

クラッド材の接合工程の評価技術の開発

Development of evaluation method for bonding processing of clad material

材料技術部 金属・物性科 西村将志 工藤弘行
分析・化学科 杉原輝俊

応募企業は、現在引き抜き加工によるクラッド材製品の量産化に取り組んでいるが、A材とB材の接合界面が引き抜き加工の際に湾曲してしまう課題がある。そこで、ピール試験、硬さ測定、CAE解析を行い、接合工程を評価する手法を開発した。その結果、接合時の拡散温度を高くすることで接合強度が増加することが分かった。また、A材とB材の硬さの差を小さくすることが接合界面の湾曲を防ぐのに有効であることが分かった。

1. 緒言

応募企業は、現在、引き抜き加工によるクラッド材製品の量産化に取り組んでいる。図1のとおり製品はA材とB材により構成されており、引き抜き加工を繰り返して製品に仕上げるが、A材とB材の接合界面が湾曲してしまうことが課題である。

クラッド材の製造工程は大別して、洗浄、圧延、熱処理により異種金属を接合する接合工程と、穴が開いた金型に通すことで断面積を減少させ、同一断面の部材を得る引き抜き加工の2種類の工程がある。

図2は接合工程直後のクラッド材の断面形状である。この時点で既に接合界面が湾曲しているものと直線であるものが混在するため、接合界面の湾曲を防ぐためには、接合工程での対策が重要となる。

そこで、本事業では、接合工程を評価するため、接合時の拡散温度を変更した試料を用意し、ピール試験による接合強度の定量化、硬さ試験、CAE解析により接合工程を評価する手法を開発した。



図1 製品断面形状



図2 接合工程直後の断面形状

2. 実験

2. 1. 接合条件

接合時の温度条件の違いが接合強度や接合部付近の硬さに与える影響を調べるため、500℃及び750℃で拡散接合した試験サンプルを応募企業より提供いただいた。なお、750℃で拡散接合した試験サンプルについては、接合後に再度拡散炉内へ挿入し、一定時間保持後に空冷したサンプルも5種類用意した。洗浄時の脱脂や研磨、雰囲気ガス量は全て同一条件とした。以降の試験においては、圧延及び拡散炉内へ挿入時の姿勢によりA材とB材の接合面を上下に区別することとした。

試験サンプルの写真を図3に示す。接合時の温度を変えても見た目はほとんど変わらないが、炉内に30秒以上入れていると酸化により黒く変色した。外観検査は品質管理項目の一つであり、酸化による変色は好ましくない。

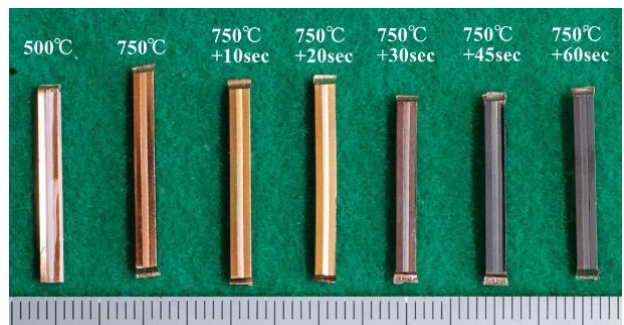


図3 試験サンプル

2. 2. ピール試験

クラッド材製品の品質評価項目として、接合強度があり、応募企業では30[N]以上を合格と判定している。接合強度を定量的に評価するため、精密万能試験機(島津製作所製AGX-20kN)を用いてB材を把持して上下に引っ張るTピール試験を行った。図4に示すとおり試験体は幅2.5[mm]、接合部の長さ

50[mm]とし、上下のB材を100[mm]引き剥がして掴み部とした。試験速度は50[mm/min]とし、接合強度はJIS Z 0237 10.4.6 方法6を参考に20[mm]から70[mm]における試験力の平均値を用いることとした¹⁾。

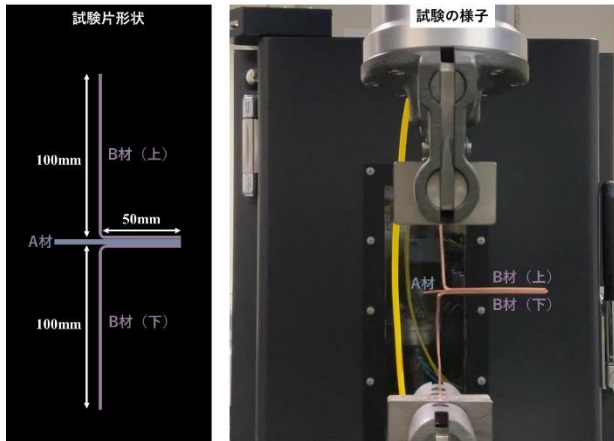


図4 試験片形状及び試験方法

2. 3. ビッカース硬さ試験

接合界面付近の硬さは、接合強度及び接合界面の湾曲に相関のあるパラメータである。図5に示すとおり、上下の接合界面近傍の硬さ試験を行った。マイクロビッカース硬度計（島津製作所製 HMV-G31-FA-D）を用いた。測定条件は、試験力50[*gf*]とし、圧痕の中心が接合界面から0.04[mm]、測定ピッチ0.1[mm]となるように位置指定した。なお、接合界面を判別しやすくするため、10%ペルオキソ硫酸アンモニウム水溶液中に60秒間浸漬させた後硬さ試験を行った。

