

超音波接合へのシミュレーション解析の適用による 接合条件の最適化に関する研究

機械情報システム課 羽柴利直*1、中村陽文

1. 緒言

超音波接合の生産現場への適用においては、接合条件の最適化により、十分な接合強度を得ることが求められる。現状では一般に、試行錯誤的に接合条件を変更することにより最適な条件を見出す手法が採用されているが、接合する部品の設計、材質、接合位置の変更の度に同様の作業が必要になるため、生産活動の非効率化、コストの増大につながっており、効率的な手法の確立が求められている。この手法の一つとしてシミュレーション解析による接合条件の最適化が考えられるが、超音波接合は高周波数振動の摩擦による発熱、変形現象であり、高速現象の非線形解析を必要とすることから、現実的には困難とされている。本研究では、建材、自動車等の分野への超音波接合技術の適用を視野に入れ、既報りと同様に加振材をアルミリベット、固定材をアルミ板材として、接合機から容易に得られるパラメータを用いて解析を実行するモデルを構築し、いくつかの接合試験から得られたデータから最適な接合条件をシミュレーション解析により効率的に得る手法の確立に関して検討した。

2. 実験方法

図1に示す加振材(A1070W)、固定材(A6063S-T5)を用いて接合試験を行い、接合機の機能により容易に得られるホーンの振動エネルギー(ホーンを所定の振幅で加振するために要したエネルギー)を測定し、その単位時間あたりのエネルギーである平均出力を解析に用いた。接合条件は、加圧力 400N、加振時間 0.01~8s とした。

また、この接合試験に関するシミュレーション解析モデルを構築し、上記の振動エネルギーが接合界面において摩擦熱に変わったものとして熱と歪の連成解析を行い、接合面積、接合強度に関係すると考えられる接合界面の温度変化、加振材の厚さの変化量、固定材の厚さの変化量を求めた。解析には、CAE ソフトウェアの COMSOL を用いた。これらの値と接合面積、接合強度の実測値との関係を調査し、接合条件の最適化の可能性を検証した。

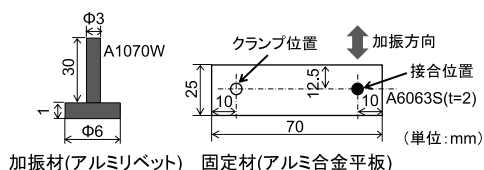


図1 加振材および固定材

3. 実験結果および考察

ホーンの振動エネルギーの測定結果から求めた平均出力を図2に示す。接合試験を行った条件においては、加振時間によらず平均出力はほぼ一定となった。このことから、加振時間によらず接合界面での摩擦抵抗、摩擦熱の発生量はほぼ一定であったと推測される。

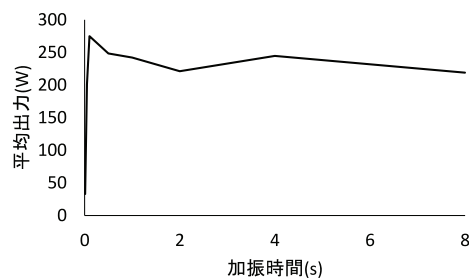


図2 加振時間と平均出力の関係

そこで、構築した解析モデルに加振時間 8s の平均出力の値を適用し、接合界面の温度変化、加振材の厚さの変化量、固定材の厚さの変化量を解析により求めた。その結果をそれぞれ図3、図4、図5に示す。接合界面の温度は加振時間 2s でアルミの再結晶温度(約 200℃)に到達し、その後も上昇を続けた。加振材、固定材の厚さの変化量は、いずれも加振開始直後の加振時間 0.05s までは急激に増加し、その後わずかに増加する傾向が見られた。

