

セラミックスと金属の複合化並びにその内部欠陥に関する研究

岩手県工業技術センター 川原正弘 橘 秀一
 高橋幾久雄 桑島孝幸
 東北工業技術研究所 阿部利彦 高橋利夫
 株式会社ベン岩手工場 梶原英司

1. 経緯

ユーザーニーズの高機能化、多機能化に伴って、機器を構成する材料の特性についても、これらのことが要求されている。これを達成する手段として、それぞれ固有の優れた機能を有する材料を組み合わせる複合化が検討されている。特に、セラミックスは物理的、化学的に種々の特性を有するものの、脆性材料のため、単体では使用上の制約が多く、金属との組合せ、則ち、金属との接合技術の確立が望まれている。

従来、接合対象とされた金属はろう材の融点の関係から、高融点材料が多く、低融点のアルミニウム合金等はほとんど用いられていない。しかし、軽量、高強度等の利点に耐食、耐熱、耐摩耗等の特性を付与することのメリットは莫大である。

本研究では、アルミニウム合金の表面に溶射によって接合性を向上させる表面層を形成し接合を行った。また、接合部の評価試験として、超音波映像試験装置により内部欠陥検査を実施した。

表1 基材の機械的性質

	機械的性質
アルミニウム合金	$\sigma_b=325\text{N/mm}^2$ E=28%
アルミナ	$\sigma_b=180\text{N/mm}^2$

表2 ろう材の化学組成

	化学組成
銀ろう	Ag-28%Cu-2%Ti
カドミウム合金ろう	Cd-17%Zn-5%Ag

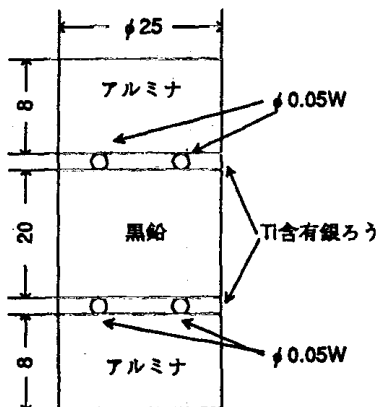


図1 アルミナのメタライジング方法

2. はじめに

本研究の供試材は、金属基材としてアルミニウム-マグネシウム系合金であるJIS-A5083Pを、セラミックス基材として耐熱、耐食、耐摩耗性の良いアルミナセラミックスを使用した。接合を行う前に予備実験としてアルミナ表面にメタライジングを行い、加熱サイクルが基材の残留応力に及ぼす影響を調べた。接合は、アルミニウム合金表面に溶射により種々の表面層を形成した後、真空加熱炉中でろう接を行った。

3. 研究の方法

3.1 供試材料

接合に用いたアルミナは直径25mm厚さ8mm、アルミニウム合金は直径15mm厚さ30mmの円柱状の試験片を用いた。ろう材はチタンを含む銀ろうとカドミウム合金ろうを用いた。基材の機械的性質及びろう材の化学組成を表1、表2に示す。

3.2 アルミナのメタライジング

銀ろうによるアルミナのメタライジング方法とメタライジングの際の加熱サイクルをそれぞれ図1、図2に示す。繰り返し加熱サイクルは0~2回の間で変化させた。

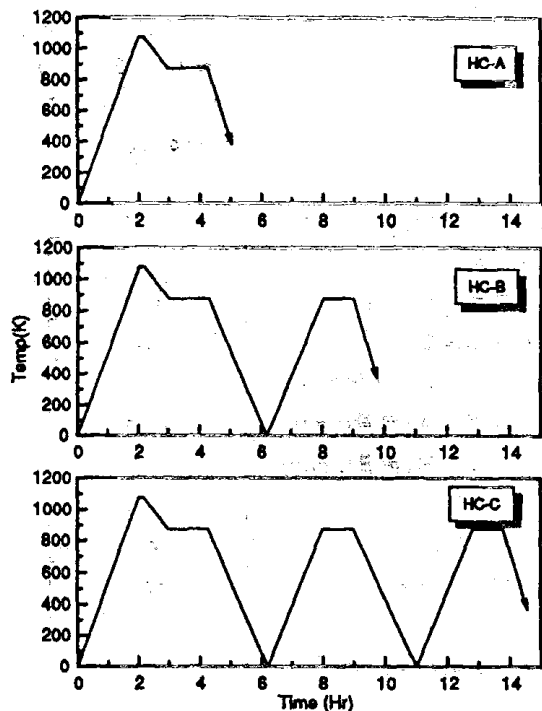


図2 メタライジングの加熱サイクル

3.3 アルミニウム合金の溶射

接合するアルミニウム合金の接合面をブラストし、その後、直ちに銅をプラズマ溶射した。溶射条件を表3に示す。溶射後、水素雰囲気、718K、1時間保持の還元熱処理を行って接合に供した。

