



С.А. Шейнбаум, канд. техн. наук (ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры», г. Волгоград, Россия);
Л.С. Щелкунов

Повышение надежности кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Надежность кожухотрубчатых теплообменных аппаратов определяется качеством соединений, получаемых сваркой и развальцовкой, а также качеством затяжки болтовых соединений фланцевых разъемов.

Согласно ОСТ 26 291–94 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия» для контроля качества сварки применяют радиографический и ультразвуковой контроль, а при невозможности проведения такого контроля — цветную и магнитопорошковую дефектоскопию. На контрольных образцах определяют механические свойства и устойчивость к межкристаллитной коррозии. Стилоскопированием устанавливают соответствие марок применяемых сварочных материалов. Обязательным является клеймение сварных швов. Сварщики проходят периодическую аттестацию.

Качеству развальцовки внимания практически не уделяется. В промышленно развитых странах для изготовления теплообменных аппаратов применяют точные трубы с улучшенными механическими свойствами. Так, импортные трубы наружным диаметром 25 мм из стали 10X18N10T фирмы Sumitomo с маркировкой «ГОСТ 9941–72» имеют предельное отклонение наружного диаметра $+0,05$ мм. Их условный предел текучести составляет 220...240 МПа.

Отечественные трубы обычной точности по данному ГОСТу имеют предельное отклонение $+0,45$ мм, трубы повышенной точности — $+0,3$ мм, высокой точности — $+0,2$ мм. Это не соответствует первому классу точности соединений труб с трубной решеткой по ОСТ 26-02-1015–85 «Крепление труб в трубных решетках». Для данного класса точности предельное отклонение наружного диаметра, равного 25 мм, должно составлять $+0,1$ мм.

Кроме того, указанный ГОСТ не регламентирует величину условного предела текучести, которая на практике у отечественных труб достигает 480 МПа. Это также снижает качество вальцовочных соединений.

При использовании высокоточных труб контроль развальцовки осуществляют по степени увеличения внутреннего диаметра трубы после развальцовки. Поэтому в зарубежных нормативных документах регламентируется только степень развальцовки. В России технологии развальцовки приходится уделять значительно

большее внимание в связи с отсутствием труб необходимой точности.

Качество развальцовки определяет также надежность комбинированных соединений, получаемых сваркой с развальцовкой. В этих соединениях развальцовка снимает остаточные напряжения со сварных швов, защищает их от циклических осевых нагрузок, действующих в трубах, и предотвращает щелевую коррозию.

Согласно ОСТ 26-17-01–83 «Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения стандартные. Технические требования к развальцовке труб с ограничением крутящего момента», режим развальцовки задается величиной крутящего момента. Внутренний диаметр трубы до и после развальцовки в Таблице 1 является справочной величиной и при приемке аппарата факультативен (является справочным).

Для повышения качества развальцовки разработана автоматизированная система управления технологическим процессом развальцовки [1], учитывающая реальные свойства каждого соединения. Эта система обеспечивает максимальную надежность соединений применяемых труб и в 2 раза повышает среднее контактное давление в вальцовочных соединениях.

Согласно СТО 00220368-014–2009 «Крепление труб в трубных решетках кожухотрубчатых теплообменных аппаратов и аппаратов воздушного охлаждения» для контроля качества развальцовки используются модели теплообменных аппаратов [2]. С учетом того, что вальцовочные соединения работают при температуре до 430 °С, модели испытывают тепловым методом [3]. Испытание моделей является аттестацией технологии развальцовки. Кроме этого, СТО 00220368-014–2009 регламентирует аттестацию специалистов-развальцовщиков.

Применяемые трубы имеют большое предельное отклонение по наружному диаметру, поэтому и отверстия в трубных решетках имеют соответственно увеличенный предельный диаметр. С учетом этого разработан ОСТ 26-17-02–83 «Инструмент развальцовочный с принудительным охлаждением и смазкой для труб диаметром 10–57 мм. Конструкция и размеры». Развальцовочный инструмент по этому ОСТу имеет увеличенный (по сравнению с зарубежными аналогами) диапазон развальцовки.

Указанные разработки до настоящего времени не нашли широкого применения.

Неудовлетворительно обстоит дело и с затяжкой болтовых соединений на фланцевых разьемах. На заводах — изготовителях теплообменных аппаратов до настоящего времени болты затягивают с помощью кран-балки.

