



ОАО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ,
СИНТЕТИЧЕСКИХ

АЛМАЗОВ И ИНСТРУМЕНТА» (ОАО «ВНИИАЛМАЗ»)

107996, Москва, И 110, ГСП-6, ул. Гиляровского, 65

(495) факс 688-99-42, т. 681-59-07 e-mail: vnialmaz@list.ru, www.vnialmaz.ru

ОГРН 1057747180248 ИНН 7702566199 КПП 770201001

Радиальная сварка трением

Линейная и орбитальная сварка трением. Процесс линейной сварки трением (LFW) становится ключевой технологией формирования сварных соединений из трудносвариваемых материалов и может быть широко использован в ремонтном производстве. Достоинством его является также минимальная подготовка поверхностей к свариванию. В процессе возвратно-поступательного движения с частотой порядка 60 Гц и амплитудой до 3-х мм, части, подлежащие свариванию, сжимаются для образования плотного контакта. Генерируемая в плоскости сварки теплота, способствует пластической деформации приповерхностных объемов свариваемых материалов. В процессе сварки вязко-пластичные слои металла перемещаются к границам свариваемой поверхности. При этом происходит удаление окислов и загрязнений, которые могут присутствовать в зоне сварки. Короткая длительность процесса сварки (несколько секунд), обеспечивает малую зону термического влияния. Время остановки процесса возвратно-поступательного движения составляет ~ 0,2 сек. Для обеспечения точности сварки необходимо предусматривать мероприятия для устранения перекосов и погрешностей расположения свариваемых поверхностей. Процесс формирования сварного шва достаточно сложен и определяется трибологическими свойствами контакта, особенностями протекания процессов внутреннего трения и пластической деформации, а также физико-химическими и металлургическими аспектами. Известны некоторые его применения, в частности для сварки лопаток с дисками (рис. 1...3). Этот метод считается весьма перспективным для самых разнообразных деталей.

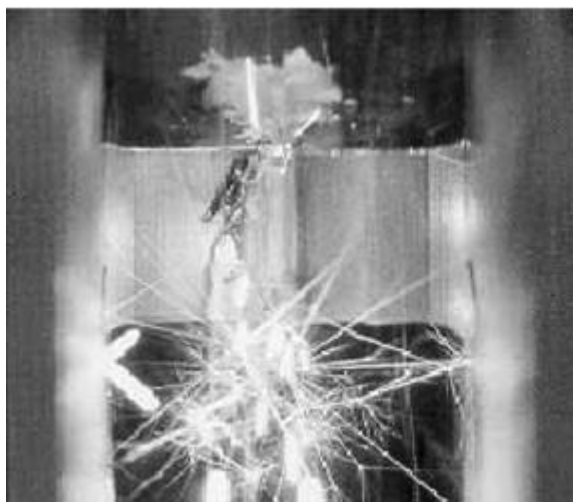


Рис.1. Линейная сварка трением и моноколесо с лопатками, приваренными линейной сваркой трением.

