

ROBOTIC EXECUTION OF HOLES FOR WELDING IN LARGE-SIZED CYLINDRICAL BLANKS

Zrobotyzowane wykonywanie otworów montażowych w cylindrycznych wielkogabarytowych półfabrykatakach

Роботизированное выполнение отверстий под сварку в цилиндрических крупногабаритных заготовках

Asia GORELOVA, Mark KRISTAL,
Vladislav MARTYNENKO, Jurij BAZHENSKY

DOI: 10.15199/160.2019.3.2

Abstract: The design of the shell and tube heat exchanger includes a tube-like shell with holes to which an inlet and outlet pipes are welded. Radial and tangential holes are produced manually by means of plasma cutting with the use of specialized tools, which determines high laboriousness of heat exchangers production. An automatic device is proposed to reduce the laboriousness of this operation. To produce the hole in the heat exchanger shell, two reversible motions are superimposed: linear motion of the cutter along the longitudinal axis of the shell and the shell rotary motion. A mathematical model of the required cutter motion is proposed, which describes the relative trajectories of the plasma cutter and the shell in parametric form. To verify theoretical premises, a prototype of the device was produced using a 3D prototyping technology, a ball screw for the reversible linear motion of the cutter and a stepper motor for the reversible rotary motion of the shell. The shell is fixed by means of a collet chuck and rests on the pipe roller support.

Keywords: robotic execution, welding, cylindrical blanks

Streszczenie: Przedstawiono metodę przeznaczoną do budowy najkrótszych harmonogramów montażu produktów w liniach montażowych bez maszyn równoległych. Konfiguracja linii montażowej uwzględnia obecność buforów międzyoperacyjnych pomiędzy maszynami. Przepływ równocześnie montowanych produktów różnych typów jest jednokierunkowy. Ze względu na rozmiary rozwiązywanych problemów i związaną z tym złożoność obliczeniową metoda jest heurystyką. Jest to heurystyka relaksacyjna, w której wykorzystano model zadania programowania liniowego. Metoda dotyczy produktów wielowariantowych. Produkty danego typu mogą różnić się wariantami wykonania – specyficznymi cechami, uwzględniającymi wymagania odbiorców. Metodę wyróżnia także uwzględnienie planowanych przestoju maszyn, np. przeznaczonych na konserwację. Zaprezentowano wyniki eksperymentów obliczeniowych, za pomocą których oceniono jakość opracowanej metody. Długości harmonogramów wyznaczanych za pomocą przedstawionej metody porównano z długościami harmonogramów optymalnych, znanymi dzięki zastosowaniu modelu zadania programowania całkowitoliczbowego. Porównano także czasochłonność obliczeń.

Słowa kluczowe: heurystyka, relaksacja, linia montażowa, optymalizacja, szeregowanie operacji, programowanie liniowe

ВВЕДЕНИЕ

Среди различных конструкций нефтехимического оборудования имеется большое количество крупногабаритных изделий, диаметры цилиндрических обечаек которых варьируются в диапазоне 800...4000 мм, а толщины – 10...100 мм. Одной из операций при их производстве является изготовление центральных и тангенциальных отверстий под сварку с патрубками диаметром от 200...1000 мм. Эту операцию выполняют вручную с помощью плазменной резки и дополнительных приспособлений, что достаточно трудоёмко. Поэтому автоматизация процесса обработки отверстий под патрубки в заготовках корпусов ТА является актуальной задачей. В связи с серийным типом производства, необходимо, чтобы устройство, реализующее рассмотренную операцию, было способно к переналадке на

различные типоразмеры заготовок, к регулированию скорости резания, в зависимости от материала и толщины металла заготовки, а также к возможности исполнения, как центральных, так и тангенциальных отверстий (рис. 1).. Для снижения капитальных затрат целесообразна не полная, а частичная автоматизация, где вспомогательные переходы, такие как: установка заготовки относительно базирующих элементов, подвод инструмента к сечению заготовки, где должно быть выполнено отверстие, выставление рабочего зазора между поверхностью заготовки и торцом сопла газового резака, выполняют операторы.

Для минимизации количества приводов устройства предложено траекторию перемещения инструмента реализовать сложением двух реверсивных движений: резака вдоль образующей заготовки в плоскости осевого центрального продольного ее сечения и заготовки вокруг ее собственной оси.

