

DOI: 10.12737/article_5c73fc3db37bc1.67872916

^{1,*}Санин С.Н., ¹Сапелин К.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: sanin.sn@bstu.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ГНУТЫХ ТРУБОПРОВОДОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Аннотация. Гнутые стальные трубопроводы большого диаметра получили широкое распространение в энергетике, нефтегазовой промышленности и других отраслях. В зависимости от предназначения трубопроводы используются для транспортировки различных по химическому составу и свойствам веществ и сырья. Технология производства труб давно хорошо отработана, однако некоторые конструктивные элементы трубопроводов не всегда могут быть изготовлены на должном уровне качества, что может приводить к сложностям при их сборке и монтаже или к нарушению геометрической формы трубопроводов. К таким конструктивным элементам относятся изгибы трубопроводов. Изгибы трубопроводов должны соответствовать множеству требований, в том числе герметичности и надежности, а также соответствию геометрической точности заданной в конструкторской документации (по толщине стенки, углу и радиусу изгиба и пр.) Большая часть проблем, проявляются на стадии изготовления труб, что обусловлено несовершенством применяемых технологических решений, а также несовершенством применяемых методов и средств контроля готовых гнутых труб. Существующие методы контроля параметров таких трубопроводов морально устарели, ограничивая точность контроля и его производительность. Исправить ситуацию можно лишь используя широкое внедрение в процессы контроля средств механизации и автоматизации. В настоящей статье приводится описание элементов концепции автоматического контрольного приспособления, разработанного авторами, и специально предназначенного для автоматизации процессов контроля готовых гнутых труб большого диаметра. Внедрение такого приспособления в производственный процесс будет способствовать повышению производительности контрольных операций, снижению их трудоемкости и гарантированному отсеиванию негодных гнутых трубопроводов.

Ключевые слова: гнутые трубопроводы, трубы большого диаметра, базирование, метод контроля, контрольное приспособление.

Введение. В энергетическом машиностроении, в химической промышленности, судостроении и прочих отраслях промышленности широко используются крупногабаритные стальные трубопроводы диаметром до 300 мм и более. Соединения таких трубопроводов между собой под углом, а также выполнение различных отводов от корпусных деталей, таких как котлоагрегаты, колонны или реакторы [1, 2], требуют применения изогнутых труб. Причем угол изгиба таких труб согласно ОСТ108.030.123-85 может находиться в пределах от 30° до 90°.

Изогнутые стальные трубы получают методами пластической деформации на специальных трубогибочных станках. При гибке стальных труб их материал подвергается растяжению в зоне выпуклости и сжатию в зоне вогнутости. В связи с этим изменяется толщина стенки в различных областях поперечного сечения изогнутой трубы. Независимо от всех современных технологий [1], применяемые при гибке труб, возникают дефекты, приводящие к невозможности дальнейшего использования готового изогнутого трубопровода по назначению. К этим дефектам относятся образование эллиптичности в зоне изгиба, превышающей допустимые пределы, отклонения

угла изгиба оси трубы, приводящее к нарушению последующей точности сборки агрегатов, в которые данные трубопроводы конструктивно входят, существенное утоньшение стенки трубы в зоне растяжения, а также образование гофрированной поверхности в зоне сжатия.

Для выявления основных геометрических дефектов гнутых трубопроводов и недопущения поступления бракованных изделий на сборку агрегатов применяют различные методы контроля, среди которых ведущая роль отводится методу плазирования. Однако производительность существующих методов контроля слишком низкая, что связано с необходимостью очень тщательной выверки контролируемой детали, а также требовательна к навыкам и работоспособности контролёров.

Описание метода контроля. Контроль качества изогнутой трубы должен производиться наружным осмотром и проверкой соответствия её профиля размерам, указанным на чертеже. Для контроля геометрических параметров изогнутого трубопровода следует предварительно принять в качестве базовой поверхности одно из прямолинейных плеч трубопровода. Как правило, в таком качестве выступает наиболее длинное из плеч,

которое в дальнейшем будем называть базовым. Этим плечом трубопровод должен быть сориентирован относительно средств измерений, применяемых для контроля (рис. 1).

