

УДК 338.364

doi: 10.32620/aktt.2019.4.16

Є. О. КРИЖИВЕЦЬ¹, О. Б. КІВІРЕНКО², В. В. КОМБАРОВ³, Є. О. АКСЬОНОВ¹¹ *Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків*² *ТОВ НВФ «Пластар», Золочів, Харківська обл.*³ *ТОВ НВФ «ХАІ-Інжиніринг», Харків*

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИРОБНИЦТВО ВІДВОДІВ СКЛОПЛАСТИКОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Перспективним напрямом виробництва трубопроводів високого тиску є застосування композитних матеріалів зі спеціальними властивостями. Характеристики композиційних виробів задаються схемами армування і застосуванням різних сполучних речовин. Стабільність характеристик міцності істотно залежить від стабільності процесу укладання армуючих волокон. Розробка автоматизованих технологічних систем виробництва, які забезпечують стабільність процесу, є актуальною задачею. Розглянуто спосіб виготовлення відводів склопластикових трубопроводів методом намотування на розбірну оправку попередньо просоченої стрічки. Для реалізації такого способу вирішені задачі розробки технологічного устаткування, обладнання та методів налагодження. Запропоноване рішення забезпечує формоутворення відводу від внутрішньої поверхні. Кінематична схема обладнання реалізує обертання укладальника стрічки навколо осі поперечного перерізу оправки і поздовжньо-кутове переміщення оправки відносно укладальника, що забезпечує можливість циліндричного і спірального укладання стрічки. Описана установка намотування відводів, що представляє собою трьохосьовий верстат з ЧПК, який реалізує запропоновану схему. Обертання катушок зі стрічкою навколо оправки забезпечується порожнистою поворотною віссю – укладальником. Переміщення оправки відносно укладальника забезпечується її встановленням на рухомій платформі. Відповідно до запропонованого способу виготовлення відводу, зовнішня поверхня розбірної оправки забезпечує формування внутрішньої поверхні відводу, включаючи приєднувальні-стиківі поверхні. Сформульовано правила вибору поверхонь роз'єму оправки, що забезпечують її виймання з виготовленого відводу. Розроблено спосіб програмування операції намотування. Наведено методичку визначення параметрів керуючої програми системи ЧПК, яка задає структуру укладання стрічки і товщину стінки відводу. Описана процедура налагодження операції виготовлення відводу, що полягає в зміні взаємного положення елементів установки і пристроїв закріплення оправки. Застосування традиційних для систем ЧПК підходів з налаштування систем координат забезпечує точність встановлення початкового положення не гірше 0,1 мм.

Ключові слова: ЧПК; склопластиковий відвід; розбірна оправка; технологічне забезпечення; автоматизоване виробництво.

Вступ

В даний час композитні матеріали використовуються в багатьох областях, зокрема для виготовлення трубопроводів [1, 2]. Вони поєднують характеристики міцності і корозійної стійкості завдяки застосуванню у виробництві різних сполучних речовин в поєднанні зі схемами армування матеріалу [1 – 4]. Однак, використання при виробництві елементів трубопроводів неавтоматизованого обладнання не дозволяє отримати необхідну стабільність характеристик композиційного матеріалу. У світовій виробничій практиці широко поширене застосування автоматизованого обладнання [5 – 8]. Однак розглянуті методи автоматизації та способи програмування операцій намотки орієнтовані на серійне виготовлення деталей з композитних матеріалів [6 – 9]. Застосування цих методів при відпрацюванні технології намотування в одиничному і дослідному виробництві призводить до деяких складнощів.

Зокрема, відсутня можливість корегування безпосередньо в ході виконання програми параметрів процесу, таких, як швидкість і крок укладання стрічки. У зв'язку з цим розробка автоматизованої технологічної системи намотування кутових відводів з можливістю корегування технологічної операції є актуальною задачею.

В роботі запропоновано спосіб автоматизованого виготовлення склопластикових кутових відводів методом намотування на розбірну оправку попередньо просоченої стрічки на обладнанні з ЧПК.

1. Постановка задачі

Основним функціональним призначенням трубопроводів є транспортування робочого тіла (рідини). Робоче тіло може транспортуватися під високим тиском і бути хімічно активним або агресивним (кислоти, луги, розчини солей). До трубопроводів висуваються вимоги щодо забезпечення міцності,

герметичності, мінімального опору і корозійної стійкості. Забезпечення мінімального опору передбачає необхідність формування гладкої внутрішньої поверхні трубопроводів, включаючи їх фасонні частини (відводи, трійники). Міцність визначається в першу чергу структурою укладання волокна. Здатність матеріалу трубопроводу зберігати герметичність забезпечується структурою формування шарів з різним наповненням сполучною речовиною. Необхідність виконання з'єднань і їх герметизації передбачає формування внутрішніх стикових поверхонь відводів заданої геометрії, таких, як конічні і різьбові частини. Корозійна стійкість забезпечується застосуванням відповідних сполучних речовин.

Виготовлення фасонних частин трубопроводів (відводів) способом формування виробу від внутрішньої поверхні дозволяє задовольнити перелічені вимоги [8]. Запропоновано реалізувати цей спосіб намотуванням попередньо просоченої стрічки на розбірну оправку без використання лейнера [7], що спрощує технологічне оснащення для виробництва відводів. При цьому геометричні характеристики зовнішньої поверхні оправки наслідуються внутрішньою поверхнею виробу, що виготовляється. Намотування попередньо просоченої стрічки спрощує вирішення задачі формування необхідної структури укладання волокна і структури шарів, що забезпечують герметичність. Стабільність міцності істотно залежить від стабільності процесу укладання армуючих волокон, що реалізується застосуванням автоматизованих технологічних систем виробництва.

