アルミニウム合金溶接継手の気孔 に関する研究 (第3報)*

— モデル化試験の結果 —

安藤良夫** 藤村理人*** 中崎長三郎****

Studies on the Porosity in Welding Joints (3rd Report)*

— Results of Experimental Welding —

By Yoshio Ando**, Tadato Fujimura** and Tyozauro Nakazaki***

Abstract

The welding conditions have complicated influence on the porosity in aluminium alloy welds. The authors reported in their first report that the heat input in welds influences considerably the gas content in welds and further in their second report that several different inspection methods presently available of welding porosity have respective merits and demerits.

In this report (the third report) an attempt is made to simplify and analyse the welding conditions in the case of experimental welding which influence the porosity in aluminium alloy welds. The apparatus prepared for the purpose is schematically shown in Fig. 1.

The following results were obtained:

- 1) The increase of heat input in welds decreases the percentage voids of porosity in spot deposit (Fig. 6); the same result was also obtained in practical welding. Since the increase of heat input decreases the cooling rate of molten pool, it is clear that the cooling rate has remarkable influence on the welding porosity.
- 2) Heat input of welds, however, is a complicated factor for welding porosity. It is therefore considered necessary to divide the factor into two minor ones, i.e., the cooling rate and the temperature of molten pool, and then investigate both. As the result of temperature measurement in molten pool during welding, it was found that the temperature and the porosity in weld deposits simultaneously increased linearly with the welding current.

1. ま え が き

第1報¹⁾ではアルミニウム合金溶接継手の溶接施工条件が溶接部気孔の発生におよぼす影響について、溶着部のガス含有量を分析してその傾向を求めた。さらに、第2報²⁾では溶接部気孔の検査法について、ガス分析法、断面検査法およびX線透過検査法によって求められた実験結果と比較して検討した結果を報告した。

鈴木氏³⁾らは溶接条件と溶接部気孔の発生に関連について

- 1) 溶接速度が大になると、気孔の発生が増加する。
- 2) 溶接電流が大になると、気孔の発生は減少する。
- 3) 溶接電圧が大になると、気孔の発生は増加する。

- 4) バッキングを行なったものは行なわないものより気孔の発生は少ない。

ことを報告している。著者らは第1報において、

- 1) 溶接入熱が大きいとき気孔の発生は少ない。
- 2) 板厚が大であるほうが気孔の発生は少ない。

ことを報告した。

アルミニウム合金溶接部に気孔の発生する要因については、内外の研究者⁴⁾によつてはほぼ明らかである。すなわち、溶接する母材および溶接心線自身の含有または吸着するガス（主として水素）および大気中の存在する水分が溶接施工時のアーク熱およびイオン化傾向によつて

のごとく、分解して生ずる水素原子が、熔融金属に溶解し、熔融池の凝固に際して、アルミニウム合金に対する水素の溶解度が激減するため、溶解水素が析出して分子状となり、多量の気孔を生ずると考えることが現在定説となっている。著者らはこれらの定説に加えて、アルミニウム合金溶接部に含有する水素の挙動について、次の二つの挙動を考慮することが必要であると主張してき

* 原稿受付、昭和37年5月1日（昭和36年度溶接学会秋季学術講演において発表）

** 正員、東京大学生産技術研究所 Member, Institute of Industrial Science, University of Tokyo

*** 正員、日本原子力研究所東海研究所 Member, Tokai Laboratory, Japan Atomic Energy Research Institute

**** 日本原子力研究所東海研究所 Tokai Laboratory, Japan Atomic Energy Research Institute.

た。すなわち、

1) 溶接時の過冷却によって、溶解水素は過飽和状態で凝固したアルミニウム合金中に存在して、溶接部の諸性質に大きな影響をおよぼす。

2) 溶融池の凝固に際して、過飽和量以上の溶解水素が析出して気孔をつくり、溶接部の諸性質に大きな影響を与える。

著者らはこのように溶接部に含有する水素の挙動を二つに分けた場合、前者は溶接部のミクロ的な諸性質に大きく影響し、後者は溶接部のマクロ的な諸性質に大きく影響すると考えている。

著者らの主張は、既報の実験結果にもとづくものであるが、さらに十分な裏づけを行なうためには溶接現象をモデル化して、いくつか因子を分解して実験することが必要であると考えた。

