

УДК 621.7

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.12>**В. А. ТИТОВ**

доктор технічних наук,
професор кафедри механіки пластичності матеріалів
та ресурсозберігаючих процесів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-4234-6961

І. А. СЕЛІВЕРСТОВ

кандидат технічних наук,
доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0009-6135-8165

С. І. ГУДЗЕНКО

магістрант
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0009-8776-4102

С. А. РУСАНОВ

кандидат технічних наук,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1003-4867

Д. О. ДМИТРИЄВ

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-8200-351X

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ З ВНУТРІШНІМ ПРОФІЛЕМ ГВИНТОВОЇ ГЕОМЕТРІЇ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

У даній роботі, розглянуто комп'ютерне моделювання геометрії гвинтового профілю довгомірних трубчастих деталей у вигляді спряжень різних кривих, як повторюваний регулярний контур, що описано аналітично з визначенням точок дотику кожного спряження та переходу від однієї кривої до іншої. За допомогою програмного забезпечення "Profile Generator" виконано параметричне генерування ряду профілів в періодичному спряженні кривих евольвента – пряма – коло (дуга). Для обраних видів профілю застосовано технологічне устаткування для виготовлення довгомірних трубчастих виробів з внутрішнім каналом гвинтової геометрії та обраними видами геометричних спряжень кривих профілю. Застосовано внутрішню оправку, що забезпечує виготовлення довгомірних трубчастих виробів методами холодного пластичного деформування шляхом зовнішнього обтиснення на ній циліндричної заготовки повздожнім та поперечним обкатуванням роликками за різними технологічними схемами. Виявлені переваги та недоліки кожного запропонованого методу, встановлені основні закономірності, які впливають на механічні властивості готових виробів. Уточнені силові фактори для процесу обробки де розглянута модель «оброблювана деталь – інструмент» в цілому.

Запропоновано та реалізовано обробку шляхом зовнішнього обкатування на профільній оправці чотирьох, трьох та одно роликковим навантажувальним пристосуванням. Розроблено класифікацію найбільш поширених у застосуванні в різних галузях промисловості та побутовому використанні профільованих трубчастих виробів з складною геометрією як внутрішньої так і зовнішньої поверхні та наведено існуючі методи їх виготовлення з відповідним технологічним обладнанням, деформаційними властивостями матеріалу та структурою.

Ключові слова: пластичне деформування, моделювання, механічні властивості, профільовані трубчасті вироби.

V. A. TITOV

Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Mechanics of Plasticity of Materials
and Resource-Saving Processes
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-4234-6961

I. A. SELIVERSTOV

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Automation,
Robotics and Mechatronics
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0009-6135-8165

S. I. HUDZENKO

Master Student
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0009-8776-4102

S. A. RUSANOV

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Transport Systems
and Technical Services
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-1003-4867

D. O. DMITRIEV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Automation, Robotics and Mechatronics
Kherson National Technical University
ORCID : 0000-0001-8200-351X

MODELING AND MANUFACTURING OF TUBULAR PRODUCTS WITH THE INTERNAL PROFILE OF HELICAL GEOMETRY BY PLASTIC DEFORMATION

In this work, the computer modelling of the geometry of the helical profile of long-dimensional tubular parts in the form of conjugations of various curves, as a repeating regular contour, which is described analytically with the determination of the points of contact of each conjugation and the transition from one curve to another, is considered. With the help of the "Profile Generator" software, parametric generation of a number of profiles in the periodic conjugation of involute curves – straight line – circle (arc) was performed. For the selected types of profile, technological equipment is used for the production of long tubular products with an internal channel of helical geometry and selected types of geometric conjugations of profile curves. An internal mandrel is used, which ensures the manufacture of long tubular products by methods of cold plastic deformation by external pressing of a cylindrical work piece on it by longitudinal and transverse rolling with rollers according to various technological schemes. The advantages and disadvantages of each proposed method are identified, the main laws that affect the mechanical properties of finished products are established. Specified power factors for the machining process where the model "processed part – tool" as a whole is considered.

Proposed and implemented processing by external rolling on a profile mandrel with four, three and one roller loading device. The classification of the most common profiled tubular products with complex geometry of both the inner and outer surfaces in various industries and domestic use has been developed, and the existing methods of their production with the appropriate technological equipment, deformation properties of the material and structure are given.

Key words: plastic deformation, modelling, mechanical properties, profiled tubular products.