Таким чином, метою даної роботи є розробка технологічного забезпечення автоматизованого виробництва відводів склопластикових трубопроводів на основі застосування обладнання з ЧПК.

2. Кінематична схема установки намотування відводів

Для створення кінематичної схеми установки потрібно визначити переміщення робочих органів, що необхідні при виготовленні деталі – намотуванні відводу. При програмному управлінні обладнанням прийнято розглядати переміщення інструмента відносно деталі, що виготовляється, незалежно від фактичних переміщень елементів конструкції верстата. В якості інструмента в установці намотування відводу розглядається стрічка. Отже, при управлінні установкою необхідно розглядати переміщення намотувального вузла зі стрічкою відносно оправки.

Для створюваної установки запропоновано використовувати кінематичну схему, в якій система координат побудована на базі стандарту DIN66217. У програмному керуванні з шести базових осей використовуються осі А, Y, В (рис. 1).

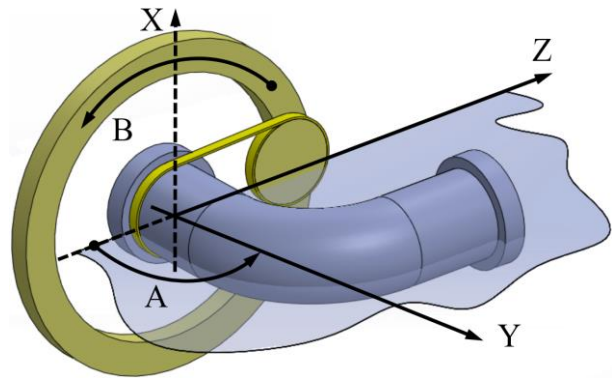


Рис. 1. Розташування осей кінематичних переміщень органів установки

Вісь Y відповідає лінійному переміщенню укладальника, є позиційною і програмується в мм. Фізично рух по осі Y реалізується лінійним переміщенням оправки, закріпленої на рухомій платформі, відносно укладальника.

Поворотна вісь А відповідає зміні куткового положення укладальника, є позиційною і програмується в градусах. Фізично рух по осі А реалізується поворотом оправки, закріпленої на рухомій платформі, відносно укладальника.

Поворотна вісь В відповідає зміні куткового положення вузла укладальника. Програмується в режимах задання швидкості обертання в об/хв або положення в градусах. Фізично рух по осі В реалізується за допомогою обертання порожнистої осі, закріпленої на нерухомій частині корпусу установки.

Вісь Z не приймає участі у програмному керуванні і забезпечує позиціонування оправки при налагодженні установки. Фізично рух по осі Z реалізується вручну за допомогою регулювального гвинта.

3. Системи координат та характерні точки

При програмуванні та в процесі виготовлення деталі використовується декілька характерних точок, зокрема точки, що визначають початкове положення різних систем координат. Характерні точки, що застосовуються у запропонованій установці, показані на рис. 2.

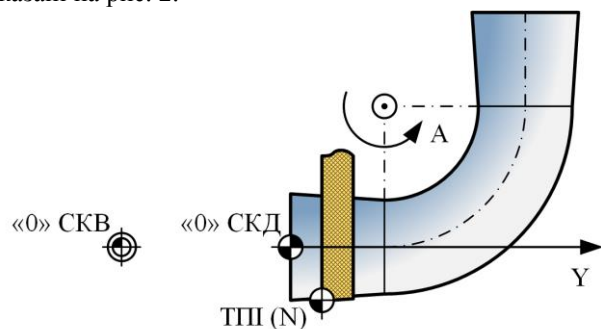


Рис. 2. Характерні точки запропонованої установки

Нуль верстата визначає положення системи координат верстата (СКВ). Нуль деталі визначає систему координат деталі (СКД). Точка прив'язки інструменту (ТПІ) або нуль інструменту (N) визначає точку інструменту, що переміщується по траєкторії обробки (намотування). Точки задаються в процесі налагодження на конкретний типорозмір відводу.

СКВ – це система координат, задана відносно апаратно-залежної точки відповідно до кінематичної схеми верстата. Положення нуля верстатної системи координат визначається положенням «нульового» кінцевого вимикача і сигналом «нуль-мітки» датчика положення для кожної позиційно-керованої осі. Для установки намотування відводів нуль осі визначається для осей поздовжнього (вісь Y) і поворотного (вісь A) переміщення оправки. Для осі обертання намотувального вузла (вісь U) нуль системи координат не задається. СКВ застосовується для забезпечення повторюваності позиціонування після вимкнення та ввімкнення електроживлення установки.

СКД – це система координат, яка не залежить від геометрії верстата і пов'язана з геометрією деталі, що виготовляється. Усі програмні переміщення задаються в СКД. Для зручності налагодження, монтажу оправки і зняття готового виробу рекомендується застосовувати прив'язку СКД відповідно до схеми, наведеної на рис. 2. При такому розташуванні СКД програмування всіх переміщень здійснюється із заданням позитивних значень позиціонування.

Усі переміщення, незалежно від способу реалізації, програмуються як рух інструменту (стрічки) відносно деталі, що виготовляється. При цьому зазвичай не враховуються геометричні параметри інструменту. Переміщення задаються для ТПІ, одночасно пов'язаної з геометрією інструменту. Запропоновано в якості ТПІ розглядати точку перетину зовнішньої твірної контуру відводу і лівого краю стрічки (рис. 2).

4. Типові способи намотування стрічки

Кутовий відвід являє собою деталь, що має циліндричні або конічні кінцеві ділянки, з'єднані тороїдальною центральною ділянкою.

