

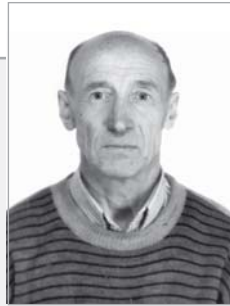
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И ОСНАСТКА ДЛЯ УДАРНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ

Н.Н. Хованов, В.М. Ефимов, В.С. Попов, С.А. Петриков



**ХОВАНОВ
Николай
Николаевич**

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»



**Ефимов
Виктор
Мизайлович**

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией обработки металлов давлением ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»



**Попов
Владимир
Сергеевич**

Кандидат технических наук, ученый секретарь, ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»



**ПЕТРИКОВ
Сергей
Анатольевич**

Генеральный директор ОАО «Дорогобужкотломаш»

Главными направлениями развития научно-технического прогресса в теплотехнической отрасли машиностроения является увеличение единичной мощности и эффективности теплообогревающих установок путем интенсификации теплообмена в активных зонах, т.е. в трубных пучках.

Выбор метода интенсификации теплоотдачи в каналах и трубах теплоэнергетических установок в каждом случае индивидуален и определяется назначением и конструкцией теплообменного аппарата; допустимыми гидравлическими потерями и энергетическими затратами на прокачку теплоносителей; обеспечением минимума отложений на поверхностях нагрева; технологичностью и дешевизной изготовления теплообменной поверхности. Только суммарный анализ результатов по интенсификации теплопередачи при заданных уровнях начальных и конечных температур рабочих сред, учету площадей поверхности теплообмена, уровню энергозатрат даст рациональное основание их оценки.

Газовый или водяной теплоноситель имеет тенденцию образовывать на трубных поверхностях теплообмена устойчивый тепловой пограничный слой, плотно примыкающий к поверхности разделительной стенки. Ламинарные потоки пограничного слоя определяют перенос теплоты между теплоносителем и разделительной стенкой. За пределами теплового пограничного слоя, т.е. в ядре теплового потока, переноса теплоты не происходит, поэтому для интенсификации теплообмена необходимо создавать в ламинарном потоке пограничного слоя турбулентные вихревые потоки, приводящие к обрыву его сплошности, уменьшению его толщины и вводу в него новых порций теплоносителя. Основные положения теории о физических механизмах интенсификации теплообмена в трубопроводных каналах различной геометрии являются темой научных разработок в России и за рубежом. Необходимо отметить, что в этих работах учитываются далеко не все особенности процессов, протекающих при теплообмене, что позволяет широко при-

менять на практике энергоэффективные поверхности в трубопроводных каналах теплоснабжающих установок из-за отсутствия комплекса научнообоснованных решений, в которые должны включать создание, расчет и конструирование теплообменных поверхностей; разработку оптимальных технологических процессов их изготовления, обеспечивающих эксплуатационные свойства теплопередающей поверхности; снижение экологической нагрузки на окружающую среду. Влиять на интенсивность теплоотдачи можно, во-первых, увеличивая скорость движения рабочих сред, во-вторых, увеличивая площадь теплообмена и изменяя форму поверхности разделительной стенки.

Интенсификация теплообмена посредством увеличения скорости движения теплоносителя в трубопроводном канале, приводит к росту гидравлических сопротивлений и, следовательно, к увеличению затрат энергии на привод насосов, что экономически невыгодно.

Второй путь – интенсификация теплообмена в трубах с помощью формирования выступов кольцевой и винтовой накаткой [1–3] и оребрением наружной поверхности трубы [4, 5] более предпочтителен.

В статье рассмотрена возможность интенсификации теплообмена за счет изменения формы поверхности разделительной стенки трубопроводного канала путем формирования на теплообменных поверхностях труб дискретных неровностей типа каверн и «выпучек» различной формы, плотности, осевого или винтообразного расположения.

