

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 10515

(13) U

(46) 2015.02.28

(51) МПК

B 21D 11/06 (2006.01)

B 21C 37/26 (2006.01)

F 28F 1/26 (2006.01)

(54)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СПИРАЛЬНО-ЛЕПЕСТКОВОГО ОРЕБРЕНИЯ ТРУБЫ

(21) Номер заявки: u 20131044

(22) 2013.12.05

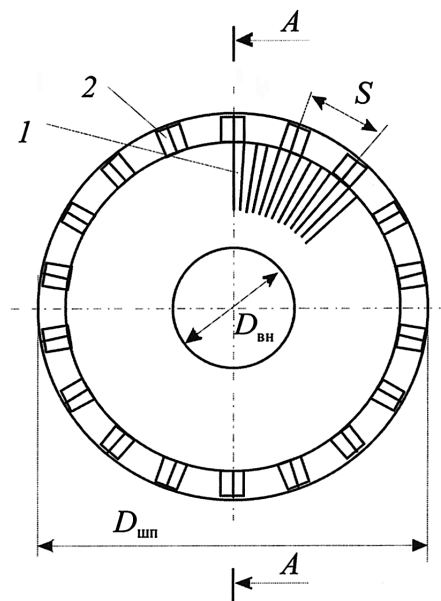
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный техно-
логический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисович
(ВУ); Мулин Виктор Петрович (РУ);
Сухоцкий Альберт Борисович (ВУ);
Миннигалеев Альберт Шамилович
(РУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образо-
вания "Белорусский государственный
технологический университет" (ВУ)

(57)

1. Устройство для спирально-лепесткового оребрения трубы, содержащее механизм профилирования ленты в L-образное сечение, механизм навивки и завальцовки спирали на трубу, состоящий из формообразующего фланца и вращающегося шпинделя с рифленным рабочим торцом, образующих между собой зазор, необходимый для навивки ленты в спираль, отличающееся тем, что на периферии рабочего торца вращающегося шпинделя расположены остроконечные выступы в виде равнобоких треугольных призм длиной $l = (0,05-0,15)(D_{\text{шп}}-D_{\text{вн}})$, высотой $H = (0,3-0,6)\delta$, равномерно расположенных по окружности шпинделя с шагом $S = (0,05-0,15)\pi D_{\text{шп}}$, где $D_{\text{шп}}$ - наружный диаметр шпинделя; $D_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр шпинделя; δ - толщина ленты.



Фиг. 1

ВУ 10515 U 2015.02.28

(56)

1. Письменный Е.Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребранных труб. - Киев: Альтерпрес, 2004. - С. 223-227.
2. Кирпичников Ф.П. Прокатка ребристых труб для теплообменников: Сб. "Оборудование для прокатки изделий сложной формы". - М.: ЦИНТИАМ, 1963. - С. 10-69.
3. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / Под общ. ред. В.Б.Кунтыша, А.Н.Бессонного. - СПб.: Недра, 1996. - С. 14-104.
4. А.с. СССР на изобретение 1838746 А3, 1993.
5. Кунтыш В.Б., Сухоцкий А. Б., Санкович Е.С., Мулин В.П. Энерго- и ресурсосберегающие поверхности теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения и технологии их изготовления // Химическая техника. - 2013. - № 1. - С. 10-16 (прототип).

Полезная модель относится к области обработки металлов давлением, в частности к устройству для изготовления спирально-лепесткового навитого оребрения трубы.

Трубы со спирально-лепестковыми алюминиевыми [1] ребрами, полученные методом экструзии (выдавливания) из толстостенной трубы-заготовки по общеизвестной технологии ВНИИметмаш [2], применяются в холодильниках сжимаемого воздуха компрессорных машин, в электроэнергетике для охлаждения масла воздухом крупных силовых трансформаторов, в воздухо- и газоохладителях турбогенераторов, в воздухоохлаждаемых теплообменниках установок ректификации нефти для конденсации и охлаждения продуктов разделения, например бензина, керосина, мазута, для охлаждения природного газа на магистральных газопроводах [3].

