

Энерго- и ресурсосберегающие поверхности теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения и технологии их изготовления

В.Б. Кунтыш, А.Б. Сухоцкий, Е.С. Санкович (БГТУ), В.П. Мулин (ЗАО «Октябрьскхиммаш»)

В химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности России и стран СНГ в технологических установках используются тысячи аппаратов воздушного охлаждения (АВО), причем у более половины из них срок эксплуатации превышает 20...30 лет. Физически изношенными и сильно загрязненными по воздушной стороне за этот срок эксплуатации оказались трубные пучки теплообменных секций, оказывающие доминирующее влияние на глубину охлаждения технологического продукта, недоохлаждение которого до технико-экономически обоснованного значения [1] приводит к значительной потере прибыли предприятия.

За длительный период эксплуатации АВО на алюминиевой оребренной поверхности биметаллических ребристых труб (БРТ) пучков возникла местная коррозия, возросла шероховатость поверхности, появились надрывы вершин ребер, а межреберные полости оказались занесенными твердыми отложениями загрязнений из окружающей среды, не поддающимся очистке. Это привело к уменьшению коэффициента теплопередачи и увеличению потребления электрической энергии. Остальные элементы теплообменных секций (трубные решетки, крышки, камеры, диффузоры, жалюзи) удовлетворяют условию механической прочности и требуют лишь текущего контроля.

Очевидно, что трубные пучки, а именно БРТ, требуют замены. При этом возникает вопрос: какому типу БРТ [2] отдать предпочтение, поскольку именно БРТ определяют энергетическую эффективность эксплуатируемого АВО в целом и, в конечном счете, стоимость продукта технологической установки.

В АВО, требующих модернизации, пучки состоят из БРТ с накатанными спиральными алюминиевыми ребрами по технологии ВНИИмет-

маш. Однако за последние 20...25 лет разработана новая технология ЭНИКмаш [2] оребрения труб алюминиевой лентой для АВО. На ее базе получила развитие технология ЗАО «Октябрьскхиммаш» [3], которая освоена промышленностью. Для ее реализации имеется высокопроизводительное оборудование.

Отличительными свойствами технологии является приложение к плоскости алюминиевой ленты аксиального усилия и крутящего момента; закрепление спирального ребра на несущей трубе происходит путем обжатия горизонтальной полки ленты L-образного поперечного сечения при ее движении через щель, образованную поверхностью трубы и неподвижным телом формообразующего инструмента. Таким образом, горизонтальная полка L-ленты подвергается процессу, подобному волочению через полуворачивающуюся щель с необходимым обжатием, что обеспечивает надежное механическое соединение после ее закатывания зубчатым роликом в продольные рельефы «бороздка-выступ» на наружной поверхности несущей трубы.

Итоговым результатом технологии является новый конструктивный тип – БРТ со спирально-навивными алюминиевыми KLM-ребрами. Применение процесса волочения по технологии ЗАО «Октябрьскхиммаш» при изготовлении спирально-навивных L- и KLM-ребер по сравнению с традиционным процессом поперечно-винтового холодного выдавливания спиральных ребер по технологии ВНИИметмаш [2] из толстостенной трубной заготовки позволило снизить затраты электроэнергии в 2,5–3 раза, уменьшить расход алюминия на оребрение в 1,5–2 раза [3], исключить из процесса смазочно-охлаждающую жидкость (потенциальный источник загрязнения окружающей среды).

Производительность оборудования для оребрения труб алюминиевой лентой и способом поперечно-

винтовой накатки одинакова (5...7 м/мин). По оценкам специалистов, доля энергозатрат в себестоимости продукции в России достигает 30–40%, что значительно выше, чем этот показатель в западно-европейских странах. Очевидно, что снижение таких издержек и применение энерго- и ресурсосберегающих технологий позволит повысить конкурентоспособность бизнеса.

Изложенное позволяет однозначно ответить на поставленный вопрос: рекомендовать к широкому применению при модернизации АВО новых БРТ с KLM-ребрами. Они удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к любой теплообменной трубе: технологичность и освоенность в крупносерийном производстве, ресурсосбережение, экологичность, низкая стоимость, высокая энергоэффективность [4], которая в 1,1–1,46 раза превышает этот показатель для БРТ с накатанными алюминиевыми ребрами, применяемыми в АВО первого и второго поколений.

Разработанные нами и приводимые далее конструкции БРТ с интенсифицированным теплообменом базируются на промышленной технологии ЗАО «Октябрьскхиммаш», дополняя ее отдельными технологическими операциями без нарушения единого высокопроизводительного процесса изготовления, при этом достижение повышенной энергетической эффективности труб является приоритетным направлением.

Трубы в пучках АВО первого и второго поколения расположены в вершинах равностороннего треугольника с шагом $S_1 = S_2' = 58$ мм, где S_1 и S_2' – соответственно поперечный и диагональный шаги. Пучки собраны из БРТ с накатными спиральными алюминиевыми ребрами наружным диаметром $d = 56$ мм, коэффициент оребрения которых $\phi = 15,2$. Зазор между вершинами соседних труб в поперечном ряду $n = S_1 - d = 2$ мм.

