

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 62-523.8

doi: 10.30987/2658-6436-2023-3-32-41

О ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ РАЗДЕЛКИ ПОД СВАРКУ ОТВОДА ГНУТОГО

Михаил Сергеевич Чепчуров¹, Михаил Владимирович Прокопов²,
Александр Васильевич Кириченко³

^{1,2,3} Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,

г. Белгород, Россия

¹ avtpost@mail.ru

² prokopovmihail@mail.ru

³ cool.ahsas@ya.ru

Аннотация. Предложен авторский вариант подготовки к механической обработке торцов отвода крутоизогнутого под сварку. Свои исследования авторы строят, опираясь на требования нормативных документов, регламентирующих геометрические и технические характеристики изделия. Авторы предлагают свой, обоснованный в работе, вариант измерения отводов крутоизогнутых, с дальнейшим проведением механической обработки по разработанному алгоритму. Данный алгоритм позволяет выполнить сравнительную оценку реальных геометрических показателей заготовки, полученных в результате измерения, с нормативными данными в государственных стандартах. Результаты, приведенные в работе, могут быть полезны не только исследователям, выполняющим аналогичные работы, но и инженерам на производстве, занятым автоматизацией процессов контроля и диагностики, а также выполнением обслуживания и ремонта оборудования.

Ключевые слова: отвод крутоизогнутый, роботизированное измерение, роботизированная обработка, алгоритм, сравнение, оценка

Для цитирования: Чепчуров М.С., Прокопов М.В., Кириченко А.В. О подготовительной операции роботизированной разделки под сварку отвода гнутого // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2023. №3 (21). С.32–41. doi: 10.30987/2658-6436-2023-3-32-41.

Финансирование: статья подготовлена в рамках реализации Федеральной программы подготовки университета «Приоритет 2030», с использованием оборудования на базе центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Original article

Open Access Article

ON THE PREPARATORY OPERATION OF ROBOTIC WELDING OF A KNUCKLED BRANCH

Mikhail S. Chepchurov¹, Mikhail V. Prokopov², Alexander V. Kirichenko³

^{1,2,3} Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

¹ avtpost@mail.ru

² prokopovmihail@mail.ru

³ cool.ahsas@ya.ru

Abstract. The author's variant of preparing for machining the ends of the knuckled branch for welding is proposed. The authors build their research based on the normative document requirements regulating the geometric and technical characteristics of the product. The authors propose their own option, substantiated in the work, for measuring the knuckled branches with further machining according to the developed algorithm. This algorithm allows performing a comparative assessment of the real geometrical parameters of the workpiece resulting from the measurement with the normative data in the state standards. The findings presented in the paper can be useful not only

for researchers performing similar work, but also for production engineers involved in automating control and diagnostic processes, as well as maintaining and repairing equipment.

Keywords: knuckled branch, robotic measurement, robotic machining, algorithm, comparison, assessment

For citation: Chepchurov M.S., Prokopov M.V., Kirichenko A.V. On the Preparatory Operation of Robotic Welding of a Knuckled Branch. Automation and modeling in design and management, 2023, no. 3 (21). pp. 32-41. doi: 10.30987/2658-6436-2023-3-32-41.

Funding: The article was prepared as part of implementing the Federal University Training Programme "Priority 2030", using the equipment based on the High Technology Centre of Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov.

Введение

Отводы крутоизогнутые применяются в трубопроводных системах АЭС и ТЭС. Большой процент брака подобных отводов, не позволяет обеспечить низкую себестоимость конечной продукции, ввиду отсутствия надёжных методов и способов базирования при формировании траектории перемещения режущего инструмента, что делает повышение эффективности производства отводов актуальной задачей на предприятиях, занятых выпуском деталей трубопроводов для АЭС и ТЭС [9, 10].

Отводы должны иметь правильную геометрию и размеры, соответствовать требованиям по радиусу и углу гибки, не превышать величину отклонения от перпендикулярности торцов, а также не превышать величину толщины стенки в месте расточки.

Основной проблемой получения необходимой геометрии мест под сварку является геометрия торца заготовки, получаемая методом протяжки через рогообразный сердечник.

Заготовка приходит на механическую обработку с различными толщинами стенки в растянутой и сжатой зонах в торцевом сечении (рис. 1).

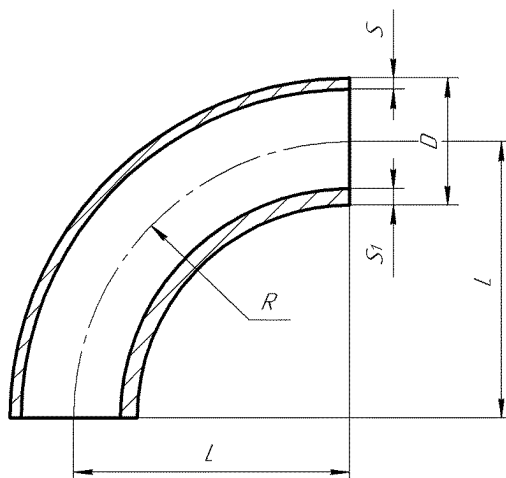


Рис. 1. Разнотолщинность заготовки перед механической обработкой под сварку:

D – наружный диаметр; L – габариты заготовки; R – радиус гибки; S и S_1 – толщина стенки в растянутой и сжатой зонах

Fig. 1. Variation in thickness of the workpiece before machining for welding:

D – outer diameter; L – dimensions of the blank; R – bending radius; S and S_1 – wall thickness in the stretched and compressed zones

В связи с этим перед механической обработкой под сварку необходимо произвести измерения толщин заготовки, и далее, при необходимости, сместить инструмент на необходимую величину, чтобы выдержать толщину стенки в месте расточки S_k (рис. 2).

