

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 16177

(13) С1

(46) 2012.08.30

(51) МПК

B 21C 37/15 (2006.01)

B 21C 47/00 (2006.01)

F 28F 1/00 (2006.01)

(54)

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ ТРУБЫ С KLM-РЕБРАМИ

(21) Номер заявки: а 20100366

(22) 2010.03.11

(43) 2011.10.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (ВУ)

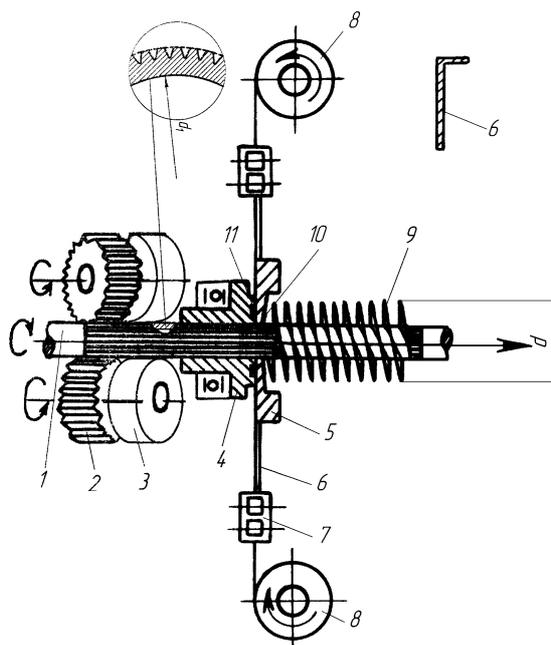
(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисович (ВУ); Мулин Виктор Петрович (РУ); Санкович Евгений Савельевич (ВУ); Пиир Адольф Эдвардович (РУ); Миннигалеев Альберт Шамилович (РУ); Соловьев Алексей Леонидович (РУ); Петрович Олег Васильевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (ВУ)

(56) КУНТЫШ В.Б. и др. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2003. - № 11. - С.10-14.
ВУ 5457 U, 2009.
SU 1690885 A1, 1991.
SU 733760, 1980.

(57)

1. Способ изготовления теплообменной трубы с KLM-ребрами, включающий накатку на наружной поверхности несущей трубы искусственной шероховатости в виде продольных "бороздка-выступ" или остроконечных пирамидальных рифлений, навивку и закрепление в



Фиг. 1

ВУ 16177 С1 2012.08.30

них одно- или двухзаходной спирали из металлической L-образной ленты, отличающийся тем, что после накатки вершины рифлений обжимают до образования грибовидной формы так, чтобы между соседними элементами рифлений возник полуоткрытый карман, который при навивке ленты в спираль полностью заполняют материалом полки L-образной ленты вследствие ее обжатия до толщины δ_2 полки, составляющей от $0,2\delta_1$ до $0,5\delta_1$, где δ_1 - исходная толщина полки L-образной ленты.

2. Устройство для изготовления теплообменной трубы с KLM-ребрами способом по п. 1, содержащее накатные и приводные ролики для накатки рифлений на исходной несущей трубе, установленные с возможностью вращения и продольного перемещения исходной несущей трубы, причем на одной оси с каждым накатным роликом жестко установлен гладкий ролик, при этом каждый гладкий ролик расположен за соответствующим накатным роликом по ходу перемещения несущей трубы и установлен с возможностью осуществления обжатия вершин рифлений до образования грибовидной формы.

Изобретение относится к области обработки металлов давлением и предназначено для изготовления теплообменной биметаллической ребристой трубы (БРТ) с KLM-ребрами. Трубы этого конструктивного типа применяют в теплообменных секциях аппаратов воздушного охлаждения (АВО) нефте- и газоперерабатывающей, химической [1, 2], энергетической отраслей промышленности; на компрессорных станциях магистральных газопроводов, в калориферах и воздухоохладителях систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Конструкция БРТ с KLM-ребрами [1-3] состоит из металлической внутренней круглой трубы, называемой несущей, на наружной поверхности которой нанесена искусственная шероховатость в виде рельефных рифлений типа "выступ-бороздка" [3] глубиной $0,1\pm 0,3$ мм по продольным и концентрическим образующим трубы с шагом $0,6\pm 3$ мм, затем на нее навито под натягом однозаходное [1] или двухзаходное [4] спиральное ребро из высокотеплопроводной пластичной ленты, предварительно спрофилированной на L-образное поперечное сечение. Исходная толщина ленты $0,3\pm 0,4$ мм. Материал ленты - алюминиевые сплавы АД1М, А5М, А7М, но возможно использовать и медную ленту. Поперечное сечение продольных рифлений в промышленных БРТ имеет форму усеченной трапеции. Механическое сцепление внутренней поверхности горизонтальной полки KLM-ребра с рифлениями на наружной поверхности несущей трубы достигается или механическим натягом навиваемой ленты или путем деформации поверхности полки KLM-ребра роликом, имеющим зубчатый профиль рифлений. Благодаря этим операциям обеспечивается заполнение металлом бороздок рифлений.