本報告においては、溶接条件が溶接部気孔の発生におよぼす影響のうち、とくに熱的条件の影響についてモデル化試験を行なった結果を報告する。

2. 実験装置および試験片の形状

著者らは、真空および各種のガス雰囲気にするのできる可変雰囲気炉をもっているが、これに特殊ヘリアーク・トーチを組み込み、交流溶接機によりアルミニウムの溶接ができるようにした。(この可変雰囲気室内においてペットを直線方向に動かすことによって直線ビード

を得ることもできる)。また溶接部の温度は熱電対(アルメル・クロメル Swaged Thermocouple)により電磁オシログラフに記録せしめるようにした。Fig. 1 は実験装置のスキマティックな図を示し、Fig. 2 の写真は実験装置を示す。試験片は Table 1 に示すような工業用純アルミニウム板(2S)(板厚 6 mm)を 100×500

Fig. 2 Apparatus for experimental welding test

Fig. 1 Schematic figure of apparatus on experimental welding

Table 1 Welding performance (heat input/porosity test)

Welding current A			180		200		220		250	
Arc time sec.	Specimen No.	Heat input $\times 10^4$ joules	Specimen No.	Heat input $\times 10^4$ joules	Specimen No.	Heat input $\times 10^4$ joules	Specimen No.	Heat input $\times 10^4$ joules	Specimen No.	Heat input $\times 10^4$ joules
10									5-1	3.8
15									5-2	5.6
20					3-1	6.8			5-3	7.6
30	1-1	8.4	2-1	9.4	3-2	10.2	4-1	10.6	5-4	1..3
40					3-3	12.6				
50	1-2	16.2			3-4	20.4				

plate : commercial pure Al 2S filler wire : commercial pure Al 2S
argon flow rate : 15 l/min. arc length : 3 mm

mm に切断し、Fig. 1 の左下に示すごとく、径 2.5 mm 深さ 4 mm の孔をあけ、その中に径 2.4 mm、長さ 5 mm の溶接心線を入れた。この孔はガス抜きのため径 1 mm の孔を貫通せしめた。母材および溶接心線はいずれも、四塩化エチレンでよく洗浄して汚せんによる影響を防ぐようにした。これらの母材および溶接心線を治具にセットし、特殊型ヘリアーク・トーチによりアークを生ぜしめて、心線と母材を溶融して溶融池をつくった。本実験においてはベットの移動せしめないためビードは点状となった。溶融池は、溶接電流およびアーク時間を変えることにより、溶接入熱を変化せしめることができる。溶接電流および溶接電圧は正確に測定し、アーク発生時の平均電流および電圧を求めた。Fig. 3 は溶接入熱の変化によってできた点ビードの外観である。

Arc time : 30 sec. constant

Welding current (A)	250	220	200	180	150
Heat input ($\times 10^4$ joules)	11.2	10.6	10.2	9.5	8.1

Fig. 3 Molten pools on model welding test

なお試験板はバックグとして銅板、断熱アスベスト板および空気をそれぞれ実験の必要に応じて用いることにした。

3. 実 験

3.1 溶接入熱と気孔率の関係

Table 2 に示すように、溶接電流とアークの発生時間を変えることにより、溶接入熱を変化せしめた試験片について、溶融池の凝固によって生ずる点ビードの気孔率を測定し両者の関連を求めた。溶接入熱の真の値は当然熱効率 η を乗じたものでなければならないが、ここでは実験の整理上、 η を1とした溶接入熱をとることとした。実験によってつくった点ビードはビードの中心をよ

Table 2 Chemical composition of commercial pure Al (2S)

(a) Plate

Composition	Cu	Si	Fe	Mn	Zn	Al
Weight %	0.12	0.15	0.3	0.03	0.04	Bal.

(b) Filler wire

Composition	Cu	Si	Fe	Mn	Zn	Al
Weight %	0.003	0.06	0.20	0.002	0.001	Bal.

