

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к гибкому трубчатому устройству, в частности к гофрированной трубе, с внутренним диаметром до 60 мм, которое включает один или более волнистых гофров, обладающих, в целом, колоколообразной формой с закругленными верхними участками и закругленными нижними участками, где кривизна наружной поверхности гофров численно меньше в верхних участках, чем в нижних участках, причем эту кривизну определяет кривая, определяемая как пересечение наружной поверхности устройства и плоскости, проходящей через продольную ось устройства, где кривизна названной кривой меняет знак только один раз в точке перегиба, находящейся между каким-либо верхним участком и соседним с ним нижним участком, и где длина некоторого первого отрезка кривой, по меньшей мере, на 10% больше длины некоторого второго отрезка кривой, причем названный первый отрезок проходит от одной точки перегиба к соседней точке перегиба через верхний участок, а названный второй отрезок проходит от одной точки перегиба к соседней точке перегиба через нижний участок.

Уровень техники

Гибкие трубчатые устройства типа гофрированной трубы с одним или более гофрами придают степень гибкости трубопроводам, транспортирующим газ, воздух, водяной пар, нефтепродукты или какое-либо другое вещество при переменных температурах и давлениях. Типичным оборудованием, где могут быть использованы гофрированные трубы с целью демпфирования относительных перемещений между оборудованием и соединительными трубопроводами, являются турбины, насосы, компрессоры, теплообменники, реакторы и клапаны. Если не обеспечить некоторую компенсацию для названных размерных изменений, в оборудовании или трубах возникнут сильные напряжения, которые могут привести к отказу системы. Присущая ей гибкость позволяет гофрированной трубе скрадывать перемещения более чем в одном направлении и, таким образом, оставляет большую степень свободы при проектировании схемы системы труб по сравнению с использованием традиционных устройств типа колен и поворотных соединений.

В общем случае, гофрированные трубы могут применяться для четырех базовых типов перемещений (или их комбинаций): аксиального, углового, бокового и крутильного. Крутильный тип, однако, часто бывает нежелательным, поскольку он дестабилизирует гофр таким образом, что уменьшает его способность поглощать другие типы перемещений. Долговечность гофрированной трубы в сильной степени зависит от геометрии, свойств материала, способа изготовления в процессе производства, граничных условий и условий нагрузки. Например, при неограниченном повышении давления в гофрированной трубе труба будет растягиваться продольно, в то время как аксиально-напряженная гофрированная труба ограничит напор из системы, не изменяя продольного размера. Долговечность каждого гофра зависит, таким образом, от разных факторов, но в особенности от способности поглощать перемещения, обладая при этом геометрией, которая не допускает локальных пиковых нагрузок.

Геометрия гофра часто определяется разумными инженерными принципами и многолетней практикой. Технические знания в этом случае используются для проектирования гофрированных труб, которые могут потребоваться для компенсации воздействия больших изменений температуры и давления окружающей среды, например, при запуске оборудования, однократной вытяжке при сборке и многократных перемещениях при работе. В результате этого, для того чтобы избежать неблагоприятных условий, которые могут привести позднее к отказу системы, проектирование гофрированных труб для трубопроводной сети часто требует тщательного изучения реакции системы.

В промышленной среде общепринято считать, что главной причиной отказа гофрированных труб является усталость или однократное повреждение при их установке. В обоих случаях в гофрированной трубе возникает напряжение, превышающее характеристическую величину порога, что приводит к отказу. Путем преодоления этого типа отказа и, следовательно, повышения надежности продукта является снижение напряжений при деформации благодаря обеспечению улучшенной геометрии гофра. Геометрия гофрированной трубы зависит от числа гофров, а также от общей длины, длины юбки, толщины стенки и внутреннего диаметра. Геометрия гофра зависит от высоты гофра, шага и толщины стенки. Они и являются обычными проектными параметрами, которые могут подгоняться для конкретного применения с использованием эмпирически обоснованных факторов безопасности и многолетнего опыта. Часто в основе проектирования лежит модифицирование диапазонов U , S , V или Ω , откуда черпаются данные для технического проектирования и факторы безопасности. Эти формы «составляются» из простых (элементарных) геометрических форм типа прямых линий и кружковых секторов, которые легко вычерчивать, анализировать и которые перед нарезкой металла для получения формовочного инструмента легко программируются в интерфейс компьютерного численного программного управления (CNC-интерфейс). Когда такая форма гофра в сочетании с материалом, которым часто является нержавеющей сталь, и способом изготовления соответствует требованиям и ожиданиям заказчика, проект может быть наилучшим образом применен на практике в конкретной области, даже если он и не является наилучшим решением.

