耐食性アルミニウム合金 ANP 板の消耗電極式 アルゴンアーク熔接の研究 (第2報)*

—— 熔着金属内の気孔の発生と割れについて ——

鈴木 春 義** 村 瀬 勉***

Tests on Inert-Gas Metal Welding of Corrosion Resisting Aluminum Alloy "ANP" Plates (Report 2)*

By H. Suzuki** and T. Murase***

Summary

Various tests on the inert-gas metal-arc welding of a corrosion resisting aluminum-manganese alloy "ANP", have been performed with ANP-O and ANP- $\frac{1}{4}$ H plates, $\frac{1}{4}$ in. in thickness, and various consumable electrode wires, 52S, A54S, 56S and ANP. The present report Part 2 discusses the effects of welding conditions, surface treatments, filler wires, preheat and back-chipping on the occurrence of porosities in bead weld or buutt weld, as well as the cracking tendencies of various filler wires in welding a slit-type cracking specimen.

The essential factors to prevent porosities have been shown to be; chemical cleaning of filler wire, adequate arc length, higher heat input, less magnesium content, proper backing and precautions in the back pass, that is, back-chipping, slower welding speed or preheat. Electrode wires, ANP and A54S, were the least crack-sensitive.

1 緒 言

第1報では厚さ 6mm の Al-Mg-Mn 合金 ANP 板 (英国の NP % 相当) について、消耗電極式アルゴンアーク熔接の研究として、まず熔接条件と溶込みおよびビード両側の黒粉の発生について述べた。本報ではこの熔接法の一欠点たる熔接金属内の気孔の発生と熔接割れについての実験結果を述べる。

2 実験装置と供試材

これは第1報と全く同一である。

3 試験結果

(1) 気孔と熔接施工条件

アルミニウム合金の消耗電極式アルゴンアーク熔接において熔接金属内に気孔が発生しやすい主因は、熔接速度が大きいので溶融金属の凝固がきわめて速いためといわれている¹¹⁾。すなわち溶融金属中に吸収された多量のガスが凝

固に伴う溶解限の激減のために残りの溶融金属中に放出されて気泡となり、それが浮上して逸出する暇がないほどに凝固速度が大きいためである。また気孔を生成するガスは主として水素といわれ^{4,11,12)}、その発生源としては板や電極線中の含有水素、表面の湿気、酸化膜中の結晶水、油脂その他の有機物中の水素、空气中やアルゴンガス中の水素などがあげられる。そこで気孔の発生に影響する原因と思われる下記の5項目;

- 1) 板および電極線の表面状態
- 2) アークの安定度 (アーク電圧)
- 3) 熔接入熱 (熔接電流, 速度)
- 4) 電極線の種類
- 5) 熔接施工法 (予熱, 裏ハツリ)

について ANP-O 材を使用してビード熔接および突合熔接を行って X 線および断面拡大検査 (×20) により気孔の発生程度を調べ、それにより気孔の発生原因、防止法などにつき実験した。試験片の寸法は Fig. 6 に示すごとくで、突合熔接の場合には熔接線の両端に付足片をつけて熔接の開始および終了点の欠陥が試験熔接部に生じないようにした。

気孔は 50kVP 3mA 10min. の X 線透過写真で調べ (X 線気孔), また X 線検査で現われない微小気孔に対してはビードのスタート部, 中央部, 終端部の3個所の断面を20

* 原稿受付 昭和31年7月7日 (昭和30年度熔接学会秋季学術講演会において発表)

** 正 員 運輸技術研究所 Member, Transportation Technical Research Institute

*** 正 員 川崎重工 K K 造船工作部 Member, Kawasaki Heavy Industries & Co.

Fig. 6 Test specimens for porosities

倍に拡大して微小気孔（顕微鏡的気孔）の数を比較した。この場合にX線気孔の数はJISの判定基準による気孔の数え方，すなわち最も気孔の密な場所の10×50mm²の面積における気孔数を用いた。たゞしJISに

規定されているとおりに，大きい気孔には下表の倍率を乗じて有効気孔数を求めこれを小さい気孔の数に加算した。

気孔の直径mm	実際の個数	倍 率	有効気孔数
<2.0	1	1	1
2.1~4.0	1	4	4
4.1~6.0	1	6	6
6.1~8.0	1	10	10
8.1~10.0	1	15	15

