

УДК 669.018.6:539.4

ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ С СИЛОПРИВОДОМ ИЗ СПЛАВА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ДЛЯ СТЫКОВКИ-СВАРКИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ И АГРЕГАТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

© 2006 О.В. Ломовской¹ В.С. Феоктистов² О.В. Феоктистова³

Представлен высокоэффективный ресурсосберегающий технологический процесс прецизионной сборки трубопроводов, оснащенный устройствами с силовым приводом на основе эффекта памяти формы и обеспечивающий управление уровнем остаточных напряжений в сварных швах трубопроводов.

В топливно-энергетическом и промышленном комплексе страны ведутся разработки, представляющие серьезный интерес для железнодорожного транспорта. Среди них специалисты выделяют технологию использования сжиженного природного газа в качестве топлива для тягового подвижного состава, повышение конструктивного и эксплуатационного КПД локомотивов нового поколения, а также снижение энергоемкости технологических процессов.

Уже сейчас можно отметить перспективы использования гибридных силовых установок, в состав которых будут входить дизельные и газотурбинные двигатели. Такие установки позволяют сократить удельный расход топлива на тягу (на 15–20%), а также реализовать работу двигателей с высоким КПД (40–44%) во всем диапазоне нагрузок. В настоящее время наиболее готовыми к применению на железнодорожном транспорте являются газотурбинные установки (ГТУ) четвертого поколения (ГТД1 и ГТД2), созданные в аэрокосмическом комплексе страны и приспособленные для нужд наземного транспорта.

Конструкция современных ГТУ включает большое количество трубопроводов в системах отвода отработанных газов, топливных, масляных, воздушных и других системах. Материалом для трубопроводов служат, наряду с конструкционными углеродистыми сталями, жаропрочные сплавы (12Х2МФВ, 18Х3МВ, 20Х3МВФ), коррозионно-стойкие стали (Х18Н12Т, 12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т). Диапазон диаметров лежит в пределах от 40 до 250 мм. Толщина стенки трубопровода может составлять от 0,8 до 4 мм. Полуфабрикатами служат цельнотянутые, шовные трубы,

¹Ломовской Олег Владиславович, научно-исследовательская лаборатория Самарского государственного аэрокосмического университета, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34.

²Феоктистов Василий Сергеевич, Самарской государственной академии путей сообщения, 443066, Россия, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18.

³Феоктистова Ольга Васильевна (ovfeoktistova@bk.ru), завод по ремонту подвижного состава КБШ ж.д., 443046, Россия г. Самара, Аэропорт-2.

а также листовой прокат. Сборка трубопроводов осуществляется преимущественно с помощью ручной или автоматической аргонодуговой сварки [1].

подавляющая часть деталей трубопроводов состоит из отдельных элементов, сваренных встык. В конструкции ГТУ встречаются детали, у которых прямолинейный участок сварен с радиусным элементом, радиусный элемент с радиусным; участки разного диаметра стыкуются через специальные переходники, разветвления трубопроводной магистрали происходят также путем применения специальных переходных элементов [2].

Все технологические процессы сборки деталей трубопроводов из отдельных элементов путем стыковой сварки включают калибровку концевых сечений трубчатых элементов, выполненную с высокой точностью. Эти требования реализуются путем применения сложных, многопереходных технологических процессов, которые характеризуются большой трудоемкостью и требуют применения громоздкого, дорогостоящего оборудования с большим энергопотреблением.

За счет усадки материала в процессе сварки происходит сокращение периметра шва [3]. Так, например, после аргонодуговой сварки труб из нержавеющей стали диаметром 145 мм и толщиной стенки 1,5 мм, сокращение периметра шва составляет 9 мм. Это вызывает прогиб стенки трубы, направленный к ее оси, что в свою очередь приводит к остаточным напряжениям изгиба шва: внутри — растягивающим, снаружи — сжимающим. Величина напряжений, в зависимости от параметров элементов трубопровода, может быть близка к эксплуатационной и вызвать появление трещин. Ухудшаются внешние и эксплуатационные характеристики трубопроводов, такие как сопротивление потоку жидкости или газа. В итоге происходит снижение качества собираемых трубопроводов.

