

粉末ろうを用いた アルミニウムの真空ろう付



竹本 正*

1. はじめに

アルミニウムのろう付はその強固な酸化皮膜のために従来は難しいとされてきたが近年では材料、プロセスの進歩により、Al-Si-Mg系ろうを用いると真空中での安定したろう付が可能となり、軽量かつ高伝熱特性を利用して自動車、発電設備、冷凍工業をはじめ各種用途の熱交換器類が大量生産されている。アルミニウムのろう付はろうを表面にクラッドしたブレーシングシートを用いているが、アルミニウムろう付製品の多様化に伴って複雑な曲面にもペースト化したろうを自由に設置できる粉末ろうによる真空ろう付が望まれている。腐食性の強いフラックスを使うことなく無公害で行える真空ろう付は、最近話題となっている地球環境保護の上でも大事な技術である。特に、アルミニウムのろう付技術は製品の生産量、性能、信頼性等どれをみても我が国が世界のトップを走っていることもあり世界に先駆けて粉末ろうによるアルミニウムの真空ろう付を確立すべきであろう。

粉末ろうを用いた真空ろう付はニッケル基耐熱合金、ステンレス鋼、鋼、銅合金等で実績があるが、アルミニウムではもともと置きろう方式の真空ろう付は困難であるとされており、研究例がない。最近では粉末製造法が進歩しており、アルミニウムでも種々の方法により合金粉末の製造ができるようになった。そこで種々の困難は予想されるが粉末ろうによるアルミニウムの真空ろう付法を確立することを目的として研究を開始したのでその途中経過と、明らかになった問題点を述べる。

2. アルミニウム粉末ろうのろう付性

Al-Si-Mgアトマイズ粉末を異なる噴霧条件で作成し、ろう付性に及ぼすMg, Si含有量および粒度の効果を調べた。粉末のSEM写真例を図1に示す。空气中アトマイズでは不定形粉、酸化の少ない窒素気では球形粉が得られる。予備実験により、ろう付後フィレット（接合すべき箇所のすみ肉）が十分形成されず、設置した粉末がぼろぼろとはずれる事態に直面し先行きの困難が予想された。フィレット形成に寄与

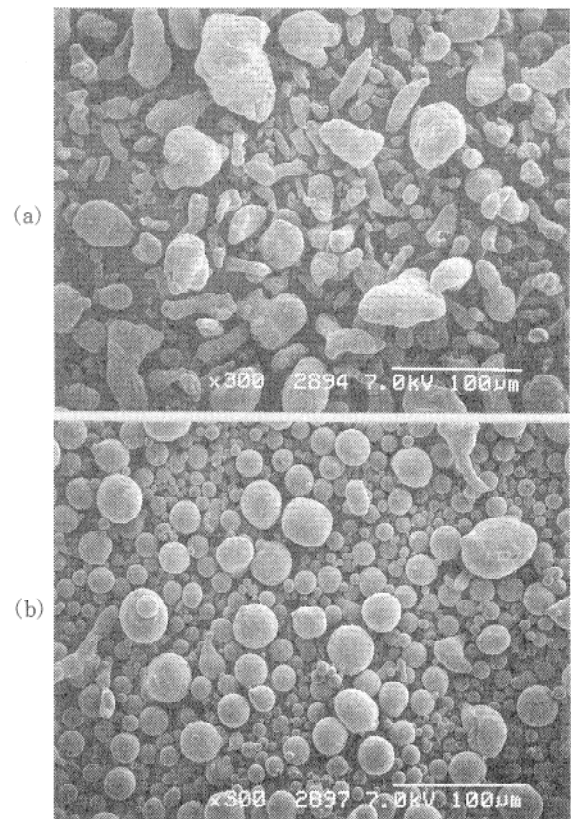


図1 アルミニウム粉末合金ろうの走査電子顕微鏡写真(SEM), (a) 空气中アトマイズ粉, -250メッシュ, (b) 窒素窒素気中アトマイズ粉, -325メッシュ

