

# バルク金属とピン・フィン材との半溶融接合

(半溶融接合に関する研究・2)

Mashy Joining of Wire Pins or Sheet Fins with Bulk Metal

木内 学\*・柳本 潤\*・杉山 澄雄\*

Manabu KIUCHI, Jun YANAGIMOTO, Sumio SUGIYAMA

## 1. はじめに

筆者らが提案している半溶融接合法は、半溶融状態にあるバルク金属（一方の被接合材）の適度な軟らかさを利用し、これに他方の被接合材を挿入または圧入し冷却凝固させて接合する方法である<sup>1-3)</sup>。溶接・ろう付けなどと比較して、単純化されたプロセスで複雑な接合が実現できる特長がある。

本稿では、A 2011 バルク材に A 1100, C 1100, C 3604, SUS 304 などの各種金属材料を多数本（枚）接合させる問題を取り上げ、その可能性を示すとともに、A 2011 バルク金属の接合温度および保持時間などの接合条件が接合強度におよぼす影響について検討した結果を示す。

## 2. 実験条件および方法

接合金属の一方にアルミニウム合金 A 2011 バルク材（ $\phi$  32-10 mm）を、他方にアルミニウム合金 A 1100, 銅合金 C 1100, 黄銅 C 3604, ステンレス SUS 304 のピン材（ $\phi$  1.5-25 mm）ならびにフィン材（ $t$  0.2~0.3-20 mm）を用いた。

接合手順ならびに方法は、①コンテナ（筒状の鋼製容器）に A 2011 バルク材をセットし、②コンテナごと加熱する、③一方パンチには、ピン・フィン材を取り付けておく、④A 2011 バルク材が半溶融状態に達した後にパンチを降下させ、ピン材あるいはフィン材の露出部分を A 2011 バルク材に押し込み、⑤放冷凝固させる、である。

図 1 に接合実験の概略図を示し、表 1 には接合実験条件をまとめて示す。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 半溶融状態における A2011 バルク材の性状

具体的な半溶融接合実験を行う前に、A 2011 バルク材

\*東京大学生産技術研究所 第 2 部

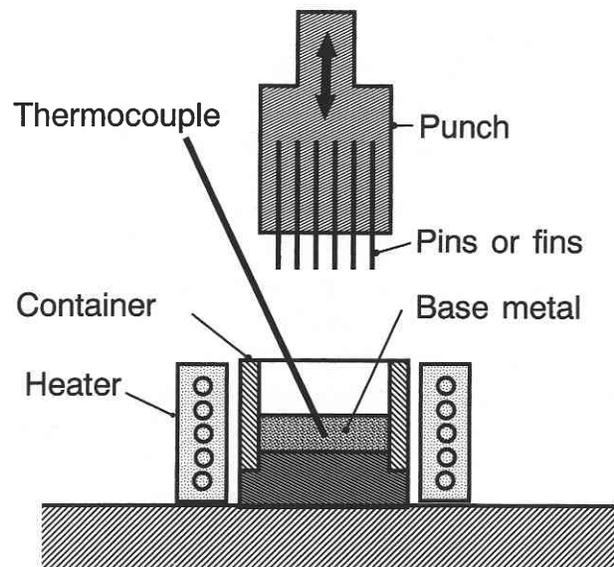


図 1 接合実験の概略図

表 1 実験条件一覧表

Bonding Material Combination	A2011/A1100 (pins, fins) A2011/C1100 (pins, fins) A2011/C3604 (pins) A2011/SUS304 (fins)
Dimension /mm	A2011: $\phi$ 32-10 pin : $\phi$ 1.5-37 fin : $t$ 0.2~0.3-22
Bonding Temp. /°C	A2011: 610-640

の半溶融温度と硬さ特性についてケガキ針を用い観察を行った結果を以下に示す。なお、A 2011 合金の半溶融温度範囲は 541°C から 645°C であることが熱分析（冷却曲線）結果からすでに判明している。すなわち、(1) A 2011 合金を加熱し 570°C から 590°C（推定固相率  $\phi$  : 94 ~ 89 %）