X線検査で現われない直径 0.2mm 以下の顕微鏡的気孔については，断面を研磨し 20 倍に拡大し単位面積（1cm²）当りの気孔数を数えた。この場合直径 0.1mm 以下の気孔については暫定的に下表の倍率を乗じて有効気孔数として大きい気孔の数に加算した。

気孔の直径mm	実際の個数	倍 数	有効気孔数
<0.2	1	1	1
0.05~0.1	4	¼	1
<0.05	16	⅙	1

気孔の発生状況を示すと，例えばビード熔接のスタート部は Photo. 6 (a) のように，また突合熔接の裏熔接の途中の気孔は Photo. 6 (b) のようである。比較的大きい気孔はビードの中央に近いところに多く発生し，微小気孔は Photo. 6 (c) に示すように表面に近い部分および熔着金属と母材との境界部に分布している。

また突合熔接における気孔のない場合と発生した状態のX線写真を Photo. 7 (a, b, c, d) に示す。アークスタート部には一般的に気孔の発生が著しいが，アークスタート部およびビード継目部における気孔の発生状況のX線写真を Photo 7 (e, f) に示す。この場合高周波発生装置を使用することによりアークスタートを容易にし発生がかなり少なくなった。以上の実験は自動熔接の場合であるが，手熔接

Photo. 6 Examples of porosities in welding ANP 6mm plate with ANP ⅛in. wire at 200A, 25V and 25ipm.,

(a) at an arc start, (b) in a back pass, and (c) microporosities in a weld section

ではアークスタート部のトーチの操作を適当にすることにより，気孔を減少させる可能性が考えられる。

1) 板および電極線の表面状態と気孔

表面処理の方法として板には，(イ)脱脂，(ロ)脱脂後ワイヤブラシおよび，(ハ)化学処理を，また電極線には，(イ)脱脂および，(ロ)化学処理を行ったのちビード熔接および突合熔接を行った。また化学処理した板の表面に水および油を薄く塗付したものについてもビード熔接を行い気孔発生を比較した。脱脂はベンゼンを脱脂綿にひたして表面を拭いて行い，化学処理は 60℃ 苛性ソーダ 5% 液に 30~60 秒浸漬後，硝酸 50% 液に約 5 分間浸漬し水洗後熱湯で洗いきよく乾燥した。

ビード熔接および I 型突合熔接におけるX線気孔の発生におよぼす板および電極線の表面処理の影響を Fig. 7 に示す。化学処理した電極線によるビード熔接においてはX線気孔はアークスタート部を除いてはほとんど皆無で，板の表面処理の差はほとんど認められなかったが，これに対して電極線を脱脂したまゝの場合にはX線気孔の発生が前者よりもやゝ多く見られた。またアークスタート部の気孔発生がとくに多くなるのは，板の表面に油膜をつけた場合および電極線のクリーニングが不完全（脱脂のみ）な場合で

Photo. 7 X-rays photographs and porosities in butt (a, b, c, d) and bead (e, f) welding ANP-0.6mm plate at 200A, 25V and the following conditions. $\times \frac{1}{2}$

- a) Preheated at 150°C, 20ipm b) Back chipped, 20ipm
c) Not back chipped, 25ipm d) Back chipped, 25ipm
e) Without high frequency current, 25ipm
f) with high frequency current, 25ipm

Fig. 7 Surface treatments and edge preparations vs. X-rayed porosities in bead or butt weld

あった。

開先を切削およびせん断加工した I 型突合溶接においても第 1 層溶接では気孔の発生は少ないが、この場合も電極線を脱脂したまゝの場合には気孔発生がとくに多かった。すなわちビード溶接物および I 型突合溶接の場合ともに、電極線の不完全クリーニング（脱脂のみ）と板表面に油膜

の残留することは気孔発生が多くなる一因と見てよい。

ビード溶接において X 線検査では認められないような微小気孔の発生におよぼす種々の表面処理の影響を Fig. 8 に示す。これでは Fig. 6 の X 線検査ではよく現われなかった表面処理の差が比較的良好に出ており、板および電極線を化学処理したものが最も気孔が少なく、電極線を不完全クリーニング（脱脂のみ）したものが最も気孔が多いようである。Fig. 7, 8 によると、化学処理した電極線を用いた場合には、板の表面処理としては化学処理でも脱脂のまゝでも差が少ないが、表面に水分や油膜があると気孔が多くなっている。また、板の表面を脱脂した後、に細毛のワイヤブラシをかけたものは気孔が多く発生したが、これはブラシがやゝ汚れていたためと思われる。

