

超塑性アルミニウム合金のSPF/RB (超塑性成形/圧着接合)

法政大学 工学部 機械工学科

教授 大澤泰明

(平成5年度研究開発助成 AF-93014)

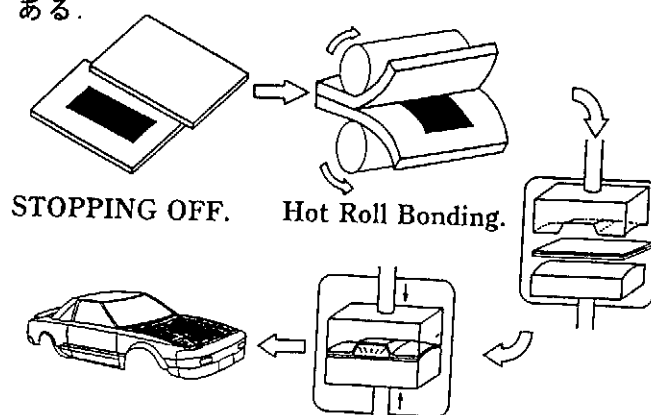
1. 研究の背景

超塑性特性を利用した成形加工の中でも超塑性成形 (SPF) と拡散接合 (DB) を同時に行う SPF/DB は、ゲートライジング法¹⁾と並んで特筆すべき優れた加工技術である¹⁾。これは、米国において超塑性合金 Ti-6Al-4V 製の航空機の中空機体構造部材などの製造に広範囲に使用されており、高剛性、高強度の機体を低コストで生産する上で、現在不可欠な製造方法となっている²⁾。一方、最近開発された超塑性 Al 合金では、高比強度、耐久性等に着目し、マリン用ボートや自動車の構造部材に応用するために、不活性なガスによるホットブロー成形が研究³⁾、または実際に行われている⁴⁾。ブロー成形後の組み立て工程では、Al 合金の表面上の酸化被膜が、固相接合に際して著しく接合性を阻害するので、Ti 合金に対する拡散接合は適用することができず、別途、接合方法を検討せざるを得ない。超塑性 Al 合金に対して拡散接合を応用するために、種々の検討がなされている⁵⁾が目立った成果が得られていないのが現状である。

しかしながら、Al 合金の大気中における拡散接合は困難であるものの、圧下率の高い圧着圧延によれば、Al 合金でも接合は十分可能であり、このことを利用して実際に、Al 合金を構成部材とする合わせ板が製造されている⁶⁾。また、冷蔵庫のエバポレータを製造する方法⁷⁾は興味深い。この方法は、強圧延で Al 合金の合わせ板を製造することから始める。圧延前に接合させたくない部分に圧着阻止剤 (STOP OFF) を塗布し、圧延後には板面内に曲がりくねった細い溝状の非接合部を残しておく。その後、常温、大気中にてその非接合部に圧縮空気をブローすることにより、冷媒の通る管路を製作する方法^{8), 9)}である。

本研究の目的は、以下の項目について実験的に検討することである。1) 超塑性板材の

ブロー成形を考え、高温に加熱されると自動的に不活性なガスを発生させるような物質 (ガス発生剤) を圧力源として実際に加工を行うこと。2) Al 合金のように拡散接合が期待できない場合には、STOP OFF とガス発生剤の役割を兼ねるような物質によって、接合は圧着圧延、その後のブロー成形は、非接合部に内包された物質と型によって行うこと。(Fig.1 にはこのような方法によって乗用車のボンネットを製造するときの工程概念図を示した。この方法を RB/SPF; Roll Bonding/Super-Plastic Forming と呼ぶことにした。) これらの意図は、次のようである。加熱された容器内の型へガスを送り込むためにはそれなりのガス導入管路や設備をあらかじめ用意しておくなければならないがこれを省略できること、昇温後のガスブローは作業者にとってかなり過酷な労働であるのでこれを簡素化、作業を優しいものにすること及び RB/SPF によれば今後需要の伸びが期待される超塑性 Al 合金の成形加工の展望が広がることなどである。本研究の成果は、超塑性板材のガスブロー成形を広範囲に拡大・展開して行く上での諸問題に対して有益な情報と知見を与えるものである。



A part of automobile's SPF by gas generating body, bonnet.

