

Л. Г. Козлов¹
 І. О. Сивак¹
 Є. І. Шевчук²
 В. А. Ковальчук¹

РОТАЦІЙНА ВИТЯЖКА ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕХАТРОННОГО ПРИВОДУ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Вище професійне училище № 1, Вінниця

Запропоновано пристрій на основі мехатронного приводу для ротаційної витяжки деталей вісесиметричної форми. За допомогою мехатронного приводу забезпечена можливість руху обкочувального ролика по розрахованій траєкторії, що забезпечує збереження стійкості формозміння деталі в процесі обробки. Вибір та реалізація просторової траєкторії руху інструменту значно розширює можливості процесу ротаційної витяжки деталей вісесиметричної форми.

Ключові слова: ротаційна витяжка, мехатронний привід, стійкість формозміння, траєкторія інструменту, напруження, деформації.

Вступ

Перспективною технологією виготовлення вісесиметричних деталей складної форми з листових заготовок є ротаційна витяжка, яка дозволяє значно покращити якість деталей та зменшити затрати на їх виготовлення. Крім того, методом ротаційної витяжки можна виготовляти деталі з довільною криволінійною або випукловигнутою поверхнею, які неможливо отримати листовим штампуванням [1].

Необхідно відмітити, що під час реалізації процесу ротаційної витяжки актуальними залишаються проблеми пов'язані із втратою стійкості формозміння та руйнуванням заготовки [2]. Імовірність втрати стійкості або руйнування в значною мірою залежить від виду траєкторії руху інструменту та величини і закону зміни сили, яка діє в осередку деформації.

Метою роботи є підвищення якості деталей, отриманих вісесиметричною витяжкою, завдяки запобіганню втрати стійкості заготовки і руйнування її матеріалу в процесі пластичного деформування.

В роботі для виконання процесу ротаційної витяжки з можливістю управління траєкторією руху інструменту та контролю величини сили, яка діє в осередку деформації, запропоновано використовувати спеціальний пристрій з мехатронним приводом.

Результати досліджень

Схема виготовлення деталі методом ротаційної витяжки за допомогою пристрою з мехатронним приводом показана на рис. 1. Установка монтується на токарному верстаті. Оправка 1 встановлюється в шпindelному вузлі верстата. На оправці 1 кріпиться деталь 3, яка обробляється роликом 2. Ролик 2, встановлений в різцетримачі 8, рухається під дією сервоциліндра 4, який забезпечує подачу S_x , а також під дією сервоциліндра 5, який переміщує поперечний супорт і забезпечує подачу S_y . Комбінація подач S_x та S_y забезпечує траєкторію руху ролика 2 між точками 1—29 (рис. 2) з необхідною комбінацією швидких та робочих переміщень.

Величини подачі сервоциліндрів мехатронного привода S_x та S_y не перевищують в режимі обробки 240 мм/хв. Величина подачі S_{xx} при відводі та підводі ролика в процесі обкатки становить 1200 мм/хв.

На рис. 3 показана схема системи керування мехатронним приводом запропонованого пристрою. Система керування включає насос 1 з клапаном 2. На виході насоса через гідролінію нагнітання 17 підключено два пропорційних гідророзподільника 5 та 6, які через блоки 7 та 8 з'єднані з сервоциліндрами 3 та 4. До блоків 7 та 8 підключені датчики тиску 9, 20 та 10, 21 відповідно. Система керування включає також контролер 13, на який надходять сигнали від датчиків тиску, а та-

кож від датчиків переміщення 11, 12 штоків сервоциліндрів 3, 4. Контролер 13 підключений до клапана 2 через драйвер 16, та до пропорційних гідророзподільників 5 та 6 через драйвери 14 та 15. Пропорційні гідророзподільники 5 та 6 зв'язані з баком 19 через гідролінію зливу 18.

