

9 圧延純アルミニウム銅クラッド材の接合強度

Strength at bond interface of aluminum-copper clad materials by cold roll bonding

学生氏名 菅原 宏基
指導教員 吉田 健吾
指導教員 黒田 充紀

Abstract

This paper presents to evaluate the influence that the state of the clad material joint interface exerts on peel strength quantitatively. Specimen is aluminum and copper. The specimen is given by four different surface treatment methods: scratch brushing by steel and brass wire, polish by emery paper#100, degreasing. Surface roughness of the specimen is measured with 3-D shape measuring instrument. Next, after specimen stack like Al/Cu/Al, the specimen is executed of cold roll bonding (CRB) experiment and T-peel test. As a result of the CRB experiment, T-peel test and 3-D shape measurement, it has been understood that peel strength increases with thickness reduction and quantity of aluminum surface roughness. Furthermore it is confirmed that peel strength increases more than not scratch brushing by scratch brushing. It is supposed that specimen is connected on the clean surface because work hardening surface of copper may fracture the oxide film on aluminum surface.

Key Words: Aluminum, Copper, Peel strength, T-Peel test, Surface treatment, Stack, Thickness reduction

1. 緒言

原子力発電所, 圧力容器, プラントに使用される工業製品は, 過酷な使用環境下におかれるため高い耐熱性, 耐腐食性, 耐摩耗性等が求められている. そのため全ての部材を高機能材料に置換することが考えられるが, 製品の価格上昇, 難溶接の問題が発生する. 一方, 二種以上の金属板を接合するクラッド化は, 製品の一部分のみに高価な材料を使うため価格を抑えられる. また, 再結晶温度以下での接合, 難溶接材の接合が可能で, 容易に機能を向上させられる利点がある¹⁾. 特にクラッド法の一つである圧延接合法は, 既存の圧延設備をそのまま利用できるため工業的量产が容易であり, 現在多くの製品に利用されている. 構造材料としてクラッド材を用いる際, 板材は力学的負荷を受け, 接合界面がはく離する危険性がある. したがって, はく離強度の向上は必須の技術課題である. 接合界面の表面性状はクラッド材のはく離強度を支配する要因の一つであると考えられるが, その影響は十分に研究されていない²⁾.

本研究では, 接合界面の表面性状を種々に変化させて圧延接合実験, はく離強度試験を実施し, 接合界面状態がはく離強度に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とする. 供試材には同程度の変形能を有する純アルミニウムと純銅を用いる.

2. 実験方法

2.1 試験片

供試材は, 板厚1mmの工業用純アルミニウムA1050-O, および板厚1mmの無酸素銅C1020-Oである. 圧延実験用の試験片の寸法は幅20mmである. 圧延後の試験片圧延材をシャーリングで切断し, はく離試験用の試験片を作製した. 両端の接断面付近は加工硬化をしていると考えられるので1mm程を金属やすり, エメリー紙#100, #350, #600, #1000の順で用いて除去する. 最終的にはく離試験用の試験片寸法は接合部95mm, つかみ部30-40mm, 幅15mmである.

2.2 冷間圧延接合

Fig. 1に冷間圧延接合法を示す. A1050, C1020, A1050の順に3枚積層した状態で無潤滑圧延を行う. 圧延接合前の接合界面処理として, 全ての被接合面をアセトンで脱脂後, ϕ 0.3mm鋼線ワイヤブラシ, ϕ 0.25mm真ちゅう線ワイヤブラシ, エメリー紙#100のいずれか1種類で研磨する. また, 無研磨の状態についても実験を行う. なお, ワークローラ径は150mm, 圧延速度は0.75mm/sで一定とし, 実験は室温下で行う.

次に, 接合界面処理ごとの圧延条件を示す.

(1) ϕ 0.3mm鋼線ワイヤブラシ: 圧延方向に約 $4.3 \times 10^2 \text{s/mm}^2$ だけ研磨し, 再酸化を防止するため界面処理後120s以内に圧延する⁴⁾⁵⁾. A1050とC1020の平均の圧下率(板厚の減少率) R_{av} を9, 13, 30, 39, 47, 55, 63および67% (A1050の圧下率 R_{A1} は, 11,

15, 31, 40, 48, 55, 64および68%に対応する)と変化させる.

(2) ϕ 0.25mm真ちゅう線ワイヤブラシ: 鋼線ブラシの場合と同条件で圧延を行う. R_{av} を48, 57, 65および70% (R_{A1} は, 49, 60, 63および71%)と変化させる.

(3) エメリー紙#100: 圧延方向に約8-10分ほど研磨し, 研磨後はアセトンで脱脂し速やかに圧延する. R_{av} を45, 53, 61および69% (R_{A1} は, 48, 56, 64および69%)と変化させる.

(4) 無研磨: 表面処理はせず, アセトンで脱脂後速やかに圧延する. R_{av} を61% (R_{A1} は67%)で行う.

