アルミニウムおよびその合金の硬ろう接 について (第2報)

接合部の強度ならびに顕微鏡組織

中山孝廉* 猪飼醇二**
杉本安次郎** 勝矢徹**

Brazing of aluminium and its alloys (Report-2) (UDC621.791.3)

The strength and microstructure of brazed joint

NAKAYAMA Takakado* IKAI Junji**
SUGIMOTO Yasujiro** KATSUYA Tohoru**

In applying the brazed joint of aluminium and its alloys, it is important to know the strength of the brazed joint. In the first paper we reported the result of our test of single lapped brazed joint, the test pieces of which, however, were fractured in the parent metal.

This time we made further tests with the circular sheet specimens of 2S and 3S brazed with various filler alloys, and the results are as follows:

The shearing strength obtained is 6-10 kg/mm².

The photomicrographs of the typical brazed joint shows the existence of diffusion zones between the parent metals and filler alloys.

Especially, in the binary system the diffusion zone becomes deeper with an increase in Mg content from 1% to 2.5%, the reason of which is due to the fact that the test was done under the same condition, instead of observing the rule that the higher the Mg content is, the lower the brazing temperature should be.

Thus the Aluminium alloys, containing less than 2% Mg, will be brazed without difficulty with the filler alloys, 718, 716 and 719.

(Received Oct. 15, 1956)

1. 緒 言

硬ろう接の各種の接合型式の内には、接合部の強度が二つの母材の間で溶着したろうによつて支持されているものが多い。このような溶着したろうの強度はこの部分を破壊することによつて得られ、われわれは第1報¹⁾において薄板を重ね接合して引張試験を行つたが、これらのすべては母材で切断した。このような試験方法であると引張りと同時に接合の端部に曲げが加わつて、母材の厚さを増せばこの影響が一層大きくなることになる。

硬ろう接の強度に関しては、Karl M. Weigert²⁾ は銀ろう接した円板をセン断試験して、W. J. Lewis,

P. S. Rieppel と C. P. Voldrich³⁾ はチタニウムの二面セン断試験を行つて求めている。本報は前者の円板をセン断する方法によつて各種のろうを用いろう接間隙を変えて実験を行い、又接合部の強度はろうの組織にもよるものと思われるのでこれについて述べる。

2. 硬ろう接部の強度

2.1 実験用材料

ろう接用の母材は 2S と 3S の板で、2S の厚さは 1、3 mm、3S の厚さは 1.6、5.8 mm として、その化学分析の結果を Table 1 に示す。これらの板から直径が 30 mm の円板を機械抜きして、中心に径 12.1、12.6、

* 那須アルミニウム工業(株)取締役工場長

** 同所

* Nasu Aluminium Company, Ltd. ** Ditto

Table 1 Chemical Composition of Parent Metals

Parent Metal and Thickness mm	Chemical Composition(%)				
	Cu	Si	Fe	Mn	Al
2 S { 1. 0 3. 0	0.04	0.16	0.36	0.01	Rem.
	0.04	0.16	0.34	0.03	Rem.
3 S { 1. 6 5. 0 8. 0	0.09	0.13	0.59	1.08	Rem.
	0.06	0.14	0.41	1.22	Rem.
	0.06	0.13	0.39	1.17	Rem.

13.0, 13.4 mm の穴を正確に明けた。又別に同じ板から直径が 15mm の円板を機械抜きして、後径が 12mm になるまで切削仕上したもの（中心に後の治具に適合する径 1mm の穴を明けてある）を用意した。

材質ならびに厚さが同じものについて、先の穴明け円板の内側に後の円板を同軸として組合せれば、内外の円板は 0.1, 0.3, 0.5, 0.7mm の間隙を保つて、この部分をロウ接した。ロウは Table 2 の組成の 43S, 45S, 718, 716 を使い、大きさが 1~2mm の棒状と径約 12mm のリング状のものを、ロウ接間隙に応じて適当に使い分けた。