В промышленных теплоэнергетических системах используются теплообменные трубы диаметром от 10 мм до 60 мм с толщинами стенок от 0,2 мм до 3,5 мм, изготавливаемые из нержавеющей сталей типа 12Х18Н10Т, латуни (Л68, ЛО70-1), мельхиора (МНЖМц 30-0,8-1,0) и из углеродистых сталей.

Эффективность разрушения ламинарного пограничного слоя и создание условий для турбулизации потоков теплоносителей в теплообменных аппаратах при использовании в качестве возмущающего фактора каверн различной

геометрической формы, расположенных на поверхности трубы, и эквидистантных им «выпучек» на внутренних поверхностях труб, существенно зависит от количества и расположения каверн и «выпучек» на единице длины трубы, скорости потока теплоносителя, геометрической формы каверны и «выпучки», глубины профиля каверны и высоты эквидистантной ей «выпучки» на внутренней поверхности трубы.

Формирование на теплообменных поверхностях труб с толщиной стенки менее 1 мм каверн и «выпучек» различной формы, плотности, осевого или винтообразного расположения может осуществляться с помощью приспособления, общий вид которого приведен на рис. 1.

Обработка труб производится на токарном

полости которой через подшипник 2 размещена неподвижная внутренняя обойма 3, в круговом и осевом направлениях формирующая каверны и «выпучки».

В наружной обойме размещены нажимные штифты 5, радиальное положение которых фиксируется гайками 6, а в обойме 3 расположены формообразующие бойки 7, удерживаемые в расточках с помощью резьбовых втулок 8. Бойки 7 при работе взаимодействуют с тарельчатыми пружинами 9.

В расточке обоймы 1 размещена бронзовая втулка 10, обеспечивающая центрирование трубы при ее продольном перемещении, а также радиальную жесткость при формировании каверн.

