

ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ СИСТЕМ ТЕПЛООБМЕНА

А. И. Ремнев¹, О. Г. Кретьова², Н. И. Мячикова¹,
И. Ю. Коротких¹, О. В. Биньковская¹

*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет», г. Белгород, Россия (1), alexeyremnev@mail.ru;
Курский институт кооперации (филиал) АНО ВО «Белгородский
университет кооперации, экономики и права», г. Курск, Россия (2)*

Ключевые слова: герметичность; диаграммы деформирования; напряженно-деформированное состояние; остаточное давление соединения с натягом; прочность.

Аннотация: Предложенная методология определения напряженно-деформированного состояния (НДС) соединения труба – тонкая трубная решетка (Т-ТТР) позволяет с минимальными затратами получить достоверную картину возможных свойств узла сборки соединения с натягом, оценить возможности конкретной пары сборки соединения Т-ТТР, установить закономерности по оптимизации технологических режимов, обеспечить максимально достижимые показатели качества соединения труба – решетка (Т-Р) по герметичности и прочности.

Постановка задачи. Качественные показатели сборки соединения труба – решетка (Т-Р) по герметичности и прочности, полученные различными способами, в первую очередь зависят от остаточного напряжения (давления) между его контактирующими поверхностями. Соединения, полученные по технологии сборки Т-Р осевым деформированием (также касается и других способов сборки), не имеют приемлемых методов расчета или экспериментального определения напряженно-деформированного состояния (НДС) соединений [1–3]. Не изученность данных вопросов оказывает существенное влияние на качество систем теплообмена (СТ), которое зависит, в основном, от герметичности и прочности соединений.

Технологический процесс сборки труб с трубной решеткой осевым деформированием [1, 2] имеет ряд существенных отличий от известных механических способов, но все они (кроме электросварки и пайки) связаны с пластическим деформированием трубы и упругой или упруго пластической деформацией трубной решетки (ТР). К существенным отличиям процесса формирования узла сборки Т-Р от известных способов [1, 2] можно отнести: распределенность по площади контакта усилия радиального деформирования на участке заземления (фиксации) трубы в отверстии ТР на первом этапе технологического процесса; объемное пластическое деформирование трубы (гидростатическое распределение усилия (давления) в замкнутом объеме труба – решетка – цанговый зажим) и упругое, упруго-пластическое деформирование ТР; уменьшение внутреннего диаметра трубы на втором этапе технологического процесса до 8 %, обуславливаемого осаживанием трубы в отверстие ТР; отсутствие наклепа и шелушения внутренней оболочки

ки трубы и др. Это свидетельствует о том, что основные закономерности процесса деформирования узла сборки Т-Р, несмотря на отдельные особенности, при любом другом механическом способе имеют общность подходов к решению задач формирования соединения с натягом [1, 2].

Вопросы изучения НДС сборки соединения Т-Р рассмотрены в работах [5, 6]. Диаграмма (схема) формирования узла сборки Т-Р, представленная в работе [4] в общем описательном виде, позволяет рассмотреть только физическую сущность вальцовочного соединения.

Очевидно, что научную ценность имеет диаграмма деформирования для развальцовки, позволяющая количественно и качественно оценить процесс формирования соединения Т-Р, применив расчетные зависимости для определения характерных точек диаграммы [4]. Такая модель представления процесса развальцовки трубы с трубной решеткой является весьма приближенной, так как не учитывает динамического характера нагрузки при развальцовке роликами. Погрешности расчетов оправдываются простотой расчетных зависимостей и возможностями проведения всестороннего анализа процесса развальцовки, ускоряющего и облегчающего оптимизацию параметров данного процесса. Предварительные расчеты режимов деформирования для формирования узла сборки Т-Р осевым деформированием по методике, предложенной в работе [4], свидетельствуют о существенных погрешностях в расчетах и не позволяют использовать ее по ряду причин, связанных с дополнительными погрешностями и особенностями процесса формирования соединения Т-Р. Определение режимов деформирования экспериментальным путем имеет длительный и трудоемкий характер, требует больших финансовых затрат. При этом качество получаемых соединений весьма низкое в связи с недостаточной изученностью технологического процесса формирования соединения Т-Р.

