

銅合金/鋼 2層材の接合強度に及ぼす要因調査

勝山 秀信* 岡田 真* 磯山 亮*

1. はじめに

株式会社折橋製作所は滑り軸受けを製造し、自動車メーカー、建設車両メーカー等に納入している。この滑り軸受けは、銅合金粉末を鋼板上に積み重ね、焼結および圧延のプロセスを経て得られる銅合金/鋼 2層材から製造される。

近年、2層材の接合強度にはある程度のばらつきが生じており、特に円筒形やフランジ状に成形する過程で、銅合金層が剥離する現象が散見している。このため、本研究では、「焼結部の組織観察やせん断強度試験」の金属分析と、「焼結炉内の状態可視化」の製造プロセスの2つの視点から、銅合金/鋼 2層材の接合強度安定化に向けた考察を行った。

2. 目的

銅合金/鋼 2層材の接合強度安定化にむけ、

- ① 銅合金層の界面近傍の金属組織と、せん断強度試験および破面観察
- ② 焼結炉内の状態を可視化するための熱流体解析を実施したので、以下に報告する。

3. 研究内容

3.1 銅合金/鋼 2層材の各成形プロセスにおける銅合金組織とせん断強度評価

各成形プロセスは「焼結→圧延→2次焼結→2次圧延→焼鈍」である。このプロセスに沿って、銅合金/鋼 2層材の、界面近傍の断面組織観察を行った。図1に、「焼結後と焼鈍後の断面組織」を示す。焼結後の銅合金断面組織には多数の空隙がみられる。一方で次のプロセスの移行とともに、空隙形状は塊状に近づき、組織がより緻密になっていた。また図2に、安定した接合強度が出ていた当時の2層材(旧製品)の断面組織を示す。旧製品では銅合金組織内の空隙は小さく、緻密な組織になっていた。

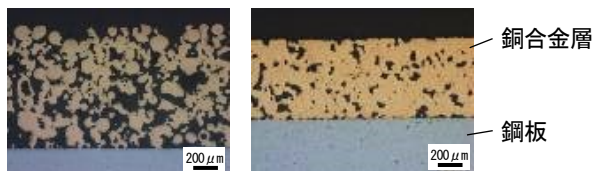


図1 断面組織（左：焼結後、右：焼鈍後）

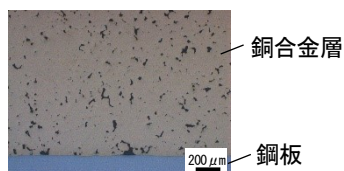


図2 断面組織（旧製品）

次に、各成形プロセスにおける銅合金層の空隙率評価のため、画像解析ソフト Image J を用いて、空隙率を算出した。また、現行品の各成形プロセスの銅合金組織とせん断強度の関係を調査するため、せん断試験を実施した。比較材として安定した接合強度が出ていた当時の2層材(旧製品)を用いた。試験片は、2層材板から20mm四方に切り出し、フライス盤でせん断試験面積10mm×8mmを残すように加工したものである。せん断試験機はインストロン万能試験機(5984型)である。銅合金層断面にせん断荷重を負荷し、せん断強度を測定した。試験速度は1.0mm/minとした。図3に、得られた各成形プロセスの空隙率と最大せん断強度の関係を示す。

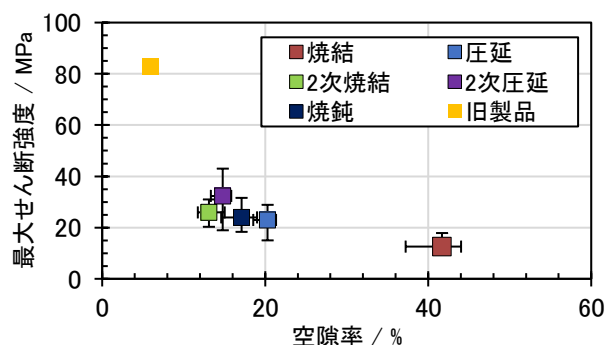


図3 各成形プロセスにおける銅合金層の界面近傍の空隙率と最大せん断強度の関係

せん断評価と組織観察により、以下が確認された。

- ・焼結後では、空隙率が40%程と著しく大きく、最大せん断強度も低い。
- ・後続のプロセスでは、空隙率が焼結後の半分以下となり、せん断強度も高くなる。特に旧製品は最も低い空隙率を示し、最大せん断強度も高い。
- ・空隙率が低いと、最大せん断強度が高い傾向を示す。

次に、せん断試験後の破面観察を電子顕微鏡にて実施した。図4に、せん断試験後の破面写真(倍率×100)を示す。

- ・破面は、粉末焼結接合特有の形態を示している。
- ・焼結後の破面では、原料粉末形状を保った状態の銅合金組織も散在していた。
- ・その後工程の圧延後の破面では、冷間圧延により圧縮された銅合金組織が確認された。
- ・旧製品の破面は、せん断方向に伸びた組織を呈しており、せん断荷重によって材料が塑性変形するとともに、破損が生じていることが示唆された。

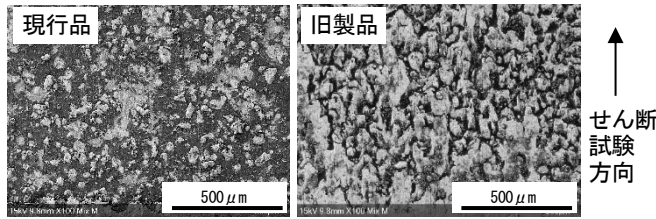


図 4 せん断試験後の破面（焼鈍後現行品・旧製品）

破面表面の元素を調査するため、SEM-EDX を用いて元素マッピング分析を実施した。図 5 に Cu 元素と Fe 元素のマッピング像を示す。鋼板側の破面に残存している銅合金層は現行品より旧製品の方が多く、界面に銅合金が強く密着していると考えられる。