また、全体の硬さ分布を把握するため、試験力50[*gf*]、エッジからの距離0.05[mm]、測定ピッチ0.1[mm]の長方形パターンでの硬さ試験も行い、ヒートマップとして可視化した。

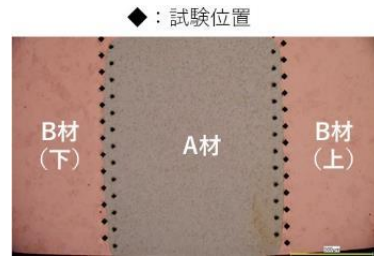


図5 試験位置

3. 結果及び考察

3. 1. ピール試験結果

図6は試験力平均値を接合条件ごとにプロットしたものである。図7は全てのサンプルのピール試験の結果を荷重-変位グラフとして重ねて示したものである。結果、接合時の温度が高いほど接合強度は高くなることが分かった。また、上部の接合面が下部よりも接合強度が高いことが分かった。上部の接合面は750℃の再熱処理が30秒保持までは強度が増加するが、それ以降は飽和した。一方で下部の接合面は750℃の再熱処理において時間の経過とともに接合強度が増加し続け、60秒保持時で上部とほぼ同じ接合強度となった。

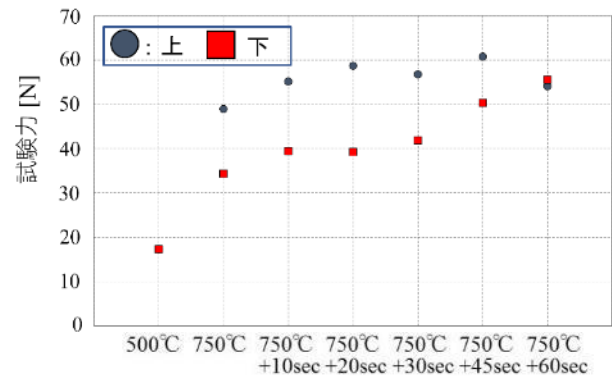


図6 ピール試験結果（試験力平均値）

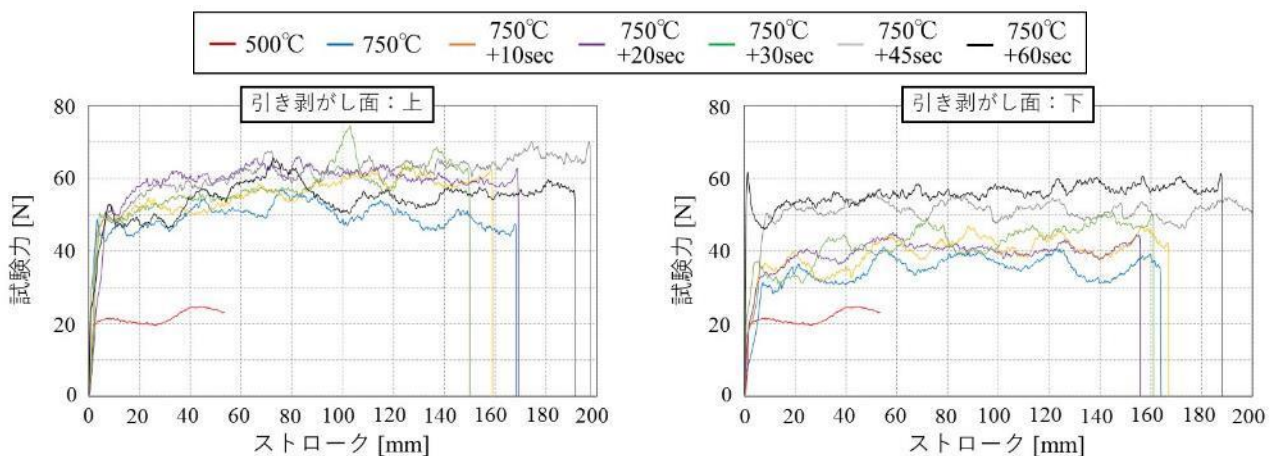


図7 ピール試験結果（荷重-変位グラフ）

3. 2. ビッカース硬さ試験結果

図8に接合界面付近のビッカース硬さ試験時の圧痕画像を示す。図9に接合界面付近のビッカース硬さの平均値を接合条件ごとに示す。

図8の500℃と750℃の画像を比較すると、接合界面の硬さ及び金属組織にはほとんど違いがないことが分かる。引張強さと硬さには相関があることが一般的に知られているが、接合界面の硬さは3.

