

УДК67.02, 004.942, 519.178

Оценка технологических возможностей варки патрубков в днища изделий ракетно-космической техники фрикционной сваркой

В.В. Ханин, П.В. Круглов

Рассмотрены проблемы, возникающие при фрикционной сварке замкнутых швов, особенности приварки патрубков к днищам баков ракет. Выбрана перспективная головка при варке патрубков и на ее основе создана твердотельная модель в пакете CATIA. Разработана математическая модель фрикционной сварки патрубков и днищ, в которой в качестве параметров задаются геометрические характеристики головки, толщина материала, радиус сварного шва патрубка. Используя разработанную модель, получают предельные (максимальные) высоту и диаметр ввариваемого патрубка.

Ключевые слова: фрикционная сварка, моделирование сварки, приварка патрубков, кольцевой сварной шов.

Estimation of technological possibilities of branch pipes welding on bottoms of rocket-space products by friction stir welding

V.V. Khanin, P.V. Kruglov

The article considers the problems arising from the friction stir welding of circular welds and features of welding branch pipes on bottoms of rocket-space products. The perspective apparatus for friction stir welding has been chosen and on its basis a solid model with CATIA software suite is created. The geometrical adjectives, i.e. the material thickness, the weld radius are set as parameters in the mathematical model of the friction stir welding of branch pipe in bottoms. As a result the ultimate (maximum) height and diameter of the weld in branch pipe have been obtained.

Keywords: friction stir welding, modeling of welding, weld of branch pipes, circular weld.

В настоящее время фрикционная сварка — один из самых перспективных методов сварки для конструкций ракетно-космической техники (РКТ). Нагрев области сварного шва до температуры порядка 80% температуры плавления материала свариваемых деталей осуществляется за счет трения торца (плеча) инструмента по кромке сварного шва. При этом металл переходит в состояние сверхпластичности и перемешивается вращающейся выступающей частью инструмента, называемой штифтом, на всю глубину сварного шва



ХАНИН
Всеволод Владимирович
студент



КРУГЛОВ
Павел Владимирович
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
e-mail: hi.upper@gmail.com



Рис. 1. Схема фрикционной сварки

(рис. 1, [1, 2]). В настоящее время известны [2] исследования возможностей фрикционной сварки для алюминиевых, медных, магниевых, никелевых и титановых сплавов и обычных сталей.

Инструмент для фрикционной сварки состоит из цилиндрического вала, называемого плечом, и выступа специальной формы (штифта). Плечо бывает как плоской, так и сложной формы, штифт может иметь цилиндрическую, конусообразную и винтовую формы (рис. 2, [3]).

Инструмент для сварки изготавливают из инструментальных быстрорежущих сталей, металлокерамических твердых сплавов и минералокерамики. Для снижения эффекта «намазывания» металла на поверхность инструмента используют специальные покрытия.

Основные преимущества фрикционной сварки:

- высокая прочность сварного шва;
- малый расход энергии;
- отсутствие пористости;
- отсутствие необходимости к последующей обработке после сварки;
- не требуется подготовка кромок.



Рис. 2. Рабочие части инструментов, используемых при фрикционной сварке:

- a* — традиционная конструкция инструмента;
- б* — инструмент для получения глубоких швов;
- в* — инструмент со специальной формой торца

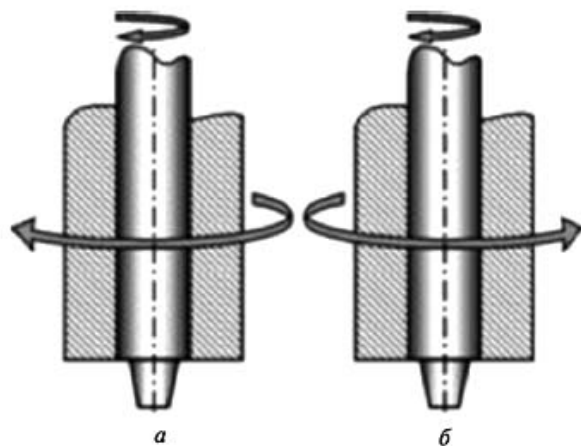


Рис. 3. Инструменты с наружной и внутренней частями, вращающимися в одном (*a*) и противоположных (*б*) направлениях. Показан «намазанный» на выступ свариваемый металл

Для управления структурой шва используют специальные инструменты, имеющие наружную и внутреннюю части (рис. 3). Вращение этих частей может выполняться в одном и противоположных направлениях и с разными скоростями.

