

ガスガンを用いたAl衝突接合材のせん断による密着力測定方法

松原, 監壮

<https://doi.org/10.15017/4744042>

出版情報：応用力學研究所所報. 82, pp.227-234, 1997-11. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：



ガスガンを用いた Al 衝突接合材のせん断による 密着力測定方法

松 原 監 壮*

概 要

コーティング材やクラッド材の接合界面の構造解析では、密着力を正確に測定することが重要となる。研究機関で常用されている評価試験は、試験治具や試験片の作成に精度を要求し、製造工場等での簡単な評価試験には適さない。今回、ガスガンを用いた Al 衝突接合材のせん断による密着力測定を試みた、その試験結果の信頼性および機械加工精度との関係から、製造工場等の現場への適用性を確かめた。

Key words: ガスガン, 衝突接合材, 界面密着力, せん断強度試験, 応力集中, ヤング率比

1. 緒 言

異種金属どうしを何らかの方法で密着接合させ一体化することで機能性向上をはかる、コーティング構造材やクラッド材等の複合材では、その接合界面の密着力を正確に測定することが重要となる。

本研究所複合連続体力学分野（旧、弾性学部門）では、これまでもコーティング構造材の評価試験方法の技術開発に取り組んできた。例えば、皮膜強度や密着力測定用のせん断試験治具¹⁾²⁾あるいは接着剤による単純引張試験片の接着方法³⁾等である。しかし、これらの方法はいずれも、試験治具や試験片の作成に精度を要求し、研究機関では推奨されるが製造工場等での簡単な評価には適さない。

今回、ガスガンを用いた Al 衝突接合材⁴⁾の評価試験を行うにあたり、せん断による密着力測定を試みた、その試験方法について試験結果の信頼性および機械加工精度との関係から製造工場等の現場への適用性を検討する。

2. 試験片および衝突試験⁴⁾

Al 衝突接合材は東亜大学より提供を受けた、以下にその概略を記す。

供試材は市販の Ti 合金、軟鋼および SUS 304 の基材に Al 合金を衝突接合させた、Ti-Al, MS-Al および SUS-Al の 3 種類の接合材である。基材は 40×40×4 mm の板であり、Al 衝突材（接合前）は厚さ

*文部技官，九州大学応用力学研究所技術室（高雄善裕紹介）

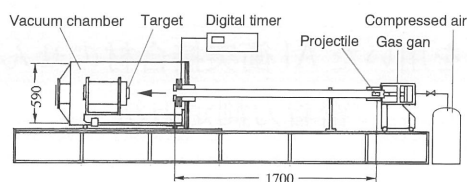


図1 高速衝突実験装置

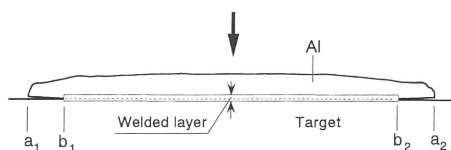


図2 衝突接合部の模式図

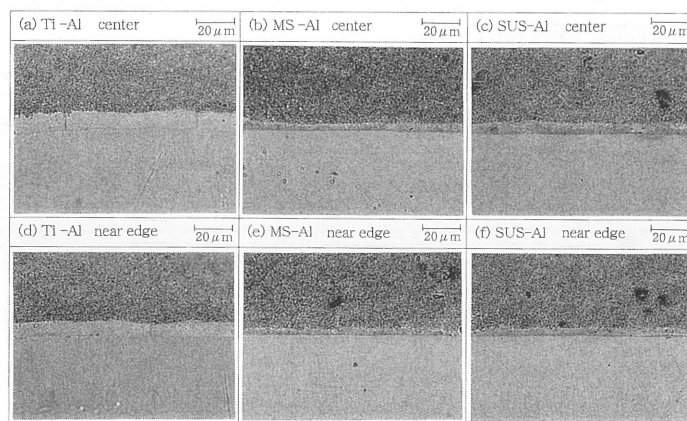


図3 接合部断面の光学顕微鏡写真

1 mm, 直径 8 mm, 10 mm, および 12 mm の円板である。

図1に高速衝突実験装置（東亜大学設置）を示す。ガスガンに配置された円錐台型プラスチック弾丸は圧縮空気を推進力とし高速で減圧容器内へ飛び出す。この時、弾丸の前端面に貼付けられた Al 円板が、容器内に固定された基材と衝突接合する。図2に衝突接合部の模式図を示す。