Современная система затяжки болтовых соединений состоит из гидравлического насоса и нескольких гидравлических моментных ключей (стандартно — из четырех ключей), соединенных между собой гидравлическими шлангами. На насосе установлен манометр для контроля давления. Насос, ключи и шланги имеют быстросъемные соединения для стыковки и расстыковки и оснащены шариковыми запорными клапанами для предотвращения утечки гидравлического масла после расстыковки.

Каждый тип моментного ключа имеет свой диапазон крутящих моментов и позволяет осуществлять затяжку при обеспечении контроля крутящего момента с высокой точностью ($\pm 3\%$), что дает возможность прикладывать одинаковую нагрузку на каждый болт по всему периметру разъемного соединения.

При затяжке система гарантирует параллельное сжатие разьема даже в случае неравномерного предварительного навинчивания гаек на болты.

Рассмотрим работу системы. Гидравлический насос плавно наращивает давление от нуля до первоначально заданного уровня. Поскольку все моментные ключи соединены с одним гидравлическим источником, первым начинает вращаться ключ на самой слабой гайке. По мере затяжки этой гайки давление в системе повышается и достигает уровня, при котором начинает вращаться вторая слабая гайка. Затем две гайки затягиваются одновременно до тех пор, пока давление в системе не достигнет уровня, при котором начнет вращаться третья гайка, и т.д. В результате наступает момент, когда все гайки затягиваются одновременно и одинаковым крутящим моментом. Такая синхронизация означает, что все элементы разьема заняли правильную позицию относительно друг друга, и дальнейшее сжатие фланца происходит параллельно и равномерно.

В России современные системы затяжки используются на большинстве предприятий азотной промышленности, на многих энергетических объектах, на отдельных предприятиях нефтехимии, нефтепереработки и только на одном предприятии, производящем теплообменную аппаратуру.

Для обеспечения безотказной работы теплообменных аппаратов в течение всего срока службы необходимо правильно выбирать материалы для их изготовления и соблюдать периодичность чистки. Кроме того, следует:

1. Ввести инженерный контроль технологии развальцовки труб в трубных решетках и технологии затяжки болтовых соединений на стадиях изготовления и ремонта теплообменных аппаратов.

2. Ввести аттестацию указанных технологий и аттестацию соответствующих специалистов.

3. Оснастить предприятия, изготавливающие теплообменные аппараты, и ремонтные предприятия современным оборудованием.

Для реализации этих мероприятий необходимо в **раздел 10 (касающийся стадии изготовления) разрабатываемого проекта ГОСТ Р ИСО 16812–2007 «Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. Технические требования»** ввести следующие пункты:

а) Развальцовка труб (далее — развальцовка) и крепление болтовых соединений (далее — затяжка болтов) должны осуществляться специалистами — развальцовщиками (далее — вальцовщиками) и котельщиками, сдавшими экзамен в соответствии с действующей нормативно-технической документацией.

б) Развальцовка труб и затяжка болтов должны производиться в соответствии с технологической документацией, в которой должны быть указаны: величина крутящего момента, последовательность развальцовки, в том числе и кольцевыми зонами, требования к вальцовочному инструменту, последовательность затяжки болтов, виды и объемы контроля.

в) Развальцовку в одной трубной решетке и затяжку болтов на одном фланце разрешается выполнять только одному вальцовщику и одному котельщику. На трубную решетку и на фланец наносятся клейма, позволяющие персонифицировать их работу. Если все трубные решетки теплообменного аппарата развальцованы одним развальцовщиком, а болты затянуты одним котельщиком, допускается их клейма ставить около фирменной таблички. Место клеймения заключается в хорошо видимую рамку, выполненную несмываемой краской.

г) Устранение дефектов развальцовки и затяжки болтов должно производиться в соответствии с технологической инструкцией или стандартом предприятия на развальцовку и затяжку болтов.

д) До начала развальцовки теплообменного аппарата, отличающегося от изготовленных ранее на данном предприятии конструкцией или применяемыми материалами, необходимо произвести рабочую аттестацию технологии на модели в соответствии с действующей нормативно-технической документацией.

Список литературы

1. Шейнбаум С.А. АСУТП развальцовки труб в трубных решетках // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 10. С. 47–48.
2. Шейнбаум С.А. О нормативных документах по креплению труб в трубных решетках // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 5. С. 33.
3. Шейнбаум С.А. Расчет режима нагрева трубной решетки теплообменного аппарата при испытаниях герметичности способом теплового растяжения // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 11. С. 44–45.