

УДК 621.791.14:669.15-194

UDC 621.791.14:669.15-194

**ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ
УЗЛОВ С КОНУСНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ****TECHNOLOGY OF FRICTION WELDING
OF NODES WITH CONICAL SURFACE OF
LOW-ALLOY STEEL***Щенкин В. В., Поletaев В. Ю.**Shchepkin V. V., Poletaev V. Yu.*

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

shepkinvictor@rambler.ru
afshor@mail.ru

shepkinvictor@rambler.ru
afshor@mail.ru

Исследована возможность применения способа сварки трением штуцеров и патрубков малого диаметра корпусного оборудования энергетических установок. Разработано конструктивное оформление моделей и соединяемых (конусных) поверхностей штуцерных и патрубковых узлов. Обоснован выбор оптимальных углов подготовки поверхностей под сварку. Экспериментально подтверждены параметры режима сварки, выполнена оценка качества сварных соединений неразрушающими и разрушающими методами. Установлено влияние конструктивного и технологического факторов на качество сварных соединений.

The paper investigates the possibility of application of friction welding of fittings and small diameter nozzles of the package units of power plants. The authors have developed constructive design of models and connect (conical) surfaces of fittings and nozzles nodes. The choice of optimal angles of surface preparation for welding is justified. The parameters of welding mode were experimentally confirmed, the quality of welded joints was evaluated by non-destructive and destructive methods. The influence of structural and technological factors on the quality of welded joints is established.

Ключевые слова: сварка трением, модель патрубкового узла, параметры режима сварки, твердость сварного соединения, качество сварного соединения.

Key words: friction welding, cutting, nozzle design, mild steel, welding parameters, welded joint hardness, welded joint quality.

Введение. Для приварки штуцеров и патрубков малого диаметра корпусного оборудования применяются ручная дуговая сварка (РДС) покрытым электродом и механизированная сварка в защитных газах. Как правило, РДС используется как при сварке корневого слоя шва, так и при заполнении разделки шва. Следует отметить, что известные недостатки РДС не позволяют обеспечить требуемое стабильное высокое качество сварных соединений энергетического оборудования, что приводит к повторным дорогостоящим ремонтам и повышению себестоимости сварных конструкций [1–4].

Опыт эксплуатации энергетического оборудования свидетельствует о предрасположенности к локальному разрушению сварных соединений штуцеров и патрубков (рис. 1).

Хрупкое межзеренное разрушение сварных конструкций при высокотемпературной эксплуатации в большинстве случаев было неожиданным. По данным обычных испытаний, принятых для оценки кратковременных свойств и жаропрочности, включая длительную прочность и пластичность, скорость ползучести и других, свойства сварных соединений удовлетворяли предъявляемым требованиям. Актуальность проблемы определяется тем, что хрупкие разрушения

приводят к аварийным ситуациям и значительному материальному ущербу. Последствия хрупкого разрушения атомного реактора могут быть катастрофическими [5].

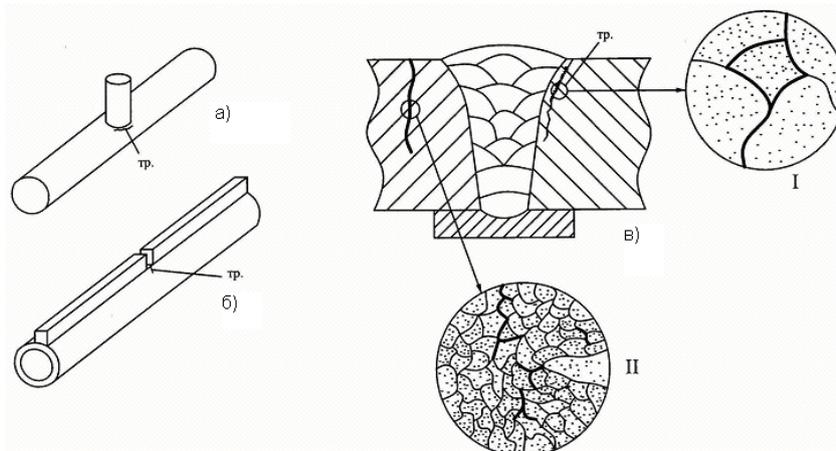


Рис. 1. Хрупкое (межзеренное) разрушение в зоне термического влияния сварных соединений:
а — патрубок; б — плавниковая труба; в — паропровод; I — разрушение по хрупкой прослойке;
II — разрушение по мягкой (малопрочной) прослойке