3.4 ろう接合

接合はチタン含有銀ろうをメタライジングしたアルミナセラミックスの接合面と、銅をメタライジングしたアルミニウム合金の接合面の間にスペーサーとしてタングステンワイヤー(φ 0.05mm)を介し、カドミウム合金ろう板を挟み、黒鉛製治具で固定し接合した。用いたカドミウム合金ろうの示差走査熱量測定結果を図3に示す。この図から、このろう材は、吸熱反応のピークがいくつか存在することから複数の相からなっており、748Kでほとんどが溶融していると推定される。

ろう接合条件を図4に示す。1気圧の水素雰囲気中で、818K、15min保持した後、炉冷した。冷却過程では、473K以下では、雰囲気を真空に変化させ、拡散性水素の除去焼鈍を兼ねた加熱サイクルにより接合を行った。

4. 研究成果及び考察

4.1 アルミナ表面へのメタライジング

アルミナ表面に対してチタン含有銀ろうによりメタライジングを行って、熱処理を行いアルミナの残留応力を微小点X線解析装置により残留応力の測定を行った。この結果を図5に示す。アルミナセラミックスのチタン含有銀ろうメタライジング表面の残留応力は、すべて圧縮方向の残留応力であったが、1073Kでメタライジング後、冷却途上で、873K保持の徐冷熱サイクルが最も小さく、 $\sigma_{r,s} = 15.6\text{N/mm}^2$ 、であった。加熱サイクルをくり返すことによって残留応力は増加していることがわかる。

表3 溶射条件

溶射材料	Cu
雰囲気圧力(kPa)	101
粉末供給量(g/min)	38
キャリアガス流量(l/min)	40
一次ガス Ar 流量(l/min)	83.5
二次ガス H ₂ 流量(l/min)	8.8
作動電流(A)	500
作動電圧(V)	64
溶射距離(mm)	100
ピッチ(mm)	3
ガン移動速度(mm)	45
パス数	2

4.2 接合体の接合強度

接合部の顕微鏡組織を図6に示す。この図は母材のアルミニウム合金と、これに溶射付着した銅、及びアルミナとこれにメタライジングしたチタン含有銀ろう並びにこれらを接合したカドミウム合金ろうの金属組織を示したものである。図7はアルミニウム合金と銅の溶射界面を拡大したものである。これらの写真より、溶射銅のピーニングにより、アルミニウム合金と溶射銅が複雑に結合している状況が判る。特に、溶射銅には空孔の存在が見られず、このことはピーニングによる効果と思われる。

接合強度を調べるために、接合体をジグに固定して引張り試験により強度を測定したが、後熱しないもので $\sigma_b = 68.7\text{N/mm}^2$ 、後熱したものは $\sigma_b = 0$ であった。

4.3 接合部の内部欠陥検査

接合部の内部欠陥検査としてはX線透過試験と超音波映像探傷試験を行った。図8にX線透過試験により内部の欠陥検査を行った結果を示す。この図からX線透過試験では欠陥は認められない。図9、図10に超音波映像装置による内部検査の概略図を示す。超音波映像探傷試験はアルミニウム合金側とアルミナ側から行った。それらの結果をそれぞれ図11、図12に示す。また、それぞれの探傷において、ゲートを設定することによってある深さのみの映像を得ている。超音波映像では内部の状況がX線透過試験に比べて鮮明に得られていることがわかる。これは、両者の試験方法では、超音波映像のほうが分解能の点で優れていること