Чувствительность гофра к усталостному отказу, таким образом, повышается концентраторами геометрического напряжения, которые играют более важную роль, чем изменения толщины стенки, например утончение материала гофра в области вершины закругления в процессе формования. По этой причине условия отказа гофрированной трубы требуют производства гофрированных труб из дорогих высоко-

качественных материалов, например нержавеющей стали, которые создают возможность того, что при посредственном дизайне гофра сохраняется приемлемая эксплуатационная долговечность.

Может оказаться необходимым, чтобы гофрированная труба была способной выдержать большое число циклов нагрузки, таких как циклы нагрузки в работающем двигателе. Диапазон циклических нагрузок определяет общую усталостную долговечность гофрированной трубы, и, если двигатель проходит через несколько фаз запуска и остановки, диапазон нагрузок будет определять кумулятивную усталостную долговечность. В обоих случаях усталостная долговечность зависит от общего числа завершённых циклов и от среднего напряжения и всего диапазона напряжений, которым подвергается гофрированная труба. При пониженном объеме напряжения гофрированные трубы смогут выдержать перед отказом значительно увеличенное число повторений, в то время как при более высоком уровне напряжений отказ произойдет после относительно меньшего числа циклических обращений.

Когда возникает необходимость специально спроектировать гофрированные трубы для большого числа циклов, из литературы можно почерпнуть лишь скудные указания, касающиеся характеристических проектных параметров или диапазонов размеров для оптимальной формы гофра. В этих случаях производителя гофрированных труб необходимо проинформировать об ожидаемом числе циклов и безопасный дизайн гофра может быть создан на основании эмпирических проектных данных, взятых из исторических успешных проектов, касающихся оцениваемого материала и производственных параметров. Кроме того, в литературе не достаточно данных, касающихся оценки усталостных данных для расчета срока службы в существующих стандартных диапазонах (например, данные сильно меняются при изменении отношения шага гофра к его высоте).

Указания на проектирование гофрированных труб и т.п. можно найти, например, в "Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association, Inc." (Стандарты ассоциации сопроизводителей по развитию), 25 North Broadway, Tarry-town, New York 10591.

В US 6006788 раскрывается гофрированная по спирали металлическая труба. Спиральный дизайн использован для непрерывной намотки проволоки на трубу. Спиральные гофры вызывают закручивание трубы, когда труба подвергается сгибанию. Во многих связанных с автомобилем применениях, топливных линиях, тормозных линиях и т.д. концы труб/трубопроводов фиксируются, но вибрации и другие движения будут создавать повторяющиеся изгибы и, следовательно, закрутку. Однако закрутка предотвращается фиксацией концов, в то время как возникают значительные напряжения. Повторяющиеся напряжения приводят к усталости металла и отказу элемента.

Форма гофров, приведенная на фиг. 4 в US 6006788, представляет собой комбинацию циркулярных отрезков окружности меньшего размера с радиусом r и циркулярных отрезков большего размера с радиусом R . Однако расчеты показали, что присутствуют значительные концентраторы напряжений f_x в результате переноса между циркулярными отрезками. Хотя раскрытая форма может приобрести высокую гибкость, концентраторы напряжений уменьшают долговечность при повторяющейся нагрузке вследствие усталости. Таким образом, имеется потребность в улучшенном дизайне.

Раскрытие изобретения

Одной из целей настоящего изобретения является предложение усовершенствованного дизайна гибкого устройства типа гофрированных труб для достижения увеличенного срока службы и/или для приобретения выбора в использовании альтернативных материалов в сравнении с известными проектами. Другой целью является предложение выбора для использования менее дорогостоящих материалов и/или более легких материалов.

К числу новых и изобретательских аспектов устройства согласно изобретению относится то, что названные гофры располагаются перпендикулярно продольной оси устройства, и то, что кривая в названных первом и втором отрезках является непрерывной и характеризуется непостоянной кривизной.