Решение указанной проблемы возможно на основе исследования, разработки и внедрения технологии автоматизированных способов сварки, например, сварки трением (СТ).

Как свидетельствуют результаты анализа литературных данных [1], способ СТ имеет целый ряд достоинств по сравнению с электронно-лучевой и сваркой оплавлением, а именно: обеспечивается более широкий диапазон по свариваемости; используются свариваемые детали любой геометрической конфигурации и формы сечения; не требуется применения специальной подготовки кромок под сварку; обеспечивается высокая скорость сварки; отсутствует необходимость в применении присадочного материала; не требуется подогрев и последующая термическая обработка; способ легко автоматизируется. Эти достоинства позволяют достичь заметного снижения технологической себестоимости сварного соединения по сравнению с другими способами сварки (рис. 2).

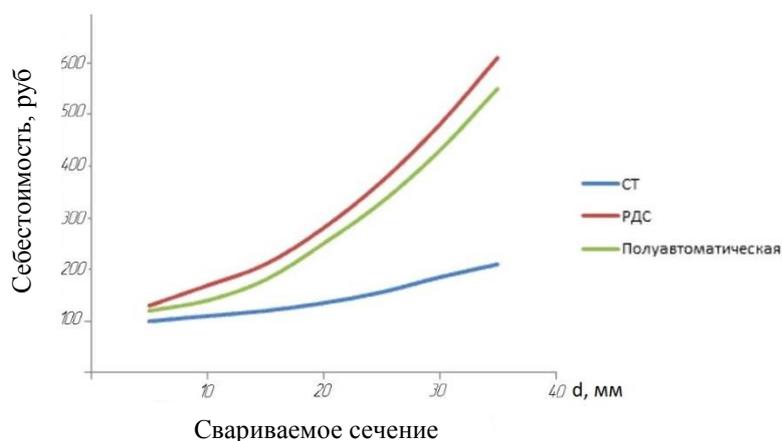


Рис. 2. Себестоимость различных способов сварки кольцевых сварных соединений (себестоимость указана в ценах 2008 г)

На основании результатов литературного обзора сформулирована цель и задачи работы — повышение качества, механических свойств и структурной стабильности сварных соединений штуцеров и патрубков малого диаметра на основе исследования и разработки технологии СТ узлов с конусной поверхностью из низколегированной стали.

