

導線放電爆発による複合金属の圧接着

栖原, 寿郎

福田, 重久

伊藤, 普

福永, 寛喜

<https://doi.org/10.15017/4743444>

出版情報：應用力學研究所所報. 27, pp.65-71, 1967. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：



寄 書**導線放電爆発による複合金属の圧接着**

栖	原	寿	郎*
福	田	重	久*
伊	藤		普**
福	永	寛	喜**

1. 緒 言

爆薬などによる爆発エネルギーを利用して、金属と金属を高速で衝突させて圧接着する方法が、最近では実用的にもかなり用いられている¹⁾。この方法は、爆発時に轟音と衝撃振動を発生するので工場内の工作としては適当でなく、野外における大型工作法としての利点をもっている。

これに比べて、本文で述べる放電による方法²⁾では、使用エネルギー量は爆発の場合より一般に少ないが、放出されるエネルギー密度ははるかに高く、なおかつ、接着エネルギーの制御度が高いので、現象の再現性にすぐれており、また工場内の工作法としても充分利用できるなどの利点をもっている。

われわれはこの衝撃大電流による導線爆発によつて、金属を圧接着することについて実用の立場から一つの検討を試みた。

難融性金属であるタングステンと、良好な電気伝導度をもつ銅とからなる複合金属は電気接点としてすぐれた性質を有し、広く用いられているが、実際に使用する際には、Cu-W 焼結体が銅または真鍮などの合金にロー付けされて用いられているためにロー付箇所から壊れることがある。また合金がアルミニウムの場合には、アルミニウムの融点が低いために硬ロー付けは困難とされている。

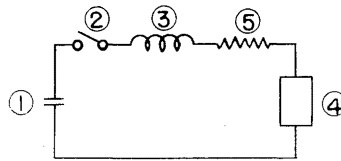
本報では、導線爆発による圧接着法を Cu-W 焼結体と銅との接着に適用した結果、接着面の強度はロー付けに比べてはるかに強く、またアルミニウムとの接着も充分可能であることが明らかになった。

2. 実験装置と実験方法**2・1 放 電 装 置**

放電衝撃大電流発生装置³⁾は、第 1 図に示すようなコンデンサの放電回路であつて、実験に用いた装置は、コンデンサ容量が 20 μ F のコンデンサバンク 5 基からなつている。したがつて各バンクの出力端を

* 九州大学応用力学研究所

** 日本タングステン株式会社



第1図 放電回路の基本回路

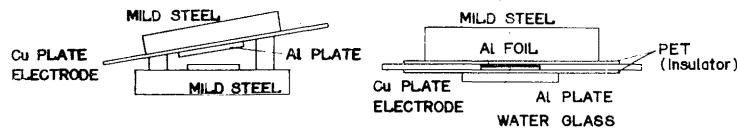
- 1: コンデンサ 2: 放電スイッチ
3: インダクタンス ($L \approx 1 \mu\text{H}$)
4: 負荷 5: 回路抵抗

並列結合することによつて $20 \mu\text{F}$ 単位で、 $100 \mu\text{F}$ まで変えることができる。また最高充電電圧は 30 kV である。充電エネルギーはバンク当たり 9 k joule 、総合エネルギーは 45 k joule である。なお放電回路の固有周波数は約 30 kc である。

2.2 実験方法

a) 圧接着の方法

放電法による圧接着²⁾も、爆薬などによる方法と同様に第2図に示すように接着片と、母材との間にはある程度の空隙と、角度 θ とをもたせる必要がある。



第2図 導線放電法による圧接着の方法

爆発導線は第2図の上部ブロック(背圧体)と、接着片との間にある電気的な絶縁物中に設けられており、これが放電衝撃大電流で爆発することによつて接着片を高速度 v_p でとばす。このときの θ と v_p は金属材質や Shock impedance などによつてきまるが、本実験例の Al 板と Cu-W 板との場合は、 θ が $10 \sim 30^\circ$ 、 v_p が $400 \sim 1000 \text{ m/sec}$ である。

b) 放電条件

充電エネルギー E は

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$

C : コンデンサ容量, V : 充電電圧, であつて、実際接着片に与えられるエネルギー E_p は

$$E_p = \eta \cdot E \quad (2)$$

である。

ここで η は E に対する E_p への変換効率であつて、 $0.1 \sim 0.2$ 程度である。

このように η が小さくて、圧接着に必要なエネルギーが得られ難いので、導線寸法を最適放電条件に完全に合わせて、効率よく爆発させる必要がある。

ここで導線寸法は、最適爆発を示す寸法の式²⁾

$$s = K_1 C V f^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

$$l = K_2 V f^{-\frac{2}{3}} \quad (4)$$

s : 導線断面積 (mm^2), l : 導線長さ (mm), V : 充電電圧 (V), C : コンデンサ容量 (F), f : 装置の周波数 (c/sec), K_1, K_2 : 定数—第1表,