Постановка проблеми

Сучасна промисловість України і світу потребує удосконалення існуючих та розробки нових технологій та отримання деталей надскладної форми. Особливе місце в цьому займають профільовані вироби отримані методами холодного пластичного деформування з профільованою внутрішньою поверхнею. Серед таких виробів розрізняють трубчасті елементи, деталі циліндричної форми, складні профільовані вироби та інші (рис. 1).

В ряді дослідницьких робіт визначено технологічні параметри отримання цих виробів з урахуванням в основі розрахунку використані вихідні дані, що задані у кресленні деталі (габаритні розміри, товщини шарів та їх матеріал). Класифікацію найбільш поширених деталей та технологій їх отримання тиском наведено на рисунку 2.



Рис. 1. Приклади виробів з внутрішньою профілем складної геометрії отриманих методами пластичного деформування

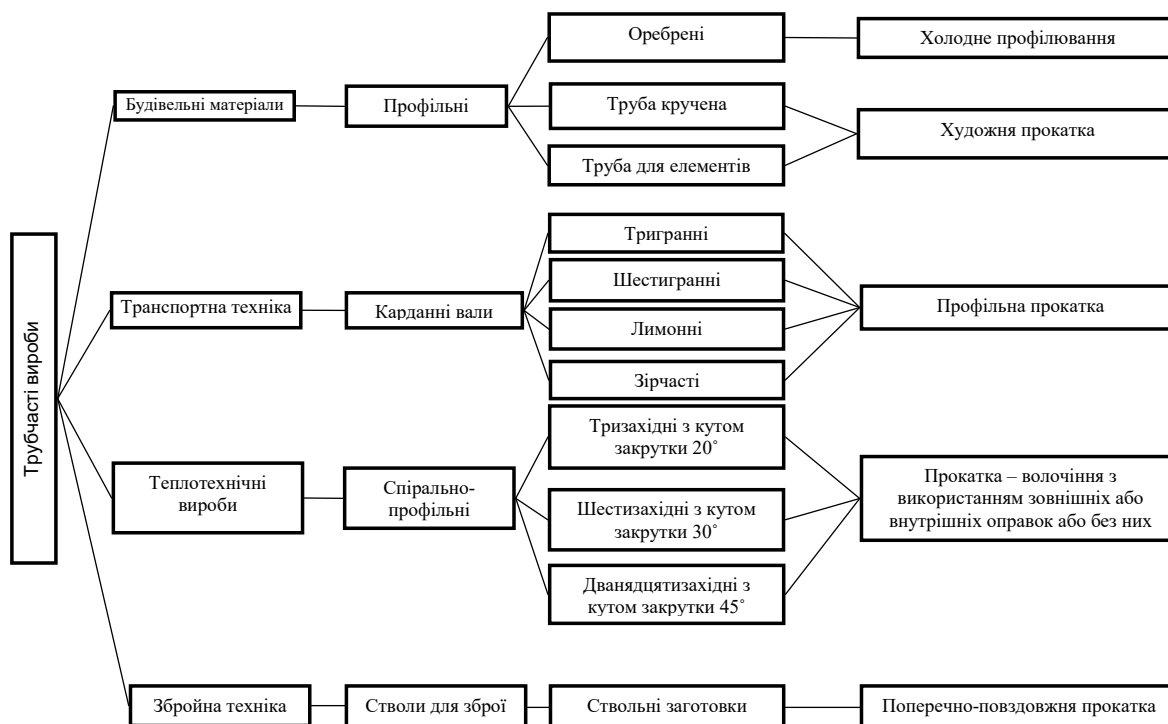


Рис. 2. Класифікація трубчастих виробів складної форми, що поширено на споживчому ринку

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На основі розгляду кінематичних схем обробки поверхневим пластичним деформуванням (ППД) тіл обертання із аналізом напружено-деформованого стану системи виконано аналіз найбільш придатних до фінішної розмірної обробки тиском технологічних режимів і умов. Традиційні технології фінішної обробки ППД поверхонь обертання передбачають використання універсального верстатного обладнання, наприклад, більшість деталей типу стрижнів оброблюють шляхом вигладжування або обкатуванням роликом на токарних верстатах із закріпленням в центрах із застосуванням люнетів. ППД використовують для підвищення опору втоми й твердості поверхневого шару металу, а також для формування в цьому шарі внутрішніх напруг (головним чином напруг стиску) і утворенню регламентованого рельєфу мікронерівностей на поверхні. Радіальне биття деталі і відхилення геометричних розмірів обробного ролика викликає пружні відтиснення інструменту і зміни навантаження розвинутого пружним корпусом, які за нашими розрахунками знаходяться у межах 5–10% для зусиль $P_{об}$ в діапазоні від 1,5 до 3,0 кН. При необхідності даний фактор можна враховувати за допомогою коливання величини контактної тиску в зоні обробки p_{min}^{max} , що розраховується відповідно до профілю і площі фактичного контакту ролика і заготовки. Розрахункові питання стосовно до ППД розглядалися достатньо широко [7].