Материал несущей трубы выбирается с учетом коррозионных свойств движущегося теплоносителя, а также его механических и температурных параметров. В большинстве случаев несущая труба выполняется из углеродистых, нержавеющей и хромомолибденовых сталей, реже из латуни и мельхиора. Толщина стенки трубы определяется расчетом на прочность от действия внутреннего давления теплоносителя и составляет порядка $2\pm 3,5$ мм. Выпускаемые промышленностью БРТ с KLM-ребрами имеют наружный диаметр несущей трубы 20, 25 и 38 мм. Механические нагрузки в процессе эксплуатации БРТ воспринимает несущая труба, а ребристая оболочка в виде KLM-ребер практически не подвергается механическим напряжениям ввиду обтекания ее поперечным потоком воздуха (газа) атмосферного или близкого к нему давления.

В БРТ газожидкостных теплообменников оребрение находится снаружи и обтекается нагреваемым газовым потоком, а греющий теплоноситель движется внутри трубы. Тепловой поток Q , Вт, всегда направлен в сторону нагреваемого теплоносителя. Поэтому средняя температура стенки несущей трубы больше средней температуры поверхности оребрения. При теплопередаче через БРТ вследствие дискретного характера механическо-

го соединения соприкасаемых поверхностей, а именно наружной поверхности несущей трубы и внутренней поверхности горизонтальной полки KLM-ребер, в зоне их контактирования возникает перепад (скачок) температуры Δt_k , К. Величина температурного скачка зависит от совершенства (качества) механического соединения, оцениваемого величиной термического контактного сопротивления (ТКС) R_k , $m^2 \cdot K / Wt$, которая согласно [1] вычисляется как:

$$R_k = \Delta t_k / (Q / F_k) = \Delta t_k / q_k, \quad (1)$$

где $q_k = Q / F_k$ - плотность теплового потока в контактной зоне БРТ, Wt / m^2 ; F_k - номинальная (геометрическая) площадь контактируемых поверхностей, m^2 . Наличие ТКС является основным теплотехническим недостатком БРТ, которое отсутствует в монометаллических ребристых трубах. Этот же недостаток присущ также БРТ со спиральными накатными алюминиевыми ребрами [2], второму широко применяемому в газожидкостных теплообменниках общего назначения конструктивному типу таких труб.

В отечественном (бывший СССР) аппаратостроении объем применения их на конец 1990 г. [1] составлял не менее 85 % от общего объема производства БРТ и это несмотря на то, что при средней температуре контактной зоны менее 95 °С значение R_k лишь на 10 % меньше этого параметра для БРТ с KLM-ребрами, но расход алюминия на оребрение 1 м трубы накаткой в 1,6÷1,9 раза больше по сравнению с этим показателем для трубы с KLM-ребрами. По энергетической эффективности трубы с KLM-ребрами не уступают накатным ребрам. По нашим оценкам на настоящее время в странах СНГ объем выпуска БРТ с KLM-ребрами ощутимо увеличился против объема 1990 г. и достиг 30÷35 % от общего производства БРТ для аппаратов "газ-жидкость". Основным сдерживающим фактором расширения производства БРТ с KLM-ребрами, несмотря на их низкую стоимость, является существенный рост ТКС при повышении температуры в контактной зоне свыше 250 °С, но в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической промышленности существует значительное количество технологических процессов, в которых при температуре охлаждаемого продукта, движущегося внутри труб, средняя температура контактной зоны превышает указанное ее значение. Объяснение роста ТКС заключается в нарушении плотности механического соединения контактируемых поверхностей и возникновении между ними воздушных микрозазоров вследствие большего чем в 2 раза коэффициента линейного удлинения алюминия по сравнению с таким коэффициентом стали, из которой изготовлена несущая труба. Однако различие в средней температуре стенки несущей трубы и полки KLM-ребер значительно меньше, радиальное температурное удлинение ребристой оболочки будет больше, чем удлинение несущей трубы, что вызывает появление микрозазора в контактной зоне.

