

電子ビーム溶接による異種金属材料の接合

金山 宏明 Hiroaki Kanayama
カナヤママシナリー（株）

富田 正吾 Syougo Tomita
富山県工業技術センター

中田 一博 Kazuhiro Nakata
大阪大学接合科学研究所

1 はじめに

最近、多くの工業製品には高性能化、高付加価値化や軽量化の要求が高く、しかも低コスト化や高リサイクル性も同時に求められるようになってきた。したがって、重要な組立て生産技術である溶接・接合においても異種材料の接合法に対する要求が高くなっている。

異種金属材料の溶接・接合法としては、鉄鋼材料同士であれば、アーク溶接法や抵抗溶接法などがあり、材質が大きく異なる材料では拡散接合法¹⁾、摩擦圧接法²⁾やろう付法³⁾などが利用されている。

アーク溶接法などの溶融溶接法の場合、融点差や熱膨張差の大きい材料同士や溶融により脆弱な金属間化合物などが生成されるような材料の組み合わせは、溶接がきわめて困難であると考えられている。

一方、アーク熱源に比べてエネルギー密度が2桁以上も高く、溶融領域を高精度に制御可能な電子ビーム溶接法⁴⁾は、レーザ溶接法と共に異種金属材料の溶接に有望な技術であると期待されている。

本稿では、著者らが行った電子ビーム溶接による異種金属溶接の施工事例を中心に紹介する。

2 電子ビーム溶接の特徴

図に電子ビーム溶接法の概略を示す。電子ビーム溶接は10⁻²Pa以上の高真空中で陰極フィラメントの加熱により放出された電子を陽極電圧で加速させ、電磁コイルによるビームの集束や偏向の後、溶接物に照射し、母材を溶融溶接する方法である。

電子ビーム溶接では、ビーム照射により溶接部内部が局部的にかつ急激に溶融・蒸発するため金属蒸気による気孔が発生し、その気孔の爆発・沸騰により溶融金属が噴出し、ビーム孔（キーホール）が形成される。そして、電子ビームの移動により溶融金属はビーム孔の周囲の壁

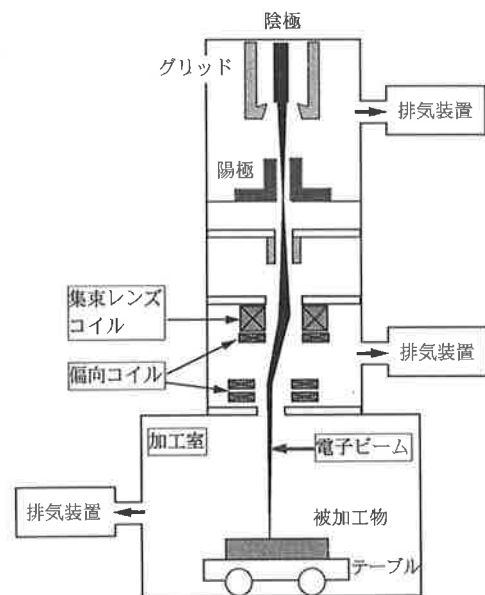


図 電子ビーム溶接法の概略

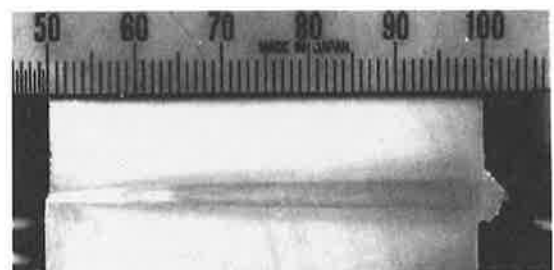


写真1 アルミニウム合金の電子ビーム溶接継手例

を伝わって後方へ移動することにより溶融池を形成し、溶接が行われる。溶融金属を後方へ送る主たる駆動力は金属の蒸発反力であると考えられており、蒸気圧の高い金属またはその合金ほど溶込みは深くなる。写真1に出力15kW（加速電圧150kV）タイプの電子ビーム溶接機による板厚50mmの5052アルミニウム合金の突合せ溶接継手の例を示す。アーク溶接のように半楕円形状をした