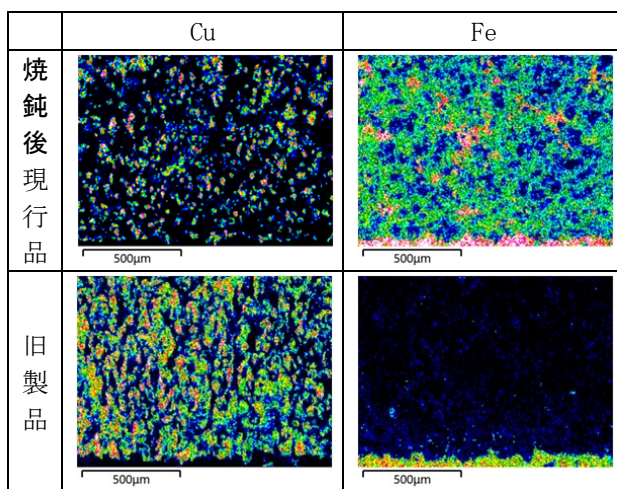


図 5 せん断試験後の鋼板側破面の元素マッピング像

3.2 熱流体解析による炉内温度の可視化

3.2.1 3D モデルの作成

2 層材の焼結プロセスにおいて、炉内温度は重要なパラメータである。ヒーター設置位置による焼結材料の温度挙動の影響を評価するため、CAE 解析により上下面のヒーターが配置された炉と上面のみヒーターが配置された炉で炉内温度の比較を行った。解析対象の 3D モデルを作成し、3DCAD データから流体領域を抽出して 3D モデルを作成し、被焼結材を模擬した銅板の 3D モデルと組み合わせ、熱流体解析を行う。図 6 に、作成した 3D モデルの模式図を示す。

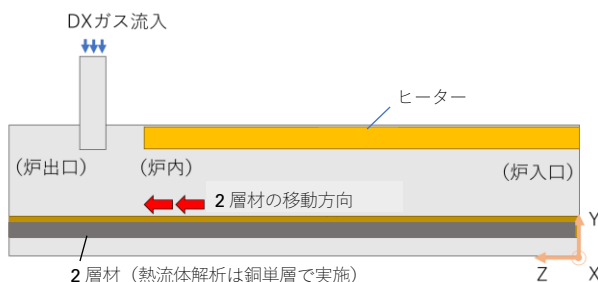


図 6 炉の 3D モデル模式図

3.2.2 ヒーター消費電力のモニタリング

炉の熱源は電気抵抗式のヒーターであり、制御用の熱電対の温度が設定値と同じ温度になるよう、ヒーターを ON/OFF 制御する。

シミュレーションを行うにあたり、熱源の消費電力から炉内に流入する単位時間当たりの熱量を算出し、壁面の境界条件とした。消費電力は、クランプ式電流測定システムにより、0.1 秒間隔でデータを取得し、係数を乗ずることで算出した。

3.2.3 解析結果

図 7 に、解析結果を示す。ヒーターが上下面に配置した炉はヒーターが上のみの炉と比べて、炉内の材料がある位置の温度が高い結果となった。ヒーターが上下面に設置されているため、温度の低いガスが炉の下部に滞留しないことが考えられる。

ヒーターの設置条件の違いが、炉内温度に影響を与えることが確認できたことは、今後の検討を進めていくうえで、一つのポイントになると考える。

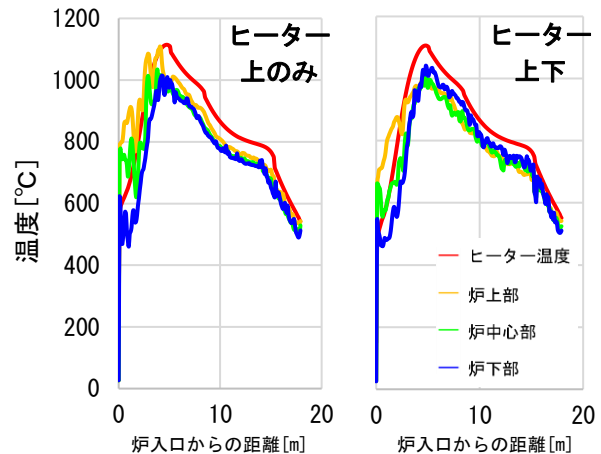


図 7 ヒーター電流のモニタリング結果

4. まとめと今後の課題

4.1 銅合金組織とせん断強度評価

- 安定した接合強度が出ていた当時の 2 層材は、現行の 2 層材よりも空隙率が低く、せん断強度も高いことが確認された。
- 各製造プロセスにおける最大せん断強度は、焼結、圧延、2 次焼結、2 次圧延の順に高くなる傾向を示し、焼鈍後は 2 次焼結後と同程度の値を示した。
- 銅合金層において、空隙率が小さく、緻密な組織を有するものは、最大せん断強度が高い傾向を示した。

4.2 熱流体解析結果

- シミュレーションの結果、炉内の材料が流れる位置の温度はヒーター上下面に配置した炉のほうが高いことが分かった。
- より精度の高いシミュレーションに向けて、焼結材には純粋な銅板ではなく、鋼と銅合金粉末を模擬したモデルを用いたり、炉壁からの熱の逃げ、焼結材の放射率を適切に設定する必要がある。