

Существующие технологии оребрения труб

И.В. Афанасьева

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань
ООО «Ифин»*

Аннотация: Работа посвящена проблеме производства теплообменных аппаратов типа «труба-ребро». Поставленная задача актуальна, поскольку на сегодняшний день большое количество предприятий производит и ремонтирует оребренные теплообменные аппараты. Выполнен обзор по существующим методам оребрения, среди которых, наиболее эффективным на данный момент считается оребрение токами высокой частоты. Рассмотрены и проанализированы достоинства и недостатки каждого метода промышленного оребрения труб.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, оребрение, поперечно-винтовая прокатка, контактная сварка, дуговая сварка, токи высокой частоты.

Введение

Теплообменные аппараты с оребренными трубами имеют широкую область применения благодаря их высокой тепловой эффективности и малых размерах теплообменных установок. Оребренные трубы широко используют в качестве воздушных конденсаторов, газонагревателей и газоохладителей, холодильников, маслоохладителей и др. Однако, применяемые в настоящее время технологии оребрения труб достаточно энерго- и ресурсозатратно [1, 2]. Для снижения себестоимости производства теплообменных аппаратов, повышения их ресурса и улучшения ремонтпригодности необходимо совершенствовать и внедрять более эффективные и доступные способы оребрения труб.

Основная часть

Основу теплообменных аппаратов (ТА) составляет несущая гладкая труба, предназначенная для транспортировки рабочей среды, которая должна выдерживать заданный диапазон давлений и перепад температур. В качестве материала трубы чаще используют сталь, чугун и цветные металлы. На поверхность трубы по периметру фиксируются ребра, для передачи тепла от

основной трубы в окружающее пространство. Ребра в основном выполняются из алюминия, меди, латуни и углеродистой стали [3].

Рассмотрим схематическое изображение конструкции оребренной трубы, представленное на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Внешний вид ребра 1 может иметь в сечении прямоугольную, либо конусную форму **рОшибка! Источник ссылки не найден.** [4]. Основными параметрами оребренного ТА являются толщина (d_f) 2, высота ребра (h_f) 3, внутренний диаметр трубы (d) 4, наружный диаметр трубы (D) 5, угол наклона (α_f) 6, материал ребра (M_f) 7 и трубы (M_t) 8, шаг – число ребер на сантиметр длины трубы (N_f) 9, тип жидкости трубы, состав атмосферы внешней среды.

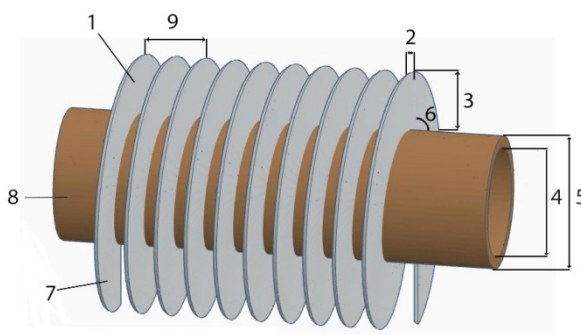


Рис. 1. – Устройство теплообменного аппарата типа «труба-ребро»: 1 – внешний вид ребра, 2 – толщина, 3 – высота, 4 – внутренний диаметр трубы, 5 – наружный диаметр трубы, 6 – угол наклона, 7 – материал ребра, 8 – материал трубы, 9 – число ребер на сантиметр длины трубы

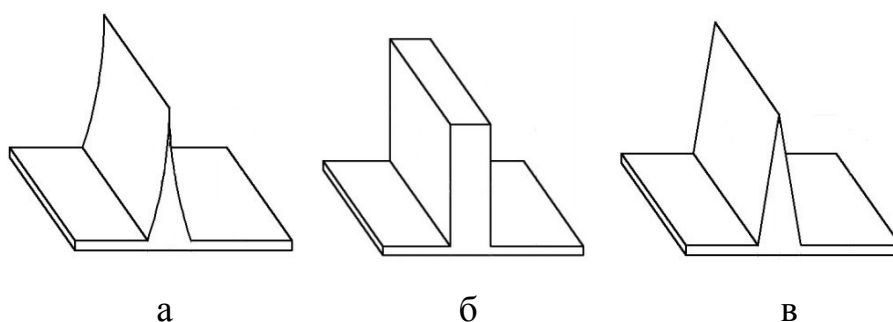


Рис. 2. – Форма ребер при спиральном оребрении: (а) – вогнуто-параболическая, (б) – продольная, (в) – треугольная

