

第21回青葉工学研究奨励賞



金属材料の超音波接合における 接合機構の解明

東北大学大学院工学研究科
材料システム工学専攻
助教 藤井啓道

超音波接合は、被接合体に垂直荷重を加えながら超音波振動を与えることにより、サブミリサイズの金属薄板やワイヤを接合できる技術である。最近では、様々な組合せの異種金属材料間でも超音波接合が可能であることが報告されており、工業製品の小型化・軽量化を実現する強力なツールとなることが期待されている。一般的には、周波数20～100 kHz程度の超音波振動を接合面に対して平行に印加し、加圧することによって接合が行われる。接合時には、超音波振動による摩擦によって金属表面の酸化皮膜等が破壊・分断され、新生面同士が接触することにより接合が達成されると考えられている。他の接合方法と比較すると、「エネルギー消費が小さい」、「接合時間が短い」、「薄膜等の接合が可能」等の利点があることが知られている。そのため、超音波接合によって軽金属材料と異種金属のマルチマテリアル化が実現すれば、自動車産業や電気産業等の多くの工業分野において技術革新がもたらされると期待されている。

本研究では、異種金属間の超音波接合における接合機構を明らかにするため、Al-Fe、Al-Cu、Al-Ti等の様々な組合せの超音波接合を実施した。得られた試料は、引張せん断試験による強度試験、電子顕微鏡法による微細組織解析、インプロセス温度測定と粒子法による伝熱解析等の実験や計算に用いて、接合部形成に関わる基礎物理・化学現象を明らかにした。図1は、6061アルミニウム合金と304ステンレス鋼の接合界面近傍における結晶方位マップとマップ中の各領域より得られた{111}極点図である。アルミニウム合金の接合界面近傍においては、結晶粒が1 μm以下に微細化され、ひずみの多く残る強加工組織となっている様子が観察された。また、接合界面近傍の極点図を見ると、明らかに局中心部で強度が高くなっていた。この分布は、fcc金属のせん断帯において観察される分布であり、すべり面である結晶粒の{111}面が接合面に対して平行になっていることを示唆している。つまり、超音波接合部形成には、超音波振動による微視的なせん断変形が重要な役割を果たしていると考えられる。さらに、透過型電子顕微鏡により接合界面近傍の微細組織を観察すると、アルミニウム合金表面に存在した酸化皮膜は破壊・分断され、AlとFeの新生面同士が接触することにより、厚さ数十nm程度の金属間化合物相が形成されていることが明らかになった。以上の得られた知見に基づき、図2に示す金属材料の超音波接合部形成メカニズムの物理モデルを提案した。

現在は、超音波接合の幅広い工業展開を目指して、「金属材料の3Dプリンタの開発」や「ナノ構造界面の創製による新機能の発現」のテーマにより、技術ニーズに基づいた応用研究も進めている。今後は、「超音波接合の大量積化」や「超音波シーム接合による革新的クラッド材開発」等の研究を実施し、構造材料にも展開していきたいと考えている。本研究の進展により、低エネルギーかつ低環境負荷で多種多様な材料のマルチマテリアル化が実現できれば、レアメタルに頼らない省資源型材料による安価な製品開発が可能となる。現代社会においては、エネルギー問題や資源の枯渇等の環境問題が山積しているため、「持続可能なものづくり技術」の開発が不可欠である。それを支えるキーテクノロジーとして、超音波接合のポテンシャルを最大限引き出せる研究を推進していきたいと考えている。

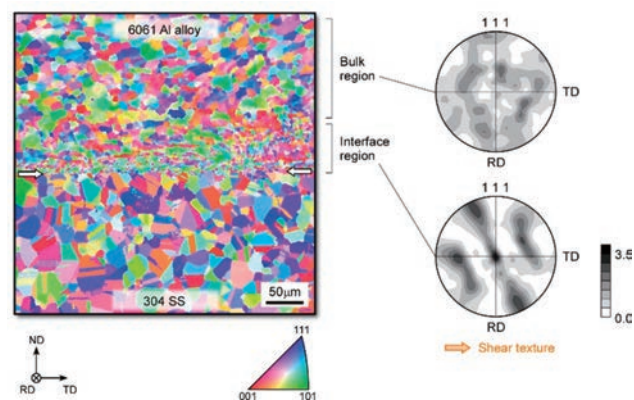


図1 6061アルミニウム合金と304ステンレス鋼の超音波接合部における結晶組織と結晶方位分布

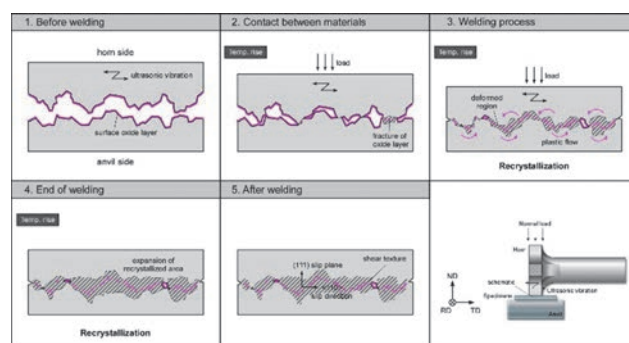


図2 金属材料の超音波接合部形成メカニズム