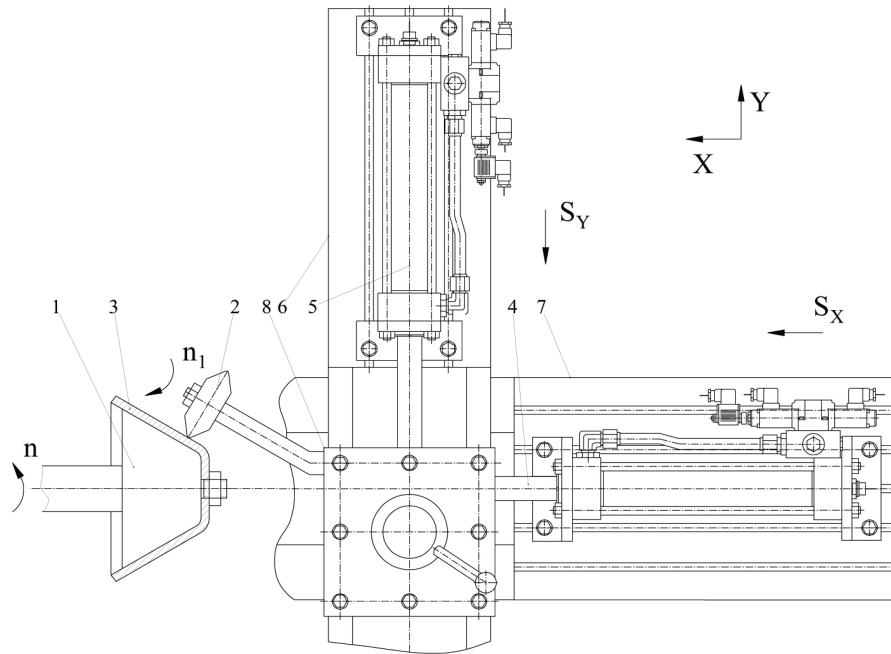


Рис. 1. Схема пристрою з мехатронним приводом для виготовлення деталі ротаційною витяжкою