Показателем оребрения является коэффициент, обозначающий степень оребрения трубы, то есть степень отношения поверхности всех ребер F_{fin} к поверхности неоребранных участков F_{sm} , рассчитывающийся согласно формуле 1. Чем больше значение, тем выше эффективность.

$$\beta = \frac{F_{fin}}{F_{sm}} \quad (1)$$

Классификация по разному типу производства.

1. Из цельной заготовки. Монолитные металлические ТА предполагают использование одного вида металла путем отливки или полученные методом экструзии (выдавливания) из трубы заготовки по общеизвестной технологии [5]. Оребренные таким путем изделия получают надежными, эффективными и долговечными, так как им не грозит плохое соединение несущей трубы с ребром и механические воздействия. Но его производство дорогостоящее, поэтому используется в редких случаях.

2. Составная заготовка. Следующим распространенным видом оребрения труб являются составные ТА, которые подразумевают использование двух металлов. Это необходимо для использования свойств каждого материала отдельно. В таких видах труб сочетается механическая прочность и высокий уровень теплопроводности, к тому же повышаются антикоррозийные свойства изделия. В качестве несущей трубы выбирается материал с учетом механических и температурных параметров, в большинстве случаев из углеродистых, нержавеющей и хромомолибденовых сталей, реже из латуни и мельхиора. Самым эффективным материалом для получения ребер является медь, так как обладает отличными теплообменными свойствами, более дешевым – алюминий, не отстающий свойствами по теплоотдаче.

Известны разные типы производственных процессов по соединению ребра с поверхностью трубы с последующим закреплением. В рамках

исследования нами была разработана классификация способов оребрения труб на основании проведенного патентного поиска по фондам патентной документации ФИПС, фондам Евразийской патентной организации (ЕАПО) и сети Интернет:

- навивка алюминиевой ленты с натяжением на сталь;
- оребрение шайб методом обжима;
- холодная прокатка по поперечно-винтовой схеме;
- оребрение ребер дуговой или контактной сваркой;
- оребрение токами высокой частоты (ТВЧ) и др.

Технико-экономические параметры, представляющие особый интерес для промышленности, зависят от типа оребрения. В этой связи необходимо рассмотреть более детально данные процессы.

1. Навивка алюминиевой ленты с натяжением на сталь

Рассмотрим метод оребрения ТА с KLM-ребрами. Конструкция в общем виде представляет собой несущую трубу, на внешней поверхности которой наносятся рубцы в виде рифлений типа «выступ-бороздка» [6] определенной глубины и шагом. Затем спирально навитой теплопроводной медной или алюминиевой лентой с L-образным сечением заполняют рифления путем натяжения навиваемой ленты или деформацией поверхности полки KLM-ребра роликом [7]. Возникающая сила при контакте металла с горизонтальной полкой KLM-ребер, обеспечивает плотную фиксацию и эксплуатационную надежность.

Кроме того, методом навивки производят следующие основные типы оребрения, профили ребер которых представлены на рис.3.

Благодаря плотному соединению ребра и трубы ТА оребренные методом навивки обладают улучшенной теплопроводностью и коррозионной стойкостью, являясь альтернативой накатному оребрению.