При использовании метода фрикционной сварки возникает ряд трудностей. Например, образующееся при сварке кольцевого шва отверстие может быть выведено за пределы шва с использованием специальной клиновидной вставки (рис. 4), которая, в дальнейшем, механически удаляется. Аналогичная проблема возникает при сварке патрубков (рис. 5). При ор-

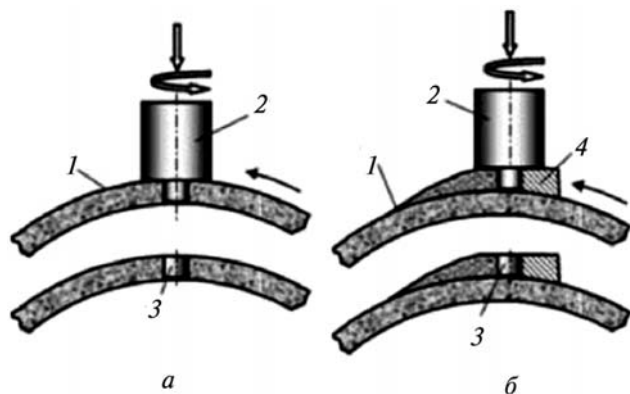


Рис. 4. Получение кольцевого шва: *a* — без использования клиновидной вставки; *б* — с использованием клиновидной вставки;

- 1 — кольцевой шов; 2 — инструмент; 3 — отверстие, остающееся после отвода инструмента; 4 — клиновидная вставка

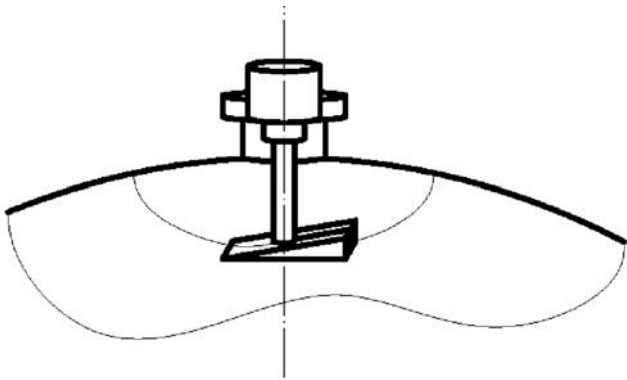


Рис. 5. Вварка патрубков

битальном движении головки фрикционной сварки для извлечения штифта без отверстия в днище можно воспользоваться клиновой кольцевой вставкой. Однако использование клиновой вставки на днище ракетного блока приведет к необходимости ее удаления после сварки механическим путем, например, ручной фрезерной машинкой. При этом возникает опасность повреждения дорогостоящего изделия — днища. Поэтому, более перспективным является использование инструмента с выдвижным штырем, который будет постепенно извлекаться из днища при продольной подаче инструмента по уже сваренному участку, вплоть до полного извлечения.

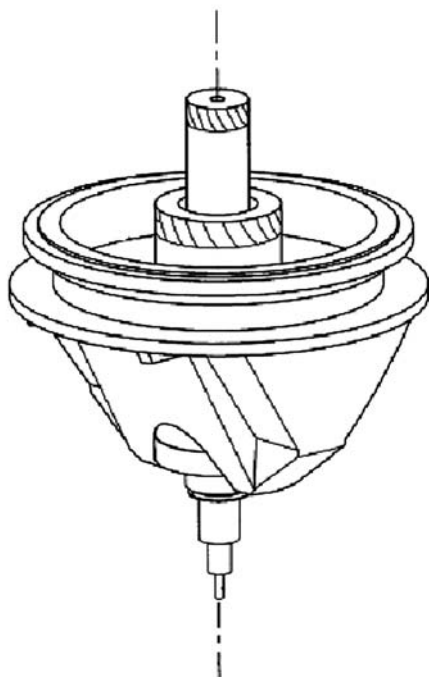


Рис. 6. Инструмент № 1

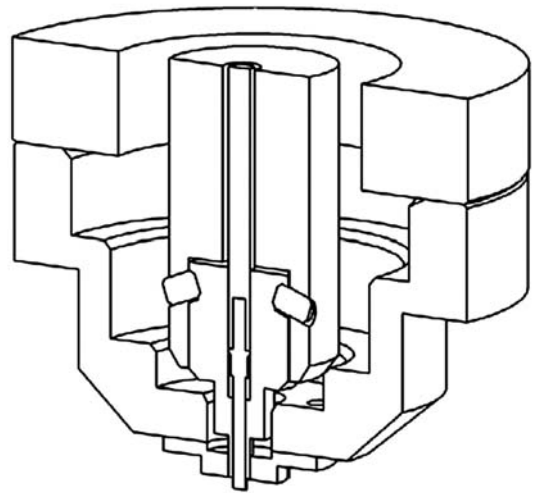


Рис. 7. Инструмент № 2

Дополнительными требованиями к инструменту фрикционной сварки являются необходимость обеспечения теплоотвода от зоны обработки и надежное закрепление свариваемых деталей в процессе сварки. Помимо этого, фрикционная головка должна быть компактной, чтобы не задевать в процессе сварки патрубков.

