

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 14907

(13) С1

(46) 2011.10.30

(51) МПК

F 28F 1/00 (2006.01)

F 25D 7/00 (2006.01)

## (54) ТЕПЛООБМЕННАЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕБРИСТАЯ ТРУБА

(21) Номер заявки: а 20091539

(22) 2009.10.28

(43) 2011.06.30

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

(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисович (ВУ); Санкович Евгений Савельевич (ВУ); Мулин Виктор Петрович (РУ); Миннигалеев Альберт Шамилевич (РУ); Пиир Адольф Эдвардович (РУ); Гаязов Ильшат Раисович (РУ); Соловьев Алексей Леонидович (РУ)

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

(56) ВУ 4814 U, 2008.

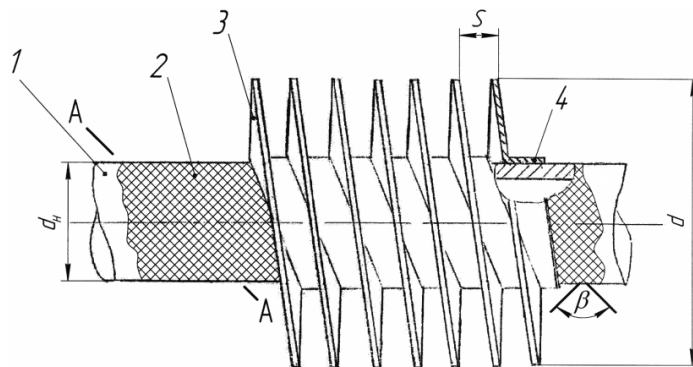
SU 591682, 1978.

RU 2002190 C1, 1993.

RU 13976 U1, 2000.

(57)

Теплообменная биметаллическая оребренная труба, содержащая несущую металлическую трубу круглого поперечного сечения с нанесенной при помощи рифления на ее наружную поверхность искусственной шероховатостью в виде рельефов и с завальцованной в рельефы горизонтальной полкой спирально навитого под натягом ребра L-образного поперечного сечения из теплопроводного пластичного металла, **отличающаяся** тем, что рельефы представляют собой сеть четырехугольных пирамид, примыкающих своими основаниями друг к другу, угол  $\gamma$  при вершине каждой грани каждой четырехугольной пирамиды выбран из интервала  $60-90^\circ$ , а угол  $\beta$  взаимного пересечения рядов остроконечных четырехугольных пирамид выбран из интервала  $60-90^\circ$ .



Фиг. 1

# ВУ 14907 С1 2011.10.30

Изобретение относится к конструкциям теплообменных биметаллических ребристых труб (БРТ), а конкретно к металлическим трубам круглого поперечного сечения с навитыми под натягом из пластичного теплопроводного металла спиральными ребрами L-образного поперечного сечения [1]. В зависимости от применяемой технологии L-ребра могут быть одно- или двухзаходными, а в качестве материала для их изготовления наиболее часто применяется алюминий или его сплавы AD1, AD1M. Круглая труба, которую оребряют, называется несущей. Теплообменные БРТ с L-ребрами из алюминия нашли определенное применение в теплообменных секциях аппаратов воздушного охлаждения (АВО) на компрессорных станциях магистральных газопроводов, в ректификационных установках разделения нефти на нефтеперерабатывающих заводах, в калориферах и воздухоохладителях систем кондиционирования, в конденсаторах крупных холодильных машин, в теплоутилизаторах теплоты вентиляционных выбросов.