Метод контактного контроля отводов гнутых с использованием в качестве щупа режущего инструмента заключается в том, что для контроля геометрических параметров отводов гнутых используется режущий инструмент в качестве щупа (рис. 3). Этот метод позволяет контролировать как внутренние, так и внешние поверхности отводов гнутых.

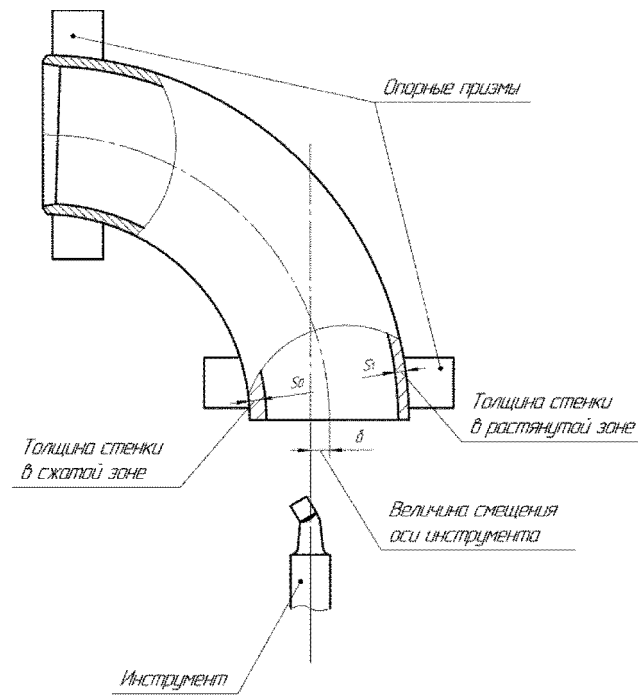


Рис. 2. Схема токарной обработки торцов отвода
Fig. 2. Scheme of turning the ends of the outlet

Методы и решения

Суть метода заключается в том, что режущий инструмент устанавливается в приспособление на фланце шарнирного манипулятора и перемещается вдоль поверхности отвода гнутого, соприкасаясь с ней. В процессе перемещения инструмент записывает значения координат и заносит их в систему управления оборудованием.

Для контроля внутренней поверхности отвода гнутого, используется фреза с определенным радиусом, которое перемещается вдоль внутренней поверхности отвода гнутого. При контакте со стенками отвода фреза смещается, что заносится в систему управления [1].

Для контроля внешней поверхности отвода гнутого, используется фреза, которая перемещается вдоль внешней поверхности отвода гнутого. При контакте фреза смещается, что также заносится в систему управления [2, 5].

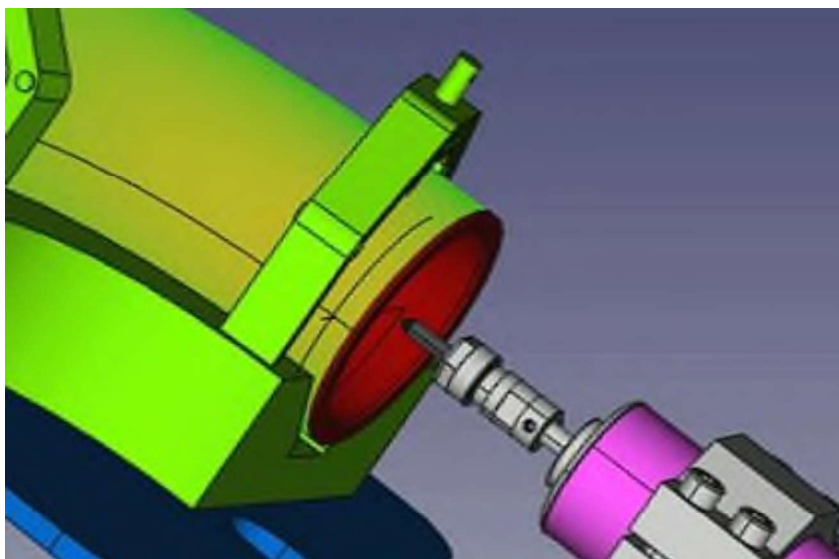


Рис. 3. Использование фрезы в качестве измерительного инструмента
Fig. 3. Using a cutter as a measuring tool

Данный метод контроля отводов гнутых с использованием в качестве щупа режущего

инструмента позволяет получить высокую точность и скорость контроля геометрических параметров отводов гнутых, реализуется он только в том случае, если в манипуляторе установлены датчики, фиксирующие соприкосновение инструмента и поверхности заготовки.

Для выполнения измерений выполняется предварительная калибровка инструмента в соответствии с инструкцией на систему управления роботом, используемый авторами для эксперимента робот KUKA agilus R1620 с контроллером KRC4 позволяет выполнить эту операцию.