図3に接合部断面の光学顕微鏡写真を示す。この様に基材-Al は一様に密着し、界面には中間層が生成されている。これは衝突の際発生する熱により基材と Al が固溶拡散したものと思われるが、層厚さは基材の材質、衝突エネルギーにより異なる。

3. 実験方法

3.1 試験方法の決定

一般に密着力測定の試験方法⁵⁾⁶⁾としては単純引張試験が第一に考えられるが、試験片のつかみ寸法を考慮すると小型の試験片には適さない。取付治具に接着剤を用いる方法は、接合材の密着接合強度が接着剤の接合強度以下である場合に限り有効であり、高い密着力を持つ接合材の場合は適さない。また、ロー付け⁷⁾は高接着力を有するが、熱により試験材料の変質変形が起きる場合がある。

今回の場合は、基材が小型であり衝突 Al は厚さ 1 mm と薄い。しかも、材料同士の密着強度はかなり高い⁸⁾と予想される。さらに、Al は融点が 933 K と低いため変質変形し易く、通常の加熱が中間層の厚みや組成に影響を与える⁹⁾可能性がある。

以上から、接着剤やロー付けを用いない圧縮せん断試験法を選択した。

3.2 試験片の機械加工とその精度

縦型フライスを用いて図 4 のような機械加工を行った。この場合、研削油は使用せず乾式加工とした。

Al のせん断軸方向への厚さ t は 2 mm、幅 ℓ は 4 mm (Al 衝突材の直径：8 mm)、6 mm (同：10 mm) および 8 mm (同：12 mm) とし、接合端部は十分に研削した。また、試験片によっては図 5 の様な基材の表面下 0～0.4 mm 程度の削込みが生じた。試験結果に影響する Al せん断部の削込み d_{Al} は、 d_0 と d_{max} をノギスにより測定し $\overline{ac}/\overline{ad}$ の比により算出した。その寸法を試料番号別に記録し、削込み d_{Al} とせん断応力との関係を調べた。この場合のせん断限界応力は $\tau_a = P_{max} / (t \cdot \ell)$ で求めた。

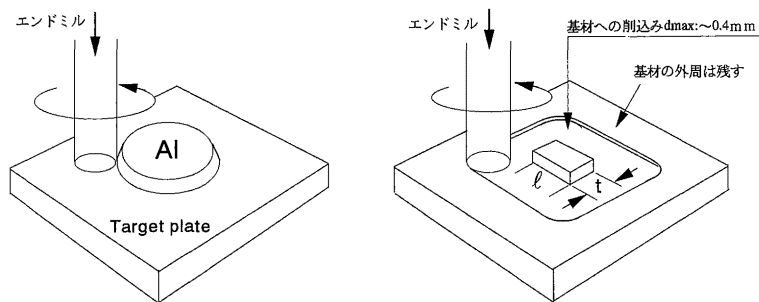


図 4 試験片の加工

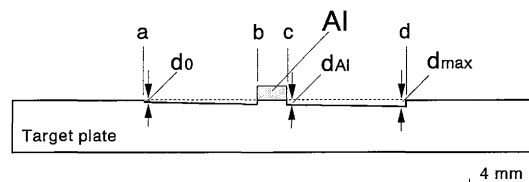


図 5 加工精度

3.3 圧縮せん断試験

圧縮せん断試験には島津オートグラフ AGS-500 B を用いた。使用ロードセル 5 kN, 試験速度 0.5 mm/min, 記録計チャートコントロールとした。図 6 に試験の写真, 図 7 に略図を示す。

一般に純粋なせん断を作用させることは困難である。製造工場の打ち抜きせん断加工法に見るような、比較的純粋せん断に見える負荷機構でも、上部刃と下部刃の力は同一直線上にはない。一般のせん断試験ではせん断応力に曲げモーメントによる引張応力が加わり⁵⁾、得られるせん断強度値は本来の値より一般には小さなものとなる。