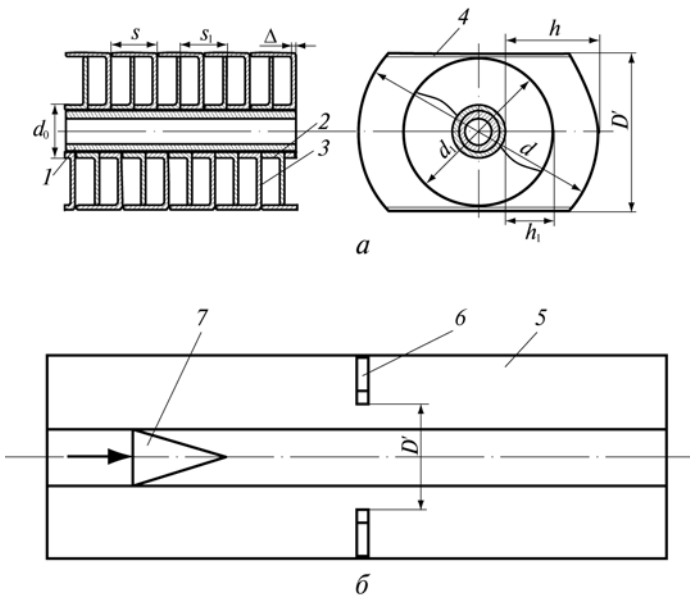


Рис. 1. Биметаллическая труба (а) с подогнутыми KLM-ребрами и устройство (б) для подгибки ребер (вид сверху)

Одним из наиболее просто реализуемых в производстве способов увеличения аппаратной тепловой мощности АВО, повышения энергетической эффективности и снижения материалоемкости является применение в пучках труб с максимально достигнутым коэффициентом оребрения $\varphi \approx 21,5...22$ [4, 5]. Это значение φ обеспечивается при изготовлении серийных БРТ со спирально-навитыми алюминиевыми KLM-ребрами с $d = 57$ мм и шагом ребер $s = 2,5...2,3$ мм. Однако их непосредственное применение в модернизируемых пучках невозможно по причине уменьшения зазора $n = S_1 - d$ до 1 мм. Тогда при прогибе труб происходит защемление вершин ребер, выпучивание труб, возрастает загрязненность, снижается эксплуатационная надежность, тепловая мощность.

Нами разработана новая энерго- и ресурсосберегающая БРТ с $\varphi = 18,2$ [6], которая не имеет ограничений для применения в АВО (рис. 1, а). Теплообменная труба состоит из несущей стальной трубы 1 со спирально-навитыми на нее разновысокими 2 и 3 алюминиевыми KLM-ребрами с диаметром по основанию d_0 . Высокие однозаходные ребра 2 имеют в плане вид круговых дисков, сегменты которых отогнуты с противоположных сторон трубы 1 по линии хорды 4. Линия хорды находится от трубы

на расстоянии, равном половине наружного диаметра d_1 низкого ребра. Расстояние между наружными поверхностями подогнутых ребер $D = d_1 + 2\Delta$, где Δ – толщина высокого ребра. Низкие ребра 3 также однозаходные, расположены в периодически чередующемся порядке с высокими ребрами 2. Применение низких ребер наряду с высокими подогнутыми приводит к снижению материалоемкости поверхности оребрения труб до 22%. Подогнутые ребра турбулизируют поток воздуха с уменьшением градиента скорости его по высоте межреберного канала, что в сочетании с увеличенным коэффициентом эффективности низких ребер по сравнению с высокими интенсифицирует теплоотдачу на 20–30% по сравнению с теплоотдачей разновысоких ребер.

Труба с разновысокими прямыми KLM-ребрами, изготовленная по технологии «Октябрьскиммаш», поступает в устройство (рис. 1, б) для подгибки высоких ребер, которое скомпоновано в единую технологическую цепь с оборудованием по оребрению и синхронизировано по производительности с ним. Устройство состоит из неподвижного основания 5 и расположенных на расстоянии D между внутренними поверхностями стальных уголков 6 и механического толкателя 7, проталкивающего оребрен-

ную трубу между уголками в направлении, показанном стрелкой. Высокая пластичность (мягкость) алюминия и небольшая толщина ребра $\Delta \approx 0,3...0,35$ мм обеспечивают надежную и качественную подгибку высоких ребер.

Для теплообменных секций модернизируемых АВО рекомендуется назначать параметры высоких ребер $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 57 \times 25,8 \times 15,6 \times 5,0 \times 0,35$ мм, а параметры низких ребер $d_1 \times d_0 \times h_1 \times s_1 \times \Delta = 47 \times 25,8 \times 10,6 \times 5,0 \times 0,35$ мм. Коэффициент оребрения трубы $\varphi = 18,15$. Применение этой трубы увеличивает площадь теплообмена пучка в $18,5/15,2 = 1,2$ раза, а с учетом даже наименьшего значения интенсификации теплоотдачи подогнутыми ребрами теплосъем возрастает в $1,2 \times 1,2 = 1,44$ раза, что потенциально эквивалентно использованию трубы с равновысокими KLM-ребрами с $\varphi = 22$.