Все геометрические переходы и изгибы являются причиной появления концентраторов напряжений, в связи с чем необходимо создание такого дизайна, в котором величина таких неизбежно присутствующих концентраторов напряжений была бы уменьшенной. Повышенной гибкости по сравнению с гибкостью стандартного U-образного гофра можно достичь увеличением высоты гофров без значительного увеличения их ширины. В то же время уменьшенная кривизна в верхнем участке и, следовательно, уменьшение концентраторов напряжений для этой области снижает общий уровень напряжений в процессе деформирования гофра. Дизайн с кривой, кривизна которой меняет знак только один раз в точке излома, находящейся между каким-либо верхним участком и соседним с ним нижним участком, обеспечивает гладкий переход между верхним и нижним участками. Для снижения уровня напряжений с помощью верхнего участка длина первого отрезка кривой на 10% больше длины второго отрезка кривой, причем оба отрезка начинаются от точек, где кривизна меняет знак. Таким образом, точки, где кривизна меняет знак, сдвигаются в направлении нижних участков и в результате этого создается дизайн с узкими нижними участками и более широкими плавными верхними участками, что значительно снижает общий уровень напряжений. Это обеспечивает улучшенный дизайн гибкого устройства, благодаря чему увеличивается срок службы. Кроме того, улучшенный дизайн предоставляет варианты использования материалов альтернативных материалов известных дизайнов, например алюминия вместо нержавеющей стали. Этим путем могут быть также использованы менее дорогостоящие и/или более легкие материалы.

В другом воплощении длина первого отрезка кривой может быть по меньшей мере на 50% больше длины второго отрезка кривой, причем названный первый отрезок проходит от одной точки перегиба к соседней с ней точке перегиба через верхний участок, а названный второй отрезок проходит от одной точки перегиба к соседней с ней точке перегиба через нижний участок. Эти усиливает приоритет формы верхних участков и дополнительно снижает общий уровень напряжений.

Еще в одном воплощении кривизна гофра может быть численно по меньшей мере на 20% меньше в верхних участках, чем в нижних участках, что приводит к снижению общего уровня напряжений.

В предпочтительных воплощениях отношение шага к высоте (q) может составлять от 0,7 до 1,0.

Еще в одном воплощении кривая между каким-либо нижним участком и соседним с ним нижним отрезком может иметь один глобальный оптимум, расположенный на верхнем участке, и два глобальных минимума, которые могут находиться около нижних участков, а кривизна глобального максимума кривой может иметь локальный минимум. Это обеспечивает улучшенную форму со значительно ослабленным влиянием имеющихся концентраторов напряжений и высокой степенью использования материала.

Еще в одном воплощении кривизна кривой между верхней позицией и соседним с ним нижним отрезком имеет локальный минимум. Это обеспечивает гладкую форму без резких геометрических изменений.

В одном из предпочтительных воплощений отрезок кривой, соответствующий одному из гофров от одного из нижних участков до одного из соседних участков, может быть симметричным относительно одной из осей, перпендикулярной продольной оси и проходящей через глобальный оптимум в пределах верхнего участка.

В другом предпочтительном воплощении большая часть гофров может быть практически идентичной.

Еще в одном предпочтительном воплощении устройство может быть изготовлено из экструдированной трубы, выполненной из металлического сплава, а гофры могут быть сформированы с использованием способа глубокой вытяжки, например эластомерной формовки или гидростатического прессования.

Еще в одном предпочтительном воплощении металлическим сплавом может быть нержавеющая сталь или алюминиевый сплав.

Устройство может быть использовано для гибкого соединения трубопроводов или труб на транспортном средстве, например на автомобиле, преимущественно для соединения трубопроводов или труб в воздухокондиционирующей системе. Устройство может иметь и ряд других применений, таких как система охлаждения воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, и т.п.

Краткое описание чертежей

Далее изобретение описывается со ссылкой на чертежи, которые иллюстрируют примеры воплощений изобретения.

Фиг. 1 - демонстрирует поперечное сечение гибкого трубчатого устройства, которое располагается в плоскости, проходящей через продольную ось устройства.

Фиг. 2 - демонстрирует кривую, определяемую как пересечение наружной поверхности гибкого трубчатого устройства и плоскости, проходящей через продольную ось устройства.

Фиг. 3 - демонстрирует кривую, определяемую как пересечение наружной поверхности гибкого трубчатого устройства в соответствии с предшествующим уровнем техники с плоскостью, проходящей через продольную ось устройства.

Фиг. 4-5 - демонстрируют кривые, определяемые как пересечение наружной поверхности гибкого трубчатого устройства в соответствии с настоящим уровнем техники и плоскости, проходящей через продольную ось устройства.

Осуществление изобретения

Фиг. 1 иллюстрирует гибкое трубчатое устройство, включающее ряд гофров 2. Наружная поверхность устройства обозначена номером 4. Шаг и высота гофров обозначены символами q и w . Продольная ось устройства обозначена номером 8.

Высота w определяется как максимальное удлинение материала без уменьшения поперечного сечения. Уменьшение поперечного сечения представляет собой явление, при котором стенка становится очень тонкой и в результате этого возникает опасность разрыва материала во время процесса глубокой вытяжки, например при эластомерной формовке.

