TIG 法によるアルミニウムと軟鋼の接合についての検討*

杉 山 禎 彦**

Some Experiments on Joining Aluminum to Mild Steel
by TIG Welding*

By Yoshihiko Sugiyama**

Abstract

This report deals with some experiments on TIG welding aluminum and its alloys to mild steel coated with various materials including Al, Al-Si, Al-Cu, Al-Be, Sn, Zn, Zn-Al and so on by a simple hot dipping method.

The results obtained in this study are summarized as follows.

1) Additions of Si, Be and Cu to Al inhibited the formations of an intermetallic layer between mild steel and Al-base coating, but additions of Mg and Ag did not, and in the cases of Zn and Zn-Al coatings an intermetallic layer was little observed.

2) The tensile strengths of welded joints were equal to or higher than those of aluminum parent alloys in 1100 and 3003 alloys, but lower than in 5052, 5083 and 6061 alloys.

3) As tensile testing of heat-treated welds showed reduction of strength, these joints are not applicable to high temperature services. But there is possibility for use of aluminum alloys are concerned.

4) The definite relation between coating materials and mechanical properties of welded joints was not observed as far as this study was concerned. But further study should be necessary for explaining this relation, using test panels which have high quality coating on the steel.

5) As a whole a 4043 filler rod was satisfactory comparing with a 5356 filler rod.

It has been confirmed from this study that aluminum can be joined to mild steel by TIG welding provided mild steel is suitably coated with proper materials. Mechanical properties of welded joints, however, depend mainly on the coating quality and skill for welding technique. Therefore, under the conditions of satisfactory coating quality and skillful welding technique, further study should be necessary especially regarding the relation between mechanical properties of weld and an intermetallic layer with metallurgical consideration of interfacial layers of various coating combinations.

1. は じ め に

アルミニウムの需要が増すにしたがって、アルミニウムと鋼あるいは銅などの異種金属との信頼すべき接合法を確立する必要が生じてきている。しかしアルミニウムはこれらの金属と溶融し合うと、ぜい弱な金属間化合物を形成するために、たとえば圧接やろう付けのごとく、母材を溶融せしめないで接合する方法を除いては、通常の溶接法によって直接に溶融溶接しても良好な継手が得られない。このため溶接に先立ちアルミニウムと接合する異種金属に対して、アルミニウムと溶融し合っても、悪影響を及ぼさないような材料を被覆するとき、特別な処理が必要とされる。この種の接合法はこれまでも研究されていて、Miller および Mason¹⁾ はアルミニウ

ムを被覆したステンレス鋼管とアルミニウム合金管との TIG 溶接法について報告しており、また Cook および Stavish²⁾ は銅に BAg-3 銀ろうを被覆して、銅とアルミニウムを MIG 溶接した結果を報告している。さらに最近では Andrews³⁾ は高温浸漬や電気メッキにより Sn, Al および Znなどを被覆した軟鋼とアルミニウム合金とを TIG 溶接する方法について組織的な研究を行っている。しかしながらわが国では、この種の溶接法に関する報告がなく、また被覆材そのものについても、まだ検討すべき点があるように思われるので、本実験ではアルミニウムおよびその合金と軟鋼との接合において、各種の被覆材を軟鋼側に施し、TIG にて溶接する方法を検討した。被覆の方法には高温浸漬、クラッド法、電気メッキ、溶射あるいは化学反応によるものなどの多くの方法⁴⁾があるが、本実験ではもっとも簡単にこなえらると思われる高温浸漬法によった。

* 原稿受付 昭和39年 9月29日 (溶接学会昭和39年度春季全国大会にて発表)