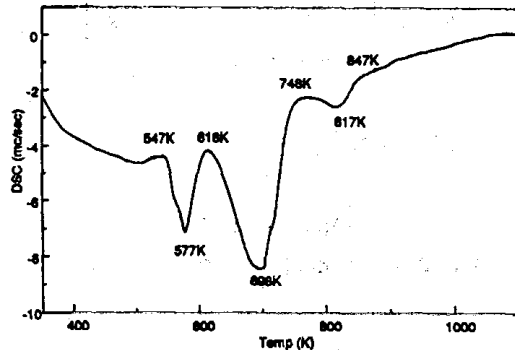


図3 カドミウム合金ろうの示差走査熱量測定結果

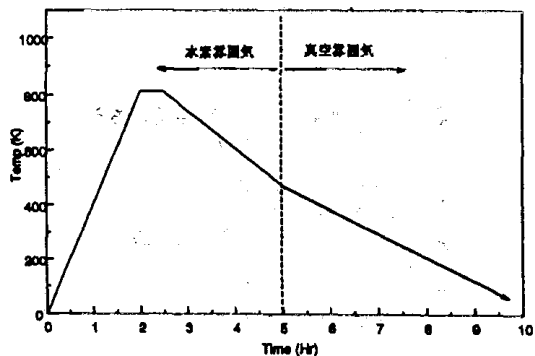


図4 ろう接合条件

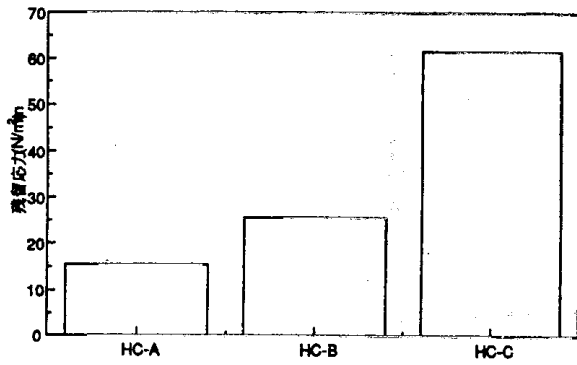


図5 残留応力測定結果

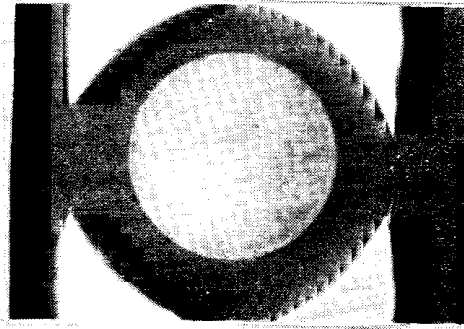


図8 X線透過試験結果

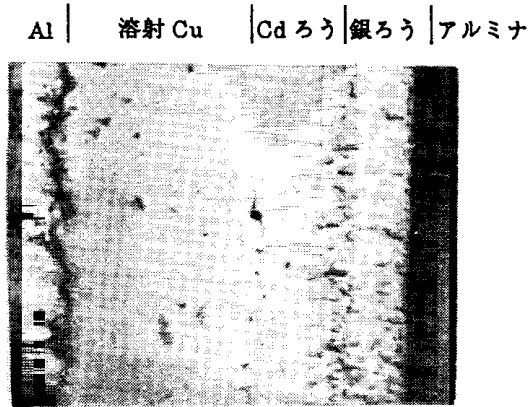


図6 接合部の顕微鏡組織



図7 アルミニウム合金と銅の溶射界面の顕微鏡組織

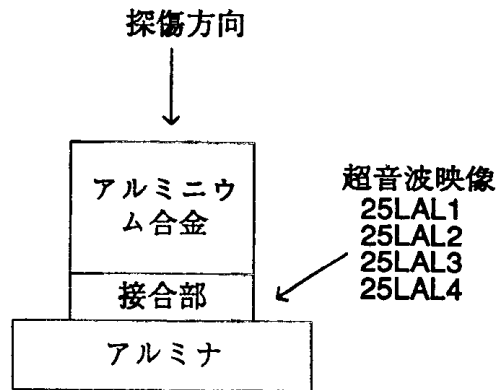


図9 超音波映像装置による内部の検査の概略図

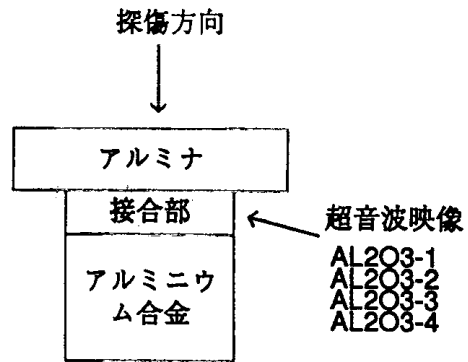


図10 超音波映像装置による内部の検査の概略図

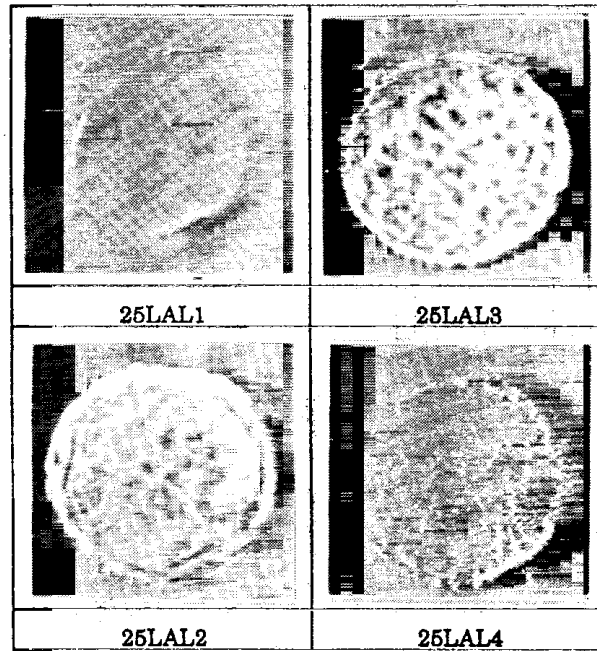


図 11 アルミニウム合金側からの超音波映像