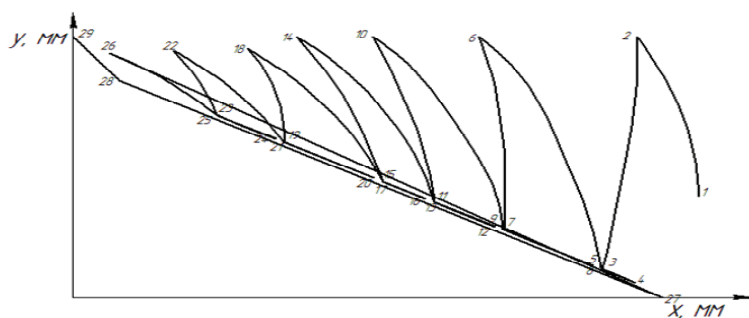


Рис. 2. Траекторія руху ролика $Y = f(x)$

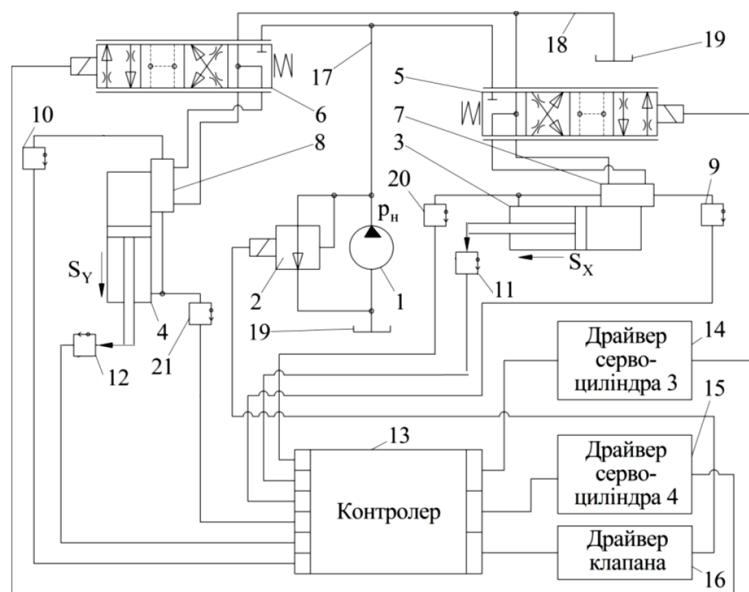


Рис. 3. Система керування мехатронним приводом

Система керування забезпечує роботу установки для ротаційної витяжки в двох режимах — режимі розвантаження та режимі регулювання. В режимі розвантаження контролер забезпечує положення золотників пропорційних гідророзподільників, показане на рис. 3. При цьому робоча рідина від насоса 1 до сервоциліндрів 3 та 4 не надходить, а направляється через клапан 2 в бак 19 під незначним тиском $p_{H \min}$, величина якого визначається сигналом керування контролера 13. Таким чином забезпечується розвантаження насоса 1 за непрацюючих сервоциліндрів 3 та 4.

В режимі регулювання, в залежності від завантаженої в контролер 13 програми, буде реалізовуватись послідовність швидких та робочих подач сервоциліндрів 3 та 4, які переміщують поздовжній та поперечний супорти зі встановленим різцетримачем та обточувальним роликком. При цьому від контролера 13 на клапан 2 надходить сигнал постійної величини, який визначає на ви-

ході насоса 1 величину тиску $p_n = \text{const}$. Величина тиску p_n може бути встановлена в діапазоні $p_n = (5,0 \dots 10,0)$ МПа в залежності від конструкції деталі, що обробляється. Драйвер 16 забезпечує узгодження електричних параметрів сигналу, що подається контролером 13 на електромагніт клапана 2.

Згідно з програмою, контролер 13 генерує сигнал, який через драйвер 14 надходить до пропорційного гідророзподільника 5. Гідророзподільник 5 визначає такі величини робочих вікон на вході та виході сервоциліндра 3, за яких шток рухається з подачею S_X . Наявність датчика переміщення 11 дозволяє контролювати положення штока сервоциліндра з точністю до 0,01 мм, і відповідно, забезпечувати налаштовану величину подачі S_X поздовжнього супорта. Одночасно контролер 13 через драйвер 15 подає сигнал керування на пропорційний гідророзподільник 6. Гідророзподільник 6, змінюючи своє положення, визначає такі величини робочих вікон на вході та виході сервоциліндра 4, за яких шток рухається з подачею S_Y . Наявність датчика зворотного зв'язку 12 дозволяє підтримувати налаштоване значення подачі поперечного супорта S_Y . Необхідним співвідношенням переміщення по координатах X та Y забезпечується траєкторія руху ролика в робочому циклі. Датчики тиску 10, 21 та 9, 20 дозволяють контролювати перепади тисків на поршнях гідроциліндрів 4 та 3 і, відповідно, оцінювати величину зусилля з яким ролик діє на деталь в процесі оброблення.

Для забезпечення процесу обробки вісесиметричних деталей методом ротаційної витяжки, який характеризується найкращою якістю поверхні, необхідно дотримуватися заданої траєкторії руху ролика, а також контролювати величину зусилля обкочування, для запобігання можливого руйнування деталі за рахунок надмірної її деформації.

Режими обробки осесиметричних деталей методом ротаційної витяжки включають подачу, величину зусилля на штоках сервоциліндрів, а також певну комбінацію векторів зусилля та подачі. Режими обробки визначались на основі розрахунку процесу поверхневого пластичного деформування заготовки за умови поєднання максимального зміцнення за мінімальної величини використаного ресурсу пластичності [3].

Під час обробки конусної деталі мехатронний привід повинен здійснити 28 робочих ходів протягом одного циклу обробки, кожен з яких характеризується своїм співвідношенням подач S_X та S_Y (див. рис. 2). У випадку, якщо величина зусилля на штоках сервоциліндрів 3 та 4 (див. рис. 3) перевищують допустимі значення пропорційно змінюються величини подач S_X та S_Y , без зміни їх співвідношення. Також привід має забезпечувати підведення та відведення інструменту на прискорених подачах.