2. 2 硬ロウ接の方法とセン断試験

先に述べた一組の円板を Fig. 1 のような簡単な治具の上に置いて、火口径 1mm のトーチを用いてロウ接を行った。接合前の脱脂、後処理などは第 1 報と同じもの

Table 2 Chemical Composition of Filler Materials

Filler material	Composition (%)	
	Cu	Si
43 S	—	5.41
45 S	—	10.3
718	—	12.3
716	4.10	9.75

Fig. 1 A simple Fixture for circler Specimen of Brazing
 ① Circler specimen ② Inner dish
 ③ Brazed joint ④ Guide pin
 ⑤ Fire brick

Fig. 2 A Sectional View of Apparatus for Determining the Shear Strength
 ① Push rod ② Circler specimen
 ③ Guiding sleeve ④ Die

で、フラックスは No. 21 である。又接合後、円板の両面のロウの盛りりと不ぞろいを平滑に切削仕上して、円板の厚さを測つてセン断試験片とした。

セン断試験は Fig. 2 の装置を用い、材料試験機上で 1 分間に 8 mm の速度で押し棒で、内側の円板が試験片から抜け落ちるまで接合部分をセン断した。セン断後の内側円板の下面は厚さが厚いもの程曲面となつて、上側の直径より下側の直径の方が 1 mm 程度大きくなつたものがあつた。又セン断した側面は充分平滑ではなかつたがセン断面に近似の面積で、試験中の最大荷重を除いてセン断力を算出した。

以上の実験結果は Fig. 3 で、セン断力是一个のロウで同じ間隙について 2 回実験した平均値である。図中には直径 30mm の母材の円板を軟質状態として、同じ装置でセン断した値も示してある。Fig. 3 において母材の 2S と 3S で、セン断力のほぼ 2 kg/mm² の差があるのは母材の強度の影響のように思われる。ロウとしては 716, 718, 45S, 43S の順で強く、セン断力とロウ接間隙の関係は明瞭ではないが、母材の厚さが厚くなるに従つて間隙の大きい方が多少強いようである。

3. 顕微鏡組織

3. 1 各種のロウによる接合部

ロウ接用の母材としては 63S (Si: 0.55%, Mg: 0.69%) の厚さ 0.8mm の 40×40mm の大きさの 2 枚を一

Table 3 Chemical Composition of Filler Materials

Filler Material	Composition (%)		
	Cu	Si	Zn
713	—	8.0	—
Al-Zn-Cu	8.5	—	14.7
719	3.76	9.65	9.6

Fig. 3 Results of Shear Test

組とした板を用い、ロウは Table 2 の組成の 43S, 45S, 718, 716 の他 Table 3 の組成の 713 と Al-Zn-Cu 合金を用いた。これらは No. 21 のフラックスと先のトーチを使って重ね接合して、接合部の中央から巾約 5 mm の検焼用試料を切り取り、フ食液としては 2% NaOH を 70°C として用いた。

Fig. 4~7 は 5~12% Si 合金のロウ接部の組織で、上下の母材の間が溶着したロウで母材の壁から晶出が起っている。Si の量が増すと当然共晶の地が大きく、これは接合部の中央に多くなっている。母材とロウの界には拡散層が存在してロウの溶着の基となつている。Fig. 8 と 9 は 716 と Al-Zn-Cu 合金の接合部の組織で、前者には Si とともに CuAl_2 が存在し、後者の初晶の間には主として CuAl_2 が存在してこれらの場合にも拡散層が母材との間に認められる。

Fig. 10~12 は 63S の 2 枚の板に 713, 718, 716 でロウ接した後、520°C の塩浴中で 20 分間保つて焼入した組織で、共晶の Si が多少丸味を帯びている。Fig. 13~15 は又別に、713, 718, 716 でロウ接したものを、先の焼入を行つた後 175°C で 8 時間焼モドシした組織で Fig. 10~12 との差は、この程度の倍率では十分明らかでない。