Одним из способов повышения качества собираемых изделий является упругое предварительное деформирование стыкуемых деталей в сварочных приспособлениях таким образом, чтобы область сварки оказалась расположенной в зоне растягивающих напряжений. Тогда сварка по напряженному металлу приводит к уменьшению величины усадочной силы, действующей на трубопровод. Вследствие этого уменьшается величина изгиба элемента трубопровода и укорочения периметра шва, снижаются значения остаточных напряжений. Если величину упругой предварительной деформации обеспечить равной величине деформации, вызванной усадкой, диаметр трубопровода в зоне шва не изменится. В результате получается соединение высокого качества [3].

Для обеспечения необходимой точности предварительной подгонки стыка и для упругого предварительного деформирования в зоне стыка собираемого трубопровода в ряде отраслей промышленности используют технологические процессы стыковки трубчатых деталей без операций калибровки [4]. Эти процессы основаны на упругом совместном деформировании сопрягаемых концов труб в процессе стыковки с одновременной прихваткой или приваркой. В качестве технологической оснастки применяют так называемые центраторы. Существует два вида центраторов — базирующиеся на наружной поверхности трубы и обжимающие их концы, и центраторы, базирующиеся на внутренней поверхности трубы и разжимающие стыкуемые кромки. Известны центраторы с ручным и с механизированным приводом [3]. Центраторы с ручным приводом базируются, как правило, на наружной поверхности стыкуемого трубопровода и затрудняют доступ к зоне шва. Кроме того, эти устройства обладают невысокими силовыми возможностями, что существенно ограничивает их применение. Применение устройств с гидравлическим приводом, базирующихся на внутренней поверхности трубы, трудно применимо

при сборке трубопроводов с диаметрами от 40 до 200 мм, которые часто встречаются в конструкции ГТУ. Данный диапазон диаметров требует значительных энергосиловых возможностей силового привода центратора, оснастка становится громоздкой, сложной, ограничен диапазон толщин стенок трубчатых деталей, собираемых данным способом. При изготовлении ГТД часто применяются сплавы, требующие специальной атмосферы при проведении сварки. В этом случае применение гидравлических центраторов ограничено вследствие неизбежных утечек рабочей жидкости, которые нарушают защитную среду и снижают качество сварных швов. Такие центраторы невозможно применять в камерах с контролируемой атмосферой, которая необходима для реализации процесса сварки трубопроводов из высоколегированных сталей.

Для устранения указанных недостатков, снижения производственных затрат и повышения качества изделий предложен технологический процесс, основанный на эффекте памяти формы.

Феномен эффекта памяти заключается в следующем: материал, обладающий памятью, пластически деформируют при температуре T_d выше температуры прямого мартенситного превращения M_n с целью придания ему определенной формы, затем охлаждают до температуры, обеспечивающей протекание мартенситного превращения, и деформируют в этой температурной области до получения нужной формы. При нагреве выше температуры обратного мартенситного превращения A_k данный материал вновь восстанавливает форму, которая была ему придана при температуре $T_d > M_n$. Из материалов, обладающих эффектом памяти формы, наиболее широко в машиностроении применяют никелид титана, сплав ТН-1. Никелид титана — это сплав эквивалентного состава с 55 Масс.%Ni [5].

В работах [6–8] отражены результаты по изучению и технологическому применению эффекта памяти формы в сплавах, приведены созданные математические модели и методики проектирования различных силовых приводов из сплава с памятью формы.

Вместе с тем решение краевой задачи термоупругости для силового элемента с эффектом памяти формы в виде кольца имеет некоторые особенности.

1. Модель трубопровода

Для изучения внешней (рабочей) нагрузки воздействующей на силовой элемент с эффектом памяти формы и определения необходимых рабочих радиальных перемещений концевой участка трубопровода, проведено моделирование процесса деформирования данного участка трубопровода. Задача упругого деформирования концевой участка элемента трубопровода заключается в определении предварительных радиальных перемещений w_0 , задаваемых центратором, соответствующих деформациям растяжения $\epsilon^{\max}$, близким к деформациям ϵ^T , соответствующим пределу текучести материала трубопровода в некоторой зоне шириной $2b$, превышающей по ширине зону пластических деформаций при сварке $2b^{\text{пластич.}}$.

