。従って通常の場合は一次、二次処理を連続して実施することになる。(試験材経時日数 0 日)

また一部の試験材では経時の影響を調査するため、一次処理後若干の日数を放置した後、そのまま、あるいは二次処理を施して溶接を行なった。

Table 2 中の化学処理は JIS Z 3604 規定の方法に準拠し、備考欄に記したような手順で実施した。クロロセン

Table 2 Kinds of surface treatment and their symbols

1st Treatment	2nd Treatment
① Chemical Treatment	⑤ Wire Brushing
② Cleaning by Chlorothen	⑥ Slightly Wire Brushing
	⑦ Dirty Wire Brushing
	⑧ Wheel Wire Brushing
	⑨ Filing
	⑩ Paper Filing
	⑪ Grinding

NOTE 1) ① Procedure of chemical treatment is as following (JIS Z 3604)
 10% NaOH (approx. 70°C) X 1min → water washing →
 15% HNO₃ (R.T.) X 2 min. → water washing → drying

(有機溶媒の商品名—トリクロロエタン) 洗浄は機械加工時, 運搬, 保存途上の汚染を除く目的で, ウェスにしみこませ, 表面を払拭する方法によった. またワイヤブラシ仕上は新品のステンレス鋼製細毛ワイヤブラシ (ワイヤ径 0.15 mm) を用い, 表面が一様な仕上がり程度になるよう入念に実施した. 比較のために軽くワイヤブラシをかけたもの, 廃棄寸前の汚れたワイヤブラシを使用したもの, 圧縮空気によるホイール式ワイヤブラシ (ステンレス鋼製, 0.15 mm 径) を使用したもの, アルミ用ヤスリによるヤスリがけしたもの, 紙ヤスリ (#80) を使用したもの, グラインダー仕上をしたものなど, 仕上方法を種々変化させた試験材を作製した.

(3) 溶接はV溝ビードオンプレート, 突合せ溶接ともすべて横向1パス溶接 (全自動) とし, 繰り反し数は3とした. このように溶接姿勢を横向としたのは, 従来からの経験上, 下向あるいは立向では脱ガスが活発となり, 母材表面状況の影響が明瞭に表われないと判断したためである. なお溶接姿勢の気孔発生におよぼす影響については第3報以降で検討する予定である.

(4) 裏当金は深さ 2 mm, 巾 10 mm の溝付鋼板を使用した.

(5) トーチは溶接方向, 試験材面それぞれに対して垂直に保持し, ノズル, 試験材間距離は 10 mm, コンタクトチュエブの先端とノズル先端との距離は 5 mm に設定した.

(6) 溶接条件は裏面までじゅうぶん溶込みの得られる条件として, 210 A, 21 V, 645 mm/min (溶接入熱約 4,100 J/cm) を採用し, シールドガスは純アルゴンを毎分 25 l 流した. なお溶接電流およびアーク電圧は表面処理の種類によって変化するため, 特にことわらない限りワイヤブラシ仕上面の場合に上記の条件を設定し, 同一ダイヤル位置で他の処理の場合の溶接も行なった.

(7) 試験材溶接後, Table 3 に示す撮影条件でX線

Table 3 Radiographic condition

ITEM	DESCRIPTION
EQUIPMENT	SOFTEX
TUBE VOLTAGE (KVP)	50
TUBE CURRENT (mA)	4.5
EXPOSURE TIME (sec)	30
FILM	FUJI 100
INTENSIFYING SCREEN	NO
FOCUS DISTANCE (mm)	600
DEVELOPER	FUJI-HIRENDOL
DEVELOPPING TIME (min)	5
FIXER	FUJI-HIRENFIK
MATERIAL	A5083P-O 6mm ¹

写真を撮影し, 溶接線中央部 200 mm 長さのフィルム上で気孔数を検数した. また気孔数の調査時には気孔径を考慮せず, すべての気孔を数え, 繰り反し数での平均値を求めた.

これは本報で主体としたV溝ビードオンプレート溶接では, ほとんどすべての気孔が径 0.5 mm 程度の微細なものであり, 且つ気孔径のばらつきが少ないこと, さらにX線フィルム上での気孔径の測定は必ずしも容易ではないことなどを考慮したものである.

(8) 溶接時のアーク現象と相俟って, 周辺雰囲気温度, 湿度が気孔発生に影響をおよぼし, 試験結果のばらつきを招くことは充分予想されるところである. この点に関して調査された文献¹⁰⁾, あるいは筆者らの予備試験の結果では, 設定条件によりいくぶん相異は見られるものの, 相対湿度85%気温30℃までは, 気孔数はほぼ一定で, それ以後, 急激に増加する傾向を示している. 本報ではこれらの試験結果を参考として, 大気中の相対湿度75%以下, 気温30℃以下の時にのみ試験材の溶接を実施することとした.

