

---

## ОСОБЕННОСТИ ФРИКЦИОННОГО МЕТОДА СВАРКИ ДВИЖЕНИЕМ

**В.А. Рогов, Валид Махмуд Шевах**

Кафедра технологии машиностроения,  
металлорежущих станков и инструментов  
Российский Университет Дружбы Народов  
*Ул. Миклухо-Макляя, 6, Москва, Россия, 117198*

Статья посвящена новому методу неразъемного соединения деталей — фрикционной сварке движением. Рассмотрены физические принципы процесса, оборудование и схемы процесса сварки. Рассмотрены достоинства и недостатки метода.

**Ключевые слова:** сварка, трение, металлы, сварной шов, инструмент.

Фрикционная сварка движением (ФСД) является современным методом жесткого соединения металлов. Первоначально метод был разработан для соединения встык алюминиевых сплавов, что имело большое значение при производстве летательных аппаратов. В настоящее время освоены технологии, позволяющие соединять разнообразные материалы, включая стали и полимеры.

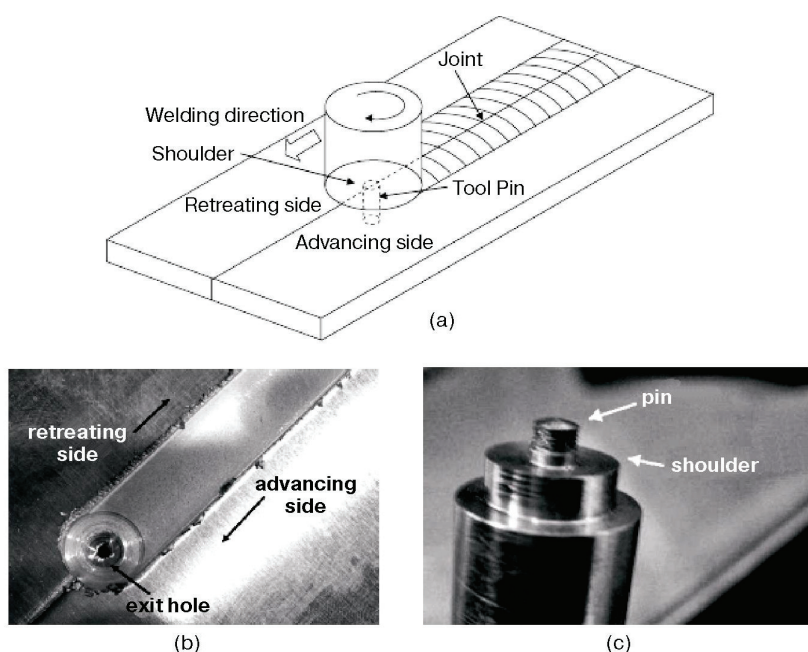
Процесс осуществляется следующим образом.

Инструмент имеет выступающий штифт, который под действием фрикционных сил и выделяемого при этом тепла внедряется между двумя стыкуемыми пластинами с защемленными кромками, как показано на рис. 1. Торцевая поверхность инструмента имеет твердый контакт с верхней стороной обрабатываемой детали. Выделяемая в процессе обработки теплота достигает значительной величины, что позволяет размягчать свариваемый материал. Направление пластической деформации и поток пластифицированного металла перемещаются в соответствии с направлением сварки. Материал транспортируется от оси вращения инструмента к его периферии, где под действием создаваемых напряжений формируется прочное соединение. На рис. 1 показано соединение встык, но такой же принцип может быть реализован и для других типов соединений, например, внахлест, угловых и многослойных.

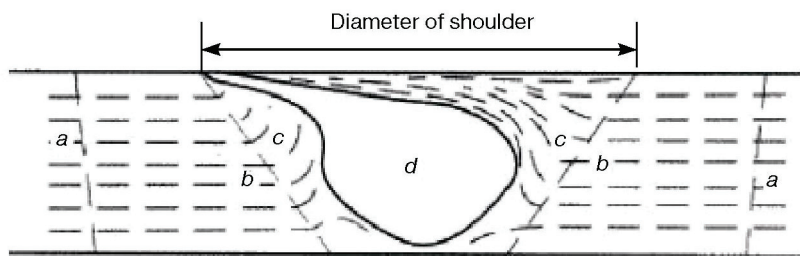
Форма поверхности инструмента может приводить к асимметрии в теплопередаче [4], потоке размягченного материала и физико-механических характеристиках получаемого шва, которые имеют тенденцию становиться более низкими в зоне термического влияния на заднем склоне. В процессе испытаний сварного шва на растяжение эта зона обычно имеет склонность к зарождению микротрещин и разрушений [5]; такая же тенденция прослеживается и при соединении листов чистого титана [6].