Згідно з сучасними уявленнями, величину пластичного вторгнення $h_{пл}$ можна отримати з рівняння фактичної площини контакту A_f інструменту з заготовкою. У зв'язку з тим, що величина пластичної деформації вихідної шорсткості обумовлюється формуванням фактичної площини контакту інструменту з поверхнею обробки, яка

здатна сприймати робоче навантаження від ролика або шарика при його качанні або ковзанні та з урахуванням вихідної шорсткості зовнішніх поверхонь обертання A_r , визначається такою залежністю:

$$A_r = \frac{\Delta p}{HB} = A_a \frac{t_{m \text{ вих}}}{100} \left(\frac{h_{пл}}{R_{p \text{ вих}}} \right)^{v_{\text{вих}}}$$

де A_a – номінальна площа контакту ролика з заготівкою; $t_{m \text{ вих}}$ – значення відносної довжини опорної лінії вихідної шорсткості на рівні середньої; Δp – тиск на ділянці контакту, Па; HB – твердість деформованого матеріалу; $R_{p \text{ вих}}$ – висота згладжування вихідної шорсткості; $v_{\text{вих}}$ – параметр, що характеризує опорну поверхню профілю вихідної шорсткості за умови її несучої здатності.

В наукових дослідженнях, для оцінки несучої здатності шорсткості поширене застосування таких показників, як крива опорної поверхні, що будується в відносних координатах $t_p = b\varepsilon v$ і параметри її початкової ділянки v і b (де t_p – відносна опорна довжина профілю на рівні p). Експериментальні дослідження довели, що опорна крива задовільно описується рівнянням $tr=100b(y/100)v$ до рівня середньої лінії. Проінтегрував дане рівняння по y від 0 до R_p , отримаємо залежність для визначення параметру, що характеризує початкову ділянку кривої опорної лінії вихідного профілю шорсткості

$$v_{\text{вих}} = \frac{t_{m \text{ вих}} R_{p \text{ вих}}}{50 R_{a \text{ вих}}} - 1, \text{ тоді} \quad \Delta h_{пл} = R_{p \text{ вих}} \left(\frac{\Delta p}{\Delta HB \cdot t_{m \text{ вих}} \Delta A_a} \right)^{\frac{1}{v_{\text{вих}}}}$$

При точковому вихідному контакті, що перетворюється під дією навантаження в еліптичний, теорія Герца [1, 2] визначає розподілення контактного тиску по еліпсоїду з максимальним тиском в центрі $p_{\text{max}} = \frac{3\Delta P_{об}}{c\pi a' b'}$, де $\Delta P_{об}$ – зміни сили вдавлювання ролика, Н.

Коефіцієнт c являє собою відношення між середнім тиском на ділянку контакту \bar{p} , що викликає пластичну течію, і напруженням текучості s , тобто $c = \frac{\bar{p}}{\sigma_m}$ [1].

Відповідно до геометрії ролика і деталі існують три можливі випадки, для яких згідно зі схемою розраховується Аафр за формулами:

$$A_{афр}(\Omega=0) = \frac{a' \pi D_p \arctg \frac{2b'}{D_p}}{4R_{np} 90^\circ}; \quad A_{афр}(\Omega < 0) = \frac{b' \pi R_{зв}^2 \gamma}{2R_{зв} 90^\circ} \quad A_{афр}(\Omega=0) = 2\pi R_{зв} \left(R_{np} - \frac{a'}{2tg \frac{\gamma}{2}} \right),$$

де $R_{зв}$ – зведений радіус ролика, мм; кут $\gamma = 90^\circ - \alpha + \xi$ визначає ширину сліду накатуваної лунки з поздовжньою подачею і розраховується відповідно зі схемою поданою на рис. 3; a' – розмір плями пластичного контакту ролика і деталі в напрямку поздовжньої подачі інструменту в сталому режимі; b' – розмір плями пластичного контакту ролика і деталі в напрямку качання ролика.