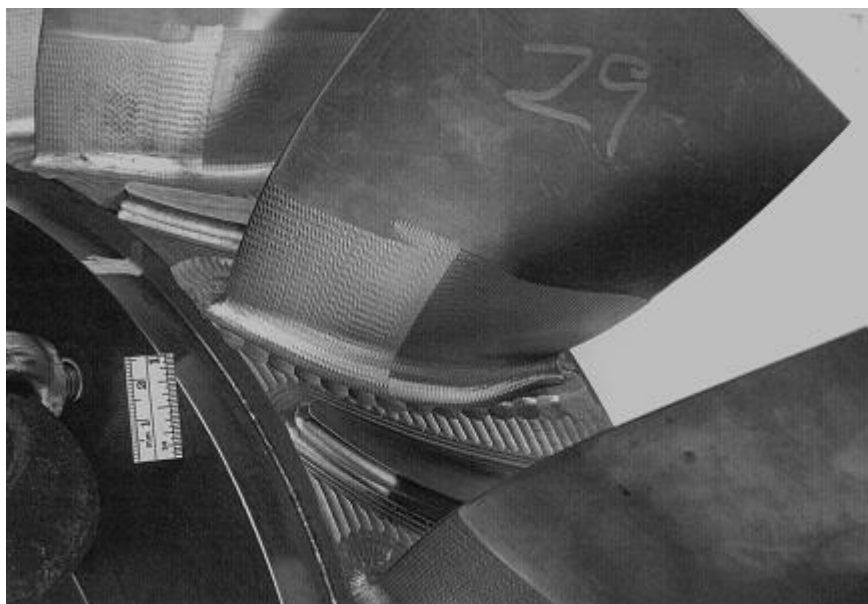


Рис. 2. Моноколесо с приваренными лопатками.

Процесс орбитальной сварки трением по достигаемому эффекту близок к линейной сварке. На практике используют две основные схемы орбитальной сварки:

- с одновременным вращением с одинаковой скоростью свариваемых элементов имеющих параллельные оси вращения (рис. 4, б);
- с орбитальным движением одного из свариваемых элементов (рис. 4, в).

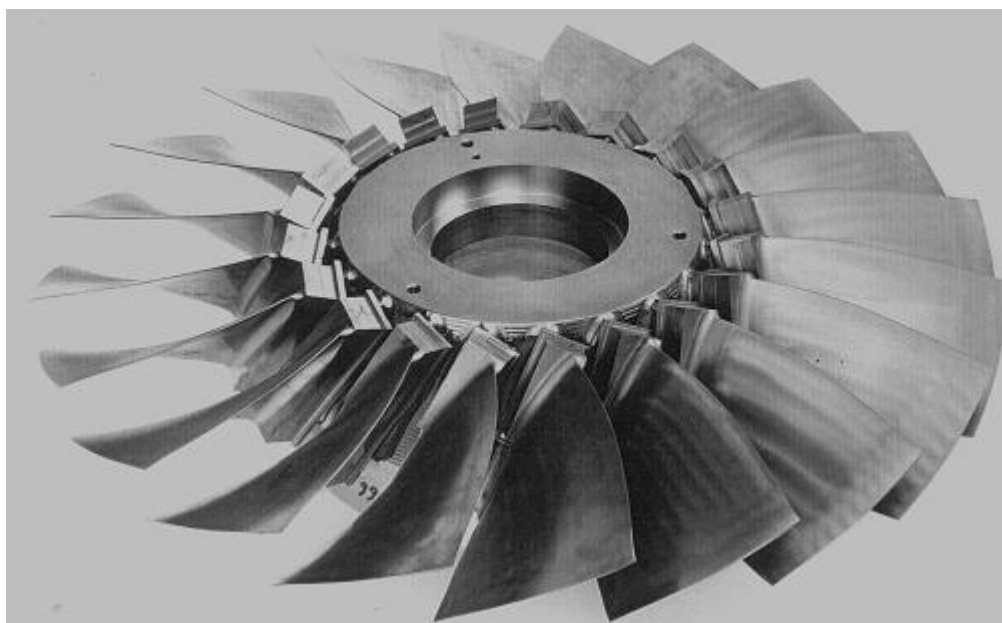


Рис. 3. Моноколесо с приваренными лопатками.

Процесс орбитальной сварки трением по достигаемому эффекту близок к линейной сварке. На практике используют две основные схемы орбитальной сварки:

- с одновременным вращением с одинаковой скоростью свариваемых элементов имеющих параллельные оси вращения (рис. 4, б);
- с орбитальным движением одного из свариваемых элементов (рис. 4, в).