Изучению рассматриваемого вопроса посвящен ряд работ [5, 6], в которых изложены методика экспериментального определения НДС и другие факторы, влияющие на процесс формирования соединения с натягом. Для изучения НДС соединения Т-Р необходимо рассмотреть физическую сущность процесса деформирования и сформулировать задачи для решения поставленных вопросов, которые заключаются в экспериментальном исследовании процесса сборки труб с ТР осевым деформированием по диаграммам. Предлагается новая методология определения остаточных напряжений в соединениях с натягом по диаграммам деформирования [5, 6], полученных на натуральных образцах соединений Т-Р.

Методология исследований. Методологией исследования предусмотрены образцы соединения Т-Р, состоящие из труб и эквивалентных втулок ТР [4], характеристика которых приведена в табл. 1, где $\sigma_{тг}$ и $\sigma_{тр}$ – пределы текучести материалов трубы и решетки соответственно.

Таблица 1

**Характеристика образцов-свидетелей
для узла сборки труба – решетка**

Характеристика трубы					Характеристика эквивалентной втулки или решетки					Код типа узла
d_n , мм	S , мм	$\sigma_{тг}$, МПа	Материал	Тип	$D_э$, мм	$d_о$, мм	$\sigma_{тр}$, МПа	Материал	Тип Т-Р	
10	1,0	49	АДМ	1	18	10,5	320	АК4	А	1-А
10	1,0	127	АМцМ	2	18	10,5	320	АК4	Б	2-Б
13	1,5	80	АДН	3	23	13,5	320	АК4	В	3-В
16	1,5	110	Л62	4	29	16,5	220	БрАЖ9-2	Г	4-Г

Все образцы труб имели длину h_T и толщину эквивалентной втулки (ТР) h 10 мм. Испытуемые образцы соединения Т-Р или его элементы деформируются под действием равномерного гидростатического давления, приложенного к внутренней или наружной поверхности трубы на длине, равной толщине ТР.

В качестве среды, создающей гидростатическое давление, используется полиуретановые цилиндрические стержни или втулки из ПУ-1, СКУ-7Л, СКУ-7-100 или СКУ-ПФЛ, размерная характеристика которых взаимосвязана с конкретной парой труба – эквивалентная втулка.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторном прессе Fritz Neckert типа RD10/D0 (Германия), путем приложения осевого усилия на полиуретановый столбик или втулку при масштабе по нагрузке – 25 мм и осевом ходе 1:100.

Методикой эксперимента предусмотрено несколько схем нагрузки одиночных элементов труб или эквивалентных втулок, а также соединения Т-Р (рис. 1).