В конструкции БРТ [8] на рис. 2 для интенсификации теплоотдачи по воздушной стороне применен вихревой способ, отличительной особенностью которого при оптимальных параметрах интенсификаторов является опережающий прирост теплоотдачи по сравнению с ростом аэродинамического сопротивления, что исключительно выгодно энергетически. В качестве интенсификаторов целесообразно применять сферические лунки (углубления) на боковой поверхности ребра.

Теплообменная труба (см. рис. 2) содержит несущую металлическую трубу 1 круглого поперечного сечения и спирально навитые на ней алюминиевые KLM-ребра 2 одинаковой высоты. На кольцевом участке шириной m с одной боковой поверхности каждого ребра расположены сферические лунки 3 диаметром d_c .

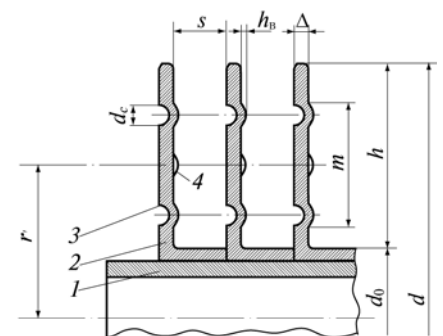


Рис. 2. БРТ со сферическими лунками на боковой поверхности ребер

Лунки могут располагаться как по вершинам равностороннего треугольника, так и по концентрическим окружностям шагом S_c . Плотность лунок на каждом ребре $g = 55-65\%$. При такой плотности пограничный слой воздуха испытывает непрерывное воздействие вихрей, генерируемых лунками, что в наибольшей мере повышает энергетическую эффективность трубы. Глубина лунок выбирается такой, чтобы под каждой из них на противоположной боковой поверхности этого ребра появились плавно очерченные выступы 4 высотой h_b , большей, чем толщина δ_{II} пограничного слоя воздуха на кольцевом участке поверхности ребра (т.е. $h_b > \delta_{II}$). Для разрушающего воздействия на пограничный слой выступы не должны в нем «тонуть».

Энергетическая эффективность трубы по стороне оребрения увеличивается в 1,8–2,1 раза по сравнению с эффективностью гладкоповерхностных KLM-ребер при одинаковой затрате мощности привода вентилятора. Наличие лунок также повышает эксплуатационную надежность трубы. Образовавшиеся вихри препятствуют осаждению загрязнений, выталкивая их в ядро межреберного потока, далее они выносятся воздухом наружу из трубного пучка.

Для сохранения сферической формы лунок на спиральном ребре необходимо располагать их на нейтральной линии и в окрестности ее на одинаковом расстоянии по одну и другую сторону (пояс шириной m). Радиус нейтральной линии (слоя) ребра $r' = (r r_0)^{0,5}$, где $r = 0,5d$ – наружный радиус ребра; $r_0 = 0,5d_0$ – радиус ребра по его основанию.

Для АВО с трубами третьего поколения $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 57 \times 26 \times 15,5 \times 2,5 \times 0,3$ мм, $\varphi = 20,9$. Можно рекомендовать для KLM-ребер $d_c = 3$ мм, $m = 8$ мм, $r' = 19,25$ мм, общее число лунок на ребре – 80, $h_b \approx 0,3...0,6$ мм. Лунки наносятся по трем окружностям с радиусами $r_1 = 21,75$ мм, $r_2 = r' = 19,25$ мм, $r_3 = 16,75$ мм.

Промышленное изготовление таких труб возможно исключительно по технологии ЗАО «Октябрьскхиммаш» (рис. 3), оснащенной дополнительно новыми узлами [9]. Технологическая схема предназначена для формирования двухзаходного оребрения и состоит из разматывающего устройства (бобины) 1, на которое уложен рулон

алюминиевой ленты 3 толщиной $\Delta = 0,4$ мм прямоугольного поперечного сечения, направляющего ролика 2, механизма 4 для профилирования ленты 3 в ленту L-образного поперечного сечения 5, лункообразующего устройства 6, состоящего из двух роликов, рабочая поверхность одного из которых (матрица) 7 имеет лунки, а другого (пуансон) 8 – выступы. Ролики соединены между собой посредством шестерен 9.

Два ролика, обжимая ленту, образуют на одной ее боковой поверхности лунку (выемку). На противоположной боковой поверхности под лунками возникают выпуклости высотой h_b . После лункообразующих роликов L-образная лента с лунками поступает в навивочный инструмент, состоящий из неподвижной 11 и вращающейся 12 частей, которые имеют центральное отверстие для прохода несущей трубы 14 с гладкой наружной поверхностью, которая взаимодей-

ствует с приводными роликами 13, развернутыми на угол, соответствующий осевой подаче трубы. Рабочая часть роликов 13 выполнена рифленной, посредством чего на наружной поверхности несущей трубы формируется искусственная шероховатость в форме «бороздка-выступ» 15. На торце вращающегося инструмента 12 расположены рифления 16 тоже в виде выступов-впадин, которые внедряются в ленту и при круговом вращении закручивают ее в рабочем канале в непрерывную спираль 17 с последующим обжатием (закаткой) ее горизонтальной полки в шероховатость на несущей трубе. В итоге получаем БРТ с интенсивными двухзаходными KLM-ребрами в соответствии с рис. 2.