Для циліндричного намотування на циліндричній або тороїдальній ділянці відводу (рис. 3, а, б) необхідно програмувати переміщення тільки по осі В. Це обумовлює необхідність задання кутової величини переміщення укладальника, що забезпечує формування намотування таким способом.

Основним способом формування конструкції відводу є спіральне намотування стрічки (рис. 3 в, г). У відповідності до схеми установки укладання матеріалу на таких ділянках можна задати шляхом програмування синхронного переміщення оправки

уздовж своєї осі і укладальника навколо осі оправки. Це можна забезпечити заданням в одному кадрі програми переміщень по осях Y і B на циліндричній ділянці або по осях A і B на тороїдальній ділянці.

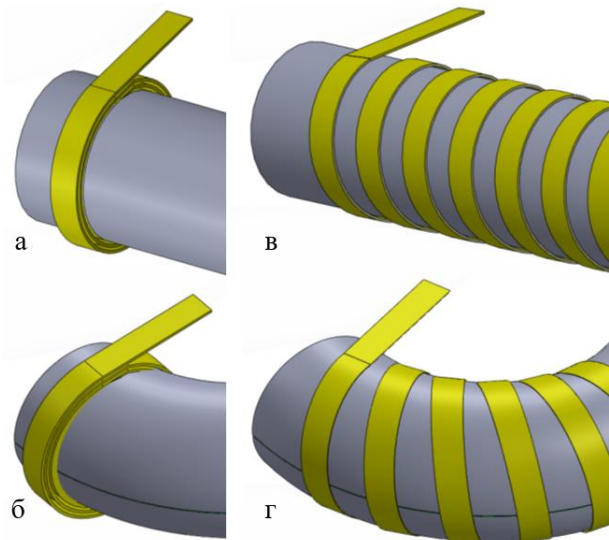


Рис. 3. Типові способи намотування стрічки

5. Постановка задачі непрямої лінійної інтерполяції

При спіральному намотуванні стрічки переміщення по осі В може бути задано в явній формі величиною кутового переміщення укладальника. Але такий спосіб задання ускладнює програмування і виключає можливість корегування кроку укладання. З технологічної точки зору програмування руху укладальника осі В має задаватися в об/хв і забезпечувати можливість корегування швидкості в залежності від протікання процесу укладання стрічки на поверхню відводу. Переміщення оправки вздовж осі в цьому випадку доцільно задавати програмуванням величини кроку укладання стрічки на оберт укладальника. При цьому повинна бути забезпечена можливість корегування кроку в процесі намотування без зміни керуючої програми.

Такий спосіб виконання операцій намотування неможливо реалізувати стандартними засобами існуючих систем ЧПК. Реалізація такого способу вимагає розробки спеціального алгоритму непрямої лінійної інтерполяції, при якій переміщення вздовж осей відводу повинно призводити до синхронного обертання укладальника. При цьому швидкості переміщення органів визначаються швидкістю обертання укладальника з урахуванням заданого кроку укладання. Для цього алгоритм непрямої лінійної інтерполяції повинен забезпечувати виконання наступних вимог. Рух осі укладальника повинен задаватися значенням швидкості в об/хв. Для забезпечення стабільності відтворення укладання стрічки вісь укладальника повинна керуватись як позиційна

інтерпольована вісь. Повинна забезпечуватися можливість корекції кроку укладання і швидкості обертання укладальника в процесі виконання керуючої програми. Для операції циліндричного намотування повинна бути передбачена можливість програмування положення осі В в градусах.

На рис. 4 наведено приклад виконання непрямої лінійної інтерполяції кадру керуючої програми

$$G1 Y \{Y_K\} F \{f\} S \{s\},$$

де $\{Y_K\}$ – координата кінця кадру, мм;

$\{f\}$ – крок укладання стрічки, мм/об;

$\{s\}$ – швидкість укладальника, об/хв.

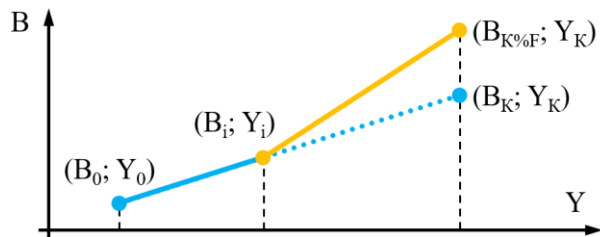


Рис. 4. Приклад виконання непрямої лінійної інтерполяції кадру $G1 Y \{Y_K\} F \{f\} S \{s\}$

Алгоритм повинен забезпечувати обчислення кінцевого положення укладальника:

$$B_K = B_0 + 360 \cdot (Y_K - Y_0) / f,$$

де B_0 та Y_0 – координати початкової точки ділянки намотування;

B_K та Y_K – координати кінцевої точки ділянки намотування;

f – крок укладання стрічки.

При корегуванні кроку укладання в довільній точці виконання кадру алгоритм повинен перерахувати шлях по осі В, що залишився до кінця кадру:

$$B_{K\%F} = B_i + 360 \cdot (Y_K - Y_i) / (f \cdot \%F),$$

де B_i та Y_i – координати точки корегування кроку укладання;

$\%F$ – коефіцієнт корегування кроку укладання.

6. Програмування процесу намотування відводу

Розглянемо приклад програмування намотування стрічкою шириною $H = 20$ мм відводу діаметром $D = 100$ мм з довжиною кінцевих частин $L = 80$ мм і кутом повороту $\varphi = 90^\circ$. На рис. 5 наведено ескіз, що пояснює найбільш простий спосіб програмування процесу. Текст керуючої програми, що відповідає ескізу, наведено в табл. 1.