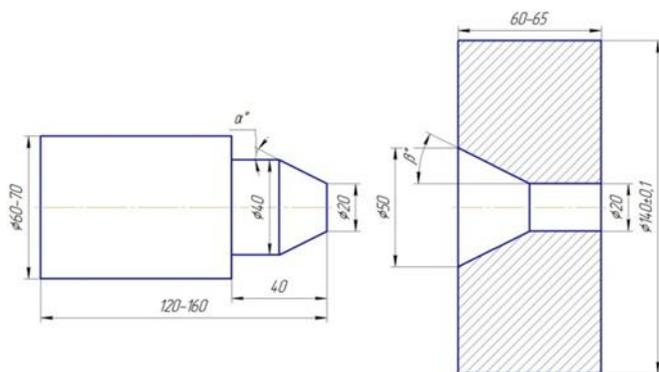


Рис. 3. Эскиз имитатора штуцера и корпуса модели штуцерного узла

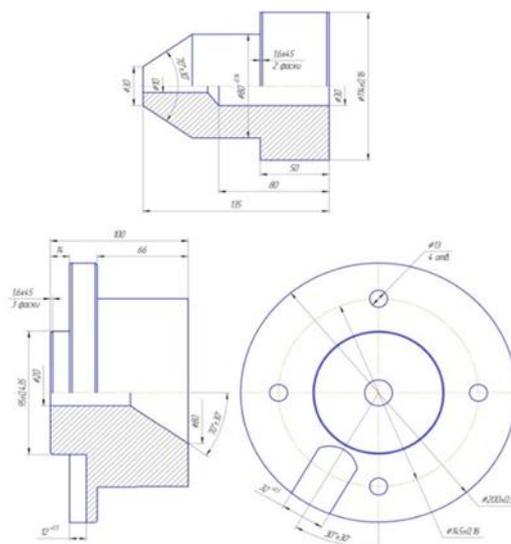


Рис. 4. Эскиз имитаторов патрубка и корпуса патрубкового узла

Поставлены и решены следующие научно-технические задачи:

1. На основании результатов литературного обзора сформулировано направление экспериментального исследования

2. Разработана конструкция моделей с конусной поверхностью штуцеров и патрубков из конструкционных сталей.

3. Обоснованы расчетом и экспериментально проверены параметры режима сварки и выбрано оборудование для СТ.

4. Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование влияния параметров режима СТ на механические свойства и структуру сварных соединений штуцеров и патрубков малого диаметра.

5. Разработана и практически опробована технология СТ узлов с конусной поверхностью применительно к соединению штуцеров и патрубков малого диаметра.

Методы проведения исследований и их результаты. Анализ результатов литературного обзора свидетельствует, что применение традиционной цилиндрической формы свариваемой поверхности требует применения машин с повышенной мощностью, характеризуется заметным перегревом стыка и нестабильным качеством. В этой связи было предложено применить конусную поверхность свариваемых деталей.

При этом необходимо было выполнить обоснованный выбор угла конусной поверхности, с величиной которого связаны параметры режима сварки и качество сварного соединения. Для выбора угла конусной поверхности и отработки режима сварки была разработана конструкция модели штуцера (диаметром до 40 мм) и патрубка (диаметром до 80 мм) с разными углами конусной поверхности (от 30 до 40 градусов) (рис. 3, 4).

Для выбора оптимальных углов и параметров режима сварки выполнено экспериментальное исследование.

Основными параметрами СТ являются: время сварки τ_n , давление нагрева P_n , скорость вращения V , давление проковки $P_{пр}$. Анализ литературных данных выявил, что основные параметры СТ зависят друг от друга (рис. 5).

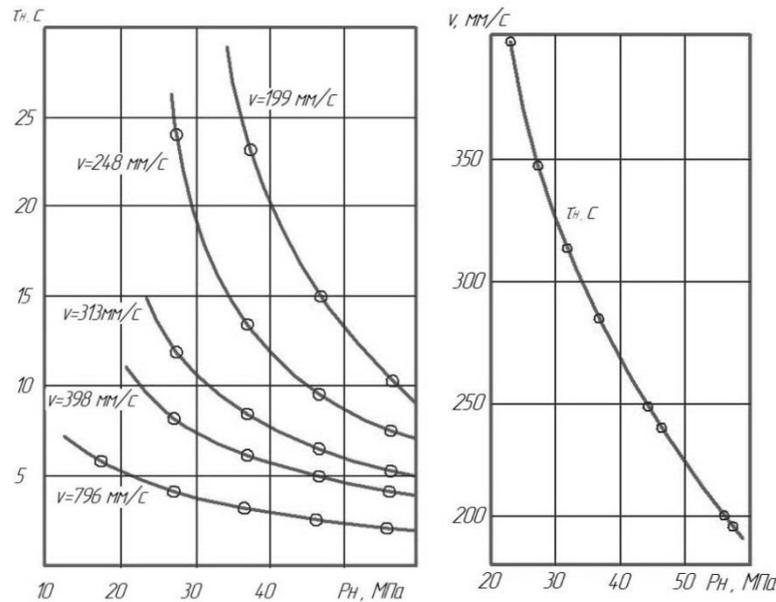


Рис. 5. Влияние давления P_n на время сварки τ_c и скорость вращения v свариваемой поверхности

Так, например, имея необходимую величину одного из параметров, например, время сварки, можно получить качественное сварное соединение, изменяя величину других параметров.