Цилиндрическая труба длинного плеча будет выступать в качестве двойной направляющей базы, лишая изделие четырёх степеней свободы. Этого явно не достаточно для осуществления контроля угла изгиба и радиуса кривизны изогнутой части трубопровода. По условиям контроля необходимо обеспечить горизонтальность оси изогнутой части трубопровода. Для этого в качестве дополнительной базы следует выбрать нижнюю часть цилиндрической поверхности короткого плеча трубы, на которой следует рассматривать одну опорную базовую точку. И наконец, для правильного определения радиуса изгиба требуется ограничить перемещения объекта контроля вдоль оси длинного плеча. В этом случае в качестве базовой поверхности может выступать либо торец длинного плеча, либо боковая поверхность цилиндрической части короткого плеча (см. рис. 1).

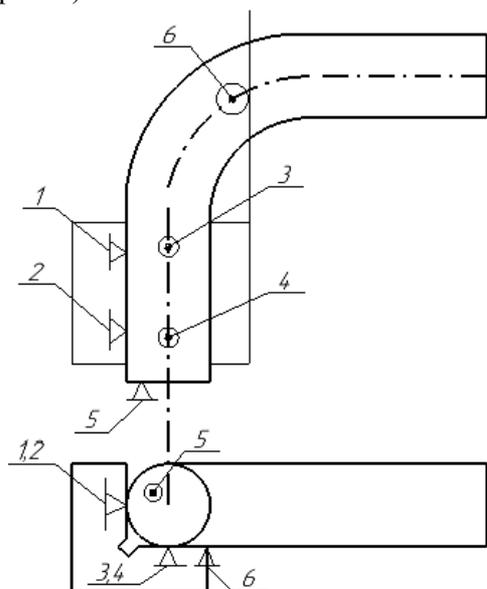


Рис. 1. Схема базирования изогнутого трубопровода при осуществлении контрольной операции

Контроль параметров готового изделия следует начинать с определения отклонения оси короткого плеча относительно оси длинного плеча (рис. 2). Принимая, что длинное плечо трубопровода установлено на опоры контрольного приспособления, обеспечивающего непрерывность горизонтального положения трубопровода, следует повернуть короткое плечо относительно оси длинного плеча до соприкосновения с опорой. Затем осуществить измерение отклонения по схеме, представленной на рис. 2.

Данная схема подходит для ручного измерения отклонения. Для автоматизации этого процесса можно использовать метод уровня (рис. 3).

Для этого следует использовать два датчика перемещения, расположенные ниже короткого плеча и выверенные по высоте. Для резистивных датчиков значения уровней H_1 и H_2 будут связаны с их выходными сигналами U_1 и U_2 следующими выражениями:

$$H_1 = k_1 U_1 \quad (1)$$

$$H_2 = k_2 U_2 \quad (2)$$

где k_1 и k_2 – функции преобразования резистивных датчиков.

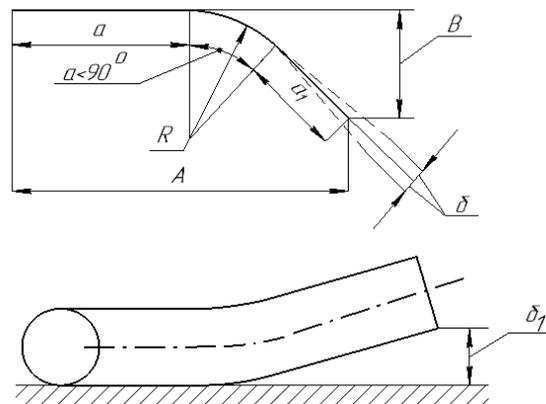


Рис. 2. Схема контроля отклонения короткого плеча

Тогда при известном значении базовой длины $L_{дб}$ величины углового φ и линейного δ_1 отклонений короткого плеча будут вычисляться с использованием выражений:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{H_2 - H_1}{L_{дб}}\right) \quad (3)$$

$$\delta_1 = L_к \cdot \tg(\varphi) = L_к \cdot \left(\frac{H_2 - H_1}{L_{дб}}\right) \quad (4)$$

где $L_к$ – длина короткого плеча трубопровода от оси вращения базового плеча (см. рис. 3);

H_1 и H_2 – положение чувствительных элементов датчиков контроля уровня (линейного перемещения).