Усилию, возникающему при радиальном температурном удлинении ребристой оболочки и отрывающему ее от поверхности несущей трубы, противодействует усилие натяга спиральной L-образной ленты, предварительно созданное в процессе оребрения трубы. Однако величина этого усилия при высоких температурах охлаждаемого продукта оказывается недостаточной, чтобы компенсировать воздействие температурного усилия оболочки. Необходимо тем или иным способом создать дополнительную к усилию натяга силу. Для реализации этой цели в известной конструкции БРТ с KLM-ребрами [3] поступили следующим образом. На наружной поверхности несущей трубы были накатаны продольные рифления "выступ-бороздка" трапецеидального поперечного сечения, далее осуществлялась навивка L-образной ленты спирально и закрепление спирали обжатием ее горизонтальной полки в рифления. Рифления такой формы позволяют увеличить площадь контактирования в 1,5 раза [1] элементов БРТ. При теплопередаче ребристая оболочка наряду с действием усилия натяга будет дополнительно испытывать силу трения поверхностей в контактной зоне и чем больше площадь контактной поверхности, тем больше сила трения и меньше величина микрозазора, а следовательно, расширяется температурный диапазон применимости БРТ с KLM-ребрами до 275 °С.

Известна конструкция БРТ с KLM-ребрами [4], у которой рифления представляют собой сеть 4-угольных пирамид, примыкающих своими основаниями друг к другу, при этом угол при вершине каждой грани 4-угольной пирамиды находится в интервале $60-90^\circ$, а угол взаимного пересечения рядов остроконечных 4-угольных пирамид также находится в интервале $60-90^\circ$. При такой форме рифлений площадь контактной поверхности может быть увеличена до 2,1 раза и при соответствующем росте силы трения, итоговым действием которых является безопасное по тепловой надежности значение температуры стенки несущей трубы на контакте в 300° , уменьшение величины температурного перепада Δt_k из-за интенсификации переноса теплоты вследствие роста количества контактных "пятен" в зоне механического соединения KLM-ребра с искусственной шероховатостью пирамидальной формы на наружной поверхности несущей трубы и снижение значения R_k . Наблюдается более быстрое уменьшение Δt_k по сравнению со снижением q_k , что и объясняет, согласно формуле (1), меньшее значение R_k . Способ оребрения этой трубы, как и предыдущей, включает те же операции: накатку искусственных шероховатостей (рифлений), навивку спирали из металлической L-образной ленты, закрепление ее горизонтальной полки обжатием в рифления. Существенным технологическим недостатком этих способов является оребрение труб лишь однозаходной спиралью [2], что не позволяет обеспечить в серийном производстве производительность, равную производительности БРТ, оребренных способом накатки, реализующим двухзаходное спиральное ребро. В конструкциях труб с KLM-ребрами, изготовленными изложенными способами, сдвиг ребра в радиальном направлении удерживается только за счет совместного действия усилия натяга и силы трения и ввиду гладких стенок рифлений и их острых углов при вершине нет препятствующих конструктивных элементов на механическом контакте против сдвига ребристой оболочки в отмеченном направлении. Опыт показал, что в случае эксплуатации БРТ с такой конструкцией механического контакта в температурных условиях больше указанных и многоцикловом режиме эксплуатации "пуск-останов" он не обеспечивает теплоэнергетически требуемую величину ТКС, которая не должна превышать значение термического сопротивления трубы со стороны охлаждаемого продукта.

Известен способ [5] для производства теплообменной трубы с KLM-ребрами, включающий накатку на наружной поверхности несущей трубы продольных рифлений "бороздка-выступ", навивку двухзаходной спирали из металлической L-образной ленты и закрепление ее горизонтальной полки в рифления обжатием, который взят нами за прототип.

Отличительной особенностью способа от предыдущих является возможность одновременной навивки двух L-образных лент на несущую трубу. Производительность способа достигла, а при некоторых параметрах ребер даже превысила производительность способа поперечно-винтовой прокатки БРТ в трехвалковых станах. Но принципиальный теплоэнергетический недостаток, касающийся конструкции механического соединения несущей трубы с KLM-ребрами (ребристой оболочкой), оказался не устраненным и остался в существующем состоянии. Реализация этого способа для производства теплообменной трубы с KLM-ребрами осуществлена при помощи устройства [5], которое принято за прототип и которое по своей технической сущности наиболее близко к заявляемому устройству в предлагаемом изобретении. Оно содержит накатные и приводные ролики, осуществляющие накатку рифлений на несущей трубе, ее вращение и продольное перемещение.