2.3 接合界面の粗さ

接合界面の圧延前の状態を定量化するため, 3次元形状測定機により材料表面の粗さを測定する. A1050とC1020の材料表面をアセトンで脱脂後, ϕ 0.3mm鋼線ワイヤブラシ, ϕ 0.25mm真ちゅう線ワイヤブラシ, エメリー紙#100のいずれか1種類で研磨したもの, 無研磨のものをそれぞれ用意する. 測定機は, 3次元形状測定機 (KEYENCE)を用いる. 測定領域は $5000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ とし, 測定ピッチを $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ とする. 測定された厚さ方向のZ軸座標値から算術平均粗さを求める.

2.4 T型はく離試験

はく離試験はJIS K6854-3, T型はく離試験を参考とする. Fig. 2に試験方法を示す. 試験片は, 圧下率ごとに ϕ 0.3mm鋼線ブラッシングで1-2枚, ϕ 0.25真ちゅうブラッシング, エメリー紙#100および無研磨で1枚ずつ作製する. 試験片はT型のつかみ部をチャックに取り付ける. その際, まず, A1050/C1020とA1050の部分でT型のつかみ部を作成し試験を行う. 試験後, もう片方の接合部A1050/C1020をT型に折り曲げ, 同様の試験を行う. 試験にはインストロン万能試験機を使用する. 荷重測定には5kNロードセルを用い, 変位はクロスヘッド移動量より算出する. 引張速度は20mm/s, サンプリング周期は200msである. 測定された荷重値を試験片の幅で正規化した値をはく離力とする.

3. 実験結果

3.1 3次元形状測定

Fig. 3に3次元形状測定結果より求めた各接合界面処理後の算術平均粗さを示す. A1050表面粗さは ϕ 0.3mm鋼線ワイヤブラシを使用した場合が最も大きく, 無研磨が最も小さかった. C1020表面粗さは ϕ 0.3mm鋼線ワイヤブラシを使用した場合が最も大きく, ϕ 0.25mm真ちゅうワイヤブラシが最も小さかった. ブラッシングである場合とそうでない場合に分割すると, A1050, C1020相互の粗さ比が類似している.

3.2 冷間圧延接合およびT型はく離試験

T型はく離試験において得られたはく離力より, クロスヘッドの変位量が10mmから60mmにおける平均値を平均はく離力と定義する. Fig. 4に平均はく離力と圧下率の関係を示す.

ϕ 0.3mm鋼線ワイヤブラシによる研磨の場合では, 圧延接合実験の内, 圧下率9%および39%は接合できず, はく離試験

は行わなかった。Fig. 4より、圧下率が高いほど平均はく離力が上昇することが分かった。特に、圧下率が55%から63%の間で、平均はく離力が約8倍ほど上昇することが確認できた。

φ0.25mm真ちゅうワイヤブラシによる研磨の場合では、全ての圧下率で接合が確認できた。Fig. 4より、φ0.3mm鋼線ワイヤブラシと同様に、圧下率が高いほど平均はく離力が上昇することが分かった。特に、圧下率が65%から70%の間で、平均はく離力が約3倍ほど上昇することが確認できた。

エメリー紙#100による研磨の場合では、圧下率45、53および61%は接合できず、69%のみはく離試験を行った。Fig. 4より、平均はく離力の大幅な増加はみられなかった。

無研磨の場合では、接合しなかった。

4. 考察

Fig. 4より、φ0.3mm鋼線ブラッシングおよびφ0.25mm真ちゅうブラッシングの場合、平均はく離力が大幅に上昇する範囲が確認できる。よって、界面処理方法ごとに特定の圧下率以上で圧延することで適切な接合を得ることが可能であると考えられる。よって、エメリー紙#100および無研磨の場合で接合強度を増加させるためには、より大きな圧下率が必要である。

Fig. 3およびFig. 4より、A1050接合界面粗さが大きいほど平均はく離力が上昇している。よって、接合界面粗さは接合強度に大きな影響があるとわかる。

Fig. 3より、C1020接合界面粗さとの比例関係は認められない。しかし、ブラッシングである場合とそうでない場合に分割すると、A1050、C1020相互の粗さ比が類似している。また、

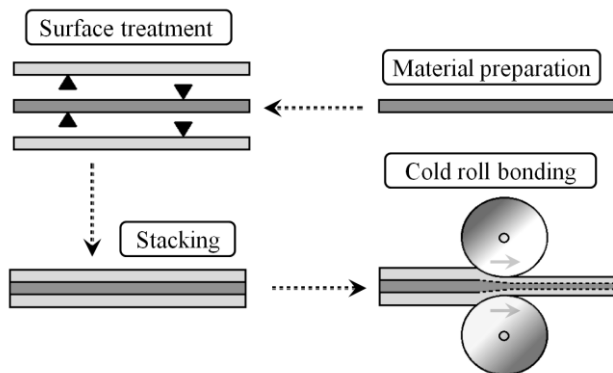


Fig. 1. Schematic illustration of the principle of CRB.