Скорость вращения шестерен 9 синхронна скорости вращения несущей трубы. Ролики 7, 8 находятся в единой технологической линии с остальными узлами. Благодаря этому дополнение технологическо-

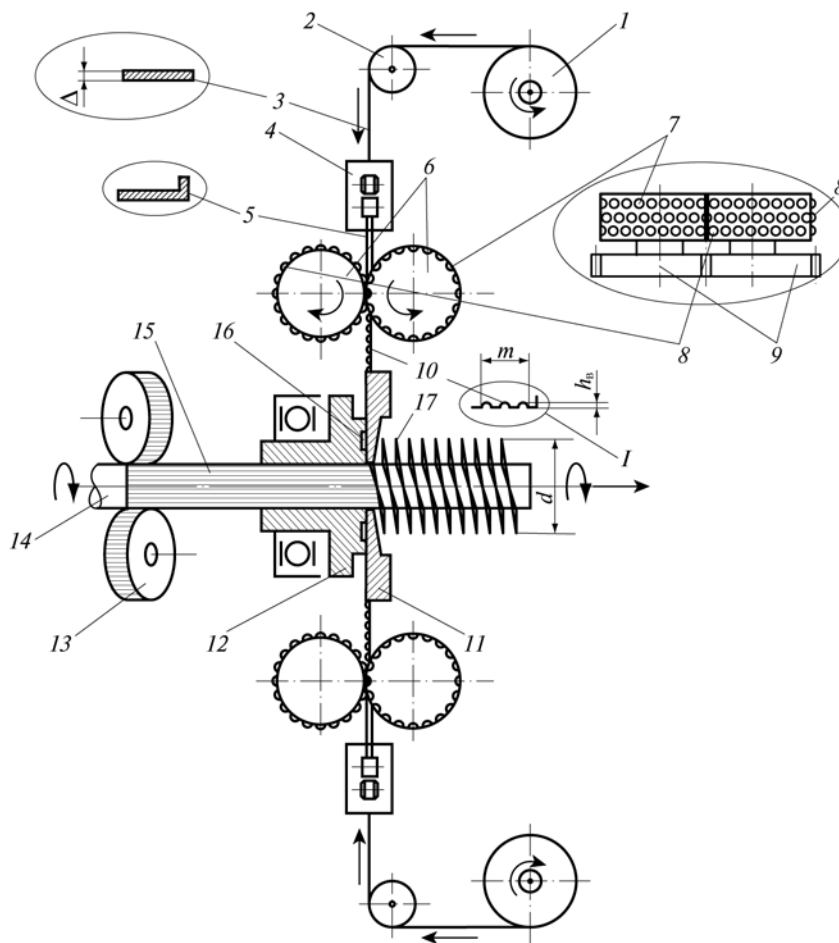


Рис. 3. Технологическая схема изготовления БРТ с «облуненными» ребрами

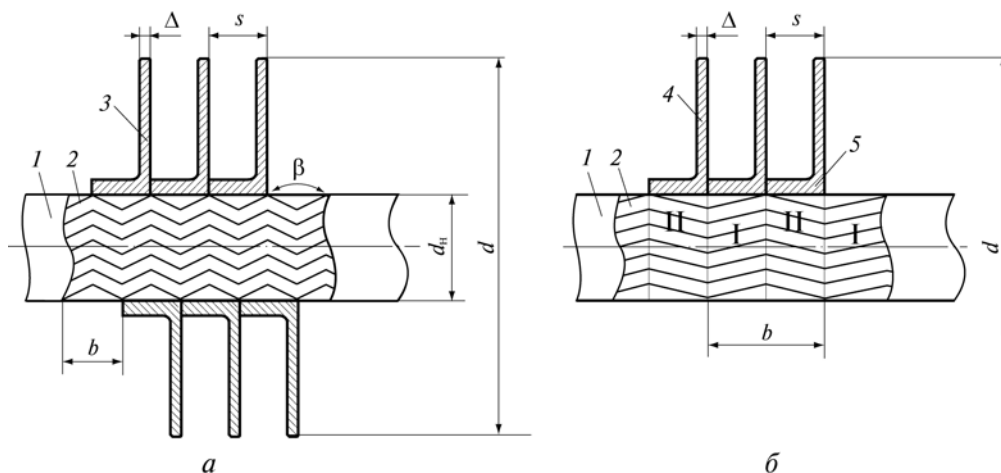


Рис. 4. БРТ со спирально-навивными алюминиевыми однозаходными (а) и двухзаходными (б) KLM-ребрами

го процесса лункообразующим устройством не снижает скорости процесса изготовления трубы с интенсивными ребрами по сравнению с изготовлением трубы с гладкими спирально-навивными KLM-ребрами. При необходимости ролики легко демонтируются или могут быть раздвинуты на некоторое расстояние, достаточное для свободного движения ленты между ними без соприкосновения. В таком случае будет изготавливаться труба с традиционными гладкими (без элементов турбулизации потока на боковой поверхности) спирально-навивными KLM- или L-ребрами.