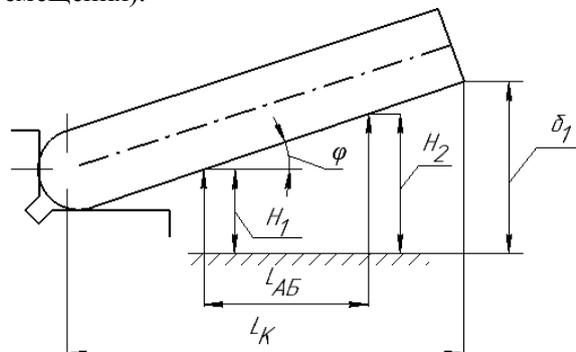


Рис. 3. Схема применения датчиков линейных перемещений для контроля отклонения короткого плеча:

Вторым этапом контроля следует рассмотреть контроль радиуса изгиба трубопровода.

Контроль следует осуществлять по выпуклой части изгиба, так как вогнутая часть часто имеет дефекты в виде волнистости ввиду неконтролируемой деформации металла при сжатии. Однако для учета правильного положения теоретической оси изогнутой части трубы, необходимо предварительно иметь данные об величине эллиптичности в поперечных сечениях данного участка (рис. 4).

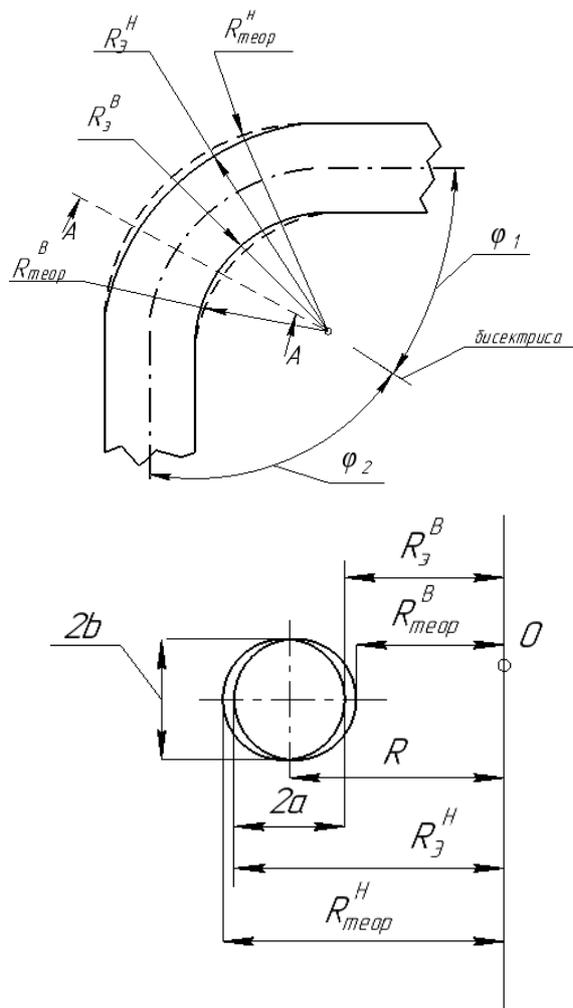


Рис. 4. Схема компенсации погрешности измерения радиуса изгиба трубопровода, связанной с образованием эллиптичности

Для осуществления контроля радиуса изгиба трубы следует воспользоваться схемой, представленной на рис. 5. Схема контроля предполагает наличие поворотной штанги 1, на конце которой укреплен измерительный механизм 2. Для минимизации погрешности измерения радиуса R центр поворота штанги 1 должен находиться на линии биссектрисы центрального угла α , определяющего измеряемую дугу. Для выполнения этого условия необходимо обеспечить правильное осевое положение контролируемого трубопровода относительно центра вращения штанги

либо предусмотреть механизм регулировки положения центра O .