Відповідно до правил складання G-коду текст керуючої програми починається символом «%» і закінчується командою кінця програми M30.

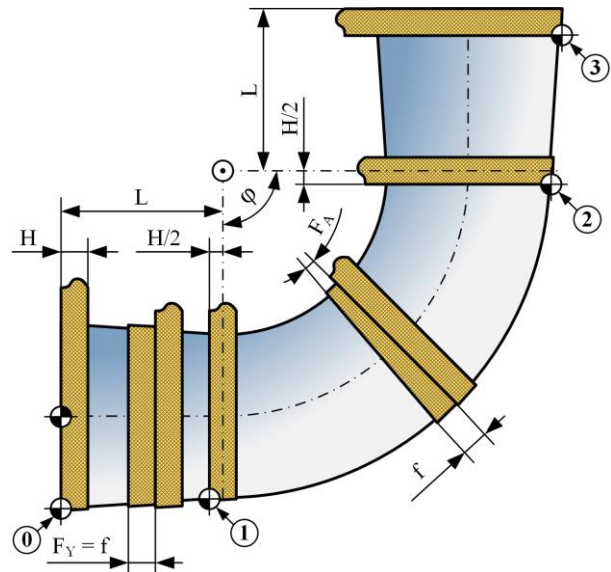


Рис. 5. Програмування намотування відводу

Таблиця 1

Приклад тексту керуючої програми

№ кадру	Керуючі команди	Оберти, подача
	%	
N10	G54	
N15	G92 B0	
N20		S10
N25	M105	
N30	G1 Y70	F10
N40	G1 A90	F2.55
N50	G1 Y140	F10
N60	G92 B0	
N70	G1 B270	
N80	G1 Y70	F10
N90	G1 A0	F2.55
N100	G1 Y0	F10
N110	G92 B0	
N115	G1 B270	
N120	M5	
N125	G0 Y70	
N130	G0 A90	
N135	G0 Y210	
N140	M30	

Переміщення задаються в СКД. Кадр № 10 забезпечує прив'язку СКД до вказаної точки.

Кадр № 15 забезпечує обнуління початкового положення укладальника і створює необхідні умови для подальшого програмного керування його рухом.

Кадр № 20 задає швидкість обертання укладальника, яка буде реалізована при виконанні програми. Цей кадр не призводить до руху.

Кадр № 25 забезпечує включення режиму непрямої інтерполяції, при якій переміщення уздовж осей відводу здійснюється синхронно з обертанням укладальника з урахуванням заданих значень швидкості обертання і кроку укладання.

Для намотування першої лінійної ділянки необхідно виконати переміщення стрічки уздовж осі Y з положення «0» в положення «1», здійснюючи при цьому обертання укладальника із заданою швидкістю S. Для позиціонування стрічки в точку «1», що відповідає суміщенню осі стрічки з кінцем лінійної ділянки, задається переміщення в позицію Y_1 :

$$Y_1 = L - H/2 = 80 - 20/2 = 70 \text{ мм.}$$

Крок намотування $f = 10$ мм/об програмується за адресою F. Переміщення по прямій лінії з точки «0» в точку «1» (0, Y_1) задано в кадрі № 30.

Перехід з точки «1» в точку «2» реалізується поворотом оправки по осі A на кут $\varphi = 90^\circ$.

Переміщення поворотної платформи програмується по осі A і задається в градусах, а подача – за адресою F, в град/об. Для отримання однакової структури намотування на лінійній і поворотній ділянках необхідно забезпечити постійний лінійний крок намотування стрічки по поверхні відводу. Для поворотної ділянки відводу крок задається по зовнішній твірній, радіус якої визначається з виразу:

$$R_H = 1,75 \cdot D + 0,5 \cdot D = 2,25 \cdot D.$$

Співвідношення кутової (F_A) і лінійної (F_Y) подач визначається виразом:

$$F_A = (F_Y \cdot 180) / (\pi \cdot R_H).$$

Відповідно, для розглянутого прикладу подача осі A платформи дорівнює 2,55 град/об.

Кадр № 40 задає величину повороту при переміщенні оправки з точки «1» в точку «2».

В точці «2» стрічка розташовується так, що вісь стрічки збігається з початком другої циліндричної ділянки відводу. При цьому довжина переміщення з точки «2» в точку «3» визначається виразом:

$$L_{23} = L + H/2 - H = L - H/2.$$

Програмована координата позиціонування для точки «3» задається як:

$$Y_3 = Y_1 + L_{23} = L - H/2 + L - H/2 = 2L - H = 140 \text{ мм.}$$

Кадр № 50 задає намотування другої циліндричної ділянки відводу від точки «2» до точки «3» з кроком 10 мм/об.

Для забезпечення посилення (збільшення товщини) в торцевому перетині необхідно здійснити циліндричне укладання стрічки.

Кадр № 60 виконує обнуління поточного положення укладальника для забезпечення можливості намотування при повороті на певний кут.

Кадр № 70 забезпечує виконання намотування стрічки в торцевому перетині при повороті намотувального вузла на 270° без зміни положення інших осей управління. У цьому кадрі закінчується намотування першого шару стрічки.

У кадрах № 80 – 115 виконується рух в зворотному напрямі і намотування другого шару стрічки.

У кадрі № 120 команда M5 виконує вимкнення режиму непрямої інтерполяції. Після цього кадру переміщення осей A, Y не супроводжується синхронним обертанням укладальника.