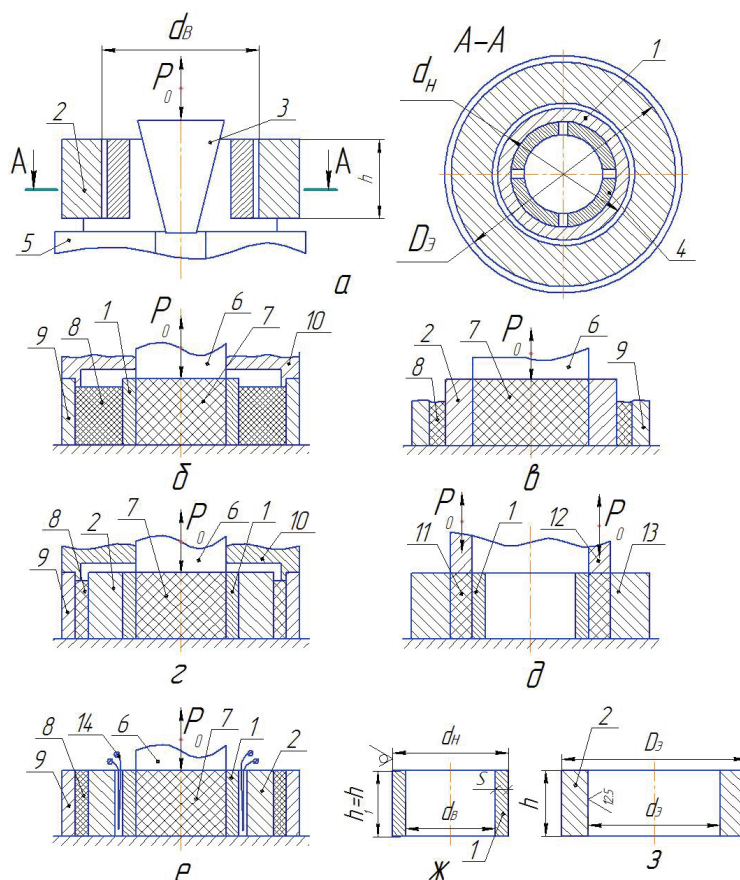


Рис. 1. Схема нагрузки и разгрузки образцов Т-Р при деформировании:

а – цанговое устройство; *б*, *в* и *г* – для образцов труб, эквивалентных втулок и соединения Т-Р соответственно; *д* – деформирование оболочки трубы; *е* – соединения Т-Р с контролем процесса тензодатчиками; *ж* и *з* – параметры трубы и втулки соответственно: 1 – труба; 2 – эквивалентная втулка; 3 – конус; 4 – лепесток цанги; 5 – опора; 6 – шток; 7 – полиуретановый стержень; 8 – резиновый фиксатор; 9 – корпус; 10 – центратор; 11 – полиуретановая втулка; 12 – втулка-шток; 13 – корпус-ограничитель; 14 – тензодатчик; d_0 – диаметр отверстия; h – толщина втулки; D_3 – эквивалентная втулка (решетка); d_H – наружный диаметр трубы; P_0 – осевая сила; h_T – длина трубы; d_B – внутренний диаметр трубы; S – толщина стенки трубы

Нагрузка осевой силой P_0 (см. рис. 1, а) проводилась конусом, воздействующим на четырехлепестковую разрезную втулку с внутренней конической поверхностью. Эксперименты, проведенные по схеме (см. рис. 1, а), подтвердили непригодность ее после нагрузки и самоторможением конуса во втулке при разгрузке, что исключило возможность получения полной картины гидростатической разгрузки образцов соединений Т-Р.

Для осуществления процесса нагрузки и разгрузки образцов предложена принципиально новая схема гидростатической нагрузки с использованием полиуретановых стержней и втулок (рис. 1, б – з).

Полиуретановые цилиндрические стержни изготавливались диаметром, равным внутреннему диаметру трубы, которые предварительно были подвергнуты осевому сжатию на 30...35 % на лабораторном прессе со снятием диаграммы нагрузки и разгрузки. Шероховатость поверхности полиуретановых стержней соответствовала $R_a = 6,3$ мкм. После предварительной нагрузки полиуретановые стержни использовались в качестве среды, создающей в замкнутом объеме гидростатическое давление, которое обеспечивало равномерную радиальную нагрузку на испытуемый образец по схемам (см. рис. 1, б – з).

Диаграмма нагрузки образца трубы, втулки и соединения по выбранной схеме также включает в себя осевое усилие P_p , требуемое на деформацию полиуретанового стержня для заполнения технологического зазора между сопрягаемыми поверхностями Т-Р. Поэтому для истинной диаграммы деформирования осевое усилие, требуемое для деформации полиуретанового стержня или втулки, вычиталось из общего осевого усилия, необходимого для деформирования элементов рассматриваемой системы нагрузки.

Процесс нагрузки при деформировании образцов труб (см. рис. 1, б) осевым усилием проводился циклически: нагрузка-разгрузка при фиксированных значениях осевых усилий. На рисунке 2 приведена характерная диаграмма деформирования образца трубы, имеющая несколько циклов нагрузки и разгрузки, полученная на том же лабораторном прессе с использованием электронного датчика осевого хода со стократным его увеличением.