Таким образом, система координат инструмента переносится из заданной точки системы координат TCP в конечную точку инструмента и расчеты ведутся от нее.

На рис. 4 представлены схемы определения торца заготовки или определения плоскости заготовки. Предполагается, что инструмент последовательно от V_1 к V_4 касается торца заготовки тем самым определяется расположение плоскости относительно оси инструмента.

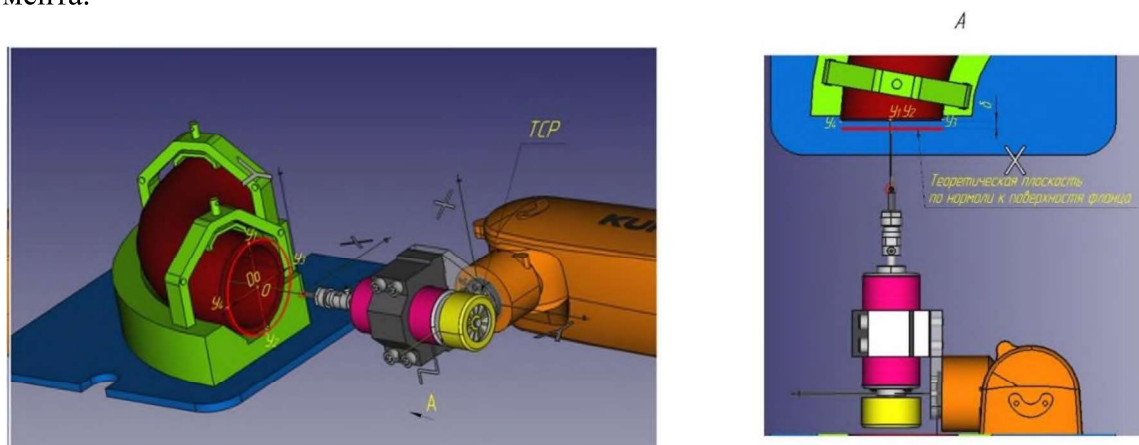


Рис. 4. Схема калибровки инструмента относительно торца заготовки
Fig. 4. Scheme of tool calibration relative to the end face of the workpiece

На рис. 5 представлена схема, где в качестве шарнирного манипулятора используется манипулятор с грузоподъемностью 16 кг для обработки малых диаметров. На фланце манипулятора располагается мотор-шпиндель, с установленной в нем фрезой.

Заготовка отвода закрепляется в призме, расположенной на основании заготовки, и прижимается к ней хомутами. При этом основание жестко закрепляется на столе или другой поверхности.

Вылет инструмента относительно фланца манипулятора – это расстояние между концом инструмента и плоскостью фланца манипулятора. Этот параметр может иметь важное значение при проектировании и эксплуатации манипулятора, поскольку он влияет на доступное пространство для работы инструмента и может ограничивать возможности выполнения определенных операций [3, 4].

Для установки допустимого вылета инструмента относительно фланца манипулятора следует руководствоваться требованиями конкретного оборудования и стандартами безопасности. Оптимальное значение вылета инструмента зависит от типа инструмента, его размеров и веса, а также от конструктивных особенностей манипулятора. Например, для использования тяжелых инструментов и обеспечения достаточной устойчивости манипулятора может потребоваться уменьшение вылета. Важно также учитывать возможные динамические нагрузки на инструмент и манипулятор в процессе работы, чтобы предотвратить возможность возникновения аварийных ситуаций.

Кроме того, при выборе допустимого вылета инструмента относительно фланца манипулятора необходимо учитывать тип и размеры заготовки, а также требуемую точность обработки. Если вылет инструмента слишком большой, это может привести к необходимости использования более мощных манипуляторов и более точных систем управления, что повышает стоимость оборудования. В то же время слишком маленький вылет может привести к трудностям при обработке заготовок большого размера [6, 7].

