

ダンベル型超音波複合振動による超音波接合 —接合試料の設置方向を変化させた場合の接合強度—

Ultrasonic welding by dumbbell-shaped ultrasonic complex vibration source —Weld strength as a function of the installation direction of the welding sample—

○玉田洋介¹, 浅見拓哉², 三浦 光²*Yosuke Tamada¹, Takuya Asami², Hikaru Miura²

Abstract: Conventional ultrasonic welding uses a one-dimensional linear vibration. Because the vibration energy is small, this method suffers from the drawbacks that the weld strength is low and variable depending on the installation direction of the welding sample. To solve these problems, we have proposed ultrasonic welding with a two-dimensional planar vibration. In this paper, we demonstrated that welding using planar vibration reaches a high strength than conventional linear vibration and that stable welding can be achieved independently of the installation direction of the welding sample.

1. はじめに

電気自動車等に使われているリチウムイオン電池を大容量化するには、その電極部分（正極がアルミニウム、負極が銅）を正極負極交互に直列に接続する必要がある。そのため、異種金属同士の接合技術が必要となっている。

超音波接合は熱を用いていないため、融点が異なる金属同士でも接合が可能である。しかし、従来の超音波接合は 1 次元の線状振動を用いたものであり、この方法は、接合が一方にしか行われなため接合強度が低く、接合試料の設置方向によって接合強度が異なる点が問題であった。これらの問題を解決するために、筆者らは 2 次元の面状振動による超音波接合を提案している^[1]。これまでの検討で、面状振動を用いることで、従来の線状振動を用いた場合に比べて短時間で高い接合強度が得られることが明らかにされている。

本稿では、アルミニウム板と銅板を接合試料とし、面状振動を用いて接合試料の設置方向を変化させた場合の超音波接合の検討を行った。

2. 超音波複合振動源

Figure 1 は、本稿で用いた面状振動を得るための超音波複合振動源である。本振動源は、直径比 1.5 の円柱形状のダンベル型ステップホーン(A2017)の両端に、27 kHz 用ボルト締めランジュバン型縦振動子、及び 19 kHz 用ボルト締めランジュバン型ねじり振動子を接続した構造となっている。ステップホーンの中央には、接合対象に振動を加えるための接合チップを取り付けている。接合チップは、直径 4.2 mm の円形であり、先端部にローレット加工を施している。

3. 複合振動源の接合チップ先端部の振動軌跡

Figure 2 は、本振動源の接合チップ先端部の振動軌跡である。図は横軸に縦振動変位振幅、縦軸にねじり振動変位振幅をとっている。図より、振動源の縦振動子のみ、及びねじり振動子のみ駆動の場合は、それぞれ直線の線状振動軌跡になる。一方、両振動子を同時に

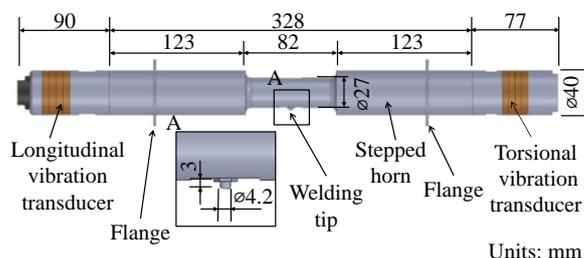


Figure 1. Ultrasonic complex vibration source.

—: Longitudinal vibration transducer only
—: Torsional vibration transducer only
—: Longitudinal and torsional vibration transducers

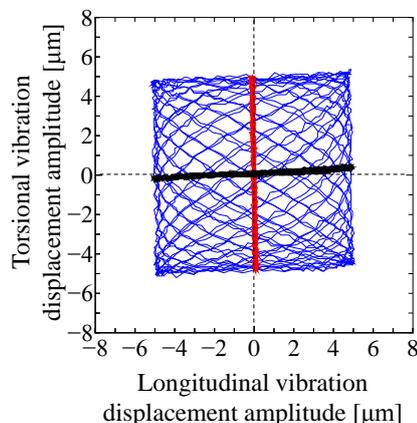


Figure 2. Vibration loci for the three types of vibrations.