対策として、基材の厚さ長さおよび幅を Al のせん断部に比べて十分大きくしている。これにより基材側の曲げ変形を抑え、せん断面での曲げモーメントによる引張応力を小さくしている。試験片は機械加工により直角精度を調整した万力で挟んであり、このため、厚さ方向のブレは少なく力の作用軸は平行に保たれる。また、軸精度を高めるため硬球を用いた。以上の調整により曲げモーメントをできるだけ小さくした。

また、今回の試験片では、Al せん断部端面と基材面が垂直であるためこの角度による応力集中¹⁰⁾¹¹⁾と、接合材の材料定数が違うためそれに起因する異材界面の応力上昇を考慮しなければならない。これらに関しては、測定したせん断限界応力を Al ヤング率と基材ヤング率の比で比較検討し、その影響を調べた。

表 1 に各材料のヤング率¹²⁾を示す。

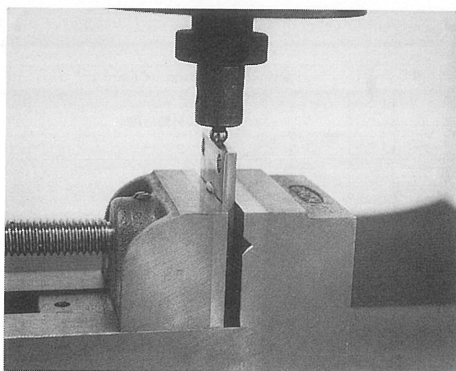


図 6 圧縮せん断試験の写真

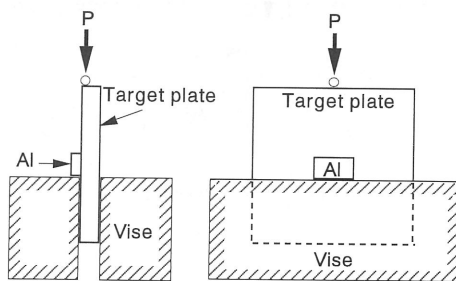


図 7 圧縮せん断試験の略図

表 1 材料のヤング率¹²⁾

	Al	Ti	MS	SUS
ヤング率 E (GPa)	69.3	119.0	196.0	203.0

4. 試験結果および考察

試験片は全て接合界面あるいはその Al 側近傍（～0.1 mm）でせん断破壊した。

図 8 はせん断試験の荷重－変位曲線を示す。A-D が試験片の軸方向の長さ t （図 4）に対応している。A-C は万力の上端部が Al 下面と完全に密着し押し上げるまでに相当し、長さ t の約 20 % である。B で勾配が変わり、C で最大せん断力 P_{max} を示す。C-D は Al が圧縮変形し、接合界面あるいはその Al 近傍が破壊されて行く状態に相当する。

一般に、せん断破壊プロセスにおけるせん断力はその行程において一様ではなく、例えば平板のせん断加工の場合⁵⁾は、刃が材料に食い込むと材料の長さの約 20 % の間はせん断力が急激に上昇し、次の 12～13 % の過程において小さなき裂が生じ、急激に除荷される、残りの約 70 % で徐々に割れが拡大し、ついに全体が切断される。今回の場合は、Al が柔らかいため、最大せん断力後の急激なせん断力低下は生じていない。

図 9、図 10 に全試験結果を供試材別と Al 径別に示す。この様にいずれの場合もほぼ Al のせん断破壊強度で破壊した。このことから密着強度はほぼ Al の強度と考えてよく、接合界面は完全に密着しているこ