В случаях закатки горизонтальной полки спирального L-ребра методом деформации ее поверхностей, например вращающимся роликом, в искусственные рифления (шероховатость) [2] на наружной поверхности несущей трубы по существующей классификации получается KLM-ребро [1, 2], а теплообменную трубу с такими ребрами называют как БРТ с KLM-ребрами. Основным преимуществом этих теплообменных труб является меньший в 1,6-1,9 раза расход алюминия [3] на оребрение 1 м трубы по сравнению с этим показателем для БРТ с накатными алюминиевыми ребрами. По энергетической эффективности трубы с KLM-ребрами не уступают накатным ребрам. Шероховатость поверхности несущей трубы увеличивает площадь контактной поверхности до 50 % [2, 3]. Следовательно, несущая труба подвергается более низким термическим напряжениям при теплопередаче и возрастает сопротивляемость знакопеременным термическим нагрузкам. Благодаря этой конструкции механического соединения полки L-ребра с несущей трубой БРТ с KLM-ребрами могут надежно эксплуатироваться при температуре стенки до 270-275 °С в сравнении с БРТ, у которых L-ребра имеют гладкую контактную поверхность и механическое соединение их обеспечивается лишь натягом исходной ленты для оребрения, применение их возможно лишь до температуры стенки 120-130 °С.

Однако в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, металлургической промышленности имеется значительное количество технологических процессов, в которых охлаждаемый продукт поступает внутрь труб теплообменника с температурой 310-320 °С и выше, при этом температура стенки в контактной зоне БРТ достигает 290 °С и больше. Применение труб с KLM-ребрами не допускается, и их промышленную нишу по разрешенным температурам занимают БРТ с накатными алюминиевыми ребрами [2], которые значительно дороже, менее экономичны. Актуальность задачи расширения температурного диапазона применимости БРТ с KLM-ребрами очевидна.

Основным техническим недостатком любого конструктивного типа БРТ является возникновение термического контактного сопротивления (ТКС) при передаче теплового потока ввиду отсутствия гомогенного (металлургического) соединения ребра со стенкой несущей трубы. Численное значение ТКС,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , БРТ определяется по экспериментальным данным:

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

где  $\Delta t_k$  - температурный перепад на механическом контакте соприкасаемых поверхностей ребристой оболочки и несущей трубы, К;

$Q$  - передаваемый тепловой поток, Вт;

$F_k$  - номинальная геометрическая площадь контактной поверхности,  $\text{м}^2$ ;

$q_k = (Q/F_k)$  - плотность теплового потока в контактной зоне,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Теоретические и экспериментальные исследования ТКС указывают на доминирующее влияние контактного давления  $P_k$  и площади  $F_k$  контактируемых поверхностей при прочих одинаковых условиях. Величина  $P_k$  зависит от технологии оребрения, сейчас доведена до максимального значения, что лишает возможности воздействовать этим параметром на

уменьшение ТКС, т.е.  $R_k$ . Вместе с этим площадь  $F_k$  является параметром, значение которого поддается доступному изменению. С увеличением  $F_k$  темп снижения температурного перепада  $\Delta t_k$  опережает уменьшение  $q_k$  и окончательно достигаются меньшие численные величины  $R_k$ . При одинаковых значениях составляющих термического сопротивления теплопередаче меньшему значению ТКС ( $R_k$ ) соответствует больший коэффициент теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), БРТ. Увеличивается тепловой поток  $Q$ , Вт, передаваемый теплообменником из БРТ в одинаковых габаритах, что следует из выражения

$$Q = kF\Delta t_{cp}, \quad (2)$$

где  $F$  - площадь поверхности теплопередачи, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{cp}$  - средний температурный напор, К.

Известна конструкция теплообменной БРТ [4] с навитыми однозаходными спиральными алюминиевыми KLM-ребрами. В конструкции трубы осуществлен изложенный выше метод уменьшения ТКС и расширения надежного температурного диапазона применимости развитием площади  $F_k$  поверхности в зоне контакта полки L-ребра с несущей трубой. Для этого на наружной поверхности круглой несущей трубы нанесена по продольным образующим механическим способом искусственная шероховатость в виде рельефных рифлений "впадина-выступ", глубиной и шириной 0,2-0,3 мм с шагом 1-2 мм, а затем для достижения надежного прочно-плотного соединения горизонтальной полки L-ребра применена ее закатка вращающимся роликом с зубчатым профилем рельефных рифлений на несущей трубе. Наши исследования показали уменьшение значения ТКС в 1,14-1,42 раза [2] в зависимости от значения  $q_k$  и повышение допустимой температуры стенки в контактной зоне до 270-275 °С. Однако развитие площади поверхности контактной зоны ограничивается верхним пределом в 1,5 раза в сравнении с поверхностью гладкостенного контакта, что указывает на исчерпание технических возможностей за счет продольных рифлений повышения теплоэнергетической эффективности БРТ.