Цикл обробки деталі складається з таких етапів:

- перевірка працездатності елементів привода (короткий холостий хід обома сервоциліндрами, що виконується однократно після вмикання верстата та системи керування в мережу з метою перевірки надходження сигналів від датчиків зворотного зв'язку та тиску, а також можливості перемикання золотників розподільників та забезпечення реверсного ходу);
- виведення штоків сервоциліндрів на початкову позицію 1 з координатами $X = 0, Y = 53,34$ мм та забезпечення в подальшому необхідної траєкторії. (рис. 4).

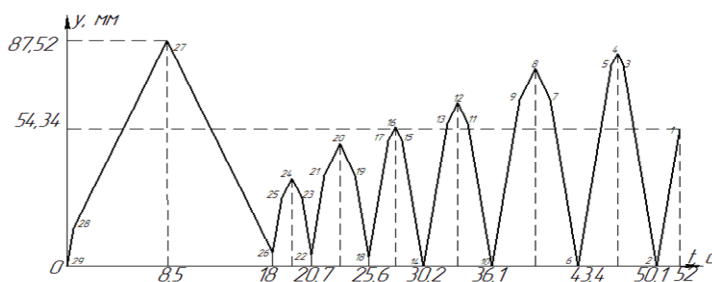


Рис. 4. Графік залежності координати Y від часу обробки t

робоча рідина від насоса 1 до сервоциліндрів 3 та 4 не надходить, а направляється через клапан 2 в бак 19 під незначним тиском $p_n = 0,6$ МПа.

Лінійний характер графіка (рис. 4) дозволяє керувати процесом обробки спираючись на координату Y . Як впливає з графіка подача S_Y змінюється за величиною під час чорнових та чистових переходів обробки. На рис. 2 зображено траєкторію руху ролика в координатах X, Y . Криволінійні ділянки траєкторії, характерні для чорнових переходів обробки, апроксимуються поліномами дру-

Налаштування робочого рівня зусилля обробки виконується за допомогою пропорційного запобіжно-переливного клапана тиску 2, що визначає рівень тиску в гідросистемі $p_n = 5$ МПа. Запускається режим регулювання роботи мехатронного привода, а також встановлюється частота обертання заготовки $n = 315$ об/хв, що забезпечується коробкою швидкостей верстата. Під час холостого ходу

ного порядку з похибкою в $\pm 3\%$. В процесі обробки ведеться також контроль величини зусилля з яким ролик діє на деталь. У випадку, якщо зусилля в процесі обробки перевищує допустиму величину, контролер забезпечує зменшення величин подач S_X та S_Y зі зберіганням їх співвідношення та забезпеченням руху ролика по розрахованій траєкторії. Величина деформувальної сили, яка забезпечує формозмінення заготовки без втрати стійкості і без руйнування при обточуванні, визначалась на основі експерименту з обробки спеціально підготовленої заготовки.

Для експериментального дослідження процесу ротаційної витяжки конічних деталей використовували листові заготовки зі сталі 10 діаметром $d = 90$ мм і товщиною $\delta = 0,8$ мм. Як робочий інструмент, який дозволяє забезпечити задану геометрію та розміри деталі, використовували ролик зі сталі ШХ15, загартований до твердості HRC 62-65 та конічну оправку. Кут робочого конуса оправки $\alpha_{\text{оп}} = 30^\circ$, а діаметр верхньої частини, до якої кріпиться заготовка, дорівнює $d_0 = 32$ мм. Діаметр ролика $D_p = 140$ мм, радіус робочої поверхні ролика $R = 4$ мм.

Для визначення компонент тензора деформацій використали метод координатних сіток [4, 5]. Для цього на поверхню листової заготовки наносилась координатна сітка у вигляді кіл та радіальних прямих, проведених від центру заготовки з кутовим інтервалом $\alpha = 15^\circ$.

Компоненти тензора деформацій підраховували за формулами

$$\varepsilon_r = \ln \frac{r}{r_0}; \quad \varepsilon_\phi = \ln \frac{r_g}{r_0}, \quad (1)$$

де r_0, r — відстань у радіальному напрямі від центра осі обертання заготовки до певної точки поверхні, відповідно до та після пластичного деформування; r_g — радіус внутрішнього кола, від осі обертання заготовки до певної точки поверхні після пластичної деформації.

