アルミニウム合金のミグ溶接における被包ガス (He) えの窒素添加について*

萬谷泰一郎**・野谷 秀雄**

Addition of nitrogen to shield gas (He) in MIG welding of aluminum alloys

(UDC 669.715 : 621.791.85)

MANTANI Taiichiro and NOTANI Hideo

In the previous paper it was reported that grains in bead of MIG welded aluminum alloys were refined and welding cracks were decreased by the addition of nitrogen to argon gas.

However, the welding usability was lowered by the addition of nitrogen; i. e., the stability of arc was made poor and the appearance of bead was made irregular.

In order to avoid the above defects, He-N₂ mixed gas was used for MIG welding of the specimens instead of Ar-N₂ mixed gas.

The following results were obtained.

- (1) Arc was made more stable and the appearance of bead was also made better in He-N₂ than in Ar-N₂ gas.
- (2) The depth of penetration was increased by the addition of nitrogen.
- (3) The grains in bead were refined by MIG welding in He-N₂ as well as in Ar-N₂ gas, when Al-Zn-Mg alloys containing small amounts of titanium and zirconium (which are powerful elements for grain refining) were used for the parent metal.
- (4) Welding cracks were decreased in inert gases containing nitrogen for the welding of Al-Zn-Mg alloys.

(Received Sep. 6, 1968)

1. 緒 言

今日、アルミニウム合金の MIG 溶接に使われている不活性ガスは、JIS に規定されている溶接用高純アルゴンであるが、このアルゴンに窒素ガスを添加して使用した場合、気孔、溶込み深さ、機械的性質に良い影響があるといわれている。さらに筆者らの一人が行なつた実験の結果を利用すれば¹⁾、Ti, Zrなどを含有するアルミニウム合金溶接材を MIG 溶接する場合、窒素を加えたア

ルゴンガスを使えば上記の効果の他に、溶接部の組織が微細化されるものと考えられ、この点に着目して実験を行ない、その結果をすでに報告した²⁾。また、一般に溶接部の組織微細化は溶接割れ防止に有効であるといわれており、この点についてもじやつかんの検討を加え同時に述べた。

ところが、アルゴンに窒素を添加した場合、組織の微細化が起ると同時に溶接割れも減少する傾向にあつて、一応所期の目的は達成されたものの、一方では溶接アー

Table 1 Chemical compositions of parent metals and electrode wires.

	alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Zr	Al
Parent metals	Al-Zn-Mg 1	0.092	0.15	0.030	0.31	2.30	3.91	0.003	0.007	0.20	bal.
	Al-Zn-Mg 2	0.072	0.17	0.022	0.44	1.10	4.45	0.21	0.075	0.093	bal.
	5083	0.085	0.18	0.049	0.51	4.77	0.023	0.19	0.006	—	bal.
Electrode wires	Al-Zn-Mg	0.094	0.20	0.026	0.29	2.21	4.10	0.002	0.004	0.180	bal.
	Al-Mg-Zn	0.082	0.16	0.007	0.46	3.95	1.56	0.25	0.053	—	bal.
	5183	0.088	0.17	0.023	0.70	4.49	0.030	0.20	0.009	—	bal.

* 軽金属学会第34回大会にて発表。

** 近畿車輛株式会社 (東大阪市) Kinki Sharyo, Co., Ltd. (Higashiosaka)

Table 2 Combinations of parent metals and electrode wires.

alloy	Parent metals	Electrite wires
Combination 1	Al-Zn-Mg 1	Al-Zn-Mg
" 2	Al-Zn-Mg 2	Al-Mg-Zn
" 3	5083	5183

クが不安定になり、電流、電圧を電磁オシロで測定すると、電極線が短絡しており、その部分のビード外観が悪くなり、いわゆる溶接作業性に悪影響が認められた。

本報告は、Ar-N₂ の代りに He-N₂ ガスを用いて、まったく同様の実験を行ない、ヘリウムガスへの窒素添加による、組織の微細化および溶接割れについて調査するとともに、溶接作業性について検討したものである。

2. 実験方法

2.1 試料

供試材は母材に2種のAl-Zn-Mg系合金およびAl-Mg系5083合金を、電極線にはAl-Zn-Mg, Al-Mg-Zn系合金および5183合金の3種類である。これらの化学組成をTable 1に示す。また母材と電極線の組合せをTable 2に示す。