*竹本 正(Tadashi TAKEMOTO), 大阪大学溶接工学研究所, 助教授, 工学博士, 接合材料工学

した粉末の割合でろう付性を評価した結果次のことが明らかとなった。

- ① 保護雰囲気で作成した粉末よりも大気中噴霧粉末の方が良好な結果となる。
- ② 粉末粒度は細かい方がよい。
- ③ Mg含有量はできるだけ少ない方がよい。
- ④ Si含有量は通常使用される範囲(約10%)がよい。

真空ろう付用材料に必要な特性として常識的には、表面酸化皮膜の薄いもの、酸化物総量が少ないものすなわち粒度は大きいことなどがあげられる。ちなみに、粉末粒子中に酸化皮膜が占める体積率を種々の酸化皮膜厚さと粉末粒径についてプロットすると図2のようである。

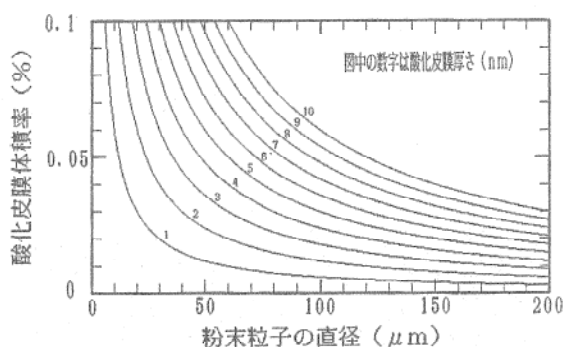
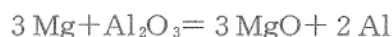
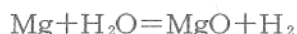
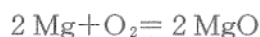


図2 粉末粒子中に酸化皮膜が占める体積率を種々の酸化皮膜厚さについて、粉末粒径の関数としてプロット

当然、細粒ほど酸化物量は多くなる。通常の4 nm程度の酸化皮膜であれば、粒径がおおよそ50 μm以下になると酸化物割合が急増することがわかる。

酸化物厚さの観点から本実験結果を説明するのは困難であり、微細粒あるいは大気中アトマイズ粉の方がろう付性のよいことを説明するためには、アルミニウム真空ろう付の特徴である、ろうに添加しているMgゲッターの挙動を十分理解しなければならない。Mg添加の効果としては、酸素と水分の除去(ゲッター作用)ならびに表面酸化皮膜アルミナの還元があげられている¹⁾。



いずれもMgOが形成される。Mgは蒸気圧が高いので真空ろう付温度(600℃付近)では蒸発し、上記反応を行い、雰囲気とろう付材料を清浄化して真空ろう付を可能とする。しかし、ろう表面から飛び出す以前に不純物と反応すると表面にMgO酸化皮膜が形成されろう付ができなくなる²⁾。

実際、ろう付後の粉末表面をEPMA観察すると、粉末同士が合体しないで元の大きさのまま残っており、それらの粉末表面にはMgOが観察された。MgOは安定な酸化物で熔融ろうとのぬれが悪く、これに包まれた粉末は内部が熔融していてもお互いにぬれず合体できない。もちろん、力を加えて表面の酸化皮膜を破ると合体して良好な結果が得られるであろうことは以前の研究結果から想像がつく^{3),4)}。しかし、圧力を加えないのがろう付法の特徴であるので材料面からの工夫によりこれを克服することを考えた。

3. 粉末のブレンド

前述のように表面にMgOが付着することがろう付性を低下させる原因であることがわかり、なおかつMg量が少ない方がろう付性がよいのであるが、Mg量を0%にするとゲッター効果がなくなりろう付できない。一番の解決法はMgを含まない粉末を用い、Mgはいわゆるゲッターとして炉内に別置きすることである。しかし、この方法はMg含有ろうが開発されるまで行われていた方法(ろう形状は線、棒、板等であり粉末ではない)で、ゲッターとして使用するMg量が多くなりMg蒸発による炉内汚染が大きく実用化は困難である。

