

A1050 の高温打抜き試験における 温度・速度依存性および塑性流動モデルの構築

日大生産工(院) ○成川 雅人 日大生産工 前田 将克

1. 緒言

摩擦攪拌接合 (FSW) は、Fig.1に示す様式図のごとく、ショルダーとプローブからなる回転ツールと被接合材料との摩擦熱により材料を軟化させ、ツールの回転により材料を塑性流動(材料が連続的に塑性変形することで流体のようにふるまう現象)させて接合する技術であり、自動車や鉄道車両などをはじめとする様々な分野で実用化されている。しかし、FSWはツールの回転数や送り速度など多くの接合パラメータが存在するため、適切な接合条件の選定には様々な条件下で実験を行う必要があり、多くの時間を要している。その主な要因にツールの攪拌によって生じる材料の塑性流動の解明が不十分なことが挙げられる。塑性流動はツールの通過により生じた空隙を欠陥なく充填する役割を担っており、継手強度に大きく関与するため解明が必要不可欠である。そのため、先行研究ではX線による塑性流動の可視化¹⁾など塑性流動の解明のために様々な試みがなされている。しかし、これらは特定の接合条件下における塑性流動の可視化は可能であるが、全ての接合条件での塑性流動を網羅的に予測するのは困難である。そこで、各接合条件における塑性流動の予測や実験回数の削減が期待できる流体解析を行うことで塑性流動の解明を目指している。流体解析を行うためには、材料の粘度や接合中の温度分布などが必要である。

本報告では流体解析で必要なパラメータの1つである有効粘度をA1050高温打抜き試験により得られたせん断応力ーせん断ひずみ速度曲線から塑性流動モデルを構築し、求めた。また、せん断応力ー温度曲線からA1050の有効粘度の温度依存性も評価した。

2. 実験方法

供試材は厚さ5mmのA1050-Oを長さ46.5mm、幅10mmに機械加工して使用した。Fig.2に打抜き試験で用いた治具を示す。実

験方法は供試材とK型熱電対をピンおよびサポートピン(材料のたわみ防止)で固定し、上金型と下金型の間にセットした後、電気炉で所定の温度まで加熱する。その後、打抜き試験機に取り付け、温度を低下させながら試験を行い、荷重、変位および温度を同時計測した。実験条件はTable 1の条件で行った。また、打抜きピンの寸法は長さ25mm、幅15mm、高さ23mmを使用しているため、供試材がせん断力を受ける断面積は100mm²である。

3. 評価方法

本報告で用いたA1050は400~500°Cの温度域では塑性加工によって伴う加工硬化が温度やひずみ速度で一定値に飽和することが知られている。すなわち、塑性加工によつ

Table 1 Punching test conditions.

Parameter	Symbol	[unit]	Values
Punching speed	<i>V</i>	[mm/min]	0.5,1,3,5,10
Temperature range	<i>T</i>	[°C]	400~500
Clearance	<i>X</i>	[mm]	0.015

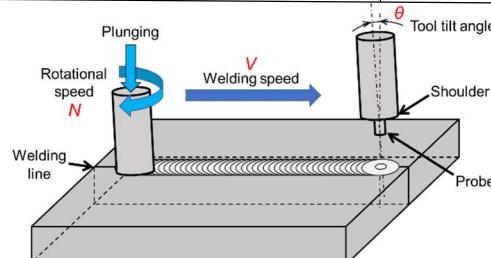


Fig. 1 Schematic diagram of FSW process.

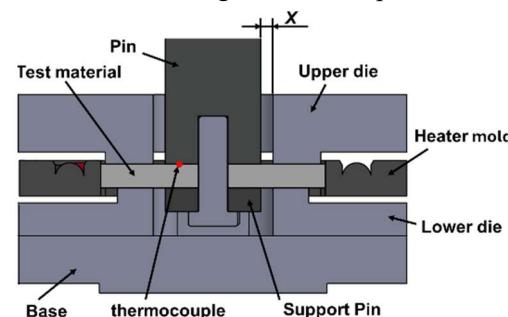


Fig.2 Schematic diagram of the punching test fixture.