В качестве модели для описания процесса деформирования участка стыкуемого элемента трубопровода, рассматривается тонкая цилиндрическая полубесконечная оболочка. Зона деформации локальна, и влиянием второго края элемента трубопровода можно пренебречь. Принимается, что концы оболочки свободны от осевых перемещений и нагрузок. Расчетная схема, иллюстрирующая разрабатываемую математическую модель, представлена на рис. 1. Исходными параметрами являются геометрические характеристики сечений стыкуемых элементов и меха-

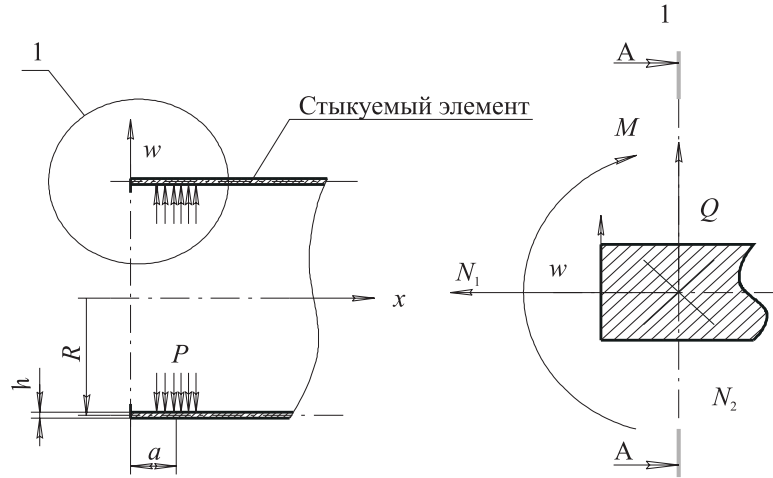


Рис. 1. Расчетная схема элемента трубопровода

нические свойства материала трубопровода. Результатом исследований процесса деформирования должны стать величина нормального перемещения стенки элемента трубопровода, соответствующая деформациям предела текучести материала трубопровода, и значение соответствующей нормальной внешней нагрузки.

Система дифференциальных уравнений, описывающая осесимметричное напряженное состояние тонкой полубесконечной цилиндрической оболочки и геометрические соотношения имеет вид [5–7]:

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dx} = 0, \quad \frac{dQ_1}{dx} - \frac{1}{R}N = -p, \quad \frac{dM_1}{dx} - Q_1 = 0, \quad N_2 = \frac{Eh}{1-\nu^2} \left(\frac{w}{R} + \nu \frac{du}{dx} \right), \\ M = -D \frac{d^2w}{dx^2}, \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где N_1, N_2 — (мембранные) нормальные усилия, Q_1 — перерезывающая сила, M — изгибающий момент, w — перемещение по нормали к оболочке, u — перемещение вдоль образующей, R и h — соответственно радиус и толщина оболочки. p — нормальная внешняя нагрузка, E и ν соответственно модуль Юнга и коэффициент Пуассона, D — цилиндрическая жесткость оболочки.

Систему (1) можно свести к основному разрешающему уравнению:

$$D \frac{d^4w}{dx^4} + \frac{Eh}{R^2} w = +p. \quad (2)$$

Известное решение однородного уравнения (2) имеет вид:

$$w = e^{\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) + f(x), \quad (3)$$

где $\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{R^2h^2}}$; C_1, C_2, C_3, C_4 — постоянные интегрирования, определяемые в частном случае из условий на крае цилиндрической оболочки.