以上の顕微鏡組織によれば、接合部はそれぞれのロウの組成に応じて母材の間隙内で凝固した組織で、母材との間に拡散層を形成してロウの接合を強固としている。母材を熱処理すればロウもこの影響を受けることになるが、熱処理によつて母材との間に割れ目のようなものを生ずることはない。

3. 2 Al-Mg 合金の接合部

第 1 報で 52S の炉中ロウ接について述べたのであるが、Mg の量を変えた母材を用いてトーチロウ接を行つた。母材は Table 4 の化学分析の結果のもので、第 1 報と同様の引張り試験片に重ね接合した。ロウは先の Table

Table 4 Chemical Composition of Al-Mg Alloy Sheets

Filler Material	Chemical Composition						
	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Al
Al-1 % Mg	0.01	0.11	0.18	—	1.15	—	Rem.
Al-1.5% Mg	0.01	0.10	0.17	—	1.47	—	Rem.
Al-2 % Mg	0.01	0.11	0.18	—	1.94	—	Rem.
Al-2.5% Mg	0.01	0.10	0.17	—	2.60	—	Rem.
52S	0.02	0.12	0.22	0.03	2.38	0.25	Rem.

Fig. 4 Brazed with 43S
($\times 150$)

Fig. 5 Brazed with 713
($\times 150$)

Fig. 6 Brazed with 45S
($\times 150$)

Fig. 7 Brazed with 718
($\times 150$)

Fig. 8 Brazed with 716
($\times 150$)

Fig. 9 Brazed with Al-
Zn Alloy ($\times 150$)

Fig. 10 Brazed with 713
and T4 Tempered
($\times 150$)

Fig. 11 Brazed with 718
and T4 Tempered
($\times 150$)

Fig. 12 Brazed with 716
and T4 Tempered
($\times 150$)

Fig. 13 Brazed with 713
and T6 Tempered
($\times 150$)

Fig. 14 Brazed with 718
and T6 Tempered
($\times 150$)

Fig. 15 Brazed with 718
and T6 Tempered
($\times 150$)

Fig. 4~15 : Photomicrograph of Brazed Joints between 63S,
Etchant is 2 Percent NaOH at 70° C

Table 5 Tensile Tests on Brazed Joints

Parent metal and temper	Thickness mm	Filler material	Tensile strength kg/mm ²	Elongation (%)	Type of Fracture*
Al-1 % Mg-H	1.5	718	12.2	20	M, M
		716	12.4	21	M, M
		719	12.4	19	M, N
Al-1.5% Mg-H	1.5	713	13.8	24	M, M
		716	13.8	25	M, M
		719	13.9	26	M, N
Al-2 % Mg-H	1.5	718	14.8	17	N, N
		716	14.9	16	N, N
		719	15.8	21	M, N
Al-2.5% Mg-H	1.5	718	—	—	—
		716	17.4	19	N, Y
		719	17.0	16	N,

Type of Fracture

M : Fracture occurs in the parent metal
N : Fracture occurs at the edge of joint

2と3の組成の 713, 718, 716 および 719 で、719 は Brazing Alcoa Aluminium⁴⁾ によれば、溶融範囲が 716 より多少低く、516~560° C といわれている。以上の試験片は No. 21 のフラックスを用い、接合部周辺を除いた表面をアルミニウム板でおおつて、必要以上の母材の過熱を防いでロウ接した。

接合した試験片を引張つた結果が Table 5 で、Al-2 %Mg の 718 と Al-2.5%Mg の 719 の場合の他は2本の平均値である。Table 5 の強度がロウの種類によつて大差がなく、母材の Mg の量とともに増加しているが、Mg が2%を越えるとうやう接合しにくいということがいえる。この原因が母材の Mg によるものかロウ接方法によるものかを確かめるために、接合部の断面を鏡した。