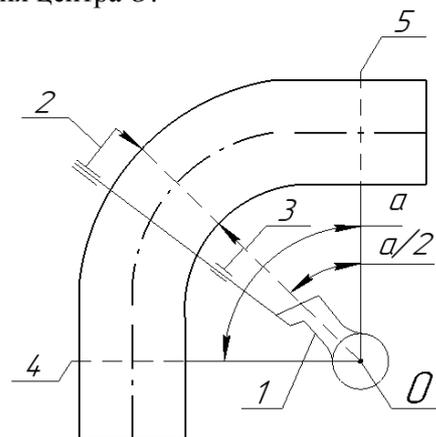


Рис. 5. Схема контроля радиуса изгиба трубы

Для измерения величины эллиптичности трубопровода и учета этого показателя при измерении радиуса кривизны $R_{теор}$ теоретической оси следует измерительный механизм снабдить датчиком 3 внутреннего действительного радиуса изгиба $R_{д}^{BH}$, который должен выполнять вспомогательную функцию измерения.

Для расчета радиуса кривизны R воспользуемся следующей методикой (см. рис. 4). Величина малой полуоси эллипса поперечного сечения трубы будет равна:

$$a = \frac{R_{д}^H - R_{д}^{BH}}{2} \quad (5)$$

где $R_{д}^H$ – действительный радиус выпуклой поверхности поперечного сечения трубы в месте изгиба.

Тогда значение радиуса R можно будет найти из выражения:

$$R = R_{д}^H - a = R_{д}^H - \frac{R_{д}^H - R_{д}^{BH}}{2} = \frac{R_{д}^H + R_{д}^{BH}}{2} \quad (6)$$

Если принять, что при изгибе трубы формируется правильная дуга окружности, что контроль её радиуса следует осуществлять по трём точкам. Особенности измерения радиуса кривизны поясняются схемой на рис. 6.

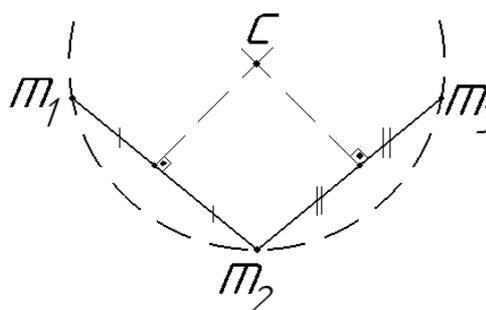


Рис. 6. Схема для определения радиуса кривизны дуги по трём принадлежащим ей точкам

Существует теорема определяющая, что если последовательно соединить двумя отрезками три точки, не лежащих на одной прямой, и провести через середины данных отрезков две перпендикулярные прямые, то пересечение прямых будет центром дуги проходящей через данные точки.

Из теоремы получим, что координаты точки центра дуги в каждом случае можно определить по формулам (5) и (6).

$$x_C = \frac{x_2^2 y_3 - x_3^2 y_2 + y_2^2 y_3 - y_3^2 y_2}{2x_2 y_3 - 2x_3 y_2} \quad (7)$$

$$y_C = \frac{x_3^2 x_2 - x_2^2 x_3 + y_3^2 x_2 - x_3^2 y_2}{2x_2 y_3 - 2x_3 y_2} \quad (8)$$

где x_2 и y_2 ; x_3 и y_3 – координаты точек m_2 и m_3 в локальной системе координат;

В том случае, когда форма кривой изгиба трубы не гарантируется, имеет смысл определения этой формы, используя метод наездника, представленный в литературе [3–6]. В этом случае проверяется вхождение радиусов кривизны каждого из проверяемых участков дуги в заданный допуск на радиус.

Методика и устройства для определения форм кривых поверхностей очень хорошо описаны в работах [3–6]. Аналогичное устройство, использующее три датчика линейных перемещений может быть использовано также и измерительном механизме устройства для контроля радиуса поверхности изогнутого трубопровода (рис. 7).

