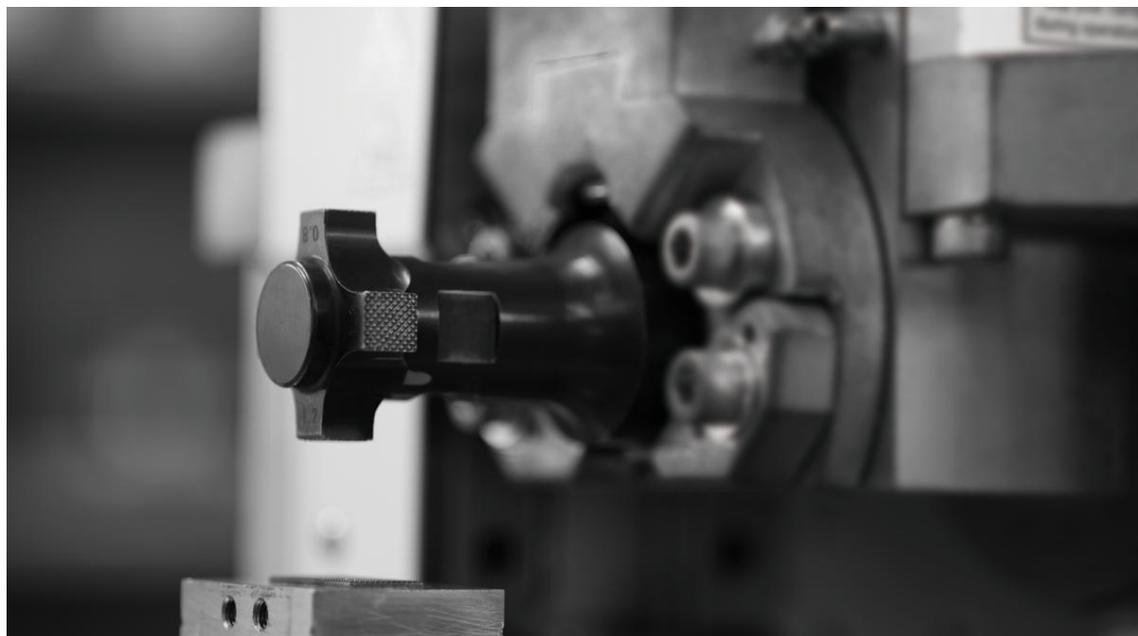


02

はじめての超音波金属接合

— 原理・特徴・接合適合性の基本ガイド —



Ultrasonic Metal Welder

【目次】

1. 金属接合の種類
2. 超音波とは
3. 超音波振動の原理
4. 超音波金属接合と超音波金属接合機
5. 接合可能な材質
6. 法的規制
7. 導入に向けた技術相談・テストのご案内

1. 金属接合の種類

接合の原理によって分類される

金属の接合方法には多種多様な工法が存在するが、一般にこれらの工法は接合の原理から、「融接」「固相接合」「ろう接」の3つに分類される。

金属接合は図 1 に示す通り様々な工法に分類され、それぞれ異なる特徴を持つ。工法の選定にあたっては、材質、形状の他に表面状態や表面処理によって最適な接合工法を選択する必要がある。また信頼性、コスト等も工法選択において重要な要素となり得る。