る。

2) アークの安定度（アーク電圧）と気孔

ビード溶接の場合の X 線気孔の発生におよぼすアーク電圧の影響については、まずビード溶接では前述したように X 線気孔はスタート部を除いてはほとんど発生しないで、わずかに 150A 程度の低電流でしかも過大電圧（28V）の場合にのみ見

られた程度であるが、スタート部の気孔の数で比較するとアーク電圧が 28~22V の範囲では低電圧の場合ほど気孔の発生がなかった。また Fig. 9

Fig. 8 Surface treatments vs. microscopic porosities in bead weld

Fig. 9 Current and voltage vs. microscopic porosities in bead weld

しこれらの気孔発生におよぼすアーク電圧の影響は、アーク電流が大きい場合（例えば 250A）にはそれほど顕著でない。これは高電流を用いると気孔がアーク電圧に無関係に減少する傾向があるからである。

さらに突合溶接におけるX線気孔の発生におよぼすアーク電圧の影響を Fig. 10 に示す。溶接電流 200A、溶接速度 25in/min の場合の例であるが、これによればアーク電圧の増加とともにX線孔の発生が著しく増加したが、この傾向は裏ハツリを行わないときには一層著しくなるようである。

Fig. 10 Voltage vs. X-rayed porosities in butt weld arc

上述の結果を総括すると、溶接速度が 25 ipm の場合については気孔を減少するには各電流値に対して適正な電圧範囲があり、例えば

150A では 21~22V, 200A では 22~25V, 250A では 24~28V

が適正な電圧範囲と思われる。このアーク電圧範囲は電流の増加とともに広がっているが、概して適正電圧範囲内では低電圧の方が気孔の発生が少なくなるようである。

3) 溶接入熱（溶接電流、速度）と気孔

溶接電流の増加、溶接速度の減少とともに溶接入熱は増

加して熔融金属の熔融期間が長くなりガスの放出が容易になる。また電流の増加は電流密度を増加させてイナートガスメタルアークを安定させるのでこの点からも気孔の減少に役立っている。溶接電流が気孔発生におよぼす影響はすでに Fig. 9,10 に示したように溶接ビードの途中はもちろん、アークスタート部の気孔も電流の増加とともに減少した。

加して熔融金属の熔融期間が長くなりガスの放出が容易になる。また電流の増加は電流密度を増加させてイナートガスメタルアークを安定させるのでこの点からも気孔の減少に役立っている。溶接電流が気孔発生におよぼす影響はすでに Fig. 9,10 に示したように溶接ビードの途中はもちろん、アークスタート部の気孔も電流の増加とともに減少した。

Fig. 11 Welding speed vs. microscopic porosities in bead weld

Fig. 12 Welding speed vs. X-rayed porosities in butt weld

溶接速度が気孔発生におよぼす影響は、ビード溶接の微小気孔については Fig. 11 に、また突合溶接のX線気孔については Fig. 12 に示すようである。すなわち Fig. 11 によれば溶接速度の低下とともに、たとえば 25 ipm 以下では微小気孔の数は急激に減少しており、また Fig. 12 に示すように突合溶接においてはたとえばアーク電流 200A のときは溶接速度が 15 ipm 以下になるとX線気孔は全く見られなかった。これは溶接入熱の増加による気孔の減少をよく物語っている。

4) 電極線の種類と気孔

電極線の合金成分中にマグネシウムを含まないもの、すなわち 2S や 43S ではスパッタが少なくアークが穏かであったが、マグネシウムを含む 52S, A54S, ANP および 56S ではマグネシウムの増加とともにマグネシウムの

Fig. 13 Comparison of X-rayed porosities in butt welds made with various filler wires

ウムの含有量を異にした各種の電極線による気孔の発生数を比較したもので、マグネシウムの含有量の多いものほど気孔が多くなっている。なおこの値は熔接長 250 mm 中の合計 5 個所における平均値を示す。

