



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](mailto:vnialmaz@list.ru), [www.vnialmaz.ru](http://www.vnialmaz.ru)

ОГРН 1057747180248 ИНН 7702566199 КПП 770201001

### **Ротационная сварка трением**

**Ротационная сварка трением** (рис. 1) является наиболее распространенным и разработанным способом. Она основана на тепловыделении при трении торцевых поверхностей имеющих общую ось вращения и применяется для сваривания деталей из различных материалов имеющих формы цилиндров и труб.

Процесс сварки может быть представлен в виде нескольких последовательных стадий:

а) Свариваемые элементы устанавливаются в патрон шпинделя и стационарный зажим. Если у свариваемых деталей нет общей оси симметрии, используются специальные приспособления.

б) Устанавливаются требуемые частота вращения шпинделя, величина осевой силы и производится сближение свариваемых элементов. Начинается процесс сварки. С ростом температуры снижается сопротивление металла деформации, а под действием сжимающей силы происходит вытеснение металла из стыка.

в) Эти условия поддерживаются определенное время, пока не будет достигнута требуемая температура для сварки данных материалов. Вращение шпинделя прекращается и увеличивается осевая сила, действующая до окончания процесса сварки.

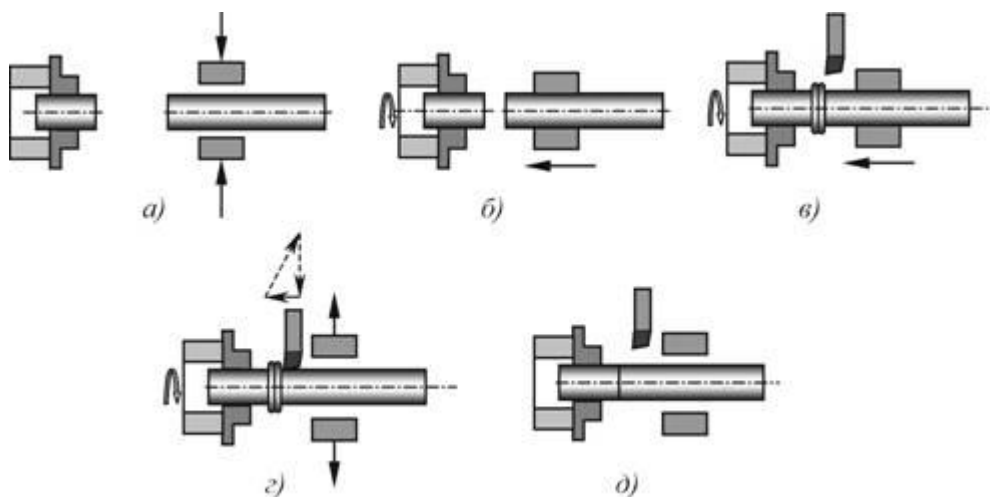


Рис. 1. Стадии ротационной сварки трением.

г) Если машина для сварки оснащена дополнительным токарным суппортом, выполняется точение зоны сварного шва.

д) Сваренное изделие снимается со станка.

Применение ротационной сварки трением ограничивается формой сечения свариваемых деталей. Как минимум один из свариваемых элементов должен представлять собой тело вращения (стержень, трубу), ось которой совпадает с осью вращения, а другой иметь плоскую поверхность, перекрывающую торец сопряженной детали.

Основные типы сварных соединений, получаемых ротационной сваркой трением показаны на рис. 2.

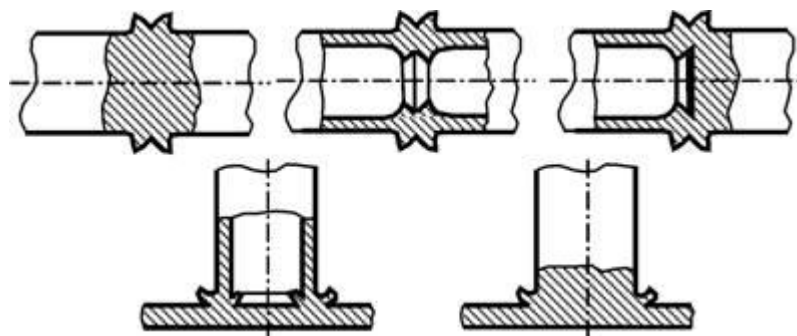


Рис. 2. Типы сварных соединений, выполненных сваркой трением.