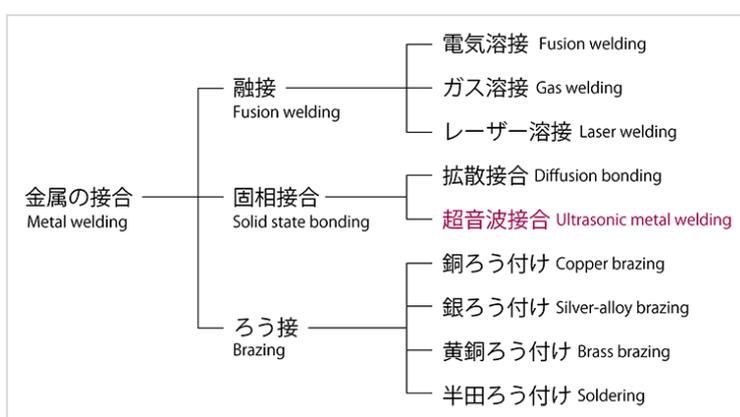


図 1. 金属接合方法の種類

○融接・・・接合界面が液相と液相の接触による接合

被接合金属の接合部を加熱し、溶融させて接合する方法。いわゆる溶接。代表的なものとして電気・ガス・レーザ溶接が挙げられる。

○固相接合・・・接合界面が固相と固相の接触による接合

被接合金属に機械的圧力を加え、接合界面に局所的な塑性変形を生じさせ、接合する方法。拡散接合や超音波金属接合が挙げられる。

○ろう接(せつ)・・・接合界面が液相と固相の接触による接合

被接合金属よりも融点の低いろう材を接合界面に流し、接合する方法。各種ろう付けがこれに該当する。

2. 超音波とは

超音波＝聞くことを目的としない音

超音波は一般的には「振動数が約2万ヘルツ以上で、定常音として耳に聞こえない音波」（広辞苑）と定義されているが、産業界では「聞こえない」ではなく、「聞くことを目的としない」音を超音波と呼ぶ。

2-1. 音の正体

我々が普段聞いている「音」の正体とは何か？話し声はもちろんのこと、スピーカーから出る音やバイオリンの奏でる音は、どのようにして「聞こえる」となるのか。

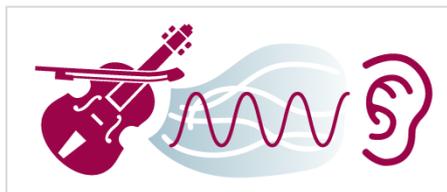


図2. 音の伝わり方

図2に示すように、バイオリンでは弦が震えることによってその振動が空気を伝わって耳に届く。この振動が耳の鼓膜を揺らし、脳が音として認識する。つまり、音の正体は「振動」である。振動は、気体・液体・固体を「波」のように伝播していく。この音の波のことを「音波」と呼ぶ。

2-2. 音の単位

音の振動数は「周波数」と呼ばれ、Hz（ヘルツ）という単位で表される。1秒間に1回振動する場合には1Hzとなる。振動回数が少ない＝周波数が低いほど低音に聞こえ、振動回数が多い＝周波数が高いほど高音となる。

2-3. 聞こえるのに超音波？

一般的に人の可聴域は20Hz～20kHz(図3)とされているが、超音波機器の中には耳に聞こえる周波数帯を使っているものも存在する。当社製品にも可聴域の周波数である15kHz帯を使用した製品があり、「耳に聞こえる音」ではあるが、聞くことを目的としているわけではない。従って我々の定義上は「超音波」としてこれを扱う。



図3. 可聴域

3. 超音波振動の原理

振動子により高周波電力を超音波振動に変換

音の正体は「振動（音波）」です。では、この振動を産業に応用するための超音波振動をどのように発生させているのか？
超音波振動の原理を以下に説明する。

振動は機械的な運動なのでエネルギーと動力部が必要となる。超音波振動におけるエネルギーは「高周波電力」、動力部は「超音波振動子」と呼ばれる。

高周波電力が振動に変わる原理は、火打石をイメージするとわかりやすい(図4)。火打ち石は叩くと火花が出る。この時、叩くことで石は一瞬縮むが、即座に元に戻ろうとする力が働き、これが電気エネルギー＝火花となって外に出る。



図4. 火打石で火花が発生するプロセス

この原理を逆手に取り、発振器内で圧電素子の石に電気エネルギーを供給することで振動を発生させている。

□□■ 超音波振動子の構造 ■□□

超音波接合の振動子に使用される素子は、発振器からの電圧を超音波振動に変換するもので、交流電圧を加えると振動するチタン酸ジルコン酸鉛（通称 PZT）が主に使用される。この PZT を図5に示すように電極と金属とで挟みボルト締めしたものが「ボルト締めランジュバン型振動子（通称 BLT）」と呼ばれる。