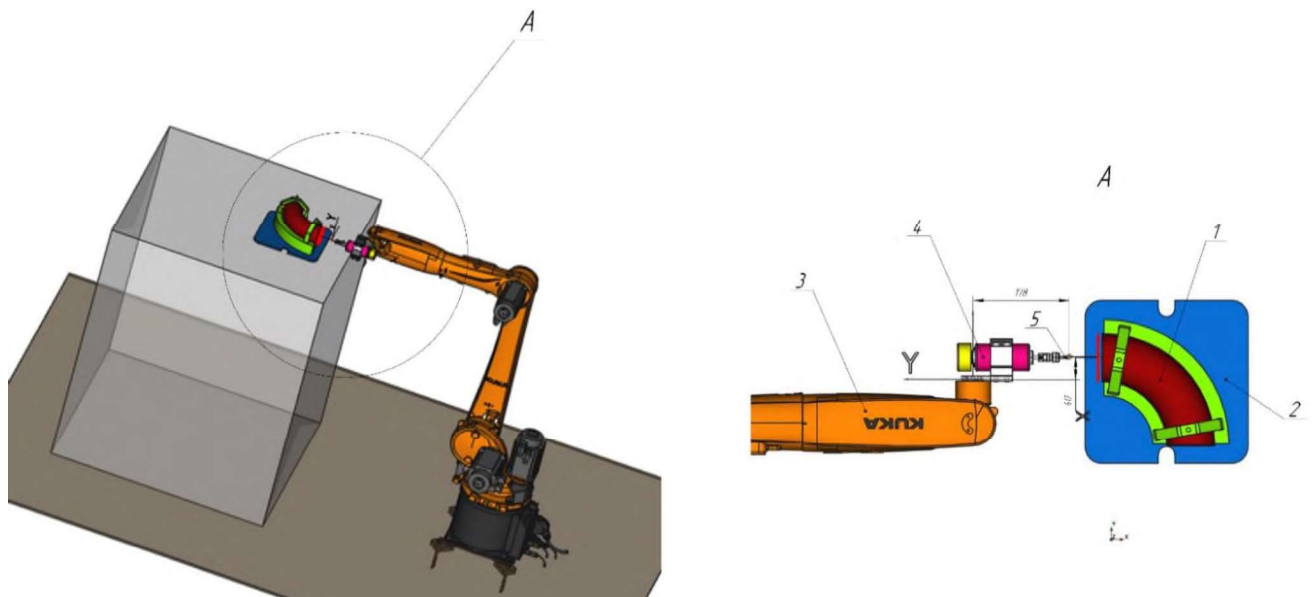


Рис. 5. Вылет инструмента относительно фланца манипулятора

1 – заготовка; 2 – приспособление; 3 – шарнирный манипулятор; 4 – мотор-шпиндель; 5 – инструмент
Fig. 5. Scheme of tool calibration relative to the end face of the workpiece
 1 – blank; 2 – fixture; 3 – articulated manipulator; 4 – motor spindle; 5 – tool

Кроме того, необходимо учитывать возможность коллизий между инструментом и другими элементами системы в процессе работы. Для этого может использоваться моделирование процесса обработки с помощью специализированного программного обеспечения, которое позволяет определить оптимальные значения параметров манипулятора и инструмента для каждой конкретной задачи.

На рис. 6 представлены геометрические модели траекторий обработки внутреннего и наружного диаметров. На основе найденного центра и диаметра генерируется траектории обработки.

Особенностью перемещения рабочего органа по окружности является то, что круговое движение рабочего органа выполняется без интерполяции, но при этом требуется создание вспомогательной точки на окружности [8].

Рассмотрим траекторию перемещения. Изначально в точке фреза перемещается в точку 2 – начало, при этом скорость перемещения в точку 2 плавно уменьшается до 0. Из точки 2 инструмент перемещается в точку 4. При этом радиус траектории определяется вспомогательной точкой 3, из точки 4 инструмент перемещается в точку 2 при этом радиус определяется точкой 5 [12, 13].

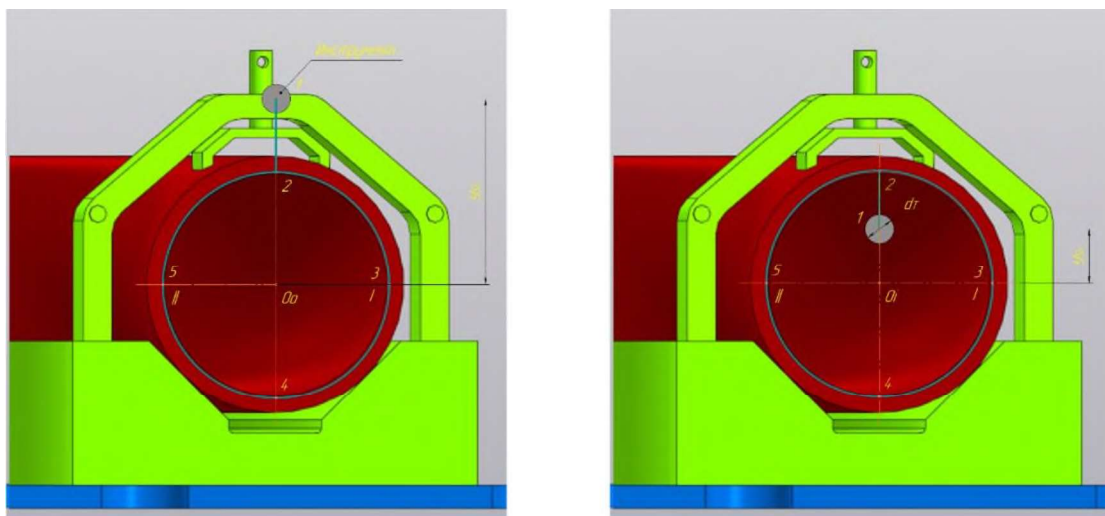


Рис. 6. Геометрические модели траекторий
Fig. 6. Geometric trajectory models

Таким образом формируется внешняя и внутренняя поверхности разделки под сварку.
Для внутренней:

$$Y_{so} > Y_{01} + d_T; \quad (1)$$

предпочтительно:

$$Y_{so} \approx Y_{01} + d_t + d_T, \quad (2)$$

где d_t – максимальная величина снимаемого припуска.

Для внешней:

$$Y_{si} > d_T; \quad (3)$$

предпочтительно:

$$Y_{si} \approx Y_{i1} + d_t + d_T. \quad (4)$$

Таким образом система координат инструмента переносится из заданной точки системы координат ТСР, в конечную точку инструмента и расчеты ведутся от нее.