Было рассмотрены несколько конструкций инструментов для фрикционной сварки. Инструмент № 1 (рис. 6) [4] подходит для выполнения сварки листовых заготовок и круговых швов с выводом инструмента с помощью круговой вставки.

Инструмент № 2 (рис. 7) [5] имеет преимущество по сравнению с предыдущим вариан-

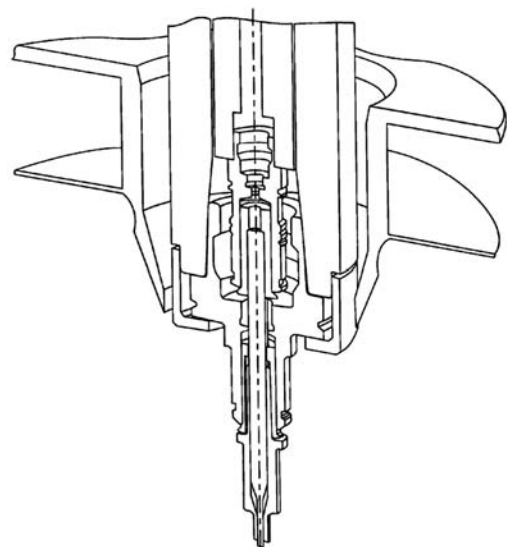


Рис. 8. Инструмент № 3

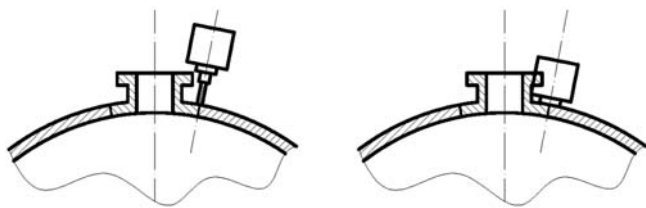


Рис. 9. Ограничения по размеру головок для фрикционной сварки

том — наличие выдвижного штифта. Это позволяет сваривать круговые швы без использования клиновых вставок, что дает выигрыш в производительности и качестве деталей.

В инструменте № 3 (рис. 8) [6] также осуществлена возможность вывода штифта из зоны сварки. Кроме того в данной конструкции более узкая рабочая часть, что позволяет не только выполнять сварку круговых швов, но и вваривать патрубки. Производить сварку патрубков, используя инструмент № 2, невозможно, так как широкая рабочая часть не позволит подойти к зоне шва (рис. 9).

Для обеспечения жесткости конструкции в процессе сварки необходимо разработать специальную оснастку для закрепления свариваемых