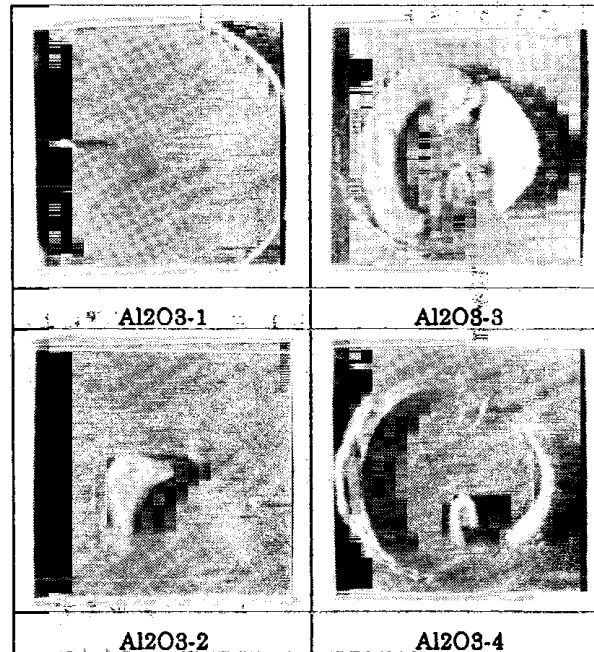


図 12 アルミナ側からの超音波映像

によるものと思われる。

超音波の探傷方向によって映像が異なっているが、電気的なゲートの設定によって深さを決めているために完全には探傷位置が一致しないこと、金属と酸化セラミックスといった材料的な物性の相違、経路の距離の相違などが影響しているためであると思われる。

超音波映像に関しては、今回の接合体では接合界面が多層にわたり、また、これらの層間に接合の際の熱処理によって反応層が形成されているために、構造が複雑になっているために、さらに検討を要するものと考えている。

5. おわりに

以上の結果をまとめると

- (1) アルミナ表面にメタライジング処理を行い、熱サイクルを繰り返しかけると、残留応力は増加する。
- (2) 超音波映像装置と X線透過試験による内部欠陥検査を比較すると超音波映像装置の方が分解能が良いために、微構造がわかる。
- (3) 超音波映像装置による内部欠陥検査では、探傷方向によって異なる映像が得られる。これは、材料の物性値等が影響しているものと思われる。