За даними Рижова Є.В. параметр b' задовільно описується співвідношенням $\frac{a'}{b'} = (1 + 0,3\Omega) \frac{n_b}{n_a}$, де n_a і n_b – коефіцієнти [6]; Ω – аргумент, що характеризує форму пластичного контакту.

Складова висоти профілю шорсткості, що обумовлюється коливальним рухом інструменту відносно поверхні обробки при оздоблювально-зміцнюючій обробці, визначено в роботі [6] виразом

$$h_{\text{кол}} = \frac{h_{nл \text{ max}} - h_{nл \text{ min}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\lambda_{\text{пол}}^2}{\omega^2}\right)^2 + T_h^2 \lambda_{\text{пол}}^2}}$$

де $h_{nл \text{ max}}$ і $h_{nл \text{ min}}$ – максимальна і мінімальна величини пластичного вторгнення ролика; ω – частота власних коливань ролика; T_h – стала часу демпфування.

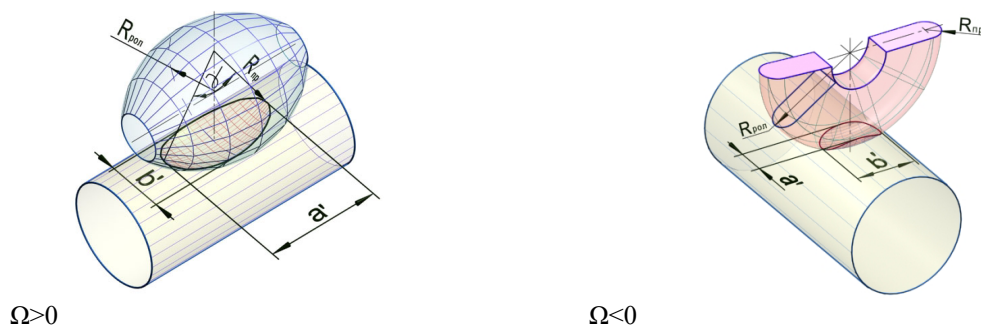


Рис. 3. Схема для розрахунку контурної площі пластичного контакту в зоні обробки

Дані дослідження і наведені закономірності є базовими принципами технологічної підготовки методів ППД. В якості верстатного забезпечення для методів ППД (зокрема, накатці та вигладжування) використовують універсальне або спеціальне метало-оброблювальне обладнання, в тому числі з ЧПК.

Однак весь процес обробки супроводжується не властивими для даних верстатів умовами, а саме співвідношення навантажувальних зусиль не відповідає технічним характеристикам системи пристосування-інструмент-деталь. Зміна положення вектору сили притискання уздовж напрямку подачі викликає зміни значень пружних відтискань.

Досить перспективною технологією отримання трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею є зовнішнє обтиснення не приводними роликами з проштовхуванням деталі на профільній оправці. Для цього використовуються три- або чотири- роликова волока, профільна оправка вкладається в циліндричну трубчасту заготовку подається за допомогою пресу крізь циліндричний отвір, що утворюють не приводні ролики на регульованих опорах без станинного типу (рис. 4). Така технологія передбачає значних зусиль протягування або штовхання і суттєвих зусиль діючих на ролики є імовірність нерівномірного тиску по контактній поверхні уздовж профілю [9].

Формулювання мети дослідження

Розробити аналітичний апарат параметричного завдання внутрішнього профілю трубчастих виробів гвинтової геометрії на основі спряження різних кривих. Визначити технологічні способи виготовлення та застосування обладнання для обробки і необхідних пристосувань у вигляді гвинтових оправок, схем формоутворення, енергосилових режимів та пов'язаних з ними властивостями матеріалів після обробки холодним пластичним деформуванням. Окреслити динамічні умови функціонування технічного обладнання та його вплив на розмірну точність трубчастих виробів із складною геометрією внутрішнього каналу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Процес отримання трубчастих заготовок значно залежить від геометричних параметрів самих внутрішніх полігональних профільних оправок, а саме форми та кількості граней, кроку загвинчування. З цією метою для попереднього проектування був використаний програмний продукт Profile Generator [8], який дозволяє моделювати внутрішню геометрію каналу з евольвентним профілем для автоматичного створення шаблонів, формування геометричних параметрів каналу з асиметричною формою доріжки, яка складається із двох частин – прямолінійної і криволінійної.