3. 試験結果

3.1 継手形状の比較

同一表面処理を施し, V溝ビードオンプレートおよび突合せ溶接をした場合の気孔の発生傾向を Fig. 2 に示す. いずれの処理の場合もV溝ビードオンプレート, G=1 突合せ溶接, G=0 突合せ溶接の順に気孔が増加しており, 母材表面状況のみならずルート面, ルートギャップの存在により気孔の増加することを示している. なお以下の図でも同様であるが, 図中の表面処理の説明欄中の×印は処理を施さないことを示している.

また突合せ溶接時に発生する気孔は Fig. 3 に示すように, V溝ビードオンプレートではほとんどみられない大径 (径 1 mm 以上) のものが多い. 同様の結果は他の文献¹⁰⁾でも得られており, これはルート面に存在する空気が, シールドガスによって追い出されないためと考えられている. このように突合せ溶接では, 母材表面状況

Fig. 2 Effect of joint shapes on number of blow holes

Fig. 3 Blow holes appeared in butt welds

の影響の他にルート面に起因する気孔が混在してくるため、以下の試験ではすべてV溝ビードオンプレートを採用した。

3.2 処理方法の影響

一次処理を一定として、二次処理としてのワイヤブラシ仕上の有無の影響を示したのが Fig. 4 である。機械加工面のまま（一次処理なし）の場合およびクロロセン洗浄をした場合には、二次処理としてワイヤブラシ仕上をすると、かえって悪くなる結果が得られている。しかし化学処理をした面に対してはワイヤブラシ仕上の効果がみられる。また一次処理だけの比較では、化学処理をした方が気孔が多くなっている。

またワイヤブラシ仕上の程度を変えた場合あるいはワイヤブラシ仕上以外の二次処理の方法での比較を示したのが Fig. 5 である。ワイヤブラシ仕上の程度を軽度にした場合あるいはホイール式ワイヤブラシ、ヤスリなどを使用した仕上の場合ともほとんど同様の結果を示した。さらにクロロセン洗浄面にワイヤブラシ仕上をした場合は大巾に気孔数が増加するが、紙ヤスリを使用した場合はクロロセン洗浄面のままの場合に比して、余り悪くならない結果となっている。

3.3 経時の影響

一次処理として化学処理をしたものと、機械加工面のままのものと一定期間放置した後、そのままあるいはワイヤブラシ仕上をして溶接した場合の結果を Fig. 6 に示す。機械加工面に対しては約1ヶ月の放置でも影響は認められないが、化学処理に対してはワイヤブラシ仕上の有無にかかわらず3日、7日放置で影響が現われている。

Fig. 4 Effect of wire brushing on number of blow holes

Fig. 5 Effect of 2nd treatments after chemical and chlorothen treatment on number of blow holes

Fig. 6 Effect of intervals on number of blow holes

る。しかし7日放置した場合でもグラインダー仕上をすれば放置の影響はなくなり、気孔は大巾に減少する結果が得られている。

3.4 化学処理液の影響

標準的な化学処理方法は Table 2 備考欄に示した手順 (JIS Z 3604) によって実施されるが、実際の場合は溶

液の濃度, 温度, 浸漬時間を厳格に管理することは難かしい, この点の影響を調査するため, HNO_3 処理は標準的な方法で一定とし, NaOH の濃度, 浸漬時間を変化させて溶接を実施した. なお処理後溶接までの経時はすべて3日間である.

結果は Fig. 7 に示すごとく濃度, 温度の高い程, 時間の長い程気孔が増加する傾向を示している. また図中に示した◎印は 70°C の 10% NaOH 溶液に 1 分間浸漬したのみで, HNO_3 溶液への浸漬を省略した場合であり, 大巾な気孔の増加を示している.

Fig. 7 Effect of NaOH concentration on number of blow holes

4. 考 察

4.1 表面状況によるアーク現象の変化

Fig. 3~7 の試験結果で示したように, 各処理方法の相異によって気孔の発生傾向に差が認められる.