Полученные диаграммы деформирования для трубы, втулки и соединения Т-Р по графикам зависимости $P_0 = f(\Delta l)$ перерасчитаны в зависимость $P_p = f(\Delta d)$.

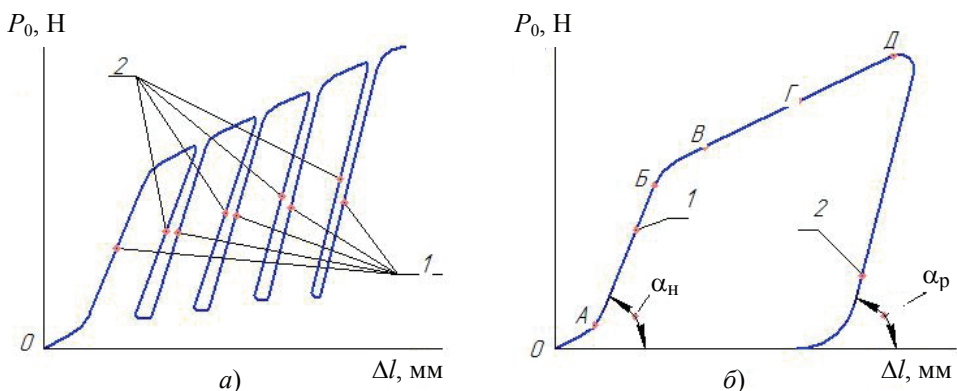


Рис. 2. График зависимости усилия нагрузки (а) и разгрузки (б) P_0 образца трубы от хода штока Δl :

1 и 2 – кривые нагрузки и разгрузки соответственно; А, Б, В, Г и Д – характерные точки нагрузки соединения Т-Р; α_n и α_p – угол наклона прямой при нагрузке и разгрузке соответственно

Шесть этапов выполнения данной методологии НДС соединений с натягом (рис. 3) следующие.

Этап 1. Определить циклическую и разовую осевую нагрузку P_0 и перемещения полиуретанового стержня Δl (по диаграмме) от осевого хода пуансона Δl для сжатия полиуретанового стержня при деформировании трубы (см. рис. 1, б)