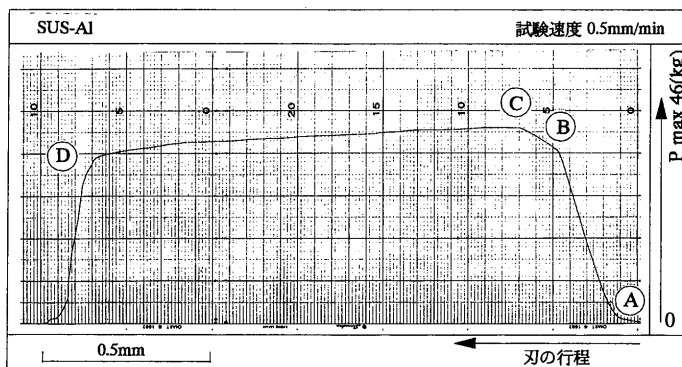


図 8 せん断試験の荷重－変位曲線

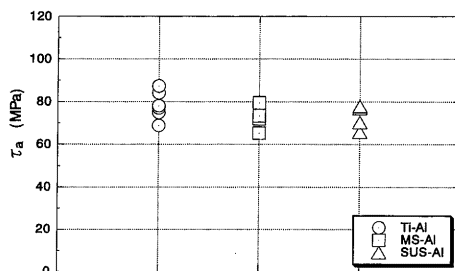


図 9 せん断試験結果（材料別）

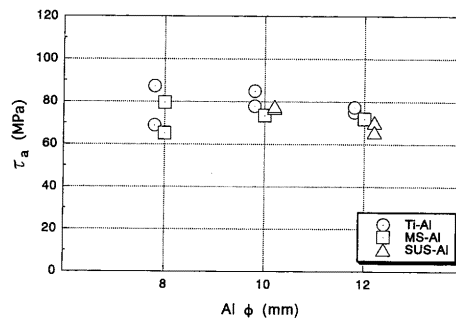


図10 せん断試験結果（Al 径別）

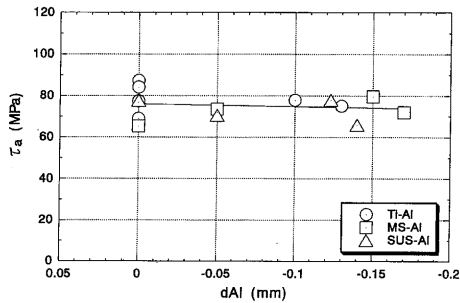


図11 セン断強度と削りしろ

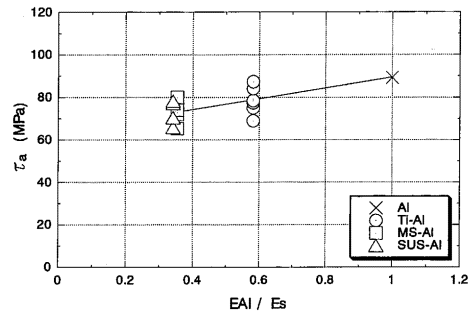


図12 セン断強度とヤング率比

とが示唆される。(文献によるせん断強度は例えば Al 1100 の場合 89 MPa¹²⁾, 同 69~88 MPa¹³⁾である。)

図 11 にせん断強度と試験片の削りしろとの関係を示す。基材への削込み d_{Al} が 0 ~ 約 0.2 mm 間における、Ti-Al の平均値および MS-Al と SUS-Al の平均値の変化率は小さく、双方とも 5 % 以下である。これは、削りしろが曲げモーメントによる引張応力として働く、そのマイナス分が小さかったためと思われる。

結果的にこの試験方法は、純粋なせん断応力が支配的であり曲げモーメントによる引張応力は無視できることを示唆している。

なお、理想的な加工では異材界面位置と加工によるエッジ位置は同一となり、材料定数の違いに起因する異材界面の応力上昇とエッジによる応力集中は同一場所で起きる。機械加工の誤差は 2 つの位置をずらすことになり、せん断破断位置(界面)の応力集中は低下し、計測されるせん断破断の限界値を押し上げる。しかし、これは、界面が脆く、発生する破断が不安定な場合である。図 8 の様に降伏点が小さく、破壊までに著しい延性を示す Al では、これによる応力緩和の影響は小さい。

図 12 にせん断強度を Al ヤング率 E_{Al} と基材ヤング率 E_s の比で示す。図中の×印は Al の文献値¹²⁾であり、 $E_{Al}/E_s=1$ に相当する。文献値と比較の結果、この方法によるせん断強度は、Al と基材のヤング率が近いほど高く、離れると低くなる傾向を示す事が分かった。このことは、 E_{Al}/E_s (衝突材と基材のヤング率比) が 1 から離れるほど界面の応力が大きくなることに対応している。