В течение фазы нагрева выделение тепла может регулироваться как скоростью вращения шпинделя, так и силой сжатия сопряженных деталей, что определяется в основном фрикционными и теплофизическими свойствами свариваемых материалов и их изменением при нагреве. Иногда используется двух стадийное изменение силы на стадии нагрева. На геометрию зоны сварки влияют количество и характер выделения тепла при трении, теплопроводность, распределение давления в контакте с учетом изменения механических свойств материала при нагреве и длительность цикла сварки (рис. 3.).

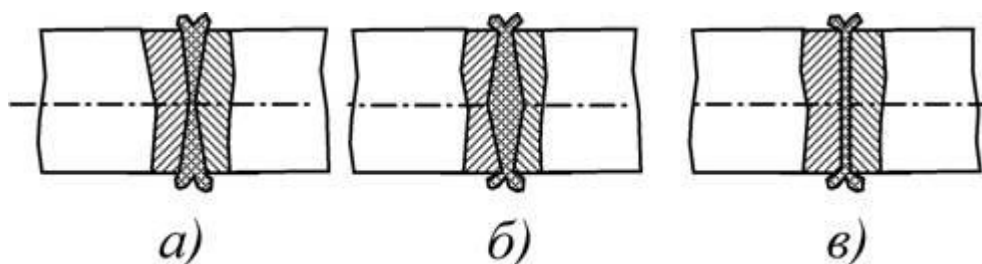


Рис. 3. Влияние скорости и давления геометрию зоны сварки. а – высокое давление при малой скорости; б – высокая скорость при малом давлении; в – оптимальные условия сварки.

Удельная мощность  $\Delta N$  при трении выделяемая с единицы поверхности определяется соотношением:

$$\Delta N = \mu p v$$

где  $\mu$  – коэффициент трения;  $p$  – нормальное давление в контакте;  $v$  – скорость трения.

При ротационной сварке скорость трения зависит от расположения точки относительно оси вращения:

$$v_i = 2\pi r_i n$$

где  $v_i$  – скорость трения в  $i$ -ой точке;  $r_i$  – расстояние точки от оси вращения;  $n$  – частота вращения.

Мощность выделения тепла в точках, расположенных на расстоянии  $r_i$  от оси вращения составляет:

$$N_y = 2\pi \mu p r_i n$$

а суммарная мощность, выделяемая в стыке:

$$N = \frac{2\pi}{r_{\max} - r_{\min}} \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \mu p r n dr$$

Очевидно, что на периферии нагрев материала более значителен. В результате, в процессе сварки происходит перераспределение давления. Оно концентрируется в центральной зоне, где скорость трения, а следовательно, нагрев и «размягчение» материала меньше. При сварке трением скорость обычно составляет 1...2 м/сек.

Наиболее часто ротационной сваркой трения свариваются сплошные детали диаметром до 100 мм и трубчатые диаметром до 250 мм. Однако имеются машины, позволяющие сваривать и заготовки больших размеров, например 500 мм.

Обычно ротационной сваркой трением получают следующие виды соединений: стержни встык, трубы встык, стержень встык с трубой, Т-образное соединение стержня или трубы с плоской поверхностью.

Ротационная сварка может выполняться как без специальной разделки, так и с разделкой. Пример разделки при сварке цилиндрического стержня с плоской деталью приведен на рис. 4.

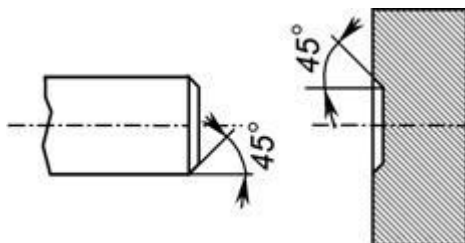


Рис. 4. Разделка поверхностей деталей под ротационную сварку.

Изменяемыми параметрами процесса сварки трением являются скорость трения, давление создаваемое в контакте свариваемых деталей, изменение длины, время цикла сварки.