** 正員 住友軽金属工業KK研究部 Member, Research Department, Sumitomo Light Metal Industries Ltd.

なお本来ならば、この種の接合法をブレイズ溶接というべきであろうが、本報告では単に溶接なる言葉を用いた。

2. 供試材料および実験方法の概略

まず予備実験において、高温浸漬によって Al を被覆した市販軟鋼板と 1100 板（工業用純アルミ）とを TIG にて 4043 溶加材により突合せ溶接し、溶接部の顕微鏡観察から溶接の可能性を検討した。その結果、溶接の可能性のあることが認められたので、あらためて被覆材として Al, Al にそれぞれ Si, Mg, Cu, Ag, Be, Mg-Si を含んだ Al 基合金の他、Zn, Zn-Al および Sn を選んで、これらを高温浸漬によって軟鋼板に被覆し、適当と思われる被覆材とともにおよそその浸漬条件を選定した。そして参考のためにそれぞれの被覆と軟鋼との境界に生じた合金層のかたさ分布をマイクロビッカースによって調べた。なお被覆に際しては、浸漬前に軟鋼板の予熱などの前処理を行わず、単に軟鋼板表面の酸化皮膜をグラインダーで除去した後に、ワイヤブラシがけしたのみで、ただちに溶湯中に浸漬し、とくに酸化防止のためのフラックスを用いなかった。

つぎに各種の材料で被覆した板厚 3.2 mm の軟鋼板と 3003-H 16 合金板とを、開先形状を I 形および片面グループ（軟鋼側に 40°）の二種類に、層数を 1~2 層にそれぞれ変え、Table 1 に示した条件で 4043 溶加材により突合せ溶接した。さらに同じく板厚 3.2 mm の各種アルミニウム合金板を、被覆材を異にする軟鋼板と 4043 お

Table 1 Welding condition

Joint design	Pass no.	Weld. current, A	Argon flow, lpm	Elect. dia., mm	Filler dia., mm
Square or single bevel	1~2	180~220	8	3.2	2.4

よび 5356 溶加材により溶接した。このようにして得られた溶接パネルから引張試験片を採取して、継手の機械的性質を求め、継手の機械的性質に及ぼす被覆材、溶加材、開先および溶接層数などの影響を調べた。また一部の試料については長時間加熱による溶接部の機械的性質の変化を調べた。

その他、本溶接法をアルミニウム管と軟鋼管の突合せ溶接に適用してみた。

板材の突合せ溶接に用いた軟鋼板ならびに板あるいは管材の溶接に用いた溶加材（1260 溶加材は管材の溶接のみに使用）の化学組成を Table 2 および 3 に、また母材の機械的性質を Table 4 にそれぞれ示す。

Table 2 Chemical composition of mild steel

Chemical composition, %					
C	Si	Mn	P	S	Cr
0.03	<0.005	0.28	0.027	0.014	0.01

Table 3 Chemical compositions of filler rods

Filler rod	Chemical composition, %									
	Cu	Fe	Si	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al	
4043	0.00	0.23	5.14	0.02	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	rem.	
5356	0.00	0.21	0.15	0.03	5.06	0.01	0.15	0.16	rem.	
1260	0.00	0.17	0.07	0.002	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	rem.	

Table 4 Mechanical properties of parent metals

Parent metal	Tensile strength, kg/mm ²	Yield strength (0.2% offset), kg/mm ²	Elongation, %
Mild steel	44.7	33.4	38
Commercial Al	15.7	13.6	12
3003	18.3 14.8	17.4 12.9	8 15
5052	30.2	28.4	7
5083	44.7	40.6	7
6061	33.0	30.2	12

3. 実験結果

3.1 予備実験結果

Photo. 1 の (1) および (2) は鋼板をそれぞれ 700°C および 680°C の Al 溶湯中に、10 分間および 1 時間浸漬した場合の被覆層と鋼板の境界部の顕微鏡組織を示したものである。写真にみられるように、境界から鋼側に向かって合金層が不規則に形成されている。この合金層については種々の研究があり、たとえば Heumann⁵⁾ らは Fe₂Al₅ に近い組成を有することを示し、また Coburn⁶⁾ はこの層には約 45% の Fe が含まれ、Al-Fe の状態図によれば、Fe 33.5% および 45% のところでは、それぞれ FeAl₃ および Fe₂Al₅ が形成される筈であるが、この層は FeAl を主体に他に若干の Fe₃Al より成っているとしている。いずれにしても、この合金層が溶接によってどのように変化し、また溶接部の諸性質にいかなる影響を及ぼすかについては興味がある。同じく Photo. 1 の (3) は (2) に示した Al を被覆した鋼板を 1100 材と I 形開先で、4043 溶加材を用いて TIG 溶接した場合の、溶接金属と鋼板の境界部の顕微鏡組織である。写真によれば、被覆操作の際に形成された合金層は溶接によってほとんど成長せず、また被覆層は溶加材と融合して溶接金属を形成しており、接合状態もまず良好であると思われる。