熱伝導型の溶込み形状と異なり、溶融幅が狭く、深い溶込み形状（キーホール型）となる。また、真空中の溶接であるため気孔の発生がきわめて少ない。さらに、電子ビームはエネルギー密度がアーク熱源に比べて高いため（1000kW/cm²以上⁵⁾、アルミニウムのような熱伝導率の高い材料や高融点材料に対しても小入熱で熱変形を抑えて溶接が行える。

したがって、融点差や熱膨張差が大きい場合や金属間化合物を生成し易い異種金属の組み合わせでも電子ビームの狙い位置や照射領域を制御し、かつ小入熱で溶融することにより異種金属溶接が可能になると考えられる。

3 ステンレス鋼と銅の溶接

写真2に304オーステナイトステンレス鋼と純銅の突合せ溶接継手を示す。熱伝導の高い銅との溶接であるため、電子ビームの照射位置をやや移動することにより溶融幅2mm、溶込み深さ13mmの継手が形成できた。この継手の引張および曲げ試験を行った結果を写真3に示す。引張破断位置は銅側であり、曲げ試験においても欠陥がなく、良好な継手が形成できたことを示した。

実施工例として写真4にドーナツ状のステンレス鋼板

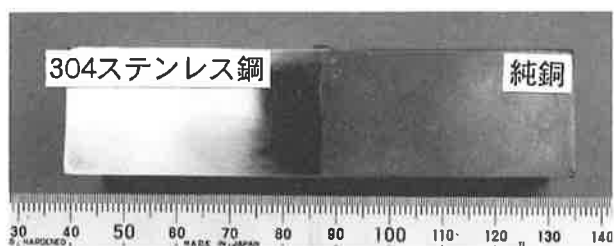


写真2 304ステンレス鋼と純銅の突合せ溶接継手



写真3 ステンレス鋼と銅の突合せ溶接継手の引張・曲げ試験片

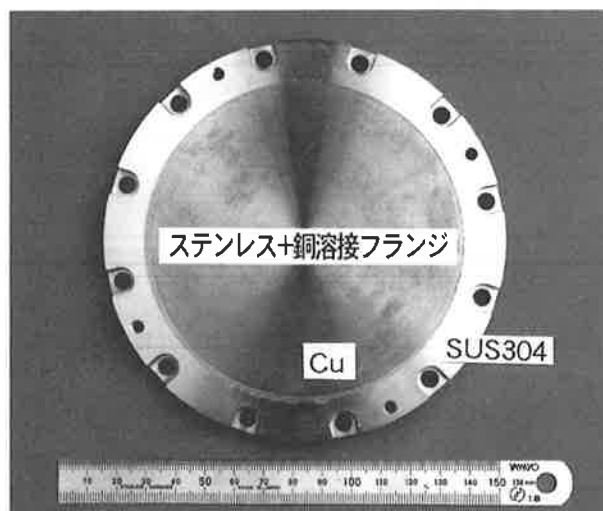
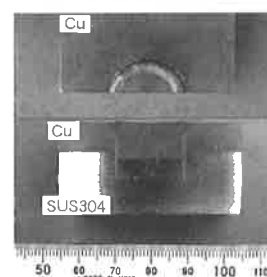


写真4 ステンレス鋼と銅の溶接によるフランジ



(a) ターゲット板の外観



(b) (a)の矢印部の溶接断面形状

写真5 ステンレス鋼と銅の溶接による液晶パネル製造用ターゲット板

の内側に銅円盤を突合せ溶接して作製した真空機器用のフランジを示す。拘束ひずみが大きくなる円周溶接にもかかわらず、小入熱で高速溶接するため割れ等の欠陥もなく施工できた。

また、写真5(a)には大型の施工例として液晶パネル製造用の水冷ターゲット板である寸法1,250mm角で厚さ45mmのステンレス板に厚さ8mmの銅板を周溶接により張り合わせた製品を示す。写真中の矢印で示した丸形状部は、接合をより確実にするため写真5(b)に示すような接合部となっている。すなわち、あらかじめ銅板に円形の穴を開けておき、ステンレス鋼板との溶接時にこの穴と同じ形状の銅円板をはめ込み、下のステンレス鋼板

と共に円周溶接を行ったものである。この製品の場合では円周溶接箇所は30数カ所以上あった。電子ビームと云えども溶接箇所が多いと熱変形も大きくなるため溶接手順や冷却方法も十分考慮する必要がある。