*Скорость трения.* Характеристика скорости трения, находящаяся как произведение частоты вращения шпинделя и свариваемого диаметра, для стали составляет около 600. Это

определенное опытом значение принимается как для цилиндрического, так и кольцевого контакта. При значениях характеристики скорости меньших 600 для необходимого тепловыделения требуется увеличивать давление, что может привести к сильным деформациям металла в контакте. Нет ограничений по скорости для значений выше 600. Например, сварка может выполняться при характеристике скорости 5000. Однако машины для сварки обычно имеют верхним значением характеристики скорости – 700...1500. Скорость трения не увеличивает производительность процесса, а качество сварки практически не зависит от нее.

*Давление в контакте.* Для сварки сталей используется широкий диапазон давлений. Для сталей средней прочности рекомендуется использовать на фазе нагрева давление порядка 6 кН/см<sup>2</sup>, а на фазе обжима 15кН/см<sup>2</sup>. Эти значения могут меняться в зависимости от свойств свариваемых материалов.

*Изменение длины (или времени).* Основными требованием к сварке в твердой фазе является хорошая очистка поверхностей их плотный контакт и минимальный перенос материала между соединяемыми поверхностями. На практике эти условия полностью удовлетворить невозможно. Всегда на поверхности присутствуют неровности, загрязнения и т. д. При сварке трением происходит притирка поверхностей, удаление окисных пленок и загрязнений, что сопровождается уменьшением линейного размера детали. Однако основное уменьшение длины происходит в процессе осадки. Очевидно, что при разработке технологического процесса сварки необходимо назначить определенный припуск, компенсирующий уменьшение размера сваренного изделия.

Для некоторых деталей необходимо обеспечить с необходимым допуском размер сваренной детали, что достигается на основе контроля изменения длины. Современные системы управления обеспечивают контроль процесса сварки на основе данных о скорости изменения длины компонентов на стадии нагрева и при обжати.

Различают три основные разновидности ротационной сварки трением отличающихся характером изменения параметров сварки в течение ее цикла (рис. 5): традиционная, гибридная и инерционная. При инерционной сварке маховик разгоняется до определенной скорости, затем детали сжимаются с заданной силой. Процесс сварки завершается с остановкой маховика. Масса маховика изменяется в зависимости от конкретных условий сварки. Цикл сварки составляет несколько десятков секунд.