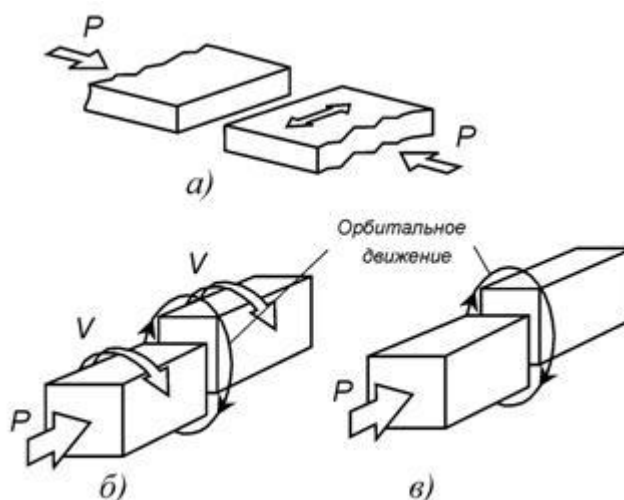


Рис. 4. Линейная (а) и орбитальная (б, в) сварка трением.

На рис. 5 показаны типы сварных соединений, которые могут быть получены орбитальной и линейной сварками трением.

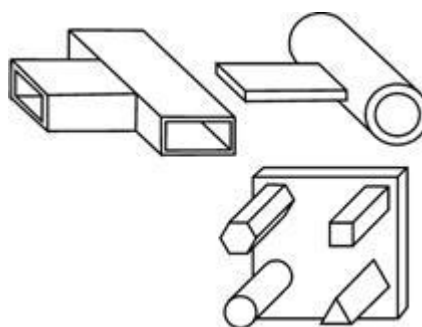


Рис. 5. Типы сварных соединений, которые могут быть выполнены орбитальной и линейной сварками трением.

Штифтовая сварка трением (Friction Stitch Welding или Friction Stud Welding) имеет определенные преимущества при сварке под водой и конструкций, для которых трудно использовать обычную, например, дуговую сварку. Схема этого процесса приведена на рис. 6. Предварительно сверлится отверстие, в которое с осевой нагрузкой вводится вращающийся штифт из того же материала, что и свариваемые детали. Фрикционная сварка начинается с момента касания штифтом дна отверстия. В результате нагрева, внутреннего трения и пластической деформации поверхность трения быстро перемещается вверх по отверстию, пока пластифицированный материал полностью его не заполнит. Процесс сварки имеет длительность цикла 5...20 секунд, в зависимости от толщины материала. Последовательно повторяя описанные действия, формируют шов, показанный на рис. 7. На этом же рисунке приведены применяемые формы отверстий и штифтов. Эта технология разработана в компании TWI (Кембридж, Англия).

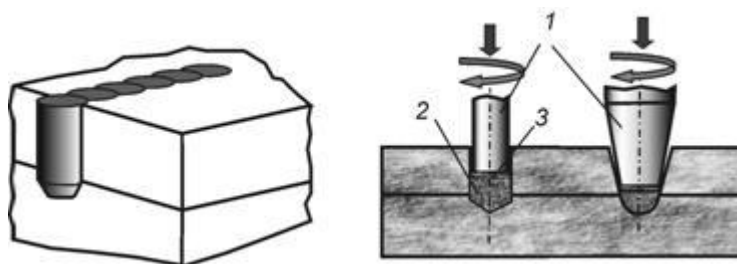


Рис. 6. Схема штифтовой сварки трением: 1 – штифты цилиндрической и конической формы; 2 - перенесенный с штифта материал; 3 – зона термопластической деформации.

Штифтовая сварка считается весьма перспективной для ремонтного производства, в частности, для заварки трещин. Разновидность этой сварки, используемая для залечивания дефектов известна как Friction Hydro-Pillar Processing (FHPP). Она заключается в высверливании отверстия в месте дефекта с последующим заполнением (заваркой) его по описанной технологии.

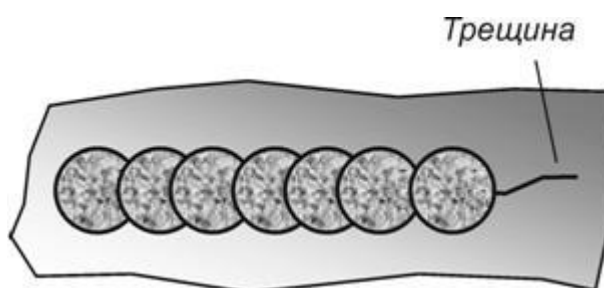


Рис. 7. Схема «залечивания» трещины использованием технологии FHPP.