第 1 表								
wire →	Ag	W	Cu	Al	Fe	Mg	fuse	Pb
n	5.1	6.15	7.2	8.2	8.7	10.3	25	31
$K_1 = n \times 10^{-4}, K_2 \approx 4.3$								

を用いてきめた。また実験に際し、導線にはMgリボンと Al 箔を用いた。

c) 表面処理

圧接着の良否は接着前の面の状態に大きく左右される。したがって次のように前処理を行なった。

Cu-W 焼結体は平面研削後にトリクレン脱脂を行ない、Cu 板の方はトリクレン脱脂後にキリンス仕上げを行なった。

また Al 板は

(1) 表面処理なし

(2) 表面処理あり

トリクレン脱脂→アルカリ煮沸脱脂→HF (1 容)→HNO₃ (3 容)→H₂O (3 容)→HCl (20%)→アンモニア中和→水洗

(3) ニッケルメッキ

前記 (2) の表面処理後シューマー無電解ニッケルメッキを行なう (メッキ厚み約 5 μ)

以上のように、Al 板の場合には表面の緻密な酸化被膜が接着強度に影響をおよぼすことが大きいと考えられるので、三通りの前処理を行なった。

d) 接着試験と観察方法

圧接着の状態の検査は、光学顕微鏡による接着境界の金属組織の観察と、接着境界の剪断剝離試験を行なつて、接着力を測定した。また接着境界部の硬度分布をマイクロ・ビッカース硬度計で測定した。

3. 実験結果と考察

3・1 銅板への銅・タングステン複合板の圧接着

a) 材料寸法と充電エネルギー

接着材の Cu-W 焼結体 (Cu 30%) は $1.7 \times 10 \times 35$ mm の板であつて、これを母材の Cu 板 (2 mm 厚) に接着する。

また導線は Mg 線 ($0.23 \times 3 \times 30$ mm $\times$ 2 本並列) を用い、これを充電エネルギー 7200 j (12 kV) で爆

発させて圧接着を行なった。

b) 接着部の模様

この圧接着させたものの断面写真を 1～4 に示す。断面は爆発導線と平行な①方向と、これに垂直な②方向をとった。下側白い部分が Cu で、上側白黒の混在したものが Cu-W 焼結体であり、白い部分が Cu、黒い部分が W である。

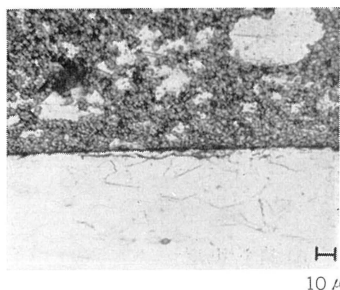


写真1 端部①方向接着境界（断面）

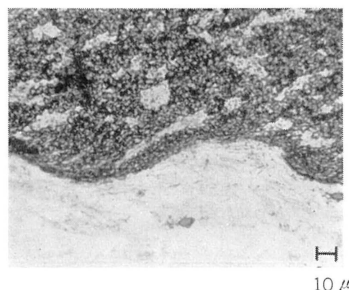


写真2 中心部①方向接着境界

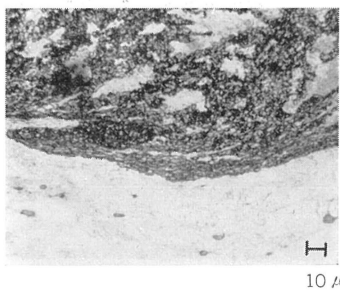


写真3 中心部②方向接着境界

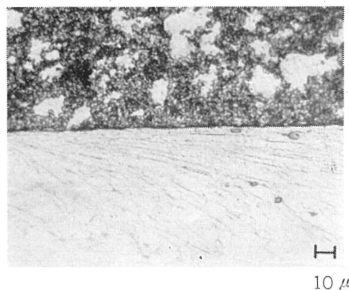


写真4 端部②方向接着境界

接着境界は衝突時の jet により波状によくかみ合っているところと、そうでないところがあり、衝突の中心部（写真 2, 3）ほどよくかみ合っており、端部（写真 1, 4）に行くにつれて接着境界は直線に近くなっている。