Основные параметры СТ рассчитывали с использованием уравнения по методике, предложенной в статье [6]:

$$Y = ax + b, \tag{1}$$

где $Y = V, \text{ м/с}; P_n = \frac{1}{x}, \text{ МПа}$, x — безразмерный коэффициент.

Расчет параметров a и b произвели, используя нижеприведенные линейные уравнения:

$$a \sum_{k=1}^L X_k + Lb = \sum_{k=1}^L Y_k \tag{2}$$

$$a \sum_{k=L+1}^N X_k + (N - L)b = \sum_{k=L+1}^N Y_k, \text{ где } L = \frac{N}{2} \tag{3}$$

Результаты расчетов параметров режимов сварки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные параметры режимов СТ

Диаметр заготовки, мм	Время сварки τ_n , с	Скорость вращения V , м\с	Давление нагрева P_n , МПа	Давление проковки $P_{пр}$, МПа
40	10	2	27,4	55
80	10	2	44,6	90

Размеры углов стыкуемых поверхностей и параметры режима сварки были выбраны с учетом энергетических возможностей сварочной машины МСТ-41.

В результате экспериментальных исследований уточнены численные значения углов конусной поверхности и параметров режима сварки (табл. 2). С учетом этих данных были спроектированы и изготовлены сварные модели штуцеров и патрубков.

Экспериментальные параметры режима СТ

Диаметр заготовки, мм	Время сварки τ_n , с	Скорость вращения V , м\с	Давление нагрева P_n , МПа	Давление проковки $P_{пр}$, МПа
40	27	2	0,323	0,539
80	50	2	6,37	11,27

На рис. 6 приведена микроструктура различных участков полученного сварного соединения. Можно увидеть, что сварные соединения формируются с достаточно однородной структурой, обеспечивающей высокие, на уровне нормативных требований [7], механические свойства (таблица 3).