Основным теплотехническим недостатком БРТ является возникновение контактного термического сопротивления (КТС) при передаче теплового потока, которое отсутствует в монометаллических ребристых трубах. Значение КТС зависит от большого ряда физико-механических свойств контактирующих поверхностей, но при одинаковых условиях доминирующее влияние оказывают контактное давление p_k и площадь F_k контактирующих поверхностей. В процессе изготовления БРТ давление p_k зависит исключительно от выбранного способа оребрения, при этом ориентируются на достижение максимального значения, что практически лишает возможности воздействовать этим параметром на КТС. В то же время площадь F_k является параметром, значение которого поддается относительно доступному управлению (изменению).

Этот принцип заложен в новой

конструкции БРТ [9] (рис. 4) со спирально-навивными алюминиевыми однозаходными 3 и двухзаходными 4 KLM-ребрами. Теплообменная труба состоит из металлической несущей трубы 1 наружным диаметром d_n с накатанными на ее наружной поверхности рифлениями 2 шевронного типа с углом β при вершине и спирально-навитого под натяжением KLM-ребра наружным диаметром d с шагом s . Горизонтальная полка 5 ребра механически плотно соединена с рифлениями шевронного типа, поперечное сечение которых представляет «впадину-выступ» (бороздки) глубиной и шириной 0,2...0,3 мм и шагом 1...2 мм.

При однозаходном оребрении (см. рис. 4, а) горизонтальная полка ребра 3 должна занимать всю ширину b шевронного рифления, которая назначается равной шагу s . Предотвращается осевое перемещение ребра вследствие устранения результирующего осевого усилия из-за встречного направления сил с левой и правой сторон шевронного рифления, воздействующих на полку. Ликвидируется первопричина появления микрозазоров в контактной зоне, повышается тепловая эксплуатационная надежность, возрастает устойчивость к атмосферной коррозии, расширяется температурный диапазон применимости до 270...275°C по температуре стенки, значение КТС уменьшается в 1,14–1,42 раза. Угол β назначается равным 100...160°, что обеспечивает увеличение F_k до 21%.

При двухзаходном оребрении (см. рис. 4, б) полка 5 ребра рас-

полагается на половине ширины b шевронного рифления, а ширина b назначается равной $2s$. По существу, одна из сторон, например левая, шевронного рифления предназначена для полки 5 первого захода, обозначенного I, а правая сторона – для полки 4 ребра второго захода, обозначенного II. Сохраняются все преимущества однозаходного оребрения, но возникает дополнительное преимущество – рост производительности технологического процесса в 1,8–2 раза.

Процесс изготовления теплообменной БРТ с двухзаходными ребрами [9, 10], базирующийся на технологии ЗАО «Октябрьскиммаш»,