2.2 実験方法

溶接は12×200×125mmの板に、1.6mmφの電極線を用いて、40mm間隔で1枚の板に4本のビード置き溶接を行なった。溶接条件は全自動MIG溶接で、電流260Amp, 電圧24V, 溶接速度500, 800, 1000mm/minである。

ヘリウムと窒素の流量は、ヘリウム単体の場合38l/min流し、これに窒素ガスを2.7, 5.5, 8.0 l/min加えた。

以上の条件で溶接したビードについて外観検査を行ない、この後ビードの中央部を切断して、組織を顕微鏡で観察した。なおこの試片で溶込み深さも調べた。

溶接割れの試験は、20×200×125mmの板を使って、組合せ2について、フィスコ割れ試験とすみ肉割れ試験を行なった。

なお、溶接電流、電圧および被包ガスの混合割合がAr-N₂の場合と多少異っているので、ビード外観の検査はあらためてAr-N₂ガスを使って溶接したものと比較した。

3. 実験結果

3.1 溶接作業性について

実際の溶接作業に際して、アークの安定性は作業能率に大きく影響する。このアークの安定性は溶接機の性能や溶接条件の良否などによるところが大きいものと思わ

れるが、本実験の場合は窒素ガスを添加することによってアークの発生状況が変わり、ビード外観が変化する。したがってここにいう溶接作業性は、ヘリウムに窒素ガスを添加して使用した場合のアークの安定性、つまり短絡移行やバーンバックの起る程度そしてこれにともなうビード外観の良否をとり上げて検討したものである。

Photo. 1 は組合せ1をAr-N₂混合ガスを使って溶接した場合のビード外観である。窒素を加えると、ビードのところどころが細くくびれているが、これは母材と電極線が短絡したか、もしくは短絡はしていないがかなり接近したために、アーク長が短くなり、正常なスプレー移行が行なわれていないことを示す。これに反して**Photo. 2**のHe-N₂の場合は、ヘリウム単体ではビードの波目が相当あらく、むしろ窒素を添加した場合のほうが良いようである。またアークの安定性もAr-N₂よりも良く、短絡はきわめて少なかった。したがってビード外観は写真に見るごとく良好である。**Photo. 3**は**Photo. 2**と同じHe-N₂を使った場合である。(1)は組合せ2、(2)

Photo. 1 Appearance of bead on plate weld specimens. Combination 1. Welding current 260 Amp.; Arc voltage 24 V.

- (A): Welding speed 500 mm/min.
 (B): Welding speed 800 mm/min.
 (a): Shield gas Ar 28 l/min.
 (b): Shield gas Ar 28-N₂ 2l/min.
 (c): Shield gas Ar 28-N₂ 4 l/min..
 (d): Shield gas Ar 28-N₂ 6 l/min.

Photo. 2 Appearance of bead on plate weld specimens. Combination 1. Welding speed are the same as photo. 1.

- (a): Shield gas He 38 l/min.
 (b): Shield gas He 38-N₂ 2.7 l/min.
 (c): Shield gas He 38-N₂ 5.5 l/min.
 (d): Shield gas He 38-N₂ 8.0 l/min.

Photo. 3 Appearance of bead on plate weld specimens. Shield gas are the same as Photo. 2. Welding speed 800 mm/min.

(1): Combination 2.

(2): Combination 3.

Table 3 Effects of nitrogen addition to argon and helium on bead appearance. ○ good, △ fairly good, ▲ poor, ● remarkably poor.

Shield gas (l/min)			Combination 1			Combination 2			Combination 3		
			Welding speed (mm/min)			Welding speed (mm/min)			Welding speed (mm/min)		
Ar	He	N ₂	500	800	1,000	500	800	1,000	500	800	1,000
28	-	0	○	○	○	○	○	○	○	○	○
28	-	2	△	▲	▲	▲	▲	●	▲	●	●
28	-	4	▲	▲	▲	▲	●	▲	▲	●	●
28	-	6	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	●
-	38	0	△	△	○	△	○	○	○	○	○
-	38	2.7	○	△	▲	△	○	○	▲	○	▲
-	38	5.5	○	△	△	○	○	○	△	○	△
-	38	8.0	○	○	△	▲	○	○	△	△	○