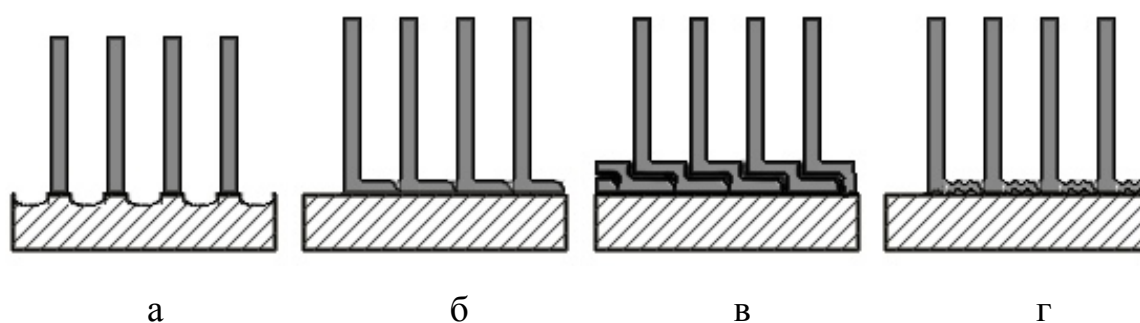


Рис. 3. – Используемые профили ребра: (а) – G тип – лента впрессовывается в пазы на трубе, (б) – L тип закрепляется за счет прижимной силы, (в) – LL тип частично перекрывает каждый виток внахлест предыдущим, (г) – KL отличается от (а) только наличием насечек в месте прилегания

2. Обжим шайб

Процесс оребрения труб обжимом шайб осуществляется на специальных станках. На рис.4 представлена оребренная труба, полученная обжимом шайб, автоматизированный процесс которой выполняет подачу шайбы 1 на трубу 3, подготовку следующей шайбы, обжим воротника 2 на трубе, перемещение трубы на заданный шаг вперед, и фиксацию шага между шайбами [8].

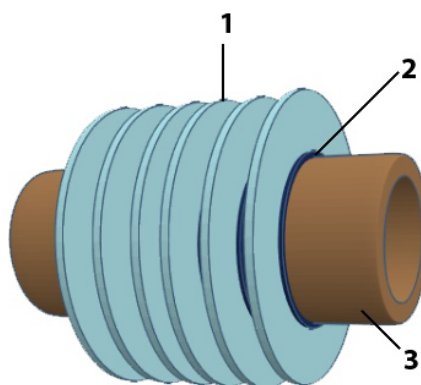


Рис. 4. – Оребренный теплообменник обжимом шайб: 1 – шайба, 2 – обжимной воротник шайбы, 3 – несущая труба

Предполагается, что метод малопродуктивный и используется на небольших предприятиях и мастерских.

3. Поперечно-винтовая холодная прокатка

Холодная поперечно-винтовая прокатка [9, 10] является одним из старых методов оребрения, который отличается высокой производительностью, экономичностью и отсутствием швов. Для производства ТА используют трехосные угловые валки (рис.5а), каждый из которых содержит в себе определенное количество дисков. Во время прокатки валки захватывают металлическую заготовку, сообщая ей вращающее движение и осевое перемещение, постепенно вдавливаясь в металлическую заготовку, в результате чего образуются ребра (рис.5б).

Промышленностью хорошо освоен метод прокатки, поэтому Алма-Атинский завод тяжелого машиностроения производит и выпускает серию накатных станов типа ХПРТ30-45Б, ХПРТ12-25М, ХПРТ12-28 и ХПРТ8-13 и др. [1111].



Рис. 5. – Процесс поперечной прокатки: (а) – трехосные угловые валки, (б) – ребра [9]

Применение таких труб уменьшает габариты, вес и стоимость ТА. Несмотря на популярность метода, используемый стан имеет ограничения, заключающиеся в высокой стоимости, сложности изготовления рабочих инструментов (валков, оправок, роликов) и настройки стана для изменения

размера труб. К тому же стенки труб чаще получаются разными, а на внутренней поверхности трубы появляются дефекты типа рисок и трещин.