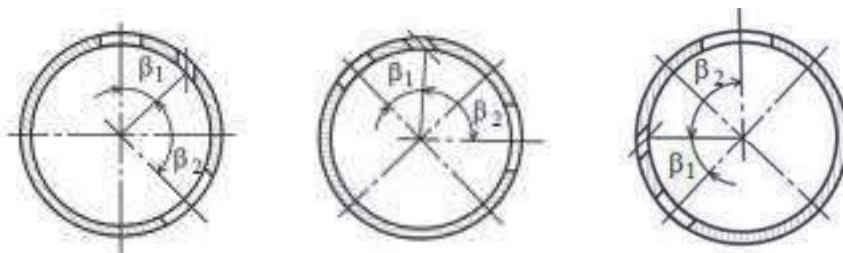


Рис. 1. Расположение отверстий в заготовке теплообменного аппарата

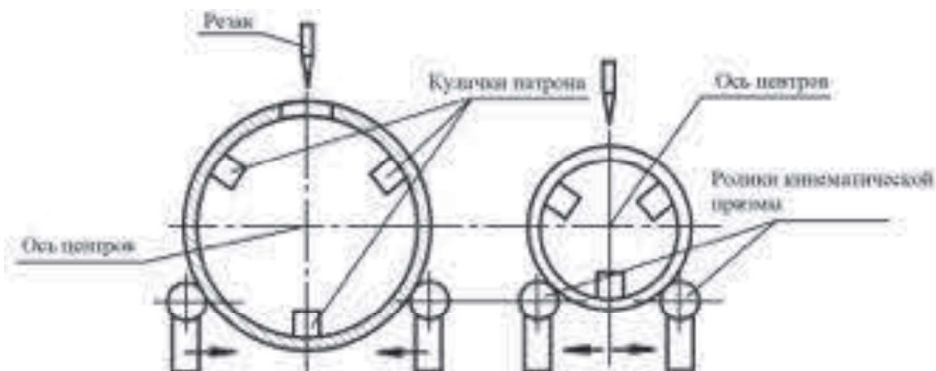


Рис. 2. Базирование обечаек заготовок различного диаметра

В зависимости от того, какое отверстие требуется вырезать, заготовку в начальный момент необходимо повернуть вокруг ее продольной оси таким образом, чтобы начальная точка выполнения отверстия лежала на центральной оси поперечного сечения обечайки. Для обработки заготовок разного диаметра с неизменным положением оси центров предложено использовать трехкулачковый патрон в сочетании с раздвигаемыми роликовыми опорами кинематической призмы (рис. 2).

Такая схема базирования позволяет перейти к формированию математической модели, описывающей относительное перемещение инструмента (резака) и заготовки.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ

В общем случае отверстие смещено на величину относительно вертикальной оси обечайки теплообменного аппарата (рис. 3).