Fig. 16~20 は2枚の一组の母材として、1.5%Mg, 2 %Mg, 2.5%Mg の外 52S を 716 で接合した断面で

Fig. 16 Al-1 %Mg
($\times 150$)

Fig. 17 Al-1.5%Mg
($\times 150$)

Fig. 18 Al-2 %Mg
($\times 150$)

Fig. 19 Al-2.5%Mg
($\times 150$)

Fig. 20 52S ($\times 150$)

Fig. 21 Al-1Mg($\times 500$)

Fig. 22 Al-1.5%Mg($\times 500$)

Fig. 23 Al-2 Mg($\times 500$)

Fig. 24 Al-2.5Mg($\times 500$)

Fig. 25 52S($\times 500$)

Fig. 16~25

Photo Micrograph of Brazed Joint between
Al-Mg Alloys with 716,
Etchant is 2 Percent NaOH at 70° C.

Fig. 26 Al-1 %Mg
($\times 150$)

Fig. 27 Al-1.5%Mg
($\times 150$)

Fig. 28 Al-2 %Mg
($\times 150$)

Fig. 29 Al-2.5%Mg
($\times 150$)

Fig. 26~29 : Photo Micrograph of Brazed Joint between Al-Mg Alloys with 713.

上下の母材に存在する拡散層の厚さは2%Mg以上になると異常に厚くなっている。とくに Fig. 20 の 52S では、溶着したロウの厚さ以上の拡散層が認められる。拡散層の内部を高倍率にしたものが、Fig. 21~25で、2%Mg以上になると網状の析出物のようなものが認められる。このことは1%Mg~2.5%Mgまで、一層溶融温度の高い713のロウ(577~613°C)を用いて接合した Fig. 26~29 を見れば明らかで、検鏡面は研磨したままであ

るがすでに1.5%Mgで拡散層内にもロウが存在して、2%Mg以上では母材とロウが溶融し合っている。

以上のことからMgの量が多くなってもロウ接しにくいということはないようで、先のようなロウを用いて接合するとロウ接温度範囲が狭いので、一層低温で接合しなければならない。Al-Mg系の耐食アルミニウム合金を高温度で、しかもCuを多く含んだロウで接合するということの可否は別として、以上の実験に使ったロ

(P72へ続く)

(P89より続く)

ウを用いてロウ接し易いのは Mg が 2% 以下のものである。これ以上の Mg のものに対しては低温のロウを用いれば接合し易く、又ロウ接におけるフラックスの役割りは重要で、この場合フラックスも充分低温で溶融するとともに、活性が Al-Mg 合金に適合したものでなければならない。

4. 総 括

前報に引続いてアルミニウムおよびその合金の硬ロウ接の実験を行い、接合部の強度ならびに顕微鏡組織を検討して次の結果を得た。

(1) 硬ロウ接を行つた 2S と 3S の円板試験片をセン断試験して、セン断力が $6 \sim 10 \text{ kg/mm}^2$ となつた。この値を引張りを受ける重ね接合の場合に適用して、非熱処理材は母材の厚さの 2 倍、熱処理材では 4 倍の重ね巾で接合すれば、硬ロウ接における接手効率を 100% にすることができる。

- (2) 各種のロウの接合部の顕微鏡組織から、硬ロウ接によつて溶着したロウは母材との間に拡散層を形成している。
- (3) 52S の硬ロウ接は母材の溶融温度が低く、ロウ接温度範囲が狭いから、低温のロウとフラックスを求めて行つた方がよい。

参 考 文 献

- 1) 中山、猪飼、杉本、勝矢、軽金属 19(1956) P80 ~88
- 2) Karl M. Weigert, Weld. Engr., Vol. XXXIX (1954) P44~45
- 3) W. J. Lewis, P. S. Rieppel and C. P. Voldrich, Sheet Met. Ind., Vol. 32 (1955) p. 833~848
- 4) Alcoa, Brazing Alcoa Aluminum (1955) p. 113