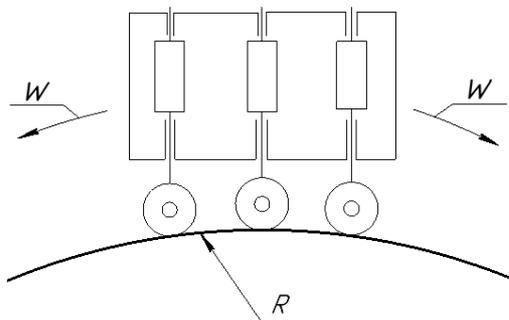


Рис. 7. Схема измерительного механизма с тремя датчиками линейных перемещений

Фактически контроль радиуса кривизны поверхности трубопровода сводится к определению радиусов элементарных дуг, длина которых в пределе стремится к нулю, при количестве дуг между точками начала и конца измерения стремящемся к бесконечности. В реальности количество таких измерений не должно быть очень большим, так как это потребовало бы существенного прироста в производительности вычислительных средств.

Длину дуги между точками начала m_1 и конца m_3 измерения (см. рис. 5) можно рассчитать по формуле:

$$L_{EF} = \frac{\pi R \alpha}{180} \quad (9)$$

Количество точек измерений определяется эмпирическим путем и зависит также от размера измерительной базы C между крайними точками касания датчиков линейных перемещений и измеряемой поверхности.

Предложенные методы контроля параметров изогнутых трубопроводов должны быть реализованы в одном общем контрольно-измерительном приспособлении, причем производительность контроля может быть существенно повышена, если это контрольное приспособление будет автоматически выполнять элементарные действия, связанные с осуществлением операции контроля, включая, базирование и закрепление изделия, вспомогательные и рабочие перемещения рабочих органов измерительного устройства, автоматическое снятие показаний измерительных датчиков и автоматическая обработка результатов измерения. Современные средства вычислительной техники позволяют легко реализовать подобное контрольное приспособление.

Рассмотрим общую концептуальную схему механической части автоматического контрольного приспособления (рис. 8).

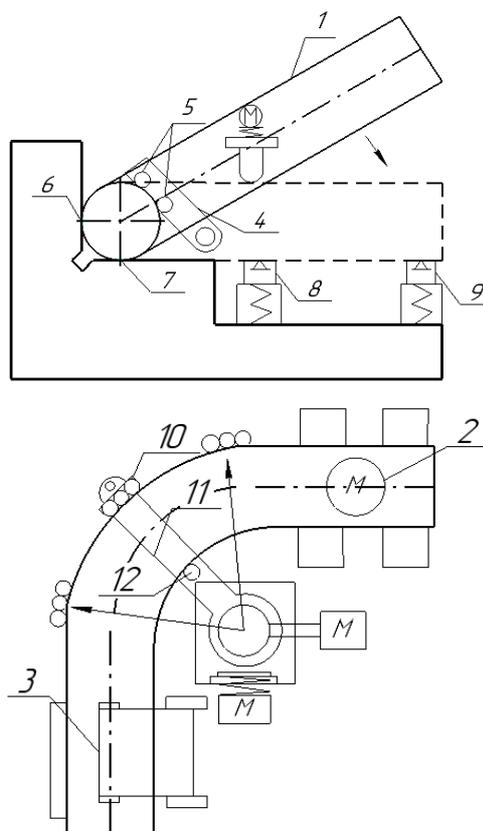


Рис. 8. Концептуальная схема контрольного приспособления

Изделие 1 своим базовым плечом устанавливается на опорные элементы приспособления 2 и 3 вручную или с использованием грузоподъемных средств. При этом максимально соблюдается

схема базирования, представленная на рис. 1. Изделие 1 закрепляется в приспособлении с использованием прижимного механизма 4, снабженного приводом принудительного вращения изделия 5. Усилие зажима должно быть достаточным для предотвращения отрыва изделия от опорных поверхностей 6 и 7 приспособления, однако допускать принудительный поворот трубопровода относительно оси его базового плеча. Второе плечо под собственным весом или с помощью механизма принудительного вращения 5 должно опуститься на дополнительную опорную поверхность 7. При этом нижняя образующая поверхности второго плеча должна соприкоснуться с рабочими поверхностями датчиков вертикальных линейных перемещений 8 и 9. Электрические сигналы с датчиков, поступающие на вход системы управления, будут служить для расчета величины углового и линейного отклонения оси короткого плеча трубопровода.

