

摩擦スタッド圧接を応用した板材締結とアプセット圧力の低減

日大生産工(院) ○生田 修一 日大生産工 前田 将克

1. 緒言

摩擦圧接とリベット締結法を組み合わせた技術である摩擦スタッドリベット締結法(Friction Stud Riveting: FSR)は①従来のリベット締結法で必要となる穴あけ加工が上板のみで済む, ②丸棒状のスタッド材を接合してからリベット頭部の形状に摩擦成形するためリベットの製造が必要ない, ③首下長さを自在に変更できるため, 様々な板厚に対応可能, ④片側アクセスでの接合, 等のメリットが期待できる. 著者らはこれまでに FSR の継手にせん断試験を行った結果, 上板の通し穴に充填された層状の微細化結晶粒組織 (以下, 移乗金属組織) と下板の界面で破断することを報告した¹⁾. 移乗金属組織には多数の欠陥が含まれるため非常に脆弱な機械的性質を示すが, アプセット圧力を 300 MPa にすることで欠陥の形成を抑制でき, 継手効率が向上することが明らかになった²⁾. しかしながら, 高圧力であることから本接合のメリットである片側アクセスでの接合が困難になる. そこで, アプセット圧力を下げる方法としてスタッド材の接合端部に中空構造を設けることで接触面積を減少させ, 負荷推力を下げることで有効である.

本研究ではスタッド材の接合部に中空構造を設け, FSR の第一工程であるスタッド材と下板の摩擦スタッド圧接を行い, より低いアプセット圧力で移乗金属組織の形成を抑制し, 接合が可能かを検討する.

2. 実験方法

供試材として, スタッド材には直径 10 mm の 2024BE-T4 アルミニウム合金丸棒材を長さ 50 mm に切断して用いた. また, 接合端部の接触面積を減少させ, 負荷推力を低くするためにスタッド材の接合端面側に直径 2 mm と 4 mm, 深さ 15 mm の中空構造を設け, 中実材との変化を比較した. 板材には, 板厚 3 mm の 7075P-T651 アルミニウム合金板材を用いた. また, 上板には丸棒の通し穴として, 直径 13 mm の穴あけ加工を施した. 接合条件を Table 1 に示す. アプセット圧力は摩擦圧力の 2 倍である $P_2=100$ MPa 一定にした. なお, 摩擦過程およびアプセット過程の負荷推力は, 例として円筒部内径 4 mm の場合, 摩擦過程は約 3.3kN, アプセット過程は約 6.6kN の負荷推力である. これは中実材の接合中の負荷推力の約 82.5% である. 得られた継手の評価を外観観察, 断面の組織観察, せん断試験にて行った.

3. 実験結果および考察

Fig. 1 に継手のせん断強さとスタッド材の円筒部内径との相関を示す. ばらつきがあるものの中実材と比較して, 円筒部内径 2 mm と 4 mm

Table 1 Friction stud welding condition.

Parameter	Symbol	[Unit]	Values
Rotational speed	N	[rpm]	4000
Friction pressure	P_1	[MPa]	50
Upset pressure	P_2	[MPa]	100
Friction time	t_1	[s]	0.5
Upset time	t_2	[s]	5
Brake time	t_b	[s]	0.5

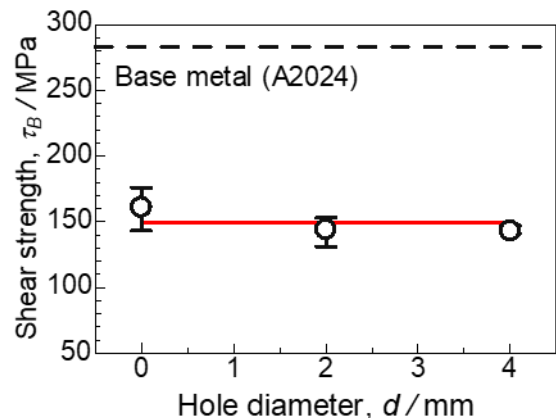


Fig. 1 Relationship between shear strength and hole diameter.

Friction Stud Welding Applied to Fasten Plates and Reduce Upset Pressure.

Shuichi IKUTA, Masakatsu MAEDA

はいずれも大きな変化は見られない。このことから、円筒部を設けたスタッドは中実材のスタッドと同等のせん断強さを示す。なお、接合中の負荷推力は中実材と比較して円筒部内径 2 mm の場合は約 5 %，円筒部内径 4 mm の場合は約 17.5 % 低減する。また、いずれも継手効率は母材の半分程度であり、スタッド材に設けた円筒部により接合面積が減少しているが、継手効率が低下していないといえる。