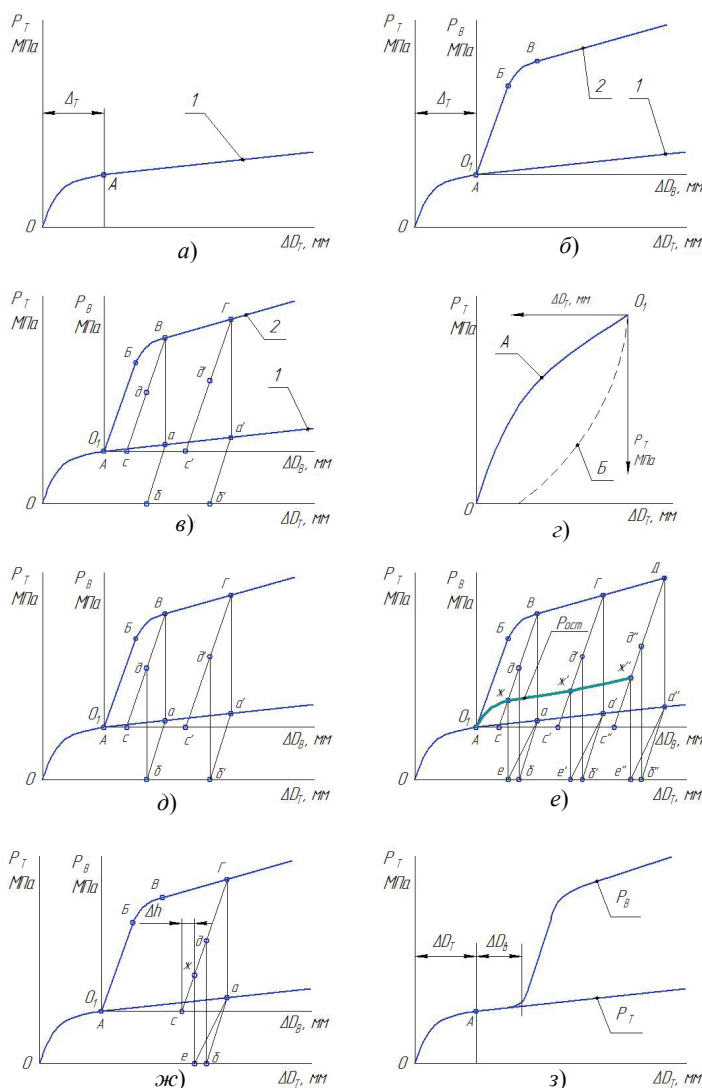


Рис. 3. Схема этапов диаграмм нагрузки и разгрузки

при деформировании трубы, эквивалентной втулки (решетки) и соединения Т-Р:

a – для трубы; $б$ – для трубы и эквивалентной втулки (решетки); $в$ – разгрузка трубы и решетки; $г$ – растяжение A и сжатие B трубы; $д$ и $е$ – разгрузка трубы и решетки до точки нагрузки и равновесия соответственно; $ж$ – точки натяга; $з$ – кривые для трубы и втулки в процессе заполнения микронеровностей; Δ_T – технологический зазор; P_T и P_B – радиальное давление для трубы и втулки (решетки) соответственно; ΔD_T и ΔD_B – приращение диаметров для трубы и втулки (решетки) соответственно; $A, B, B, Г, Д$ и $a, б, в, г, д, e, ж$ – характерные точки совместного процесса нагрузки и разгрузки соединения Т-Р соответственно; $P_{ост}$ – кривая для остаточного давления после разгрузки; Δh – натяг в соединении Т-Р; ΔD_B – приращение диаметра втулки (решетки) за счет заполнения микронеровностей между сопрягаемыми элементами

Осевое усилие $P_{д}$, необходимое для деформирования конкретного элемента соединения Т-Р, определяют по формуле $P_{д} = P_{о} - P_{п}$, где $P_{о}$ – суммарное усилие по диаграмме, прилагаемое на полиуретановый стержень, Н; $P_{п}$ – осевое усилие по диаграмме, необходимое для сжатия полиуретанового стержня при заполнении технологического зазора между сопрягаемыми поверхностями, Н.

Площадь исходного поперечного сечения полиуретанового стержня определяют $S_{н} = \frac{\pi d_{в}^2}{4}$, где $d_{в}$ – внутренний диаметр образца трубы или втулки, мм.

Площадь поперечного сечения $S_{к}$ полиуретанового столбика в конечной стадии деформирования образца определяют по уравнению $S_{к} = \frac{S_{н}l}{l - \Delta l}$, где l – длина полиуретанового стержня до деформирования, равная длине трубы или втулки, мм; Δl – осевое перемещение полиуретанового стержня по диаграмме деформирования в конечной стадии нагрузки, мм.

Диаметр полиуретанового стержня в конечной стадии деформирования определяют по формуле $D_{к} = 2\sqrt{\frac{S_{к}}{\pi}}$, тогда приращение наружного диаметра ΔD в конечной стадии деформирования для рассматриваемого элемента определяют по уравнению $\Delta D = D_{к} - D_{п}$, где $D_{п}$ – диаметр полиуретанового стержня в исходном состоянии, мм.

Циклические и разовые диаграммы необходимо сравнивать на соответствие осевого усилия $P_{о}$ и перемещения Δl . При этом необходимо контролировать исходные параметры образцов труб, втулок и полиуретановых стержней для исключения погрешностей экспериментальных данных. При отклонении параметров кривой процесса деформирования более чем на $\pm 4\%$ от характерной рекомендуется продублировать эксперименты на дополнительной серии образцов.