Работа разработанного устройства осуще-

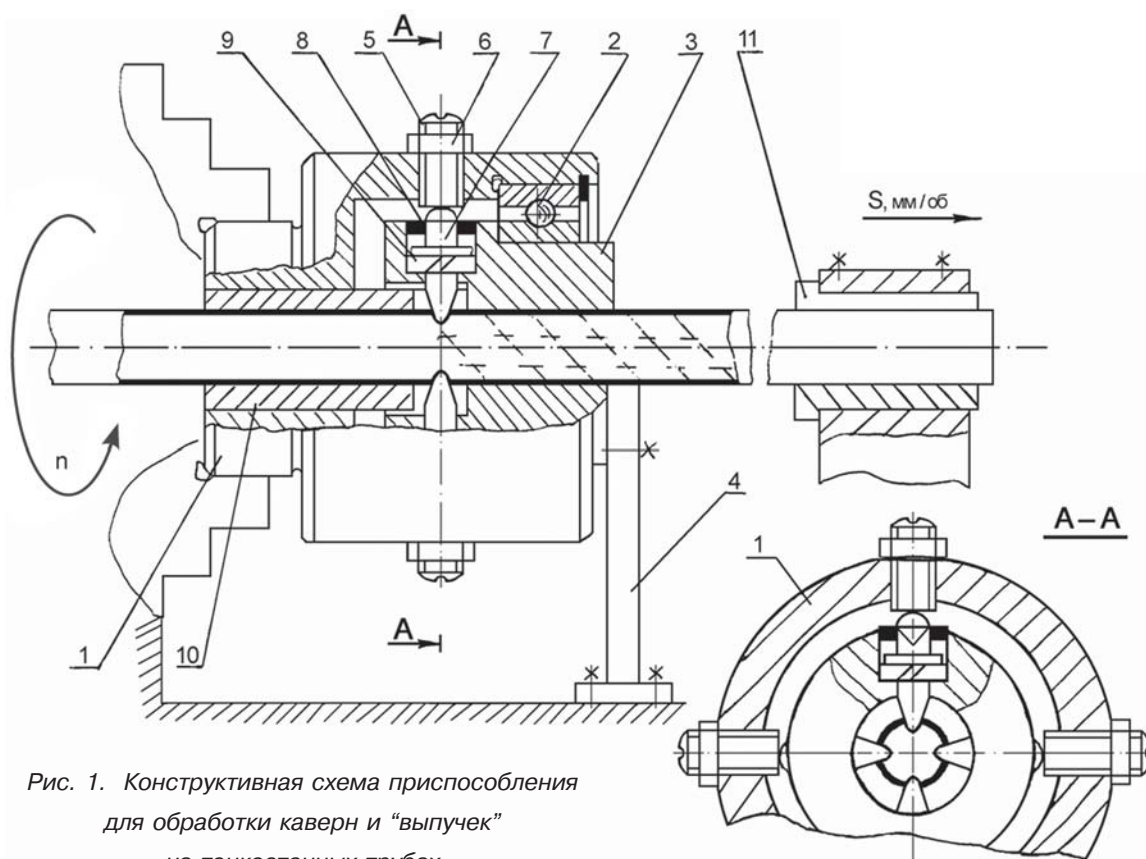


Рис. 1. Конструктивная схема приспособления для обработки каверн и «выпучек» на тонкостенных трубах

станке с удлиненной станиной при продольном перемещении трубы, пропущенной через приспособление и полый шпиндель передней бабки станка, при этом передний конец трубы закреплен в резцедержателе суппорта станка.

Приспособление (рис. 1) состоит из наружной обоймы 1, закрепленной в патроне станка, в

состоит следующим образом. Устройство крепится в патроне токарно-винторезного станка. С помощью стойки 4 внутренняя обойма фиксируется в осевом направлении. Пропущенная через полый шпиндель станка обрабатываемая труба своим передним концом посредством втулки 11 закрепляется в резцедержа-

теле станка. Шпинделю станка придают вращение с числом оборотов n , а трубе – продольную подачу $S_{тр}$ с учетом зависимости $S_{тр} = nt$, где t – шаг расположения лунок, мм.

При вращении обоймы 1 нажимной штифт 5 своей нижней частью набегают на сферическую поверхность формирующего бойка 7, сообщая ему радиальную подачу внедрения в трубу с формированием лунки заданной геометрической формы, соответствующей геометрической форме рабочей части бойка 7.

В зависимости от количества расположенных по окружности обоймы 2 формообразующих бойков 7 и нажимных штифтов 5 в обойме 1 число рядов каверн и «выпучек» на внешней и внутренней поверхностях трубы в сечении может быть 2, 3, 4, 5 и больше.

Ударно-деформационный способ формирования турбулизующих дискретных неровностей в виде каверн и «выпучек», осуществляемый с помощью описываемого устройства, обладает существенными преимуществами по сравнению с полустатически-обжимным способом.

При малой инерционности формообразующего бойка, большой кинетической энергии удара и высокой скорости деформации обеспечиваются условия, при которых минимизируются возможные деформации трубы в ее сечениях.

Основные зависимости кинематики про-

цесса при формировании каверн следующие:

$$S_{тр} = nt, T' = 1/60n, S' = tT''/T', \quad (1)$$

где $S_{тр}$ – продольная подача трубы; n – число оборотов обоймы, об/мин; t – шаг расположения лунок, мм; S' – осевое перемещение трубы за период контакта нажимного штифта с деформирующим бойком; T' – время одного оборота обоймы при заданном n , с; T'' – длительность контакта нажимного штифта с деформирующим бойком, с.

Время контакта формообразующего бойка с трубой в зависимости от скорости вращения наружной обоймы составляет 0,0001–0,006 с.

Время изготовления одной трехметровой теплообменной трубы $\varnothing 16 \times (0,2 \dots 1,0)$ мм с турбулизирющими кавернами и «выпучками» составляет не более 3 минут.