4. Электродуговая и контактная сварка

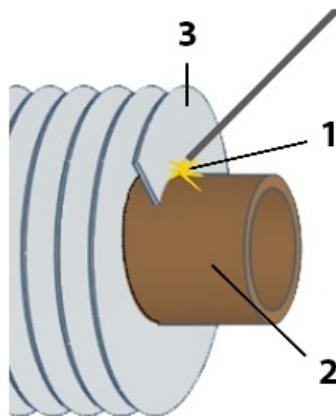


Рис. 6. – Общая схема оребрения сваркой: 1 – место подачи тока, 2 – несущая труба, 3 - ребро

Сваркой получают соединения металлических частей путем общего нагрева и пластической деформации. Классификации сварки подразделяется по физическим, техническим и технологическим признакам (ГОСТ 2601-84. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий. ГОСТ 19521-74. Сварка металлов. Классификация.), а также на такие способы сварки, как контактная, электродуговая и с нагревом токами высокой частоты. Общая схема процесса представлена на рис. 6, где указано место подачи тока 1 для нагрева свариваемых частей – трубы 2 и ребра 3. При контактной сварке детали нагревают электрическим током в месте контакта и сдавливаются действием сжимающего усилия. В работе [12] отличие составляет то, что к гладкой трубе при помощи контактной сварки одновременно приваривается несколько полуребер. Дуговая сварка предполагает подачу переменного или постоянного тока к свариваемым деталям, образующая дугу, плавящую основной металл. В результате чего в образовавшейся сварочной ванне фиксируется металл, создавая сварное соединение. Процесс производится

при помощи полуавтоматических или автоматических сварочных станков (аппаратов, линий). Однако приварка ребер сваркой такого типа процесс медленный и малопроизводительный, при этом в теле трубы увеличивается зона термического влияния, чем создается опасность разупрочнения трубы, кроме того, шов имеет пористость за счет выгорания металлов во время окислительных процессов, что затрудняет сварку ребер. Поэтому данный метод неэффективен для использования, и не приобрел популярности для оребрения труб.

5. Токи высокой частоты

Впервые идея сварки металлов токами высокой частоты (ТВЧ) была предложена в 1946 г специалистами во главе с А.В. Улитовским. После чего в 50-е годы началось бурное создание технологий и оборудования для высокочастотной сварки труб [13].

Несомненно первыми технологию спирального привара ребер к трубам создали ИЭС им. Е.О. Патона [14]. Авторами [14] описывается общая схема технологии оребрения (рис. 7.) теплообменных аппаратов: несущей трубе 1 задают поступательное вдоль и вращательное движения, на поверхность которой подают ленту 2, поджимая ее специальным роликом 4, затем на определенном расстоянии скользящими контактами 3 подводят ток высокой частоты, который, разогревая поверхности ленты и несущей трубы, плавит их, и при обжимке сваривает [14].

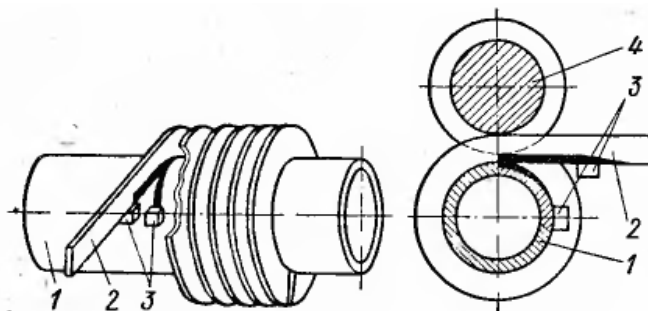


Рис. 7. – Схема изготовления труб со спиральным ребром: 1 – несущая труба, 2 – лента, 3 – скользящие контакты, 4 – ролик [14]

Авторы [9, 15-19] выделяют оребрение методом ТВЧ самым эффективным и распространенным в энергетической отрасли. В этой связи его стоит рассмотреть более подробно.