写真 2, 3 にみられるように接着境界近くで Cu-W 側では焼結組織中の Cu の組織が乱れて著しい塑性流動を生じている。

c) 接 着 強 度

接着強度は剪断破壊強度試験で測定した。接着力の測定結果、剪断破壊強度は $18.6 \sim 22.1 \text{ kg/mm}^2$ 、また破断面は接着境界の母材内であつた。銅鑄物の抗張力は $14 \sim 21 \text{ kg/mm}^2$ であるのに比し、十分な接着強度が得られた。

3・2 Cu-W 板への Al 板の圧接着

a) 材料の寸法と充電エネルギー

接着材の Al 板は $1.5 \times 30 \times 75$ mm の板で、重さは 9 g、母材の Cu-W 焼結体 (Cu 35%) の寸法は $1.5 \times 30 \times 9$ mm の板 5.5 g である。

爆発導線は Al 箔で、6000 j の場合は $0.02 \times 26 \times 70$ mm,

9000 j の場合 $0.04 \times 26 \times 70$ mm,

12000 j の場合 $0.04 \times 26 \times 70$ mm,

また充電エネルギーは 6000 j (14.1 kV, 60 μ F),

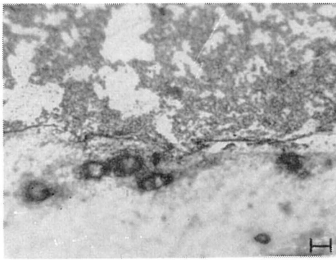
9000 j (15.0 kV, 80 μ F),

12000 j (20.0 kV, 60 μ F) の三通りである。

b) 接着部の組織

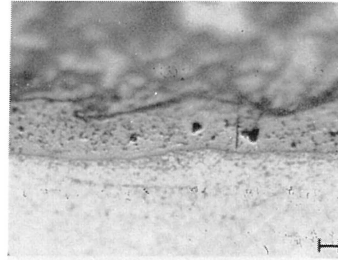
写真 5～7 は Al 板と Cu-W 板との圧接着部の縦断面写真である。上側が Cu-W, 下側が Al である。写真 5～7 にみられるごとく Ni メッキ層の有無にかかわらず境界面には金属間化合物と思われる異相がみられる。後述するようにこの相の硬度は著しく高い。

接着境界面における波状のかみ合いは写真 2 における Cu 板と Cu-W 板の場合ほど著しくない。



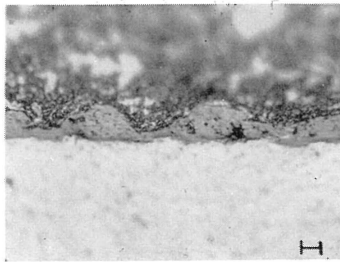
10 μ

写真 5 表面処理なし
充電エネルギー 12000 j



10 μ

写真 6 表面処理あり
充電エネルギー 12000 j

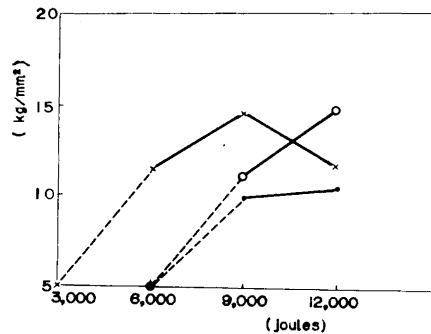


10 μ

写真 7 Ni メッキ
充電エネルギー 12000 j

c) 接着強度

接着強度 (剪断破壊) の測定結果は第 3 図に示される。この値は各試験片 2～4 個の平均値である。



第3図 充電エネルギーに対する Cu-W 焼結体と Al との圧接着強度

○: 表面処理 (シューマー液), ×: Ni メッキ (5 μ), ●: 表面処理なし

この試験結果では Ni メッキ処理を行なったものの接着強度が最も再現性がよく、6000 j のエネルギーでも圧接着されている。他の試料の場合には 9000 j 以上でないと圧接着されていない、