Профільовання внутрішньої поверхні здійснювалося за двома схемами. Перша запропонована схема профільовання внутрішньої поверхні деталі методом повздовжньої прокатки. Для цього використовувався двовальковий прокатний стан з приводними валками які мають спеціальні калібровані рівчаки на зовнішній поверхні. Внутрішня полігональна (профільна) оправка також попередньо вкладалась в трубчасту циліндричну заготовку.

В результаті обробки отримані деталі мали високу розмірну точність, значне повздовжнє витягування, що є традиційним для даного способу, а для отримання повного обтискування було достатньо двох або трьох проходів.

Незважаючи на простоту і переваги запропонованої технології – зменшення зусиль і потужності, збільшення продуктивності процесу, існують суттєві недоліки. В процесі обробки спостерігається значна деформація вісі

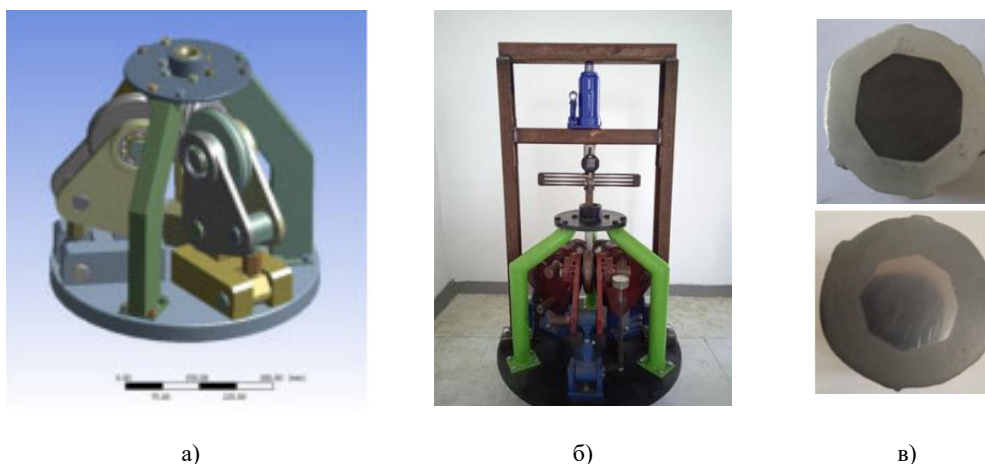


Рис. 4. Трироликова волока для зовнішнього обтиснення циліндричної заготовки на профільній оправці неприводними роликами: а – CAD-модель; б – загальний вигляд експериментальної установки; в – отримані трубчасті деталі з полігональним профілем каналу [9]

