

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **23630**

(13) **С1**

(46) **2022.02.28**

(51) МПК

*G 01N 3/00* (2006.01)

*F 17C 1/00* (2006.01)

(54) **МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ИЛИ  
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ИСПЫТАНИЯ КРЕПЕЖНОГО ШВА НА  
СДВИГ ИЛИ РАЗРЫВ**

(21) Номер заявки: а 20190033

(22) 2019.02.08

(43) 2020.10.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Калиниченко Мария Львовна; Калиниченко Владислав Александрович; Кривошеев Юрий Константинович; Зелезей Александр Евгеньевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) Правила по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, утвержденные постановлением МЧС РБ от 28.01.2016 №7, с. 28-32.

RU 2239748 C2, 2004.

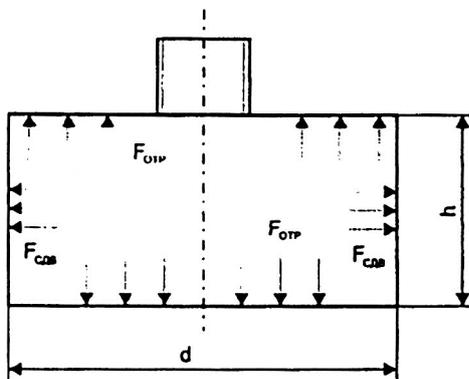
SU 1631350 A1, 1991.

FR 2022528, 1970.

FR 2388200, 1978.

(57)

Модель для проведения гидравлического или пневматического испытания крепежного шва на сдвиг или разрыв, выполненная в виде замкнутого цилиндрического сосуда, содержащего бесшовную цилиндрическую часть, диаметр которой больше ее высоты для испытания на разрыв или меньше ее высоты для испытания на сдвиг, и крышку, прикрепленную к торцу цилиндрической части с помощью крепежного шва, полученного методом склеивания, или твердой пайки, или обжимки, при этом в крышке выполнено входное отверстие для приложения гидравлического или пневматического давления, а прочности материалов упомянутой цилиндрической части и крышки превышают прочность испытываемого крепежного шва.



Фиг. 1

Изобретение относится к способу оценки замкнутых объемных склеенных (твердопаяных, обжимных и т. д.) соединений на условные сдвиг и отрыв гидравлическим и/или пневматическим способом при помощи специально подготовленных моделей. Изобретение может быть использовано в различных отраслях машиностроения, авиа- и кораблестроении для расширения методики испытаний клеевых (твердопаяных, обжимных и т. д.) конструкций.

Известен метод испытания прочности клеевых соединений на сдвиг [1]. Сущность метода заключается в определении величины разрушающей силы при растяжении стандартного образца, склеенного внахлестку, усилиями, стремящимися сдвинуть одну половину образца относительно другой.

Недостатком метода является то, что для оценки качества соединений в комплексе, классические испытания на сдвиг не дают полной картины характера разрушения образца, являющегося по функциональному назначению близким к сосуду, работающему под/или противодействием, и не отображают его реальных прочностных характеристик.

Известен метод испытания прочности клеевых соединений на отрыв [2]. Сущность метода заключается в определении величины разрушающей силы при растяжении стандартного образца клеевого соединения встык усилиями, направленными перпендикулярно плоскости склеивания.

Недостатком метода является то, что для оценки качества соединений в комплексе, классические испытания на отрыв не дают полной картины характера разрушения образца, являющегося по функциональному назначению близким к сосуду, работающему под/или противодействием, и не отображают его реальных прочностных характеристик.

Наиболее близким к изобретению являются гидравлические испытания [3]. Их сущность заключается в том, что основная направленность испытаний рассчитана на использование агрегатов и/или узлов промышленного назначения, работающих под избыточным гидро-, паро- или воздушным давлением, с объемом, превышающим 25 л, и являющихся независимыми сосудами под давлением.