Для контроля радиуса кривизны выпуклой части изогнутого участка трубы используется измерительный механизм 10 с тремя датчиками линейных перемещений (рис. 7). Этот измерительный механизм устанавливается на конце кронштейна 11, снабженного приводами поворотного, радиального и поперечного перемещений. Радиальное перемещение позволит регулировать вылет кронштейна для правильной оценки исходного положения измерительного механизма в начальной точке контроля. Привод поворота позволит выполнять измерения радиусов кривизны вдоль всего изогнутого участка трубопровода от точки m_1 до точки m_3 . Привод поперечного перемещения кронштейна обеспечит правильную

настройку измерительного механизма с поиском оптимального центра поворота (m_1), лежащего на биссектрисе угла дуги измеряемого изогнутого участка (см. рис. 4). Электрические сигналы с измерительного механизма 10 будут подаваться на вход системы управления приспособления и использоваться для измерения величины радиуса кривизны, положения точек начала и конца измерений (перехода от линейного участка к изогнутому и обратно) и местных флуктуаций линии изгиба.

Для определения эллиптичности трубы в поперечных сечениях изогнутого участка, а также для перехода от контроля радиусов кривизны выпуклой части к контролю радиусов кривизны теоретической оси изогнутого участка будет служить дополнительный датчик 12 радиуса вогнутой части трубопровода, устанавливаемый на том же поворотном кронштейне 11 и имеющий отдельный привод радиальных перемещений.

Учитывая большое количество параметров, измеряемых предложенным автоматическим контрольным приспособлением, лучшим решением для организации системы управления будет являться применение микроконтроллерной техники [7–10]. Помимо автоматизации процесса контроля, ввода и обработки измерительной информации, управления исполнительными механизмами, такая система управления обеспечит гибкость работы и возможность расширения функций контрольного приспособления. [11]

Общая структура системы управления приспособления для контроля параметров гнутых трубопроводов представлена на рис. 9.

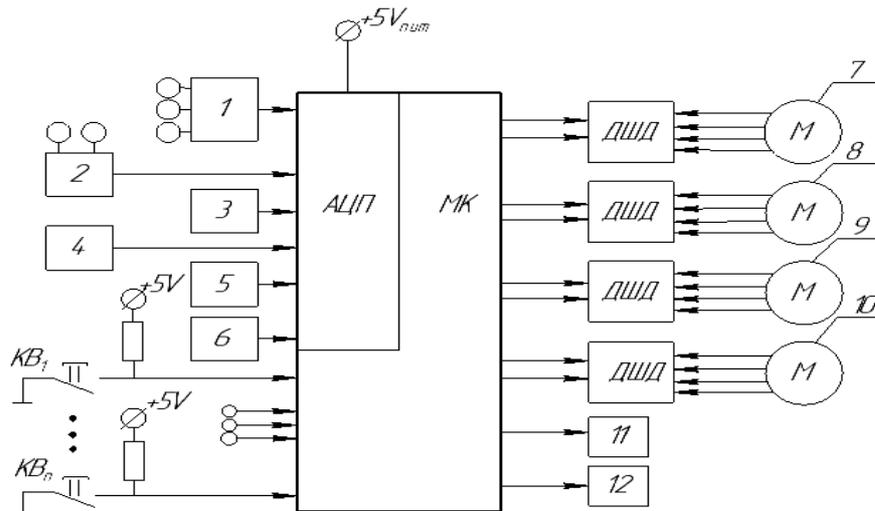


Рис.9. Структурная схема системы управления контрольным приспособлением: 1 – датчик радиуса, 2 – датчик уровня, 3 – датчик угла поворота измерительного механизма, 4 – датчик вылета измерительного механизма, 5 – датчик радиуса вогнутой поверхности трубы, 6 – датчик смещения оси поворотного механизма, 7 – привод вращения поворотного механизма, 8 – привод поступательного перемещения кронштейна поворотного механизма, 9 – привод выдвигания измерительного механизма, 10 – привод подъема измерительного механизма, 11 – привод принудительного вращения гнутой трубы, 12 – привод зажимного механизма.