以上の結果から、鋼側に Al 被覆を行えば、溶接ができる見通しが得られたが、Al 被覆と鋼の境界に生ずる合金層はぜい弱であり、その厚さが増すにしたがって

(1) As hot-dip coated with Al (700°C×10 min.) (2) As hot-dip coated with Al (680°C×1 hr.) (3) Weld between Al-coated steel (2) and comm. pure Al made with 4043 filler rod

Photo. 1 Photomicrographs showing possibility of welding aluminum to coated mild steel ($\times 100$) $\times 4/5$

被覆の延性が阻害されることが明らかにされており⁷⁾，したがってあまり合金層が厚い場合には，溶接継手に悪影響を及ぼすおそれがあるので，被覆材について若干検討を加えた。

3.2 被覆材について

鋼板に Al を被覆する方法あるいは被覆された鋼板の諸性質については，aluminised steel に関連して多くの研究報告があり，高温浸漬法による Al 被覆に関しても，単に Al 浴に鋼板を浸漬するのみでは，上述のように境界に大きな合金層が形成されるので，この合金層の形成を抑制するために種々の方法がとられている。これらの中には，たとえば浸漬温度や時間に関して合金層の成長を抑制するような浸漬条件をもってゆくように，条件そのものを管理する方法や，あるいは Al-Fe 間の拡散を抑制するような元素を Al に添加する方法があり，後者の場合 Si 添加がよく知られ⁸⁾，その他 Be や Ti など効果があるといわれている⁸⁾。本実験では後者の方法に着目し，また Al 以外の金属で鋼を被覆する方法も考えられるので，Al および Al 基合金の被覆の他に，Zn，Zn-5% Al および Sn の被覆を試みた。これらの材料はいずれも溶融温度が異なるため，当然浸漬条件も異なるので，適当な条件を求めるためにはかなりの実験を要するので，本実験では各被覆材について3段階程度の温度を選び，浸漬時間を適宜に変えて，主として被覆の容易さおよび各条件で顕微鏡にて測定した合金層と被覆層の厚さから，被覆材を選定するとともに，およそその実験室的な浸漬条件を求めた。このようにして得られた各種の被覆と軟鋼板との境界部の一例を Photo. 2 に，また試験片の作成に適用した浸漬条件を Table 5 にそれぞれ

Table 5 Coating condition in hot-dipping

Coating material	Temperature, °C	Time, min
99.99% Al	700~720	5
Al-4.4% Cu	700~720	5
Al-0.6% Be	720~750	5
Al-12% Si	750~780	10
Zn	480	25
Zn-5% Al	750~780	5~10 sec.

Table 6 Hardness distributions of interface region between steel and coating

Coating material	Hardness distributions (Micro-Hv)		
	Coating	Interface region	Steel
99.99% Al	33.3, 36.3, 36.5	498, 606	131, 135
Al-12% Si	74.8, 80.2, 75.7	468, 592	141, 159
Al-4.4% Cu	101, 110	707, 238	158, 156, 157
Al-2.5% Mg	67.8, 72.4, 40.5	631, 493	138, 148
Al-Ag	47.6, 42.1, 44.7	508, 753	154, 133

示す。Photo. 2 に示した試料はそれぞれ浸漬温度および時間を異にするものが含まれているので，明確な判断を与え難いが，写真からそれぞれ Si，Be および Cu を Al に加えた被覆材では，単に Al のみを被覆したもの (Photo. 1) に比べて，合金層の形成が抑制され，Al に Mg および Ag をそれぞれ添加したものは効果のないことがわかる。また Zn および Zn-5% Al を被覆した場合には，Zn 被覆ではごく薄い合金層 (鋼板を Zn 浴に高温浸漬する場合には， ζ ， δ_1 ， γ などの Fe-Zn 化合物が形成される) が認められるが，Zn-5% Al 被覆では合金層がほとんど認められない。なお Sn は実験室的な浸漬条件では，被覆がほとんど不可能であったので除外した。以上の結果から本実験における供試材の被覆には，

Photo. 2 Photomicrographs of the interface regions between mid steels and various coating materials ($\times 100$) $\times 4/5$