Известные методы ТВЧ [15, 16] позволяет сваривать стальную ленту к наружной стенке трубы, с заранее накатанными канавками под ребро, с помощью сварочного оборудования ТВЧ. Механическая часть установки, отвечает за определенную скорость подачи и вращения трубы. Ребро фиксируется в канавку, с последующим заполнением зазора металлом [15]. Полученный слой вокруг ребра уплотняется при помощи раскатного ролика для устранения «прикорневой» гофрировки ребра [16]. Недостатками данного способа является перегрев скользящих контактов между трубой и металлической лентой, что может привести к деформации стенок ребра, осложняется подвод ТВЧ к свариваемым деталям, что снижает качество готового продукта. В частности, это требует замену скользящих контактов, и остановку процесса производства для охлаждения деталей.

Другой способ оребрения методом ТВЧ отличается принудительным орошением путем подачи охлаждающей жидкости в механические части установки [17]. Известно, что жидкая среда обеспечивает эффективный отвод тепла от охлаждаемой поверхности, ведущий к интенсивному охлаждению. Поэтому проход металлических деталей короткой стадии нагрева и следом такого же резкого охлаждения, делает их хрупкими и ударонеустойчивыми. К тому же попадание жидкости на поверхность нагретых свариваемых деталей увеличивает процесс коррозии, что ухудшает физические характеристики оребренной трубы. Для исключения этого потребуются дополнительные затраты для нанесения защитного покрытия. В заявленном патенте [17] предлагается использовать в качестве охлаждающей среды для орошения нагреваемых деталей и зон оребряемой трубы водный раствор 3-5% концентрата, обладающий ингибирующими свойствами адсорбционного

действия на металл. Это не только усложняет производство, но также повышает стоимость готовой продукции.

Метод оребрения ТВЧ характеризуется универсальностью и хорошим качеством сварного соединения, что позволяет изготовить ТА любого размера и с минимальной деформацией [18]. К тому же обладает технологическим эффектом «юбки», при котором длина внешней части ленты становится меньше, длины стороны, обращенной к трубе. Вследствие этого, появляется излишек металла ленты, который под воздействием силы, формирующей спираль, начинает волнообразно изгибаться вокруг трубы.

6. Достоинства и недостатки существующих методов

Описанные выше существующие методы можно подразделить на механическое оребрение, то есть не имеющие сварного контакта между трубой и ребром, и оребрение при помощи сварки. Механическое оребрение ТА связывают такие качества как простота и бюджетность, так как не требует высоких энергозатрат. С другой стороны, можно столкнуться с плохим качеством готовой продукции, связанное с неупругой деформацией ребер, к которой ведет отсутствие сварного соединения между ребром и трубой. Также сложность процесса состоит в том, что необходимо следить за точностью геометрических параметров получаемых заготовок, не соблюдение которых может привести к отсутствию физического контакта между лентой и трубой. К тому же при температурных колебаниях теряются механические свойства ТА, что делает их неэффективными. Это ведет к необходимости использования дополнительных технологических операций и затрат. Тем самым оставляя процесс механического оребрения малопродуктивным. Кроме метода навивки, который не отстает качеством готовой продукции от метода ТВЧ.

Методы оребрения имеющие сварное соединение являются более высокопроизводительными процессами, и отличаются более надежными

сварными соединениями с требуемыми прочностными свойствами [19, 20]. В результате чего улучшаются теплообменные свойства ТА. Однако существенным недостатком является образование грата (избыточного материала) в месте сварного соединения, что может дополняться химическими процессами, при использовании разнородных металлов. К тому же значительным недостатком является влияние зоны термического влияния (ЗТВ), распространение которой по несущей трубе приводит к сложности получения качественного соединения.