Фиг. 2 демонстрирует кривую 6 с закругленным верхним участком Т и закругленными нижними участками В и В'. Верхний участок Т расположен около глобального максимума кривой 6. Нижние участки В, В' расположены около глобальных минимумов кривой 6. Кривизна верхнего участка Т меньше кривизны нижних участков В, В'. Линия 10 указана там, где кривизна приближается к нулю. Отмечены также точки излома Р и Р'. Отрезок 7 проходит от точки излома Р через участок Т к точке излома Р'. Отрезок 7 является более длинным по сравнению с отрезком 9, который проходит от точки излома Р через участок В, В' к точке излома Р'.

Гофры могут располагаться перпендикулярно к продольной оси 8 устройства или же они могут располагаться по спирали вдоль продольной оси.

Фиг. 3 демонстрирует кривую 22, свидетельствующую о чистой U-образности гофров. Кривая 22 построена с помощью базовых прямых линий 16 и дуг окружностей 14. Дизайн содержит значительные

концентраторы напряжений в точках 18 и 20. Это легко доказуемо, например, с помощью стандартного анализа с использованием имеющихся в продаже программ такого типа, как, например, Cosmos® или Ansys®.

Фиг. 4 демонстрирует кривую 24, свидетельствующую о чистой U-образности гофров. Измерения использованы для контрольных тестов: Ref A (фиг. 4) и Ref B (фиг. 5) в соответствии с приведенной ниже табл. 2. Фиг. 5 демонстрирует кривую 26, которая также свидетельствует о чистой U-образной форме. Предполагается, что дизайны фиг. 4 и 5 соответствуют промышленной технике и получены от фирмы RANFLEX India Pvt, Ltd., Индия. Дизайн Ref A является результатом нескольких производственных испытаний, основанных на многолетнем опыте. Проект Ref B также основан на многолетнем опыте в производстве гофрированных труб, но до сих пор не был реализован, что свидетельствует о том, что в конкретном последнем дизайне могут быть изменения в несколько десятых миллиметра (1/10 мм). Это, однако, не должно в значительной степени изменить результат, приведенный в табл. 2. Следует для справки подчеркнуть, что изготовление форм, изображенных в примерах, а также форм в соответствии с фиг. 4 и 5 отражает уровень техники, относящийся к производственному оборудованию и квалификации специалистов. Для того чтобы избежать чрезмерного растяжения материала, что может привести к разрыву, необходимо, в частности, убедиться в том, имеется ли в наличии необходимое количество материала.

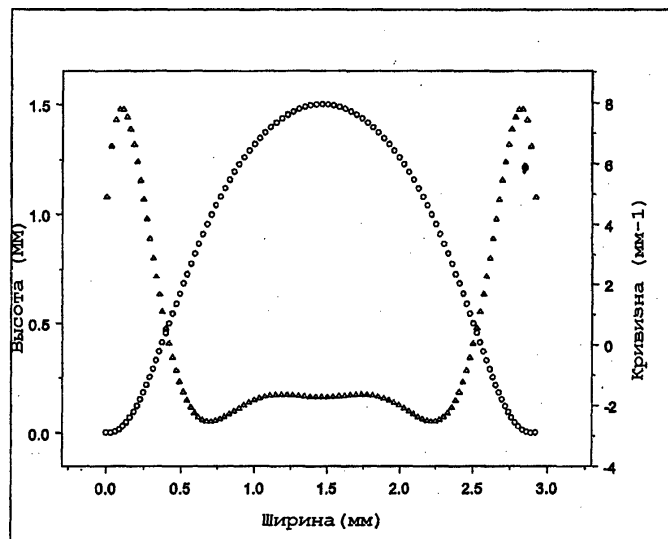
Примеры

Ниже приведен ряд примеров дизайнов согласно настоящему изобретению. В табл. 1 приведены внутренние диаметры, толщина стенок и использованный в примерах материал. В каждом примере даются дизайн одного гофра, а также кривизна, соответствующая этому дизайну. Дизайн и кривизна даны в виде последовательности точек, которые следует представлять себе как точки на гладкой кривой, проведенной через эти точки, хотя эта кривая и не изображена. В каждом примере дизайн гофров представлен с помощью круглых значков, а кривизна с помощью треугольных значков. Горизонтальная ось характеризует ширину гофра от одной стороны до другой, начиная с нижнего участка В (см. фиг. 2) и кончая на нижнем участке В' через один верхний участок Т. Вертикальная ось слева характеризует высоту. Как высота, так и ширина даны в миллиметрах. Вертикальная ось справа характеризует кривизну, а единицами являются 1/мм (обратные миллиметры).