У кадрах № 125 – 135 виконується позиціонування відводу в положення обслуговування для демонтажу оправки і передачі її на полімеризацію.

7. Конструктивна схема оправок відводів

Відповідно до запропонованого способу виготовлення виробу, зовнішня поверхня оправки забезпечує формування внутрішньої поверхні відводу, включаючи приєднувальні-стиківі поверхні. Оправка має розбірну конструкцію, яка дозволяє виймати її з виготовленого відводу. Принципова схема розбірної оправки відводу наведена на рис. 6.

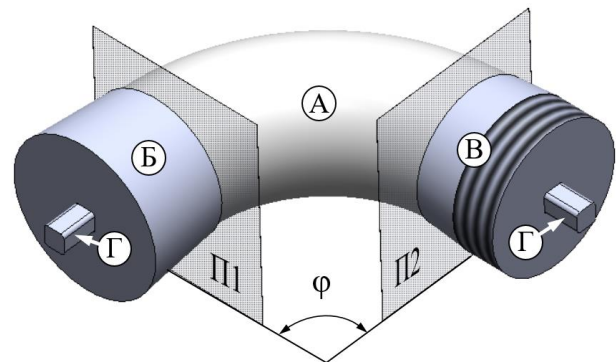


Рис. 6. Розбірна оправка відводу

Оправка повинна складатися з центральної тороїдальної частини (рис. 6, поз. А) і кінцевих приєднувальних частин (рис. 6, поз. Б, В). Тороїдальна поверхня має діаметр, відповідний прохідному перетину трубопроводу і забезпечує розворот на величину кута φ до 90° . Кінцеві частини можуть містити циліндричні, конічні і різьбові поверхні згідно із чинними типовими рішеннями розбірних і нерозбірних з'єднань трубопроводу. Центральна і кінцеві частини стикаються по площинах П1 і П2, які повинні бути строго перпендикулярні поздовжній осі відводу. Діаметр перетинів кінцевих частин в площинах П1, П2 повинен бути більше діаметра центральної частини. Для забезпечення безперешкодного вилучення елементів оправки з полімеризованого відводу різниця діаметрів повинна бути не менше подвоєної величини похибки діаметра перетину центральної частини. Оправка повинна мати елементи (рис. 6, поз. Г) для закріплення її в координатному просторі установки намотування відводів.

Виймання центральної частини оправки з відводу забезпечується її членуванням на секції. На рис. 7 показано найбільш раціональне членування центральної частини, при якому поперечний переріз розділено на 5 секцій поверхнями П3 – П6.

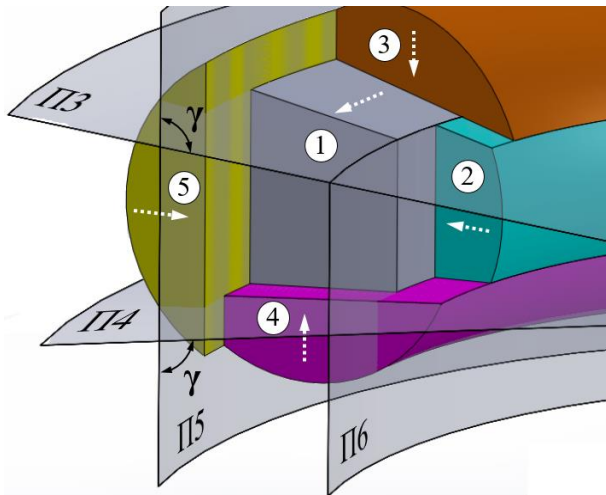


Рис. 7. Членування центральної частини оправки

Сегмент 1 виконує функцію замка і при розбірці оправки повинен вилучатись в першу чергу.

Твірні лінійчатих поверхонь П3 і П4 розташовані під кутом $\gamma > 90^\circ$ до осі обертання тора. Це забезпечує можливість вилучення сегмента 2 при всебічному стисненні оправки полімеризованим відводом. Вилучення сегмента 2 створює можливість вилучення інших сегментів.

8. Налаштування технологічної операції

Налаштування технологічної операції (рис. 8) виконується для кожної керуючої програми намотування відводу. Для забезпечення правильного положення оправки 1 відносно укладальника 2 з котушками 7 при налагодженні необхідно вирішити такі задачі: забезпечення правильного розташування оправки 1 відносно рухомої платформи 4; позиціонування рухомої платформи 4 відносно укладальника 2; забезпечення взаємного розташування стрічки і оправки.

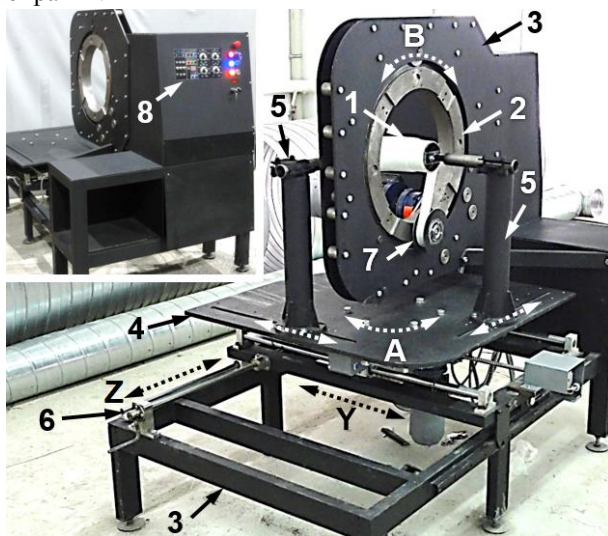


Рис. 8. Налаштування операції намотування відводу

Забезпечення правильного розташування оправки 1 відносно платформи 4 вимагає суміщення осі обертання тороїдальної поверхні відводу з віссю координати А. Для цього кронштейни 5 встановлюються у відповідні типорозміру відводу позиції.