7. Предприятия, использующие различные технологии оребрения в производстве

В настоящее время на территории России большое количество металлоперерабатывающих комбинатов, выпускающих оребренные трубы. Были проанализированы промышленные предприятия, производящие оребренные ТА. Оказалось, что большинство использует для оребрения метод ТВЧ. Это связано с тем, что выше рассмотренные недостатки делают приведенные методы неконкурентоспособными по отношению к ТВЧ. Отметим самые крупные и средние обнаруженные предприятия:

ОАО ТКЗ «Красный котельщик» (tkz.su), ООО НПП «БАСЭТ» (baset.ru), ООО «УралКотлоМашЗавод» (uralkmz.ru) и группа компаний «НефтеХиммаш» (metallsintez.ru) осуществляют выпуск спирального оребрения труб путем прикорневой сварки ленты непрерывным швом к трубе с применением ТВЧ на установках ACOT-2M и HAN-SUNG;

ООО «Уральский Завод Котельного Оборудования» (ural-zko.ru) изготавливает ТА методом спирально-ленточного оребрения термическим циклом сварки;

ОАО «Калориферный завод» (kkz.ru) производит монометаллические оребренные трубы из алюминия, меди, латуни, углеродистой стали с накатным оребрением;

ПО «ХимСтройПроект» (kostroma-zavod.com), АО «Теплохим» (teplohimvrn.ru), ООО «БорНефтеГазМаш» (bngm.ru), и ООО «Асбестовский котельно-машиностроительный завод» (akmz.net) и другие аналогично производят теплообменные и энергосберегающие аппараты с помощью ТВЧ.

Однако, как было указано выше, существует ряд проблем при использовании именно ТВЧ:

1. Ограниченная скорость процесса. Несмотря на то, что скорость оребрения несравнимо выше, чем иные методы, промышленности требуется ускорение. Ввиду потребления установкой 500KVA налагаются серьезные требования к подключению к электросети. В уже используемом процессе, увеличение мощности представляется трудной задачей, а иногда и невозможно из-за ограничений ресурсоснабжающих организаций;
 2. Высокие энергозатраты. Потребление установки ТВЧ оценивается на уровне 264 кВт [21]. При 300 об/мин, диаметре трубы 20 мм скорость по шву составляет 0,63 м/сек, что соответствует скорости оребрения 4,23 м/мин «по трубе». Таким образом, на оребрение 1 м трубы требуется более 1 кВт/ч. Сама по себе оребренная труба изделие массовое, и оттого дешевое, поэтому энергопотери в 1 кВт/ч оцениваются производством как крайне высокое;
 3. Ограничение по используемым материалам. Самый распространенный используемый металл, как для трубы, так и для ребра – сталь. Метод ТВЧ не оптимизирован для использования разнородных металлов, так как является специфическим решением для пар сталь/сталь и нержавеющая сталь/нержавеющая сталь (мартенсит, аустенит и феррит). Сталь не самый идеальный материал для теплообмена, так как обладает высоким удельным весом и недостаточной коррозионной стойкостью. В этой связи, данный фактор является ограничивающим.
-

- Авторы [22] подробно изучили процесс коррозии, выделив основные факторы возникновения;
4. Появление микротрещин в результате резкого охлаждения. Металл проходит короткую стадию нагрева и следом такого же резкого охлаждения преимущественно водой [21], вследствие чего может привести к микротрещинам [23]. Как результат - происходит потеря эффективности теплопередачи и уменьшение срока службы;
 5. Хрупкость сварного шва. Вторым негативным фактором резкого охлаждения шва при воздействии ТВЧ является возникновение широкой зоны с твердостью, отличной от основного металла. В этом случае снова идет понижение качества сварного шва.

Выводы

На основании проведенного патентного поиска была выработана авторская классификация существующих методов оребрения трубы. Из всех методов оребрения наиболее востребованным является способ ТВЧ. Это связано с двумя достоинствами по сравнению с накаткой и обычным механическим оребрением без сварки: жесткость конструкции и большое пятно контакта в месте привара. Востребованность метода ТВЧ для оребрения подтверждена обзором производителей и используемых технологий. Однако, проблем, возникающих при использовании данного метода, достаточно много, и они могут быть решены в рамках дальнейших научных исследований.