В рассматриваемом случае распределенное по поверхности оболочки давление отсутствует, поэтому в общем решении (3) частное решение уравнения (2) $f(x) = 0$. Так как расстояние a невелико по отношению к радиусу оболочки, приложенные в этом сечении силы производят местный изгиб, быстро уменьшающийся до нуля по мере увеличения расстояния x от торца, можно сделать вывод, основываясь

на принципе Сен-Венана, что первый член в правой части уравнения (3) должен исчезнуть. Поэтому постоянные интегрирования C_1 и C_2 равны нулю, и решение может быть представлено в виде

$$w = e^{-\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x). \quad (4)$$

Постоянные C_3 и C_4 определяются из условий на краю оболочки. Оболочка рассматривается под действием нагрузки, равномерно распределенной по круговому сечению, которое расположено на расстоянии a от края оболочки (рис. 1). Данная нагрузка должна вызывать заданные перемещения w_0 . Исходя из этого, краевые условия записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} (M_x)_{x=0} &= -D \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)_{x=0} = 0, \\ (w_x)_{x=a} &= w_0. \end{aligned} \quad (5)$$

Из условий (5)

$$C_4 = 0, \quad C_3 = w_0 e^{-\beta a} \frac{1}{\cos(\beta a)}. \quad (6)$$

В окончательном виде выражение для

$$w = w_0 e^{-\beta(x-a)} \frac{\cos(\beta x)}{\cos(\beta a)}. \quad (7)$$

Математическая модель поставленной задачи подробно анализируется в работах [7, 8], однако для силового элемента в виде кольца несколько видоизменяются граничные условия, так, например

на внешней поверхности кольца:

$$\sigma_z = P, \quad \text{при } r = R_2,$$

на внутренней поверхности кольца:

$$\sigma_z = 0, \quad \text{при } r = R_1.$$

Исходя из того, что на торцах кольца используется граничное условие в смысле Сен-Венана $P = 0$, то:

$$\sigma_z = 0. \quad (8)$$

Решение краевой задачи термоупругости для силового с эффектом памяти формы элемента в виде кольца.

Рассмотрим метод решения краевой задачи термоупругости (1)–(8) для силового элемента в форме кольца с параметрами E , μ , β_1 и β_2 , зависящими от температуры.

Используя (3), получим $\varepsilon_z = \varepsilon_0$. Выражаем из (5) напряжения через деформации:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{E}{(1+\mu)(1-2\mu)} ((1-\mu)\varepsilon_r + \mu\varepsilon_\theta + \mu\varepsilon_0 - \beta_1 - \mu\beta_2); \\ \sigma_\theta &= \frac{E}{(1+\mu)(1-2\mu)} ((1-\mu)\varepsilon_\theta + \mu\varepsilon_r + \mu\varepsilon_0 - \beta_1 - \mu\beta_2); \\ \sigma_z &= \frac{E}{(1+\mu)(1-2\mu)} ((1-\mu)\varepsilon_0 + \mu\varepsilon_r + \mu\varepsilon_\theta + \mu\beta_2 - \beta_2 - 2\mu\beta_1). \end{aligned} \quad (9)$$

Вычтя из второго уравнения первое, получим соотношение:

$$\sigma_\theta - \sigma_r = \frac{E}{1+\mu} (\varepsilon_\theta - \varepsilon_r) \quad (10)$$

и подставим в него уравнения (1) и (2), будем иметь:

$$\frac{d\sigma_\rho}{dr} + \frac{E}{1+\mu} \frac{d\varepsilon_\Theta}{dr} = 0. \quad (11)$$

Прибавив к правой и левой части соотношения (11) выражение $\varepsilon_\Theta \frac{d}{dr} \left(\frac{E}{1+\mu} \right)$, получим:

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{E}{1+\mu} \varepsilon_\Theta + \sigma_\rho \right) = \varepsilon \frac{d}{dr} \left(\frac{E}{1+\mu} \right). \quad (12)$$

Подставляя в (12) соотношения (9) и соотношения Коши (4) и проведя необходимые преобразования, получим уравнение

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{E}{(1+\mu)(1-2\mu)} \left(\frac{1-\mu}{r} \frac{d(ur)}{dr} + \mu\varepsilon_0 - \beta_1 - \mu\beta_2 \right) \right) = \frac{u}{r} \frac{d}{dr} \left(\frac{E}{1+\mu} \right), \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(ur)}{dr} = \frac{r}{1-\mu} & \left(\frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{E} c - \mu\varepsilon_0 + \beta_1 + \mu\beta_2 \right) + \\ & + (1-2\mu) \frac{u}{r} - \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{E} \int_{R_1}^r \frac{E}{1+\mu} d\left(\frac{u}{r}\right), \end{aligned} \quad (14)$$

где c — постоянная интегрирования.