Позиціонування рухомої платформи 4 відносно укладальника 2 має забезпечувати співпадіння осі поперечного перерізу відводу з віссю обертання укладальника. Суміщення цих осей виконується зміною положення рухомої платформи по осі Z за допомогою регулювального гвинта 6.

Забезпечення взаємного розташування стрічки і оправки виконується шляхом налагодження нуля СКД. Положення нуля осі А визначається з умови паралельності осі координати В (укладальника) з віссю кінцевої частини відводу. Положення нуля осі Y визначається з умови суміщення зовнішнього краю стрічки з торцем відводу. Керування переміщенням осей А та Y здійснюється з пульта оператора 8. Правильність встановлення положення контролюється вимірювачем. Отримане положення фіксується програмним забезпеченням системи ЧПК в якості нуля СКД для відповідної програми намотування відводу. Положення нуля СКД зберігається разом з керуючою програмою в постійній пам'яті системи ЧПК. Налаштування нуля СКД забезпечується з точністю не гірше 0,1 мм.

При повторному налагодженні технологічної операції для керуючої програми намотування відводу використовується збережене положення нуля СКД і виконуються тільки задачі, пов'язані з розташуванням оправки і позиціонуванням платформи.

9. Намотування відводів

Операція намотування здійснюється за керуючою програмою, яка вибирається з постійної пам'яті системи ЧПК. Виконується описана вище процедура налагодження і позиціонування в початкове положення СКД. Перед запуском керуючої програми оператор виконує заправку стрічки, її закріплення і підмотування на відвід, керуючи обертанням укладальника з пульта ЧПК.

Передбачена можливість тимчасової зупинки керуючої програми в процесі її виконання. Зупинка може бути здійснена як в певних кадрах за допомогою спеціальних команд в керуючій програмі, так і в довільний момент часу з пульта оператора. Зупинки використовуються для контролю товщини намотуваного шару, заміни котушок, ручного укладання шарів для локального посилення стінки.

Похибки в ширині і товщині стрічки призводять до виникнення похибки товщини стінки відводу, що формується. Ця похибка може бути компенсована корегуванням кроку укладання без зміни ке-

руючої програми за допомогою регулятора «%F» на пульті оператора.

Допустима швидкість укладання просоченої стрічки на відвід залежить від в'язкості сполучної речовини. При високій в'язкості і завищеній швидкості укладання можливе формування повітряних бульбашок і неякісне прилипання стрічки. Корегування швидкості обертання укладальника безпосередньо в процесі виконання керуючої програми за допомогою регулятора «%S» дозволяє виключити цю проблему.

На рис. 9 показаний процес виготовлення відводу ДУ-200 з товщиною стінки 6 мм, що призначений для застосування в трубопроводі з робочим тиском 2,5 МПа. На виготовленому зразку отримана похибка товщини стінки по контрольованій твірній менше ніж $\pm 0,1$ мм.

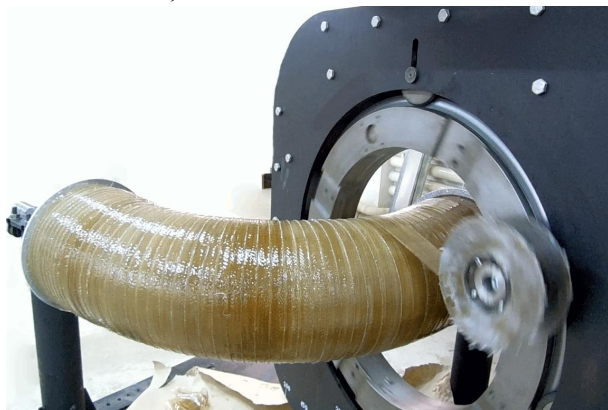


Рис. 9. Процес виготовлення відводу ДУ-200

Висновки

В роботі розглянуто спосіб виготовлення відводів склопластикових трубопроводів методом намотування на розбірну оправку попередньо просоченої стрічки.

Розглянуто задачі розробки елементів технологічного забезпечення автоматизованого виробництва відводів склопластикових трубопроводів на основі застосування обладнання з ЧПК.

Запропоновано кінематичну схему, що забезпечує програмування операцій намотування відводів. Обґрунтовано вибір керованих осей і характерних точок координатного простору установки.

Виконано аналіз типових способів намотування стрічки. Обґрунтовано необхідність і виконана постановка задачі розробки алгоритму непрямої лінійної інтерполяції, що забезпечує можливість корегування кроку і швидкості укладання стрічки при намотуванні відводів.

Розроблено спосіб програмування операцій намотування, наведена методика задання параметрів структури укладання стрічки і товщини стінки відводу.

Запропоновано конструктивну схему розбірних оправок. Описано процедуру налагодження операції виготовлення відводів. Показано приклад виготовлення відводів для трубопроводу з робочим тиском 2,5 МПа. Отримано точність товщини стінки по контрольованій твірній не гірше ніж $\pm 0,1$ мм.