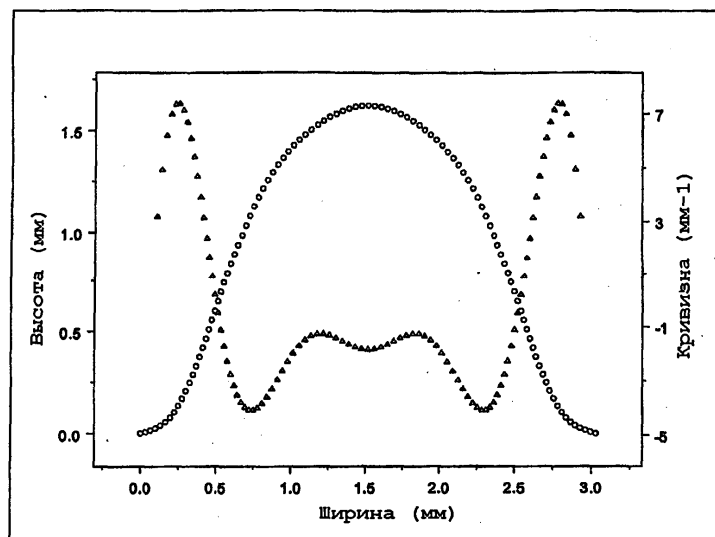
Таблица 1

Пример	Внутренний диаметр (мм)	Толщина стенки (мм)	Материал
1	8	0,5	AA5454
2	8	0,5	AA5049
3	17	0,5	AA5049
4	17	0,5	AISI 316L
5	25,4	1,0	AA5049
6	38,1	1,0	AA5049
7	50,8	1,0	AA5049

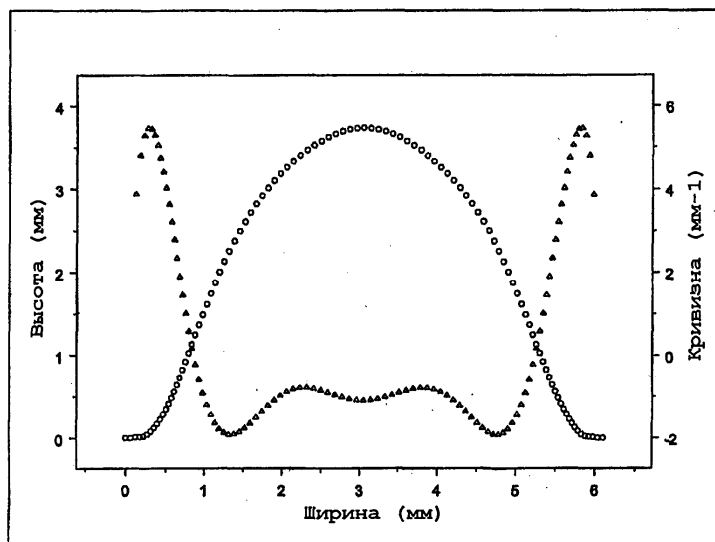
Пример 1.



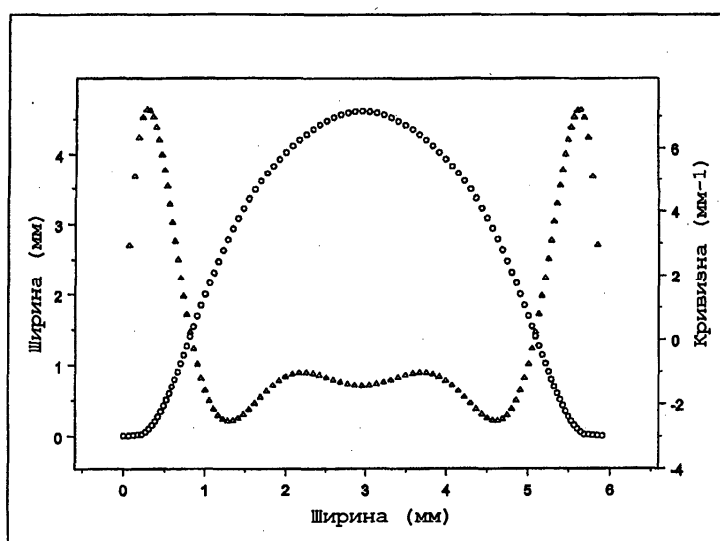
Пример 2.