Al, Al-Si, Al-Be, Al-Cu, Zn および Zn-Al を用いることにした。

参考のために、軟鋼板と被覆層との境界部のかたさ分布をマイクロピカースによって測定した結果の一例を Table 6 に示す。表によれば Al-Fe 合金層は非常に少なく、そして Al に Si および Cu を添加することによって形成が抑制された合金層も、単に Al で被覆した場合に生じた合金層のかたさ分布とあまり異ならないことがわかる。

3.3 溶接結果

3.3.1 溶接施工

一般に行なわれている同種金属相互の溶接と異なっており、アルミニウムと鋼との溶接においては、鋼側が溶融しないように注意しなければならないというまでもないが、まず鋼側の被覆層をアークによって溶融はく離せしめないようにしなければならないので、溶接にはある程度の熟練が必要である。溶接は最初のアークスタートのときがもっとも重要であって、スタート時に一たん被覆層が溶融はく離すると、その後の溶接を継続することは不可能である。被覆層の溶融はく離の傾向は被覆の種類によっても異なるようで、Zn および Zn-5% Al を被覆したものは比較的溶接が容易であったが、その他ではとくに Al-Cu, Al-Be および Al-Si などを被覆したものはく離しやすいようにみられた。また溶接の容易さは開先形状によっても異なり、突合せ溶接においては、I 形よりも鋼側に開先をとったほうが溶接しやすい。

板厚 3.2 mm の軟鋼板に 40° の開先をとり、それぞれ Al および Zn を被覆した後に、6061 合金板と 4043 溶加材で突合せ溶接した場合の溶接部の外観と断面の一例を Photo. 3 に示した。

被覆層の厚さは溶接作業上からは 0.1 mm 程度は必要であると思われる。

なお Andrews³⁾ は溶接中に母材裏側の被覆層が急速に酸化し、このため溶融金属と被覆層のなじみが妨げら

れるとして、トーチ以外からも別にシールドガスによって、溶接部を保護しているが、本実験においては通常の技法で溶接を行なった。

3.3.2 溶接部の機械的性質

(1) 板材の突合せ溶接部

Table 7 は板厚 3.2 mm の 3003-H 16 (引張強さ 18.3 kg/mm²) 合金と同じく板厚 3.2 mm の被覆材料を異にする軟鋼板とを、開先形状および層数を変えて、4043 溶加材により突合せ溶接した場合の継手の機械的性質 (余盛のまま) を示したものである。溶接部の引張強さはいずれも 3003-O 材程度の値が得られたが、引張試験における切断箇所はアルミニウム側母材および溶接金属と軟鋼の境界部のいずれかであって、後者は前者に比べて伸びが少ない。すべての被覆材について開先形状および層数を共通に変えていないので、正しい評価を与え難いが、表の結果からは被覆材の種類、開先形状および溶接層数と継手の機械的性質との間にはっきりした傾向が認められない。

さらに溶接時の作業性を考慮して、鋼側に 40° の開先をとり、各種の被覆材で被覆した後に、4043 および 5356 溶加材を用いて、各種のアルミニウム合金と 1 層で突合せ溶接し、溶接部の機械的性質を調べた。その結果を Fig. 1~3 に示す。図によれば結果にバラツキがみられるが、1100 および 3003 合金のように、軟質材の引張強さが低い材料では、引張試験において母材で切断したものもみられるのに対し、5052, 5083 および 6061 合金では、母材で切断した試験片はまったくなく、全体を通じて引張強さの最高値は、Al-4.4% Cu を被覆した軟鋼板と 5083 合金を 4043 溶加材で溶接した場合の 17.0 kg/mm² であった。被覆材の種類には溶接部の機械的性質に関して明らかな差異は認められず、溶加材の種類については、全体として、5356 溶加材より 4043 溶加材による溶接部のほうが概して結果がよいようである。

試験後の引張試験片の一例を Photo. 4 に示す。

Photo. 3 Appearances of welds between 6061 alloy and Al(left)-and Zn(center)-coated mild steels, and typical cross-section of weld (right)

Table 7 Mechanical properties of welds between mild steel and 3003-H16 aluminum alloy