ぎって縦割りとし、気孔率の測定を行なった。気孔率の測定は第2報で報告した断面検査法を用いている。Fig. 4 に、点ビード断面の気孔の発生状態また Fig. 5 に気孔率の測定の結果の代表例を示している。

Fig. 6 はこの実験結果をまとめたものであるが、その実験結果を考察すると次のごとくなる。

1) 溶接入熱が多くなると明らかに気孔の発生は減少する。この実験結果は、溶接入熱が多いとき、冷却速度が小となることから定性的に予期されることであり、第1報で報告した実際の溶接における実験結果と一致するものである。

2) 溶接入熱が大となると、溶融池の大きさが大きくなること、さらに溶融池の温度が上昇することを考慮すると、溶接入熱はさらにいくつかの因子に分解して気孔率または固溶ガス量との関係を求める必要がある。

3) 実際の溶接においてはバックグの影響があることを考慮しなければならないが、バックグの影響を考慮すると溶融池の冷却速度と気孔率の関係ははなはだ複雑である。

3.2 シールドガスと気孔率の関係

Fig. 7 はシールド・ガス量が少なくなると気孔率が大きくなることを実験により示したものである。

3.3 溶融池の温度と気孔率の関係

3.1 で述べたように、気孔の発生については溶接入熱をさらにいくつかの因子に分解して検討する必要があると考えた。その一つとして溶融池の温度が気孔の発生にどのような影響をもつかを実験し検討した。Fig. 8 は

Fig. 4 Cross section of arc spot deposit

Fig. 5 Results of microphotographic test on the arc spot deposit

溶融池の温度を電磁オシログラフにとった一例であるが、一定の溶接電流では溶融池の温度は急激に上昇して溶融点以上のある一定の温度に到達するが、その後はほとんど上昇しないことを示している。しかし溶接電流を増加させると、溶融池の温度は比例的に増加する。

Fig. 9 は溶接電流と溶融池の平均温度の関係を求めたものである。次に、気孔率測定のために行なった実験結果の中より溶接入熱一定（ほぼ冷却速度が一定であるよう考慮した）の条件のデーターをひろい、溶融池の温度と気孔率の関係を求めたものが Fig. 10 である。モデル化試験においては温度測定を行なった試料で同時に気孔

Fig. 6 Heat input vs. porosity

Fig. 7 Shielded argon gas flow rate vs. porosity

率の測定を行なうことができないので温度測定と気孔率測定はそれぞれの目的に応じて別々に実験した。

この実験の結果を考察すると次のごとくなる。

1) 溶接電流を増加すると溶融池の温度が増加する。溶融状態では温度の上昇に従ってアルミニウム中の水素の溶解量が急激に増加する傾向はすでに知られており、多量のガスを溶融池に溶解することになる。この場合、溶接時の凝固に際して多量の気孔を発生することは明らかである。しかし鈴木氏らによる実際の溶接施工で得られた実験結果では溶接電流の増加に従って気孔の発生は少なくなっている。この実験においてはむしろ溶接入熱の影響と解すべきであると考えられる。すなわち、鈴木氏らの実験結果は溶接電流の増加により溶接入熱が増加し、溶融池の温度上昇による影響より、冷却速度の影響が大きくあらわれたものと考えられる。

2) 一般に溶接施工に際して溶接電流を大きくして溶融池の温度を必要以上に高くすることをさけることが必要であることは著者らの実験結果より明らかである。

Fig. 8 Temperature of molten pool

Fig. 9 Temperature of molten pool vs. welding current

Fig. 10 Temperature of molten pool vs. percentage voids

4. 結 言

溶接部気孔の発生を左右する因子はきわめて複雑である。溶接条件のうち、熱的因子をとってみても、いくつかの因子が重畳し、さらに実際の溶接施工においては板厚、層数、バックグの影響が加えられる。著者らは、とりあえず熱的因子のうち、溶接入熱と溶融池の温度をとり上げて実験的解析を試みたが、これらの因子と同時に溶融池の溶解より凝固までの溶融温度と溶融時間の関

係も考慮されねばならない。これらの検討については、今後、研究を進めたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 安藤, 藤村, 生田目: “溶接継手の気孔に関する研究 (第1報)” 溶接学会誌 Vol. 29 (1950) No. 4, 326~331
- 2) 安藤, 藤村, 生田目, 中崎: “溶接継手の気孔に関する研究 (第2報)” 溶接学会誌 Vol. 29 (1960) No. 11 872~876
- 3) 鈴木, 村瀬: “耐食性アルミニウム合金 ANP の消耗電極式アルゴンアーク溶接の研究 (第3報)” 溶接学会誌, Vol. 25 (1956) No. 12 681~688
- 4) Kaziarski, J.: “Some Consideration on Weldability of Aluminium Alloys” W. J. Vol. 32 (1953) 970~985