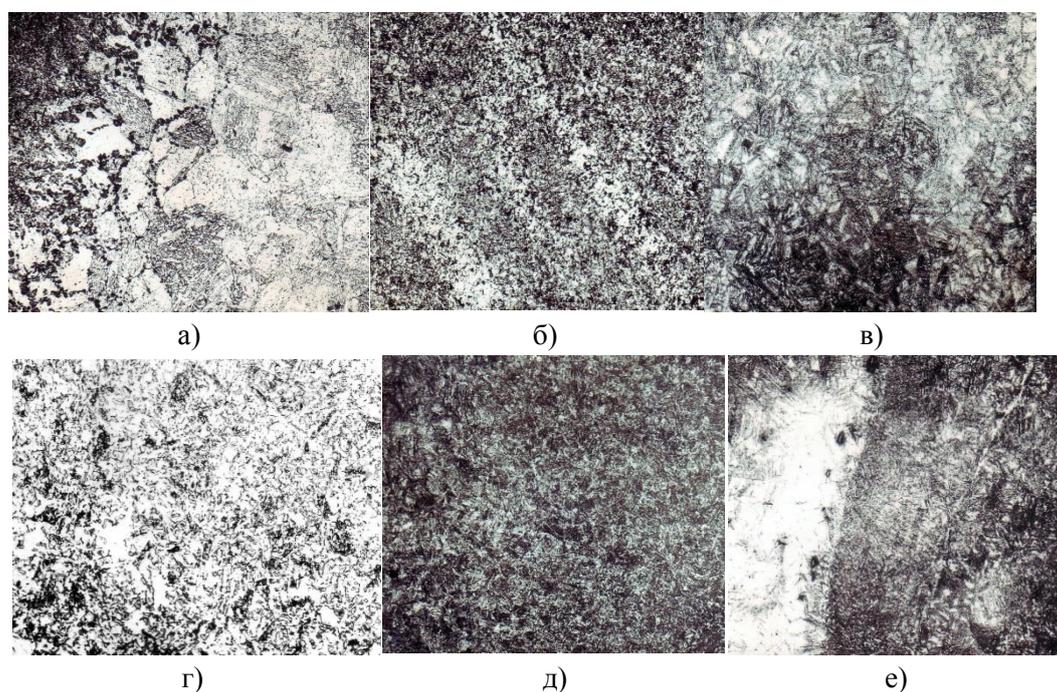


Рис. 6. Микроструктура различных зон сварного соединения из стали 15X2NMFA, выполненного сваркой трением: а — основной металл; (б–д) — зона термического влияния; е — линия сплавления, х500

Таблица 3

Результаты механических испытаний

Диаметр заготовки, мм	Предел прочности $\sigma_{св}$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость, Дж/м ²
40	549	304	15	65	138,7
80	558	314	14,5	70	127,4
ГОСТ 1050-88	431	216	24	56	68,6

По результатам штатных неразрушающих методов контроля (УЗК и РГД) качество сварных соединений удовлетворяли требованиям нормативного документа [8, 9].

Выводы.

1. Положительные результаты неразрушающего и разрушающего контроля качества сварных соединений штуцерных и патрубковых моделей обосновывают возможность применения СТ штуцеров и патрубков малого диаметра (до диаметра 80 мм включительно) из конструкционных сталей марок 22К и 15Х2НМФА.

2. Установлено, что при СТ по конусной поверхности происходит измельчение структуры металла на значительную глубину свариваемых элементов, что определяет высокие механические свойства металла сварного соединения. Сварные соединения наиболее высокого качества формируются при СТ по конусной поверхности с углом 70 град.

3. Теоретически обоснована и экспериментально опробована технология СТ узлов с конусной поверхностью применительно к соединению штуцеров и патрубков малого диаметра из конструкционных сталей марок 22К и 15Х2НМФА.

Библиографический список

1. Щепкин, В. В. Перспективы применения сварки трением в машиностроении (обзор) [Электронный ресурс] / В. В. Щепкин, Ю. В. Полетаев // Блокнот молодого ученого. Портал электронного обучения «Скиф» — Режим доступа :[http:// skif.donstu.ru](http://skif.donstu.ru). — (дата обращения : 22.03.2018).

2. Полетаев, Ю. В. Сварка трением штуцеров и патрубков малого диаметра из углеродистой стали 22К / Ю. В. Полетаев, В. Ю. Полетаев, В. В. Щепкин // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2017. — №3. — С.89–95.

3. Вилль, В. И. Сварка металлов трением / В. И. Вилль. — Ленинград : Машиностроение, 1970. — 175 с.

4. Sayegh J. Carec R. Possibilites et perspectives du soudage par friction Applications — Evolution de la technique et perspectives // Soudage et techniques connexes. 1981. Т.35. №5. S.152-160.

5. Полетаев, Ю. В. Длительная малоцикловая прочность сварных соединений и выбор аустенитно-стабильных сталей / Ю. В. Полетаев. — Новочеркасск : ЛИК, 2010. — 281 с.

6. Хазанов, И. О. Определение параметров режима сварки трением в температурном интервале сверх пластичности быстрорежущей стали / И. О. Хазанов, И. И. Фомин // Сварочное производство. — 1991. — №6. — С.5–7.

7. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля. ПНАЭ Г-7-010-89 [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200036948>. (дата обращения : 15.02.2018).

8. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Ультразвуковой контроль. Часть 1. Контроль основных материалов (полуфабрикатов). ПНАЭ Г—7-014-89 [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200044070> (дата обращения : 15.02.2018).

9. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Радиографический контроль. ПНАЭ Г-7-017-89 [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200061450> (дата обращения : 15.02.2018).