て導入される転位密度上昇と回復・再結晶による転位密度減少が動的平衡に達する。このことを確認するため、試験温度403°C、打抜き速度0.5mm/minにてせん断試験を行った。実験結果は提示しないが、約480MPaに達した後、一定値を保つことが確認できた。したがって、この試験方法でせん断応力の温度依存性評価が可能なことがわかった。

(1)飽和せん断応力の温度依存性

実験で得られた荷重一変位曲線から飽和せん断応力を求め、せん断応力と温度の相関を評価した。また、1回の実験で取得できるせん断応力一温度の範囲は限られているため、温度範囲がオーバーラップするように実験を行い、せん断応力の変動係数が5%以内に収まるまで実験を行った。また、それらの値を用いて、せん断応力一温度曲線を作成した。

(2)飽和せん断応力のひずみ速度依存性

せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ [s^{-1}]は打抜き速度 V [mm/s]、クリアランス X [mm]を用いて(1)式で計算した。

$$\dot{\gamma} = \frac{V}{X} [s^{-1}] \quad (1)$$

飽和せん断応力のひずみ速度依存性は各打抜き速度におけるせん断応力一温度曲線から同一温度のせん断応力を抽出し、せん断応力一せん断ひずみ速度曲線を作成した。その曲線から飽和せん断応力のひずみ速度依存性の評価およびA1050の塑性流動モデルの構築を行った。また、温度依存性のデータをせん断ひずみ速度依存性の評価に活用可能かを確認するため、一定温度に保持した条件で各打抜き速度で実験を行い、誤差が5%に収まるかの確認を行った。

4. 実験結果および考察

Fig.3に打抜き速度0.5mm/minで打抜き試験を行った時のせん断応力一温度曲線を示す。グラフから温度上昇に伴い、せん断応力が単調に減少することが確認できた。また、400から500°Cに温度を上昇させるとせん断強度が1/3まで低下することが確認できた。

実験結果は提示しないが、飽和せん断応力の温度依存性をせん断ひずみ速度依存性の評価に活用可能かを確認した結果、誤差が5%に収まり問題ないことが確認できた。Fig.4に412°Cにおけるせん断応力一せん断

ひずみ速度曲線を示す。図からせん断ひずみ速度が0.5から $1s^{-1}$ に変化した時、せん断応力の上昇は約0.2MPaしかないが、1から $5s^{-1}$ に変化させると約4MPa上昇する。その後、なだらかに上昇していき、約11MPaあたりで収束すると予測される。また、金属材料は塑性変形が生じるまでは流動し始めたため、せん断ひずみ速度が $0s^{-1}$ の時でもせん断応力はある値を取ると考えられる。その値は0.5から $1s^{-1}$ の変化が小さいことからせん断ひずみ速度を極限まで0に近づけると約6MPaに収束すると予測される。

本報告では、せん断ひずみ速度を5条件行ったが、塑性流動モデルを構築する十分なデータ数に達していないため、正確な関数を得ることはできなかった。そのため、今後は追加のデータ取得やせん断ひずみ速度 $0s^{-1}$ 付近のデータ取得を行い、塑性流動モデルの構築を行う予定である。

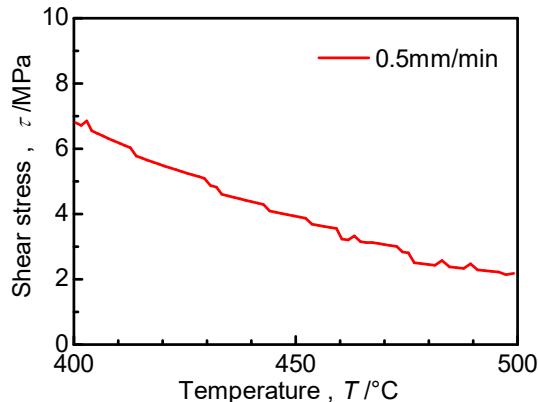


Fig.3 Shear stress-temperature curve at a punching speed of 0.5 mm/min.

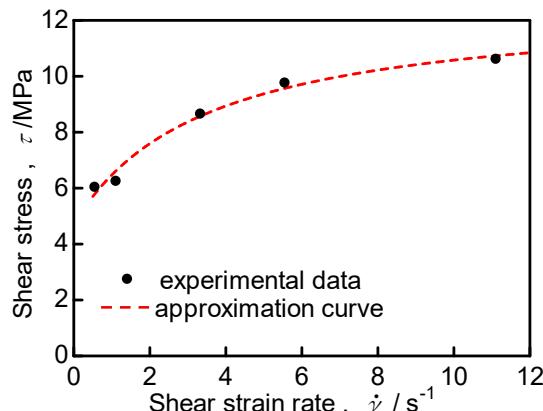


Fig.4 Shear stress-Shear strain rate curve at 412°C.
参考文献

- 1) Morisada et al. : Scripta Mater.,65(2011), 1085-1088.