Заключение. Приспособление для контроля параметров изогнутых крупногабаритных трубопроводов с полной или частичной автоматизацией, элементы концепции которой описаны в настоящей статье, является наилучшим способом повышения производительности и точности контроля готовых гнутых трубопроводов. Высокое качество контроля, которое обеспечит автоматическое контрольное приспособление, за счет снижения трудоёмкости и напряженности работ, а следовательно исключения влияния человеческого фактора предотвратит приёмку готовых изделий с браком и обеспечит полную собираемость соответствующих изделий, поставляемых заводом – изготовителем. При этом будут исключены возможные дополнительные затраты труда на пригоночно – регулировочные работы и затраты, сопутствующие им.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санин С.Н. Пивовар А. Разработка устройства для контроля точности цилиндрической формы поверхностей деталей, не имеющих стационарной оси вращения. Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации: сб. докл. V Междунар. Научн.-практ. Интернет-конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. С. 116–123.
2. Sergei N. Sanin, Nikolai A. Pelipenko Innovative Technology of large-size Products Manufacture // Journal of mining Institute. 2018, V.230. P. 185–189. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.185
3. Хуртасенко А.В., Шрубченко И.В., Тимофеев С.П. Методика определения формы наружной поверхности качения опор технологических барабанов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. №3. С. 85–89.
4. Маслова И.В., Хуртасенко А.В. Устройство для определения размеров и формы крупногабаритных объектов // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. Под ред В.С. Богданова. Белгород, 2011. С.189–192.
5. Патент РФ № 2007115816/22, 25.04.2007. Погонин А.А., Хуртасенко А.В., Чепчуров М.С. Устройство для измерения геометрических параметров формы крупногабаритных деталей вращения. Патент России № 66511.2007. Бюл. № 25.
6. Патент РФ 2002122502/28, 19.08.2002. Митюрин И.В., Бондаренко В.Н., Погонин А.А. Способ измерения геометрической формы цилиндрической поверхности тела вращения и его поведения в процессе эксплуатации и устройство для его реализации. Патент России № 2227268.2004.
7. Морозова А.Е. Концепция единой информационно-аналитической системы управления качеством технологических процессов производства / Молодёжь и научно-технический прогресс: Сборник докладов X международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 4 т. Т.1. // Губкин; Старый Оскол: ООО "Ассистент плюс", 2017. С. 404–407.
8. Морозова А.Е. Современные аспекты автоматизации контроля размеров в процессе управления качеством продукции // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород. 2017. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35108462> (06.10.2018).
9. Халенко В.О., Оникиенко Д.А. Обоснование выбора шагового привода для контрольно-сортировочного автомата/ Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции (15 ноября 2017 года) в 3-х томах, Т.3., Юго-Зап. гос. ун-т., Курск С.137–139.
10. Морозова А.Е. Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы контроля размеров/ Качество продукции, контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции (15 ноября 2017 года) в 3-х томах, Т.2., Юго-Зап. гос. ун-т., Курск. С. 68–70.
11. Wang J., Sadowski A.J., Rotter J.M., Influence of ovalisation on the plastic collapse of thick cylindrical tubes under uniform bending, International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2018. DOI: 10.1016/j.ijpvp. 2018.05.004.

Информация об авторах

Санин Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: osur-sns@yandex.ru; sanin.sn@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сапелин Константин Иванович, магистрант кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: kastasapelin@gmail.com; sapelin_ki@edu.bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Санин С.Н., Сапелин К.И., 2019

^{1,*}Sanin S.N., ¹Sapelin K.I.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: sanin.sn@bstu.ru

