

Записуючи шляхи від  $a_2^D$  до  $v_1^D$  і від  $a_1^D$  до  $v_2^D$ , одержимо

$$\hat{H}_{12} = \frac{1}{M} H_{12}^{\partial} H_{12}^u H_{12}^n; \hat{H}_{21} = \frac{1}{M} H_{21}^{\partial} H_{21}^u H_{21}^n.$$

Досліджуючи шлях від  $a_2^D$  до  $v_2^D$ , аналогічно запишемо

$$\hat{H}_{22} = H_{22}^n + \frac{1}{M} \left[ H_{21}^n H_{12}^u H_{22}^n (1 - H_{11}^u H_{22}^n) + H_{21}^n H_{12}^u H_{11}^u H_{22}^{\partial} \right].$$

В усіх випадках

$$M = 1 - H_{22}^{\partial} H_{11}^u - H_{22}^u H_{11}^n - H_{22}^{\partial} H_{21}^u H_{22}^n + H_{22}^{\partial} H_{21}^u H_{22}^n H_{11}^n.$$

Не розписуючи матриць і навіть не складаючи їх, можна отримати результати більш коротшим і швидшим шляхом. За допомогою топологічного методу можна визначити і інші параметри гідравлічних приводів.

## SUMMARY

In the article the questions of using the topological methods of the estimation of the hydrovolume drives of the wheel steering systems have been considered. On the example of the wheel steering of the tractor KTP-121 (Kharkov tractor plant) the oriented graph is made and with the help of Meson formula the analytical estimations of the expenses in the hydrodrive of the wheel steering are fulfilled.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. - М.: Машиностроение, 1971. - 671 с.
2. Гамынин Н. С. Гидравлический привод систем управления. - М.: Машиностроение, 1972. - 376 с.
3. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. - М.: Машиностроение, 1977. - 424 с.
4. Трохименко Я. К., Каширский И. С., Ловкий В. К. Проектирование радиотехнических систем на инженерных ЭЦВМ. - Киев: Техника, 1976. - 272 с.
5. Лебедев А. Т. Гидропневматические приводы транспортных агрегатов. - Москва: Машиностроение, 1982. - 184 с.

Надійшла до редколегії 19 лютого 1999 р.

УДК 621.191.1:621.186.07.01

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПО ДИАГРАММАМ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБА - РЕШЕТКА

А. И. Ремнев, доц.

Крепление труб с трубной решеткой осевым деформированием [1-3] имеет ряд существенных отличий от известных механических способов, все они (кроме электросварки и пайки) связаны с пластическим деформированием трубы и упругой или упругопластической деформацией трубной решетки. К существенным отличиям процесса формирования крепления труб с трубной решеткой от известных способов [4,5] можно отнести: распределенность усилия радиального деформирования на участке заземления (фиксации) трубы в отверстии трубной решетки на первом этапе технологического процесса; объемное пластическое деформирование трубы (гидростатическое распределение усилия деформирования) в замкнутом объеме труба - решетка - цапговый зажим) и

упругое, упругопластическое деформирование трубной решетки, уменьшение внутреннего диаметра трубы на втором этапе технологического процесса до 8%, обуславливаемого осаживанием трубы в отверстие трубной решетки; отсутствие наклепа и шелушения внутренней оболочки трубы и другие. Это свидетельствует о том, что основные закономерности процесса деформирования узла крепления труба – решетка (Т-Р), несмотря на отдельные особенности, при любом другом механическом способе имеют общность подходов к решению задачи формирования соединения [1-5]. Вопросам изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) соединения Т-Р посвящены работы [1-3]. В работе [1] диаграмма (схема) формирования узла крепления Т-Р представлена в общем, описательном виде, позволяющая рассмотреть только физическую сущность вальцовочного соединения.