Література

1. Опыт строительства скважин с эксплуатационной колонной, составленной из стеклопластиковых обсадных труб, в ПАО «Татнефть» [Текст] / И. М. Зарипов, А. Р. Исхаков, Р. И. Катеев, А. М. Зарипов // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 7. – С. 18–19. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-7-18-19.
2. Игнатко, В. М. Исследование эксплуатационной надежности промышленных стеклопластиковых трубопроводов в условиях Западной Сибири [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 25.00.19 : защищена 31.10.03 / Игнатко Владимир Михайлович. – Тюмень, 2003. – 125 с.
3. Бычков, С. А. Основные проблемы создания изделий авиационной и ракетно-космической техники из полимерных композиционных материалов : анализ. обзор [Текст] / С. А. Бычков, В. Е. Гайдачук // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов / М-во образования Украины, Гос. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 1998. – Вып. 13. – С. 6–17.
4. FRP Dewar for Measurements in High Pulsed Magnetic Fields [Text] / V. Yu. Lyakhno, A. V. Fedorchenko, O. V. Kivirenko, V. I. Shnyrkov // Cryogenics. – 2009. – Vol. 49. – P. 425–428.
5. Jeffrey, V. Automated Manipulation for the Lotus Filament Winding Process [Text] : Master of Science diss. : 2006.03.17 / Jeffrey Valjean Anderson. – Brigham Young University, 2006. – 143 p.
6. Шварц, А. Б. Математическое и программное обеспечение геометрического моделирования процессов намотки изделий из композиционных материалов [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.18 : защищена 25.01.02 / Шварц Антон Борисович. – Новочеркасск, 2001. – 255 с.
7. Ивановский, В. С. Технология производства композитного баллона с полимерным лайнером [Текст] / В. С. Ивановский, О. В. Ивановская // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2013. – Вып. 2. – С. 40–45.
8. Создание технологического оснащения и отработка технологии изготовления корпусов типа «кокон» [Текст] / А. М. Потапов, В. А. Коваленко, Е. В. Шилина, С. А. Шилин, А. В. Алешин // Космическая техника. Ракетное вооружение. – 2016. – Вып. 2 (112) – С. 35–42.
9. Аюшеев, Т. В. Методы трехмерного моделирования и контроля процессов изготовления деталей из композиционных материалов способом

намотки [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.01.01 : защищена 05.12.06 / Аюшеев Тумэн Владимирович. – Улан-Удэ, 2006. – 319 с.

References

1. Zaripov, I. M., Iskhakov, A. R., Kateev, R. I., Zaripov, A. M. Opyt stroitel'stva skvazhin s ekspluatatsionnoi kolonnoi, sostavlennoi iz stekloplastikovykh obsadnykh trub, v PAO «Tatneft» [Tatneft's experience in well completion using fiberglass-reinforced plastic casing strings]. *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, 2018, no. 7, pp. 18-19. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-7-18-19.

2. Ignatko, V. M. *Issledovanie ekspluatatsionnoi nadezhnosti promyslovykh stekloplastikovykh truboprovodov v usloviyakh Zapadnoi Sibiri*. Diss. kand. tekhn. nauk [Research of operational reliability of commercial fiberglass pipelines in Western Siberia. Cand. eng. sci. diss.]. Tyumen', 2003. 125 p.

3. Bychkov, S. A., Gaidachuk, V. E. Osnovnye problemy sozdaniya izdelii aviatsionnoi i raketnokosmicheskoi tekhniki iz polimernykh kompozitsionnykh materialov : analiticheskii obzor [The main problems of creating products of aviation and rocket-space technology from polymer composite materials: an analytical review]. *Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruksii letatel'nykh apparatov* [Issues of design and production of aircraft structures], 1998, vol. 13, pp. 6-17.

4. Lyakhno, V. Yu., Fedorchenko, A. V., Kivirenko, O. B., Shnyrkov, V. I. FRP Dewar for Measurements in High Pulsed Magnetic Fields. *Cryogenics*,

2009, vol. 49, pp. 425-428.

5. Jeffrey, V. *Automated Manipulation for the Lotus Filament Winding Process*. Master of Science diss. Brigham Young University, 2006. 143 p.

6. Shvarts, A. B. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie geometricheskogo modelirovaniya protsessov namotki izdelii iz kompozitsionnykh materialov*. Diss. kand. tekhn. nauk [Mathematical and software for geometric modeling of the processes of winding products made of composite materials. Cand. eng. sci. diss.]. Novocherkassk, 2001. 255 p.

7. Ivanovskii, V. S., Ivanovskaya, O. V. *Tekhnologiya proizvodstva kompozitnogo ballona s polimernym leinerom* [Production technology of a composite cylinder with a polymer liner]. *Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruksii letatel'nykh apparatov* [Issues of design and production of aircraft structures], 2013, vol. 2, pp. 40-45.

8. Potapov, A. M., Kovalenko, V. A., Shilina, E. V., Shilin, S.A., Aleshin, A.V. *Sozdanie tekhnologicheskogo osnashcheniya i otrabotka tekhnologii izgotovleniya korpusov tipa "kokon"* [Creation of technological equipment and development of the manufacturing technology of "cocoon" type hulls]. *Kosmicheskaya tekhnika. Raketnoe vooruzhenie* [Space technology. Missile weapons], 2013, vol. 2 (112), pp. 35-42.

9. Ayusheev, T. V. *Metody trekhmernogo modelirovaniya i kontrolya protsessov izgotovleniya detalei iz kompozitsionnykh materialov sposobom namotki*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Methods of processes three-dimensional modeling and control of manufacturing parts from composite materials by winding method. Dr. eng. sci. diss.]. Ulan-Ude, 2006. 319 p.