Спирально-лепестковые ребра изготавливаются из непрерывных круглых спиральных накатных ребер расчленением их на отдельные элементы. Для расчленения применяется разрезка вдоль продольной оси трубы с удалением части металла ребер [3] или пластическая деформация ребер без удаления их металла, что обязательно влечет отгибку концов лепестка за плоскость поверхности ребра. Такая конструкция лепестка энергетически более предпочтительная, так как отогнутые концы лепестка являются генераторами вихреобразований, а собственно пластические разрывы разрушают пограничный слой воздуха на поверхности ребра, постоянно его обновляя и турбулизируя. Действие этих двух факторов позволяет существенно увеличить тепловую эффективность (до 45-50 %) [3] теплообменных труб с накатными алюминиевыми ребрами. Напротив, при получении лепестков разрезкой теплоотдающая площадь уменьшается, торцы смежных лепестков находятся в плоскости поверхности ребра, что не реализует интенсификацию теплоотдачи вихреобразованием и не позволяет достичь ощутимого повышения энергетической эффективности трубы. Дополнительным недостатком разрезки сплошного ребра на отдельные лепестки является некоторое уменьшение теплоотдающей площади за счет удаления части металла. Тепловая эффективность таких труб возрастет не больше чем на 10 %.

Получение лепестковых ребер из сплошного спирального ребра разрезкой связано с введением дополнительной технологической операции, оборудование которой не комплектуется в единую технологическую линию по накатыванию ребер, например с применяемыми станками ХПРТ [2], вследствие различия в производительности.

Описан способ [4] изготовления теплообменной трубы с накатными спиральными разрезными ребрами на отдельные лепестки, в котором отсутствует указанная дополнительная операция. Для этого на наружной поверхности исходной толстостенной трубы-заготовки наносятся прессованием или иным методом продольные или ориентированные по пологой винтовой линии выступы, составляющие единое целое со стенкой трубы, а затем осуществляют прокатку профилированными дисками на валках. В итоге из выступов выдавливают лепестковые ребра. Количество лепестков по окружности трубы зависит от числа выступов на исходной трубе-заготовке, а высота лепестков - от глубины проникно-

вения профилированных дисков в тело выступов или тело выступов и стенки трубы. Действительно операцию разрезки сплошного накатного спирально ребра для превращения его в лепестковые ребра удалось исключить, но появилась новая операция перед началом стадии накатывания ребер, связанная с образованием выступов на трубе-заготовке.

Образование лепестков по этому способу уменьшает площадь поверхности оребрения по сравнению со сплошным спиральным ребром, что противоречит требованию создания компактных теплообменников на базе применения оребренных труб. Это следует из уравнения теплопередачи, согласно которому тепловой поток Q , Вт, теплообменника равен

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp}, \quad (1)$$

где k - коэффициент теплопередачи, Вт/(м² К); F - площадь поверхности оребрения, м²; Δt_{cp} - средний температурный напор аппарата, °С.

Уменьшение F снижает тепловой поток Q . Для обеспечения $Q = \text{const}$ необходимо при $k = \text{idem}$ и $\Delta t_{cp} = \text{idem}$ увеличить количество труб в аппарате, что предотвратит снижение площади F , но возрастут капитальные и эксплуатационные затраты. Вторым существенным недостатком способа является его применимость исключительно для оребрения теплообменных труб спиральными накатными ребрами по технологии ВНИИметмаш. Однако в трубчатых газожидкостных теплообменниках, например в теплообменных секциях АВО [3], применяется и второй тип теплообменных труб, оребренных спирально-навитыми под натягом сплошными ребрами из тонкой плоской ленты. Материал ленты преимущественно алюминий, но возможно использовать латунь и медь. Трубы с ленточными спиральными ребрами по сравнению с накатными ребрами имеют меньшую в 1,5-2,0 раза материалоемкость и требуют на изготовление в 2,5-3,0 раза меньшего потребления электрической энергии.

Исследования [3] показали, что повысить тепловую эффективность ленточного оребрения возможно превращением его в спирально-лепестковое оребрение. Однако широкое применение таких теплообменных труб в промышленности сдерживается отсутствием отработанного высокопроизводительного устройства для расчленения исходного сплошного ребра на отдельные лепестки, лишённого недостатков описанного способа.

Известно устройство (рис. 5 [5]) для навивки алюминиевой ленты в спираль, взятое за прототип, которое состоит из механизма профилирования ленты в L-образное сечение, механизма навивки и завальцовки спирали на трубу, состоящего из формообразующего фланца, представляющего неподвижную часть навивочного механизма вращающегося шпинделя с рифленным рабочим торцом. Формообразующий фланец и рабочий торец шпинделя образуют зазор, в котором рифления внедряются в ленту, захватывают ее и при вращении шпинделя закручивают в спираль.