Интегро-дифференциальное уравнение (14) будем решать следующим способом. Разобьем область $R_1 \leq r \leq R_2$ на N достаточно малых участков, в которых E и μ с нужной степенью точности можно считать постоянными.

Тогда внутри каждой такой области два последних члена уравнения (14) обращаются в нуль и интегро-дифференциальное уравнение (14) переходит в дифференциальное. Интегрируя его по r в пределах от r_{k-1} до r , будем иметь:

$$\begin{aligned} u(r)r - u(r_{k-1})r_{k-1} = c \int_{r_{k-1}}^r \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)E} r dr - \\ - \varepsilon_0 \int_{r_{k-1}}^r \frac{\mu r dr}{1-\mu} + \int_{r_{k-1}}^r \frac{\beta_1 + \mu\beta_2}{1-\mu} r dr, \end{aligned} \quad (15)$$

где $r_{k-1} \leq r \leq r_k$, $k = 1, 2, \dots, N$, $r_0 = R_1$, $r_N = R_2$.

Чтобы исключить константу интегрирования $u(r_{k-1})r_{k-1}$, запишем соотношение (15) для всех областей с номером $i < k$ и точке $r = r_i$. Все полученные соотношения сложим почленно и прибавим к (15). Используя неразрывность $u(r)$, получим:

$$\begin{aligned} u(r) = \frac{c}{r} \int_{R_1}^r \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)E} r dr - \\ - \frac{\varepsilon_0}{r} \int_{R_1}^r \frac{\mu r}{1-\mu} dr + \frac{1}{r} \int_{R_1}^r \frac{\beta_1 + \mu\beta_2}{1-\mu} r dr + \frac{R_1 u(R_1)}{r}, \end{aligned} \quad (16)$$

где $R_1 \leq r \leq R_2$.

Радиальную ε_r и тангенциальную ε_Θ компоненты тензора деформации опреде-

лим, используя соотношения Коши (4):

$$\begin{aligned} \varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r} = c & \left(\frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)E} - \frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)E} r dr \right) - \\ & - \varepsilon_0 \left(\frac{\mu}{1-\mu} - \frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r \frac{\mu r}{1-\mu} dr \right) + \\ & + \left(\frac{\beta_1 + \mu\beta_2}{1-\mu} - \frac{1}{r^2} \int_{R_2}^r \frac{\beta_1 + \mu\beta_2}{1-\mu} r dr \right) - \frac{R_1 u(R_1)}{r^2}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_\Theta = \frac{u}{r} = \frac{c}{r^2} \int_{R_1}^r \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)E} r dr - \frac{\varepsilon_0}{r^2} \int_{R_1}^r \frac{\mu r}{1-\mu} dr + \\ + \frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r \frac{\beta_1 + \mu\beta_2}{1-\mu} r dr + \frac{R_1 u(R_1)}{r^2}. \end{aligned} \quad (18)$$

Компоненты тензора напряжений σ_r , σ_Θ , σ_z получим, используя соотношения (9):

$$\begin{aligned} \sigma_r = \frac{E}{1+\mu} & \left(c \left(\frac{1+\mu}{E} - \frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)E} r dr \right) + \varepsilon_0 \frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r \frac{\mu}{1-\mu} r dr - \right. \\ & \left. - \frac{1}{r^2} \int_{R_1}^r \frac{(\beta_1 + \mu\beta_2) r}{1-\mu} dr - \frac{R_1 u(R_1)}{r^2} \right), \end{aligned} \quad (19)$$

$$\sigma_z = c \frac{\mu}{1-\mu} + \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_0 - \beta_2 - \mu\beta_1), \quad (20)$$

$$\sigma_\Theta = c \frac{1+\mu}{1-\mu} + \varepsilon_0 \frac{E}{1-\mu^2} - (\beta_1 + \beta_2) \frac{E}{1-\mu} - \sigma_z - \sigma_r. \quad (21)$$