一次処理, 二次処理として種々の方法を採用したが溶接直前の表面状況で考えると機械加工のまま (機械加工後クロロセン洗浄した面も含めて), 化学処理面, ワイヤブラシ仕上面の3種類に大別することができる. これらの3種類の表面状況の差を示したのが Fig. 8 である. 化学処理面は表面の光沢がアルマイト処理面のように銀白色となるとともに, 多数の腐食孔が観察され表面の凹凸がかなりはげしい. また機械加工面は一様な筋目が入っており表面の凹凸も少ないが, ワイヤブラシ仕上面は三者のうち最もはげしい凹凸となっている.

一方各処理の場合の溶接ビードの外観, 溶込み形状を示したのが Fig. 9 である. またクリーニングゾーン巾及びビード巾について調査した結果は Fig. 10 に示す通

Fig. 8 Photographs of surface and cross section

Fig. 9 Photographs of bead appearance and cross section

Fig. 10 Effect of kinds of surface treatment on the width of cleaning zone and bead

りである. Fig. 9 より明らかなごとく, 化学処理面ではビードの起伏がはげしく, ビード止端部が不整となっており機械加工面と対象的である. また溶込み深さは溶接条件のダイヤル設定位置が同一であるにもかかわらず, 機械加工面, ワイヤブラシ仕上面, 化学処理面の順に減

少することがわかる。これは表面処理の種類によって溶接電流、アーク電圧が変化するためと考えられ、特に化学処理面の場合に顕著な影響が現われる。

この点に関連して、化学処理面の場合はダイヤルを動かし溶接条件を修正した場合としない場合、並びに機械加工面、ワイヤブラシ仕上面の溶込み深さを比較してみると Fig. 11 のようになる。比較のために下向姿勢についても実施したが、いずれの場合も溶接条件を修正することにより、溶込み深さは他の処理の場合とほぼ同等となる。

Fig. 11 Relation between penetration and surface treatment

またクリーニングゾーン中は Fig. 10 の結果のように化学処理面の方が相対的に広くなる結果が得られており、この点は Fig. 9 に併せて示したクレータ部の外観写真からも了解することができる。しかしビード中については余り大きな差はみられていない。

上述のような点から考えれば、Fig. 8 で示したような表面状況の差は、アーク現象、ビード形成に大きな影響を及ぼし、引いては気孔生成にも影響を及ぼすと考えられる。

4.2 化学処理面に対する水素源としての検討

Fig. 3~7 で示した気孔の発生傾向を検討してみると化学処理面、機械加工面、ワイヤブラシ仕上面の三者のうち化学処理面のみが、ワイヤブラシ仕上によって気孔が減少すること、経時の影響が現われることなど、他の処理の場合と異なる傾向を呈している。加えて Fig. 7 で示したように NaOH の濃度、温度、浸漬時間によって気孔の増減がみられること、とりわけ HNO₃ 処理を省略した場合に大巾に気孔が増加していることなどは NaOH 溶液に浸漬することによって母材表面に生成される反応生成物（アルミナ水和物と考えられる）が気孔の水素源として作用することを示唆しているものと思われる。

本来上記反応生成物は後続の HNO₃ 溶液への浸漬に

より、完全に除去されるはずであるが、大量に処理する場合、あるいは液管理が充分でない場合などには反応生成物が残留することも考えられる。

上述のような観点に立って本報で得られた結果を考察してみると次のようになる。すなわち Fig. 4 で得られた結果は化学処理面の場合、ワイヤブラシ仕上は残留反応生成物を除去する作用をし、機械加工の場合（クロセン洗浄面を含めて）はそのままで滑らかな面をかえって粗にする作用、あるいは汚染する作用をするためワイヤブラシ仕上の効果が正反対に現われたものと考えられる。従って化学処理だけの場合、機械加工面に比べて気孔が多いのは、残留反応生成物の影響であると考えられる。

さらに化学処理の場合は先に述べたように、クリーニングゾーン中が広い反面、溶込みは浅くなるという結果から、アークの乱れ、すなわち陰極点の分散、アークの集中性の減少といった観点からの考察も必要である。しかしこれらの点は続報で明らかとするようにアークの乱れによる周辺空気の流れ込み、あるいは溶込みの減少による冷却速度の増加といった現象を介して気孔に関与するものであり、表面状況の間接的な影響としてとらえることができる。

Fig. 5 で得られた結果は種々の処理方法によっても表面の凹凸、反応生成物の残留程度に大差なく、必然的に気孔の発生傾向にも差が出なかったものと考えられる。

Fig. 6 で得られた結果は化学処理時の反応生成物が水分を吸着しやすく、溶接直前のワイヤブラシ仕上によっても完全に除去されないため、経時の影響が現われたと考えられる。二次処理としてグラインダー仕上をした場合は表面の残留反応生成物が完全に除去されるため、経時の影響が除かれたものであろう。