Fig.1 RB/SPF (Roll Bonding/Superplastic Forming) may be available for manufacturing a part of automobile's body structure.

2. ガス発生剤による自由バルジ試験

2. 1 供試材

超塑性 Al 合金の中でも高い強度と優れた耐食性、溶接性を持ち、今後需要の増大が見込まれる A5083(公称板厚 $t_0 = 1.5\text{mm}$) を基調とし、加えて Zn 基の超塑性材料 SPZ1、純 Al (A1050) 等の板材を用いた。

2. 2 ガス発生剤

現在、超塑性成形に適用可能と思われるガス発生剤は 10 種類ほど考えられるが、本研究では、5-フェニルテトラゾール (以下 5-P T) ¹⁰⁾、塩基性炭酸亜鉛 (以下炭酸亜鉛) 及び自動車のエアバッグ用ガス発生剤 (ADCA) の 3 種類のガス発生剤を使用した。Table 1 には、これらガス発生剤の化学的性質を示す。

Table 1 Chemical Properties of Gas Generating Source.

ガス発生剤	5-P T	ADCA	炭酸亜鉛
分解温度(°C)	240-250	195-202	230-260
発生ガス組成	N ₂	N ₂ , CO, CO ₂ , NH ₃	CO ₂ , H ₂ O
発生ガス量(ml/g)*	297	396	48

*500°Cにおける発生ガス量

2. 3 自由バルジ試験

ガス発生剤による成形性を検討するために封入する薬剤の量を変化させて、気体の膨張仕事に基づく高温自由バルジ試験を行った。成形に使用した装置を Fig.2 に示す。加熱炉には小型のブロー成型機 (商品名: サンチタンフォーマー) ¹¹⁾ を使用し、ステンレス製の型 (ダイス内径 $d = \phi 60\text{mm}$, 肩部半径 R6) を用いて成形を行った。

試験片の両面をエタノールで脱脂後、片側に離型材 (商品名: ボロンコート) を吹き付け、初期隙間をゼロとするために Fig.3 のように薬剤を挟み込み、あらかじめ約 180°C に加熱された成形ポットにセットする。520°C で 30 分間加熱保持したときの薬品の量 Mass に対する無次元成形高さ h/d (h : 成形高さ), 成形体積 V 及び無次元成形高さに対する頂点の板厚ひずみ ϵ の関係を Fig.3, Fig.4, Fig.5 に示す。

どのガス発生剤も半球近くまで成形が可能であり、封入する量を増せば、成形高さ、成形体積も増加傾向にあることがわかる。しか

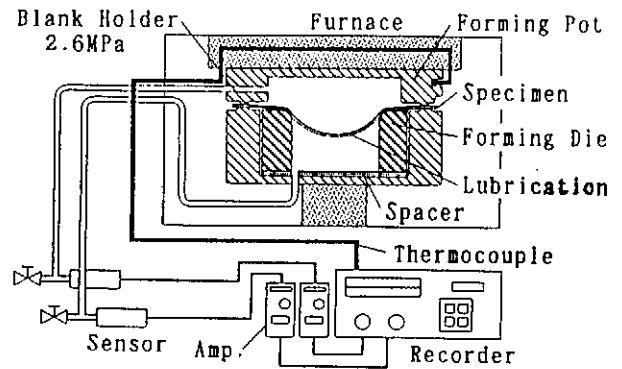


Fig.2 Assembled die set and forming pressure measuring system.

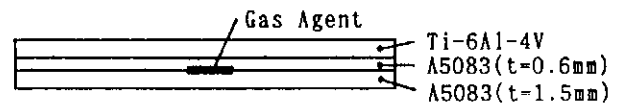


Fig.3 How to install gas agent between clearance.

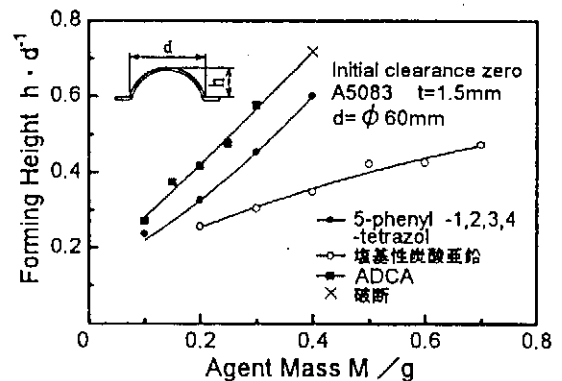


Fig.4 Forming height vs gas agent mass.