Specimen number	Coating material	Joint design	Pass number	Tensile strength, kg/mm ²	Yield strength, kg/mm ²	Elongation %	Location of fracture
1	Al-5% Si	Square	1	11.0	6.5	13	Parent metal
2			2	11.2	7.5	15	Parent metal
3			2	11.6	6.8	16	Parent metal
4	Al-0.6% Be	Square	1	11.5	8.0	3	Interface
5			1	13.2	8.9	11	Parent metal
6			1	11.1	6.2	12	Parent metal, bead
7			2	13.5	9.6	4	Interface
8	Al-4.4% Cu	Square	2	12.8	7.8	13	Parent metal
9			2	12.0	7.4	5	Interface
10			2	11.7	6.1	7	Parent metal
11			2	12.6	7.8	15	Parent metal
12	Zn	Single bevel (40°)	1	13.5	10.6	7	Parent metal
13			1	13.1	9.2	5	Interface
14			1	11.5	8.6	8	Parent metal
15	Zn-5% Al	Square	1	11.2	7.3	12	Parent metal
16			1	11.5	—	13	Parent metal
17			1	11.1	7.9	3	Interface
18		Single bevel (40°)	1	10.7	6.1	5	Interface
19			1	11.7	8.5	3	Interface
20			2	12.5	7.7	5	Bead, interface
21			2	13.0	7.7	12	Parent metal
22			2	12.9	7.6	11	Parent metal

Note 1) Mechanical properties were calculated on cross-sectional area of 3.2 mm thick material.

2) Filler rod : 2.4 mm dia. 4043 alloy

Fig. 1 Tensile strengths of welds (1) **Fig. 2** Tensile strengths of welds (2)

Photo. 4 Typical tensile specimens after tests (Filler rod : 4043)

Fig. 3 Tensile strengths of welds (3)

一般にこの種の異種金属の溶接継手を加熱した場合には、境界を通じて異種金属相互の拡散が促進される結果、境界部の合金層が溶接のままの状態よりさらに成長し、また鋼とアルミニウムの加熱による体積変化の相違から、溶接部の機械的性質の低下が想像される。そこで Zn 被覆を行なった軟鋼板と1100材を 4043溶加材によって溶接した継手について、試験片を 150°、250° および 350°C の温度にてそれぞれ15日間連続的に加熱して溶接部の機械的性質を調べた。なお試験には control specimen としてアルミニウム母材および溶接のままの試験片を加えた。その結果 150°C にて15日間加熱した試験片はアルミニウム側母材で切断したが、350°C で15日間加熱した試験片は溶接金属と軟鋼の境界部で切断した。継手の機械的性質に及ぼす熱処理の影響を Fig. 4 に示す。熱処理後の継手の機械的性質は被覆材の種類すなわち境界部の合金層の性質によって当然異なるので、種々の被覆材を用いた継手に対して、さらに長時間加熱サイクルを与えた実験を必要とするが、いずれにしてもこの種の継手を高温で使用するのは適当でないと思われる。

Fig. 4 Effect of heat treatment on the tensile strength of weld between comm. pure aluminum and Zn-coated steel made with 4043 filler rod

しかしアルミニウム合金自体が高温ではほとんど用いられないので、従来アルミニウムが使用されている程度の温度に対しては可能性があろう。

なお一部の突合せ継手に対して曲げ性を調べたところでは、今回の実験範囲では、余盛のついたままの試験片を曲げると、溶接部中央で曲らないで、アルミニウム側の熱影響部で曲げが生ずる試験片もあったが、概して曲げ性は良好でなかった。

(2) 管材の突合せ溶接部

Table 8 は外径 22 mm, 肉厚 2 mm の1100 (工業用純アルミ) 管と Zn を被覆した軟鋼管を、それぞれ1260 および4043溶加材で溶接した場合の継手の引張および耐圧試験の結果を示したものである。引張試験ではアルミニウム側で破断し、また耐圧試験ではアルミニウム管が変形する程度の圧力に対しても溶接部が十分耐えうると

Table 8 Mechanical properties of TIG-welded tube joints between commercial aluminum and Zn-coated mild steel made with 1260 and 4043 filler rods

(1) Tensile test

Specimen no.	Filler rod	Breaking load, kg	Tensile strength, kg/mm ²	Elongation, %	Location of fracture
A	1260	1015	8.0	27	Al-tube
B		1030	8.1	18	Al-tube
C		1070	8.5	12	Al-tube
1	4043	1030	8.1	20	Al-tube
2		1030	8.1	17	Al-tube
3		1040	8.1	22	Al-tube
Al-tube	—	1290	10.1	16	—