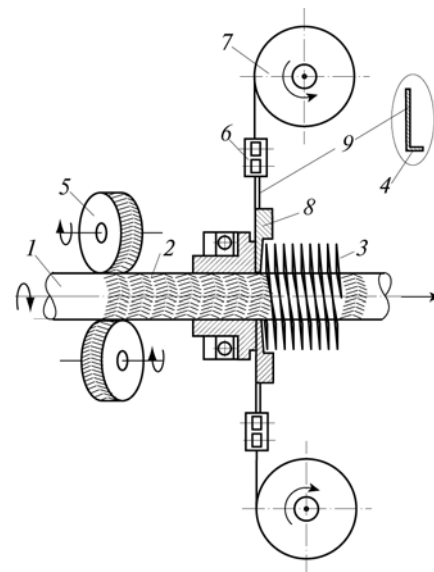


Рис. 5. Процесс изготовления БРТ с шевронным рифлением и двухзаходными ребрами

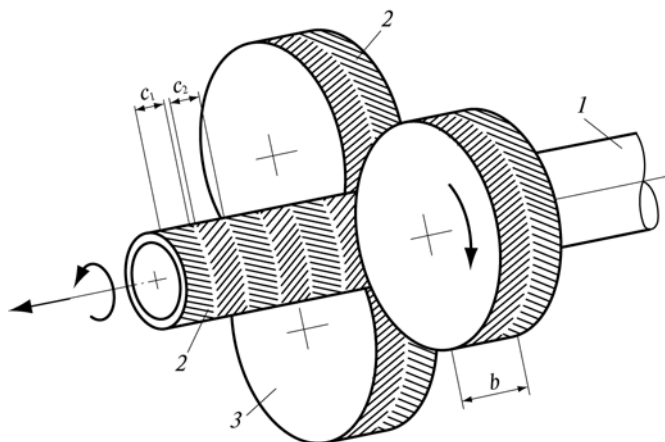


Рис. 6. Узел накатки шевронных рифлений

осуществляется следующим образом (рис. 5). Исходные несущие трубы 1 укладываются на стеллаж подачи, не изображенный на рисунке. Одновременно с этим на разматывающих устройствах 7 укладываются рулоны ленты-заготовки толщиной 0,4 мм, концы которой профилируются устройством 6 в L-образное поперечное сечение 9. С пульта управления подается команда на подачу трубы 1 в устройство для калибровки наружного диаметра в единый размер d_n . Затем откалиброванная труба, вращаясь, перемещается в узел накатки, в котором посредством накатных роликов 5 на наружной поверхности стенки несущей трубы формируются шевронные рифления 2. После этого труба поступает в механизм навивки 8, в котором осуществляется непрерывная спиральная навивка ленты L-профиля с одновременным закатыванием горизонтальной полки 4 в шевронные рифления. После выхода из навивочного механизма 8 с полностью сформированными KLM-ребрами 3 БРТ поступает в механизм резки (на рис. 5 не показан) в линейный размер, так как в процессе калибровки и накатки рифлений она удлиняется, далее она подается на приемный стеллаж. Все механизмы и узлы работают в автоматическом режиме. Производительность по оребрению достигает 5 м/мин.

Узел накатки (рис. 6) шевронных рифлений 2 состоит из трех приводных накатных роликов 3, равномерно через 120° установленных вокруг несущей трубы 1, на которой накатываются рифления. На участках c_1

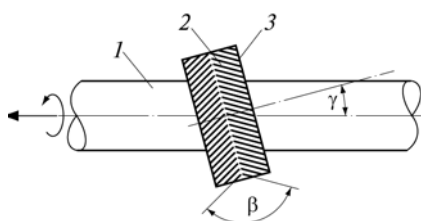


Рис. 7. Схема перемещения несущей трубы при накатке рифления

и c_2 с разным наклоном рифлений (левая и правая сторона) навиваются спирали L-образного сечения I и II заходов. Для создания кругового и продольного перемещения трубы 1 оси накатных роликов 3 повернуты относительно продольной оси трубы на угол γ (рис. 7). Горизонтальной стрелкой показано направление продольного перемещения несущей трубы 1. Угол γ , равный углу подъема

винтовой линии, образованный вершиной шевронных рифлений 2, рассчитывается как $\text{arctg } \gamma = s/(\pi d_{cp})$, где s – шаг ребер; $d_{cp} = 0,5(d_1 + d_2)$ – средний диаметр рифлений; d_1 и d_2 – соответственно диаметр по вершинам и впадинам рифлений.

В конструкции БРТ (рис. 8, а) получил дальнейшее развитие принцип увеличения F_k для снижения КТС. Здесь шевронные рельефы контактной зоны предыдущей БРТ преобразованы в сеть четырехугольных пирамид, примыкающих своими основаниями друг к другу. Угол γ при вершине каждой грани четырехугольной пирамиды выбран из интервала 60...90°; из того же интервала выбран и угол β взаимного пересечения рядов остроконечных пирамид.

БРТ состоит из металлической несущей трубы 1 диаметром d_n с нанесенным на ее наружную поверхность механическим способом, подобным описанному на рис. 6, рельефом 2 в виде остроконечных четырехугольных пирамид и спирально-навитым под натяжением L-образным ребром 3 с шагом s . Горизонтальная полка 4 ребра механически соединена с рельефом 2.

Изображение рельефа представлено в аксонометрии на рис. 8, б. Шаг рядов пирамид s_p целесообразно выбирать равным 0,8...1 мм. После механического соединения полки 4 получается KLM-ребро. Применение рельефов в виде пирамид позволяет увеличить площадь F_k в 1,8 раза по сравнению с шевронными рельефами. Значение КТС уменьшается до 1,45 раза, интенсифи-

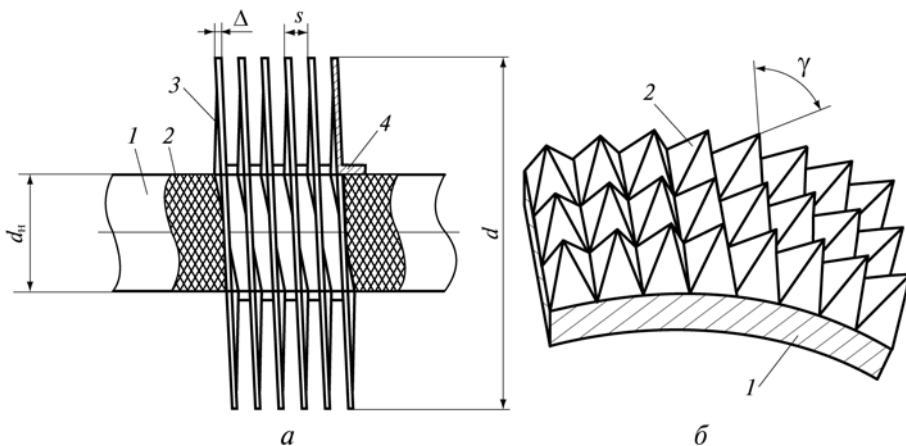


Рис. 8. БРТ с сетью четырехугольных пирамид на поверхности несущей трубы: а – конструкция; б – рельеф