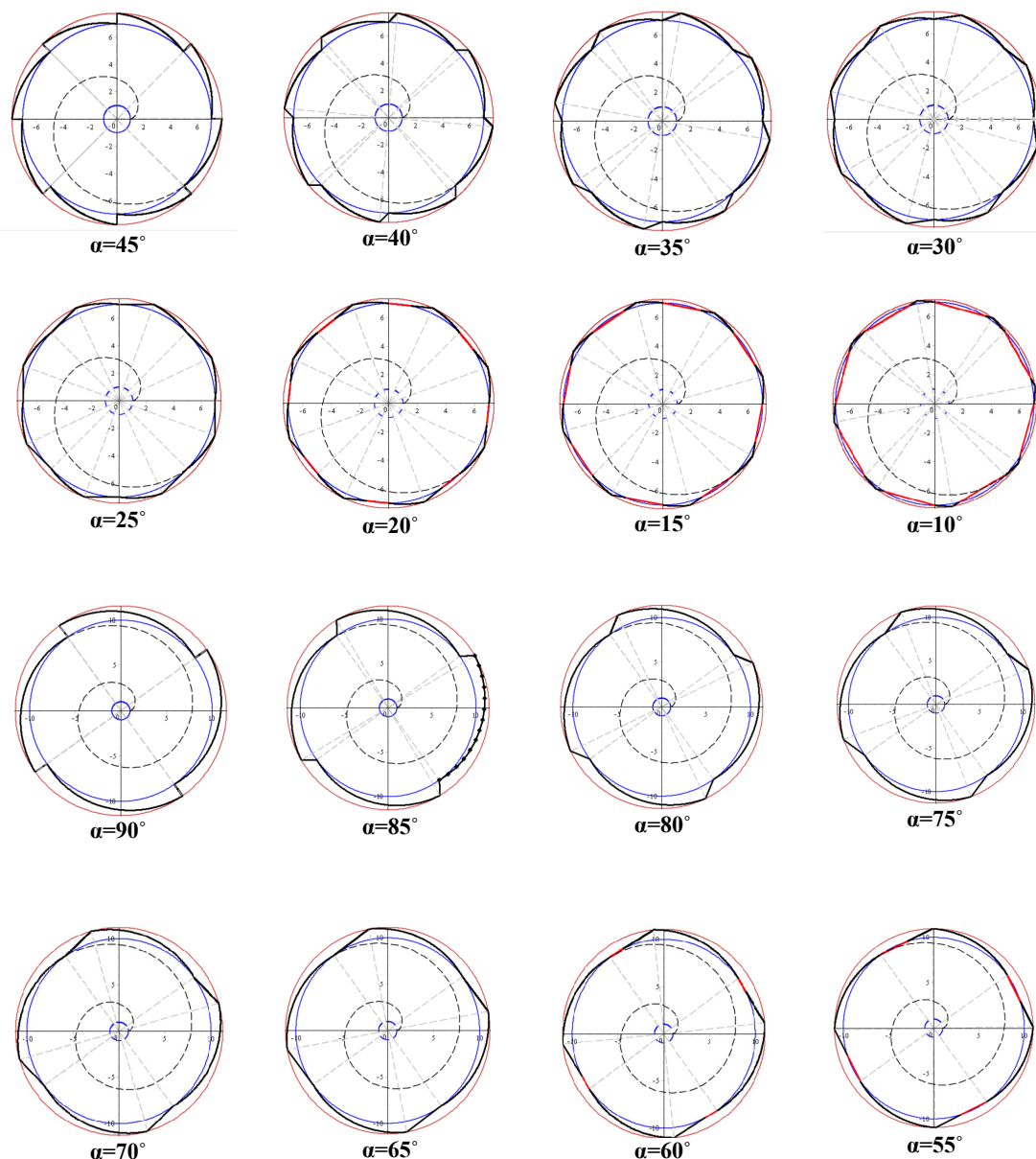


Рис. 5. Приклади згенерованих параметричних CAD профілів оправок

заготовки в повздовжньому напрямку (вигін вісі), що надалі призводить до значних зусиль вилучення профільної оправки із готової деталі.

Для усунення вказаних недоліків запропоновано другу схему – профілювання внутрішньої поверхні деталі методом поперечно-повздовжньої прокатки на токарному верстаті, для чого профільована оправка встановлюється в патрон верстата і задній центр, а регульований пристрій обтискування з не приводними валками монтується на супорті токарного верстату (рис. 6). Обтискування заготовки проводилося одним валком з власним гвинтовим приводом інший валок виконував функцію підпірного. Завдяки такій схемі заготовка з оправкою завжди перебуває на вісі обертання тому деформація після прокатки відсутня.

В роботі використовували шестигранні оправки діаметром 13 мм з прямими гранями та гвинтовими гранями з кроком 350 мм, у якості заготовок – трубчасті заготовки з внутрішнім діаметром 13 мм і товщиною стінок 2,5 мм, матеріал Сталь 20.

За результатами досліджень визначено, що технологія обкатування на токарному верстаті трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею забезпечує достатню розмірну якість, для досягнення результату достатньо 5–6 проходів, вигін вісі відсутній, що призводить до мінімальних зусиль вилучення оправки на рівні 150–300 Н. Попередньо у всіх схемах деформування вилучення оправки відбувалось на випробувальній машині РМ-5 зі спеціально розробленим пристроєм для гвинтових оправок.