Задача изобретения заключается в расширении температурного диапазона применимости теплообменной БРТ с KLM-ребрами, увеличении коэффициента теплопередачи трубы, обеспечении эксплуатационной тепловой надежности и стабильности при знакопеременных тепловых нагрузках.

Поставленная задача достигается тем, что способ изготовления теплообменной трубы с KLM-ребрами, включающий накатку на наружной поверхности несущей трубы искус-

ственной шероховатости в виде продольных "бороздка-выступ" или остrokонечных пирамидаидальных рифлений, навивку и закрепление в них одно- или двухзаходной спирали из металлической L-образной ленты, отличающийся тем, что после накатки вершины рифлений обжимают до образования грибовидной формы так, чтобы между соседними элементами рифлений возник полукоткрытый карман, который при навивке ленты в спираль полностью заполняют материалом полки L-образной ленты вследствие ее обжатия до толщины δ_2 полки, составляющей от $0,2\delta_1$ до $0,5\delta_1$, где δ_1 - исходная толщина L-образной ленты, при этом устройство для изготовления теплообменной трубы с KLM-ребрами по заявленному способу, содержащее накатные и приводные ролики для накатки рифлений на исходной несущей трубе, установленные с возможностью вращения и продольного перемещения исходной несущей трубы, причем на одной оси с каждым накатным роликом установлен гладкий ролик, при этом каждый гладкий ролик расположен за соответствующим накатным роликом по ходу перемещения несущей трубы и установлен с возможностью осуществления обжатия вершин рифлений до образования грибовидной формы.

Изготовленная по этому способу теплообменная труба выгодно отличается от известных подобных труб улучшенным механическим соединением ребристой оболочки с наружной поверхностью несущей трубы вследствие применения нового способа механического соединения контактируемых поверхностей.

Принципиальный отличительный признак изобретения состоит в обжиге вершин рифлений, накатанных на наружной поверхности несущей трубы, до образования грибовидной формы и возникновении между соседними рифлениями полукоткрытого кармана. В процессе навивки ленты в спираль от создаваемого усилия натяга карман полностью заполняется материалом полки L-образной ленты, что реализуется в случае обжатия полки до толщины $\delta_2 = (0,2 \div 0,5)\delta_1$. В устройстве, осуществляющем этот способ, предусмотрена установка гладких роликов, которые являются новым конструктивным элементом и располагаются непосредственно за накатными и на одной оси с ними.

Механическое преобразование вершины рифлений в грибовидную форму увеличивает площадь поверхности рифлений, которая контактирует непосредственно с поверхностью металла полки ребра, заполняющего полукоткрытые карманы. Это сопровождается ростом количества контактных пятен, где происходит соприкосновение металла несущей трубы с металлом ребра, при этом именно перенос теплового потока через контактные пятна является основным видом теплообмена в этой конкретной конструкции. Чем больше пятен, тем меньше термическое сопротивление переносу тепла БРТ, а следовательно, снижается величина ТКС, итоговым результатом чего является увеличение коэффициента теплопередачи БРТ. При температуре в контактной зоне выше $350 \div 400$ °C на перенос тепла оказывает дополнительное положительное влияние излучение через замкнутые воздушные микрополости. Однако этот температурный режим не характерен для эксплуатационных условий БРТ с KLM-ребрами.

При эксплуатации таких БРТ от воздействия температуры охлаждаемой среды, движущейся внутри несущей трубы, вследствие большего (в $2,2 \div 1,5$ раза) объемного коэффициента расширения материала ребра (алюминий, медь) по сравнению с этой характеристикой для материала несущей трубы (углеродистая сталь) будет также возрастать плотность механического контакта соединяемых элементов БРТ с KLM-ребрами, что адекватно проявится на уменьшении ТКС. Объяснение состоит в следующем.