Этот способ сварки трением используют для подводной сварки конструкций с использованием специальных устройств и подводных роботов.

Перемешивающая сварка трением в ОАО «ВНИИАЛМАЗ».

Несмотря на кажущуюся простоту, процесс перемешивающей сварки трением в действительности сложен и многообразен. В нем взаимодействуют такие явления, как тепловыделение при трении, образование и разрушение металлических связей между сопряженными поверхностями инструмента и свариваемых заготовок процессе их относительного движения, быстрый нагрев и охлаждение объемов металла при больших давлениях, пластическая деформация, деформационное упрочнение и рекристаллизация металла, диффузия и др.

Процессы перемешивающей сварки трением мало исследованы. Однако уже выполненные исследования позволяют представить качественную картину явлений, происходящих в стыке при сварке.

Как уже указывалось выше, перемешивающая сварка трением является сложным многофакторным процессом сложным для математического описания и моделирования. Основными факторами процесса являются:

- Механизм генерирования теплоты. Очевидно, что значительная часть теплоты образуется не за счет внешнего трения на границах инструмента, а в результате внутреннего трения перемешиваемых и переносимых слоев материала. Характер внутреннего трения

взаимосвязан с тепловыделением, распределением температуры и механическими свойствами свариваемого материала при действующих температурах.

- Механизм переноса материала. Разогретый и пластифицированный материал при вращении инструмента переносится за инструмент и «утрамбовывается» опорной частью инструмента.

Моделирование процесса перемешивающей сварки трением выполнялось с использованием приложения COSMOSFloWORKS.

CosmosFloWorks предназначен для:

- проведения расчетов силового (стационарного или нестационарного) воздействия текучей среды, движущейся относительно некоторого твёрдого тела, на это тело или его элементы (на конструкцию или её элементы);
- расчёта воздействия (стационарного или нестационарного) твёрдого тела на текучую среду;
- расчёта воздействия различных физических факторов на состав и направление движения текучей среды.
- решения задач сопряжённого теплообмена;
- определения эффективности нагрева или охлаждения текучей среды твёрдыми телами;
- расчёта движения твёрдых или жидких частиц в рассчитанном поле течения газа.

Данная программа использовалась для определения результата воздействия твёрдого тела (инструмента) на вязкопластичную среду (свариваемый материал), а также для решения задач теплообмена между материалом, инструментом и оснасткой.

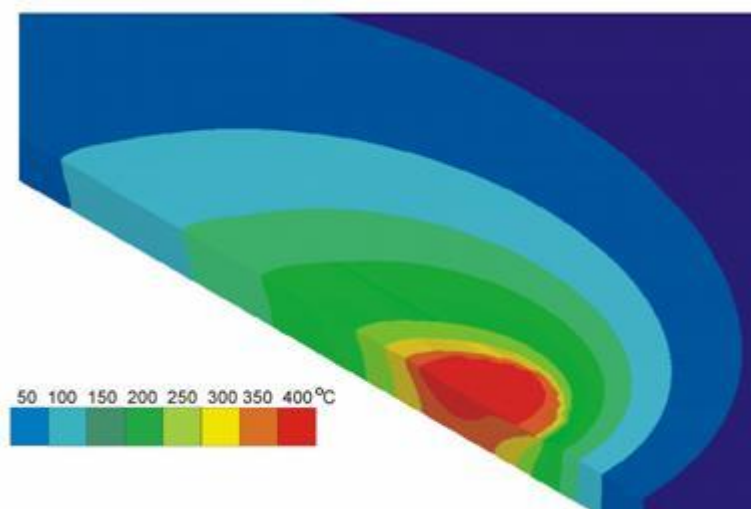


Рис. 8. Поле температур при сварке алюминиевого сплава АМГ-6 толщиной 6 мм: $R_0 = 12$ мм, $R_p = 3$ мм, $n = 600$ об/мин; $v = 350$ мм/мин.