Научную ценность имеет диаграмма деформирования для развальцовки [5], позволяющая количественно и качественно оценить процесс формирования соединения Т-Р, применив расчетные зависимости для определения характерных точек диаграммы. Такая модель представления процесса развальцовки трубы с решеткой является весьма приближенной, так как не учитывает динамического характера нагружения при развальцовке роликами. Погрешности расчетов оправдываются простотой расчетных зависимостей и возможностями проведения всестороннего анализа процесса развальцовки, ускоряющего и облегчающего оптимизацию параметров этого процесса. Предварительные расчеты режимов деформирования для формирования узла крепления Т-Р осевым деформированием по предложенной методике [2] свидетельствуют о существенных погрешностях в расчетах, не позволяющих ее использование по ряду причин, связанных с дополнительными погрешностями и особенностями процесса формирования соединения Т-Р. Определение режимов деформирования экспериментальным путем имеет трудоемкий процесс, требует больших финансовых затрат. При этом качество получаемых соединений весьма низкое в связи с неизученностью технологического процесса формирования соединения Т-Р.

Таким образом, для изучения НДС соединения Т-Р необходимо изучить физическую сущность процесса деформирования и сформулировать задачи для решения поставленных вопросов, которые заключаются в экспериментальном исследовании процесса крепления труб с решеткой осевым деформированием по диаграммам.

Методикой исследования предусмотрены образцы соединения Т-Р состоящие из труб и эквивалентных втулок, характеристика которых приведена в табл.1.

Таблица 1 - Образцы – свидетели узла крепления Т-Р

Характеристика трубы					Характеристика втулки (решетки)					Тип узла
$d_n$ , мм	$S$ , мм	$\sigma_T$ , МПа	Материал	Тип	$D_p$ , мм	$d_0$ , мм	$\sigma_T$ , МПа	Материал	Тип	
10	1	49	АДМ	1	18	10,5	320	АК4	А	1-А
10	1	127	АМцМ	2	18	10,5	320	АК4	В	2-В
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

Образцы труб имели длину  $h_T$  и толщину эквивалентной втулки (решетки)  $h$  равные, по 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 решетки.

В качестве среды, создающей гидростатическое давление, используются 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 Heckert» типа RD10/D0 (ГДР) путем приложения осевого усилия на полиуретановый столбик или втулку при масштабе по нагрузке 25 мм в осевом ходе 1:100.

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

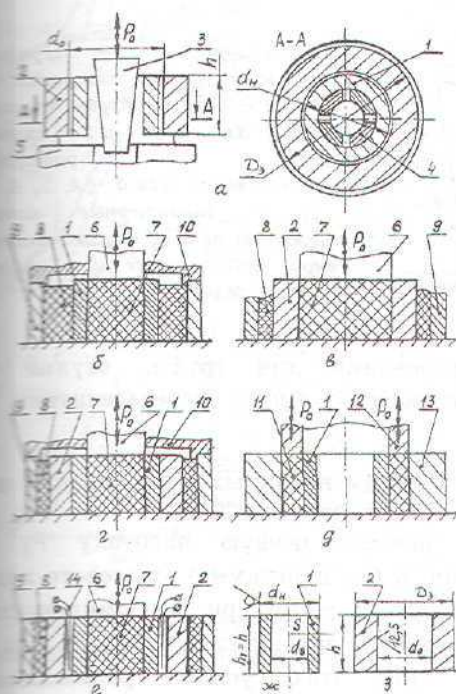


Рисунок 1 – Схема нагрузки и разгрузки образцов Т-Р при деформировании: а – конусовое устройство; б, в и г – для образцов труб, эквивалентных втулок и соединения Т-Р соответственно; д – деформирование оболочки трубы; е – соединения Т-Р с контролем процесса тензодатчиками; ж и з – параметры трубы и втулки 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;  $D_0$  – эквивалентная втулка;  $P_0$  – осевая сила;  $h_m$  – высота трубы;  $d_a$  – внутренний диаметр трубы;  $S$  – толщина стенки трубы

Нагружение осевой силой  $P_0$  (рис.1а) производилось конусом, действующим на четырехлепестковую разрезную втулку с внутренней цилиндрической поверхностью. Эксперименты, проведенные по схеме (рис.1а), подтвердили непригодность ее в связи с самоторможением конуса во втулке при разгрузке, что исключило возможность получения полной картины гидростатического разгружения образцов.

