



С.А. Шейбаум, канд. техн. наук (ОАО ВНИИПТхимнефтеаппаратуры, г. Волгоград, Россия)

АСУТП развалцовки труб в трубных решетках

При изготовлении кожухотрубчатых теплообменных аппаратов (ТА) и аппаратов воздушного охлаждения (АВО) применяют соединения труб с трубными решетками первого класса точности по ОСТ 26-02-1015-85 [1]. Для труб данного класса точности, например размером $25 \times 2,0$ мм, предельное отклонение наружного диаметра $\pm 0,1$ мм, толщины стенки $\pm 8\%$.

Согласно ОСТ 26-17-01-83 [2] наибольшее значение предела текучести материала трубы σ_t не должно превышать более чем в 1,5 раза его наименьшее значение.

Приведенным требованиям отвечают трубы основных мировых производителей. Контроль качества развалцовки таких труб можно проводить по внутреннему диаметру. Даже такой простой метод контроля обеспечивает безотказную работу соединений в течение всего срока службы. При правильном выборе материала соединения и соблюдении периодичности чистки труб ремонт ТА не требуется.

Однако в России на заводах-изготовителях ТА и АВО применяют трубы отечественного производства, не всегда соответствующие первому классу точности по предельным отклонениям размеров и разбросу значений предела текучести их материалов. В связи с этим контроль качества развалцовки проводят по косвенному параметру — крутящему моменту развалцовки, ориентировочное значение которого (при использовании охлаждаемого развалцовочного инструмента по ОСТ 26-17-02-83 [3]) выбирают по ОСТ 26-17-01-83, а затем (после развалцовки) уточняют его, сопоставляя расчетный и фактический внутренние диаметры трубы.

Точное соблюдение такой технологии позволяет избежать неустойчивых дефектов труб — минимальных предела текучести и толщины стенки. Однако при этом трубы могут быть недостаточно развалцованны и остаточное контактное давление в их соединениях с трубной решеткой может быть даже меньше, чем требуется. В результате надежной работы ресурс соединений оказывается в 1,5–2 раза ниже возможного. Это относится и к комбинированным соединениям, получаемым сваркой с последующей развалцовкой, в которых развалцовкой снимают остаточные напряжения в сварных швах, предотвращая осевые нагрузки, щелевую коррозию и коррозионное растрескивание.

Следует отметить и недостаточную квалификацию развалцовщиков. В ряде случаев фиксируются недовалцовка и перевалцовка труб.

СТО 00220368-014-2009 [4] регламентирует систему аттестации развалцовщиков.

Проверить даже минимальный уровень остаточного контактного давления в соединениях труб с трубными решетками, который достигает нескольких сотен атмосфер, невозможно, так как корпуса аппаратов не рассчитаны на такое давление, поэтому на всех крупных предприятиях, где применяются ТА, организованы производства по их ремонту.

Таким образом, создание АСУТП развалцовки труб, учитывающей прочностные свойства каждой трубы, не зависящей от действий оператора и обеспечивающей безотказную работу вальцовочных соединений в течение всего срока службы, является актуальной задачей.

Процесс развалцовки труб можно представить зависимостью $M = M(t)$ в кусочно-линейном приближении, где M — текущее значение крутящего момента развалцовки; t — время процесса. На рис. 1 кривая 1 соответствует самой «слабой» трубе с минимальным пределом текучести и минимальной толщиной стенки, кривая 2 — самой «крепкой» трубе с максимальными значениями этих параметров. Абсциссы точек изменения угла наклона этих кривых совмещены.

Процесс развалцовки условно можно разделить на четыре стадии:

I — упругая раздача трубы (участок AB);

II — пластическая раздача трубы (участок BC);

III — совместная пластическая деформация трубы и упругая деформация трубной решетки (участок CD);

IV — упругопластическая деформация трубной решетки, которая приводит к снижению остаточного контактного давления. Процесс развалцовки необходимо остановить в начале этой стадии.