Было установлено, что с использованием разработанной методики, могут быть выполнены силовые и тепловые расчеты процесса, оценены размеры зоны сварного соединения и даны рекомендации по форме и размерам сварочного инструмента.

На основе использования этой методики в дальнейшем были определены параметры инструментов для сваривания различных материалов и изделий разной толщины.

Другой важной проблемой является разработка критериальных зависимостей позволяющих использовать экспериментальные результаты, полученные при сварке малоразмерных образцов для проектирования процессов сваривания конкретных изделий другой толщины и из других материалов с учетом масштабных факторов и коррекций технологических режимов. Такие задачи решаются с использованием теории подобия, в частности р-теоремы подобия. Был установлен ряд расчетных критериев, являющихся ноу-хау разработчиков, позволяющих решить эту проблему. Особую важность она имеет при разработке нового промышленного оборудования и расчета его необходимых технических показателей.

Ниже показаны фотографии образцов со сварными швами, полученными во ВНИИАЛМАЗ перемешивающей и точечной сварками трения.

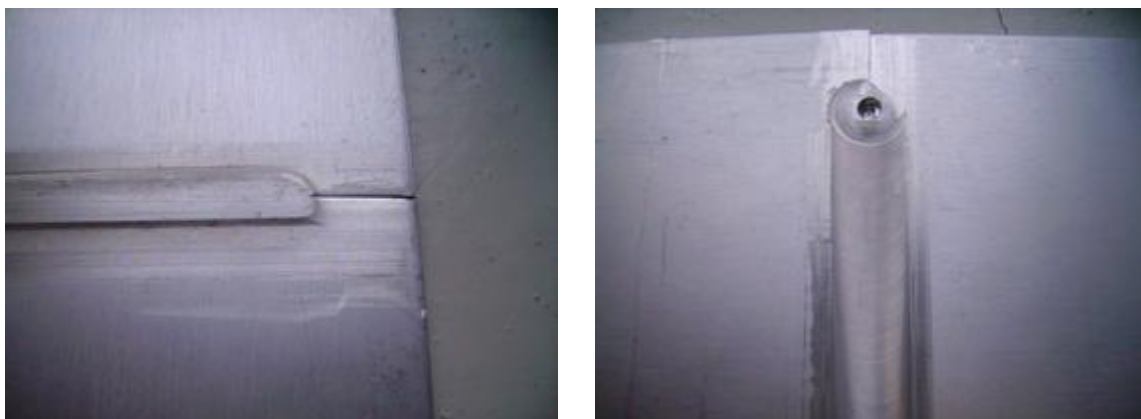


Рис. 9. Образцы сплава АМГ6 толщиной 4 мм сваренные перемешивающей сваркой трением. Слева с лицевой стороны, справа с изнаночной.



Рис. 10. Образцы из листового материала толщиной 1 мм из алюминиевого сплава АД1 (слева) и ст 20 (справа).



Рис. 11. Образцы из титанового сплава ВТ20 (слева) и никелевого сплава ХТ77ТЮР толщиной 1,5 мм, сваренные точечной сваркой трением.



Рис. 12. Образец из алюминиевого сплава АМГ6 толщиной 1,2 мм, сваренный точечной сваркой трением.

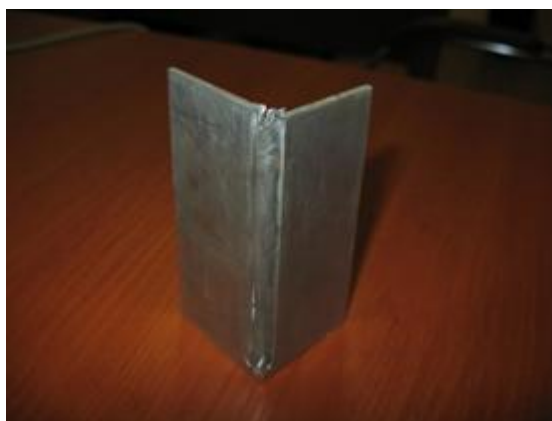


Рис. 13. Стальной лист (ст. 20) изогнутый по шву.