1. 項で示した接合時の温度に比例して接合強度が高くなる傾向と異なることが分かった。保持時間の違いに着目すると、保持時間が長くなるほどA材の硬さが低下し、結晶粒度が大きくなっていることが分かった。また、A材とB材の接合界面の硬さは上下で差がないことが分かった。これは図7で示した上下の接合面で接合強度が異なるという結果とは異なる傾向であり、接合強度や湾曲に対して影響を与えるのは、接合界面付近の硬さではなく、上下のB材の硬さのバランスなのではないかと推察される。

表1にA材とB材の硬さを領域全体の平均値及び比率で示す。A材とB材の硬さの差は、A材がB材の約2.5倍、2.1倍、1.6倍のおよそ0.5倍間隔として分類できることが分かった。

これまでの研究²⁾からクラッド材製品の1/2解析モデルを作成している。本解析モデルを使用し、表1の結果を反映したCAE解析を行った結果を図10に示す。図10は幅方向変位の変化を示しており、B材の1.5倍から2.0倍では、比率が大きくなるほど青色の領域がB材側へ広がった。すなわち、A材がB材側へとハの字に変形しやすくなることを意味している。また、2.0倍と2.5倍ではさほど領域の変化は見られず、飽和しているものと思われる。そのため、接合界面の湾曲を防ぐには、A材とB材の硬さの差を小さくすることが有効であることが分かった。

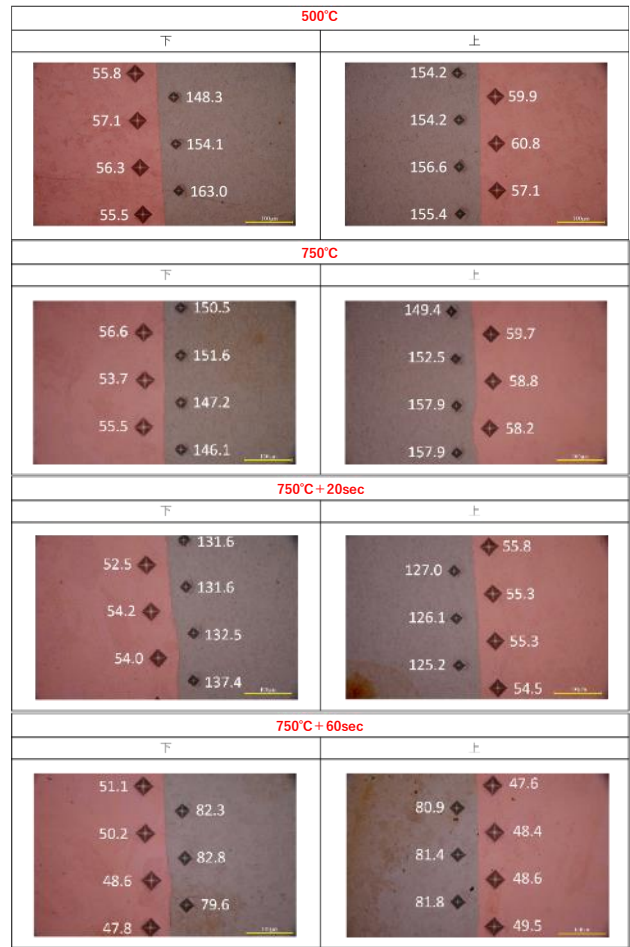


図8 接合界面付近の硬さ（圧痕画像）

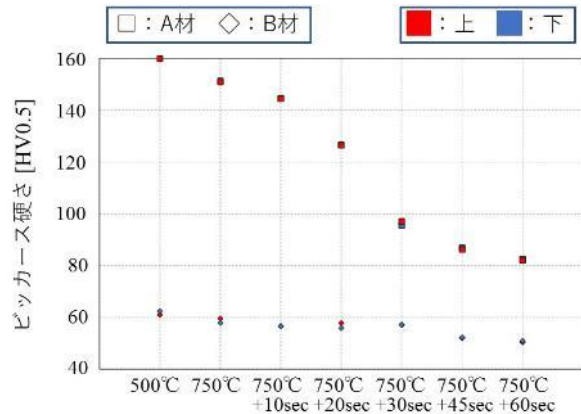


図9 接合界面付近の硬さ

表1 硬さ試験結果

	500°C		750°C		750°C +10sec		750°C +20sec		750°C +30sec		750°C +45sec		750°C +60sec	
硬さ分布と平均値 [HV]														
A材とB材の比率 (左：下部、右：上部)	2.5	2.6	2.4	2.4	2.5	2.4	2.1	2.1	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6