Таким образом, необходимо разработать иной метод, который будет в себе сочетать достоинства сварного шва, но при этом исключать его недостатки. Важным моментом для внедрения такой технологии является себестоимость и возможность использования разнородных металлов.

Работа выполнена в рамках проекта № №3003ГС1/45342 от 02.04.2019 при поддержке Фонда Содействия Инновациям, а также НО «Инвестиционно-венчурного фонда Республики Татарстан».

Литература

1. Письменный Е.Н. Новые эффективные развитые поверхности теплообмена для решения задач энерго- и ресурсосбережения // Пром. теплотехника. 2007. №5, т. 29, с. 7-16.
2. Гвоздков А.Н., Суслова О.Ю., Авдонин А.В., Викстрем А.А. Разработка современных энергоэффективных воздухоприготовительных центров систем кондиционирования воздуха и вентиляции // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4195.
3. Shah R.K. and A.D. Sekulic, 2003. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Jon Wiley & Sons, pp: 941.
4. Kern D.Q. and A.D. Kraus, 1977. Extended surface heat transfer. New York: Mcgraw-hill book company, pp: 464.
5. Кирпичников Ф.П. Прокатка ребристых труб для теплообменников: Сб. «Оборудование для прокатки изделий сложной формы». - М.: ЦИНТИАМ, 1963. с. 10-69.
6. 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.
7. Патент РФ №2574146, 06.12.2012. Способ и устройство для изготовления теплообменной трубы с KLM-ребрами.
8. Тавастшерна Р.И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов. Учеб. Пособие для проф.-техн. Училищ и индивидуального и бригадного обучения рабочих на производстве. М., «Высш. школа». 1967. с. 178-190.



9. Kocurek R., Adamiec J. Manufacturing technologies of finned tubes // *Advances in materials science*, Vol. 13, No. 3 (37), September 2013, pp. 26-36.
 10. Чечулин Ю.Б., Контдратов Л.А., Орлов Г.А. Холодная прокатка труб. М.: Металлургиздат, 2017. 322 с.
 11. Ремнев А.И., Яцун Е.И., Ремнева Л.А., Павлов Е.В., Фадеев А.А. Энергосберегающие технологии обработки толстостенных труб для систем теплообмена. // *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. 2011. №4 с. 45-48.
 12. Авторское свидетельство № 576021, 08.02.1956. Способ изготовления ребристых труб контактной сваркой.
 13. Авторское свидетельство № 72290, 08.06.1946. Способ сварки изделий током высокой частоты.
 14. Шамо́в А.Н., Лукин И.В., Иванов В.Н. Высокочастотная сварка металлов. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. с. 178-182.
 15. Авторское свидетельство № 1296341, 03.07.85 г. Способ спирального оребрения труб.
 16. Патент РФ № 304032, 01.01.1971. Способ оребрения труб.
 17. Патент РФ № 2243870, 23.04.2003. Способ спирального оребрения труб.
 18. Jinguo H., The Characteristic and Industry Application of Helical Fin-to-Tube Welds of High-Frequency Welding. *Guang Zhou Chemical Industry and Technology*. 2002, pp. 52-59.
 19. FaJiang H., WeiWu C., Ping Y. Experimental Investigation of Heat Transfer and Flowing Resistance for Air Flow Cross over Spiral Finned Tube Heat Exchanger. *Energy Procedia* 17. 2012, pp. 741 – 749.
 20. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена. – М.: Энергоатомиздат. 1998. 408 с.
 21. Hunsung H.F URL: hshf.co.kr/welding-part.html.
-

22. Деревяшкин И.С., Медяков А.А., Юсупов Т.М., Остащенко А.П. Разработка модели процесса внутренней коррозии трубопроводов тепловых сетей // Инженерный вестник Дона, 2018, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5149.
23. Малинкина Е.И. Образование трещин при термической обработке стальных изделий. 1965. с. 41-46.