研 究 速 報

の範囲では、合金の表面の一部が汗をかいたような状態になる。加熱と共に徐々にその模様が粗くなり、表面全体が梨地状に変化する。この温度範囲では、ケガキ針で表面に引き掻き傷を付けることは容易にできるものの、合金内部は依然硬く、ケガキ針を突き刺すことはできない。(2) 600°C ( $\phi$ : 86%) 程度では表面の一部が水泡のようになり、610°C ( $\phi$ : 82%) 程度ではそれが全面に広がる。この状態でも合金は固体を保ち、ケガキ針を深部まで突き刺すことは難しい。(3) 620°C ( $\phi$ : 74%) 程度では砂を固めたような状態になり、合金をケガキ針で突き崩すことができる。(4) 630°C ( $\phi$ : 62%) 程度になると、水を含んだ砂のような状態になり、ケガキ針を深部まで突き刺すことが可能になる。(5) 640°C ( $\phi$ : 32%) 程度では、合金全体が粘性流体のような状態になる。A 2011 合金以外の金属(合金)材料についても、温度の絶対値はそれぞれ異なるものの、同様な半溶融状態の性質を示すと思われる。図2は、A 2011 の温度・固相率・内部組織の関係を示す。

3.2 A2011バルク金属へのピン・フィンの接合

図3(a)は、円柱状A 2011バルク材( $\phi$  32 mm)に、 $\phi$  1.5 mmのA 1100, C 1100, C 3604のピン材を31本放射状に接合させた例を示し、図3(b)には、同バルク材に、厚さ0.3 mmのA 1100, C 1100, SUS 304フィン材を3 mmピッチで接合させた例を示す。いずれも、適当なバルク材の温度条件のもとに、良好な接合製品が得られることがわ

かる。

図4(a)は、620°CのA 2011バルク材に、A 1100ピン材の接合を試みた例を示す。この場合、ピン材が根元で座屈した。同様に図4(b)は、615°Cの同バルク材にC 1100フィン材の接合を試みた例で、これについても根元で座屈してしまった。ピン材やフィン材を座屈させることなくバルク材に押し込むためには、バルク材の軟質度とピン・フィン材の材質や寸法形状によって定まる座屈強度とを十分考慮する必要がある。本実験条件範囲において、アルミニウム合金A 1100のピン・フィン材の接合では、バルク材温度を約630°C以上、銅合金C 1100, C 3604のピン・フィン材の接合では、バルク材温度を約620°C以上にする必要があった。

図5は、A 2011バルク材の各半溶融温度に対し、A 1100, C 1100, C 3604のピン材を押し込み接合させた際の接合界面近傍の内部組織を示す。バルク材温度が640°Cの場合、銅合金C 1100, C 3604のピン材では、界面反応によってピン径が細り、反応相が広範囲に形成され、また一部には空隙が発生しているなど、接合状態は良くない。一方、アルミニウム合金A 1100のピン材では、バルク材温度が640°Cであってもそのような激しい界面反応は起こらず、ピン径もほぼ初期径のままであり、良好な接合状態と判断できる。以上、図4, 図5の結果から、A 2011/A 1100の組み合わせでは630~640°C, A 2011/C 1100, A 2011/C 3604では620~630°C, A 2011/SUS 304では610