На рис. 7 представлены схемы определения торца заготовки или определения плоскости заготовки. Предполагается, что инструмент последовательно, как говорилось выше, от точки U_1 к U_4 касается торца заготовки тем самым определяется расположение плоскости относительно оси инструмента. После чего инструмент устанавливается по нормали к этой плоскости для выполнения следующих измерений.

Координаты центра по внутреннему диаметру:

$$Y_{oi} = Y_{i1} - \frac{|Y_{i1}| + |Y_{i2}|}{2} + \frac{d}{2}; \quad (5)$$

$$X_{oi} = X_{i1} - \frac{|X_{i1}| + |X_{i2}|}{2} + \frac{d}{2}. \quad (6)$$

Координаты центра по внешнему диаметру:

$$Y_{00} = Y_{01} - \frac{|Y_{01}| + |Y_{02}|}{2} + \frac{d}{2}; \quad (7)$$

$$X_{00} = X_{01} - \frac{|X_{01}| + |X_{02}|}{2} + \frac{d}{2}. \quad (8)$$

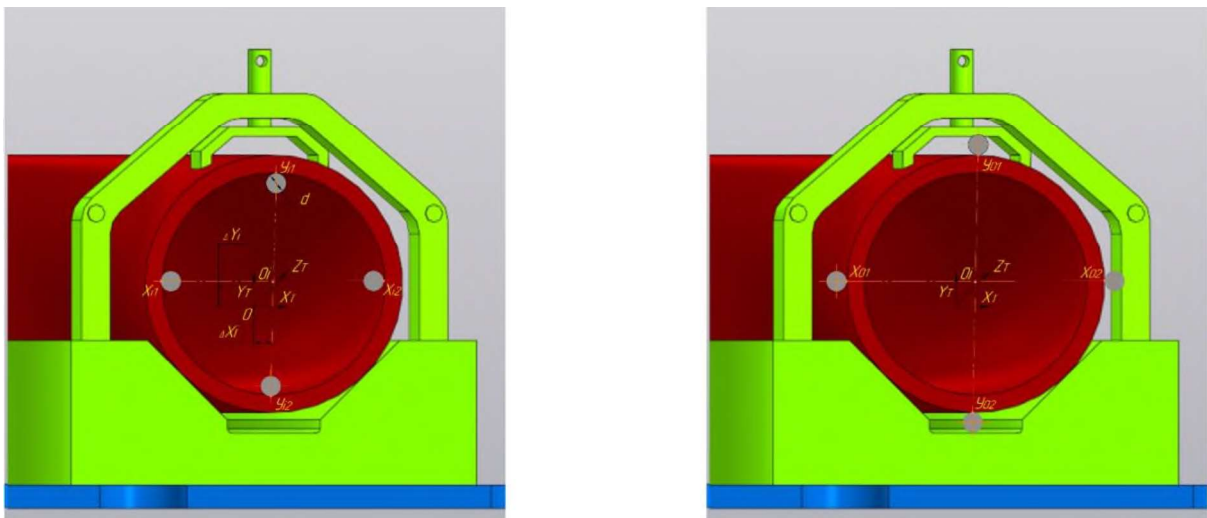


Рис. 7. Измерение внутреннего и наружного диаметра заготовки отвода
Fig. 7. Measuring the inside and outside diameter of a branch

Алгоритм измерения внутренней и внешней поверхности представлен на рис. 8.

Измерение внутренней поверхности

Измерение внешней поверхности

$CI[i]$ – координата
 внутренней окружности;
 $CI[1]$ - X_{j1} ;
 $CI[2]$ - X_{j2} ;
 $CI[3]$ - Y_{j1} ;
 $CI[4]$ - Y_{j2} ;

$CO[0]$ – координата
 наружной окружности;
 $CO[1]$ - X_{01} ;
 $CO[2]$ - X_{02} ;
 $CO[3]$ - Y_{01} ;
 $CO[4]$ - Y_{02} ;