また機械加工面の場合は、当然常温で酸化被膜の生成はあるはずであるが、この被膜は気孔の生成に影響を及ぼさず、従って経時の影響が現われないと考えられる。

上述のように本報で得られた結果を説明することができる。さらに各処理の場合の走査型電子顕微鏡による表面の観察結果、あるいは化学処理面の水素源としての作用などに関する詳細な検討結果は次報において述べる。

5. ま と め

母材表面状況を変化し、気孔の発生傾向を調査した本報の結果を取まとめると以下のごとくである。

(1) 機械加工面、化学処理面を比較した場合、後者の方が気孔が多い。またそれぞれに対してワイヤブラシ仕上を施した場合、前者は気孔が増加し、後者は気孔が減少する結果となる。

(2) 化学処理面に対してワイヤブラシ仕上の程度を変えた場合、あるいはワイヤブラシ仕上以外の方法を採用した場合とも大差ない結果が得られた。

(3) 化学処理面は数日程度(3日, 7日)で経時の影響が現われるが、機械加工面は約1ヶ月の放置でも経時の影響は現われない。

なお化学処理に際して、NaOHの濃度、温度、浸漬時間を変化した場合(HNO_3 処理は一定)、高濃度、高温度、長時間程気孔が増加する。特に HNO_3 処理を省略した場合は大巾に気孔が増加する。

(4) V溝ビードオンプレート溶接に比して、突合せ溶接では同一表面処理の場合でも多数の大径の気孔が発生する。

(5) クリーニングゾーン巾は化学処理面の方が相対的に広がる結果を示し、溶込み深さは化学処理面、ワイヤブラシ仕上面、機械加工面の順に増加する結果が得られた。これは特に化学処理面の場合、同一ダイヤル設定位置であっても、溶接電流値が低下することに起因する。

参 考 文 献

- 1) 例えば藤原：溶接部の気孔，軽金属学会シンポジウム資料，(1970年2月12日)
- 2) 例えば永岡：溶接部の機械的性質に及ぼす気孔の影響，軽金属溶接，No. 112 (1972-4)
- 3) 水野，阪口：アルミニウムおよびアルミニウム合金溶接部の気孔について，軽金属溶接，No. 49 (1967-1)
- 4) 藤村，安藤：アルミニウムおよびその合金溶接部の諸性質におよぼす含有水素ガスについて，本誌，32-2 (1963)
- 5) 藤村：アルミニウム溶接部のガス分析，軽金属溶接，No. 17 (1964-5)
- 6) 阪口：気孔の生成におよぼす母材，ワイヤ表面状況の影響，軽金属溶接，No. 112 (1972-4)
- 7) 山本：電極ワイヤの製造条件と気孔との関係，軽金属溶接，No. 112 (1972-4)
- 8) 作業標準委員会：ミグ電極ワイヤの経時変化に関する研究，軽金属溶接技術会 (1970)
- 9) F.R. Coe; The quality assessment of gas metal arc welding wire, Weld. J., 47-8 (1968)
- 10) 袋田，永岡他：アルミニウム合金溶接部の気孔防止—気孔量に及ぼす雰囲気湿度と開先形状の影響—，石川島播磨技報，15-1 (1975)

構造用高張力鋼 (50, 60 および 80 キロ級) の 電子ビーム溶接性に関する研究 (第4報)*

荒田吉明**, 松田福久**, 柴田 泰***
小野凱久***, 玉置光男***, 藤平正一郎***

Mechanical Properties on Electron Beam Welds of Structural High Strength Steels (Report IV)*

by Yoshiaki Arata**, Fukuhisa Matsuda**, Yutaka Shibata***,
Yoshihisa Ono***, Mitsuo Tamaoki***, Shouichiro Fujihira***

In this investigation the various notch-fracture toughness values were studied and evaluated for the electron beam (EB)-weld metals of structural high strength steels (HT50 and 80) by means of deep notch, crack opening displacement (COD) and Charpy impact tests, and furthermore the mutual relations between them were discussed.

The remarkable conclusions are as follows.

- (1) The notch-fracture toughness of EB-weld metals showed lower value than that for base metal in

*原稿受付 昭和53年3月31日 (昭和52年度秋季全国大会にて発表)

**正 員 大阪大学溶接工学研究所 Member, Welding
Research Institute of Osaka University

***正 員 (株)片山鉄工所技術開発部 Member, Katayama Iron
Works, Ltd., Department of Research and
Development