Аналіз отриманих експериментальних результатів показав, що напруження σ_r , яке діє в радіальному напрямі, є розтягувальним, а напруження σ_ϕ , яке діє в тангенціальному напрямі, є стискувальним. Так як σ_r і σ_ϕ мають різні знаки, то зміна товщини заготовки невелика. Значення компоненти тензора ε_z , яку визначали з умови нестисливості $\varepsilon_r + \varepsilon_\phi + \varepsilon_z = 0$, не перевищують значень $\varepsilon_z \leq 0,06$. Звідси випливає, що з достатньою точністю для визначенні поля напружень, можна використати рівняння рівноваги для оболонки постійної товщини. В цьому випадку можна використати рівняння рівноваги для плоскої задачі в полярній системі координат [6]

$$\frac{\delta \sigma_r}{\delta r} - \frac{\sigma_r - \sigma_\phi}{r} = 0. \quad (2)$$

Розв'язання цього рівняння з використанням умови пластичності

$$\sigma_r - \sigma_\phi = \sigma_s, \quad (3)$$

без урахування впливу зміцнення, приводить до такого рівняння:

$$r \frac{d\sigma_r}{dr} = -\sigma_s. \quad (4)$$

Після інтегрування рівняння (4) отримаємо

$$\sigma_r = -\sigma_s \ln r + c. \quad (5)$$

Для визначення сталої c використаємо граничну умову: якщо $r = R$, $\sigma_r(R) = 0$, де R — радіус точок заготовки, які лежать на вільній боковій поверхні. Тоді вираз (5) набуде вигляду

$$\sigma_r = \sigma_s \ln \frac{R}{r}. \quad (6)$$

Після підстановки виразу для величини σ_r в умову пластичності, отримаємо величину напруження σ_ϕ

$$\sigma_\phi = \sigma_s \left(1 - \ln \frac{R}{r} \right). \quad (7)$$

З експериментальних даних випливає, що деформація ε_z практично дорівнює нулю ($\varepsilon_z = 0$). Використовуючи цю умову, отримуємо як з рівнянь деформаційної теорії, так і з рівнянь теорії течії, що

$$\sigma_z - \sigma = 0, \quad (8)$$

де $\sigma = \frac{\sigma_r + \sigma_\phi + \sigma_z}{3}$ — середнє напруження.

Звідси знаходимо, що

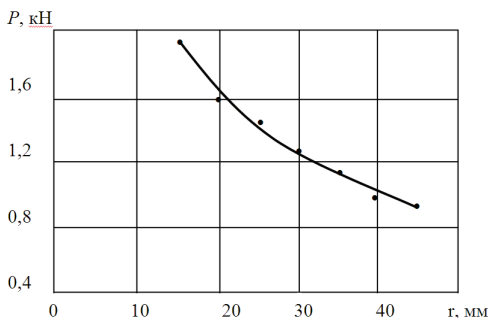


Рис. 5. Залежність сили, яка забезпечує формозмінення заготовки без втрати стійкості і без руйнування при обкочуванні, від радіуса r точки поверхні заготовки

$$\sigma_z = \sigma = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\phi). \quad (9)$$

Величину сили, яка діє на заготовку розраховано за формулою

$$P = \sigma_z \cdot A, \quad (10)$$

де A — площа плями контакту, яку визначали за методикою, розробленою в роботі [7]. Отримана залежність сили P від координати точки r на поверхні заготовки для прийнятої траєкторії руху інструменту показана на рис. 5. З аналізу залежності $P(r)$ випливає, що навантаження на інструмент зменшується зі збільшенням радіуса поверхні.

