

アルミニウム薄板の燃焼試験

Promoted Ignition-Combustion Test of Thin Aluminum Sheets

橋本 秀之* 巽 泰郎**
HASHIMOTO Hideyuki TATSUMI Yasuo

1. はじめに

空気分離装置を構成する機器、配管材料として、アルミニウムは欠かせない材料となっているが、アルミニウムは優れた性質を持つ反面、燃焼性の高い物質であり、その安全性について十分な注意を払わなければならない物質である。

米国のCGA (Compressed Gas Association) や欧州のEIGA (European Industrial Gas Association) では、空気分離装置の安全性を評価する中で、酸素雰囲気中で使用するアルミニウムの燃焼性について議論されている¹⁾。また、NASA等では、安全性の観点からアルミニウムを含む金属材料の燃焼特性を評価する燃焼試験が実施されている。

今回、空気分離装置の精留塔の規則充填物や主凝縮器などで用いられている板厚0.1~0.3mm程度の薄いアルミニウム材の燃焼性を評価するために、燃焼試験装置を製作し、アルミニウムの板厚、酸素純度を変えて燃焼試験を行った。

2. アルミニウムの着火・燃焼特性

アルミニウムは、その表面にある酸化皮膜が強固な保護膜となっており、また、高い熱伝導率により熱の分散が速いため、着火し難い金属である。しかし、着火した場合には酸素との反応熱(燃焼熱)が他の金属に比べ大きく、燃焼性が良い。そのため、一般的に酸素雰囲気中での使用に適する金属材料としては、銅やステンレスに比べ、下位に位置付けられており²⁾、使用する環境、形状等を考慮する必要がある。

3. 試験方法

3.1 試験片

今回使用したアルミニウム試験片を表1に示す。

表1 使用したアルミニウム試験片

板厚	0.1, 0.15, 0.2, 0.3mm
幅×長さ	25.4×200mm
材質	A1050またはA1050相当

3.2 試験条件

試験条件は圧力130kPa (absolute)、酸素純度99.4, 99.6, 99.99% (volume) (N₂バランス)とした。

3.3 着火方法

前述したように、アルミニウムは着火し難い金属であるため、着火時には着火剤(燃焼促進剤)を用いて大きなエネルギーを加える必要がある。

今回の試験では着火剤としてFe₂O₃+Alの混合粉末を用い、ニクロム線を用いた通電加熱を行うことで生じるテルミット反応を利用した。テルミット反応は、反応温度が高く、酸化被膜の融点(約2300K)以上まで試験片を加熱することができる。また、反応時に試験条件に悪影響を与える副生成物が発生しない等の利点がある。

3.4 試験装置

図1に試験装置の内部構造を示す。銅製の支持棒にアルミナ製のネジで試験片の上端または下端を固定し、他端には着火剤を固定する。また、溶融して落下したアルミニウムによる試験容器内壁への延焼を防ぐため、容器下部には、溶融アルミニウムの落下を受け止める銅製の容器を配置した。試験片はステンレス製の容器(内径310.5mm×高さ500mm)内に収められ、試験容器には酸素供給・排気口、真空排気口、熱電対ポート(容器内温度測定用)、着火用導線ポート、観察窓等が取り付けられている。図2に試験容器の外観写真を示す。

3.5 試験手順

試験容器内にアルミニウム試験片と着火剤を固定した後、試験容器内を真空ポンプで真空引きし、標準ガスボンベを用いて、条件とする純度の酸素ガスで充圧する作業を繰り返した。その後、ニクロム線に通電し