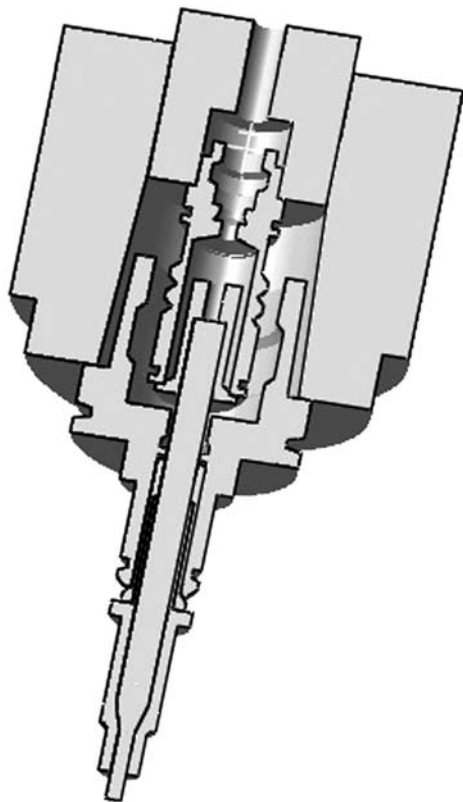


Рис. 10. Разрез 3-мерной модели инструмента № 3

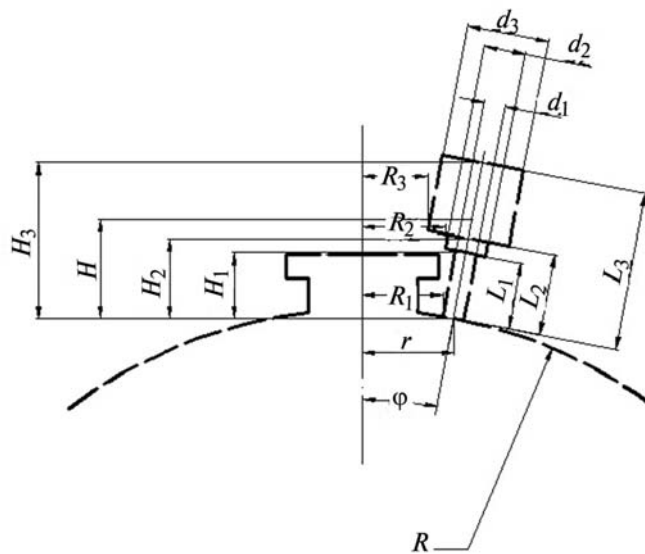


Рис. 11. Схема расчета предельной геометрии патрубка

ых деталей. На основе патента [6] в среде САТІА был смоделирован инструмент (рис. 10) для фрикционной сварки.

Рассмотрим предельные ограничения на размеры патрубков, ввариваемых в днища изделий РКТ с помощью инструмента № 3 (рис. 11). В модели используется днище радиусом R , в которое вваривается патрубок с радиусом сварного шва $r = R_1 + d_1/2$, высотой H , где R_1 — радиус, на котором располагается штырь, d_1 — диаметр штыря, равный толщине свариваемых кромок. Ограничениями для вварки патрубка является профиль головки фрикционной сварки — диаметр d_1 на длине L_1 , диаметр d_2 на длине L_2 , диаметр d_3 на длине L_3 .

На размер патрубков в трех диапазонах существуют ограничения:

$$H = \{0, H_1\} \rightarrow R_1 = R \sin \varphi - \frac{d_1}{2} \cos \varphi;$$

$$H = \{H_1, H_2\} \rightarrow R_2 = (R + L_1) \sin \varphi - \frac{d_2}{2} \cos \varphi;$$

$$H = \{H_2, H_3\} \rightarrow R_3 = (R + L_2) \sin \varphi - \frac{d_2}{2} \cos \varphi,$$

где φ — угол, на котором располагается сварной шов; H_1, R_1 — высота и радиус патрубка

в первом диапазоне размеров патрубка; H_2 , R_2 — высота и радиус патрубка во втором диапазоне размеров патрубка; H_3 , R_3 — высота и радиус патрубка в третьем диапазоне размеров патрубка.

Проанализировав схему сварки патрубков, типовые конструкции головок для фрикционной сварки и типовые дефекты фрикционной сварки следует отметить, что для фрикционной сварки патрубков необходимо применять фрикционные головки с компактной цилиндрической частью (см. рис. 11), использовать выдвижные штифты. Выдвижные штифты должны обладать высокой жесткостью вследствие их компактности, поэтому в дальнейшем планируется изучение влияния температурного нагрева, методов обеспечения теплоотвода и проведение анализа конструкции компактных фрикционных головок.

Выводы

Рассмотрены способы сварки патрубков в днища изделий РКТ, проанализированы проблемы, возникающие при сварке, описаны современные конструкции головок для фрикци-

онной сварки, создана твердотельная модель головки. Предложена математическая модель предельных геометрических характеристик патрубков, свариваемых в днища изделий РКТ.

Литература

1. Семенов Б.И., Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 223 с.
2. Mishra R.S., Mahoney M.W. Friction Stir Webding and Processing ASM International. 2007. 368 p.
3. Перемешивающая и радиальная сварка трением URL:<http://vniialmaz.ru/technology/10.html>
4. Пат. 2006/0102699 А1 США, В23К 20/12. Counter-rotating spindle for friction stir welding. Kurt A. Burton, Mike P. Matlack (США); The Boeing Company; Заяв. 07.02.05; Оpubл. 18.05.06. 13 с.
5. Пат. 2009/0236045 А1 США, В23К 20/12. Methods and apparatus for retractable pin friction stir welding and spot welding. Kurt A. Burton, Mike P. Matlack (США); Заяв. 29.05.09; Оpubл. 24.09.09. 13 с.
6. Пат. 2006/0163316 А1 США, В23К 20/12. Friction stir welding apparatus. Kurt A. Burton, Mike P. Matlack (США); The Boeing Company; Заяв. 24.01.05; Оpubл. 27.07.06. 9 с.

Статья поступила в редакцию 02.05.2012