BLT は金属を介してボルト締めすることにより、超音波接合で使用する周波数で動作するように調整されている。

PZT は前述の通り交流電圧により、伸び縮みの反復運動を行う。この反復運動の距離（振幅）は数ミクロン～数十ミクロンと極めて小さなものであるが、伝達・共振・増幅により加工に必要な振幅が得られる。

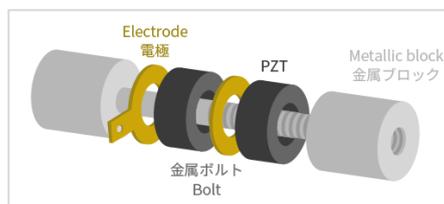


図5. ボルト締めランジュバン型振動子

4. 超音波金属接合と超音波金属接合機

超音波振動によって金属同士の固相接合を行う

「超音波金属接合」とは、重ねた金属同士を超音波振動によって接合する技術である。同材質の接合の他、銅とアルミなど異種材の接合も可能で、ターミナル端子、丸端子への Cu 線接合、線材同士の接合などに利用される。

4-1. 超音波金属接合とは

自動車の EV 化にともない、電池・モータ・インバータなどの大きな電流が必要な回路関係の接合や、軽量化に伴うアルミ線の接合の需要が増えている。超音波金属接合では、半田などを使わずに金属同士を直接接合するため、高温環境化で使用される部品にも適している。また溶接などに比べ熱影響範囲が狭いため、熱に弱い Li イオンバッテリー関連の接合に利用することも可能となる。

4-2. 金属同士が接合できる理由

一般に、金属の表面は酸化物や吸着ガスなどの表面層によって覆われているため、接合界面の原子同士の接近が妨げられ、十分な結合力が得られない。しかし、超音波金属接合では接合界面で発生する摩擦によりこれら表面層が機械的に破壊除去されるため、接合が可能となる。同時に、発生する摩擦熱により塑性流動が促進され、接合界面の金属の原子同士が相互に引力を及ぼす距離まで接近し、接合界面全体の原子が秩序ある配列となるよう接合される。



図 6. 超音波金属接合のイメージ

超音波金属接合のイメージを図 6 に示す。超音波金属接合は上述の通り融解には至らずに接合するため、接合方法としては「固相接合」に分類される。

4-3. 超音波金属接合機の基本構成

超音波金属接合機は、主に発振機と振動部、プレス機構と超音波ホーンによって構成される(図 7)。超音波ホーンは工具ホーンとも呼ばれ、振動部で発生した振動を増幅し、ワークに伝達することで接合を行う。また、プレスを使用せず発振器と振動部とホーンの組合せの機器も存在する。

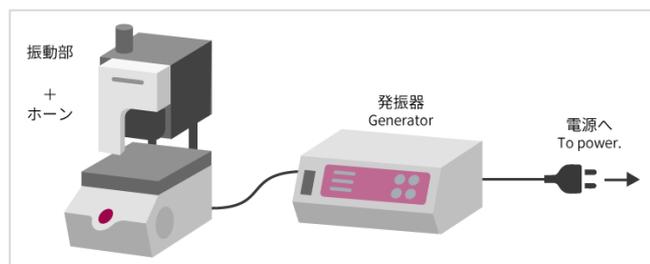


図 7. 超音波金属接合機の代表的な構成

4-4. 超音波金属接合のポイント

超音波金属接合のポイントは、「受け台 (アンビル)」の上で重ね合わせた同種、もしくは異種の金属に対して、垂直方向の加圧力を与えながら、接合面に平行な超音波振動を加えることである(図8)。