Начиная с открытия ФСД в 1991 г., методика подбора компонентов свариваемых материалов постоянно совершенствовалась, и первоначально метод применялся при соединении алюминиевых сплавов, а затем был распространен на другие материалы, в том числе и на труднообрабатываемые. Наиболее перспективной областью использования ФСД являются аэрокосмическая техника, судостроение, автомобилестроение и железнодорожный транспорт [7]. Метод ФСД основан на комплексном воздействии разнообразных фрикционных, термических и меха-

нических процессов, когда одновременно происходит нагревание и пластическая деформация. Взаимодействие затрагивает нагревание и скорости охлаждения, пластическую деформацию, перемещение размягченного материала, динамическую рекристаллизацию, в результате чего образуется целостное соединение [8]. Типовое сечение соединения ФСД состоит из множества зон (рис. 2) [9]. Зона термического влияния (*HAZ*) подобна аналогичной зоне в обычной сварке, хотя максимальная температура может быть значительно меньше, а источник теплоты — довольно рассеянным. Это может приводить к микроструктурам несколько отличающимся от тех, которые образуются при сварке плавлением. Центральная область, имеющая «лукообразную» форму, испытывает наиболее неблагоприятную деформацию под действием инструмента, который перемещает материал от передней стороны до задней части сварки.



**Рис. 1.** Фрикционный метод сварки движением (а);  
ФСД для листовая сварки алюминия (в);  
форма рабочей части инструмента (с)



**Рис. 2.** Схематический профиль сварки ФСД. Показаны четыре разные зоны:  
основной металл (а); подвергшийся тепловому воздействию (b);  
зона термомеханического воздействия (с); зона перемешивания (d).

Источник: [9]

### **Преимущества ФСД:**

— низкая себестоимость. Операция сварки проста, с низким энергопотреблением и устраняет потребность в дорогостоящих расходных материалах;

— высокое качество сварки, что обеспечивает возможность улучшения свойств изделий и позволяет создавать изделия с более высокими потребительскими свойствами. Метод может улучшать свойства существующих изделий и позволяет создавать множество новых конструкций, которые ранее было невозможно выполнить (например, в случае необходимости прочного соединения алюминиевых сплавов);

— гарантированное качество продукции. Процесс полностью механизирован и может управляться автоматически;

— безопасность. Операция сварки требует наличия установки фрезерного типа. Процесс обработки экологически чист и не имеет вредных выделений.

К **недостаткам ФСД** относится, во-первых, более медленное протекание процесса. По сравнению, например, с дуговой сваркой метод протекает более медленно. Во-вторых, соединяемые листы должны быть гарантированно зафиксированы. В-третьих, по окончании сварного шва в месте выхода инструмента может образовываться раковина.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] *Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C., Murch M.G., Temple-Smith P. and Dawes C.J.* Friction stir butt welding. International Patent Application no. PCT/GB92/02203, December 1991.
- [2] *Dawes C.J. and Thomas W.M.* Friction stir process welds aluminum alloys // *Welding Journal*, 75(3): 41—45, 1996.
- [3] *Thomas W.M. and Dolby R.E.* Friction stir welding developments. In S.A. David, T. DebRoy, J.C. Lippold, H.B. Smartt and J.M. Vitek, editors, 6th Int. Trends in Welding Research, pages 203—211, Materials Park, Ohio, USA, 2003. ASM International.
- [4] *Cho J.H., Boyce D.E. and Dawson P.R.* Modeling strain hardening and texture evolution in friction stir welding of stainless steel. *Materials Science and Engineering A*, 398: 146—163, 2005.
- [5] *Liu H., Fulii H., Maeda M. and Nogi K.* Tensile properties and fracture locations of friction-stir welded joints of 6061-T6 aluminium alloy // *Journal of Materials Science Letters*, 22: 1061—1063, 2003.
- [6] *Lee W.B., Lee C.Y., Chang W.S., Yeon Y.M. and Jung S.B.* Microstructural investigation of friction stir welded pure titanium // *Materials Letters*, 59: 3315—3318, 2005.
- [7] *Thomas W.M. and Nicholas E.D.* Friction stir welding for the transportation industries // *Materials & Design*, 18: 269—273, 1997.
- [8] *Su J.-Q., Nelson T.W., Mishra R. and M. Mahoney.* Microstructural investigation of friction stir welded 7050-T651 aluminium // *Acta Materialia*, 51(3): 713 — 729, 2003.
- [9] *Frigaard O., Grong Ø. and Midling O.T.* A process model for friction stir welding of age hardening aluminium alloys // *Metallurgical & Materials Transactions A*, 32: 1189—1200, 2001.

## **RECENT ADVANCES IN FRICTION STIR WELDING PROCESS**

**V.A. Rogov, Walid Mahmoud Shewakh**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Friction stir welding is a refreshing approach to the joining of metals. Although originally intended for aluminum alloys, reach of FSW has now extended to a variety of materials including steels and Polymers. This review deals with the fundamental understanding of the process.

**Key words:** welding, friction, metals, a welded seam, the tool.