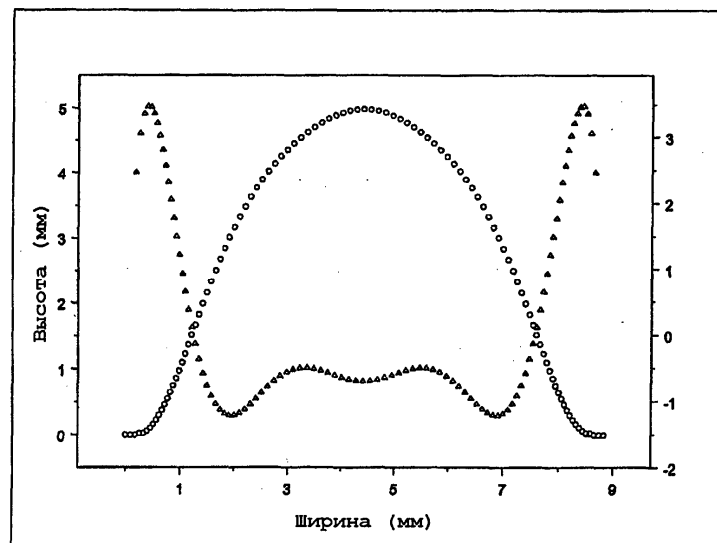
Пример 3.



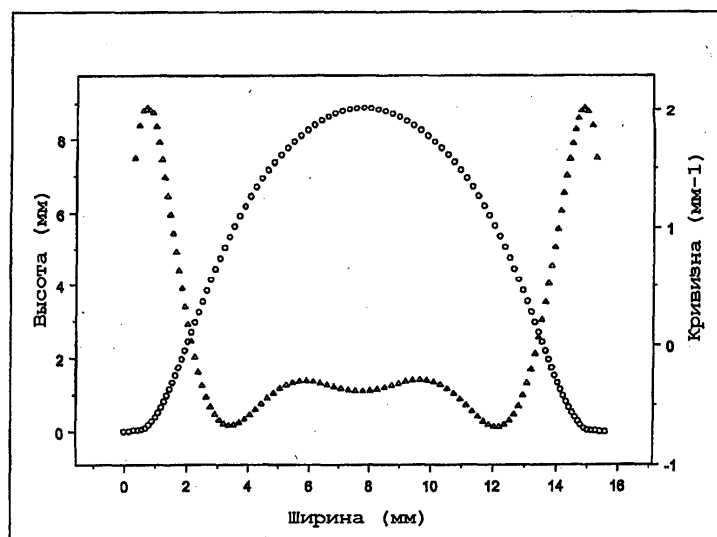
Пример 4.



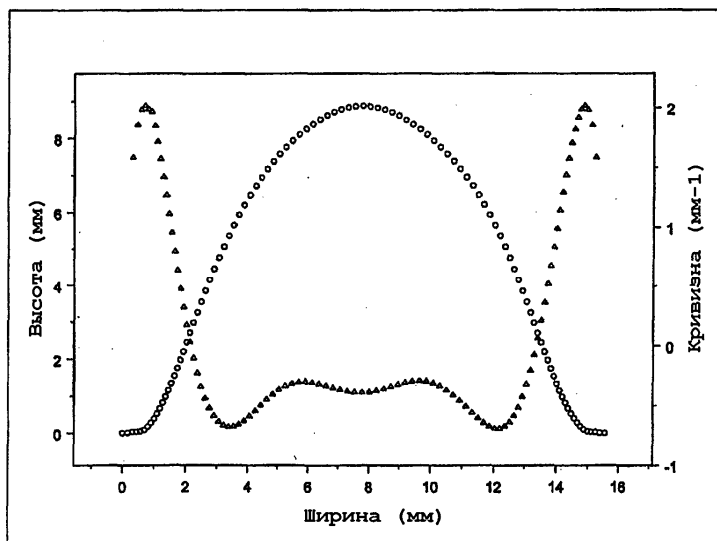
Пример 5.



Пример 6.



Пример 7.



Можно отметить, что, хотя примеры 3 и 4 одинаковы по форме, высота гофра в примере 4 больше. Это обусловлено разницей в свойствах материалов: нержавеющей стали и алюминиевого сплава.