Этап 2. По экспериментальным и расчетным данным этапа 1 построить зависимость $P_{р} = f(\Delta D)$ для образца трубы и определить на графике характерные точки соприкосновения трубы с отверстием эквивалентной втулки (деформирование трубы в технологическом зазоре сопрягаемых поверхностей) (см. рис. 3, а), а также построить зависимость $P_{р} = f(\Delta D)$ для эквивалентной втулки, поместив ее в начало координат в точку выборки технологического зазора для аналогичной зависимости образца трубы (см. рис. 3, б). Наметить на совмещенной диаграмме характерные промежуточные и окончательные точки процесса нагрузки соединения Т-Р и построить линии разгрузки для эквивалентной втулки и трубы соответственно (см. рис. 3, в). Определить по совмещенной диаграмме значения радиальных усилий $P_{р}$, соответствующих окончанию деформации трубы, в характерных точках и провести их перерасчет в осевое усилие $P_{о}$.

Этап 3. Осевым усилием $P_{о}$ проводят деформирование образцов труб по схеме (см. рис. 3, д), применяя для этого полиуретановые втулки. При этом образцы труб используются предварительно сформированные на растяжение согласно этапу 2 по схеме (см. рис. 1, б). Полиуретановые втулки вначале подвергают сжатию, а затем устанавливают на образец трубы. Получают диаграммы зависимостей осевого хода нажимного пуансона Δl от осевого усилия $P_{о}$. Данный этап предусматривает равномерное гидростатическое давление обжатия образца трубы, то есть ее сжатия, в последовательности, обратной нагрузке трубы при растяжении. Причем осевое усилие $P_{о}$, воздействующее на полиуретановую втулку, равно значению усилия при радиальной деформации трубы. Затем проводят перерасчет зависимостей обжатия образцов трубы $P_{о} = f(\Delta l)$ в зависимость $P_{р} = f(\Delta D)$.

Этап 4. На основе данных, полученных по п. 3, строят зависимость $P_p = f(\Delta D)$ обжатия образцов труб, совмещая их началами координат в точке окончания разгрузки труб для характерных точек (см. рис. 3, д).

Этап 5. Определяют линии вертикали равновесного состояния соединения труба – эквивалентная втулка (решетка) в характерных точках процесса нагрузки (см. рис. 3, е). Соединив концы точек ординат для равновесия на совмещенной диаграмме, получают общую картину НДС соединения труба – эквивалентная втулка, которая характеризуется зависимостью радиального давления P_p от приращения диаметра ΔD_T трубы и эквивалентной втулки. Разность по абсциссе между точками окончания разгрузки втулки и трубы обуславливает величину натяга в соединении труба – эквивалентная втулка для каждой характерной точки (см. рис. 3, ж). Аналогичные диаграммы НДС для соединения Т-Р могут быть получены для любого механического способа сборки труб с трубной решеткой от задаваемого осевого усилия.

Этап 6. Проверку соответствия значений величин $P_{ост}$, получаемых с помощью совмещенной диаграммы деформирования для характерных точек нагрузки – разгрузки соединения труба – эквивалентная втулка (решетка), проводили путем сравнения их значений с полученными данными по тензодатчикам для соответствующих точек.

Основные результаты работы. В таблице 1 приведены сведения о типе узла сборки Т-Р. Путем обработки массива экспериментальных данных (не менее 20 образцов соединений Т-Р) и перерасчета различных параметров возможно получить экспериментальные диаграммы НДС для различных соединений с натягом на лабораторном прессе Fritz Heckert, а после некоторых преобразований – совмещенные диаграммы НДС для различных типоразмеров соединений Т-Р, например, для соединения Т-Р (рис. 4) с трубой диаметром и $16 \times 1,5$ мм из медно-никелевого сплава Л62, код типа узла сборки 4-Г (см. табл. 1) и др.

Подтверждение достоверности полученных результатов по диаграммам деформирования проводим путем измерения остаточных давлений (напряжений) в сопрягаемых элементах соединения Т-Р с помощью тензодатчиков, образцы которых выполнены по технологическому процессу на оптимальных режимах деформирования для конкретной пары соединения Т-Р.

