

Q-20 FSW（摩擦攪拌溶接）の接合条件に、ツールの回転速度に上限があるのはなぜでしょうか？

A-20 FSW におけるツールの回転速度の適正化は、良好な接合部を形成するために欠かせない接合施工条件の一つで、その回転速度には上限があるといわれています。その理由としては、装置・ハード面での制約と限界、接合機構に起因する現象が挙げられます。

装置によって回転数限界があること、回転数を過剰に上げ過ぎるとツールが破損するなどの制約はありますが、FSW は通常数百～2000 rpm 程度で十分施工できることから、ここでは接合機構面からの理由について述べます。

Fig. 1 は FSW の原理を示したモデル¹⁾ですが、ツールの回転による摩擦熱で母材の変形抵抗が低下し、さらにその回転作用で塑性流動現象が生じる結果、攪拌によって接合がなされると言われています。この過程において接合が成り立つためには、ショルダ部の下向きの作用力 (F) がプローブ内部の圧力 (P) よりも大きいことが条件となりますが、高速でツールが回転するにつれて摩擦熱や塑性流動現象が大きくなると、 $P > F$ となり、その結果、内部の攪拌金属が外部に押し出されて健全な接合にならなくなります。

Fig. 2²⁾は、接合可能範囲の一例として A6N01

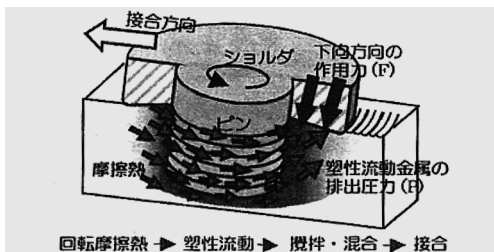


Fig. 1 FSW 接合機構モデル

-T5 4 mm 厚材の場合を示します。ツール回転数が或る範囲を超えると、摩擦熱や塑性流動による入熱過多となり、ショルダ部で抑えきれなかった攪拌金属が充填されないままバリとして排出された結果、空洞を生じた接合部となります。回転数増加による P の増加に伴い、逆に F を高めればよい、との考え方もできますが、母材に過剰な荷重が加わることで接合部が凹みなどの変形を受けることから、必要以上に F を高めることもできません。

その F が一定下の条件で、ツール回転数と接合部の到達温度との関係をたとえば Fig. 3³⁾に示しますが、母材やツールなどの条件によっては、ツール回転数（工具回転数）が上昇しても接合部の到達温度の上昇が飽和してしまいます。これは、付加された加圧力に対応する上限値以上の回

C type : Under stirring cavity



D type : Over stirring cavity

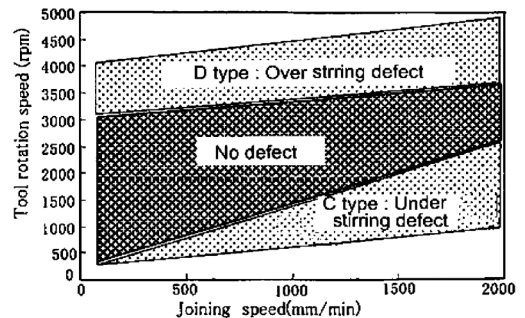
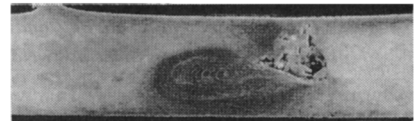


Fig. 2 6000系アルミ合金 (4 mm厚) の接合条件範囲

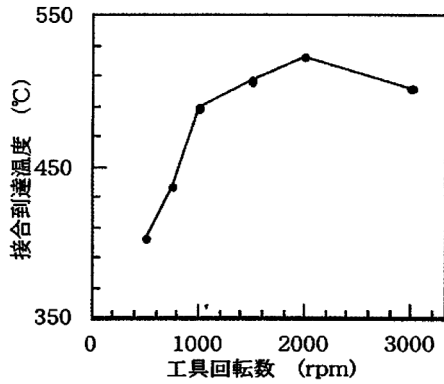


Fig. 3 回転数が接合到達温度に及ぼす影響

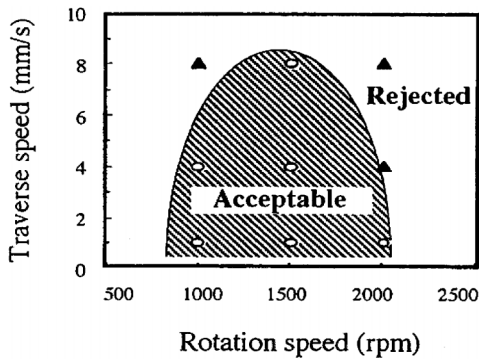


Fig. 4 A1100の接合条件範囲

回転数設定を行うと、回転速度に対し塑性流動が追従できなくなりツールと母材間にてすべりが発生していると考えられます。その結果、ツールの回転力が母材に伝達されず、ツール移動後に攪拌金属が充填される前にバリとして外部に排出され空洞を生じると考えられています⁴⁾。

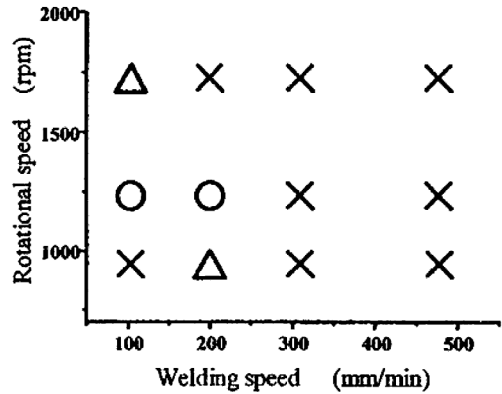


Fig. 5 A6061 (6 mm¹⁾ の最適接合条件範囲 (○欠陥無し, △微小欠陥, ×接合不良)

また、Fig. 4に A1100⁵⁾、Fig. 5に A6061-T6 6 mm 厚材⁶⁾の最適接合条件範囲の例を示す。ツールなどの条件や母材によっても最適接合条件範囲は異なりますが、いずれの場合にもツール回転速度に上限があります。

参考文献

- 1) 岡村ら：溶接技術 2003年5月号 p. 60~69.
- 2) 青田ら：溶接学会全国大会講演概要 第70集 (2002, 4), 319.
- 3) 田中ら：軽金属学会第105回大会講演概要 (2003), 55.
- 4) 長野ら：軽金属学会第112回大会講演概要 (2007), 68.
- 5) 篠田ら：溶接学会全国大会講演概要 第60集 (1997, 4), 404.
- 6) 西川ら：軽金属学会第101回大会講演概要 (2001), 5.