Рис. 14. Стальной лист (ст. 20) изогнутые поперек шва.



Рис. 15. Сваренный и изогнутый стальной лист.

Для выполнения перемешивающей и точечной сварки трением использовался предварительно спроектированный специальный инструмент.

Материал инструмента выбирался в зависимости от свариваемого материала. Для сварки алюминиевых сплавов использовался инструмент, изготовленный из быстрорежущей стали Р6М5. Для сварки титановых сплавов, никелевых сплавов, сталей применялся твёрдый сплав ВК8 и инструменты с пином из кубического нитрида бора.

Проектирование конструкции инструментов осуществлялось в системе автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks. Выполнялось создание 3D моделей инструментов.

При проектировании особое внимание уделялось рабочей части инструмента, так как она является наиболее напряжённым элементом конструкции.

Полученные 3D модели подвергались прочностному анализу в приложении SolidWorks – COSMOSWORKS.

Благодаря возможностям CAD и CAE систем удалось разработать оптимальные конструкции, способные выполнить задачи сварки соединений различного типа.

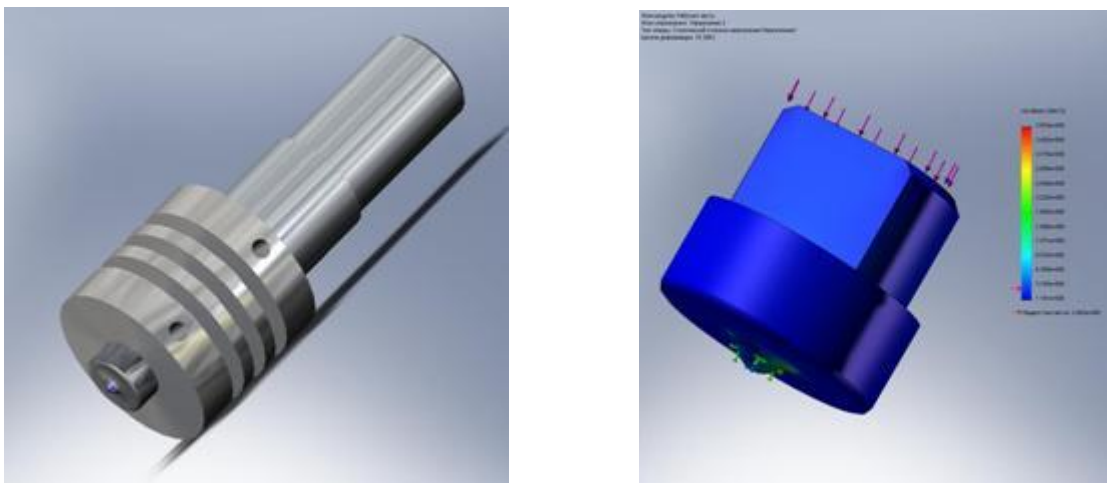


Рис. 16. Твёрдотельные модели инструментов для сварки трением, разработанные в системе SolidWorks.



Рис. 17. Инструмент из твёрдого сплава WC6M для перемешивающей сварки трением алюминиевых сплавов толщиной 4 мм.

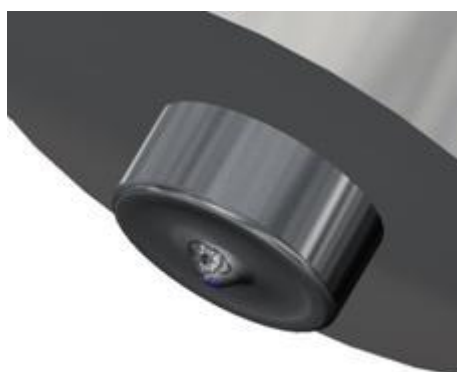


Рис. 18. Инструмент из кубического нитрида бора для перемешивающей сварки трением встык тонких стальных листов.