駆動した場合は、個々に駆動した場合の直線軌跡を組み合わせたほぼ正方形の面状振動軌跡となる。以後本稿では、図中の縦振動子のみ駆動した場合の黒のラインを縦振動、ねじり振動子のみ駆動した場合の赤のラインをねじり振動と呼ぶ。そして、両振動子を同時に駆動した場合の青のラインを面状振動と呼ぶ。

4. 接合試料の設置方向と接合強度の関係

面状振動を用いることで、接合試料の設置方向に依存しない安定した接合が行えることを明らかにするために、アルミニウム板(A1050, 長さ 40 mm, 幅 20 mm, 厚さ 0.5 mm)と銅板(C1100, 長さ 40 mm, 幅 20 mm, 厚さ 2.0 mm)の接合において、接合強度の検討を行った。接合は、接合時間を 0.6 s 一定、静圧力を 500 N 一定として、各振動の振動変位振幅を $10 \mu\text{m}_{p-p}$ 一定とし、Figure 2 に示した 3 種類の振動を用いて各 10 回ずつ行った。

Figure 3 は超音波複合振動源のホーンと接合試料の位置関係を示したもので、(a) 真上から見た概略図、(b) ホーン中央の断面 A から見た概略図である。接合試料の設置位置は、両板の長手方向と超音波複合振動源のホーンが直交するような Figure 3 に示した場合を基準の方向として 0° とした。そして、そこから接合点を中心に両板の位置関係はそのまま、試料全体を時計回りに $30, 60, 90^\circ$ と回転させ、これら 4 通りの位置を接合試料の設置位置とした。

接合後、試料の接合強度の測定を行った。接合強度は、JIS Z 3136 の方法に準拠した引張圧縮試験機を用い、引っ張りせん断試験を行って求めた。

Figure 4 はその結果である。図は横軸に接合試料の設置方向、縦軸に接合強度と接合された試料の個数を取り、パラメータに各振動を取っている。なお、エラーバーは偏差 ($\pm 1\sigma$) を示しており、接合できた場合のみで求めている。

図より、両線状振動（縦振動とねじり振動）を用いた場合の接合は、接合試料の設置方向によって接合強度が異なり、更に接合の可否の結果から接合が行えていない試料が多く存在した。これらのことから、線状振動を用いた接合は、接合試料の設置方向に依存することがわかる。一方、面状振動を用いた場合の接合は、いずれの接合試料の設置方向においても、両線状振動を用いた場合に比べて、高強度が得られ、接合の可否の結果から安定して接合が行えていることがわかる。よって面状振動を用いた接合は、線状振動を用いた場合に比べて高強度が得られ、接合試料の設置方向に依存しないことがわかった。

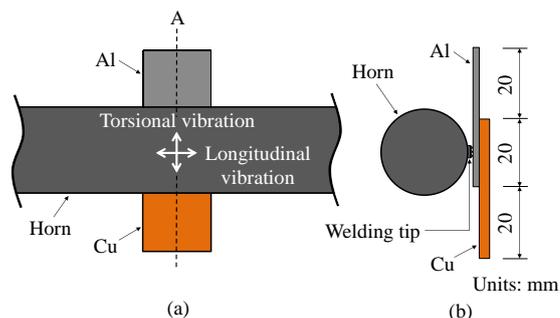


Figure 3. Positional relationship between the horn of the vibration source and the welding sample.

Vibration	Average weld strength of welded samples	Number of welded samples
Longitudinal	□	⊠
Torsional	△	▲
Planar	○	⊙

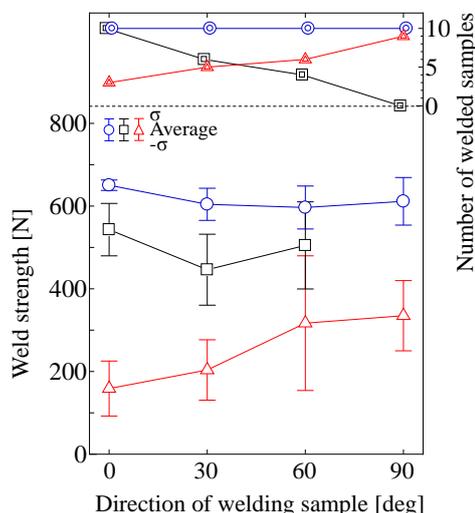


Figure 4. Weld strength as a function of the installation direction of the welding sample.

5. おわりに

本稿では、面状振動を用いて接合試料の設置方向を変化させた場合の超音波接合の検討を行った。その結果、面状振動を用いた接合は、線状振動を用いた場合に比べて、接合試料の設置方向とは無関係に高い接合強度が得られ、安定した接合が行えることがわかった。なお、本研究の一部は JSPS 科研費 15K21409 の助成を受けたものである。

6. 参考文献

[1] Y.Tamada, T.Aasami and H.Miura : “Welding characteristics of Cu and Al plates using planar vibration by a dumbbell-shaped ultrasonic complex vibration source” Jpn. J. Appl. Phys. 57,07LE02 (2018).