Наиболее близкой по технической сущности и достигаемым результатам к заявляемому изобретению теплообменной биметаллической ребристой трубы является теплообменная ребристая труба [5], которая принята нами за прототип. Прототип представляет БРТ, в которой на наружной поверхности круглой несущей трубы предусмотрено нанесение искусственной шероховатости в виде V-образных рифлений шевронного типа с углом при вершине 100-160°, затем на ее навивается под натягом спиральное алюминиевое ребро L-образного сечения и в случае его однозаходности горизонтальная полка, длина которой равна шагу  $s$  этого ребра, одновременно располагается на обеих сторонах рифления шевронного типа таким образом, чтобы длина полки на каждой стороне была равна половине ширины  $b$  шевронного рифления, которая назначается равной шагу  $s$  ребер, т.е.  $b = s$ . Значит, длина полки L-ребра на каждой стороне (можно назвать дорожке) шевронного рифления равна  $0,5b = 0,5s$ . Следовательно, одна половина длины - полки находится, например на левой дорожке, а вторая половина длины полки - на правой дорожке шеврона. При двухзаходном оребрении горизонтальная полка L-ребра каждого захода располагается на половине, т.е.  $0,5b$  ширины шевронного рифления. Для образования прочно-плотного механического соединения полки L-ребра с поверхностью несущей трубы производится ее закатка соответствующим инструментом, например вращающимся роликом в шевронные рифления, а в итоге получается теплообменная труба с KLM-ребрами.

В конструкции трубы-прототипа в большой мере ликвидировано или частично сужено проявление основных недостатков, присущих трубам с KLM-ребрами, у которых полка закатывается в продольные искусственные рифления "впадина-выступ". Произошло уменьшение ТКС на 32-40 %, расширен температурный диапазон применимости такой трубы до 290 °С.

В целом конструкция трубы-прототипа весьма прогрессивна, но заложенное техническое решение на увеличение площади поверхности в контактной зоне оребрения за счет нанесения рифлений типа "шеврон" исчерпала свои возможности по дальнейшему повы-

## ВУ 14907 С1 2011.10.30

шению энергетической эффективности и температурного диапазона труб с KLM-ребрами. Выполненные нами экспериментальные исследования по методике [2] отдельных опытных образцов труб с KLM-ребрами с шевронным рифлением оптимальных параметров, изготовленных ЗАО "ОКТЯБРЬСКХИММАШ", не позволили достичь надежного значения температуры стенки свыше 290 °С и снизить более чем на 35 % значение ТКС. Испытанные образцы по геометрическим параметрам ребер и несущей трубы соответствовали трубам АВО [2] с коэффициентом оребрения  $\phi = 22$ . Этот типоразмер труб имеет наибольшее промышленное применение в трубных пучках теплообменников. В этих трубах очень плотное расположение ребер, шаг их составляет  $s = 2,4-2,5$  мм. При этих значениях шага возникли сложности технологического характера в процессе освоения серийного производства, обусловленные энергетическим требованием размещения полки L-ребра на обеих сторонах шевронного рифления. Для удовлетворения этого энергетически и деформационно обоснованного условия потребовалось снизить скорость оребрения трубы с вытекающими негативными последствиями. Такая труба будет использоваться, например в транспортной энергетике, когда определяющее значение играет качество и надежность, но не стоимость.

Задача изобретения - повышение энергетической эффективности, уменьшение термического контактного сопротивления, расширение температурного диапазона применимости по охлаждающей среде, увеличение коэффициента теплопередачи, повышение технологичности конструкции в серийном производстве.