Недостаток устройства состоит в том, что из ленточной спирали можно получить исключительно непрерывные сплошные плоские ребра, то есть устройству присущи ограниченные технологические возможности. В существующем конструкторском исполнении вращающегося шпинделя устройство не позволяет увеличить теплоотдающую площадь поверхности собственно ребра заданной высоты и толщины. Также оно не позволяет реализовывать интенсификацию теплоотдачи для повышения энергетической эффективности оребренной трубы, сочетающей принцип вихревого движения воздуха в межреберном канале с прерыванием развития пограничного слоя на боковой поверхности, его обновлением и турбулизацией.

Задача полезной модели - расширение технологических возможностей устройства для изготовления эффективного вида спирально-лепесткового оребрения трубы и увеличение площади поверхности теплоотдачи ребра без дополнительного расхода металла.

Поставленная задача достигается тем, устройство для спирально-лепесткового оребрения трубы, содержащее механизм профилирования ленты в L-образное сечение, механизм навивки и завальцовки спирали на трубу, состоящий из формообразующего фланца и вращающегося шпинделя с рифленным рабочим торцом, образующих между собой зазор, необходимый для навивки ленты в спираль, отличающееся тем, что на периферии рабочего

BY 10515 U 2015.02.28

торца вращающегося шпинделя расположены остроконечные выступы в виде равнобоких треугольных призм длиной $l = (0,05-0,15)(D_{\text{шп}}-D_{\text{вн}})$, высотой $H = (0,3-0,6)\delta$, равномерно расположенных по окружности шпинделя с шагом $S = (0,05-0,15)\pi D_{\text{шп}}$, где $D_{\text{шп}}$ - наружный диаметр шпинделя; $D_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр шпинделя; δ - толщина ленты.

Принципиальный отличительный признак полезной модели от прототипа заключается в наличии на периферии рабочего торца вращается шпинделя с равномерно расположенными по его окружности остроконечными выступами в виде равнобоких треугольных призм, которые надсекают ленту, образуя при этом концентраторы напряжений. Под действием растягивающих усилий, возникающих при навивке ленты в спираль, происходит разрыв ее в местах концентраторов, число которых равно количеству призм на торце шпинделя. В итоге получаются из сплошного ребра в результате пластической деформации отдельные лепестки. Длина разрыва, равная высоте лепестка, достигает величины $h_{\text{л}} = (0,5-0,6)h$, где h - высота спирального ребра. Следовательно, спирально-лепестковое ребро представляет спиральное сплошное кольцо высотой $(h - h_{\text{л}})$ у его основания, переходящее в n -е количество лепестков, расположенных по окружности оставшейся кольцевой высоты $h_{\text{л}}$ ребра, которые получены надсечками ее вершины.

В местах разрыва ребра наружная кромка лепестка имеет прямую линию, а концы лепестка незначительно выступают за пределы наружного диаметра d ребра и боковую плоскость поверхности ребра. Концы имеют слегка изогнутую форму и являются генераторами вихрей, а разрывы между соседними лепестками играют роль прерывателей и турбулизаторов пограничного слоя. Сочетание вихревой интенсификации с турбулизацией пограничного слоя воздуха на лепестковых ребрах позволяет достичь высокоинтенсивной теплоотдачи при умеренном росте аэродинамического сопротивления. При таком сочетании прироста теплоотдачи и сопротивления тепловая эффективность оребренной трубы увеличивается на 15-20 %.

Возникает вопрос: почему параметры треугольных призм шпинделя выбраны таковыми, чтобы обеспечивался указанный диапазон изменения высоты $h_{\text{л}}$ лепестка? Известно, что при разрыве ребра на высоту, большую $h_{\text{л}} > 0,6 h$, происходит ослабление усилия натяга спирального ленточного ребра с поверхностью трубы, на которую навито ребро, возрастает контактное термическое сопротивление (КТС) теплопереходу, уменьшаются интенсивность теплопередачи и эксплуатационная надежность трубы. Ослабление контактного давления сопровождается появлением микрозазоров между контактируемыми поверхностями, заполняемых воздухом, теплопроводность которого в 2000 раз меньше стали и 8000 раз меньше алюминия. Термическое сопротивление воздушного микрозора препятствует переносу теплоты от горячего теплоносителя внутри трубы к холодному воздуху, обтекающему оребрение снаружи. Аналогично происходит перенос тепла и при обратном направлении теплового потока. При $h_{\text{л}} < 0,5 h$ не достигается целесообразная величина увеличения энергетической эффективности ребра ввиду недостаточной отгибки концов лепестка. Генерация вихрей и интенсивность вихреобразования ослабевают, что недостаточно для достижения высокоинтенсивной теплоотдачи по оребренной стороне трубы.