Недостатком является то, что в них не рассматриваются сосуды менее 25 л, а также представляющие собой несамостоятельные сосуды, работающие с избыточным давлением (корпуса насосов или турбин, цилиндры, компрессоры, магистральные трубопроводы и системы водоочистки и т. д.). В условиях водоподготовки используются сосуды объемом около 1 дм<sup>3</sup> в большом количестве, а они не включены в реестр. Их расчетное количество на установку может превышать 100 м<sup>3</sup>, следовательно, для оценки системы требуется проверка работы каждого отдельного взятого сосуда.

Целью заявленного изобретения является создание модели, позволяющей производить оценку и контроль замкнутых объемных соединений (в особенности клеевых) на разрушающие напряжения, которая испытывает замкнутые объемы (вне зависимости от их литража) при работе в условиях знакопеременных нагрузок.

Поставленная задача достигается тем, что модель для проведения гидравлического или пневматического испытания крепежного шва на сдвиг или разрыв, выполненная в виде замкнутого цилиндрического сосуда, содержащего бесшовную цилиндрическую часть, диаметр которой больше ее высоты для испытания на разрыв или меньше ее высоты для испытания на сдвиг, и крышку, прикрепленную к торцу цилиндрической части с помощью крепежного шва, полученного методом склеивания, или твердой пайки, или обжимки, при этом в крышке выполнено входное отверстие для приложения гидравлического или пневматического давления, а прочности материалов упомянутой цилиндрической части и крышки превышают прочность испытываемого крепежного шва.

Модель для проведения разрывных испытаний (фиг. 1) должна иметь геометрические пропорции, удовлетворяющие следующим требованиям: соотношение  $h : d$  должно основываться на том, что  $d$  превосходит  $h$  и чем более выражено это превосходство, тем более ярко выражен определяемый параметр, без учета погрешности на ввод штуцера высокого

давления, где  $h$  - высота,  $d$  - диаметр. Модель для проведения испытаний на условный сдвиг (фиг. 2) должна иметь геометрические пропорции, удовлетворяющие следующим требованиям: соотношение  $H : d$  должно основываться на том, что  $H$  превосходит  $d$  и чем более выражено это превосходство, тем более ярко выражен определяемый параметр, без учета погрешности на ввод штуцера высокого давления, где  $H$  - высота,  $d$  - диаметр.

Сущность изобретения поясняется фиг. 1, 2.

Технический результат осуществляется следующим образом.

Изготавливается модель, представляющая собой сосуд в виде замкнутого объемного соединения, полученного методом склеивания (твердой пайки, обжимки и т. д.); при этом крепежный шов является сплошным с технологической толщиной, соответствующей паспортным данным выбранного адгезива, и находится по торцу крепления крышек к центральной части, центральная часть (профиль сечения которой может варьироваться в зависимости от поставленной задачи) имеет бесшовное соединение; прочность материала модели (сосуда) должна превышать прочность соединяющего шва. При этом учитывается, что большинство адгезивных соединений имеют наибольшую прочность на отрывные, чем на сдвиговые деформации.

Исходя из физико-математического обоснования, приведенного в примере, особое внимание уделяется строго пропорциональному соотношению размеров испытуемой модели, что является существенным для данного способа (фиг. 1).

В качестве обоснования воздействия разрушающих сил, влияющих на предложенную модель, а именно деформационного нагружения замкнутого объема модели, было доказано, что с уменьшением высоты  $H$  уменьшается воздействие сдвиговых сил и возрастает роль отрывных.

Цилиндр с наибольшей высотой (образующая цилиндра максимальна) обладает наибольшей боковой поверхностью, в отличие от цилиндра с наименьшей высотой, у которого образующая минимальна.

Исходя из закона Паскаля: давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, не нарушающее ее равновесия, передается всем точкам этой жидкости без изменения.