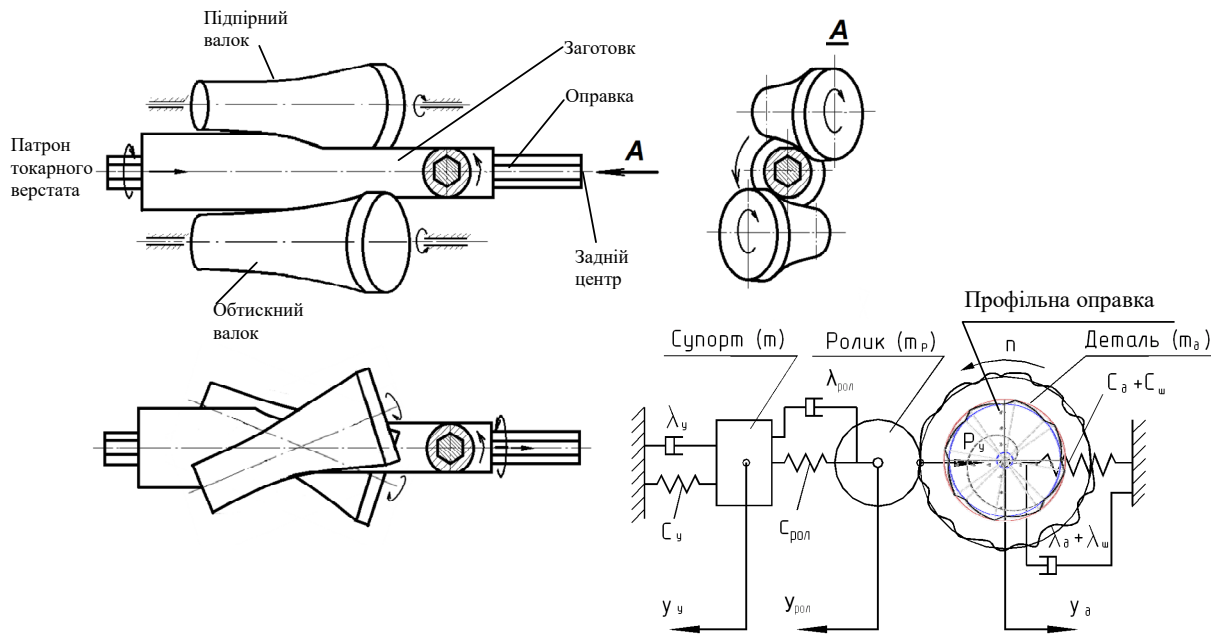


Рис. 6. Схема обтискування з використанням токарного верстату

Для дослідження процесів пластичної деформації, були виготовлені зразки з відпаленої Сталі 20 твердістю 83HRB, встановлено: напрямок деформації відбувається переважно перпендикулярно вісі обертання заготовки (рис. 7), спостерігається суттєве підвищення твердості з 83HRB до 89HRB по всьому перерізу деталі і відповідно збільшенню механічної міцності.

Слід зазначити, при всіх перевагах даного методу, недоліком є застосування циліндричних валків незначної товщини (20 мм), що викликає значні контактні напруження на поверхні виробів і відповідно призводить до часткового відшаровування зовнішнього поверхневого шару, особливо в умовах багаторазових проходів.

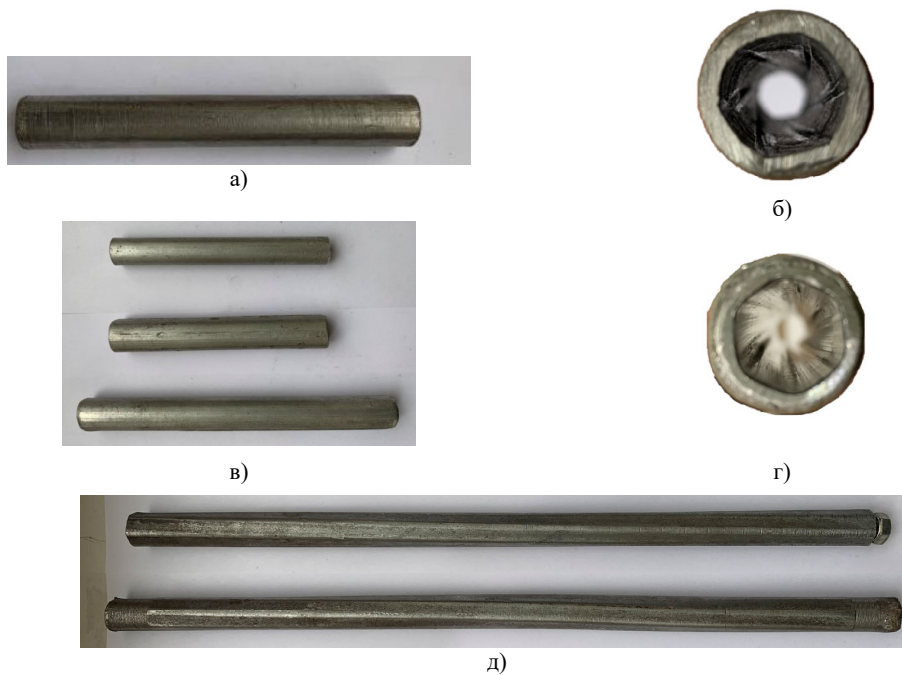


Рис. 7. Деталі після обробки: а, в – вигляд зовнішньої циліндричної поверхні, Сталь 20, алюміній Д18 відповідно; б, г – внутрішня гвинтова поверхня, поперечний вид Сталь 45, алюміній Д18 відповідно; д – гвинтова оправка з профілем внутрішнього каналу