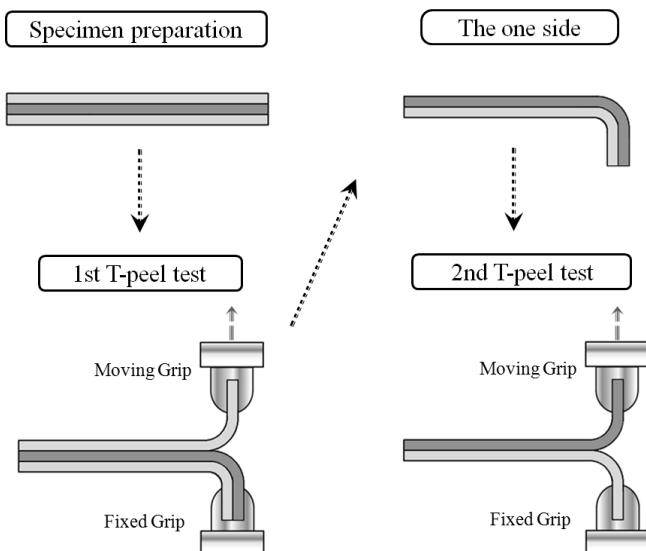


Fig. 2. Schematic illustration of T-peel test.

ブラッシングをした場合のみはく離力が大きく増大している。このことより、ブラッシングによって加工硬化したC1020界面の凹凸が、A1050界面の硬い酸化被膜を効果的に破壊したことで、より広範囲の活性面で接合できたのだと思われる²⁾。

5. 結言

主な結果は以下のとおりである。

- (1) 圧延圧下率が高いほど平均はく離力が増大する。
- (2) A1050接合界面の算術平均粗さが大きいほど、平均はく離力が大幅に増大する圧下率が小さくなる。
- (3) ブラッシングを行った場合は、行わない場合より平均はく離力が向上する。

本実験ではクラッド材を異種金属(Al/Cu/Al)で製作したが、今後、同材料同士についても同様の試験を行い接合強度の比較をする必要がある。

参考文献

- 1)H. D. Manesh, A. K. Taheri, *Materials and Design*. **24**(2003),617-622
- 2)W. Zhang, N. Bay, *Welding J.* **76**(1997),326-330
- 3)山口富子, 謝煒, 恵良秀則, 西尾一政, *軽金属*. **59**(2009),542-547
- 4)R. Jamaati, M. R. Toroghinejad, *Materials Science and Engineering*. **A527**(2010),2320-2326
- 5)M.Eizadjou, H. D. Manesh, K. Janghorban, *Materials and Design*. **30**(2009),4156-4161

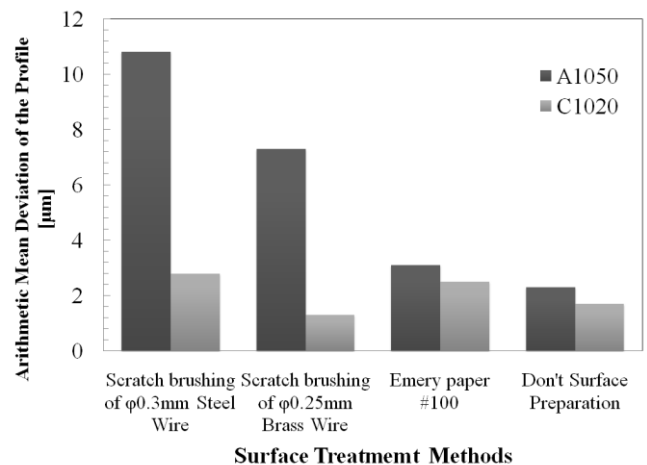


Fig. 3. Comparison of arithmetic mean deviation of the profile of each material that gives each surface treatment method.

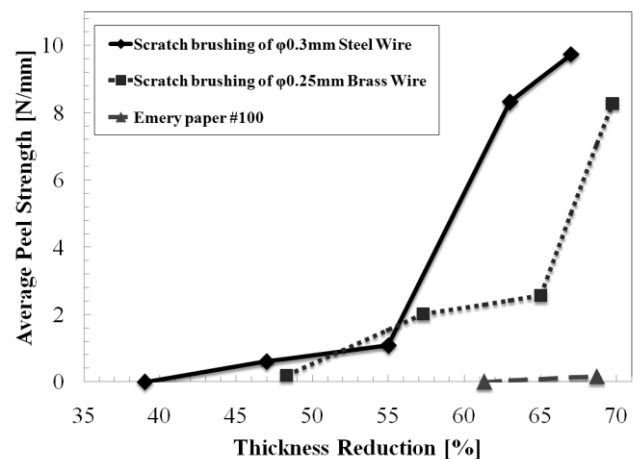


Fig. 4. Relationship between average peel strength and thickness reduction on clad specimen.