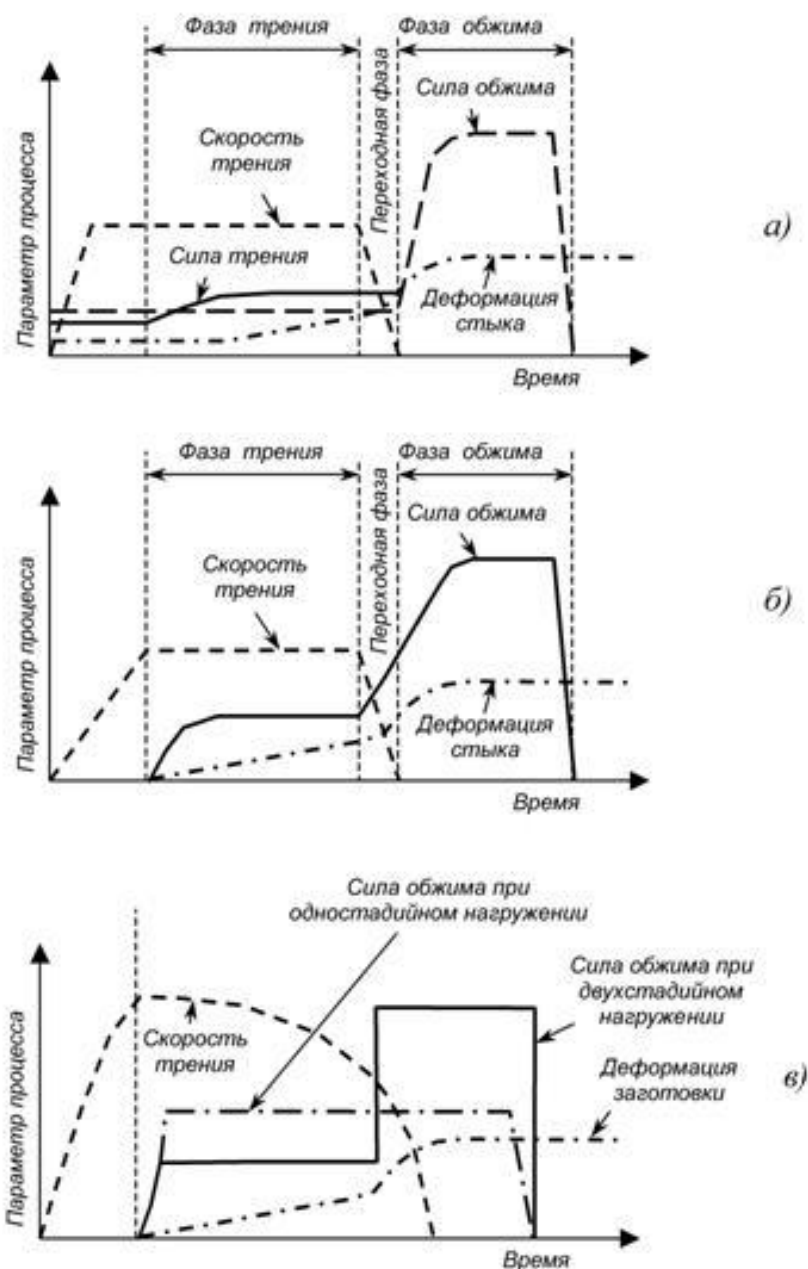


Рис. 5. Циклы ротационной сварки трением а – традиционная; б – гибридная; в – инерционная

Ведущими фирмами по производству оборудования и разработке технологий ротационной сварки трением являются Gatwick Fusion, Thompson Friction Welding и др. Фирма Thompson Friction Welding, например, производит установки для сварки трением с осевой силой от 15 до 250 тонн. Этот диапазон обеспечивает возможность сварки деталей диаметром от 4 до 150 мм. Конструкции оборудования обеспечивают сварку различных по форме и размерам деталей.

Современные машины для сварки оснащаются устройствами сцепления привода со шпинделем и быстрой остановки шпинделя и позволяют сваривать от 60 до 300 деталей в час, в зависимости от размеров деталей и материала. Характеристики машин, выпускаемых фирмой Thompson Friction Welding, приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Параметр	Единица измерения	Модель оборудования					
		Модель 8	Модель 15	Модель 60	Модель 80	Модель 125	Модель 250
Номинальная сила	кН	80	150	600	800	1250	2500
Мощность привода шпинделя	кВт	15	18	45	60	112	186
Максимальный диаметр свариваемой детали из стали	мм	4-25	8-36	25-75	35-90	50-125	65-150
Максимальный диаметр свариваемой стальной трубы	мм	40	60	140	250	180	400
Максимальная длина детали устанавливаемой в зажимном патроне	мм	150	450	600	600	750	1120
Максимальная длина ответной детали	мм	450			не лимитирована		
Максимальная площадь сварки	мм <sup>2</sup>	500	1000	4500	6500	12500	18000

Модель 8 предназначена для сварки малых по размерам деталей, таких как клапаны и золотники агрегатов.

Модель 15 предназначена для сварки режущего инструмента (сверла и др.), клапаны рычаги.

Модели 50 и 60 – многоцелевые машины, широко используемые в автомобильной и авиационной промышленности, предназначены для сварки таких деталей как штоки цилиндров, приводных валов малых по размерам деталей, таких как клапаны и золотники агрегатов.



Рис. 6. Станки для ротационной сварки трением.

Модели 80, 125 и 250 используются для сварки сравнительно крупных деталей, в частности, дисков ротора компрессора.

Современное технологическое оборудование (рис. 6) позволяет выполнять сварку по циклам, заданным программным путем. Отработанные режимы сохраняются в памяти устройства программного управления для дальнейшего использования. Обычно в памяти сохраняются до 30 групп режимов. Отказы машины фиксируются системой управления. При их наличии работа машины останавливается до устранения неисправностей.

На некоторых установках при торможении шпинделя обеспечивается его остановка в заданной позиции по углу. Это дает возможность сваривать детали с обеспечением определенного взаимного расположения имеющих на них конструктивных элементов.

Примеры деталей, сваренных ротационным способом, приведены на рис. 7.



Рис. 7. Детали, сваренные ротационным методом.