摩擦圧接における接合面温度シミュレーション

Simulation of temperature at weld interface on friction welding

○学 吉岡 顕二 (姫路工大院) 正 瀬尾 健二 (姫路工大)
 正 日下 正広 (姫路工大) 正 木村 真晃 (姫路工大)
 正 富士 明良 (北見工大)

Kenji YOSHIOKA, Himeji Institute of Technology, Shosha 2167, Himeji-city, Hyogo-ken

Kenji SEO, Himeji Institute of Technology

Masahiro KUSAKA, Himeji Institute of Technology

Masaaki KIMURA, Himeji Institute of Technology

Akiyoshi FUJI, Kitami Institute of Technology, Kouen-chou 165, Kitami-city, Hokkaido

This report describes the simulation of temperature at weld interface on friction welding. It was observed that the jointed region was occurred at the center portion on weld interface under the experiment. The simulation was noticed the yield stress at weld interface of specimen and made the model for the jointing mechanism. The analysis of temperature at weld interface was based on the jointing mechanism and applied two-dimensional unsteady-state conduction equation. The jointed region was occurred at the center portion so that the temperature of the center portion supplanted that of the periphery (outer surface) for yield stress depended on the temperature at weld interface. Comparing with the calculated and experiment values for the temperature at axial direction of specimen, it was approved that the slope of temperature coincided well. As a conclusion it is considered that the jointing mechanism was predicted by the simulation.

Key words : Friction welding, Temperature of weld faying surface, Jointing mechanism, Two-dimension unsteady-state conduction equation, Yield stress, Friction torque.

1. 緒言

摩擦圧接法は、摩擦推力のもとで被接合材の接合面(以下、圧接面)同士を回転接触させることにより摩擦熱を発生させて接合を行う方法であり、各種産業分野で用いられている。その接合メカニズムは非常に複雑であり、明らかにされていない。このため、実際に各種材料を組み合わせて、試行錯誤により接合条件を求めているのが現状であり、良好な継手を得るための接合条件を理論的に確立することが求められている。また、接合する試験片の物性値および圧接条件をパラメータとして、圧接面温度の推定が可能になると圧接条件の選定の指針になると考えられる。そこで本研究では、接合メカニズムをモデル化し、試験片表面からの放熱および半径方向、軸方向の熱伝導を考慮して圧接面温度の解析を行った。また、軸方向の温度および摩擦トルクを解析結果と実験結果とで比較検討した。

2. 接合メカニズムのモデル化

S15CK 同種材摩擦圧接では、接合は圧接面中央部から生じるものと推測されたので⁽¹⁾、接合中の試験片の挙動を Fig.1 のようにモデル化した。まず、圧接面は①に示すように軸心部を中心とした輪の集合と考えた。①は試験片同士が接触した瞬間であり、圧接面では、②のように周速度の速い外周部において発熱量が高くなり、高温となる。ここで、Fig.2 に示すように温度の上昇にともなって、試験片の耐力が低下する。このため、圧接面では③のように外周部における耐力が摩擦推力を下回り、完全には受け持てなくなる。そこで、④のように高温部で受け持つことのできない推力分を内側の部分で受け持つこととなる。これは摩擦推力が増加したと見なすことができ、急激に発熱量が増加する。すると、⑤のように一つ内側の部分でも、耐力が摩擦推力を下回って、受け持てなくなる。これら②～⑤の状態が中心部まで繰り返され、⑥のように圧接面全体で摩擦推力を受け持てなくなる。ここで、外周部では周速度が速いものの、中央部では理論上 0 であるため、⑦のよう

Fig.1 Schematic illustration of friction welding process.

Fig.2 Relation temperature and yield stress of S15CK.

に相対速度の少ない中央部から接合が生じる。この接合部が外周部へと拡大し、最終的には⑧のように圧接面全体が接合される。その後試験片はバリを排出しながら寄り始めると考えられる。

3. 解析および実験方法

3.1 解析方法

接合メカニズムのモデル化を考慮して、圧接面の半径方向と軸方向の温度について解析を行った。そのために、発熱を圧接面での面熱源とし、試験片表面からの放熱および半径方向、軸方向の熱伝導を考慮した二次元非定常熱伝導方程式に、圧接面における熱的境界条件を用いて式(1)を算出した。

$$T = \sum_{n=1}^{\infty} (A_n + X_n) J_0(\alpha_n r) e^{-\alpha_n^2 t} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n J_0(\alpha_n r) \sum_{s=0}^{\infty} a_{ns} \cos(k_s z) e^{-\kappa(\alpha_n^2 + k_s^2)t} \quad (1)$$

ここで、 A_n , X_n , α_n , k_s , a_{ns} は係数, r は圧接面の半径[m], κ は温度伝導率 [m^2/s], z は試験片軸方向の距離[m], t は摩擦時間[s]である。

3.2 実験方法

解析と比較を行うため、供試材にはモデル化した材料と同じ S15CK 炭素鋼の丸棒を用い、旋盤により Fig.3 のように加工し実験に供した。また、固定側試験片は接合面から軸方向に 5mm, 10mm, 15mm の位置に ϕ 3.2mm の穴を開け、R 型熱電対を挿入して温度を測定した。摩擦圧接装置は摩擦トルク測定装置を取り付けたブレーキ式摩擦圧接機であり、実験において摩擦圧力を 20MPa, 摩擦速度を 27.5s^{-1} (1650rpm) と固定して接合を行った。また、接合中の摩擦トルクならびに温度データを測定した。

4. 解析および実験結果

4.1 圧接面温度

実験と同様の圧接条件を用いた圧接面半径方向の解析結果を Fig.4 に示す。圧接面において温度は外周部から中央部に向かって順に上昇していき、摩擦推力を受け持たなくなった瞬間に中央部の温度が急上昇する。このため、相対速度の小さい中央部から接合が行われたと考えられる。その後、温度は一定値に保たれるが、外周部と中央部で差が生じている。これは解析において、温度が融点に達すると耐力が 0 になると考えているためである。

4.2 軸方向温度

軸方向温度および摩擦トルクの解析結果と実験結果を Fig.5(a), (b) に示す。なお、Fig.5(a) は解析結果、Fig.5(b) は実験結果である。摩擦トルクは (a) において時間の増加にともなって A から B 点へ上昇し、極大値に達した後、急激に低下した。一方、(b) においても摩擦時間の増加にともなって A' から B' 点へ増加し、初期トルクに達した後、低下した。試験片の様相観察では、初期トルク到達後に寄り始めたので⁽¹⁾、(a) の値は初期トルクと見なすことができる。両者を比較すると、初期トルクの値が解析と実験で良く合っていることがわかる。また、解析では時間が増加するにともなって温度は上昇し、軸方向の位置が圧接面から離れるにつれ、温度の上昇傾向は減少した。実験においても、摩擦時間の増加にともなって温度は上昇し、温度の上昇傾向は解析と一致した。以上より、本研究の解析において摩擦圧接継手の温度上昇が予測できると考えられる。

5. 結語

摩擦圧接継手における接合条件の選定の指針とするために、接合メカニズムをモデル化し、温度解析を行った。その結果、解析結果と実験結果は非常によく一致した。

Fig.3 Dimension and configuration of friction welding specimen.

Fig.4 Calculated temperature at weld interface.

(a) Calculated value.

(b) Experiment value.

Fig.5 Temperature of axial direction.

6. 参考文献

- 1) 美王 他: S15CK 摩擦圧接継手における接合現象, 日本機械学会関西支部第 256 回講演会講演論文集, 984-2 (1998), 1-11 ~ 1-12