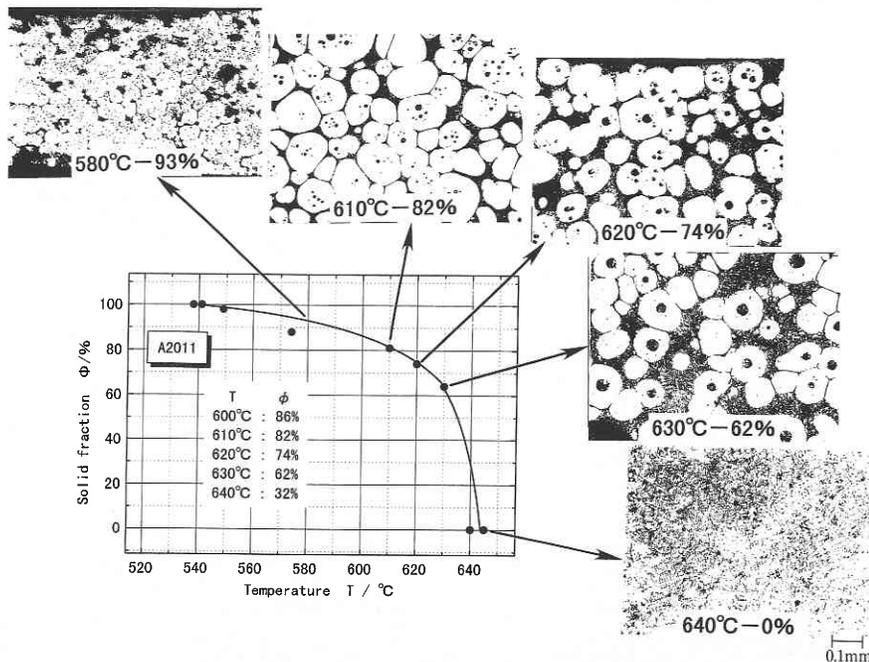


図2 A2011の温度と固相率ならびに内部組織の関係

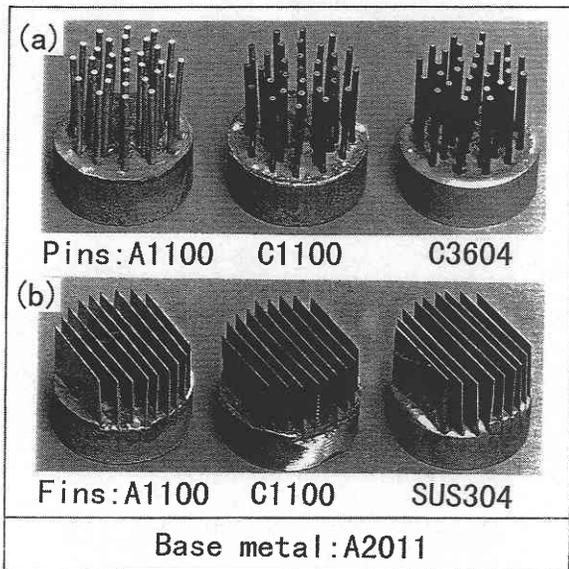


図3 ピン材、フィン材がバルク材に良好に接合された例

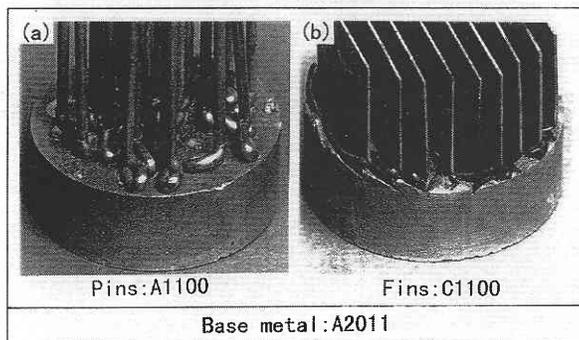


図4 ピン材、フィン材の座屈による接合不良例

～630°Cが最適な接合温度であった。

### 3.3 接合強度

A 2011 バルク材に、SUS 304 線一本を接合させた場合の接合温度と接合温度保持時間が接合強度におよぼす影響について検討した(図6 (a) (b) 参照)。なおここでは、バルク材から線材を引き抜く最大荷重を接触面積で割った値を接合強さと定義した。引き抜き速度は 15 mm/min であった。

図7は、接合強さにおよぼす接合温度の影響を示す。図から、(1) 接合温度が540°C(固相線直上の温度、固相率φが約100%)の場合の接合強さは、接合温度がそれより高い580°C(φ≒92%)、620°C(φ≒74%)の場合より50%から150%大きいこと、また、(2) 接合温度が580°C(φ≒92%)と620°C(φ≒74%)の接合強さは、接合温度に関わらずほぼ同程度であること、などがわかる。