Поставленная задача достигается тем, что теплообменная биметаллическая ребристая труба, содержащая несущую металлическую трубу круглого поперечного сечения с нанесенной при помощи рифления на ее наружную поверхность искусственной шероховатостью в виде рельефов и завальцованной в рельефы горизонтальной полкой спирально навитого под натягом ребра L-образного поперечного сечения из теплопроводного пластичного металла, отличающаяся тем, что рельефы представляют собой сеть четырехугольных пирамид, примыкающих своими основаниями друг к другу, угол  $\gamma$  при вершине каждой грани каждой четырехугольной пирамиды выбран из интервала 60-90°, а угол  $\beta$  взаимного пересечения рядов остrokонечных четырехугольных пирамид выбран из интервала 60-90°.

Применение рельефов в виде четырехугольных остrokонечных пирамид, являющихся, по существу, искусственной предельной шероховатостью, полученной как результат пересечения сетчатых рельефов "впадина-выступ" в сравнении с применяемыми рифлениями шевронного типа при энергетически и технологически целесообразных значениях угла  $\beta$ , позволяет увеличить площадь контактной поверхности  $F_k$  в 1,8-2,1 раза и сопутствующем росте контактного давления, итоговым действием которых является уменьшение величины температурного перепада  $\Delta t_k$  из-за интенсификации переноса теплоты в контактной зоне и снижение величины  $R_k$ . Меньшим значениям соответствует больший коэффициент теплопередачи  $k$ , при этом его рост осуществлен без дополнительных затрат энергии на перемещение воздуха по оребренной стороне трубы.

Интенсификация контактного теплообмена развитием площади  $F_k$  - исключительно выгодный способ, так как осуществляется без дополнительных энергетических затрат на передачу теплового потока  $Q$  трубой. Значит, повышается энергетическая эффективность такой трубы, что всецело вызвано совершенствованием конструкции механического контакта соприкасаемых поверхностей. Этот эффект может быть достигнут интенсификацией теплоотдачи с внешней стороны трубы (сторона KLM-ребер) или с внутренней стороны, где движется охлаждающая среда, но для этого потребуются многократные затраты энергии на перемещение воздуха или среды внутри трубы.

Рост  $F_k$  увеличивает площадь механического соединения поверхностей контактной зоны, что снижает температурные напряжения L-ребра и несущей трубы. Наши теоретические

оценки указывают на возможность увеличения использования такой трубы до 300 °С по температуре стенки несущей трубы.

Внедрение (проникновение) металла полки L-ребра при ее завальцовке обжатием из-за малой единичной площади контакта отдельных четырехугольных остроконечных пирамид осуществляется полностью на глубину (высоту) каждой пирамиды при значительно меньшем необходимом радиальном усилии, что благоприятно сказывается на долговечности работы навивочного инструмента, уменьшается стоимость готовой трубы. Одновременно обеспечивается гарантированное сцепление (соединение) полки L-ребра с поверхностью несущей трубы - она как будто проколота множеством игл в виде вершин острых четырехугольных пирамид, образуя прочно-плотный контакт. Следствием такой формы шероховатости (рельефов) является постоянство ТКС в диапазоне рабочих температур, которая в этом случае может достигать 300 °С без ухудшения теплового потока теплообменника во времени. Надежное механическое соединение KLM-ребра с несущей трубой исключает разматывание спирали как на концах трубы, так и в разных участках по ее длине в случае разрыва спирали на некотором расстоянии. Следовательно, обеспечивается стабильность достигнутой энергетической эффективности.

В предлагаемой конструкции теплообменной БРТ отсутствуют требования к геометрическим размерам расположения полки L-ребра относительно рифлений, как это характерно для трубы-прототипа. Это является естественным следствием формы сетчатого рельефа в виде остроконечных пирамид, равномерно нанесенных по всей наружной поверхности несущей трубы. Навивка L-ребра выполняется безотносительно к нанесенным пирамидам ввиду их равномерного расположения, что является гарантированным условием высокой технологичности в серийном производстве такой трубы с KLM-ребрами.