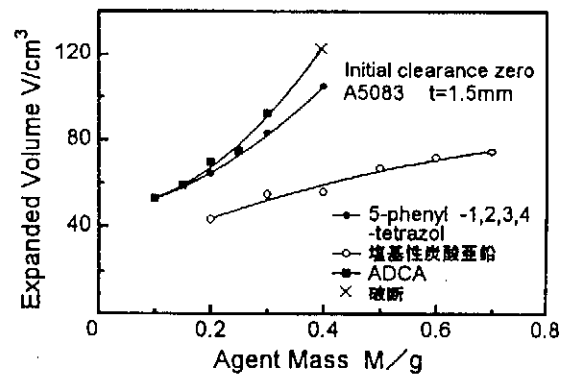


Fig.5 Expanded volume vs gas agent mass.

し、炭酸亜鉛はガス発生量が少なく、他の薬剤に比べて、本成形条件ではやや力不足である。成形高さに対して頂点ひずみはほぼ比例的に増加し、半球近くで板厚は約半分になっている。また、わずかなひずみの差は、薬剤の特性の差に基づく圧力履歴の相違から生ずるものと思われる。

2. 4 圧力測定

発生ガスの圧力履歴・挙動を調べるために Fig.2 の装置を用いて、成形圧力の測定を行った。薬剤は、5-P Tを使用し、封入する量は成型容量が大きいので、2.5g と多めにした。試験片は、これまでと同様に表面処理し、薬剤を中心部に置き成形ポットにセットする。時間に対する圧力 P、炉内温度 T の変化及び 30、40、50、60 分成形後の無次元高さの関係を Fig.7 に示す。

保持時間の増加に伴い成形高さも増加するが、成形圧力は次第に減少しほぼゼロに近づいていく。超塑性発現条件下ではこのように僅かな成形圧力でも成形が進行していくことがわかる。

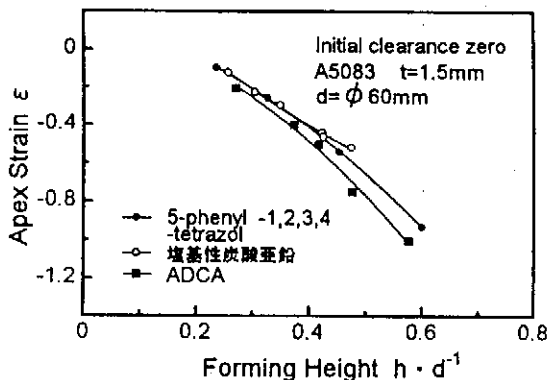


Fig.6 Apex strain vs forming height.

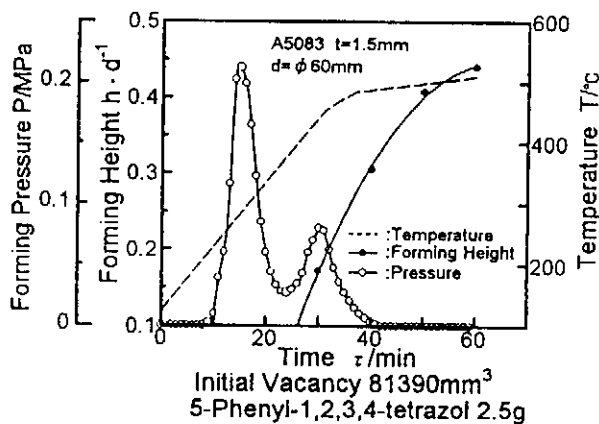


Fig.7 Forming pressure and height evolutions against time.