Fig. 2 に得られた継手の巨視的組織及び微視的組織を示す。(a)は中実材、(b)は円筒部内径 4 mm の継手である。材料から排出されるばりに着目すると(a)は外ばりとして材料が排出されている。一方、(b)は外ばりに加えて、中心に向かって内ばりとして材料が流動している事が確認できる。なお、(a)と(b)は共に外ばりによる上板の通し穴の変形は確認できない。また、(a)の場合、接合部の中心は板材の重ね代から下板側に向かって約 1 mm ほど後退している。一方、(b)の場合、接合部の中心のみ板材の重ね代から約 0.4 mm 隆起していることが確認できる。次に接合部とスタッド材の界面に着目し、微視的組織を観察する。それぞれ(c)と(d)は(a)内の接合部の外周部と中心部、(e)と(f)は(b)内の接合部の外周部と中心部の微視的組織を示す。(c)は接合部とスタッド材の界面に丸棒で示す欠陥が確認できる。(d)は欠陥は確認できない。一方、(e)は(c)と同様に接合欠陥が確認できる。(f)は接合部中に欠陥が確認できる。

Fig. 3 にせん断試験後の継手の巨視的組織を示す。(a)と(b)は共に下板に接合部が残存していることが確認できる。このことから、破壊経路はそれぞれ、(a)は Fig. 2(c)に見られた接合欠陥を起点にスタッド材と接合部の界面を通過し、(b)は Fig. 2(e)に見られた接合欠陥を起点にスタッド材と接合部の界面および Fig. 2(f)の欠陥を通過していることが推察される。また、Fig.1 より中実材、円筒内径 2 mm と 4 mm の継手効率が母材の半分程度であったことから、破壊の起点である(c)や(e)のような接合部外周の欠陥をなくすことで継手効率が向上すると考えられる。

参考文献

- 1) 生田修一ら：溶接学会全国大会講演発表概要，113(2023)，274-275。
- 2) 生田修一ら：溶接学会全国大会講演発表概要，138 (2024)，78-79。

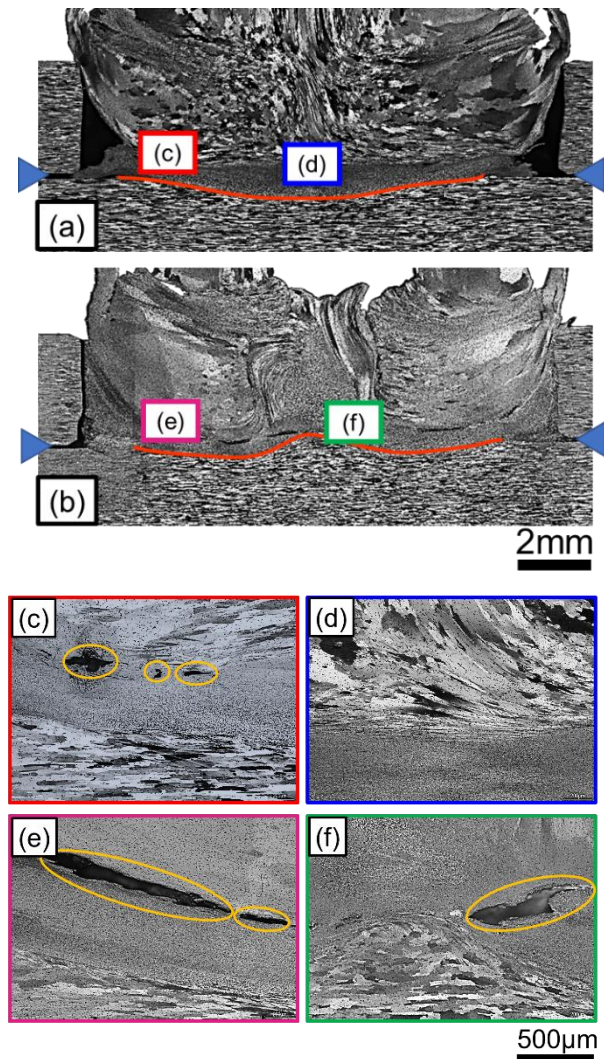


Fig. 2 Macrostructure and microstructures of joints.(a) : $d=0$ mm, (b) : $d=4$ mm

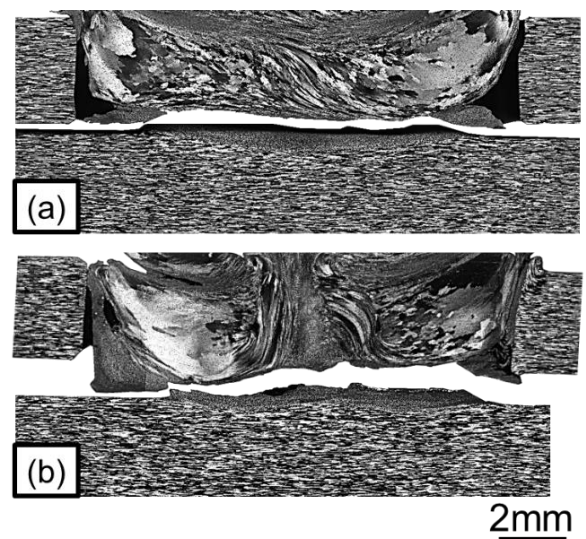


Fig. 3 Macrostructure of joints after shear test. (a) : $d=0$ mm, (b) : $d=4$ mm