Увеличение площади поверхности одного навитого спирального ребра с лепестками, м^2 :

$$F' = 2h_{\text{л}} \cdot \Delta \cdot z_{\text{л}}, \quad (2)$$

где Δ - средняя толщина лепестка по его высоте $h_{\text{л}}$; $z_{\text{л}}$ - число лепестков по окружности ребра, шт.

Общее увеличение площади поверхности оребренной трубы с лепестками, м^2 :

$$F_{\text{ув}} = 2h_{\text{л}} \cdot \Delta \cdot z_{\text{л}} \cdot n, \quad (3)$$

где $n = L/s$ - число ребер на трубе, шт; L - длина оребренной трубы, м; s - шаг навитых ребер, м.

Полная площадь наружной поверхности трубы со спирально-лепестковыми ребрами, м^2 :

$$F = F_{\text{спл}} + F_{\text{ув}}, \quad (4)$$

BY 10515 U 2015.02.28

где $F_{\text{спл}}$ - площадь поверхности со сплошными спирально навитыми ребрами. Видно из (4), что превращение сплошного спирального навитого ребра в спирально-лепестковое оребрение увеличивает теплоотдающую поверхность трубы и является новым отличительным признаком полезной модели.

Таким образом, в заявленной полезной модели устройства полностью решены сформулированные задачи.

Полезная модель поясняется фиг. 1-4. На фиг. 1 изображен рабочий торец шпинделя, на котором в средней части расположены рифления 1, высотой не более 0,15 мм, а на периферии находятся остrokонечные выступы 2, представляющие равнобокие треугольные призмы. Эти призмы равномерно расположены по окружности шпинделя с шагом S . Число лепестков $z_{\text{л}}$ на окружности ребра равно количеству $z_{\text{п}}$ призм. На фиг. 2 приведен разрез шпинделя по А-А. Призмы 2 имеют высоту H и длину l , а их количество $z_{\text{п}} = z_{\text{л}} = \pi D_{\text{шп}}/S$.

На фиг. 3 представлено устройство для спирально-лепесткового оребрения трубы, включающее несущую трубу 3 с шифронными рифлениями 4 на ее наружной поверхности, которые могут быть также иных форм, накатные ролики 5, профилирующее устройство 6, разматывающую бобину 7, ленту 8 L-образного поперечного сечения, формообразующий неподвижный фланец 9, вращающийся шпиндель 10 с рифлениями 1 и призмами 2, трубу 11 со спирально-лепестковым оребрением.

Поперечное сечение трубы 11 со спирально-лепестковым оребрением дано на фиг. 4, которое включает несущую трубу 3 и лепестковые ребра 12 высотой $h_{\text{п}}$ наружным диаметром d . Ребра имеют L-образное поперечное сечение и навиты на трубу 3 под натягом. Наружный диаметр несущей трубы $d_{\text{н}}$, а внутренний d_1 .

Спирально-лепестковое оребрение трубы реализуется согласно изображенному на фиг. 3 устройству следующим образом. Исходная гладкая несущая труба 3 подается в три накатных ролика 5, равномерно расположенных вокруг трубы (для простоты показаны два ролика, которые повернуты относительно продольной оси трубы 3 на некоторый угол, соответствующий ее осевой подаче). Посредством накатных роликов 5 несущая труба 3 вращается и перемещается с заданным шагом, при этом на наружной поверхности трубы от действия роликов 5 накатываются рифления 4 заданной формы. Далее несущая труба с рифлением 4 поступает в зону навивочного механизма и завальцовки спирали на трубу 3. В эту же зону также движется плоская лента прямоугольного поперечного сечения с разматывающей бобины 7, которая, пройдя профилирующее устройство 6, деформируется в ленту 8 L-образного поперечного сечения. Вращающийся шпиндель 10 своими захватывающими рифлениями 1 (фиг. 1), равномерно расположенными в средней части его торцевой поверхности, внедряется в плоскость ленты и осуществляет ее закручивание в спираль, для чего имеется зазор между шпинделем и формообразующим фланцем 9. В процессе образования спирали остrokонечные выступы треугольных призм 2 (фиг. 1, 2) надсекают ленту, образуя концентраторы напряжений. Под действием растягивающих усилий, возникающих при навивке, происходит радиальный разрыв ленты по ее высоте в местах искусственно созданных концентраторов с образованием спирально-лепесткового оребрения 12, которое в увеличенном масштабе показано на фиг. 4.