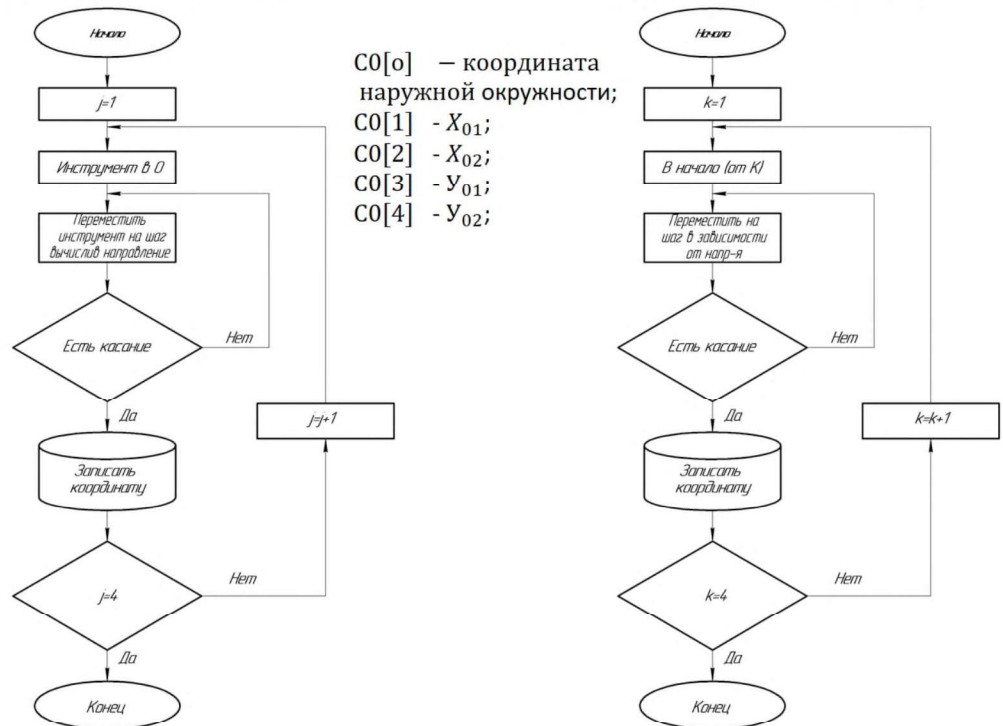


Рис. 8. Алгоритм измерения внутренней и внешней поверхности
Fig. 8. Algorithm for measuring the inner and outer surface

Пояснения к алгоритмам рис. 9: как только достигаем условия – сохраняем в переменной i значение шага, на котором было соблюдено условие, затем изменяем (увеличиваем) значение i на 1, и повторяем цикл поиска значений до координат для заготовки по условию 4.

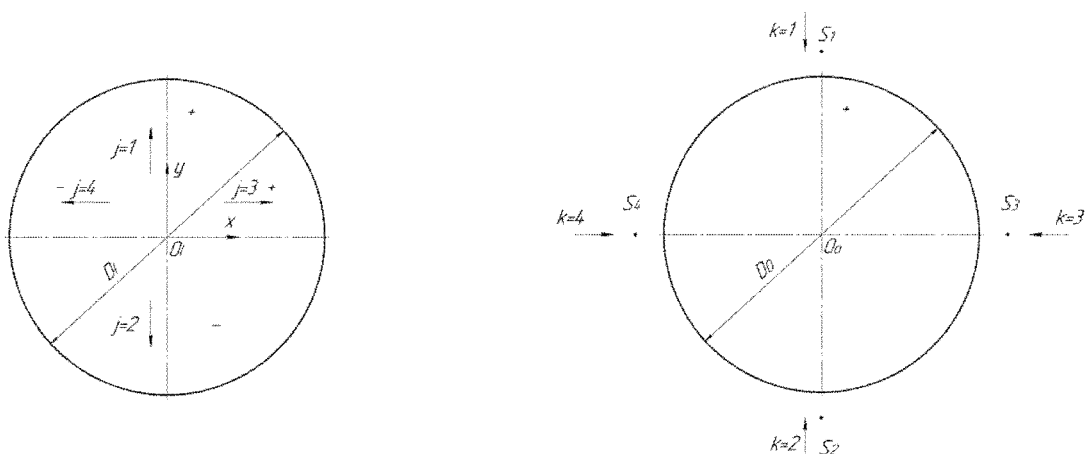


Рис. 9. Пояснения к алгоритмам
 D_o, D_v – наружный и внутренний диаметр заготовки соответственно
Fig. 9 Measuring the inside and outside diameter of a branch
 D_o, D_v – outer and inner diameter of the workpiece

Начальные точки:

$$S_1 \approx Y_{01} + \frac{d_T}{2} + \delta; \quad (9)$$

$$S_2 \approx Y_{02} - \frac{d_T}{2} - \delta; \quad (10)$$

$$S_3 \approx X_{01} + \frac{d_T}{2} + \delta; \quad (11)$$

$$S_4 \approx X_{04} - \frac{d_T}{2} - \delta. \quad (12)$$

Предпочтительно:

$$y_{so} \approx y_{01} + d_t + d_T. \quad (13)$$

где δ – гарантированный зазор между поверхностью инструмента и измеряемой поверхностью.

После определения допустимого диаметра и выбора инструмента необходимо определить центр места под сварку и сгенерировать траекторию обработки (рис. 10). Стоит отметить, что авторы, также использовали программу на языке KRL написанную в системе управления роботом.

```
&ACCESS RVP
&REL 1
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\ExpertVorgabe
&PARAM EDITMASK = *
DEF Trajectory( )

;- Kuka src file, generated by FreeCAD (https://www.freecadweb.org)
;- Thu Feb 9 00:42:28 2023

;----- definitions -----
EXT BAS (BAS_COMMAND :IN,REAL :IN ) ;set base to World
BAS (#INITMOV,0 ) ;Initialicing the defaults for Vel and so on

;----- main part -----
$VEL.CP = 1.000000 ; m/s ; m/s
LIN {X -1311.832,Y -152.916,Z 1391.700,A -145.000,B 0.000,C -0.000} ; Pt
$VEL.CP = 1.000000 ; m/s ; m/s
LIN {X -1324.220,Y -161.400,Z 1391.700,A -150.000,B -0.000,C 0.000} ; Pt1
$VEL.CP = 1.000000 ; m/s ; m/s
LIN {X -1324.220,Y -126.400,Z 1391.700,A -150.000,B -0.000,C 0.000} ; Pt2
$VEL.CP = 1.000000 ; m/s ; m/s
LIN {X -1319.946,Y -199.680,Z 1391.619,A -149.955,B -2.976,C -1.720} ; Pt3
$VEL.CP = 1.000000 ; m/s ; m/s
LIN {X -1318.692,Y -149.153,Z 1416.491,A -144.951,B -2.895,C -1.846} ; Pt4
$VEL.CP = 1.000000 ; m/s ; m/s
LIN {X -1318.692,Y -149.153,Z 1346.491,A -144.951,B -2.895,C -1.846} ; Pt5
$VEL.CP = 1.000000 ; m/s ; m/s
LIN {X -1296.692,Y -149.153,Z 1378.491,A -144.951,B -2.895,C -1.846} ; Pt6

;----- end -----
E
```