При экспериментальном исследовании процесса теплообмена обнаружено, что при переходе от гидродинамически стабилизированного к гидродинамически нестабилизированному течению теплоносителя в области каверн и «выпучек» теплоотдача от них повышается на 10–15 % в зависимости от толщины пограничного слоя перед каверной и выпучкой и числа Рейнольдса.

Для формирования каверн и «выпучек» на толстостенных трубных заготовках $\varnothing 60 \times 3$ мм создан штамп (рис. 2), позволяющий одновременно формировать 10 каверн и «выпучек» с

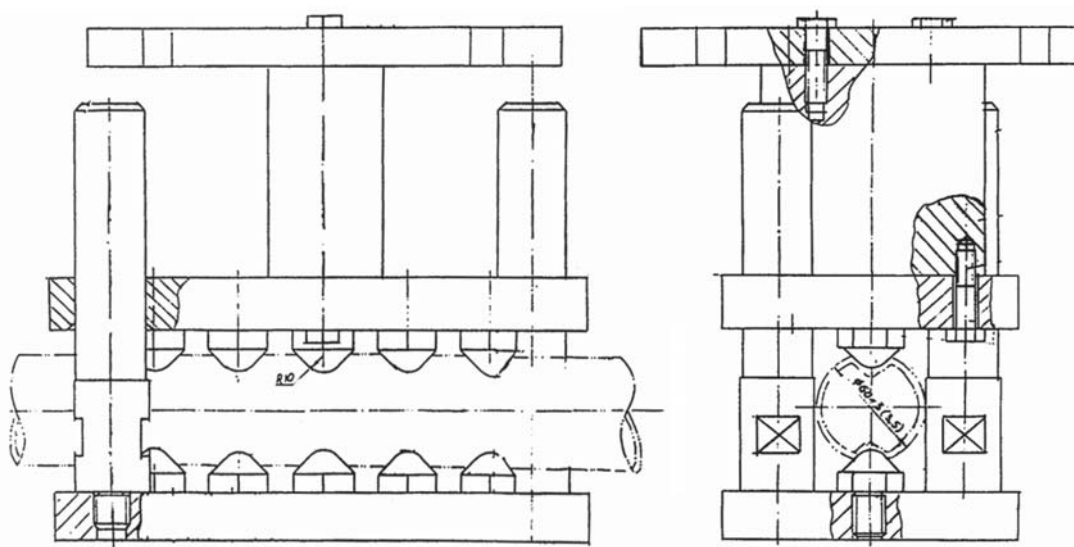


Рис. 2 Штамп для формирования толстостенных труб с энергоэффективными поверхностями теплообмена