3. ガス発生剤によるRB/SPF

本研究で提案するRB/SPFによって後述の Fig.10 に示すような中空構造部材の製法を検討した。プロセスは次のようである。初めに超塑性の板材を構成部材とする3層構造の合わせ板を圧着圧延により製作する過程において、STOP OFFにより非接合部を板面内につけておく。その非接合部には加熱時にガスを発生する薬剤が封入されている。これを適当な大きさに切断後、所定の型内に組み込み加熱すればガスブロー成形が自動的に行われ、型内に充填後、取り出せば Fig.10 のような切断面を有する中空構造部材が得られる。

Fig.8 には、合わせ板製作のフローチャート、Fig.9 には、STOPPING OFFの詳細を示した。合わせ板はA1050-Oをスキン材、SPZ1をコア材とする3層対称構造である。当初、STOP OFFとして、BN(ボロンナイトライド)のスプレー、ガス発生剤として5-フェニル-テトラゾールの粉末を併用することを試みた。非接合部の形状を切り抜いた型紙をSPZ1の上に置く。その上から最初に5-フェニル-テトラゾールの粉末を撒き、さらにその上からBN(ボロンナイトライド)のスプレーを噴霧した。別の型紙を使用して、SPZ1のもう一方の面にも同じ処理を施す。

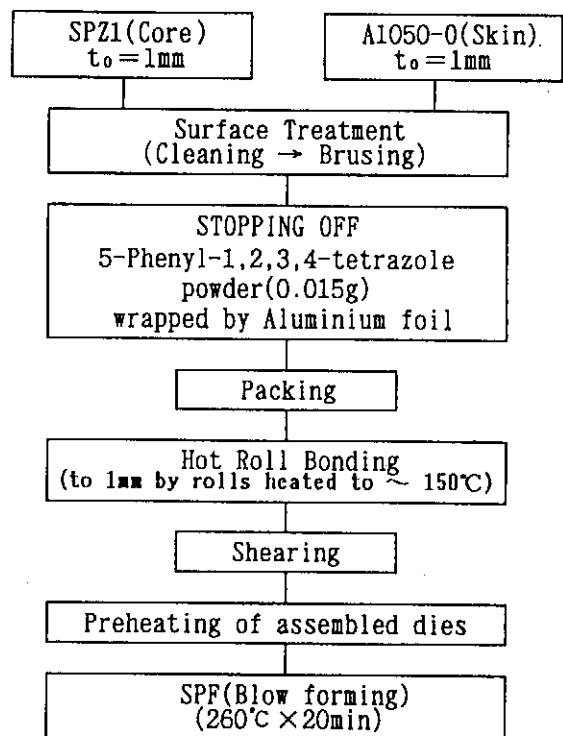


Fig.8 Flow chart for RB/SPF.

このようにして用意したコア材をスキン材と合わせ、圧延を行う。この方法では、しかしながら、何度試みても圧着圧延がうまくいかず所定の合わせ板は製作できなかった。5-フェニル-テトラゾールの粉末が、板面内に飛散し、圧着を阻害するからである。次に試みたのは、BNのスプレーは使用せず、家庭用のAl箔を利用するやり方である。Fig.9に示すように、5-フェニル-テトラゾールの粉末(0.015g)をAl箔で包んだパックを5つ用意し、これを所定の位置に挿み入れ、これをそのまま圧着圧延する。この方法で製作した板を、所定の大きさに切断し、型に挿み、加熱すること(昇温約30分、成形260°C x20min)によってできたものが、Fig.10である。この方法における問題として、断面を切断すると、使用したAl箔が細かく分断されて残っていて、外見ではわからないが、内部の内面性状を問われる時にはAl箔を何らかの方法にて除去しなくてはならないことが挙げられる。Fig.10は、コンプレッサーからの空気ブローによりAlの残骸を吹き飛ばしたものである。

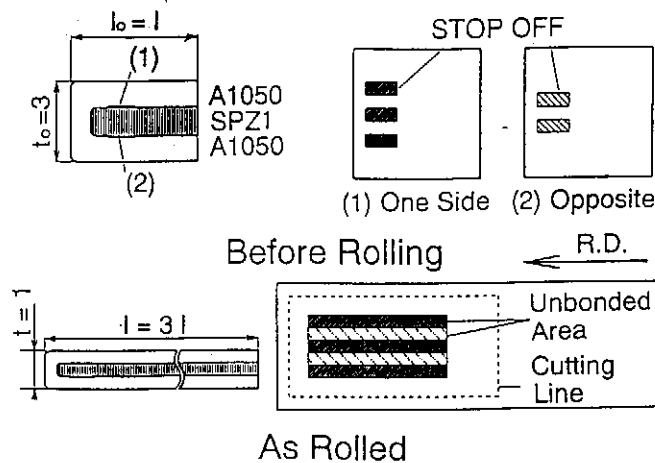


Fig.9 STOPPING OFF.