Постоянные $u(R_1)$, c и ε_0 определяем из граничных условий (6)–(8). Подставляя (20) в (6) и (7), а (21) в (8), получаем линейную систему алгебраических уравнений относительно неизвестных констант:

$$\begin{aligned} a_{11}c + a_{12}\varepsilon_0 - R_1 u(R_1) &= f_1, \\ a_{12}c + a_{22} &= f_2, \\ a_{31}R_1c - u(R_1) &= 0, \end{aligned} \quad (22)$$

где

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1+\mu(R_2)}{E(R_2)} R_2^2 - \int_{R_1}^{R_2} \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)E} r dr, \\ a_{12} &= \int_{R_1}^{R_2} \frac{\mu}{1-\mu} r dr, \quad a_{22} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{E}{1-\mu^2} r dr, \quad a_{31} = \frac{1+\mu(R_1)}{E(R_1)}, \\ f_1 &= \int_{R_1}^{R_2} \frac{\beta_1 + \mu\beta_2}{1-\mu} r dr, \quad f_2 = \frac{P}{2\pi} + \int_{R_1}^{R_2} \frac{\beta_2 + \mu\beta_1}{1-\mu^2} E r dr. \end{aligned}$$

Соотношения (17)–(21) точно удовлетворяют исходной системе уравнений и позволяют по известному температурному полю $T(r, t)$, известной внешней нагрузке P и экспериментально определенным зависимостям $\mu(T)$, $E(T)$, $\beta_1(T)$ и $\beta_2(T)$ рассчитать распределение перемещений $u(r)$, деформаций $\varepsilon_r(r)$, $\varepsilon_\theta(r)$, ε_0 и напряжений $\sigma_r(r)$, $\sigma_\theta(r)$, $\sigma_z(r)$ по сечению силового элемента в произвольный момент времени.

В случае термоупругого мартенситного превращения необходимо учесть тот факт, что модели упругости и компоненты тензора структурной деформации являются функциями напряжений. Поэтому для расчета по соотношениям (19)–(22) использовался следующий итерационный алгоритм: по найденным значениям напряжений рассчитываются компоненты тензора структурной деформации и вновь рассчитываются величины напряжений.

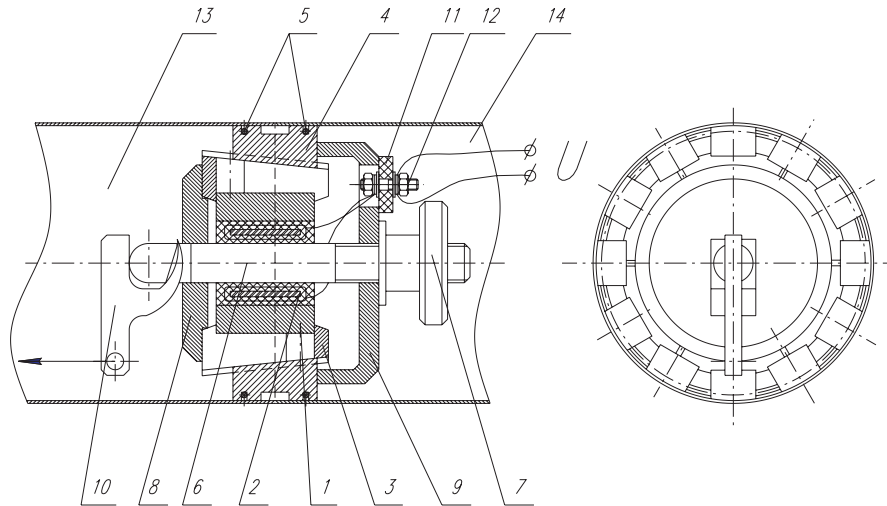


Рис. 2. Центратор с силоприводом из сплава с памятью формы

На базе проведенных научных исследований и опытно конструкторских работ разработан технологический процесс прецизионной стыковки-сварки труб с применением эффекта памяти формы. Созданы и испытаны опытные образцы механизированного инструмента с силовым приводом из сплава с эффектом памяти формы (ЭПФ-приводом) для реализации данного технологического процесса [9].