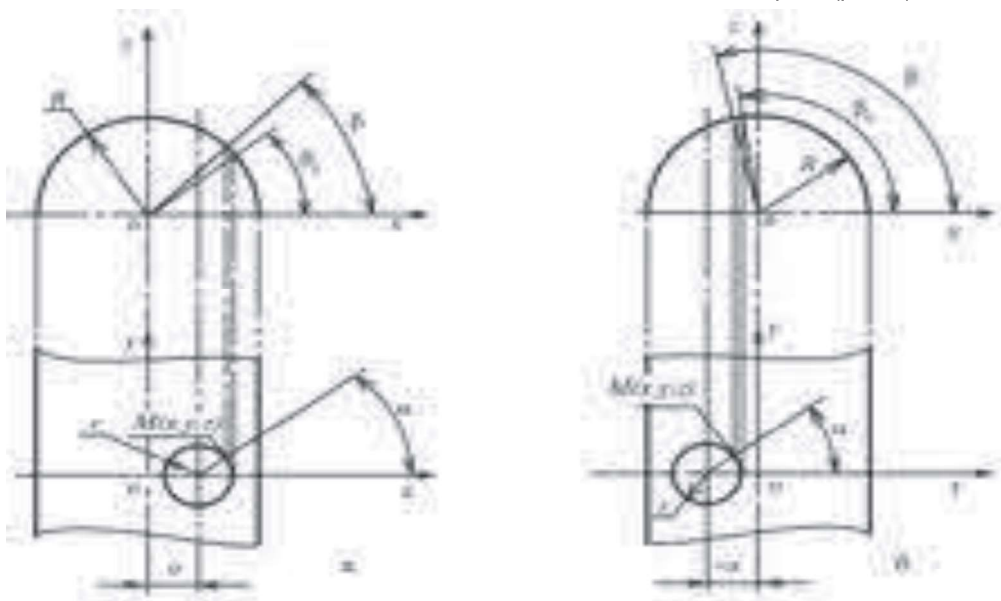


Рис. 3. Образование отверстия в заготовке: а, б – возможные положения тангенциальных отверстий относительно осевого центрального продольного сечения

Система уравнений связи движение в двух плоскостях zox и yox имеет вид [1]:

$$\begin{cases} x = a + r \cos \alpha, \\ y = r \sin \alpha, \\ z = \sqrt{R^2 - (a + r \cos \alpha)^2}. \end{cases} \quad (1)$$

$$z = x \operatorname{tg}(\beta) \quad (2)$$

где R – радиус корпуса теплообменного аппарата; r – радиус отверстия; a – смещение оси отверстия от вертикальной оси; β – угол, под которым в каждый момент времени находится секущая плоскость отверстия в плоскости zox ; α – угол, под которым в каждый момент времени находится секущая плоскость отверстия в плоскости yox .

В частном случае, когда центр отверстия находится на вертикальной оси сечения заготовки величина $a=0$, а система уравнений (1) приобретает вид:

$$\begin{cases} x = r \cos \alpha, \\ y = r \sin \alpha, \\ z = \sqrt{R^2 - r^2 \cos^2 \alpha}. \end{cases}$$

Тогда элементарные приращения координат z и y могут быть представлены как:

$$dz = \frac{-Rr \sin \alpha d\alpha}{\sqrt{R^2 - (a + r \cos \alpha)^2}}; \quad dy = r \cos \alpha d\alpha \quad (3)$$

Исходя из (3), элементарное приращение траектории относительного перемещения заготовки и газового резака:

$$dl = \sqrt{(dz)^2 + (dy)^2} = r \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{a}{R} + \frac{r}{R} \cos \alpha\right) \cos^2 \alpha}{1 - \left(\frac{a}{R} + \frac{r}{R} \cos \alpha\right)^2}} d\alpha \quad (4)$$

Тогда, с учетом того, что $\dot{\alpha} = \omega t$, из выражения (4) следует, что скорость перемещения резака вдоль траектории реза будет равна:

$$V = \frac{dl}{dt} = \frac{dl}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} = r\omega \sqrt{\frac{R^2 - (a + r \cos \alpha)^2 \cos^2 \alpha}{R^2 - (a + r \cos \alpha)^2}} \quad (5)$$

Поскольку выражение (5) представляет собой непрерывную функцию, то можно определить параметр ω , который в точке $\alpha=0$ приводит уравнение (6) к виду:

$$V = \pm r\omega.$$

Аналогичное выражение получаем при значении параметра $\alpha=0$ в выражении (3):

$$V = \frac{dy}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} = r\omega \cos \alpha \quad (6)$$

Разделив уравнение (4) на величину R , получим элементарное приращение угла β :

$$\frac{d\beta}{R} = \frac{d\beta}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} = \frac{r}{R} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{a}{R} + \frac{r}{R} \cos \alpha\right) \cos^2 \alpha}{1 - \left(\frac{a}{R} + \frac{r}{R} \cos \alpha\right)^2}} d\alpha \quad (7)$$

Тогда для угловой скорости изменения угла поворота заготовки β , получим:

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{d\beta}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} = \frac{r\omega}{R} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{a}{R} + \frac{r}{R} \cos \alpha\right) \cos^2 \alpha}{1 - \left(\frac{a}{R} + \frac{r}{R} \cos \alpha\right)^2}} \quad (8)$$

Полученные выражения (6) и (8) позволяет реализовать законы управления реверсивными движениями: линейным – резака, вращательным – обечайки цилиндрической заготовки.

Следовательно, полученные выражения позволяют разработать такой принцип управления процессом обработки отверстий, который обеспечит поддержание результирующей скорости V резака постоянной в автоматическом режиме.