AUTOMATION CONTROL OF LARGE DIAMETER BENT PIPELINES

Abstract. Large diameter bent steel pipelines are widespread in the energy, oil, gas and other industries. Pipelines are used for transportation of substances and raw materials with various chemical composition and properties. The production technology of pipes is well established for a long time. However, some structural elements of pipelines are not always produced at the proper quality. This leads to difficulties in assembling, installing or geometric shape violation of pipelines. Such structural elements include pipe bends. Pipe bends must meet a variety of requirements, including tightness and reliability, as well as compliance with geometric accuracy specified in the design documentation (for wall thickness, angle, bend radius, etc.). Most of the problems arise during the pipe manufacture due to the imperfection of technological solutions, as well as the imperfection of applied methods and means to control the finished bent pipes. Existing methods for monitoring the parameters of such pipelines are obsolete, it limits the accuracy of measurement and performance. The widespread introduction of mechanization and automation tools into the control processes can rectify the situation. The article describes the concept of an automatic control device developed by the authors and specifically designed for automating the control processes of finished large diameter bent pipes. The introduction of such a device in the production process will contribute to improving the performance of control operations, reducing their labor intensity and guarantee screening of unsuitable bent pipelines.

Keywords: bent pipelines, large-diameter pipes, basing, control method, control device.

REFERENCES

1. Sanin S.N. Pivovarov A. Development of a device for controlling the accuracy of the cylindrical shape of surfaces of parts without a stationary axis of rotation. Actual problems of quality management and certification: Sat. report V Intern. Scientific - practical Internet conf. Belgorod, Publishing house of BSTU., 2013., pp. 116–123.
2. Sergei N. Sanin, Nikolai A. Pelipenko Innovative Technology of large-size Products Manufacture/ Journal of mining Institute. 2018, V.230, pp. 185 - 189. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.185
3. Hurtasenko A.V., Shrubchenko I.V., Timofeev S.P. Method of determining the shape of the outer surface of rolling bearings technological drums. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 2015, no. 3, pp. 85–89.
4. Maslova I.V., Khurtasenko A.V. A device for determining the size and shape of large-sized objects. Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials: intercollegiate collection of articles. Belgorod, 2011, pp. 189–192.
5. Pogonin A.A., Khurtasenko A.V., Chepchurov M.S. Device for measuring the geometric parameters of the form of large-sized parts of rotation. Patent RF, no. 2007115816/22, 2007.
6. Mityurin I.V., Bondarenko V.N., Pogonin A.A. The method of measuring the geometric shape of the cylindrical surface of the body of revolution and its behavior during operation and device for its implementation. Patent RF, no. 2002122502/28, 2004.
7. Morozova A.E. The concept of a unified information-analytical system of quality management of technological production processes. Youth and scientific and technical progress: Collection of reports of the X international scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. Stary Oskol. Assistant Plus LLC, 2017, pp. 404–407.
8. Morozova A.E. Modern aspects of automation of size control in the process of product quality control. International scientific and technical conference of young scientists BSTU V.G. Shukhov. Belgorod, 2017. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35108462> (accessed 06.10.2018).
9. Khalenko V.O., Onikienko D.A. Justification of the choice of the step drive for the control and sorting machine. Product quality: control, management, promotion, planning: a collection of scientific papers International Youth Scientific and Practical Conference in 3 volumes (15 november 2017), vol. 3. Kursk, Southwestern State University Publ., pp. 137–139.
10. Morozova A.E. Algorithmic support of the automated system of size control. Product quality, control, management, enhancement, planning: collection of scientific papers of the International youth scientific and practical conference in 3 volumes (15 november 2017), vol. 2. Kursk, Southwestern State University Publ., pp. 68–70.
11. Wang J., Sadowski A.J., Rotter J.M., Influence of ovalisation on the plastic collapse of thick

cylindrical tubes under uniform bending, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2018. DOI: 10.1016/j.ijvpv.2018.05.004.

Information about the authors

Sanin, Sergej N. PhD, Assistant professor. E-mail: osup-sns@yandex.ru; sanin.sn@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sapelin, Konstantin I. Master student. E-mail: kastasapelin@gmail.com; sapelin_ki@edu.bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2018

Для цитирования:

Санин С.Н., Сапелин К.И. Автоматизация контроля гнутых трубопроводов большого диаметра // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 156–163. DOI: 10.12737/article_5c73fc3db37bc1.67872916

For citation:

Sanin S.N., Sapelin K.I. Automation control of large diameter bent pipelines. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 156–163. DOI: 10.12737/article_5c73fc3db37bc1.67872916