Поступила в редакцию 12.03.2019, рассмотрена на редколлегии 7.08.2019

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ОТВОДОВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Е. А. Криживец, О. Б. Кивиренко, В. В. Комбаров, Е. А. Аксёнов

Перспективным направлением производства трубопроводов высокого давления является применение композитных материалов со специальными свойствами. Характеристики композиционных изделий задаются схемами армирования и применением различных связующих. Стабильность прочностных характеристик существенно зависит от стабильности процесса укладки армирующих волокон. Разработка автоматизированных технологических систем производства, обеспечивающих стабильность процесса, является актуальной задачей. Рассмотрен способ изготовления отводов стеклопластиковых трубопроводов методом намотки на разборную оправку предварительно пропитанной ленты. Для реализации такого способа решены задачи разработки технологического оснащения, оборудования и методов наладки. Предложенное решение обеспечивает формообразование отвода от внутренней поверхности. Кинематическая схема оборудования реализует вращение укладчика ленты вокруг оси поперечного сечения оправки и продольно-угловое перемещение оправки относительно укладчика, что обеспечивает возможность цилиндрической и спиральной укладки ленты. Описана установка намотки отводов, представляющая собой трёхосевой станок с ЧПУ, реализующий предложенную схему. Вращение катушек с лентой вокруг оправки обеспечивается полой поворотной осью – укладчиком. Перемещение оправки относительно укладчика обеспечивается её установкой на подвижной платформе. В соответствии с предложенным способом изготовления отвода, наружная поверхность разборной оправки обеспечивает формирование внутренней поверхности отвода, включая присоединительно-стыковые поверхности. Сформулированы правила по выбору поверхностей разъёма оправки, обеспечивающие её извлечение из изготовленного отвода. Разработан способ программирования операций намотки. Приведена методика определения параметров управляющей программы системы ЧПУ, которая задаёт структуру укладки ленты и толщину стенки отвода. Описана процедура наладки операции изготовления отвода, заключающаяся в изменении взаимного положения элементов установки и устройств закрепления

оправки. Применение традиционных для систем ЧПУ подходов по настройке систем координат обеспечивает точность установки начального положения не хуже 0,1 мм.

Ключевые слова: ЧПУ; стеклопластиковый отвод; разборная оправка; технологическое обеспечение; автоматизированное производство.

AUTOMATED PRODUCTION OF FIBERGLASS PIPE BENDS

Ye. O. Kryzhyvets, O. B. Kivirenko, V. V. Kombarov, Ye. O. Aksonov

A promising direction in the production of high-pressure pipelines is the use of composite materials with special properties. Characteristics of composite products are set by reinforcement schemes and the use of various binders. The stability of the strength characteristics significantly depends on the stability of the process of laying reinforcing fibers. The development of automated technological systems of production, ensuring the stability of the process, is an urgent task. A method of fiberglass pipe bends manufacturing by the method of pre-impregnated tape winding on a folding mandrel. To implement this method the problem of developing technological equipment, equipment and methods of adjustment are solved. The proposed solution provides the formation of a branch from the inner surface. The kinematic scheme of the equipment realizes the rotation of the tape stacker around the axis of the cross-section of the mandrel and the longitudinal-angular displacement of the mandrel relative to the stacker, which provides the possibility of cylindrical and spiral stacking of the tape. The installation of tap winding, which is a three-axis CNC machine that implements the proposed scheme, is described. The rotation of the coils with tape around the mandrel is provided with a hollow rotary axis – stacker. Moving the mandrel relative to the stacker is provided by its installation on a movable platform. Following the proposed method of manufacturing bends, the outer surface of the collapsible mandrel ensures the formation of the inner surface of the branch, including the connecting-butt surfaces. Rules for the choice of the surface of the connector mandrel, ensuring its extraction from the manufactured branch is formulated. A method for programming winding operations has been developed. A method for determining the parameters of the control system of the CNC system is given, which specifies the structure of laying the tape and the wall thickness of the outlet. A procedure is described for setting up a tap manufacturing operation consisting in changing the relative position of the installation elements and the mandrel fixing devices. The use of traditional for CNC systems approaches to adjust the coordinate systems ensures the accuracy of the initial position is not worse than 0.1 mm.

Keywords: CNC; fiberglass pipe bend; collapsible mandrel; technological support; automated production.

Криживець Євген Олександрович – аспірант кафедри технології виробництва ЛА, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Ківіренко Олег Борисович – директор, товариство з обмеженою відповідальністю науково-виробнича фірма «Пластар», Золочів, Харківська обл., Україна.

Комбаров Володимир Вікторович – директор, товариство з обмеженою відповідальністю науково-виробнича фірма «ХАІ-Інжиніринг», Харків, Україна.

Аксьонов Євген Олександрович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Kryzhyvets Yevhen Oleksandrovyich – Postgraduate Student of Aircraft Manufacturing Chair, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: cj31337@gmail.com,

ORCID Author ID: 0000-0001-8360-4069, <https://scholar.google.com.ua/citations?user=Hc8WDdUAAAAJ>

Kivirenko Oleh Borysovyich – Director, Research-and-production Company "Plastar" LLC, Zolochiv, Kharkiv Oblast, Ukraine, e-mail: info@plastar.com.ua,

ORCID Author ID: 0000-0001-7729-2337, <https://scholar.google.com.ua/citations?user=dSAyptIAAAAAJ>

Kombarov Volodymyr Viktorovych – Director, Research-and-production Company "KhAI-Engineering" LLC, Kharkiv, Ukraine, e-mail: vl.kombarov@gmail.com,

ORCID Author ID: 0000-0002-6158-0374, <https://scholar.google.com.ua/citations?user=LNMPiwgAAAAJ>

Aksonov Yevhen Oleksandrovyich – PhD, Senior Research Scientist, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: aksev@i.ua,

ORCID Author ID: 0000-0002-2615-0598, Scopus Author ID: 36561143800, ResearcherID: M-5093-2018,

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=JfXCKosAAAAJ>