* オンサイト・プラント事業本部プラント事業部プラント・エンジニアリングセンター

** 開発・エンジニアリング本部山梨研究所安全・物性研究室

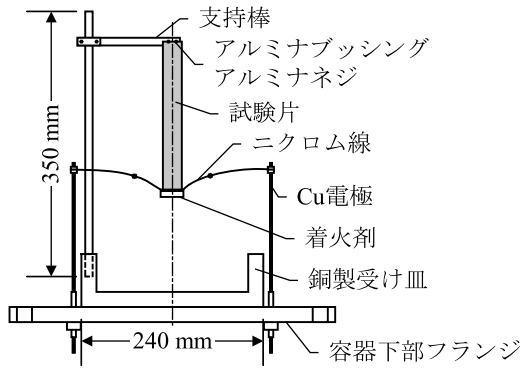


図1 試験容器内部構造



図2 試験容器外観写真

て、着火剤および試験片を着火する。

4. 試験結果

4.1 アルミニウムの着火・燃焼（観察結果）

ニクロム線による通電加熱を開始すると、着火剤のテルミット反応が起り、アルミニウム試験片に着火する。アルミニウムは烈しい閃光を放出して瞬時に燃焼する。

また、燃焼時に溶融して落下した試験片は、乳白色に変色し、アルミニウムと酸素が結合して酸化アルミニウム（アルミナ）が生成されたことを示した。

4.2 燃焼方向の影響

酸素純度99.99%、試験片板厚0.1、0.2mmの試験片を用い、着火剤を試験片の上端または下端に固定して、両条件での結果の比較を行った。

試験片下端から着火した場合、燃焼が上方に伝播するが、全てのケース（試験回数6回）において試験片の途中で燃焼の伝播は止まった。最大で74mm燃焼が伝播したが、多くは45mm未満であった。一方、試験片上端を着火した場合、燃焼が下方に伝播し、試験片の全長（200mm）に渡って燃焼した（試験回数2回）。

燃焼方向に下向きへの燃焼伝播の場合、溶融したアルミニウムが未燃部のアルミニウムに熱を伝えるために燃焼の持続が容易になると考えられる。

4.3 酸素純度および板厚の影響

酸素純度および板厚の影響を評価するために、酸素純度99.4～99.99%、板厚0.1～0.3mmで試験を行った。この試験では、試験片の上端を着火した。

試験結果を図3に示す。各々の試験条件で、試験片が全て燃焼した場合と、燃焼の伝播が起らなかった場合とをプロットした。試験回数が少なく断定はできないが、酸素純度および板厚によって、燃焼伝播の起こる領域と起こらない領域とに分かれ、酸素純度が高く、板厚が薄いほど燃焼し易い傾向が見られた。

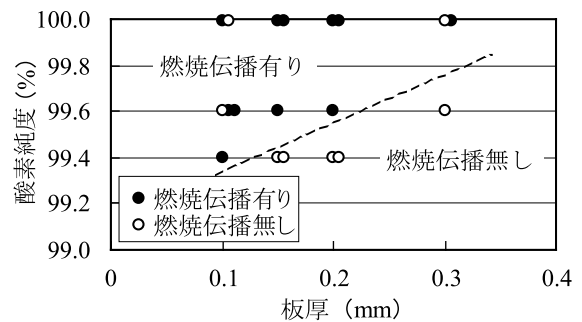


図3 試験結果

5. まとめ

試験結果から、低圧（130kPa (absolute)）の条件では、アルミニウムの上向きの燃焼伝播は持続し難いが、下向きの場合には容易に燃焼伝播する。また、下向きの燃焼伝播の試験では、酸素純度が高く、板厚が薄いほど燃焼し易い傾向が見られた。

したがって、空気分離装置において、比較的酸素純度が高い（>99.6% (volume)）低圧精留塔下部付近の規則充填物や主凝縮で使用される薄いアルミニウム材は、十分な着火エネルギー（着火源）が存在すれば、燃焼伝播が生じる可能性があることが分かる。

ただし、十分な着火エネルギーが存在しなければ、アルミニウムの着火・燃焼は起こることはない。アルミニウムの着火エネルギー源となり得る物質として、原料の空気中に含まれる炭化水素や、装置の製造過程の残留油分あるいは建設時に混入する異物等が挙げられる。これらの物質を取り除くことが、空気分離装置の安全を確保する上で重要である。

参考文献

- 1) CGA. Safe Use of Aluminum Structured Packing for Oxygen Distillation. Chantilly, VA, CGA, 2005, CGA G-4.8. 12p.
- 2) ASTM. Safe Use of Oxygen and Oxygen Systems. Harold, D. B. et al. ed. West Conshohocken, PA, ASTM, 2000, 8-13.