Схема механизированного данного инструмента, центлятора и его общий вид представлены на рис. 2, 3. Центратор состоит из силового элемента 1 с эффектом памяти формы (ЭПФ-элемента), имеющего форму кольца, на внутренней поверхности которого расположен электрический нагревательный элемент 2. Для обеспечения многократного применения устройства, на наружной поверхности ЭПФ-элемента 1 расположен силовой возвратный привод 3 в виде цанги. В свою очередь на наружной поверхности возвратного привода 3, в наклонных к его оси пазах располагаются сухарики 4. Они прижимаются разрезными кольцами 5. Концентрично ЭПФ-элементу 1 установлена оправка 6, имеющая гайку 7. На оправке 6 установлены шайбы 8 и 9, контактирующие возвратным приводом 3 и сухариками 4. От выпадения шайб 8 и 9 предохраняет и фиксирует стопор 10, расположенный в пазах оправки 6. На шайбе 9 закреплена колодка 11 с клеммами 12, которые служат для подключения электроэнергии к нагревательному элементу 2.

Центратор имеет возможность менять свой наружный диаметр при навинчивании на оправку 6 гайки 7. Это происходит от того, что шайбы 9 и 10 могут сдвигаться друг к другу, перемещая сухарики 4 относительно возвратного привода 3 по его наклонным пазам.

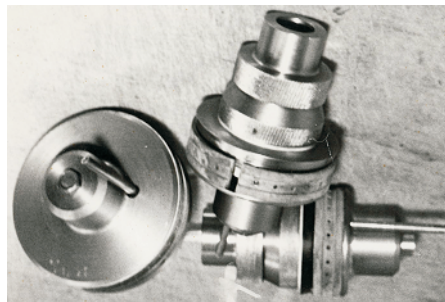


Рис. 3. Общий вид центраторов для различных диаметров трубопроводов

Специалистами СамГАПС и СГАУ с помощью разработанного процесса изготовлены несколько типоразмеров рабочих трубчатых деталей газотурбинных двигателей ГТД1 и ГТД2 из материалов ПТ-7М и ДИ-52 с толщинами стенок от 1,5 до 2,5 мм на прямолинейных и криволинейных участках (рис. 4).



Рис. 4. Трубчатые детали, изготовленные с помощью центраторов с силоприводом из сплава с памятью формы

Кроме того, разработана, изготовлена и испытана компактная высокоэффективная установка с силоприводом из сплава с памятью формы для правки-калибровки толстостенных сварных трубчатых деталей из труднодеформируемых сплавов (рис. 5) [9].

Сравнительные испытания образцов трубопроводов, составленных по традиционным технологиям (магнитно-импульсным полем и пенополиуретаном) и по разработанной технологии, показали, что величина остаточных напряжений в зоне сварки снижается на 60–70%.

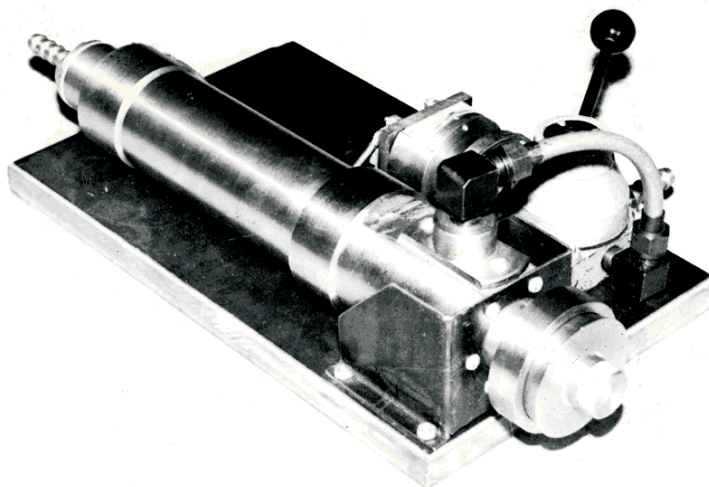


Рис. 5. Компактная установка с силоприводом из сплава с памятью формы для правки-калибровки толстостенных трубчатых деталей

Внедрение в производство разработанной технологии сборки деталей трубопроводов позволит существенно повысить качество газотурбинных установок, сократить трудовые и материальные затраты, повысить эффективность производства.