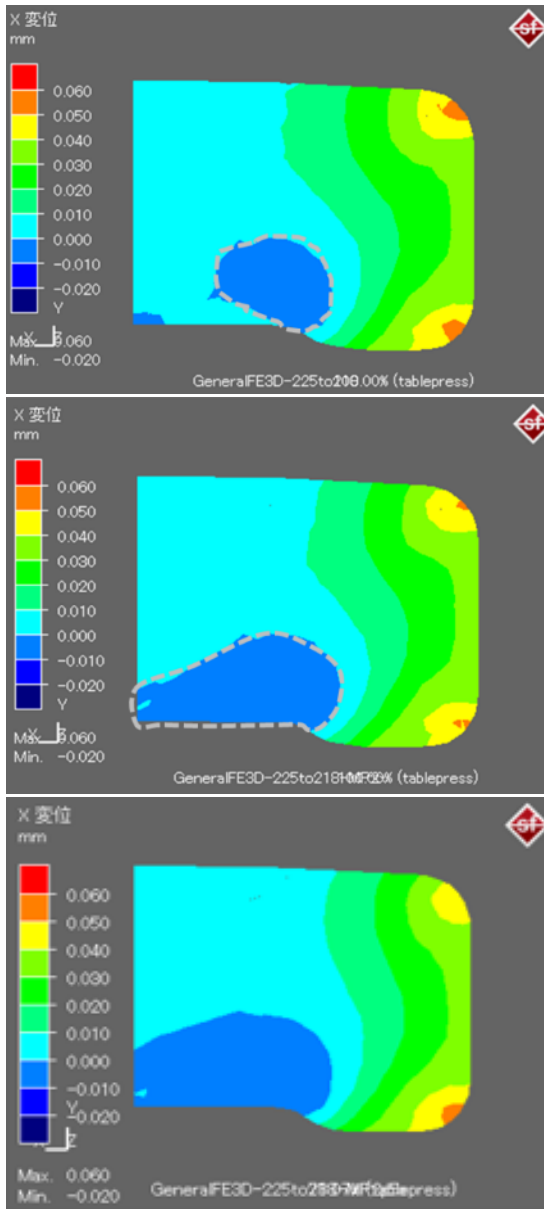


図10 A材の変形抵抗の違いによる幅方向変位の比較
(上) B材の1.5倍、(中) 2倍、(下) 2.5倍

3. 3. 接合工程の評価

接合工程の良し悪しを判断する指標として、酸化のしにくさ、接合強度、接合界面の湾曲のしにくさを設定した。評価結果を表2に示す。判定基準は表外記載のとおりとした。750°C+30sec条件がいずれの項目でも良好な結果を示しており、最適な接合条件であることが分かった。

表2 接合工程の評価

	酸化のしにくさ	接合強度	接合界面の湾曲のしにくさ (CAE解析)
500°C	○	×	×
750°C	○	○	×
750°C+10sec	○	○	×
750°C+20sec	○	○	×
750°C+30sec	△	○	○
750°C+45sec	×	○	○
750°C+60sec	×	○	○

酸化のしにくさ ○：外観の変化なし、×：酸化により黒く変色する
 接合強度 ○：30N以上、×：30N未満
 接合界面の湾曲 ○：抵抗体の硬さが2.0倍未満、×：抵抗体の硬さが2.0倍以上

4. 結言

クラッド材の接合工程を評価するため、ピール試験、硬さ測定、CAE解析を行った。これらの結果から以下の知見が得られた。

- ピール試験の結果、接合時の拡散温度が高いほうが接合強度が高くなることが分かった。また、上部と下部の接合面では上部の接合強度が高くなることが分かった。
- 拡散温度 750°Cで接合したサンプルを再度拡散炉内に挿入した場合、30秒までは接合強度が増加することが分かった。30秒以上保持すると、上部の接合強度は飽和するが、下部は接合強度が増加するため、上下の接合強度の差がなくなった。
- 硬さ測定から、接合時の温度と保持時間によりA材とB材の硬さの差が1.5倍から2.5倍まで0.5倍刻みで変化することが分かった。CAE解析により、A材とB材の硬さの比率が2.0倍までは幅方向変位が増加し接合界面が湾曲しやすくなることを確認した。
- 酸化のしにくさ、接合強度、接合界面の湾曲のしにくさで接合工程を評価した結果、750°C+30秒の条件が接合の最適条件であった。

参考文献

- 1) JIS Z 0237, 2009, 粘着テープ・粘着シート試験方法
- 2) 工藤弘行. クラッド材の引き抜き加工に関する品質管理データ取得方法の開発, 令和3年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告(2021) pp. 1-4.