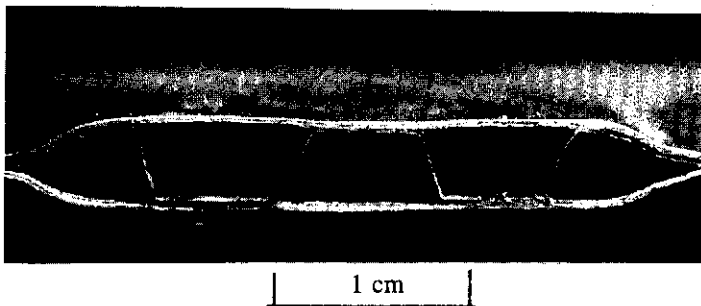


Fig.10 Sectional cut of formed hollow structure by RB/SPF.(Core:SPZ1, Cladding:1050)

4. 結言

航空機や自動車等の軽量化を目的に、Al合金の採用が期待されている。この合金の広範囲な応用を妨げている理由の1つは加工性の悪さである。超塑性の発現するAl合金に対してもTi合金におけるSPF/DBを活用したいが、この合金では拡散接合性に問題があり、DBの活用は困難である。そこで、ここに提案したようなRB/SPFのような新しい加工法の検討が必要ではないかと考える。この加工法に関する基本的なアイデアはすでに1960年の初頭に日本の特許^{8), 9)}として発表されていたが、この特許に基づく製法では大変限定されたものが製造されていたにすぎない。Al合金に対して、今後広い領域での検討が望まれる。

Al合金板のSPFでは、ポイドの発生・成長^{1,2)}に基づく成形後の製品の強度低下が問題となる。背圧成形はポイドの発生・成長を抑制する有効な手段である^{1,3)}が、そのための成形装置や型が複雑で高価になる。適当なガス発生剤を圧力源として利用する以外にも、背圧源として利用すれば、装置の簡素化が可能である。今後、この手法を応用してSPFにおけるポイドの抑制効果についても検討したい。

実験を行うにあたって快く圧延機等の実験設備をお貸しいただいた東京都立大学の西村尚教授、山本弘圀主事、実験材料を提供していただいた大塚化学(株)、スカイアルミニウム(株)、適切なお助言を賜った宮川松男先生、本学物質化学科吉田忠雄教授、また実験に協力してくれた卒業生の栗原周平君(自営)、川上克秀君(YKK)、北川孝広君(大学院)に深甚なる謝意を表す。さらに、本研究は天田金属機械技術振興財団からの援助があったことを記して謝意を表す。

参考文献

- 1) たとえば、鳥阪泰憲：素形材の高機能化をめざして、(1987), 215, 産業図書。
- 2) たとえば、Tuegel, E.G., Pruitt, M.O. & Hefli, L.D.: ADVANCED MATERIALS & PROCESSES, 7(1989), 36.
- 3) 中村博・茅沼秀高・木村静雄・小杉雅紀・松尾守・倉田正裕：87回秋軽金属講概、(1994), 319.

- 4) Superform Metals 社のパンフレット, (1994).
- 5) 広橋光治・朴允泰・浅沼博: 軽金属, 41-10(1991),87.
- 6) 大澤泰明・西村尚: 機論 A, 47-418(1981), 654.
- 7) 昭和アルミニウム社のパンフレット, (1993).
- 8) 小崎正秀・網谷俊男・柳沢勲・林功: 特公昭 34-10458.
- 9) 柳沢勲・林功・小崎正秀・網谷俊男: 特公昭 36-13615.
- 10) Collington,K.T.: 塩ビとホリマ, 19-6(1978), 20.
- 11) 大澤泰明・西村尚: 軽金属, 39-11(1989), 768.
- 12) たとえば, Pilling,J.:Superplasticity in Advanced Materials, (1991), 181.
- 13) たとえば, McAuliffe,P.S. and Chellman,D.J.: ibid, 709.