Для осуществления процесса нагружения и разгружения образцов предложена принципиально новая схема гидростатического нагружения с использованием полиуретановых стержней и втулок (см. рис.1б-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 предварительного нагружения полиуретановые стержни использовались в качестве среды, создающей в замкнутом объеме гидростатическое давление. Оно обеспечивает равномерную радиальную нагрузку на испытываемый образец по схемам, приведенным на рисунке 1б-з.

Диаграмма нагрузки образца трубы, втулки и соединения по выбранной схеме также включает в себя осевое усилие  $P_n$ , требуемое на деформацию полиуретанового стержня для заполнения технологического

зазора между сопрягаемыми поверхностями. 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 нагружения.

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

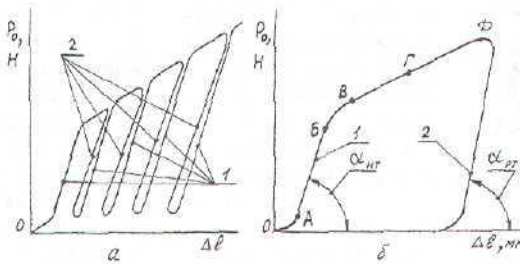


Рисунок 2 - График зависимости усилия нагрузки и разгрузки  $P_0$  образца трубы от хода штока  $\Delta l$ : для а и б: 1 и 2 - кривые нагрузки и разгрузки соответственно; для б - А, Б, В, Г и Д - характерные точки нагрузки;  $\alpha_{нг}$  и  $\alpha_{рр}$  - угол наклона прямой при нагрузке и разгрузке соответственно

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

Последовательность выполнения экспериментальных исследований на указанном выше лабораторном прессе следующая (рис.3).

1. Определить циклическую и разовую осевую нагрузку  $P_0$  и перемещения полиуретанового стержня  $\Delta l$  (по диаграмме) от осевого хода пуансона  $\Delta l$  для сжатия полиуретанового стержня при деформировании трубы (см. рис.1б) и произвести перерасчет полученных величин  $P_0$  и  $\Delta l$  в зависимость вида  $P_p = f(\Delta D)$ . При этом усилие радиального деформирования образца  $P_p$  определяется по формуле

$$P_p = \frac{P_0}{S_n}$$

где  $P_0$  - осевое усилие деформирования конкретного элемента соединения Т-Р, Н;  $S_n$  - исходная площадь сечения полиуретанового стержня, мм.

Осевое усилие  $P_0$ , необходимое для деформирования конкретного элемента соединения Т-Р, определяется по формуле

$$P_0 = P_0 - P_n$$

где  $P_0$  - суммарное усилие по диаграмме, прилагаемое на полиуретановый стержень, Н;  $P_n$  - осевое усилие по диаграмме, необходимое для сжатия полиуретанового стержня при заполнении технологического зазора между сопрягаемыми поверхностями, Н.

Площадь исходного поперечного сечения полиуретанового стержня определяется

$$S_n = \frac{\pi \cdot d_B^2}{4}$$

где  $d_B$  - внутренний диаметр образца трубы или втулки, мм.