Таблица 2

Пример	q (мм)	w (мм)	q/2w	Flex (мм)
1	2,92	1,50	0,97	0,10
2	3,03	1,62	0,94	0,15
Ref A	5,30	3,65	0,73	0,10
3	6,10	3,72	0,82	0,32
4	5,91	4,61	0,64	0,73
5	8,83	4,96	0,89	0,64
6	12,34	6,78	0,91	0,97
Ref B	12,90	8,60	0,75	0,52
7	15,66	8,84	0,88	1,35

Колонка в табл. 2, обозначенная Flex, приводит гибкость одного гофра, выраженную в полной деформации в том случае, когда один конец нижнего участка В (фиг. 2) фиксирован, а другой конец в нижнем участке В' перемещается от некоторой первой ситуации, имеющей место непосредственно перед появлением остаточной деформации при сжатии, до некоторой второй ситуации, имеющей место непосредственно перед появлением остаточной деформации при растяжении. Перемещение осуществляется параллельно продольной оси 8 (фиг. 2) устройства. В первой ситуации В' ближе к В (сжатие), чем во второй ситуации (растяжение). Величины гибкости определяются с помощью стандартного анализа с учетом материала и производственных параметров (уточнение и т.д.) и представляют близкое приближение к фактическому поведению произведенных гибких устройств.

В табл. 2 приводятся также два примера сравнения: Ref A и Ref B. В случае Ref A материал и толщина стенки такие же, как в примере 3, т.е. AA 5049 и 0,5 мм, но дизайн имеет чистую U-образную форму, соответствующую фиг. 4. Улучшение гибкости от 0,10 до 0,32 мм дает 200%-ное улучшение, хотя q и w являются относительно равными. В случае Ref B материал и толщина стенки такие же, как в примере 7, т.е. AA 5049 и 1,0 мм, но дизайн имеет чистую U-образную форму, соответствующую фиг. 5. Улучшение гибкости от 0,52 до 1,35 мм дает 200%-ное улучшение, хотя q и w здесь также относительно равны.

В настоящем документе выражение «радиус кривизны» следует понимать как радиус окружности, которая касается кривой в точке ее вогнутой части и имеет такой размер, что окружность и кривая имеют общие касательные с обеих сторон от названной точки.

Выражение «кривизна» следует понимать как обратную величину радиуса кривизны.

На практике радиус кривизны и кривизну можно определить как для вогнутой, так и для выпуклой поверхностей. При использовании методов оптического измерения высокого разрешения могут быть получены объективные данные для определения радиуса кривизны и кривизны поверхностей на изготовленном гофре. Эти данные могут быть также использованы для определения того, конфликтует ли какой-либо обнаруженный на рынке произвольный гофр с пределами защиты. В настоящее время такие системы легко осуществляют сканирование с 12-битным разрешением с размером точки замера менее одной сотой миллиметра. Эти данные могут быть затем использованы для последующего анализа со стандартным программным обеспечением CAD или математическим программным обеспечением, таким как Mathcad®.

Отношение шаг-высота определяется как шаг q, поделенный на двойную высоту w, т.е. q/2w.

Следует иметь в виду, что изобретение, раскрытое в описании и в фигурах, может быть модифицировано и изменено, оставаясь при этом в рамках изобретения, как оно заявлено ниже.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Гибкое трубчатое устройство, в частности гофрированная труба, с внутренним диаметром до 60 мм, которое включает один или более волнообразных гофров (2), обладающих, в целом, колоколообразной формой с закругленными верхними участками (Т) и закругленными нижними участками (В, В'), где кривизна наружной поверхности гофров (2) численно меньше в верхних участках (Т), чем в нижних участках (В, В'), причем эту кривизну создает кривая (6), определяемая как пересечение наружной поверхности (4) устройства с плоскостью, проходящей через продольную ось (8) устройства, а также где кривизна названной кривой меняет знак только один раз в точках перегиба (Р, Р'), находящихся между каким-либо верхним участком (Т) и соседним с ним участком (В, В'), и где длина некоторого первого отрезка (7) кривой (6) по меньшей мере на 10% больше длины некоторого второго отрезка (9) кривой, причем названный первый отрезок (7) проходит от одной точки перегиба (Р) к соседней с ней точке перегиба (Р') через верхний участок (Т), а названный второй отрезок (9) проходит от одной точки перегиба (Р) к соседней с ней точке перегиба (Р') через нижний участок (В, В'), отличающееся тем, что названные гоф-

ры располагаются перпендикулярно продольной оси (8) устройства и что названная кривая (6) является непрерывной и характеризуется непостоянной кривизной.

2. Устройство по п.1, характеризующееся тем, что длина некоторого первого отрезка (7) кривой (6) по меньшей мере на 50% больше длины некоторого второго отрезка (9) кривой, причем названный первый отрезок (7) проходит от одной точки перегиба (P) к соседней с ней точке перегиба (P') через верхний участок (Т), а названный второй отрезок (9) проходит от одной точки перегиба (P) к соседней с ней точке перегиба (P') через нижний участок (В, В').