Материал ребра более пластичен в сравнении с материалом несущей трубы. От возникшего температурного усилия в контакте, с учетом большей податливости материала ребра, последний будет "растекаться" и заполнять в карманах соединения воздушные микрополости, уменьшая их количество. А именно они являются сосредоточением основной доли термического сопротивления переносу тепла, учитывая малую теплопроводность воздуха, фактически являющегося теплоизолятором. Также очевидно, что с увеличением температуры контакта, чему соответствуют большие значения охлаждаемой

среды в БРТ, значение ТКС в изготовленной теплообменной трубе с KLM-ребрами по предлагаемому способу имеет тенденцию к снижению в противоположность к известным конструкциям БРТ с KLM-ребрами [1, 2]. Это также является основанием для эксплуатации таких ребренных труб при более высоких температурах охлаждаемой среды, подтверждением чего являются следующие аргументы.

От радиального смещения спирали KLM-ребер теперь удерживаются не только силой трения, но и дополнительной силой, возникающей при взаимодействии металла горизонтальной полки KLM-ребер, заполнившего полуоткрытые карманы под воздействием усилия натяга ленты спирали в процессе навивки ее на трубу, с обжатой частью металла вершин рифлений, которые препятствуют сдвигу (отрыву) полки ребра от поверхности рифлений. Горизонтальная полка KLM-ребра прочно и плотно фиксируется на несущей трубе, что позволяет применять эти теплообменные трубы при большей температуре в сравнении с прототипом.

Увеличенная площадь поверхности механического контакта в сочетании с возросшим контактным давлением обеспечивает эксплуатационную тепловую надежность и стабильность при работе теплообменной трубы с KLM-ребрами предлагаемой конструкции.

Таким образом, в заявляемом способе и устройстве для изготовления теплообменной трубы с KLM-ребрами полностью решены сформулированные задачи.

Изобретение поясняется фиг. 1-9.

На фиг. 1 представлена схема устройства для изготовления теплообменной трубы с двухзаходными KLM-ребрами наружного диаметра d ; на фиг. 2 изображен в аксонометрии фрагмент несущей трубы внутреннего диаметра d_1 с обжатыми вершинами продольных рифлений треугольного поперечного сечения; на фиг. 3 - то же с рифлениями в виде остроконечных пирамид; на фиг. 4а изображены продольные рифления поперечного сечения до их механического обжатия, а на фиг. 4б даны эти же рифления после их обжатия до получения грибовидной формы поперечным сечением; на фиг. 5 дан продольный разрез навивочного инструмента; на фиг. 6 изображен вид на рабочую поверхность формообразующего фланца; на фиг. 7 показана схема взаимодействия рифленой несущей трубы с L-образной лентой; на фиг. 8 изображено поперечное сечение трубы с KLM-ребром, при этом на несущей трубе показаны продольные рифления прямоугольного поперечного сечения после обжатия их вершин; на фиг. 9 изображен внешний вид теплообменной трубы с KLM-ребрами.

Устройство (фиг. 1) состоит из станины, на которой смонтированы средства привода (на схеме не показаны) механизмов несущей исходной трубы 1 с гладкой наружной поверхностью; накатных роликов 2; гладких роликов 3, установленных на одной оси с накатными роликами 2; шпинделя 4 (вращающаяся часть навивочного инструмента); формообразующего фланца 5 (неподвижная часть навивочного инструмента); ленты L-образного поперечного сечения 6; устройства 7 для профилирования ленты прямоугольного сечения в ленту L-образного сечения; также здесь показаны бобины 8 с лентой прямоугольного сечения, ленточная спираль 9, внутренняя торцовая поверхность 10 формообразующего фланца и захватывающие выступы 11 на торце шпинделя. Рифления 12 разного вида с их обжатыми вершинами до грибовидной формы показаны на фиг. 2-4, при этом по нашим данным геометрические параметры их после обжатия должны соответствовать $s_k = (0,8 \div 1,2)\delta_1$, $h_p = (0,2 \div 0,3)s_p$, где s_k - расстояние между соседними обжатыми вершинами рифлений; h_p - глубина обжатых рифлений. Шаг рифлений назначают равным $s_p = 1 \div 1,2$ мм, а для рифлений прямоугольного поперечного сечения $s_p \approx 2$ мм, исходные толщина их $\approx 0,5$ мм, а глубина $h_0 \approx 0,3$ мм (фиг. 4). При этих размерах образовавшийся полуоткрытый карман в процессе навивки ленты в спираль полностью заполняется материалом полки L-образной ленты за счет ее обжатия до толщины $\delta_2 = (0,2 \div 0,5)\delta_1$, итогом чего является достижение (создание) плотного механического

ВУ 16177 С1 2012.08.30

контакта KLM-ребра с несущей трубой. Здесь δ_1 - исходная толщина полки L-образной ленты, а δ_2 - толщина полки после обжатия.