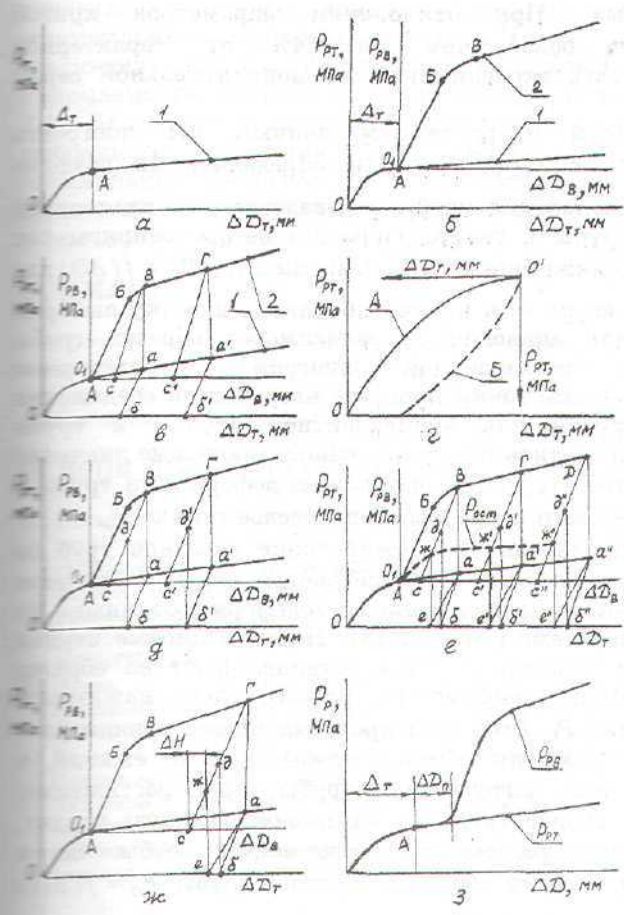


Рисунок 3 - Схема этапов диаграмм нагрузки и разгрузки при деформировании трубы, эквивалентной втулки и соединения Т-Р: а - для трубы; б - для трубы и решетки; в - разгрузка трубы и решетки; г - растяжение А и сжатие Б трубы; д и е - разгрузка трубы и решетки до точки нагружения и равновесия соответственно; ж - точки натяга; з - кривые для трубы и втулки в процессе заполнения микронеровностей:  $\Delta_m$  - технологический зазор;  $P_{рт}$  и  $P_{ртв}$  радиальное давление для трубы и решетки соответственно;  $\Delta D_m$  и  $\Delta D_{в}$  - приращение диаметров для трубы и решетки соответственно; А, Б, В, Г, Д и а, б, в, г, д, е, ж - характерные точки совместного процесса нагрузки и разгрузки соединения Т-Р соответственно;  $P_{ост}$  - кривая для остаточного давления после разгрузки;  $\Delta H$  - натяг в соединении;  $\Delta D_n$  - приращение диаметра за счет заполнения микронеровностей между сопрягаемыми элементами

Площадь поперечного сечения  $S_K$  полиуретанового столбика в конечной стадии деформирования образца определяется по уравнению

$$S_K = \frac{S_H \cdot l}{l - \Delta l}$$

где  $l$  - длина полиуретанового стержня до деформирования, равная длине трубы или втулки, мм;  $\Delta l$  - осевое перемещение полиуретанового стержня в диаграмме деформирования в конечной стадии нагружения, мм.

Диаметр полиуретанового стержня в конечной стадии деформирования определяется по формуле

$$D_K = 2 \sqrt{\frac{S_K}{\pi}}$$

Тогда приращение наружного диаметра  $\Delta D$  в конечной стадии деформирования для рассматриваемого элемента определяется по уравнению

$$\Delta D = D_K - D_n$$

где  $D_n$  - диаметр полиуретанового стержня в исходном состоянии, мм.

Циклические и разовые диаграммы необходимо сравнивать на соответствие осевого усилия  $P_0$  и перемещения  $\Delta l$ . 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.

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

3 Осевым усилием  $P_o$  производят деформирование образцов труб по схеме (см. рис.3д), применяя для этого полиуретановые втулки. При этом образцы труб используются предварительно сформированные на растяжение согласно п.2 по схеме (см. рис.1б). Полиуретановые втулки предварительно подвергают сжатию, а затем устанавливают на образец трубы. Получают диаграммы зависимостей осевого хода нажимного пуансона  $\Delta l$  от осевого усилия  $P_o$ . Этот этап предусматривает равномерное гидростатическое давление обжатия образца трубы, т.е. ее сжатия, в последовательности, обратной нагружению трубы при растяжении. Причем осевое усилие  $P_o$ , воздействующее на полиуретановую втулку, равно значению усилия при радиальной деформации трубы. Затем производят перерасчет зависимостей обжатия образцов трубы  $P_o = f(\Delta l)$  в зависимости  $P_p = f(\Delta D)$ .