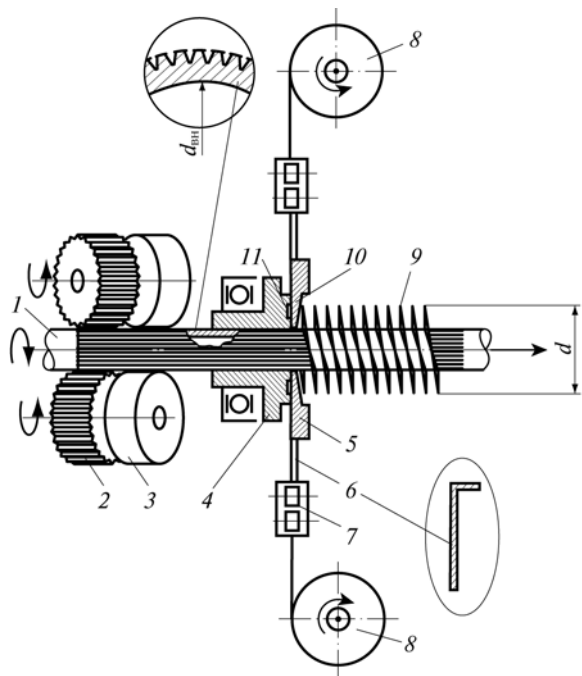


Рис. 9. Процесс изготовления БРТ с рифлением грибовидной формы

фикация теплопередачи достигает 6%, но самое важное – это увеличение предельной температуры стенки в контактной зоне до 300°C, при которой сохраняется исходное значение теплового потока, равное таковому для БРТ с накатанными по технологии ВНИИметмаш спиральными алюминиевыми ребрами.

Для повышения эксплуатационной тепловой надежности и обеспечения стабильности процесса теплопередачи при многоцикловом режиме эксплуатации пуск-останов АВО разработан новый способ [12] изготовления БРТ с KLM-ребрами, применяемых в высокотемпературных технологических установках.

Он реализуется в соответствии со схемой на рис. 9 посредством здесь же изображенного устройства. Исходная несущая труба 1 подается в три накатных ролика 2, равномерно расположенных вокруг трубы (для 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. Число гладких роликов 3 соответствует числу накатных. Посредством приводных накатных роликов несущая труба 1 вращается и перемещается с заданным шагом,

при этом на наружной поверхности трубы под действием роликов 2 накатываются рифления требуемой формы. Гладкие ролики 3 обжимают вершины полученных рифлений до образования грибовидной формы. Далее несущая труба с таким рифлением поступает в зону навивочного инструмента, приводится во вращение шпиндель 4, который внедряется в плоскость ленты 6 своими захватывающими выступами 11, расположенными на его торцовой поверхности, и осуществляет закручивание ее.

Между несущей трубой 1 и внутренней торцовой поверхностью 10 формообразующего фланца 5 предусмотрен зазор, который меньше исходной толщины Δ_1 горизонтальной полки L-образной ленты 6, раскручиваемой с бобин 8. Толщина полки после обжатия $\Delta_2 = (0,2...0,5)\Delta_1$. Торцовая поверхность 10 имеет толщину, равную ширине горизонтальной полки L-ребра 6.

При вращении труба 1 с рифленной поверхностью обжимает горизонтальную полку L-образной ленты 6 в этом зазоре таким образом, что материал ленты (высокопластичные сплавы алюминия и меди) заполняет пространство (карманы), образованные между соседними бороздками. Поскольку рифления имеют грибовидную форму, полка L-ленты надежно фиксируется в них

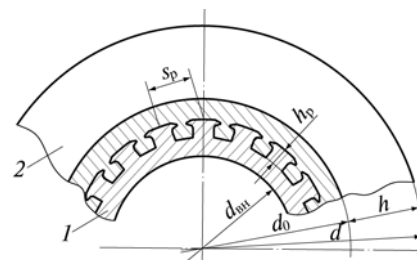


Рис. 10. Фрагмент поперечного сечения рифления грибовидной формы

как в осевом, так и в радиальном направлениях. В результате образуется прочно-плотный механический контакт и, как следствие, надежный термический контакт KLM-ребра с трубой.

Итогом реализации изложенного способа является теплообменная труба с KLM-ребрами. Фрагмент поперечного сечения трубы приведен на рис. 10, на котором изображены продольные рифления 1 треугольного поперечного сечения на поверхности несущей трубы с обжатыми вершинами до грибовидной формы (рис. 11, а) и KLM-ребро 2, материал полки которого полностью заполнил карманы между рифлениями. Конструкция данной БРТ интенсифицирует на 15–20% контактный теплообмен вследствие устранения в карманах рифлений воздушных мешков и может надежно эксплуатироваться при температуре охлаждаемой среды до 320°C на входе в нее.

На рис. 11, б изображен фрагмент несущей трубы внутреннего диаметра $d_{вн}$ с рифлениями в виде четырехугольных пирамид 1, вершины которых обжаты по изложенной технологии до грибовидной формы. На рис. 11, в дан поперечный разрез несущей трубы с продольными рифлениями до их механического обжатия. Указаны в миллиметрах значения геометрических параметров рифлений по нашим опытам наиболее предпочтительны как для реализации в серийном производстве БРТ, так и по теплоэнергетическим требованиям. Эти же рифления после процесса их обжатия приведены на рис. 11, г. Оптимальными параметрами обжатых рифлений являются $s_k = (0,8...1,2)\Delta_1$; $s_p = 1...1,2$ мм; $h_p = (0,2...0,3)s_p$.