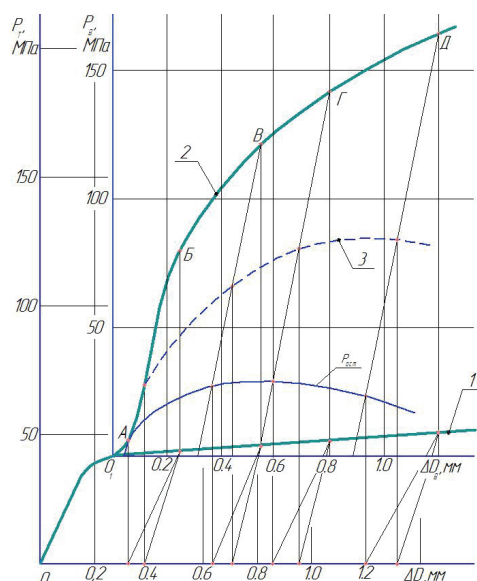


Рис. 4. Зависимости радиального давления P_r и P_p от приращения диаметров ΔD_T и ΔD_B для трубы $\varnothing 16 \times 1,5$ мм из Л62 и эквивалентной втулки из БрАЖ-9-2: 1 – труба; 2 – эквивалентная втулка; 3 – кривая равновесия при совместной разгрузке трубы и втулки; $P_{ост}$ – остаточное давление (напряжение) в соединении после разгрузки; А – Д – характерные точки нагрузки и разгрузки соединения труба – втулка

Данная методология определения НДС соединения Т-Р по совмещенным эталонным диаграммам позволяет получить полную картину процесса формирования соединения с натягом, получаемых любыми механическими способами для различных пластичных материалов Т-Р. При этом значения всех характеристик диаграммы близки к истинным значениям конкретных соединений Т-Р и находятся в диапазоне погрешности, равной $\pm 4\%$.

Выводы. Данная методология определения НДС соединения Т-Р позволяет с минимальными затратами получить достоверную картину возможных свойств узла сборки соединений с натягом и определить возможности конкретной пары сборки соединений Т-Р, устанавливая при этом оптимальные технологические режимы, обеспечивающие максимально достижимые показатели качества по герметичности и прочности.

Список литературы

1. Ремнев, А. И. Особенности закрепления труб в тонкой трубной решетке осевым деформированием / А. И. Ремнев, В. И. Черненко, Г. В. Лунев // Хим. и нефтяное машиностроение. – 1985. – № 2. – С. 32 – 33.
2. Лунев, Г. В. Сравнительные испытания качества соединений алюминиевых труб с трубными решетками, выполненных развальцовкой и осевой опрессовкой / Г. В. Лунев, А. И. Ремнев, П. В. Пашкин // Хим. и нефтяное машиностроение. – 1982. – № 11. – С. 22 – 23.
3. Юзик, С. И. Развальцовка труб в судовых теплообменных аппаратах / С. И. Юзик. – Л. : Судостроение, 1978. – 144 с.
4. Ткаченко, Г. П. Изготовление и ремонт кожухотрубчатой аппаратуры / Г. П. Ткаченко, В. М. Бриф. – М. : Машиностроение, 1980. – 160 с.
5. Ремнев, А. И. Исследование напряженно-деформированного состояния тонких трубных решеток / А. И. Ремнев // Вестн. СумГУ. – 1998. – № 10. – С. 125 – 129.
6. Ремнев, А. И. Оценка качества сборки соединений труба – решетка способом осевого деформирования для систем теплообмена компрессорного оборудования / А. И. Ремнев // Компрессор. и энергет. машиностроение. – 2006. – № 2 (4). – С. 74 – 77.

Diagrams of Deformation of Pressure Couplings of Heat Transfer Systems

**A. I. Remnev¹, O. G. Kretova², N. I. Myachikova¹,
I. Yu. Korotkikh¹, O. V. Binkovskaya¹**

*Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia (1),
alexeyremnev@mail.ru; Kursk Institute of Cooperation (Branch) of Belgorod
University of Cooperation, Economics and Law, Kursk, Russia (2)*

Keywords: deformation diagrams; integrity; residual pressure coupling; strength; stress-strain state.