3. Устройство по п.1 или 2, характеризующееся тем, что кривизна гофров численно по меньшей мере на 20% меньше на верхних участках (Т), чем на нижних участках (В, В').

4. Устройство по одному из пп.1-3, характеризующееся тем, что отношение шаг-высота (q) составляет от 0,7 до 1,0.

5. Устройство по одному из пп.1-4, характеризующееся тем, что кривая (6) между нижним (В, В') и соседним с ним нижним (В', В) участком имеет один глобальный максимум, расположенный на верхнем участке (Т), и два глобальных минимума, которые расположены около нижних участков (В, В'), и тем, что кривизна глобального максимума кривой (6) локально минимальна.

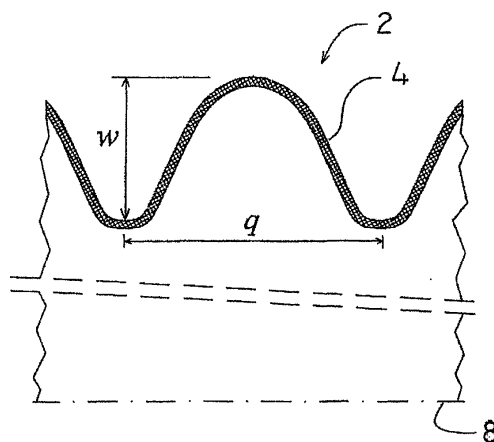
6. Устройство по одному или более пп.1-5, характеризующееся тем, что кривизна кривой (6) между верхним участком (Е) и соседним с ним нижним участком (В, В') имеет локальный минимум.

7. Устройство по одному или более пп.1-6, характеризующееся тем, что отрезок кривой (6), соответствующий одному из гофров от одного нижнего участка (В) к соседнему с ним нижнему участку (В'), является симметричным относительно оси, перпендикулярной продольной оси (8) и проходящей через глобальный максимум в пределах верхнего участка (Т).

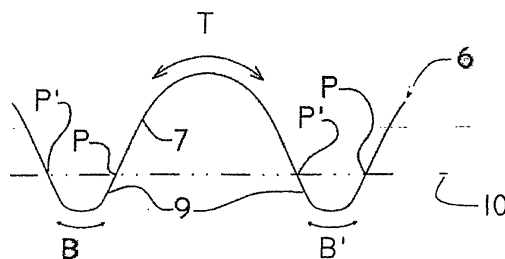
8. Устройство по одному или более пп.1-7, характеризующееся тем, что большая часть гофров являются существенно идентичными.

9. Устройство по одному или более пп.1-8, характеризующееся тем, что устройство изготовлено из экструдированной трубы, выполненной из металлического сплава, и что гофры сформированы с использованием способа глубокой вытяжки, например эластомерной формовки или гидростатического прессования.

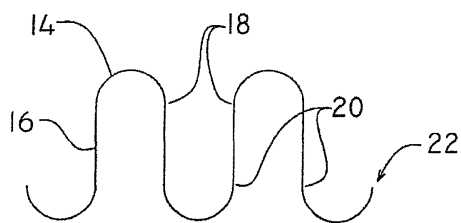
10. Устройство по п.9, характеризующееся тем, что металлическим сплавом является нержавеющая сталь или алюминиевый сплав.



Фиг. 1

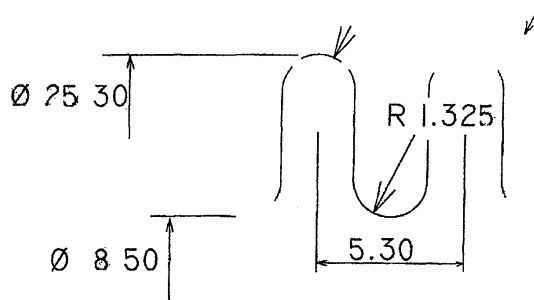


Фиг. 2



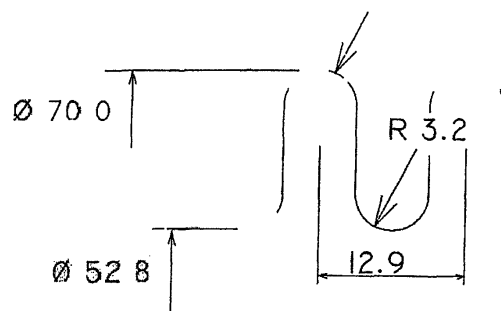
Фиг. 3

R 325



Фиг. 4

R 3.2



Фиг. 5



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2/6