МАКЕТ РОБОТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА.

Предложенный макет, изготовлен с применением 3D – прототипирования [2, 3]. Он содержит цанговый зажим, в который закреплена трубчатая заготовка, базирующаяся в кинематических призмах с возможностью реверсивного вращения вокруг его продольной оси. Модуль инструмента для плазменной резки имеет возможность продольного перемещения вдоль заготовки.

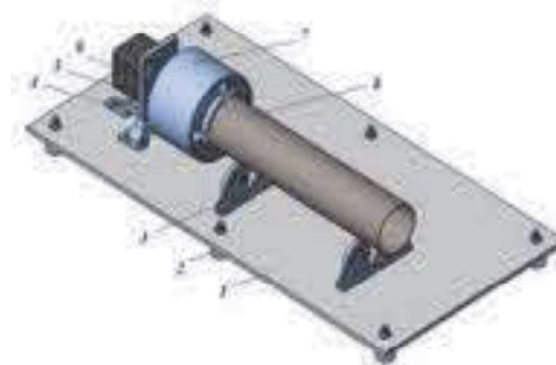


Рис. 4. Узел вращения заготовки: 1 – основание; 2 – регулируемые опоры; 3 – роликовые опоры; 4 – держатель для привода; 5 – привод; 6 – узел подшипниковый; 7 – цанговый зажим; 8 – заготовка

Установка содержит два привода: вращения и линейного перемещения, которые, работая совместно, позволяют получить требуемые траектории и скорости перемещения резака, необходимые для выполнения отверстий разного диаметра и различного положения на поверхности обечайки.

Узел реверсивного вращения заготовки, представлен на рис. 4.

Заготовку 8 закрепляют в цанговом зажиме (7) и приводят во вращение приводом (рис. 3). Узел вращательного движения (рис. 1) выполнен следующим образом. Основание (1) установлено на регулируемых опорах (2) для его выставления в горизонтальном положении. Трубчатая заготовка (8) устанавливается в цанговый зажим (7), закрепленный на валу привода (5), и опирается на роликовые опоры (3). Привод (5) установлен на кронштейне (4). Вал привода (3) установлен в подшипниковом узле (6).

Модуль продольного перемещения рабочего органа (рис. 5) установлен на опоры (3), основания (1). Привод (4) установлен в держателе (5). Через муфту (7) вращения от привода передается на шариковинтовую передачу (8), приводящую в движение по цилиндрическим направляющим (11), закрепленными в кронштейнах (6) и (13), узел рабочего органа (9). Оба кронштейна установлены на опорах (3). Вал шариковинтовой передачи (8) установлен в подшипниках (12). В макете, в качестве инструмента использован маркер (10) закреплённый в узле рабочего органа (9).

Работа описанного устройства смоделирована в инженерном программном комплексе, где для двух двигателей заданы законы движения и получена результирующая траектория движения (рис. 6). Реальный макет представлен на рис. 7.

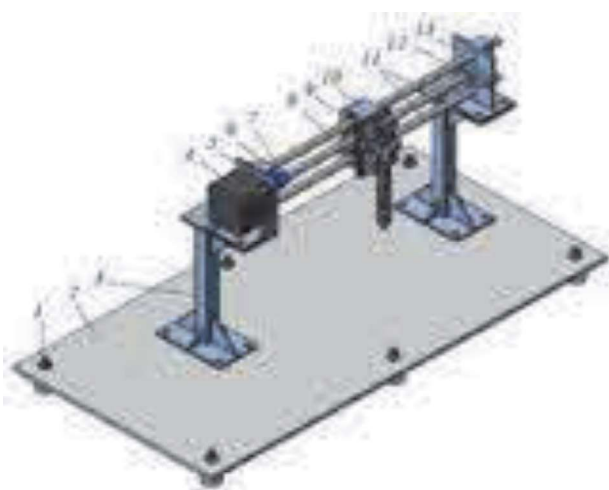


Рис. 5. Узел продольного перемещения рабочего органа макета роботизированного устройства для обработки отверстий: 1 – регулируемая опора; 2 – основание; 3 – опоры; 4 – привод; 5 – держатель для привода; 6 – узел подшипниковый; 7 – муфта; 8 – шпилька резьбовая; 9 – узел рабочего органа; 10 – маркер; 11 – направляющие цилиндрические; 12 – упор подшипниковый; 13 – крепление для подшипникового упора



Рис. 7. Разработанный и изготовленный макет экспериментальной установки

УПРАВЛЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКОЙ ОТВЕРСТИЙ

В зависимости от марки и толщины разрезаемого материала заготовки, технологами назначается требуемая скорость резания, зазор между заготовкой и резак. По величине скорости вычисляют параметр ω .