Изготовление теплообменных БРТ с предлагаемой конструкцией механического контакта KLM-ребра не требует перестройки технологического процесса, производительность технологической линии не уменьшается в сравнении с существующей.

Таким образом, в заявляемой теплообменной биметаллической ребристой трубе полностью реализованы сформулированные задачи.

Изобретение поясняется фиг. 1-3.

На фиг. 1 изображена теплообменная биметаллическая ребристая труба с однозаходными KLM-ребрами (вид общий); на фиг. 2 дано поперечное сечение несущей трубы по А-А; на фиг. 3 приведено аксонометрическое изображение рельефов в виде остроконечных пирамид, нанесенных на наружной поверхности несущей трубы (фрагмент).

Теплообменная биметаллическая ребристая труба состоит из металлической несущей круглой трубы 1 наружного диаметра  $d_n$  с нанесенными на ее наружной поверхности механическим или иным способом рельефами 2 в виде остроконечных четырехугольных пирамид с углом  $\beta$  взаимного пересечения их рядов и спирально навитого под натяжением L-ребра с шагом  $s$ , горизонтальная полка 4 которого механически соединена с рельефами 2, поперечное сечение которых видно на фиг. 2. Шаг рельефов  $s_p$  целесообразно выбирать в интервале 0,8-1 мм. Здесь же показан угол  $\gamma$ , который является углом при вершине каждой грани четырехугольной пирамиды, а аксонометрическое (объемное) изображение пирамид 2 представлено на фиг. 3, что позволяет составить наглядную картину их формы и из их взаимного расположения видно - это искусственная предельная шероховатость. После механического соединения полки 4 L-ребра с рельефами 2 получается KLM-ребро. При нанесении рельефов наружный диаметр несущей трубы незначительно уменьшается до  $d_1$ , а диаметр  $d_2$  - это диаметр несущей трубы по основанию рельефов.

Для KLM-ребер применяются высокотеплопроводные пластичные металлы, преимущественно алюминий или его сплавы AD1M, AD1, а исходной заготовкой является лента толщиной порядка 0,4 мм. Наибольшее применение получили теплообменные БРТ с наружным диаметром ребра  $d = 56-57$  мм, шагом ребра  $s \approx 2,4-2,5$  мм и диаметром несущей трубы  $d_n = 25$  мм.

Теплообменная биметаллическая ребристая труба работает следующим образом. Охлаждаемая среда подается внутрь несущей трубы 1, и тепловой поток  $Q$  через стенку направляется к охлаждающему воздуху, который снаружи поперечным потоком обтекает KLM-ребра 3. При теплопередаче на механическом контакте полки 4 с поверхностью несущей трубы возникает термическое контактное сопротивление, однако вследствие нового технического исполнения механического контакта существенно увеличивается в нем контактное давление, а заметно возросшая площадь поверхности контактирования до 2,1 раза при оптимальных энергетических и технологических параметрах рельефов снижает величину температурного перепада  $\Delta t_k$  в этой зоне, а значение ТКС по теоретическим расчетам уменьшается в 1,2-1,45 раза в зависимости от плотности теплового потока  $q_k$ . Интенсификация теплопередачи достигает 6-10 %, а это способ прямого действия, вызывающий уменьшение площади теплопередачи теплообменника на эту величину и его массовой характеристики. Это скажется на уменьшении цены теплообменника. Предельная температура стенки несущей трубы в зоне контакта достигает 300 °С, при которой сохраняется исходное значение теплового потока, соответствующее температуре 275-290 °С трубы-прототипа.