Abstract: The proposed methodology for determining the stress-strain state (SSS) for the connection pipe – thin pipe grid (P-TPG) allows with minimal cost obtaining a reliable picture of the possible properties of a subassembly of the pressure coupling. Methodology makes it possible to evaluate the operational capabilities of the P-PTG assembly, to set patterns for optimizing the process conditions, to provide maximum attainable quality of connection P-G for strength and integrity.

References

1. Remnev A.I., Chernenko V.I., Lunev G.V. [Features of fastening of pipes in a thin tube lattice by axial deformation], *Khimicheskoe i nefyanoie mashinostroenie* [Chemical and petroleum engineering], 1985, no. 2. pp. 32-33. (In Russ.)

2. Lunev G.V., Remnev A.I., Pashkin P.V. [Comparative tests of the quality of joints of aluminum pipes with tube grids, made by flaring and axial crimping], *Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie* [Chemical and petroleum engineering], 1982, no. 11, pp. 22-23. (In Russ.)

3. Yuzik S.I. *Razval'tsovka trub v sudovykh teploobmennyykh apparatakh* [Flaring of pipes in ship heat exchangers], Leningrad: Sudostroenie, 1978, 144 p. (In Russ.)

4. Tkachenko G.P., Brif V.M. *Izgotovlenie i remont kozhukhotrubchatoi apparatury* [Manufacture and repair of shell and tube equipment], Moscow: Mashinostroenie, 1980, 160 p. (In Russ.)

5. Remnev A.I. [Investigation of the stress-strain state of thin tube grids], *Vestnik SumGU* [Bulletin of Sumy State University], 1998, no. 10, pp. 125-129. (In Russ.)

6. Remnev A.I. [Evaluation of the quality of assembly of pipe joints – grating by the method of axial deformation for heat transfer systems of compressor equipment], *Kompressornoe i energeticheskoe mashinostroenie* [Compressor and power engineering], 2006, no. 2 (4), pp. 74-77. (In Russ.)

Diagramme der Deformierung der Spannungsverbindungen von Wärmeaustauschsystemen

Zusammenfassung: Die vorgeschlagene Methodik zur Bestimmung des spannungsdeformierten Zustands (VAT) einer rohrdünnen Rohr-Gitter-Verbindung (T-TTR) ermöglicht es, mit minimalen Kosten ein zuverlässiges Bild der möglichen Eigenschaften der Montageeinheit der Spannungsverbindungen zu erhalten, sowie auch die Möglichkeiten einer bestimmten Gruppe von T-TTR Verbindungen zu beurteilen, Gesetzmäßigkeiten zur Optimierung der technologischen Zustände festzustellen, die maximal erreichbaren Kennziffern der Qualität der Rohrnetzverbindung (T-P) in Bezug auf Luftdichtigkeit und Festigkeit zu gewährleisten.

Diagrammes de la déformation des connexions avec un ajustement serré des systèmes du transfert de chaleur

Résumé: La méthode proposée de la définition de l'état des contraintes et des déformations (ECD) de la connexion tube – grille mince de tube (T-GMT) permet d'obtenir avec un minimum de charges une image fiable des propriétés possibles du noeud d'assemblage de la connexion avec un ajustement serré ainsi que d'évaluer la fonctionnalité d'une paire de l'assemblage de la connexion T-GMT, d'établir les régularités de l'optimisation des régimes technologiques, d'assurer le maximum réalisable d'indicateurs de la qualité de la connexion tube – grille (T-G) par l'étanchéité et par la résistance.

Авторы: *Ремнев Алексей Ильич* – доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, Россия; *Кретова Оксана Григорьевна* – старший преподаватель кафедры гуманитарных, естественнонаучных и юридических дисциплин, Курский институт кооперации (филиал) АНО ВО «Белгородский университет кооперации, экономики и права», г. Курск, Россия; *Мячикова Нина Ивановна* – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой технологии продуктов питания; *Коротких Ирина Юрьевна* – старший преподаватель кафедры технологии продуктов питания; *Биньковская Ольга Викторовна* – кандидат биологических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, Россия.

Рецензент: *Болтенко Юрий Алексеевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород, Россия.