На фиг. 5 винтовые поверхности формообразующего фланца обозначены позицией 13, а на фиг. 6 обозначения соответствуют: 14 - направляющие каналы для L-образной ленты; 15 - деформирующие площадки; 16 - секторы с винтовыми поверхностями; 17 - окна для выхода спирали.

Перед входом ленты в навивочный инструмент (фиг. 5) установлено устройство 7, в котором лента прямоугольного сечения профилируется в ленту L-образного поперечного сечения 6.

На рабочем торце вращающегося шпинделя 4 (фиг. 1) находятся захватывающие выступы 10, которые при вращении шпинделя тянут L-образную ленту.

Формообразующий фланец 5 (на фиг. 6 показан вариант для двухзаходного оребрения) имеет направляющие каналы 14 для подачи ленты L-образного сечения, деформирующие площадки 15, за которыми расположены секторы 16, боковая поверхность которых с обеих сторон выполнена по винту в соответствии с шагом оребрения. При этом внутренняя торцовая поверхность 10 формообразующего фланца 5 (фиг. 1) образует с наружной поверхностью несущей трубы 1 зазор, который меньше исходной толщины δ_1 полки L-образной ленты 6.

Способ реализуется в соответствии со схемой на фиг. 1 посредством здесь же изображенного и устройства. Исходная несущая труба 1 подается в три накатных ролика 2, равномерно расположенных вокруг трубы (для удобства и простоты изображения показаны два ролика). Ролики повернуты относительно продольной оси трубы 1 на угол, соответствующий ее осевой подаче. На одной оси с накатными роликами 2 установлены ролики 3 с гладкой рабочей поверхностью и расположены за накатными роликами по ходу движения трубы. Количество гладких роликов 3 соответствует количеству накатных. Посредством приводных накатных роликов несущая труба 1 вращается и перемещается с заданным шагом, при этом на наружной поверхности трубы от действия роликов 2 накатываются рифления заданной формы (фиг. 2-4). Гладкие ролики 3 обжимают вершины полученных рифлений до образования грибовидной формы. Далее несущая труба с таким рифлением поступает в зону навивочного инструмента и приводится во вращение шпиндель 4, который внедряется в плоскость ленты 6 своими захватывающими выступами 11, равномерно расположенными на его торцовой поверхности, и осуществляет закручивание ее по каналам 14, деформирующей площади 15 и по винтовой поверхности сектора 16 (фиг. 6) формообразующего фланца 5. Между несущей трубой 1 и внутренней торцовой поверхностью 10 формообразующего фланца 5 образован зазор, который меньше исходной толщины δ_1 горизонтальной полки L-образной ленты 6, равный толщине полки после обжатия $\delta_2 = (0,2 \div 0,5)\delta_1$ (фиг. 7). Торцовая поверхность 10 имеет толщину, равную ширине горизонтальной полки L-образной ленты 6. В неподвижной части инструмента 5 имеются окна 14 для выхода спирали 9 из инструмента. При вращении труба 1 с рифленой поверхностью обжимает горизонтальную полку L-образной ленты 6 в этом зазоре таким образом, что материал ленты, как правило высокопластичные сплавы алюминия и меди, заполняет пространство (карманы), образованные между соседними бороздками. Поскольку рифления имеют грибовидную форму, горизонтальная полка спиральной L-образной ленты 6 надежно фиксируется в них как в осевом, так и в радиальном направлениях. В результате образуется прочноплотный механический контакт и, как следствие, надежный термический контакт ребра с несущей трубой.

Итогом реализации этого способа является теплообменная труба с KLM-ребрами, фрагмент которой показан на выходе из формообразующего фланца 5, поперечное сечение ее изображено на фиг. 8, а внешний вид трубы дан на фиг. 9. Труба характеризуется следующими геометрическими параметрами: d - наружный диаметр KLM-ребер; h , s , Δ -

ВУ 16177 С1 2012.08.30

высота, шаг и средняя толщина ребра; $d_0 = d - 2h$ - диаметр ребра по его основанию; d_1 - внутренний диаметр несущей трубы; d_n - наружный диаметр несущей трубы.