5) 熔接施工法 (予熱, 裏ハツリ) と気孔

突合熔接の場合の裏ハツリや予熱の効果および多層熔接の場合に前層によるビード両側の黒粉が気孔におよぼす影響を、板および電極線の表面処理法を変えた場合について実験した。まず予熱と裏ハツリの効果を Fig. 14 に示す。これによれば突合熔接の表熔接の場合にはほとんど気孔は発生しなかったが、裏熔接において急激に増加した。裏ハツリを行ったものは行わなかったものに比し気孔がやや少なくなったが、気孔を絶滅させるだけの著しい効果はなかった。裏ハツリは先の丸いバイトを用いてシェーパーで行い、のち化学的に表面を洗浄したが、その際に水分がこのハツリ溝に残留していた可能性は少ないと考えられる。しかし裏ハツリを行わない場合で

Fig. 14 Effect of chipping and preheat on X-rayed porosities in butt welds after various surface cleaning treatments

燃焼によるスパッタが多くなり、それに伴って気孔の発生が増加する傾向が認められた。

Fig. 13 は突合熔接の場合についてマグネシ

も板を 150°C 前後に予熱することは気孔の発生を著しく減少させた。また多層熔接の増合のビード両側の黒粉が次層の気孔発生を著しくすることはほとんど認められなかった。

上述の突合熔接における裏ハツリ, 予熱および熔接速度が気孔におよぼす影響を総括して Fig. 15 に示す。これによれば各熔接速度について予熱は気孔の減少に著しい効果を示しており, また図のアーク電流 200 A のときは 20 in/min 以下の熔接速度では気孔が著しく減少していることが明らかである。すなわち熔着金属をなるべく緩かに冷却させることが気孔を減少させるのに著しく効果があると考えられる。また Fig. 14, 15 は突合熔接における開先面と電極線の表面処理が気孔におよぼす影響をも示しているが、それによると板の表面のクリーニングはもちろん気孔の減

Fig. 15 Summary of effects of surface treatments, back chipping and preheat on X-rayed porosities in butt welds made with various welding speeds

少に効果があるが、電極線の表面クリーニングのほうが気孔の減少にはるかに効果的であることがわかる。

(2) 割れ試験

アルミニウム合金の消耗電極式アルゴンアーク熔接では熔接割れは比較的起り難いが、拘束の程度, 熔接条件および電極線の合金成分などにより収縮割れビード縦割れ, クレータ割れ)を起すことがあり, とくに割れを防止するためには電極線材質の適当な選定が必要である。タングステン電極を用いる非消耗式アルゴンアーク熔接の割れ試験^{13, 14)}の結果では, Al-Mg 系の熔加材を用いる場合には, マグネシウム含有量が多いほど熔接金属の割れが少ないことが確められている。しかし, マグネシウム含有量が 5.5 % を越すと応用腐食の危険があるので, 56S 程度のマグネシウム含有量の Al-Mg 合金が割れの少い熔加材として適当と考えられている。これに対して消耗式アルゴンアーク熔

接の割れ試験のデータはあまり見られないが、本実験では耐食性アルミニウム合金 ANP 材の溶接に適した電極線の種類を選定するために、52S, A54S, ANP, 56S の Al-Mg 合金電極線およびこれらと比較のために 43S の Al-Si 合金電極線を使用して、スリット型割れ試験片により割れ性々を比較した。

1) 試験方法

試験片は ANP-1/4H 材の 6mm 厚板を、また電極線としては 52S, A54S, ANP, 56S および 43S の 1/16in 径のものを使用し、Fig. 16 に示すようなスリット型試験片のスリット（I 型開先、間隙 1.5mm）の両端を約 10mm を残してビード溶接を行った。試験片寸法、溶接条件は予備試験の 1 割れの起りやすい条件を見つけて行った。なお溶接条件としては 210A, 27~28V, 25in/min. を使用した。

Fig. 16 Cracking test specimen

2) 試験結果

供試材の板厚（6mm）が薄く従って拘束度が小さいためビード割割れは起らなかったの、クレータ割れにより割れ性能を比較した。各電極線とも 2~4 回づゝ試験した。試験結果は Table 2 および Fig. 17 の棒グラフに示すように、ANP（共金）が最も割れ難く 56S, A54S, 52S, 43S 電