脱脂、脱酸などの表面処理を行なったものは、やはり、行なっていないものに比べて良い傾向を示している。

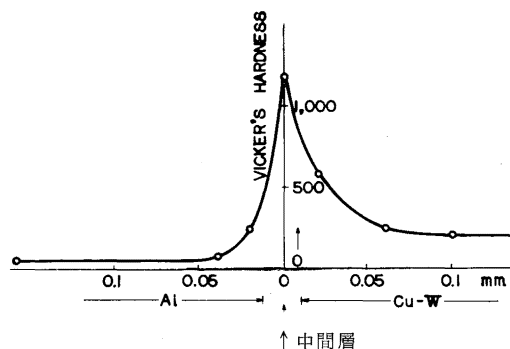
接着強度は 10 kg/mm^2 以上の値を示しており、これは Al の引張り強さ $9 \sim 17 \text{ kg/mm}^2$ に近い値である。

d) 硬 度 分 布

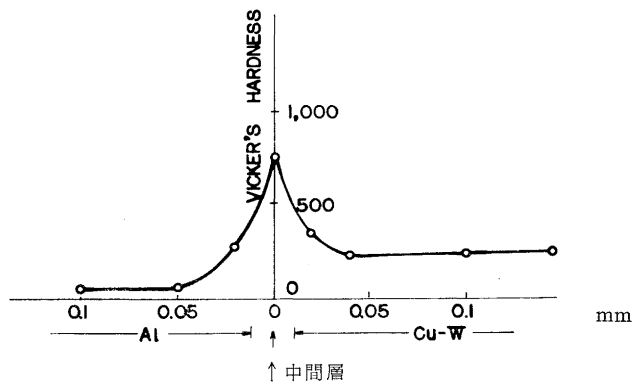
Al と Cu-W の接着境界は写真6のように異相がみられる。この部分は加工硬化により中間相の中心部が最高に硬化を起している。

この中間相の硬度分布は第4、5図に示されている。中間相の加工硬化の大きさは Ni メッキ処理を施した Al の場合の方がかなり小さい。この接着境界の硬化相の硬度が高いほど強度的にはよくないので、その意味からも Ni メッキ処理の効果がみられる。

この接着境界における異相が単なる加工硬化によるものなのか、あるいは温度上昇によつて低融点の



第4図 Cu-W 焼結体と Al (表面処理) との接着境界の硬度分布



第5図 Cu-W 焼結体と Al (Ni メッキ) との接着境界の硬度分布

Al がとけて Ni などとの金属間化合物を生成したための硬度上昇であるのかは, X-ray micro analyzer を行なっていないので不明である。

4. 結 論

Cu-W 焼結体と Cu 板および Al 板との導線放電爆発法による圧接着を行なつて実用化の可能性を確かめた。

(1) Cu-W 焼結体と Cu 板との場合 (Cu 板寸法 $1.0\text{ t} \times 32 \times 32\text{ mm}$, 重さ 9.5 g の場合 18000 j), 接着強度が 18 kg/mm^2 以上に達する良好な圧接着体を得られた。

(2) Cu-W 焼結体と Al 板との場合 (Al 板寸法 $1.5\text{ t} \times 30 \times 75\text{ mm}$, 重さ 9 g の場合, $9000 \sim 12000\text{ j}$), 接着強度が 10 kg/mm^2 以上の良好な圧接着体を得られた。Ni メッキを Al 表面に施した場合には, 充電エネルギー 6000 j で充分であつた。

(3) 放電エネルギー密度が大き過ぎると Cu-W 焼結体に割れを生じ易く, また Al 板もひどく損じられる。

(4) Cu-W と Al の接着境界には, ビッカース硬度 1200 の硬度の高い中間相がみられ, Ni メッキ処理の Al の場合その値が 750 と若干低下した。

以上が今回の実験結果であるが, さらに接着表面に金属 メッキ を施した場合などの衝突現象について, 詳しい実験的研究と, 解析が望まれる。

最後に実験に協力した福崎康治君に感謝する。

参 考 文 献

- 1) A. S. Bahrani, B. Crossland: Proc. Instn. Mech. Engrs. 1964-65, vol. 179, pt. 1, no. 7. 富安富士男, 井上正美, 高橋研二: 溶接技術 (1964) 10 月号, その他.
- 2) 栖原寿郎, 北島一徳, 福田重久: 塑性と加工, Vol. 8, No. 77 (1967)
- 3) 栖原寿郎, 福田重久: 応用力学研究所所報, 第 26 号 (1967)

(昭和 42 年 11 月 4 日 受理)