Сила  $F$  равна произведению давления  $p$  на площадь  $S$ :

$$F = p \cdot S, \quad (1)$$

Сила, приложенная к цилиндрической поверхности более высокого цилиндра

$$F = p \cdot 2\pi R \cdot H, \quad (2)$$

будет больше, чем соответствующая сила у цилиндра с меньшей высотой

$$F = p \cdot 2\pi R \cdot h, \quad (3)$$

где  $R$  - радиус днища,  $H$  и  $h$  - соответственно высота большего и меньшего цилиндров.

Силы же, приложенные ко дну (торцу) цилиндра, будут одинаковыми по величине и равные

$$f = \pi R^2 \cdot p. \quad (4)$$

Сила, приложенная к торцу цилиндра  $f$ , обеспечивает отрывные усилия на шов; сила, приложенная к боковой поверхности  $F$ , вызывает сдвиговые усилия. Шов (место торцевого соединения) в обоих случаях подвергается одинаковым отрывным усилиям, но различным сдвиговым, при этом, чем больше высота (образующая) цилиндра, тем больше это усилие. Это приводит к тому, что место присоединения дна к цилиндрической поверхности выдерживает значительно большее давление, когда высота цилиндра меньше. В случае фиг. 1  $F_{сдв} \ll F_{отр}$ , а в случае фиг. 2  $F_{сдв} \gg F_{отр}$ .

Для адгезивных соединений предпочтительнее модель фиг. 1 (без технологических решений, ребер жесткости и т. д.), чем модель фиг. 2, так как имеет прочностные характеристики при гидравлическом или пневматическом ударе на 20 % выше (см. пример).

Как результат, из описания взаимодействия сил видно, что для воздействия сил, в большей степени работающих на отрыв, высота образца обязана быть (относительно физико-математического обоснования) менее его диаметра или поперечного сечения. При

испытании и определении сил, в большей мере воздействующих на сдвиг, высота образца должна заметно превышать его диаметр или его поперечное сечение. Высота модели для работы в разрывных деформациях по отношению  $h : d$ , которое должно основываться на том, что  $d$  превосходит  $h$  и чем более выражено это превосходство, тем более ярко выражен определяемый параметр фиг. 1, а для сдвиговых  $H : d$  должно основываться на том, что  $H$  превосходит  $d$  и, чем более выражено это превосходство, тем более ярко выражен определяемый параметр фиг. 2. Возможны и другие соотношения сил. К примеру, для оценки максимального воздействия результирующей силы  $H : d$  должно составлять 1:1 (без учета погрешности на ввод штуцера высокого давления).

Также является значимым размер входного отверстия для приложения гидравлического и/или пневматического давления, которое должно быть сопоставимо с габаритными размерами испытываемой модели.

Далее проводятся динамические испытания методом быстрого равномерного подъема гидравлического и/или пневматического давления внутри испытываемого образца до его разрушения и статические испытания, которые проводятся на полностью аналогичном образце с нагрузкой  $p_{\text{разруш.}} = -20\%$  от первоначальной и выдержкой минимум 10 мин в зависимости от толщины стенки сосудов.

### Пример.

Для примера были подготовлены 2 модели - замкнутые цилиндры с входным отверстием под фланец для приложения гидравлического давления в одном из торцов каждой модели. Отверстие должно быть сопоставимо с габаритными размерами испытываемой модели. Сборка цилиндрической поверхности с дном (с торцевым креплением) производилась с помощью адгезива по техническим параметрам, подходящим для данного металла и использования модели во влажной и агрессивных средах.

При этом радиус ( $R$ ) днища одинаков для первого и второго образца, а высота цилиндрической поверхности отлична ( $H$  и  $h$ ), особое внимание уделяется строго пропорциональному соотношению размеров испытываемой модели и испытываемого узла. Радиус ( $r$ ) отверстия под фланец также одинаков у каждой модели.  $R = 0,025$  м,  $H = 0,078$  м,  $h = 0,028$  м и  $r = 0,005$  м.