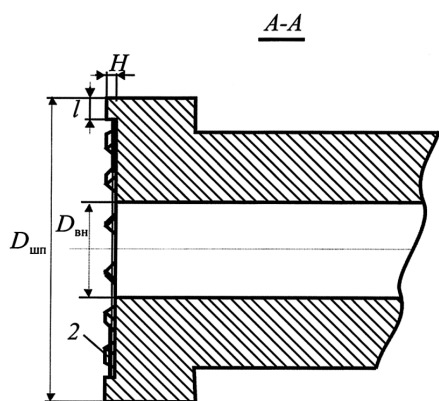
Таким образом, полностью за один проход сформировано высокоэффективное спирально-лепестковое оребрение несущей трубы с неизменной производительностью линии, применяемой для оребрения трубы сплошными спирально навитыми L-ребрами из плоской металлической ленты. Предлагаемое устройство обеспечивает безотходный процесс оребрения.

В воздухоохлаждаемых теплообменниках, например теплообменных секциях аппаратов воздушного охлаждения (АВО) [3], энергетически целесообразно применять трубу с навитыми спирально-лепестковыми алюминиевыми ребрами следующих параметров: наружный диаметр ребра $d = 57$ мм; высота, шаг и средняя толщина ребра $h = 15,8$ мм,

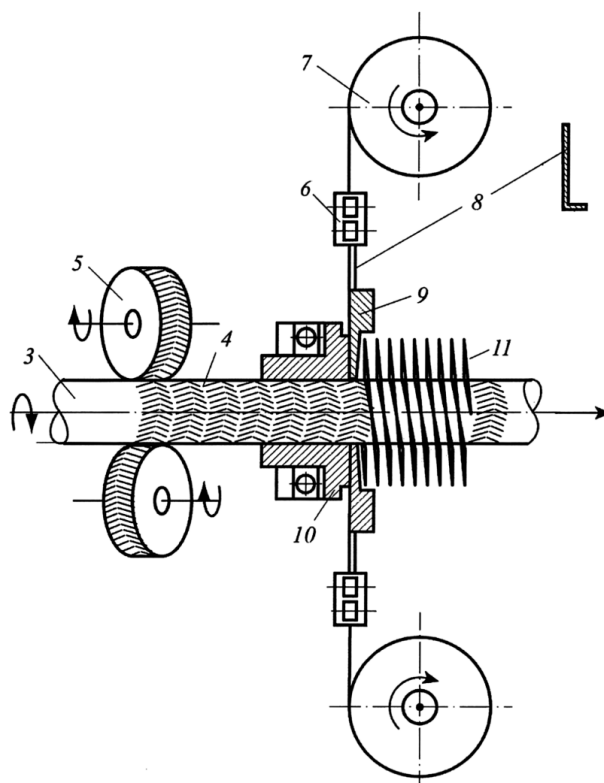
ВУ 10515 U 2015.02.28

$s = 2,5-2,3$ мм; $\Delta \approx 0,35$ мм; высота лепестка $h_{л} = 8-9$ мм; число лепестков по окружности ребра $z_{л} = 20-24$ шт. Исходная толщина алюминиевой ленты 5-0,4 мм. Лепестковое ребрение расположено на стальной трубе наружного диаметра $d_{н} = 25$ мм, а внутренний диаметр $d_{в} = 21$ мм.

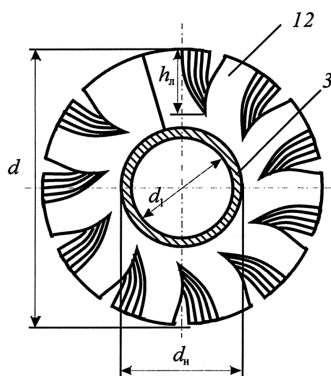
Устройство может быть применено заводами химического и энергетического машиностроения при изготовлении теплообменных труб со спирально-лепестковым ребрением для АВО топливо-энергетического комплекса страны и прочих теплообменных аппаратов воздушного охлаждения.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4