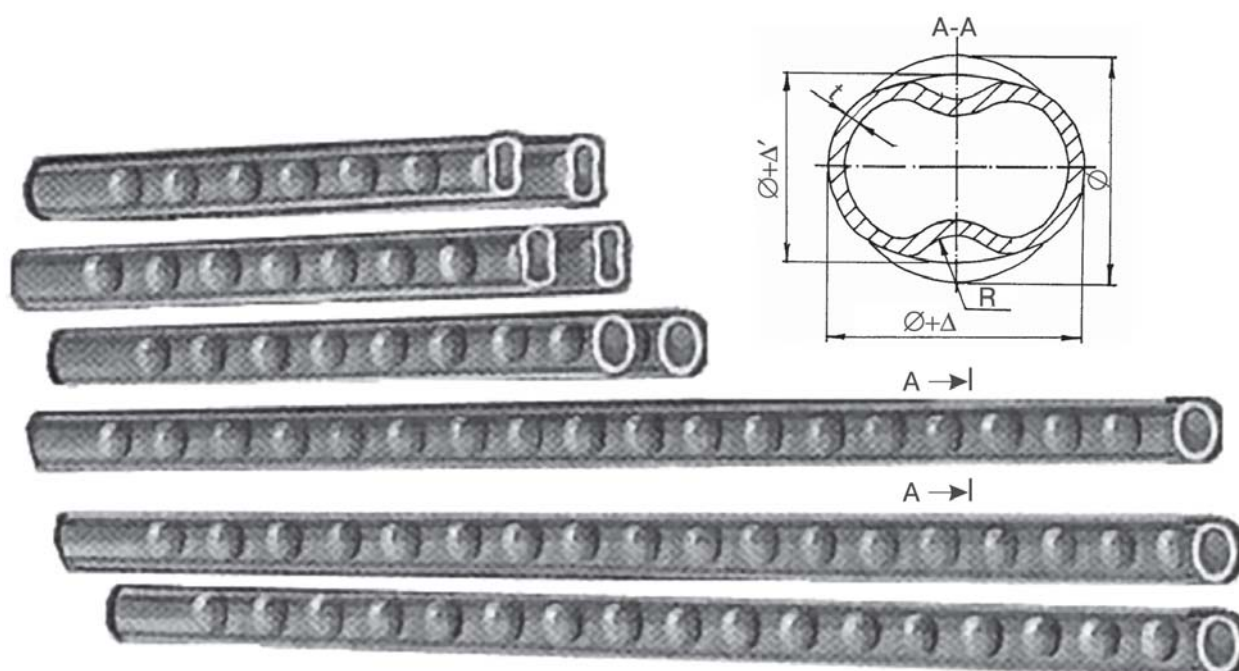


Рис. 3. Толстостенные трубы с кавернами и “выпучками” на теплообменных поверхностях

последующей перестановкой трубы и проведения следующей операции по выдавливанию. В конструкции штампа предусмотрено варьирование геометрических размеров каверны, их количество и расположение, а также глубины вдавливания.

Исследование технологического процесса вдавливания каверн и изготовление опытно-промышленной партии труб $\varnothing 60 \times 3$ мм (рис. 3) производились на гидравлическом прессе вертикального исполнения П474А усилием 1000 кН (наибольший ход ползуна – 550 мм; рабочая скорость движения ползуна – 10 мм/с; скорость холостого хода ползуна – 70 мм/с).

Время формирования каверн и «выпучек» на одной трехметровой трубе $\varnothing 60 \times 3$ мм составляет не более 15 мин.

Разработанная конструкция оснастки позволяет формировать дискретные неровности на поверхности теплообменных труб различных толщин.

Эффективность использования таких труб и технологичность их изготовления обуславливают целесообразность их применения в качестве экранов и конвективных труб на промышленных котлах, работающих на органическом топливе, и на технологических химических, нефтехимических и пищевых теплообменных установках. Это обеспечивает значительное уменьшение металлоемкости котла и не ухудшает его рабочих характеристик.

Список литературы

1. Петриков С.А. Разработка, исследования и освоение конструкций и технологии изготовления теплообменных труб с энергоэффективными конфигурациями поверхностей. Автореферат дисс... канд. техн. наук. – М.: ВИЛС, 2003. – 24 с.
2. Петриков С.А., Серов Н.Б., Хованов Н.Н., Петров В.В. Дымогарная труба теплообменного аппарата: Патент РФ на изобретение № 2197683 // Бюл. 2003. № 3.
3. Петриков С.А., Петров В.В., Бережной В.Л., Хованов Н.Н. Дымогарная конвективная труба стального жаротрубного водогрейного котла и способ ее изготовления: Патент РФ на изобретение № 2269717 // Бюл. 2006. № 4.
4. Зоз В.В., Ермаков Г.Н., Бондарев А.И. Технология и оборудование для оребрения поверхностей нагрева // Технология и организация производства и управления. – М.: изд. НИИЭинформэнергомаш, 1986. С. 16–24.
5. Петриков С.А., Серов Н.Б., Хованов Н.Н. и др. Способ изготовления оребренной конвективной трубы теплообменного аппарата: Патент РФ на изобретение № 2182052 // Бюл. 2002. № 12.