Проводились динамические испытания методом быстрого равномерного подъема гидравлического давления внутри испытанного образца до его разрушения. В результате разрушение модели с наибольшей высотой цилиндра произошло при давлении  $p_1 = 5,64$  МПа, а модели с наименьшей высотой цилиндра -  $p_2 = 6,1$  МПа. Расчет силы, приложенной к цилиндрической поверхности более высокого цилиндра и к цилиндру с меньшей высотой, рассчитывается по формулам 2 и 3 соответственно.

Для цилиндра с высотой поверхности  $H$ :

$$F_{\text{сдв1}} = 5640000 \cdot 2\pi \cdot 0,025 \cdot 0,078 = 69,067 \text{ kN.}$$

Для цилиндра с высотой поверхности  $h$ :

$$F_{\text{сдв2}} = 6100000 \cdot 2\pi \cdot 0,025 \cdot 0,028 = 26,815 \text{ kN.}$$

Теперь произведем расчет сил, приложенных к дну (торцу) цилиндра моделей без отверстия под фланец, по формуле 4.

Для модели с наибольшей высотой цилиндра  $H$ :

$$f_{\text{отр1}} = \pi \cdot 0,025^2 \cdot 5640000 = 11,069 \text{ kN.}$$

Для модели с наименьшей высотой цилиндра  $h$ :

$$f_{\text{отр2}} = \pi \cdot 0,025^2 \cdot 6100000 = 11,971 \text{ kN.}$$

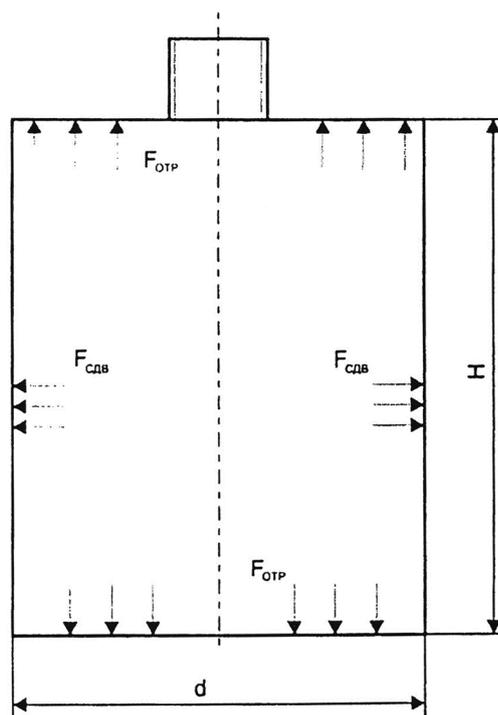
В результате проведенного расчета было выявлено соответствие полученных экспериментальных данных предложенному физико-математическому обоснованию, которое позволяет оценивать деформации на условный разрыв и условный сдвиг на замкнутые объемные соединения (в особенности клеевые) при работе в условиях разрушающих нагрузок, приложенных равномерным и/или скачкообразным воздействием давления внутри замкнутого объема.

# ВУ 23630 С1 2022.02.28

Использование предложенной модели позволит улучшить оценку воздействия давления на передачу сдвиговых деформаций и деформаций на растяжение в комплексном исследовании взаимодействия сил на замкнутый объем, так как в замкнутом объемном соединении на шов воздействуют как отрывные, так и сдвиговые деформации, а также их производные в виде результирующих сил и моментов, описывающие деформации изгиба (влияние производных сил и моментов для упрощения методики оценки не учитывались). Модель может найти свое применение в дефектоскопии, разрушающем контроле, выборочном контроле и иных методах оценки анализа замкнутых объемных соединений (в том числе с помощью адгезивов), которые испытывают при работе разрушающие нагрузки, приложенные равномерным и/или скачкообразным воздействием сил внутри замкнутого объема.

Источники информации:

1. ГОСТ 14759-91. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге.
2. ГОСТ 14760-85. Клеи. Метод определения прочности при отрыве.
3. Правила по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, утвержденные постановлением МЧС РБ от 28.01.2016 № 7. (гл. 1, 16, стр. 28).



Фиг. 2