Предназначенный способ и устройство для его осуществления создают плотный механический контакт горизонтальной полки KLM-ребра с несущей трубой, при этом увеличена площадь поверхности контактирования указанных элементов, что сопровождается (по нашим данным) уменьшением ТКС на 15÷20 %. Происходит процесс интенсификации коэффициента теплопередачи до 10 % из-за улучшенного переноса теплового потока в контактной зоне. При росте коэффициента теплопередачи для переноса одинакового теплового потока $Q = idem$ в сравнении с прототипом уменьшается площадь поверхности теплообмена, габариты и масса теплообменника. Следует особо обратить внимание, что это достигается исключительно совершенствованием механического соединения (контакта) ребра с несущей трубой и не требует многократного увеличения затрат мощности на прокачку воздуха через межтрубное пространство для достижения такого эффекта.

Внутренняя плоскость грибовидных рельефов удерживает горизонтальную полку KLM-ребра от радиального смещения при значительных температурных деформациях, возникающих от действия температуры вплоть до 310 °С в контактной зоне. Не наблюдается микроотрывов в карманах полки ребра от несущей трубы, характерен стабильный механический контакт соединения и при знакопеременных тепловых циклах. Металл полки полностью заполняет карманы рифлений, воздушные "мешки" в них не возникают.

Теплообменная труба с KLM-ребрами, изготовленная по предлагаемому способу, может надежно эксплуатироваться при температуре охлаждаемой среды на входе в нее вплоть до 320 °С.

Способ может быть использован заводами химического и энергетического машиностроения для изготовления биметаллических ребристых труб с KLM-ребрами, применяемых в АВО топливно-энергетического комплекса страны, в калориферах, в воздухо- и газоохладителях турбогенераторов, в теплоутилизаторах систем вентиляции, в теплообменниках атомной энергетики.

Источники информации:

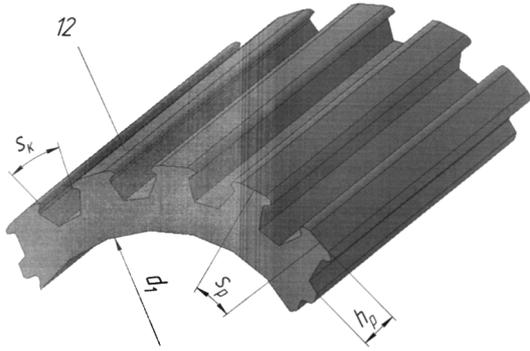
1. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. - СПб.: Энергоатомиздат, 1992. - С. 37, 41-44, 227-234, 245-246.

2. Бессонный А.Н., Дрейцер Г.А., Кунтыш В.Б. и др. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / Под общ. ред. В.Б.Кунтыша, А.Н.Бессонного. - СПб.: Недра, 1996. - С. 89-91, 103-104, 268-269.

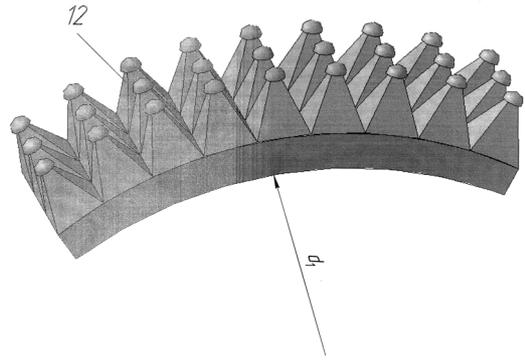
3. Динцин В.А., Розенштейн И.Л. Утилизация тепловой энергии удаляемого воздуха в системах кондиционирования воздуха и вентиляции // Обзор. информ. Сер. 11 "Кондиционеры, калориферы, вентиляторы". - М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1985. - С. 20-24.

4. Патент на полезную модель РБ 5457, МПК (2006) F 28 F 1/00, F 25 D 7/00. Теплообменная биметаллическая ребристая труба / В.Б. Кунтыш, Е.С. Санкович, В.П. Мулин и др. Опубл. 30.08.2009. - 7 с.

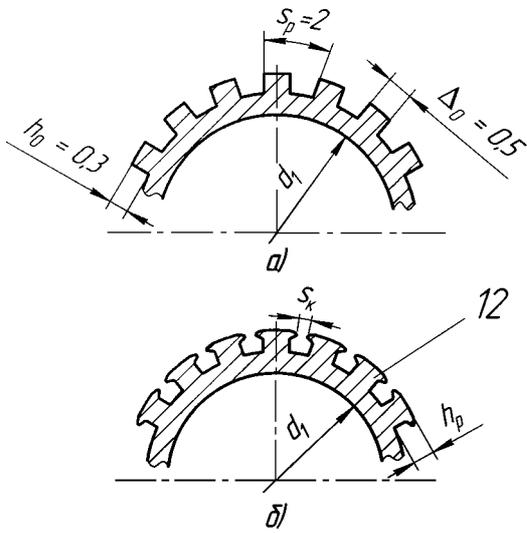
5. Кунтыш В.Б., Пиир А.Э., Мулин В.П., Теляев Р.Ф. Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление шахматных пучков из круглых труб с подогнутыми спиральными KLM-ребрами // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2003. - № 11. - С. 10-14 (прототип).