С целью проверки действенности технических решений, заявленных в предлагаемой полезной модели теплообменной БРТ, нами выполнены теплотехнические экспериментальные исследования по методике [2] опытных образцов БРТ с KLM-ребрами, изготовленных ЗАО "ОКТЯБРЬСКХИММАШ" (Республика Башкортостан) в соответствии с формулой изобретения. Геометрические параметры KLM-ребер в мм: наружный диаметр ребра  $d = 56,9$ ; высота, шаг и средняя толщина ребра  $h = 15,5$ ;  $s = 2,53$ ;  $\Delta = 0,4$ ; диаметр ребра по его основанию  $d_0 = d - 2h = 25,9$ . Коэффициент оребрения трубы  $\phi = 20,77$ . Ребро выполнено из алюминиевого сплава AD1M. Несущая труба наружного диаметра  $d_n = 25$  мм выполнена из углеродистой стали 10. На наружной поверхности несущей трубы нанесены механически рельефы, представляющие искусственную шероховатость остrokонечной пирамидальной формы с углом  $\beta = 90^\circ$  и шагом  $s_p = 1$  мм. Для оптимальных геометрических размеров остrokонечных четырехугольных пирамид получены для значений  $q_k = 30$  и  $75$  кВт/м<sup>2</sup> соответственно значения ТКС, равные  $R_k = 0,104$  и  $0,09$  (м<sup>2</sup>·К)/кВт, которые снизились в 1,2-1,45 раза в сравнении с  $R_k$  трубы-прототипа. Достигнуто безопасное по тепловой надежности значение температуры стенки несущей трубы на контакте в 300 °С. Таким образом, экспериментальное исследование подтвердило количественные значения отличительных признаков изобретения.

Изобретение может быть использовано заводами химического машиностроения по производству аппаратов воздушного охлаждения, холодильного машиностроения для изготовления конденсаторов воздушного типа, теплообменников для тепловых насосов, предприятиями коммунального машиностроения для выпуска воздушно-отопительных приборов, калориферов, воздухонагревателей.

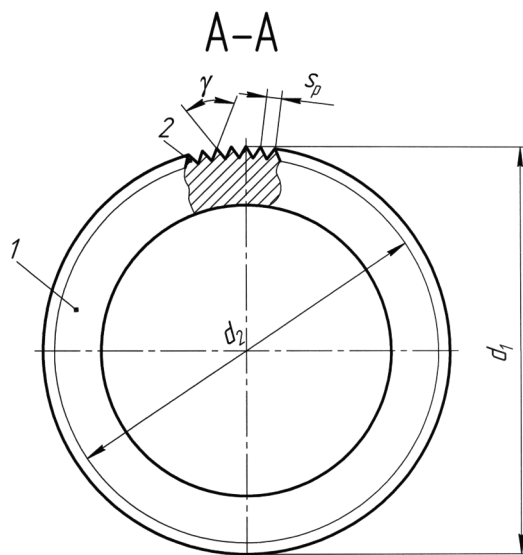
## Источники информации:

1. Шмеркович В.М. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения: Обзор. информ. Сер. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979. - С. 27-32.
2. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. - СПб.: Энергоатомиздат, 1992. - С. 60, 37-44, 245-248.
3. Кунтыш В.Б., Бессонный А.Н., Дрейцер Г.А., Егоров И.О. Примеры расчетов нестандартизированных эффективных теплообменников / Под ред. В.Б.Кунтыша и А.Н.Бессонного. - СПб.: Недра, 2000. - С. 86-88.

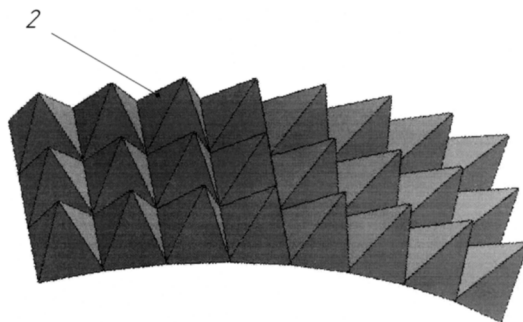
# ВУ 14907 С1 2011.10.30

4. 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. 22-23.

5. Патент РБ на полезную модель 4814, МПК F 28F 1/00, F 25D 7/00, B 21C 37/15, 2008 (прототип).



Фиг. 2



Фиг. 3