図8は、接合強さにおよぼす接合温度保持時間の影響を

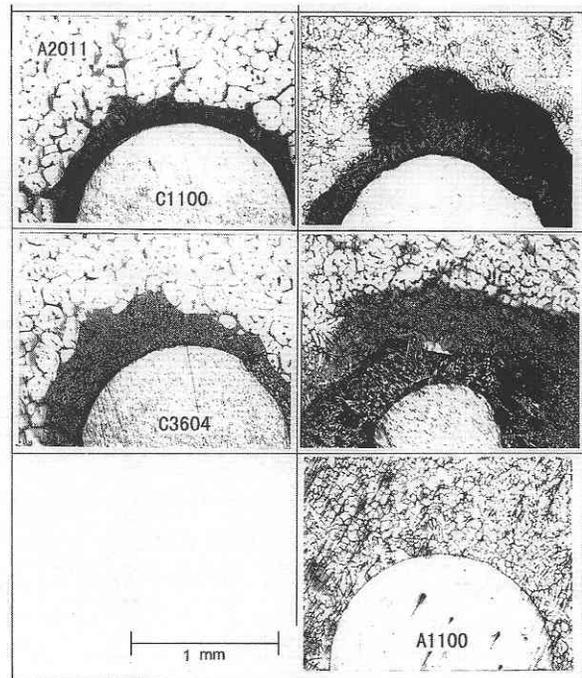


図5 A2011バルク材とC1100、C3604、A1100ピン材の接合界面近傍の内部組織

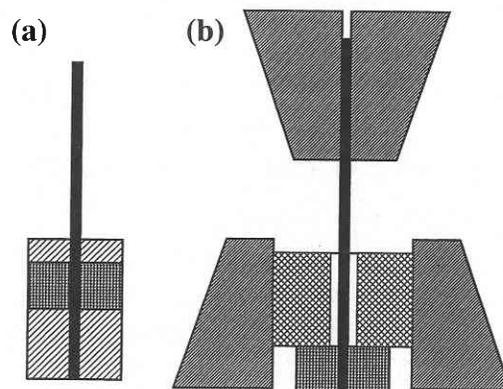


図6 接合強さ試験の方法

示す。図から、(1) 接合温度が540°C(φ≒100%)では、接合強さは温度保持時間に敏感に反応し、保持時間の経過とともに接合強度が急激に低下すること、(2) 接合温度が580°C(φ≒92%)および620°C(φ≒74%)では、保持時間の影響は少なく、保持時間に対して若干の増減はあるものにとりたてて議論するほどの傾向は見られないこと、(3) A 2011バルク材の焼鈍材のせん断降伏応力は100 MPa程度<sup>4)</sup>であるので、接合温度が540°C(φ≒100%)の場合の接合強度は母材のせん断降伏応力の概略50～30%の値となり、接合温度が580°C(φ≒92%)および620°C(φ≒74%)では、接合強度の母材強度に対する割合は概