References

1. Pis'mennyy E.N. Prom. teplotekhnika. 2007. №5. V. 29, pp. 7-16.
 2. Gvozdikov A.N., Suslova O.Yu., Avdonin A.V., Vikstrem A.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4195.
 3. Shah R.K. and A.D. Sekulic, 2003. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Jon Wiley & Sons, pp. 941.
 4. Kern D.Q. and A.D. Kraus, 1977. Extended surface heat transfer. New York: Mcgraw-hill book company, pp. 464.
 5. Kirpichnikov F.P. Prokatka rebristykh trub dlya teploobmennikov [Rolled finned tubes for heat exchangers]. Sb. «Oborudovanie dlya prokatki izdeliy slozhnoy formy». M. TsINTIAM, 1963, pp. 10-69.
 6. Dintsin V.A., Rozenshteyn I.L. [Utilization of heat energy of exhaust air in air conditioning and ventilation systems]. Obzor. inform. Ser. 11 «Konditsionery, kalorifery, ventilyatory». M. TsNIITEstroy mash, 1985, pp. 20-24.
 7. Patent RF №2574146, 06.12.2012. Sposob i ustroystvo dlya izgotovleniya teploobmennoy trubyy s KLM rebrami. [Method and device for manufacturing a heat exchange tube with KLM ribs].
 8. Tavastsherna R.I. Izgotovlenie i montazh tekhnologicheskikh truboprovodov [Manufacturing and installation of technological pipelines]. Ucheb. Posobie dlya prof. tekhn. Uchilishch i individual'nogo i brigadnogo obucheniya rabochikh na proizvodstve. M., «Vyssh. shkola». 1967, pp. 178-190.
-



9. Kocurek R., Adamiec J. Advances in materials science, Vol. 13, No. 3 (37), September 2013, pp. 26-36.
 10. Chechulin Yu.B., Kontdratov L.A., Orlov G.A. Kholodnaya prokatka trub [Cold rolling tubes]. M. Metallurgizdat, 2017. 322 p.
 11. Remnev A.I., Yatsun E.I., Remneva L.A., Pavlov E.V., Fadeev A.A. Kompessornoe i energeticheskoe mashinostroenie. 2011. №4, pp. 45-48.
 12. Avtorskoe svidetel'stvo № 576021, 08.02.1956. Sposob izgotovleniya rebristyx trub kontaktnoy svarkoy [A method of manufacturing ribbed pipes by contact welding].
 13. Avtorskoe svidetel'stvo № 72290, 08.06.1946. Sposob svarki izdeliy tokom vysokoy chastoty [The method of welding products with high frequency current].
 14. Shamov A.N., Lukin I.V., Ivanov V.N. Vysokochastotnaya svarka metallov [High Frequency Metal Welding]. L. Mashinostroenie (Leningr. Otd nie), 1977, pp. 178-182.
 15. Avtorskoe svidetel'stvo № 1296341, 03.07.85 g. Sposob spiral'nogo orebreniya trub [The method of spiral finning tubes].
 16. Patent RF № 304032, 01.01.1971. Sposob orebreniya trub [Pipe finning method].
 17. Patent RF № 2243870, 23.04.2003. Sposob spiral'nogo orebreniya trub [The method of spiral finning tubes].
 18. Jinguo H., Guang Zhou Chemical Industry and Technology. 2002, pp. 52-59.
 19. FaJiang H., WeiWu C., Ping Y. Energy Procedia 17. 2012, pp. 741-749.
 20. Kalinin E.K., Dreytser G.A., Kopp I.Z., Myakochin A.S. Effektivnye poverkhnosti teploobmena [Efficient heat transfer surfaces]. M. Energoatomizdat. 1998. 408 p.
-



21. Hunsung H.F URL: hshf.co.kr/welding-part.html.
22. Derevyashkin I.S., Medyakov A.A., Yusupov T.M., Ostashenkov A.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5149.
23. Malinkina E.I. Obrazovanie treshchin pri termicheskoy obrabotke stal'nykh izdeliy [Cracking during heat treatment of steel products]. 1965, pp. 41-46.