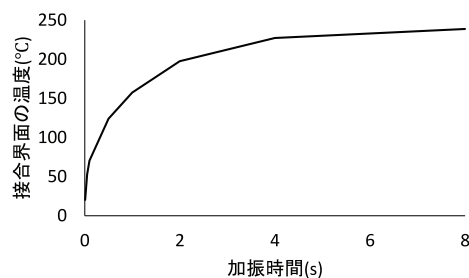


図3 加振時間と接合界面の温度の関係

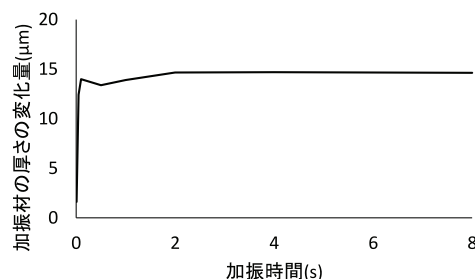


図4 加振時間と加振材の厚さの変化量の関係

*1 現 生活工学研究所

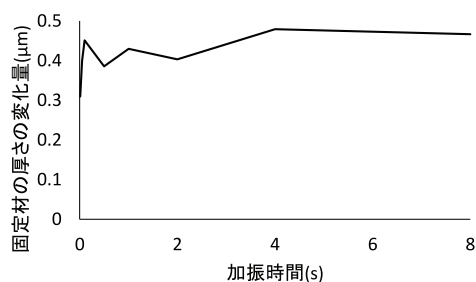


図5 加振時間と固定材の厚さの変化量の関係

加振時間と接合試験片の引張試験の結果から求めた接合面積、接合強度の関係をそれぞれ図6、図7に示す。

接合面積の実測値は加振開始直後の加振時間 0.05s までは急激に増加し、その後は緩やかに増加する傾向が見られた。これは加振材、固定材の厚さの変化量の解析結果と同様の傾向を示しており、シミュレーション解析による接合面積の評価の可能性が確認された。超音波接合では、強制的な相対運動による摩擦と摩擦熱により、接合界面において加振材、固定材の表面の酸化皮膜や汚れが除去されるとともに、塑性流動と化学的な結合が生じて接合が広がると考えられる。加振材、固定材の厚さの変化量が大きいほど両者の接合界面における微小な表面の凹凸が加圧加振により押しつぶされて接触し、摩擦する面積が大きくなるため、接合面積が大きくなると推測される。

一方、接合強度の実測値は加振時間 2s までは増加し、それ以降は減少に転じる傾向が見られた。既報¹⁾において、加圧力 400N、加振時間 2s の条件で接合した試験片の断面の分析結果から、加振材の接合界面から数 μm ~30 μm 程度の領域では、結晶粒の粗大化が確認されており、加振材、固定材の再結晶温度を超えると、接合界面付近で結晶粒の粗大化が生じ、接合強度が低下すると考えられる。接合界面の温度の解析結果においては加振時間 2 秒でアルミの再結晶温度である約 200℃ に到達し、接合強度は加振時間 2 秒でピークとなり増加から減少に転じていることから、シミュレーション解析による接合強度の評価の

可能性が確認された。

今後、他の接合条件における検証も必要であると考えられるが、これらの結果は、シミュレーション解析により接合面積、接合強度を評価し、最適な接合条件を効率的に得る手法の確立の可能性を示すものであると推測される。

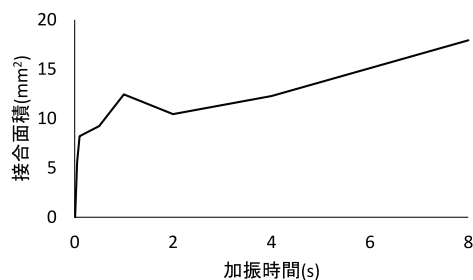


図6 加振時間と接合面積の関係

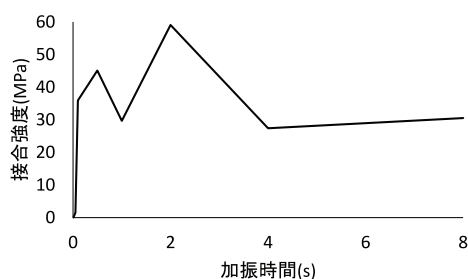


図7 加振時間と接合強度の関係

4. 結言

接合機から容易に得られるパラメータからシミュレーション解析を実行するモデルを作成し、解析により得られた値と接合面積、接合強度の関係を調査した結果、最適な接合条件を効率的に得る手法の確立の可能性が確認された。今後、他の接合条件での検証を行う予定である。

参考文献

- 1)羽柴ほか: 富山県産業技術研究開発センター研究報告, **36** (2022) 31-32

キーワード：超音波接合、リベット、シミュレーション解析、接合条件、最適化

Study on Application of Simulation Analysis to Ultrasonic Welding

Mechanics and Digital Engineering Section; Toshinao HASHIBA^{*1} and Takafumi NAKAMURA

The aim of this study is to develop practical technics for applying simulation analysis to ultrasonic welding. The model for simulation was created in order to calculate temperature and strain of the joint, and simulation analysis using the values obtained by ultrasonic welding was carried out. As a result of the simulation analysis, calculated values considered to be related to rivet joining area and rivet joining strength was confirmed.