

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 西條 謹二

クラッド材は金属と金属を積層したものであるため、それぞれの金属の特性を最適化したものを、特性を変化させず平坦で合金層のない接合界面で積層する技術が開発できれば、従来製造困難であったクラッド材ができ、従来にない機能を付与することが可能になり、更に、クラッド材の接合界面の利用も可能になる。本論文は、このような背景から本研究は表面活性化接合法をクラッド材製造プロセスに適用し、低歪み常温接合によるクラッド材製造技術を開発し、従来に無い高機能クラッド材を供給しようとしてなされ研究成果をまとめたものである。

特に、本研究では、実用製造プロセスに適用可能な、 10^{-3} Pa 程度の真空度において、Al、Cu と鋼等の実用材料の表面活性化常温接合の研究を行い、低歪み常温接合によるクラッド材製造技術の開発ができた。

まず基礎検討として、表面活性化常温接合装置を試作し、金属の表面活性化接合に及ぼすプラズマイオンエッチングによる表面活性化処理の影響を調査した。表面活性化処理として、大型化、高速化が可能な高周波(RF)プラズマイオンエッチングを採用し、水冷電極に装着することで、常温と見なせる実験が可能となった。Ar プラズマイオンエッチングによる表面活性化常温接合試験を市販の圧延材料を用いて行った結果、 10^{-3} ~ 10^{-4} Pa の真空レベルでも実用材料の常温圧接が可能であることが明らかになった。また、常温圧接には材料の降伏強度の2~4倍の加圧が必要であり、一方で、イオンエッチング量の増加に伴い、接合強度は高くなり、表面酸化物が完全に消失すると、材料の破断に至る接合強度が得られることが明らかとなった。

また、接合性に及ぼす表面粗さの影響を調査した結果、Al、Cu の接合では、表面の吸着層および酸化物層を完全に除去すると材料破断に至る接合強度が得られるが、多結晶体で、化合物など異相も含まれるため、Ar イオンエッチングにより表面の粗さは粗くなり、接合前処理としての特別な平滑化処理は、逆に必要ないことが明らかとなった。

本研究の常温接合は 1.3×10^{-3} Pa 程度の真空度であるため、イオンエッチングにより表面の清浄化処理を行っても、残留ガスにより表面は直ちに汚染される。そこで、表面活性化処理を施した後に大気を導入し、雰囲気へ暴露したときの接合強度の変化および表面の変化を調査した。その結果、雰囲気曝露による接合強度の急激な低下は Al と Cu では異なり、接合材料の組合せにより異なるしきい値があることを、接合界面には C、O、H が検出され、接合界面には吸着あるいは酸化膜が接合時に取り込まれていることが確認された。これに基づいて、低真空下における表面活性化接合の場合表面吸着層存在下における接合モデルを提案した。

市販の凹凸のある材料を接合のために材料表面同士を完全に密着させるためには材料の降伏強度の2~4倍の加圧が必要となる。そこで、ロール圧接に Ar イオンエッチングによる表面活性化処理を適用することにより、高真空レベルで市販材のロール圧接が可能な装置を開発した。

この方法によると接合に要する圧延率は1%以下となり接合による材料特性の変化は極めて少なく、従来法では製造困難であった軟質で加工性の良いAlクラッド鋼板の製造が可能であることが明らかとなった。この方法は、Cu、Alなど軟質な金属であれば殆どの金属に接合可能であり、極薄箔同士の接合も可能で材料組合せ自由度の高いクラッド材製造プロセスであることが確認された。

本審査会では、以上の内容の詳細が、論文提出者により適切な発表資料を用いて、制限時間内に明確に行われた。予備審査の際に指摘されたいくつかの問題点、すなわち、暴露後の接合のメカニズムやクラッド装置の詳細等について、本審査では、新たな考察がされており、本論文および発表がその結果を踏まえて適切に修正されていることを確認した。

論文提出者の発表に対する質疑応答では、主に、イオン衝撃の効果、接合のメカニズム、実用への見通しなどについての議論が行われた。この過程で、本研究により、表面活性化常温接合法をクラッド材製造プロセスに適用することにより低ひずみ常温接合によるクラッド材製造技術の開発が達成された。開発されたクラッド材製造プロセスは完全ドライプロセスで環境負荷の少ない製造プロセスで、従来のクラッド材に比べ優れた性質を付与することができることがあきらかにされた。本研究は、その学問的意義も高く、また、技術の展開に貢献するなど産業界への波及効果も大きいことから、本研究で得られた工学的知見は極めて大きく、また、工学の発展に寄与するところは多大であると判定された。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。