4 アルミニウム合金と銅の溶接

写真6はアルミニウム合金と銅の突合せ継手の例である。アルミニウムと銅の溶接では溶接部の組成によっては脆い金属間化合物(CuAl₂, Cu₉Al₄など)が生成されるため熔融組成すなわち溶込みの制御が重要となる。電子ビームではビーム照射位置とともにビーム侵入深さも制御できることから金属間化合物の生成を抑えて溶接することができた。

写真7に銅パイプとアルミニウムパイプのすみ肉円周溶接事例を示す。銅の熔融量を抑えて溶接することにより継手が形成できた。また、継手強度を得るため銅パイプはアルミニウム側に挿入することにより機械的接合も行った。この溶接部のマイクロ組織を写真8に示す。溶接金属は金属間化合物が生成していない均一な亜共晶組織となっており、割れや気孔の発生もなく良好な継手が形成できた。

アルミニウムと銅の組み合わせ以外にも脆弱な金属間化合物が形成され易い異種金属の組み合わせに対しても電子ビームの制御により溶接の可能性があると考えられるが、化学的に金属間化合物が生成しない組成範囲が狭い場合は電子ビームの制御のみでは困難となる。そこで、

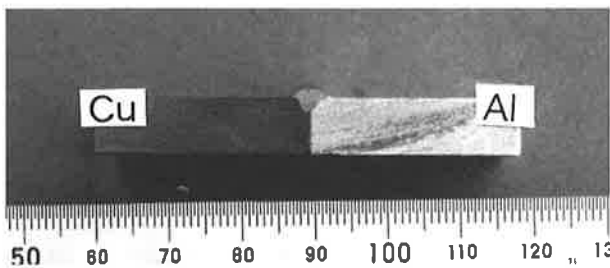


写真6 アルミニウム合金と銅の突合せ継手

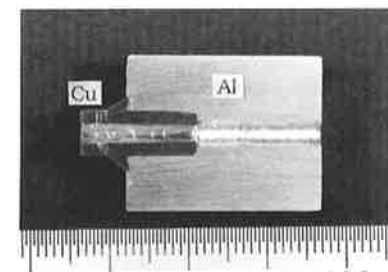


写真7 アルミニウムパイプと銅パイプの溶接施工例

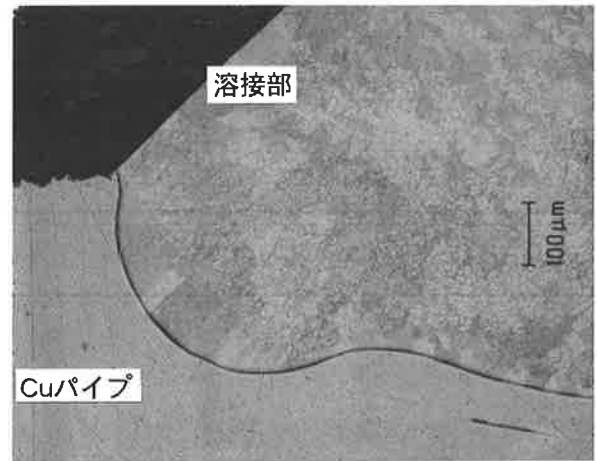


写真8 写真7の溶接部マイクロ組織

しばしば推奨される方法として両方の金属に親密性のあるインサート材料を挿入して溶接する方法がある。たとえば、アルミニウム合金と鉄鋼材料の組み合わせでは銀、すずや亜鉛がインサート材として利用されている。

5 おわりに

著者らが実験的または実際に施工した異種金属の電子ビーム溶接事例を述べてきた。上記以外にも異種アルミニウム合金同士の溶接例などがあり、電子ビーム溶接による異種金属材料の接合は増えるとともに、ますます厳しい仕様が求められる傾向にある。今後は、電子ビームの品質および制御性のさらなる向上および種々の異種金属の組み合わせにおける電子ビームとの物理的・金属学的な相互作用を解明し、異種金属溶接の適用範囲が広がることを期待する。

参考文献

- 1) 圓城敏男, 池内健二: 日本金属学会会報, 21 (1982) 12, 95
- 2) 篠田 剛: 軽金属溶接, 33 (1995) 7, 331
- 3) 川瀬 寛: 軽金属, 36 (1986) 8, 514
- 4) 溶接学会編: 「溶接・接合便覧」, 1990, 342, 丸善
- 5) 荒田吉明, 西口公之: 溶接全書2 「溶接法の基礎」, 1996, 15