この様に、本せん断試験法では機械工作が比較的簡単であるうえ、特殊治具を使用しない。また、試験片を小型の卓上万力に固定するので、軸合せが簡単である。更に高価な万能試験機は用いずとも、圧力ゲージの付いた手動式の小型油圧ポンプが有れば、圧縮せん断試験は十分に可能と思われ、安価に試験を行うことができる。なお、この試験方法は試験片が類似する、溶射皮膜と基材の密着力測定にも使用可能と思われる。

以上から、本せん断試験法は接合材や溶射施工の製造工場等でも製品の密着性評価に活用し易いと考えられる。

5. 結 論

Al 衝突接合材の評価試験を行うにあたり、縦型フライスを用いて試験片の機械加工を行い、せん断による密着力測定方法を試みた。その結果以下のことが確かめられた。

- (1) せん断部では純粋なせん断応力が支配的であり曲げモーメントによる引張応力は無視できる。
- (2) Al/基材の界面以下 ~ 0.2 mm 程度の削込みは、許容範囲である。
- (3) 機械工作は比較的簡単であり特殊治具を使用しないので、製造工場等の現場でも活用し易い。
- (4) この方法は試験片が類似する、溶射皮膜と基材の密着力測定にも使用可能と思われる。
- (5) なお、Al/基材のヤング率比が小さいほどせん断応力は低くなる、という興味深い傾向も得られている。

謝 辞

本技術報告は東亜大学との共同研究報告⁴⁾から密着力測定方法を抜粋し、技術的な検討を加えたものである。

基礎力学部門高雄善裕教授には試験評価の討議に加わっていただいた。東亜大学栖原寿郎教授には報告書作成にご理解を頂き、貴重なご意見や研究資料の提供を受けた。ここにあらためて感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 福田重久, 松原監壮, 栖原寿郎, 伊藤 普, 中村良三: 線爆溶射法による複合皮膜の形成とその耐摩耗性(2)ー積層皮膜の特性ー, 日本溶射協会誌, 24-1, (1987).
- 2) 福田重久, 松原監壮, 中村良三, 中山 勝, 川瀬良一, 岸武勝彦: WC-12 % Co 溶射皮膜に関する共同研究ー皮膜特性とその評価方法ー, 溶射, 33-1, (1996).
- 3) 福田重久, 松原監壮: 繊維強化材への線爆溶射(1)ーエポキシ樹脂と亜鉛皮膜ー, 日本溶射協会誌, 24-3, (1988).
- 4) T. Suhara, J. Omotani, T. Matsubara: Critical impact energy density for welding aluminum plate onto surface of different metal by gas-gun method, Proc. 1st. Int. Conf. Damage and Failure of Interfaces, in Vienna, Austria, Sep, 22-24 (1997).
- 5) 材料試験便覧ー日本材料試験協会編ー: 丸善, (1957) p. 126-128.
- 6) 溶射ハンドブックー日本溶射協会編ー: (1986) p. 553-554.
- 7) 川勝一郎: ろう接工学, 朝倉書店, (1972).
- 8) 栖原寿郎, 福田重久, 伊藤 普, 福永寛喜: 線爆発による複合金属の圧接着, 塑性と加工, 11-117 (1970).
- 9) 松原監壮, 大津稔充, 汪 文学, 高雄善裕: 大気および真空中における W-25 % Re 皮膜/SUS 基材の熱衝撃現象IIー耐熱材料および耐熱皮膜の断面損傷解析ー, 溶射, 34-1, (1997).
- 10) 福田重久: 金属線爆発およびその線爆溶射への応用に関する実験的研究, 学位論文, 九州大学,

(1985) p. 58.

- 11) 恵良秀則, 岸武勝彦, 内田 亨: 溶射皮膜のせん断剝離試験における応力集中防止ノッチサイズの検討, 溶射協会第 64 回全国公演大会論文集, (1996) p. 57.
- 12) 金属データブック-日本金属学会編-: 丸善, (1974) p. 180.
- 13) 複合材料ハンドブック-日本複合材料学会編-: 日刊工業新聞社, (1989) p. 244.

(平成 9 年 6 月 30 日 受理)