(2) Pressure test

Specimen no.	Filler rod	Pressure, kg/cm ²	Remarks
D	1260	120	Inflated in Al-tube
E		120	
4	4043	120	Not inflated
5		120

Photo. 5 TIG-welded tube joints between commercially pure aluminum and Zn-coated mild steel made with 1260 and 4043 filler rods after pressure and tensile tests

とがわかった。

試験後の試験片の一例を Photo. 5 に示す。

4. 結果に対する検討

以上の結果からこの種の溶接法による継手に関して幾つかの問題点があげられる。

(1) 溶接部強度のバラツキ

溶接部強度のバラツキの原因としては、先述のように溶接に際してある程度の熟練を要するので、溶接施工の不慣れによるものの他に、溶接前の軟鋼板の被覆処理があげられ、とくに後者の影響が大きいものと考えられる。今回の実験では、アルミニウムと軟鋼との溶接の可能性を検討するための前提手段として、実験室的な簡単な装置および条件で被覆を行なったわけであるが、一様

(1) (2)

Photo. 6 Photomicrographs showing the interface regions fractured under the tensile load (taken from the weld between 6061 alloy and Al-coated mild steel made with 4043 filler rod) ($\times 100$) $\times 4/5$

な溶接結果をうるためには、まず軟鋼側に健全な被覆を行なうことが何よりも大切である。しかし本実験によって、軟鋼を適当に被覆すれば、TIG 法により軟鋼とアルミニウムを接合しうることが確認できた。

(2) 合金層

継手の機械的性質は軟鋼側が十分に被覆され、かつ溶接技法も適当であるならば、溶接金属—合金層および合金層—軟鋼のそれぞれの境界あるいは合金層そのものの性質によるものと思われる。そこで引張試験における切断位置がこれらのどの部分に相当するかを顕微鏡により調べてみた。その一例を Photo. 6 に示す。写真の試料は Al で被覆した軟鋼板を6061合金と突合せ、4043溶加材で溶接したものであるが、切断は同一試料において、(1)では Al-Fe 合金層を通して、また(2)では合金層と溶接金属の境界で生じているようにみられる。いっぽう溶接継手の引張試験結果によれば、合金層の形成に影響を与える各種の被覆材を用いても、継手の引張強さにはほとんど差がないことから、引張強さは合金層そのものの成長の程度よりは、むしろ合金層と溶接金属の境界の性質に影響されているとみなされる。しかしこの点については、今回の実験結果のみからはっきりした結論は出されず、このためには軟鋼板に対して良質な被覆がなされていることを確認した上で、実験を行なう必要がある。

(3) 溶加材

一般に Al-Mg 系合金の溶接に Al-Si 系の溶加材を使用すると、溶接金属中に Mg_2Si が形成され、このために継手の延性が劣るので、本実験では 4043 および 5356 溶加材を用いてみたが、使用したアルミニウム合金母材のすべてについて、概して 4043 溶加材の

ほうがよい結果が得られた。Andrews³⁾は Al-3.5%Mg 合金と高温浸漬によりそれぞれ Sn および Zn を被覆した鋼板とを、Al-5% Si 溶加材で溶接した場合の継手の引張強さは、前者で 0.81~1.25 ton/in² (約 1.28~1.97 kg/mm²)、後者で 0.93~0.97 ton/in² (約 1.46~1.53 kg/mm²)、また高温浸漬でそれぞれ Al および Zn を被覆した鋼板と Al-3.5% Mg 合金を Al-5% Mg 溶加材で溶接した場合の継手の引張強さは、前者で 11.2~13.2 ton/in² (約 17.6~20.8 kg/mm²)、後者で 6.8~8.4 ton/in² (約 10.7~13.2 kg/mm²) と報告し、Al-5% Si 溶加材による継手の引張強さが低いのは、形成された Mg₂Si のためであるとしている。しかし本実験では Zn を被覆した軟鋼板を 4043 溶加材を用いて 5052 および 5083 合金と溶接した場合の継手の引張強さはそれぞれ 11 および 16 kg/mm² であって、いずれも 5356 溶加材による溶接部より高い値を示した。