Основные выводы

- 1) Проведены исследования основных технологических параметров силового элемента устройств силоприводом из сплава с ЭПФ для стыковки-сварки специальных деталей трубопроводов ГТУ.
- 2) Решена задача моделирования математического процесса функционирования кольцевого элемента из материала с памятью формы.
- 3) Разработана методика подбора основных характеристик силового элемента конкретно к данной группе трубчатых деталей.
- 4) Изготовлены образцы центраторов и других устройств для стыковки-сварки и калибровки.
- 5) Изготовлены несколько типоразмеров трубчатых деталей газотурбинных двигателей ГТД1 и ГТД2.

Литература

- [1] Зернов, И.А. Теоретические основы технологии и процессы изготовления деталей самолетов / И.А. Зернов, Л.А. Коноров. – М.: ОБОРОНГИЗ, 1960. – 632 с.
- [2] Катков, В.Ф. Оборудование и средства автоматизации и механизации заготовительно-штамповочных цехов / В.Ф. Катков. – М.: Машиностроение, 1985. – 384 с.

- [3] Николаев, Г.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа, 1971. – 760 с.
- [4] Баранов, М.С. Технология производства сварных конструкций / М.С. Баранов. – М.: Машиностроение, 1966. – 332 с.
- [5] Апаев, Б.А. Эффект запоминания формы в сплавах / Б.А. Апаев, Б.И. Вороненко // Металловедение и термическая обработка сплавов. – 1973. – №1. – С. 24–28.
- [6] Барвинок, В.А. Определение напряжений в материале при термоупругом мартенситном превращении / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, В.С. Феоктистов. // "Известия вузов. Машиностроение." – 1987. – №3. – С. 110–116.
- [7] В.А. Барвинок Исследование процесса нагрева силового элемента из сплава с эффектом памяти формы / В.А. Барвинок, О.В. Ломовской, В.И. Богданович // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 1995. – №1–2. – С. 52–54.
- [8] Барвинок, В.А. Физические основы моделирования и проектирования реверсивных силовых приводов из материала с эффектом памяти формы / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, В.С. Феоктистов. – М.: Международный центр научной и технической информации, 1997. – 72 с.
- [9] А.С. 1486207 СССР. Устройство для обработки концов труб / Ломовской О.В. [и др.], опубл. 15.06.89, бюл. №22.

Поступила в редакцию 3/VIII/2006;
в окончательном варианте — 3/VIII/2006.

AN APPLICATION OF DEVICES WITH POWER GEAR FROM AN ALLOY WITH SHAPE MEMORY EFFECT TO JOINING–WELDINGS OF DETAILS OF PIPELINES IN SYSTEMS AND UNITS OF RAILWAY GAZ–TURBINE INSTALLATIONS

© 2006 O.V. Lomovskoj⁴ V.S. Feoktistov⁵ O.V. Feoktistova⁶

A highly effective resource-savings technological process of precision assembly of the pipelines, equipped by devices and a power drive based of shape memory effect and providing layer management of residual pressure in welded seams of pipelines is presented.

Paper received 3/VIII/2006.

Paper accepted 3/VIII/2006.

⁴Lomovskoj Oleg Vladislavovitch, Scientific Research Laboratory, Samara State Aerospace University, Samara, 443086, Russia.

⁵Feoktistov Vasily Sergeevitch, Samara State Academy of Railway Communications, Samara, 443066, Russia.

⁶Feoktistova Olga Vasiljevna (ovfeoktistova@bk.ru), Rolling-Stock Repairing Plant of Kyibyshev Railways, Samara, 443046, Russia.