Рис. 10. Текст программ
Fig. 10. Program text

Обсуждение

Для определения траектории обработки мест под сварку необходимо учитывать толщину стенки отвода, требуемую точность обработки, а также технологические особенности. Определение траектории обработки зависит от толщин стенок в торцевом сечении заготовки. По этой причине авторами был проведен эксперимент с использованием отвода гнutoго диаметром 89 мм и робота, указанного в статье. На рис. 11 представлено фото, сделанное во время проведения эксперимента, с видеоматериалом измерений можно ознакомиться в презентации по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/hKZe/7XqwthXNV>.

В результате получен массив точек, который можно использовать для «восстановления» диаметра обрабатываемого торца отвода с использованием того же робота.

Заключение

Описанная авторами методика выполнения предварительных замеров заготовки отвода гнутого позволят в автоматическом режиме получить данные о геометрии торцов отвода, его расположения при использовании шарнирного манипулятора для съема припуска под сварку. Следует отметить, что робот, используемый авторами, имеет низкую грузоподъемность, что не позволяет выполнить обработку торца за один проход, по этой причине рекомендуется в реальных производственных условиях использовать манипулятор с грузоподъемностью, соизмеримой с силами, возникающими при механической обработке, или выполнять съём припуска за несколько проходов.

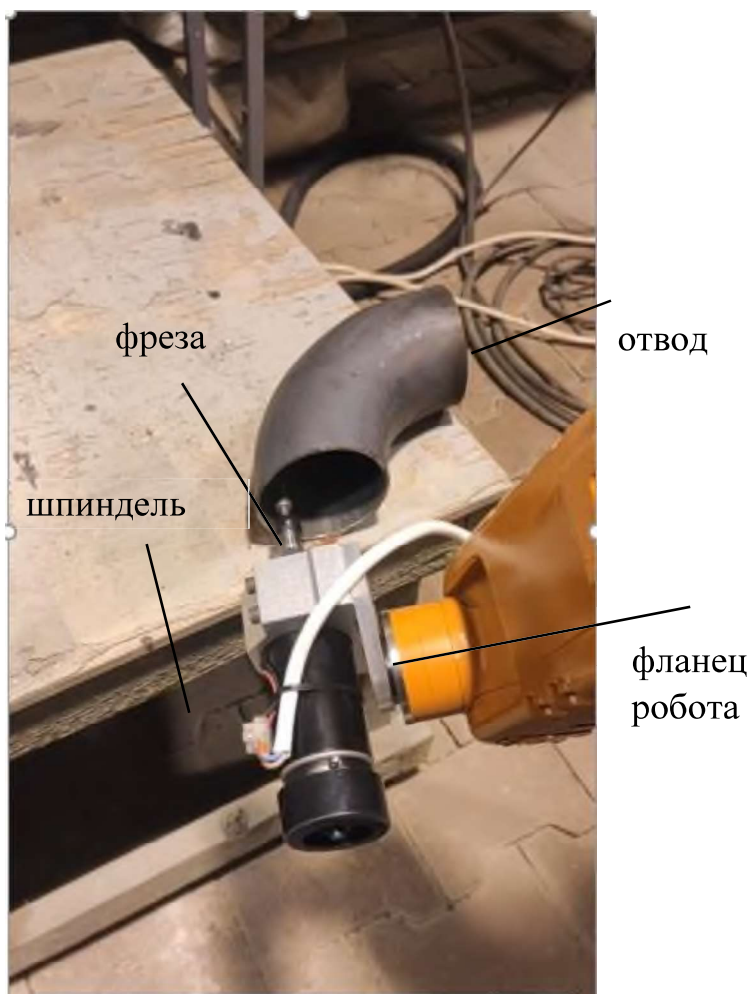


Рис. 11. Измерение внутреннего диаметра отвода фрезой (фрагмент видеозаписи)

Fig. 11. Measurement of the internal diameter of the branch with a milling cutter (video fragment).