作業性の点からは 5356 より 4043 溶加材のほうがすぐれているようにみられたので、とくに Al-Mg 系合金と軟鋼との溶接においては、溶接金属中の Mg₂Si、作業性に基づく溶接部の欠陥あるいは合金層の成長に与える溶加材の影響などと継手の機械的性質との関連において、適当な溶加材を選定する必要がある。

(4) 溶接ビードの形状

継手の強度が低い試験片は概して溶接金属と鋼板との接合面積が小さく、したがってこの種の溶接法においては、溶接金属と鋼板との接触面積を大きくするように、一般の溶接法より溶接部の表面および裏面とも余盛の幅を広く溶接するほうがよいと思われる。

(5) 溶接層数

溶接層数が 1~2 層では層数の増加による継手の機械的性質の低下が認められなかったが、さらに層数を必要とするような用途に対しては、層数が境界部の合金層に与える影響についても調べる必要がある。

5. 結 論

高温浸漬法によって各種の被覆材を軟鋼に施こした後で、TIG 法により軟鋼とアルミニウム合金を溶接する方法について検討した結果、つぎのような結論が得られた。

(1) 被覆材については Al にそれぞれ Si, Be および Cu を添加すれば、Al-Fe 金属間化合物の成長が抑制され、Mg および Ag の添加はその効果がなかった。また Zn および Zn-5% Al を被覆した場合には、ほとんど合金層が認められない。

(2) 溶接部の強度はアルミニウム側母材が 1100 および 3003 合金では、引張試験において母材で切断する程度であったが、5052, 5083 および 6061 合金では母材の強度に至らなかった。

(3) 溶接部の強度は高温での長時間加熱によって低下するので、この種の継手を高温で使用することはできないが、アルミニウムが使用されている程度の温度に対しては可能性がある。

(4) Al-Fe 金属間化合物層が溶接部の強度に影響すると思われたので、種々の被覆材を用いたが、今回の実験では被覆材の種類と継手の強度との間にはっきりした傾向が認められなかった。合金層と溶接部の機械的性質との関係については、健全な被覆を有する試料についてさらに検討が必要である。

(5) 溶加材は概して 5356 より 4043 溶加材のほうが結果がよかった。

(6) 溶接にはとくにアークスタート時に被覆を溶融はく離させないように注意する必要がある、一たん被覆が溶融はく離すると、その後の溶接の継続が不可能である。また溶融はく離の傾向は被覆の種類によっても若干異なるようである。

(7) 軟鋼板を適当に被覆すれば、TIG 法によって軟鋼とアルミニウムの接合が可能であることを確認した。しかし、溶接部の機械的性質は主として被覆の良否および溶接技法の熟練の程度によってほぼ決定されるので、これらの点に注意してさらに実験が必要である。

参 考 文 献

- 1) M.A. Miller and E.W. Mason, "Properties of Arc-Welded Joints between Aluminum and Stainless Steel", W.J., Vol. 35 (1956), No. 7, 323 s-328 s.
- 2) L.A. Cook and M.F. Stavish, "Welding Aluminum to Copper Using Inert-Gas Metal-Arc Process", Ibid., Vol. 35 (1956), No. 4, 348-355.
- 3) D.R. Andrews, "Joining Aluminium to Mild Steel by Argonarc Welding", British W.J., Vol. 9 (1962), No. 12, 650-658.
- 4) P.T. Stroup and G.A. Purdy, "Aluminum Coating of Steel-A Comparison of Various Processes", Metal Progr., Vol. 57 (1950), No. 1, 59-63, 128, 130.
- 5) T. Heumann und S. Dittich, "Über die Kinetik der Reaktion von festem und flüssigem Aluminium mit Eisen", Z. Metallk., Bd. 50 (1959), H. 10, 617-625.
- 6) K.G. Coburn, "Aluminised Steel-Its Properties and Uses", Metallurgia, Vol. 60 (1959), No. 357, 17-20.
- 7) M.L. Hughes, "Hot-Dip Aluminised Steel-Its Preparation, Properties and Uses", Sheet Metal Ind., Vol. 33 (1956), No. 346, 87-98.
- 8) D.M. Dovey and A. Waluski, "Continuous Dip Aluminising of Steel", Metallurgia, Vol. 67 (1963), No. 403, 211-217.