研究速報

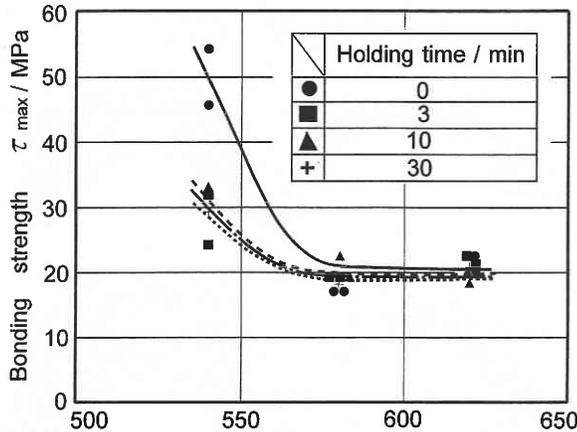


図7 接合温度が接合強さにおよぼす影響

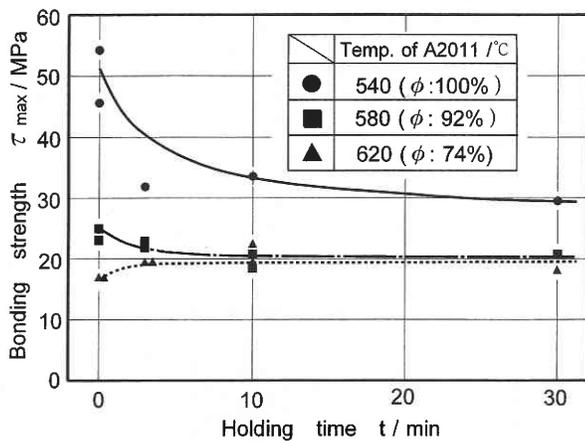
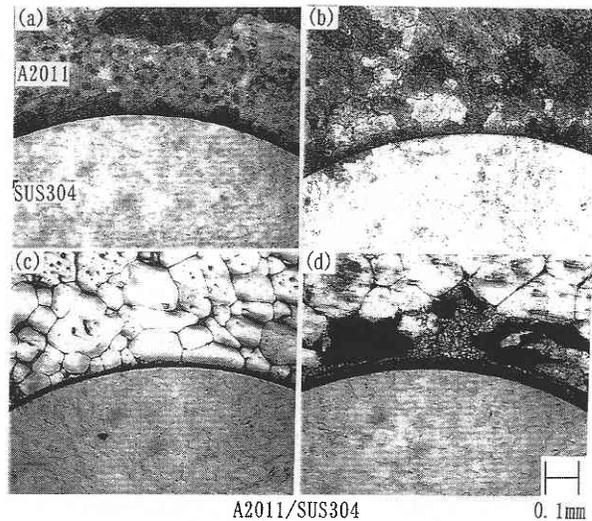


図8 保持時間が接合強さにおよぼす影響

略25~17%となること、などがわかる。

図9は、接合温度、温度保持時間が接合界面近傍の内部組織におよぼす影響を示す。接合温度が540°C (φ≒100%)では、接合温度保持時間が30分程度であっても、接合界面に明瞭な反応相(金属間化合物)の形成は見られない。接合温度が580°C (φ≒92%)、620°C (φ≒74%) (保持時間はいずれも3分間)と高くなるにしたがい、反応相が線材の全周に均一に形成され、それぞれ10 μm程度、20 μm程度の厚さとなっている。また、保持時間の増加に対しても反応相が成長していることがわかる。更に、接合温度の上昇とともにA2011バルク材の内部組織が球状化していることが観察される(図9(a)(b)(c)参照)。加えて、620°C-30 min.の場合、A2011バルク材側の接合界面近傍に空隙の発生が見られる(図9(d)参照)。この空隙の発生原因は未だ不明であるが、接合強度の低下要因となりうるので今後十分に検討する必要がある。図9と図7、図8の結果から判断し、反応相が全周に一定な厚さをもって形成された状態では、反応相の厚さが接合強度にお



A2011/SUS304  
 (a) 540°C-3min (b) 580°C-3min  
 (c) 620°C-3min (d) 620°C-30min

図9 接合温度・接合時間が接合界面近傍の内部組織におよぼす影響

よぼす影響は少ないといえる。

4. ま と め

半溶融状態(適当な軟らかさ)にあるA2011バルク材に、A1100、C1100、C3604、SUS304のピン・フィン材を押し込み、ピン・フィン材の多数本(枚)同時接合を行った。その結果、(1)押し込み時でのバルク材の硬さとピン・フィン材の座屈強度、(2)バルク材とピン・フィン材との界面反応、について考慮し、いずれも良好な接合品が得られた。

多数本(枚)のピンやフィンをバルク金属に取り付けた部品は、各種の熱交換ユニットとしての用途が考えられ、これまで casting 法、溶接法、押出し法などによって製造されてきたが、本接合法は、従来の製造法と比較して簡便かつ効率的な製法であり、このような複雑接合品製造への適用に今後の展開が期待される。

(1998年12月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内ほか：平9塑性加工春季講演会講演論文集(1997), 253-254.
- 2) 木内ほか：48回塑性加工連合講演会講演論文集(1997), 407-408.
- 3) 木内ほか：48回塑性加工連合講演会講演論文集(1997), 409-410.
- 4) アルミニウムハンドブック,(1990), 32,(社)軽金属協会.