Таким образом, расширенное внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий и новых БРТ

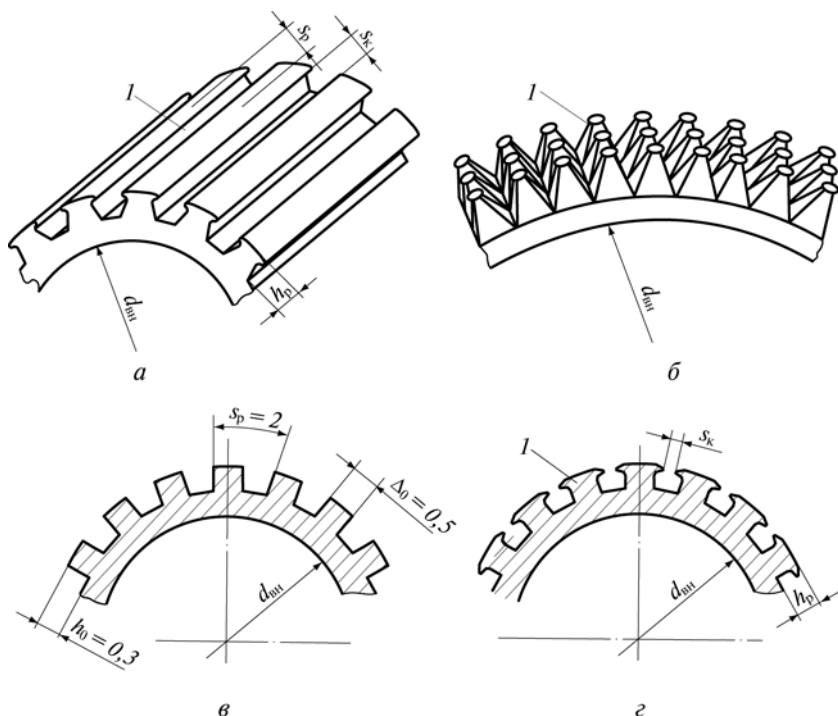


Рис. 11. Геометрические параметры рифления несущей трубы

с интенсифицированным теплообменом, характеризующихся высокой технологичностью при промышленном изготовлении, позволит получить ряд новых преимуществ теплообменной аппаратуры:

- в одинаковых габаритных размерах стандартизированных теплообменных секций АВО интенсифицировать процесс теплопередачи, снизить в 1,5–2 раза массу секции, увеличить тепловой поток аппара-

та при неизменных затратах мощности привода вентилятора;

- увеличить эксплуатационную надежность в области высоких температур (до 320°C) и обеспечить стабильную тепловую характеристику АВО при многоцикловых условиях работы;
- уменьшить загрязненность трубного пучка по воздушной стороне и увеличить длительность межремонтных периодов.

Список литературы

1. Керн Д., Краус А. Развитие поверхности теплообмена. М.: Энергия, 1977.
2. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения. Справочник. СПб.: Недра, 1996.
3. 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.
4. Кунтыш В.Б., Пиир А.Э. Анализ тепловой эффективности, объемной и массовой характеристик теплообменных секций аппаратов воздушного охлаждения//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. №5.
5. Кунтыш В.Б., Бессонный А.Н., Брилли А.А. Основные способы энергетического совершенствования аппаратов воздушного охлаждения//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1997. №4.
6. Патент РФ 2213920, МПК F 28 D 3/02. Теплообменная секция.
7. Патент РБ 8250, МПК F 28 F 1/00. Теплообменная труба.
8. Заявка на выдачу патента РБ №20120381 от 5.04.2012 г., МПК В 21 D 11/06. Устройство для изготовления теплообменной трубы со спирально-навивными ребрами.
9. Патент РБ 4814 РБ, МПК F 28 F 1/00, F 25 D 7/00. Теплообменная ребристая труба.
10. Патент РФ 2450880 С1, МПК В 21 D 53/02, В 21 Н 3/00. Способ производства теплообменной биметаллической ребристой трубы.
11. Патент РБ 14907 РБ, МПК F 28 F 1/00, F 25 D 7/00. Теплообменная биметаллическая ребристая труба.
12. Патент РБ 16177 РБ, МПК В 21 С 37/15, F 28 F 1/00. Способ и устройство для изготовления теплообменной трубы с KLM-ребрами.



Уважаемые читатели!

Подписаться на журнал «Химическая техника» на 2013 год можно по каталогам Агентства «Роспечать» (индекс 80830), АПР (индекс 42961), «Урал-пресс» (<http://www.ural-press.ru>); а также в редакции – печатная версия; в электронном формате – в редакции.
 Тел.: +7(495)223-66-35;
 факс: +7(495)962-96-28;
 e-mail: kozlova@chemtech.ru
info@chemtech.ru