そこで、Mgを含有しない粉末とMg含有粉末のブレンドを試みた。その結果、同一Mg量で比較するとブレンド粉末の方が良好な結果となった。ブレンド粉末としてはAl-Mg合金粉末がよく、しかもAl-40Mgが最もよかった。この組成は融点が低く、Mgの活発な蒸発が起こる以前の低温で熔融するので、ろう粉末同士を合体させるのに有効であったと考えている。

その他、ブレンドする粉末としてはCu, Ge, Bi等アルミニウムに固溶して融点を下げる元

素あるいはろう付性改善に効果のある元素およびこれらを含むアルミニウム合金が有効であった。ブレンド粉末を使用してもなお未合体の部分が生じてしまうので、これの解決が現在残された課題である。

4. 粉末焼結との類似性

アルミニウムろう粉末が真空加熱により合体するかしないかが本実験の成否を決める。粉末ろうによる真空ろう付は無加圧下の粉末焼結といえよう。アルミニウム粉の焼結には焼結助剤としてCu, Niが知られており、Cuについては効果が確認できた。Niは微量でアルミニウムと金属間化合物を作るし融点降下もないので検討していない。ろう付では加圧力がないので、一旦できた酸化皮膜を破って粉末の合体（融液の凝集）が進行するのはかなり困難といえる。

しかし、粒度が細かいとよい結果が得られるのは粉末同士の接触面積が大きくなることと関係していると思われ、粉末焼結と類似の現象が作用しているように推定し、粉末焼結の考え方を取り入れた粉末作成を試みているが現状では完全には成功していない。粉末焼結分野に詳しい先生方のアドバイスをいただければ幸である。

5. 粉末におけるMg蒸発挙動

真空ろう付の鍵を握っているのはMgの蒸発である。真空ろう付時にMgがいつどの程度蒸発するかはろう付性と密接に関係しているはずであるが詳細な研究例はまだない。そこで現在、粉末ろうにおけるMg蒸発挙動を、真空熱天秤を作成して検討している。その結果、以下のことがわかった。

- ① 通常の塊状のろうと異なり、粉末では低温から多量にMgが蒸発し始める
- ② しかし、ろうが熔融する温度領域での蒸発

率がかえって低くなる

いいかえれば粉末ではせきかく添加したゲッター材Mgを低温で無駄に消費してしまい、肝心のろう付温度で十分なゲッター効果を期待できない。粉末と塊では同一重量における表面積が大きく異なるので当然といえる。また、Mg蒸発挙動は粉末粒度や作成法にも当然依存しており、特定温度領域での蒸発速度がろう付性と関係付けられるようである。

ろう付昇温過程を含めた蒸発速度のコンピュータシミュレーションでも粉末は塊と挙動が全く異なるので、粉末からのMg蒸発挙動を塊と同じにすることは明らかに無理であろう。しかし、なんらかの工夫によって類似の蒸発挙動にすることにより未合体部の消滅ができるのではないかと考えている。

6. おわりに

粉末ろうによるアルミニウムの真空ろう付は研究にとりかかってから日が浅く、まだ完成したとはいえないが一応の成果をあげてきた。しかし、実用化に向けてクリアしなければならぬ問題は多々あるのでこれからも意欲的に取り組んでいきたい。拙稿はまさしく研究ノートを記述した感じでまとまりのないものとなったことをお詫び申し上げます。

なお、本研究は東洋アルミニウム（株）と協力して行っていることを付記する。

参考文献

- 1) J.R.Terrill 他：Weld.J., 50 (1971), 833.
- 2) T. Takemoto 他：Brazing & Soldering, No.14 (1988), 32.
- 3) 竹本 正他：軽金属溶接, 15 (1977), 320.
- 4) 竹本 正他：溶接学会誌, 47 (1978), 816.