Список источников:

1. Артемьев В.И., и др. «Автоматизированная система контроля параметров заготовок методом режущего инструмента.» Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2015. № 1 (647). с. 28-35.
2. Болтенкова О.М. Разработка процессов гибки тонкостенных крутоизогнутых патрубков проталкиванием и раздачей трубных заготовок: специальность 05.02.09 «Технологии и машины обработки давлением»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Болтенкова Оксана Михайловна. Воронеж. 2013. 221 с.
3. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Метод оперативной диагностики металлорежущего станка для обработки заготовок типа тел вращения // Контроль. Диагностика. 2013. № 9. С. 81-84.
4. Осипов А.Ф. Гибка труб в экспериментальном производстве // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2006. №1. С. 29-31.
5. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация параметров механической обработки крупногабаритных деталей: монография. Белгород: Изд-во БГТУ. 2008. 232 с.
6. Чепчуров М.С., Четвериков Б.С. Позиционирование изделия в процессе автоматизированного бесконтактного контроля формы его поверхности качения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. № 2. С. 99-103.

References:

1. Artemiev V.I., et al. Automated System for Monitoring the Workpiece Parameters Using the Cutting Tool Method. Journal of Mechanical Engineering. 2015;1(647):28-35.
2. Boltenkova O.M. Development of Bending Processes for Thin-Walled Steeply Bent Pipes by Pushing and Expanding Pipe Shells: Specialty 05.02.09 "Technologies and Machines for Pressure Treatment": Candidate Dissertation. Voronezh; 2013.
3. Gavrilin A.N., Moizes B.B. Method of Operational Diagnostics of a Metal-Cutting Machine for Processing Workpieces of the Type of Bodies of Revolution. Control. Diagnostics. 2013;9:81-84.
4. Osipov A.F. Pipe Bending in Experimental Production. Forging and Stamping Production. Metal Forming. 2006;1:29-31.
5. Chepchurov M.S. Control and Registration of Parameters of Mechanical Processing of Large-Size Parts. Belgorod: Publishing House of BSTU; 2008.
6. Chepchurov M.S., Chetverikov B.S. Positioning of Parts in the Automated Non-Contact Control of the Form of Its Rolling Surface. Bulletin of BSTU Named After V.G. Shukhov. 2016;2:99-103.

7. Четвериков Б.С., Одобеско И.А. Применение методов контроля геометрических параметров поверхностей, имеющих сложную форму // В сборнике: Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2018. С. 171-173.

8. ОСТ 34-10-418-90. Отводы крутоизогнутые. Конструкция и размеры. М.: Минпромэнерго России. 1997. 16 с.

9. ТУ 34-42-388-78. Детали, элементы и блоки трубопроводов атомных станций из коррозионно-стойкой стали на давление до 2,2 МПа (22 кгс/см).

10. ТУ 14-3Р-55-2001. Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов. Технические условия.

11. Corona E, Yield anisotropy effects on buckling of circular tubes under bending / E. Corona, L.-H. Lee, S. Kyriakides // Int. J. Solids and Structures. 2006. 43. P. 7099-7118.

12. A finite element method approach on linear wrinkling of lined pipe during bending / A. Hilberink, A.M. Gresnigt, L.J. Sluys // The Proceedings of 21 International Offshore and Engineering Conference. 2011. Vol. 2. P. 155-164.

13. Zhang H, Wang J, Zhang G, et al (2005) Machining with flexible manipulator: toward improving robotic machining performance. Proceedings, 2005 IEEE/ASME Int Conf Adv Intell Mechatronics 1127–1132. doi: <https://doi.org/10.1109/AIM.2005.151116>

7. Chetverikov BS, Odobesko IA. Application of Methods for Controlling the Geometric Parameters of Surfaces With Complex Shapes. In: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: Research, Development and Application of High Technologies in Industry: 2018. p. 171-173.

8. OST 34-10-418-90. Knuckled Branches. Construction and Dimensions. Moscow: Ministry of Industry and Energy of Russia; 1997.

9. TU 34-42-388-78. Parts, Elements and Units of Pipelines of Nuclear Power Stations From Corrosion-Resistant Steel for Pressure up to 2,2 MPa (22 kgf/cm²).

10. TU 14-3R-55-2001. Seamless Steel Pipes for Steam Boilers and Pipelines. Specifications.

11. Corona E., Lee L.-H., Kyriakides S. Yield Anisotropy Effects on Buckling of Circular Tubes Under Bending. International Journal of Solids and Structures. 2006;43:7099-7118.

12. Hilberink A, Gresnigt AM, Sluys LJ. A Finite Element Method Approach on Linear Wrinkling of Lined Pipe During Bending. Proceedings of the Twenty-First International Offshore and Engineering Conference; 2011;2. p. 155-164.

13. Zhang H, Wang J, Zhang G, et al. Machining with Flexible Manipulator: Toward Improving Robotic Machining Performance. In: Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Monterey: 2005. p. 1127-1132. doi: <https://doi.org/10.1109/AIM.2005.151116>

Информация об авторах:

Чепчуров Михаил Сергеевич

доктор технических наук, профессор Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова

Прокопов Михаил Владимирович

аспирант Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова

Кириченко Александр Васильевич

аспирант Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова

Information about the authors:

Chepchurov Mikhail Sergeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Prokopov Mikhail Vladimirovich

Postgraduate Student of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Kirichenko Alexander Vasilievich

Postgraduate Student of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.06.2023; одобрена после рецензирования 27.06.2023; принята к публикации 04.07.2023.

The article was submitted 07.06.2023; approved after reviewing 27.06.2023; accepted for publication 04.07.2023.

Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.