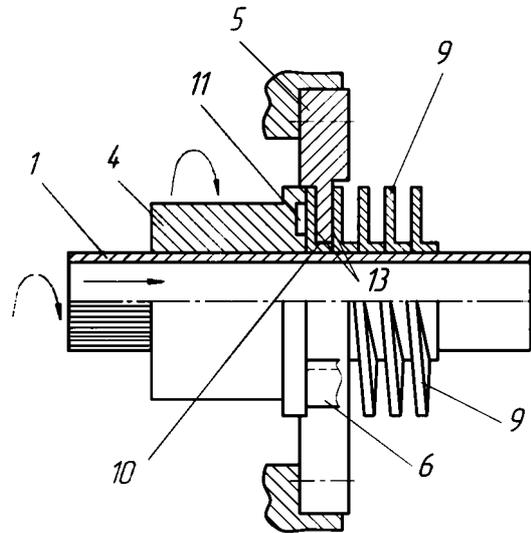
Фиг. 2



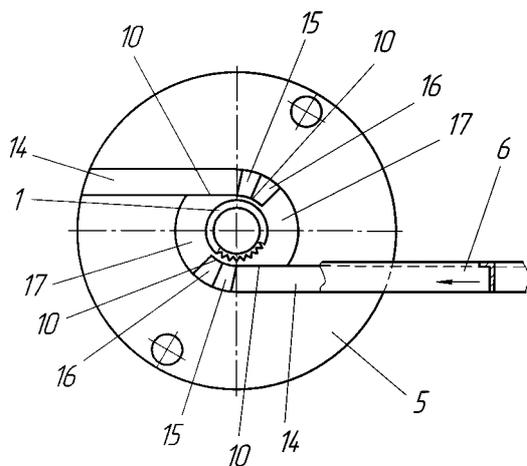
Фиг. 3



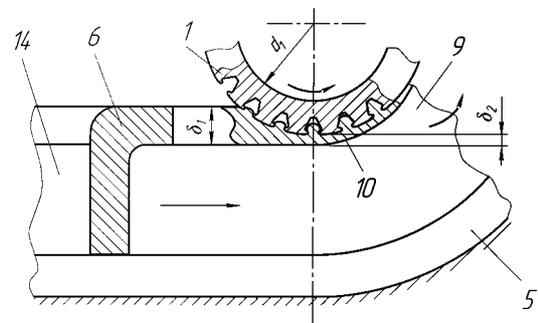
Фиг. 4



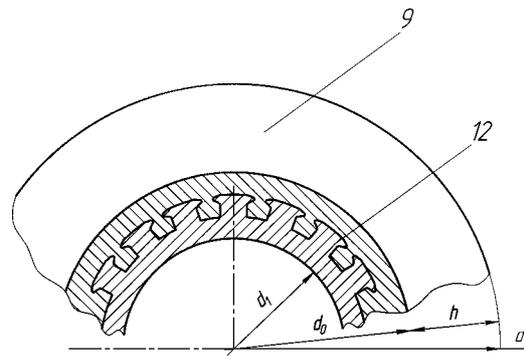
Фиг. 5



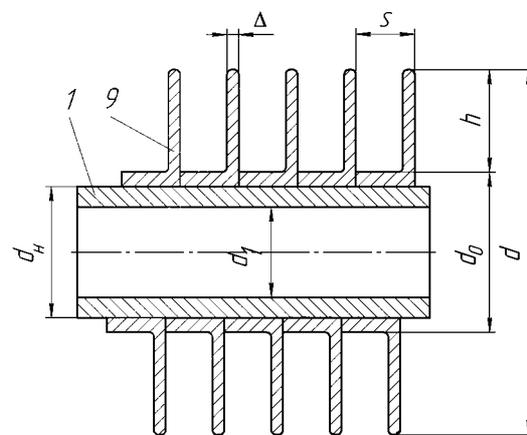
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9