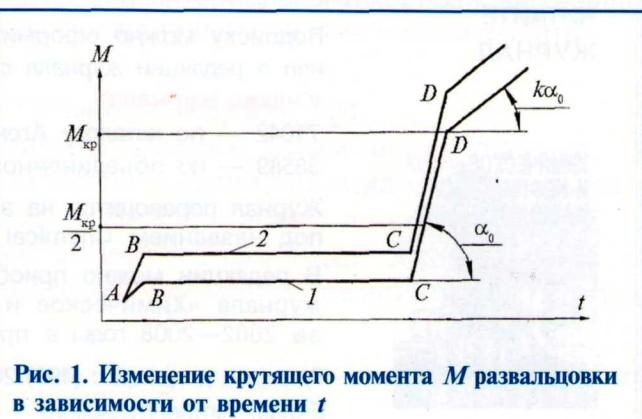


Рис. 1. Изменение крутящего момента M развалцовки в зависимости от времени t

Максимальный крутящий момент развалцовки $M_{\text{кр}}$ определен в ОСТ 26-17-01-83 исходя из свойств самой «слабой» трубы.

Точки, соответствующие значению $M_{\text{кр}}/2$ для «слабой» и «крепкой» труб, расположены на участке CD .

Переход через точку D характеризуется уменьшением угла наклона функции $M = M(t)$ до угла $k \alpha_0$, где $k = 0,1 \div 0,5$ — коэффициент, зависящий от материала соединения.

На рис. 2 приведены зависимости остаточного контактного давления p_0 от крутящего момента развалцовки M для «слабой» (кривая 1) и «крепкой» (кривая 2) труб. Видно, что при развалцовке труб крутящим моментом $M_{\text{опт}}$, оптимальным для «слабых» труб, несущая способность «крепких» труб полностью не используется, причем остаточное контактное давление в «крепкой» трубе может оказаться в 2 раза меньшим максимально возможного.

Алгоритм разработанной АСУТП развалцовки труб

1. Начать развалцовку с контроля текущего значения крутящего момента и формирования значений функции $M = M(t)$ со сглаживанием ее осцилляции.

2. При достижении функцией $M = M(t)$ значения $M_{\text{кр}}/2$ начать контроль ее угла наклона α_0 и зафиксировать его значение в этот момент.

3. Запомнить точки функции $M = M(t)$ на стадии контроля угла наклона α_0 через каждую 0,1 с для паспортизации (при необходимости).

4. При уменьшении угла наклона до значения $k \alpha_0$ выдать команды на останов и реверсирование мотор-редуктора.

5. Начать развалцовку очередной трубы по п. 1–4.

В АСУТП развалцовки труб входят программируемый логический контроллер и частотный преобразователь. Контроллер служит для реализации алгоритма АСУТП, преобразователь — для и контроля крутящего момента. Кроме того, преобразователь позволяет изменять частоту вращения выходного вала мотор-редуктора.

В результате увеличения частоты переменного тока до 100 Гц на самом длинном этапе развалцовки (до достижения значения крутящего момента $M_{\text{кр}}/2$)



Рис. 2. Изменение остаточного контактного давления p_0 при развалцовке в зависимости от крутящего момента M

увеличивается частота вращения выходного вала мотор-редуктора и почти в 2 раза повышается производительность развалцовочной установки. Уменьшение частоты переменного тока на коротком заключительном этапе повышает качество вальцовочных соединений и позволяет в 1,5–2 раза сократить расход развалцовочного инструмента.

Таким образом, применение АСУТП развалцовки труб (при правильной подготовке отверстий в трубных решетках и концов труб) позволит исключить недовалцовку и перевальцовку труб, сократить расход развалцовочного инструмента, максимально использовать несущую способность труб и обеспечить максимально возможное остаточное контактное давление в соединениях труб с трубной решеткой при безотказной работе вальцовочных соединений в течение всего срока службы.

Список литературы

1. ОСТ 26-02-1015-85. Крепление труб в трубных решетках.
2. ОСТ 26-17-01-83. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения стандартные. Технические требования к развалцовке труб с ограничением крутящего момента.
3. ОСТ 26-17-02-83. Инструмент развалцовочный с принудительным охлаждением и смазкой для труб диаметром 10–57 мм. Конструкция и размеры.
4. СТО 00220368-014-2009. Крепление труб в трубных решетках кожухотрубчатых теплообменных аппаратах и аппаратах воздушного охлаждения.