超音波振動によって互いに擦れ合うことで酸化皮膜や付着物を取り除かれ、純粋な金属面が露出することにより、固相状態のまま接合を行うことが可能となる。

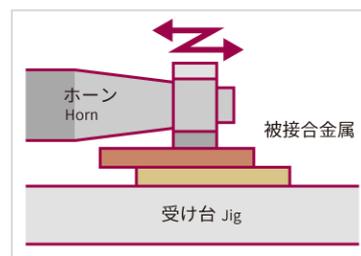


図 8. 超音波接合時の状態

□□■ 超音波金属接合のメリット ■□□

- ・ 異種金属の接合が容易
- ・ 融点以下の温度領域で接合
- ・ 非鉄金属の接合に適する
- ・ 箔等の薄物の接合が可能
- ・ 経年変化(抵抗値の増加)に強い
- ・ 環境性能が良く作業が安全
- ・ リサイクル性が良い



関連する詳細な技術情報や設計事例は、会員ページで公開しています。
ワークへの適用可否や、最適な設計のアドバイスが欲しい方は、
専門スタッフが直接お答えします。お気軽にご相談ください。

技術相談・お問い合わせ

5. 接合可能な材質

材料硬度・融点・再結晶温度が目安

接合可能な材料として、一般的には亜鉛、鉛、錫をのぞく「非鉄金属」が適しているとされる。

金属を摩擦により接合させた場合、接合界面では機械的な磨耗とともに摩擦熱による接合界面近傍の融解、さらに機械的性質低下による塑性流動が生じる。このため金属の接合適合性を評価する際には材料硬度や融点、再結晶温度が目安となりうる。

一般的には亜鉛、鉛、錫をのぞく非鉄金属が適しており、銅、アルミニウム、ニッケル、貴金属（金、銀、プラチナ、パラジウム）およびこれらの材料がコーティングされているものであれば接合可能と考える。

6. 法的規制

型式指定を受けた装置は個別の申請は不要

超音波洗浄機やウェルダ一等の強力超音波機器を使用する場合、あらかじめ総務省の総合通信局へ申請し使用許可を得る必要があるが、「型式指定」を受けた強力超音波機器については申請・届出の必要はない。

○申請が必要な機器

無線設備、通信設備以外の設備であって 10kHz 以上の高周波電流を利用して高周波エネルギーを発生させて、50W を超える高周波出力を使用する設備は、原則として総務大臣の設置許可を受ける必要がある。これは「電波法第 100 条」によって定められている。

○申請が不要な機器

シリアル銘板シールに型式指定番号(図 9)が記入された装置は総務大臣による型式指定（技術基準に適合していることの指定）を受けており、個別に設置許可を申請する必要はない。



図 9. 型式指定表示

なお、日本国外で使用する場合は、その国や地域の定める法律に従うこと。

9. 導入に向けた技術相談・テストのご案内

本資料でご紹介した超音波金属接合の技術が、貴社の課題解決に最適かどうか、まずはチェックしてみませんか？

- 異種金属の接合：銅とアルミなど、従来の溶接では難しい組み合わせを検討中
- 熱影響の抑制：電池や電子部品など、熱に弱い部品の近傍を接合したい
- はんだレス化：環境負荷低減や電気抵抗の低減のため、直接接合に切り替えたい

「この材質は接合できる？」「カタログ製品で対応可能か？」「専用の設計が必要か？」など、技術的な疑問に専門スタッフが回答いたします。
実機でのサンプルテストやWEB相談も承っております。まずはお気軽にご相談ください。

工法や素材の適合性を相談する

精電舎電子工業株式会社

精電舎電子工業は、超音波・高周波・レーザといった波動エネルギー技術をコアに、各種溶着・溶断装置および応用加工装置を提供するメーカーです。
複数工法を保有する強みを活かし、製品仕様や生産条件に応じた最適な工法選定、溶着形状の検討、品質向上や自動化を含めた設備提案を行っています。

SEIDENSHA

【本社】 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里 2-2-17
TEL 03-3802-5101 FAX 03-3807-6259
E-mail tokyo@sedeco.co.jp

【柏工場】 〒277-0802 千葉県柏市船戸 1-21-1



詳細な拠点情報、アクセスについては
こちらをご覧ください

本資料に関連する詳細な技術情報は、
ホームページの会員向けコンテンツにて公開しています。