は同じく 3 である。両者ともビード外観は良好である。

これらの外観を純アルゴンで溶接した場合を基準にして、その良否を判定してまとめたものを **Table 3** に示した。この表から、Ar-N₂ の場合はほとんどが悪いか、もしくはきわめて悪いかであるのに対して、He-N₂ では 15% が悪くであつて、きわめて悪いというビードはまづたない。なお、●印で表したもののビードは短絡移行を起した部分が多いために極端に悪いものであり、溶接継手として適当でない。しかし、▲印は **Photo. 1** に見られる程度のものであつて、実際の溶接時には特に問題にならないであろう。

溶込み深さは、窒素添加によってじやつかん深くなるが、窒素添加量が多くなつてもそれに比例して増すことはない。

3.2 結晶粒について

Photo. 4 はそれぞれの組合せについて、溶着金属の粒状晶組織を示したものである。(a)-1 はヘリウム単体の場合であり、(a)-2 は窒素を加えた場合である。結晶粒は窒素の添加によって著しく微細化されている。(b) の組合せ 2 の場合も細くなつてゐることが判る。(c) の場合は、窒素を加えても結晶粒は微細になつてゐないが、これは Ti, Zr の含有量がきわめて少ないためであろう。

Photo. 5 は **Photo. 4** (a)-1, 2 と同じ試片の柱状晶組織である。やはり、粒状晶と同様窒素添加で微細化している。

3.3 溶接割れについて

アルミニウム合金の溶接割れは、溶着金属が凝固する途中において発生する高温割れが多く、本実験はこの高温割れのうち、肉眼で見えるものについて調べた。

Fig. 1 (a) は組合せ 2 について、I 型開先、間隔 2 mm、狭み板使用で行なつたフィスコ割れ試験の結果である。この図から窒素添加が割れ防止にかなりの効果を示すことが判る。すなわち、窒素無添加の時のビード割れ率(クレータ割れを除く)は、溶接速度 800mm/min で 7%, 1000mm/min で 56% であるが、窒素 5.5 l/min の添加では、それぞれ 0.6% に減少した。**Fig. 1** (b) はすみ肉割れ試験の結果である。やはり、窒素添加によつて割れは減少している。**Photo. 6** はフィスコ割れ試験片の外観の一例である。(a) は窒素を添加しない場合のものであり、3 本とも割れが発生してゐて、割れ率 100% である。

(a)-1

(a)-2

(b)-1

(b)-2

(c)-1

(c)-2

Photo. 4 Granular structure of deposited metal. (×100)

(a), (b), (c)-1: Shield gas He 38 l/min.

(a), (b), (c)-2: Shield gas He 38-N₂ 5.5 l/min.

(a)-1, 2: Combination 1.

(b)-1, 2: Combination 2.

(c)-1, 2: Combination 3.

このようなことは実験中時折起きた。(b)は窒素を添加したもので、溶接開始端からわずかに割れているビードがある。なお Fig. 1 に示す値は同一条件で5回試験した平均である。

4. 考 察

アルミニウム合金の MIG 溶接において、被包ガスに Ar-N₂ He-N₂ 混合ガスを用いた場合のアークの発生状態には両者間にじやつかんの相異が観察され、また溶接後のビード外観にも異いが認められた。これらの結果から以下にじやつかんの検討を行ないたい。

一般に、被包ガスとしてのアルゴンはアーク柱の冷却

作用が小さく、その電位傾度が小さいために、アークの発生は電極線端に集中することはない。したがって溶滴の離脱は容易であり、小粒子になりやすいといわれている³⁾⁴⁾。ところが、これに窒素ガスを加えれば、N₂→2N なる熱解離のため、アーク柱が冷却され、その断面は収縮し、アークは電極線端に集中して発生するようになるものと思われる。このようになった場合、アルゴン単体の場合から考えて、溶滴の離脱は困難となり、小粒子化し難くなるものと思われる。Photo. 7 は同一電流、電圧における、アルゴンと Ar-N₂ のアークの発生状況である。写真から推定するに、Ar-N₂ の場合のアークは母材溶融池に深くもぐつて発生しているようであり、スパッタリングも多いようである。溶接中の肉眼観察でも、溶融池が深く、ワイヤの突き出し長さが増加していた。またスパッタ粒も大粒のものが発生した。これらの原因は、アークが集中して発生したためにプラズマ気流が強く作用して溶融池が深く掘り下げられ、アーク長の自己

Photo. 5 Columnar structure of deposited metal.

