

УДК 621.793

## Сварка трением с перемешиванием: вызовы и решения

Царьков Андрей Васильевич<sup>(\*)</sup>

andrey.tsarkov@mail.ru

Гузов Денис Михайлович

guzevd@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

**Аннотация.** Рассмотрены современное состояние и перспективы развития технологического процесса сварки трением с перемешиванием (СТП). Представлены результаты 30-летнего применения СТП в мировой промышленности. Перечислены основные проблемы теории формирования сварного соединения и показаны возможные пути их решения. Показаны основные направления развития технологии соединения металлов в твердой фазе. С учетом экономической эффективности процесса сделано заключение о необходимости проведения систематических исследований для развития отечественных технологий СТП.

**Ключевые слова:** сварка трением с перемешиванием, механизм формирования сварного соединения, робастное проектирование

**Введение.** Несмотря на сравнительно недавнее открытие процесса СТП [1], его развитие в ряде отраслей промышленности является впечатляющим. Особенно это относится к таким областям промышленности, как аэрокосмическая, судостроительная, автомобилестроительная. В отечественной промышленности использование этого метода соединения материалов носит единичный характер. Причинам медленного внедрения СТП в нашей стране, а также путям их преодоления посвящена данная работа.

Анализ современного состояния. Внедрение в промышленное производство любого нового технологического процесса сталкивается с тремя основными видами проблем.

К первой группе можно отнести технологические проблемы (обоснованный выбор технологических режимов). Они связаны, прежде всего, с недостаточным пониманием физики процесса. В нашем случае это установление зависимости температуры, давления и характера течения металла в зоне сварки от параметров режима сварки. Многочисленные попытки прямого экспериментального изучения данных параметров не дали желаемых результатов [2, 3]. Результаты математического моделирования позволили объяснить некоторые особенности, характерные для процесса СТП (эффект угла наклона инструмента, образование «луковичной структуры», наличие расплавленного металла) [4, 5].

Второй вид проблем можно условно отнести к конструкторским. Они связаны с отсутствием в нашей стране специализированного оборудования, а, следовательно, и опыта проектирования этого оборудования. Решение данной проблемы следует начинать с проектирования конечного рабочего звена, т. е. рабочего инструмента и его держателя. Необходимо выполнять именно сов-

местное проектирование, чтобы избежать дальнейших проблем (например, чрезмерно большого теплового потока в шпиндель установки).

К третьему виду проблем можно отнести проблемы экономического характера. Говоря об экономике, мы рассматриваем исключительно случай замены одного способа сварки на другой (внедряемый). На практике в этом случае оценка экономической эффективности производится, как правило, путем сопоставления производственных затрат (в данном случае затрат на оборудование и материалы). Априори предполагается, что качество сварки будет не хуже, а зарплаты рабочих существенно не изменятся. Такой подход существенно тормозит внедрение дорого специализированного оборудования СТП.

**Закключение.** Проведенный анализ современного состояния СТП как перспективного технологического процесса показал, что для успешного внедрения последнего в отечественное промышленное производство необходимо решить ряд проблем: 1) усилить интеграцию между отдельными университетами и научными центрами по более глубокому изучению физических процессов соединения металлов в твердой фазе; 2) начать разработку собственного специализированного оборудования для СТП; 3) изменить подход к оценке экономической эффективности внедрения новых технологий.

#### **Список источников**

- [1] Thomas W.M., Nicholas E.D., Needh J.C., Murch M.G., Temple-Smith P., Dawes C.J. Friction-stir butt welding. Patent no. 9125978.8, 1991.
- [2] Masakatsu M. Temperature Field in the Vicinity of FSW-Tool during Friction Stir Welding of Aluminum Alloys. *Welding in the World*, 2013, vol. 49 (3–4), pp. 69–75.
- [3] Dialami N. Effect of the Tool Tilt Angle on the Heat Generation and the Material Flow in Friction Stir Welding. *Metals*, 2019, vol. 9, art. no. 28.
- [4] Царьков А.В. Влияние угла наклона рабочего инструмента при сварке трением с перемешиванием на распределение давления под заплечиком. *Сварка и диагностика*, 2021, № 5, с. 21–24.
- [5] Tsarkov A. Tilt Angle Effect on Friction Stir Welding Conditions. *Key Engineering Materias*, 2022, vol. 910, pp. 115–122.