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

5 Определяют линии вертикали равновесного состояния соединения труба - эквивалентная втулка в характерных точках процесса нагружения (см. рис.3е). Соединив концы точек ординат равновесия на совмещенной диаграмме, получают общую картину НДС соединения труба - эквивалентная втулка, которая характеризуется зависимостью радиального давления  $P_p$  от приращения диаметра  $\Delta D$  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.3ж). Аналогичные диаграммы НДС соединения Т-Р могут быть получены для любого механического способа крепления труб с трубной решеткой от задаваемого осевого усилия.

6 Проверку соответствия значений величин  $P_{ост}$ , получаемых с помощью совмещенной диаграммы деформирования для характерных точек нагрузки - разгрузки соединения труба - эквивалентная втулка, производили путем сравнения их значений с полученными по тензодатчикам для соответствующих точек.

Таким образом, методика определения НДС соединения Т-Р по совмещенным эталонным диаграммам для конкретного типа соединения позволяет экспериментальным путем установить оптимальные режимы деформирования при достижении максимальных значений остаточных

давлений в соединении. Предложенная методика позволяет с минимальными затратами получить характерную картину процесса НДС соединения Т-Р для конкретного типоразмера соединения и установить приемлемость возможных вариантов сочетания различных материалов Т-Р. Благодаря научно-обоснованному анализу получаемых данных для выбранного сочетания Т-Р представлена возможность назначения оптимальных режимов технологического процесса формирования узла крепления Т-Р, обеспечивающих максимально возможную герметичность и прочность соединения.

## SUMMARY

*Offered the new strategy of experimental determination tense-deformed condition a pipe-lattice on combined master diagrams for concrete range of sizes join. It allows to install optimum modes of technological process of shaping a node of fastening a pipe-lattice, ensuring greatly possible impenetrability and toughness of join chiller energy installation.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремнев А. И. Некоторые аспекты практического применения технологии крепления труб с тонкой трубной решеткой осевым деформированием // Гидравлические машины, гидропневмоагрегаты, теория, расчет, конструирование. Тем. сб. научн. тр. - К.: УСДОУ, 1994.-С.303-312.
2. Ремнев А. И., Васильев А. В., Захаркин А. У. Технология закрепления труб в трубных решетках теплообменных аппаратов. И. л. №89-100.- Харьков: Изд-во Харьковский МТЦНТИ, 1989.- С.1-3.
3. Лунев Г. В., Ремнев А. И., Пашкин П. В. Сравнительные испытания качества соединений алюминиевых труб с трубными решетками, выполненных развальцовкой и осевой опрессовкой // Химическое и нефтяное машиностроение, 1982.- №11.- С.22-23.
4. Юзик С. И. Развальцовка труб в судовых теплообменных аппаратах. - Л.: Судостроение, 1978. - 144с.
5. Ткаченко Г. П., Бриф В. М. Изготовление и ремонт кожухотрубчатой аппаратуры. - М.: Машиностроение, 1980. - 160с.
6. Ремнев А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния тонких трубных решеток // Вісник СумДУ, 1998. - № 2(10). - С.125-129.

*Поступила в редколлегию 20 января 1999 г.*

УДК 621.9.048.4

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАВИСИМОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННО - ЛЕГИРОВАННЫХ СЛОЕВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

*В.Б.Тарельник, ст. науч. сотр.  
(ДНПП "Никмас - Ротор", г.Сумы)*

Электроэрозионное легирование (ЭЭЛ) как процесс получения износостойких покрытий находит все большее применение в машиностроении.

Поэтому представляет определенный научный и практический интерес исследование механизма формирования структуры ЭЭЛ слоя, выяснение влияния состава электродов, длительности и режима легирования на свойства слоя.

Ранее [1] было установлено, что основными технологическими параметрами, оказывающими определяющее влияние на микрогеометрию поверхности, структуру и свойства упроченного слоя, являются мощность разряда, которая определяется произведением тока короткого замыкания на напряжение холостого хода, материал электрода и время легирования. Исследования проводились на подложке из стали 45, а в качестве легирующих электродов использовались твердые износостойкие металлы: хром, вольфрам, частично молибден и армко-железо.