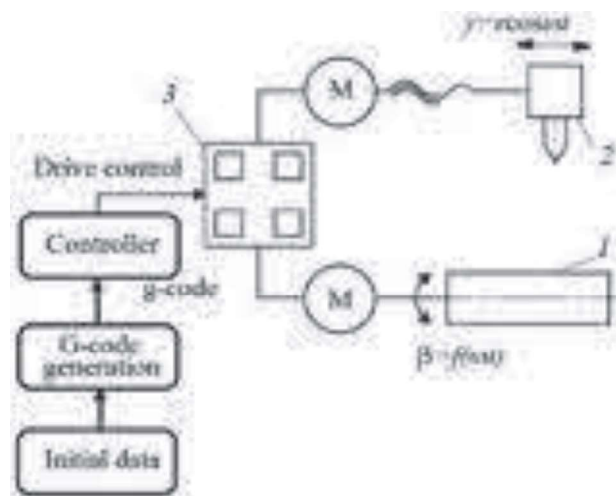


Рис. 8. Схема управления процессом обработки отверстия: 1 заготовка; 2 резак; 3 плата с драйверами

Затем, в соответствии с исходными данными: положением и размерами выполняемого отверстия, и полученными выше параметрическими зависимостями координат и скоростей перемещения инструмента, выходные параметры преобразуют в так называемый G-Code. G-Code – это набор команд, содержащий информацию о перемещениях рабочих органов, которая загружается в память контроллера. Далее контроллер передает управляющую программу драйверам исполнительных механизмов, которые приводят систему обработки отверстий в действие (рис. 8).

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Efimov (1965) Short course of analytic geometry Moscow (Наука)
 2. Yakof K.S.A., Zabudin N.F., Mat Sahat I., Mohd Adib M.A.H. (2018) Development of 3D Printed Heart Model for Medical Training. In: Hassan M. (eds) Intelligent Manufactur-ing & Mechatronics. Lecture Notes in Mechanical Engineering 108-116. doi:10.1007/978-981-10-8788-2_11
 3. 3D Printing Industry (2012) 3D Printing Processes: Free Beginner's Guide 3D Print-ing Industry. Available via DIALOG. <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/processes/> Accessed 10 Nov 2018
 2. Горелова Ася Юрьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета, 400005, Волгоград, проспект Ленина, 28, тел. +7 9177221501, e-mail: forasyoo@gmail.com
 3. Мартыненко Владислав Алексеевич – студент Волгоградского государственного технического университета, 400005, Волгоград, проспект Ленина, 28, тел. +7 927 554 4320. e-mail: thebestvlad95@yandex.ru
 4. Баженский Юрий Михайлович – канд. техн. наук, ведущий инженер кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета, 400005, Волгоград, проспект Ленина, 28, тел. +7 927 501 9475
-
1. Кристаль Марк Григорьевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета, 400005, Волгоград, проспект Ленина, 28, тел. +7 9093899432, e-mail: cysmar@mail.ru, паспорт 73 2059297



przemysł chemiczny

Najstarsze, liczące ponad 100 lat, polskie czasopismo chemiczne notowane na liście filadelfijskiej, adresowane do menadżerów, inżynierów i technologów w przemyśle

+ 12 wydań w roku
+ Baza ponad 6700 publikacji naukowych
+ 3500 bezpłatnych publikacji z lat 1986-2010 i wybranych z lat 2010-2018 dostępnych na www.sigma-not.pl

Kontakt: www.przemchem.pl
tel./fax: 22 818 51 71
tel. 22 818 72 98

Redakcja: przemyslchemiczny@sigma-not.pl
Prenumerata: prenumerata@sigma-not.pl
Reklamacje: reklamacje@sigma-not.pl