Висновки

Для забезпечення необхідної історії деформування, в якій не втрачається стійкість формозмінення, розроблений пристрій з мехатронним приводом задає необхідну траєкторію руху обкочувального ролика. В процесі роботи ведеться постійний контроль за величиною деформуючого зусилля. Задана траєкторія руху та контроль деформувального зусилля реалізуються системою керування мехатронним приводом. Завдяки широким можливостям вибору виду просторової траєкторії руху обкочувального ролика значно розширені можливості процесу ротаційної витяжки вісесиметричних деталей складної форми, які іншими методами отримати практично неможливо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Н. И. Могильный. — М. : Машиностроение, 1983. — 190 с.
2. Яковлев С. С. Технология изготовления асимметричных деталей ротационной вытяжкой / С. С. Яковлев, В. И. Трегубов, Д. В. Дудка // Известия Тул ГУ. — Тула : изд-во Тул ГУ, 2010. — Вып. 3. — С. 121—127. — Технологии и оборудование для обработки металлов давлением.
3. Вдосконалення процесів локального деформування листових заготовок засобами мехатронних приводів з прогнозуванням технологічних відмов та спадковості : звіт про НДР (заключний) / кер. В. А. Огородніков ; викон. : [Л. Г. Козлов та ін.] ; Вінницький національний університет. — Вінниця, 2015. — 138 с. — № ДР 0114U003458.
4. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. — К : Вища школа, 1983. — 175 с.
5. Дель Г. Д. Метод делительных сеток / Г. Д. Дель, Н. А. Новиков. — М : Машиностроение, 1979. — 144 с.
6. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. — М : Машиностроение, 1977. — 423 с.
7. Дрозд М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. — М : Машиностроение, 1986. — 224 с.

Рекомендована кафедрою технологій та автоматизації машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.02.2017

Козлов Леонід Геннадійович — д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: osna2030@gmail.com ;

Сивак Іван Онуфрійович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування;

Ковальчук Вадим Анатолійович — інженер кафедри технологій та автоматизації машинобудування.

Вінницький національний технічний університет;

Шевчук Євген Ігоревич — викладач.

Вище професійне училище № 1, Вінниця

L. H. Kozlov¹
I. O. Sivak¹
Ye. I. Shevchuk²
V. A. Kovalchuk¹

Rotary Drawing of the Parts of Axisymmetric Shape, Based on Mechatronic Drive

¹Vinnitsia National Technical University;
²Higher Vocational School No. 1, Vinnitsia

There has been presented the special installation, based on mechatronic drive, for rotary drawing of the parts of axisymmetric shape. Application of mechatronic drives provides the possibility of the tool motion according to the calculated trajectories, which ensures maintaining the component forming stability throughout the drawing process. The choice and realization of the tool spatial motion trajectory essentially expands the capabilities of axisymmetrically-shaped parts of rotational drawing process.

Keywords: rotary drawing, mechatronic drive, forming stability, tool trajectories, stress, deformations.

Kozlov Leonid H. — Dc. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Head of the Chair of Machine-Building Technologies and Automation, e-mail: osna2030@gmail.com ;

Sivak Ivan O. — Dc. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Machine-Building Technologies and Automation;

Shevchuk Yevgenii I. — Teacher;

Kovalchuk Vadym A. — Engineer of the Chair of Machine-Building Technologies and Automation

Л. Г. Козлов¹
И. А. Сивак¹
Е. И. Шевчук²
В. А. Ковальчук¹

Ротационная вытяжка осесимметричных деталей с использованием мехатронного привода

¹Винницкий национальный технический университет;
²Высшее профессиональное училище № 1, Винница

Представлена специальная установка на основе мехатронного привода для ротационной вытяжки деталей осесимметричной формы. С помощью мехатронного привода обеспечена возможность движения инструмента по рассчитанным траекториям, что обеспечивает сохранение стойкости формоизменения детали в процессе обработки. Выбор и реализация пространственной траектории движения инструмента значительно расширяет возможности процесса ротационной вытяжки деталей осесимметричной формы.

Ключевые слова: ротационная вытяжка, мехатронный привод, стойкость формоизменения, траектории инструмента, напряжения, деформации.

Козлов Леонид Геннадиевич — д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технологий и автоматизации машиностроения, e-mail: osna2030@gmail.com ;

Сивак Иван Онуфриевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологий и автоматизации машиностроения;

Шевчук Евгений Игоревич — преподаватель;

Ковальчук Вадим Анатолієвич — инженер кафедры технологий и автоматизации машиностроения