(×100) Combination 1.

(a)-1: Shield gas He 38 l/min.

(a)-2: Shield gas He 38-N₂ 5.5 l/min.

(a) FISCO cracking test

Photo. 6 Appearance of FISCO cracking test specimen. Combination 2. Welding current 280 Amp.; Arc voltage 27 V.; Welding speed 1000 mm/min.

(a): Shield gas He 38 l/min.

(b): Shield gas He 38-N₂ l/min.

(b) Fillet weld cracking test

Fig. 1 Effects of nitrogen addition to helium on welding crack current 280 Amp. Voltage 27 Volt.

(a) Ar

(b) Ar-N₂**Photo. 7** Effect of shield gas on welding arc.

制御作用が働いたからであろう。また溶滴が小粒子として離脱し難く、大粒の状態で移行していることに起因しているものと考えられる。アークがこのような状態で発生していると、電極線と母材とが短絡する機会は当然多くなることが予想される。もし短絡が起これば、ピンチ作用によつて短絡は破れ、アークは再生するが、この瞬間には高温の発生にともなつて、アーク柱は膨脹し、溶融池を圧迫するといわれている⁴⁾。溶接中時々高い音を発し、この時のビードにはくびれやシワが、時には穴ができており、この瞬間に短絡、そしてアークの再生が起つたものと思われる。

一方ヘリウムに窒素を添加した場合、電位傾度から考えれば、ヘリウムは窒素よりも電位傾度が大きいので、アーク柱の冷却作用は特に大きくなることはないものと考えられ、溶滴の離脱は阻害されないものと思われる。事実ビードの波目はヘリウム単体の場合よりも細かくなつており、むしろ小粒子化が促進されている感がある。しかしながら、アークの発生状況は Ar-N₂ の場合と類似しており、多少溶融池のくぼみは浅くなつていたようであつたが、やはりヘリウム単体の時に比べればアークはもぐつて発生しており、時偶高い音を発した。ただ、その回数は Ar-N₂ に比較してかなり少なかつた。したがつて、Ar-N₂ および He-N₂ 混合ガスを用いた場合のアーク現象は電位傾度のみで単純に説明することはできず、詳細は今後の研究を待ちたい。

つぎに、窒素を添加した時の溶接部の結晶粒は **Photo.**

4 に示すごとく組合せ 1, 2 の場合は細かくなつており、また溶接割れは **Fig. 1** のように減少している。一般に、溶接部の結晶粒は細粒の方が割れ発生は少ないとされている。これは通常、細粒の方が凝固時の収縮応力が分散されやすいことおよび凝固過程において発生する柱状晶の接触が始まる温度が細粒ではより低温度側になつて、脆性範囲が狭くなることによるといわれている⁵⁾。筆者らは、液膜段階での固相の mass feeding が細粒ほど容易であり、この結果割れの形成が少なくなるものと考えている。

5. 結 言

本実験の結果を要約するとつぎのごとくである。

- 1) アークの安定性は Ar-N₂ の場合よりもかなり良好であつて、電極線と母材の短絡はまれであつた。したがつてビード外観は良好であつた。
- 2) ビードの波目はヘリウム単体の場合よりも密であつた。
- 3) 溶込み深さは、少量の窒素添加によつてじやつかん増す。そして窒素添加量が多くなつてもそれ以上比例して増すことはない。
- 4) 溶接部の組織は、Zr あるいは Ti が含有している組合せ 1, 2 の場合、窒素添加によつて著しく微細化した。
- 5) 溶接割れは、Ti, Zr を含む母材を Ti を含む電極線で溶接した組合せ 2 の場合、窒素を添加することによつてかなり減少した。

参 考 文 献

- 1) 西村, 高瀬, 萬谷, 大阪府立工業奨励館報告, **32** (1964) 23, 32 (1964) 27.
- 2) 萬谷, 野谷, 軽金属, **18** (1968) 282.
- 3) 安藤, 西口, 溶接学会誌, **36** (1967) 1218.
- 4) 安藤, 長谷川, 溶接アーク現象, (1962).
- 5) 松田, 溶接学会誌, **36** (1967) 973.