Table 2 Results of Cracking Tests

Filler Wire (1/16")	Length of Weld—mm	Length of Cracks mm	Cracking Percent, %	Mean Value %
43 S	102	12.5	12.5	25.4
	101	39.0	38.6	
52 S	101	18.0	17.8	16.7
	110	17.0	15.5	
A 54 S	101	16.0	15.8	16.0
	96	15.6	16.3	
A N P	95	4.0	4.2	6.6
	105	4.0	3.8	
	106	6.5	6.1	
	105	13.0	12.4	
56 S	101	15.0	15.0	11.0
	99	7.0	7.1

Fig. 17 Comparison of cracking percentages of various filler wires in consumable argon arc welding of ANP-1/4H, 6mm plate

クレータ割れの顕微鏡写真の一例を Photo. 9 に示す。本実験ではクレータを埋めるクレータフィラーを用いないでトーチの移動中にアークを瞬間的に切断する方法を用いたので、クレータは深い凹みを呈していた。この条件は溶接中に電極線の送りが不円滑でアークが切断した場合に等しい。

ANP-1/4H 6mm PLATE with 1/16in. WIRE
210A, 27V, 25ipm

Photo 8. Crater cracking with various electrode wires $\times \frac{1}{2}$

Photo. 9 Crater cracking of 52S wire $\times 2$

4 結 論

上述の Al-Mg-Mn 合金 ANP 板の消耗電極式アルゴンアーク溶接の気孔の発生と割れ試験結果を総合して次のように要約される。

1) 板および電極線の表面の水分、油脂、古い酸化膜およびその他の汚物は敏感に溶接金属内の気孔の発生に影響し、とくにX線検査に現われない微小気孔の発生が著しかった。しかし板表面の薄い酸化膜はあまり悪影響をおよぼさない。

2) 板および電極線の表面処理は化学処理を行うことが望ましく、とくに電極の表面状態は敏感に気孔発生に影響するので化学的に充分に清浄にする必要がある。

3) 溶接条件のうちアーク電流の増加または溶接速度の減少（すなわち溶接入熱の増加）とともに気孔の発生が著しく減少した。またアーク電圧は使用電流に応じて適正な範囲があり、その中でアーク電圧の低い方が気孔の減少に効果的であった。なお各電流に対する適正電圧は下記のよ

うである。

150A	200A	250A
21~22A	22~25V	24~28V

4) 電極線のマグネシウム含有量の増加とともにアークが荒れ、気孔の発生が増加した。

5) 溶接施工にあたり清浄な裏当金を使用し均一な開先間隙（1~2mm）を保つことはルートのアルゴンシールドを良くするために望ましい。

6) 突合溶接にあたり気孔の大部分は裏溶接の場合に発生しているので、表溶接は大電流、高速溶接でもよいが、裏溶接はやゝ低電流で低速溶接を行うことが気孔の防止に有効である。

7) 完全な裏ハツリを行うことは気孔の防止に有効であるが、150°C 程度の予熱は裏ハツリを行ったと同様なよい効果がある。

8) 溶接金属の割れ試験では ANP（共金）電極線が最も割れ難く、56S, A54S, 52S, 43S の順に割れやすくなっている。A54S と 52S は大差がなかった。

9) 43S 電極線は割れ感度が大きかったので、ANP 材の溶接には後に述べるように耐食性や延性に乏しい点から考えても望ましくない。

文 献

- 11) J. Kozlarski; W. J., 1953 (10), 970-986
- 12) D. C. Martin, M. I. Jacobsen, C. B. Valdrich; W. J., 1953 (4), 161s-171s
- 13) J. D. Sowd; W. J., 1952 (10), 448s-456s.
- 14) 山口, 坂本, 山本; 軽金属, 1954 (6), 79-83

サーフェイシングに関する研究（第2報）*

大 西 巖** 延 原 久 雄** 後 藤 高 明***

Some Studies on the Surfacing (Report 2)*

— Special welding method for protecting penetration —

By I. Onishi**, H. Nobuhara** and T. Goto

Abstract

When the mild steel is surfaced with high alloy steel by welding, the penetration of overlaid metal into mother metal is so deep that the overlaid metal is diluted and damaged its mechanical

* 原稿受付 昭和31年7月30日

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

*** 倉敷レーヨン株式会社 Member, Kurashiki Rayon K.K.