Solid-state diffusion bonding of closed-cell aluminum foams

クローズドセル型アルミニウムフォームの固相拡散接合

Akiko KITAJIMA and Jun-ichi MATSUSHITA

Department of Applied Chemistry, School of Engineering, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-1292, Japan

TEL: 81-463-58-1211 (ext.4186) FAX: 81-463-50-2012

Koichi KITAZONO, Eiichi SATO and Kazuhiko KURIBAYASHI

The Institute of Space and Astronautical Science, 3-1-1 Yoshinodai, Sagami-hara, Kanagawa, 229-8510, Japan

TEL: 81-42-759-8266 FAX: 81-42-759-8461

(Received 19, November 2001 Accepted 26, July 2002)

Solid-state diffusion bonding(DB)was demonstrated for joining closed-cell aluminum foams(ALPORAS). A superplastic 5083 aluminum alloy sheet was inserted between the foams to assist the DB process. Microscopic observation revealed that the cell wall of the foams penetrated into the 5083 alloy sheet and their interface partly disappeared. Energy dispersion X-ray spectrometer(EDS) confirmed the diffusion of magnesium element from the 5083 alloy to the aluminum foam regions. The bonding strength was evaluated by four-point bend tests. The obtained bending stress was about 50% of the original foam at room temperature and was more than 60% at 423K.The advantage of the DB process in the high temperature applications was discussed comparing with the adhesive bonding of aluminum foams.

Keywords: Aluminum foam; 5083 Al-Mg alloy; Superplasticity; Diffusion bonding; Bending test

I. INTRODUCTION

昔から断熱材や緩衝材として使用されている多孔質材料（セル構造体）は、2次元の構造を有するハニカムと3次元の構造を有するフォーム（発泡体）に大別される。これまでに煉瓦のようなセラムックスフォーム、発泡スチロールのようなポリマーフォームが存在したが、金属フォームはポリマーフォームよりも耐熱性、不燃性、加工性に優れ、塑性変形により非常に大きなエネルギーを吸収することができるため、最近注目されている。

金属フォームは、切削、曲げ、圧延といった加工性に優れているが、接合性に関しては、普通の緻密金属材料よりも劣っている。リベット接合では場所により緩む可能性があり、ろう付やはんだ付け、化学接着剤による接着はフォームの使用上限温度が制限されてしまう。フォームの最も大きな需要が、断熱材料としての使用であることからこの方法のみに頼るわけにはいかない。また、金属フォームは溶解させると体積が減少し、セル構造が失われてしまうため、溶接がほとんど不可能である。以上のような理由から金属フォームの接合には固相拡散接合が有効と考えられる。一般的な固相拡散接合の場合、界面の酸化皮膜を破壊するための塑性変形を得るために大きな圧縮応力が必要で

あるが、フォームは壊れやすいため、本研究ではインサートした微細粒超塑性材料の低応力下での大ひずみを利用することにより、できるだけセル構造を維持した金属フォームの固相拡散接合を試みた。

II. EXPERIMENTAL PROCEDURE

神鋼鋼線株式会社製のクローズドセル型アルミニウムフォーム（ALPORAS）¹（相対密度 0.11）と厚さ 1mm の超塑性 5083 アルミニウム合金圧延板²を用意した。両者の表面を鏡面研磨し、エタノール中で超音波洗浄後、Keller 試薬を用い化学研磨を行った。その後、5083Al を接合面にインサートした試験片を作製した。試験は大気中にて行われ 1 巻のコイルを用いて接合界面を局所的に誘導加熱した。このときの温度は ALPORAS が緻密化せず 5083Al が超塑性を示す 773 K~823 K に設定し、0.2MPa の外部応力を 10min 付加した。

接合試験後、接合面を光学顕微鏡と SEM を用いて観察した。また、島津製オートグラフを用いて室温、423 K でクロスヘッドスピード 0.5mm/min で 4 点曲げ試験を行い機械的特性を評価した。

III. RESULTS AND DISCUSSION

823 K、0.2 MPa、大気中で 10 min 接合試験を行った接合面の光学顕微鏡写真を Fig. 1 に示す。5083Al の超塑性変形に伴って、ALPORAS のセル壁が楔のように 5083Al に押しこまれており、楔の先端部分において両者が接合していた。

Fig. 1. Longitudinal section of bonding interface.

接合した縦断面を鏡面研磨した後、加速電圧 5 kV で ALPORAS 粒内の、SEM による EDS 分析を行った。

Figure2 に界面付近の Mg 濃度の変化を示す。5083Al の Mg 濃度は約 5.8wt% であり、界面から離れるにつれて Mg 濃度が減少して行くのがわかる。5083Al のみにしか含まれていない Mg が ALPORAS から観察された。これは ALPORAS へ Mg 原子が拡散したことを意味する。Al 中の Mg の拡散係数は 1.82×10^{-5} であり、活性化エネルギーは 131 kJ/mol である。また、平衡状態図より接合温度では液相は生じていない。

Fig. 2. Composition of Mg element measured by EDAX/EDS system.

4 点曲げ試験の結果を Fig. 3 に示す。最大荷重から曲げ強度を求めた。固相拡散接合、化学系接着剤で接合した材料は全て、接合面において破断した。423 K において、エポキシ系、ポリエチレン系接着剤を用い接着した試験片は室温と比べると曲げ強度が著しく減少している。しかし、773 K、823 K で固相拡散接合し

た材料は室温においても、423 K においてもほぼ同じ曲げ強度を保ち、室温において母材の約 50%、423 K において母材の約 60% の強度を示した。このことから本接合方法は、高温使用に適していると考えられる。

Fig. 3. Results of four-point bending tests at 298K(a) and 423K(b).

IV. CONCLUSION

超塑性 5083Al 合金をインサート材料とし ALPORAS の固相拡散接合を行った。曲げ試験の結果、固相拡散接合された材料は室温において母材の約 50%、423 K において約 60% の強度を示し、それは、一般のアルミニウム合金の大気中における接合試験結果と同程度であった。今回の接合方法は他の金属フォームやセラミックスフォームにも、応用可能であると考えられる。

REFERENCES

- ¹ T. Miyoshi and M. Ito, Metal Foams and Porous Metal Structures, (1999) 125.
- ² K. Kannan, C. H. Jonson, and C. H. Hamolton, Metallurgical and Materials Transaction 29A, (1998) 1211.

Presented at '01 SAS Intelligent Symposium