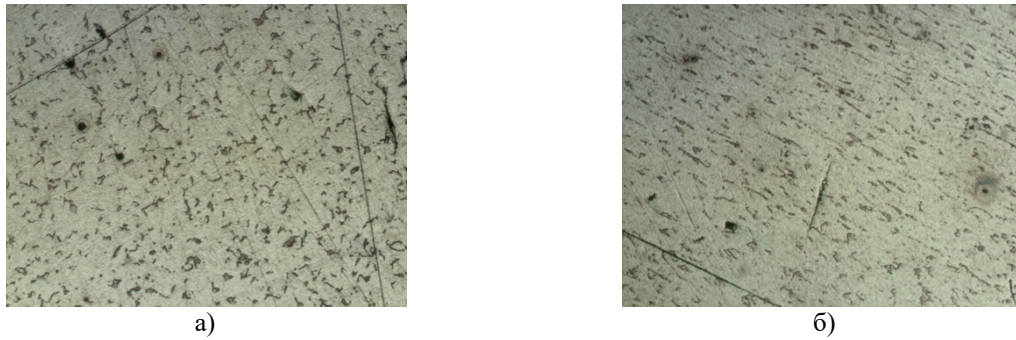


Рис. 8. Мікроструктура Сталь 20 після відпалу 920 °С × 500: а – переріз до пластичного деформування; б – переріз після пластичного деформування

Для уточнення силових факторів в процесі обробки необхідно розглядати модель «оброблювана деталь – інструмент» в цілому. В якості найбільш простого і наближеного до верстатних умов способу вирішення цієї проблеми можна запропонувати обкатування без поздовжньої подачі з вимірюванням розмірів профілю накатаної лунки. Так, під час обкатування відбиток ролика на поверхні деталі перетворюється в слід, що уявляє пластично деформовану контактну лунку. Ширина і кривизна сліду в площині осьового перерізу ролика практично співпадають з шириною і кривизною відновленого відбитку. Із вмиканням поздовжньої подачі слід ролика на циліндричній поверхні деталі приймає гвинтову форму. А лунка шириною a розгортається по гвинтовій лінії з кроком, що дорівнює подачі S_{noz} . Так як за традиційно прийнятими режимами величина подачі значно менша ніж ширина лунки, при обкатуванні відбувається перекриття слідів, а ролик має дотик з кожною точкою поверхні обробки декілька разів. Дане перекриття пропонується оцінювати кратністю докладання навантаження $K_{д.н.}$ при обкатуванні, яке складе:

$$K_{д.н.} = \frac{S_{noz} \cos \theta}{n \cdot (a - L)},$$

де θ – кут підйому гвинтової лінії, $\theta = \arctg \frac{S_{noz}}{\pi D_0}$; L – інтервал між слідами утворених лунок, $L = \frac{S_{noz}}{n} \cdot \cos \theta$; n – кількість деформуючих роликів (для багато роликів інструментів).

Вихідними даними будуть $K_{д.н.}$, n , θ , a . На стадії проектування технологічного процесу для операцій ППД нормувальним параметром повинна виступати поздовжня подача, тому зручніше буде залежність, отримана після перетворень:

$$K_{д.н.} = \frac{S_{noz} \cos \theta}{(n \cdot a - S_{noz} \cos \theta)}, \quad S_{noz} = \frac{K_{д.н.} \cdot n \cdot a}{\cos \theta \cdot (1 + K_{д.н.})}.$$

Відхилення від ідеальної форми заготовки дають додаткові навантаження на інструмент, що формує вектор навантажень $P + \Delta P$ (рис. 2).

Випадкові коливання δy призведуть до розмаху сили притискання ролика з амплітудою

$$\Delta P_{y_0} = C_{рол} \delta y (h_{nl \max} - h_{nl \min})$$

де $C_{рол}$ – жорсткість корпусу оправки ролика; $h_{nl \max}$, $h_{nl \min}$ – відповідно максимальне і мінімальне пластичне вторгнення ролика в оброблювану деталь.

Величину пластичного вторгнення може бути розраховано як $h_{nl} = R_{np}(1 - \cos \zeta)$, де R_{np} – профільний радіус ролика; ζ – кут в плані контакту ролика і деталі $\zeta = \arcsin \frac{a}{2R_{np}}$.

Виходячи зі схеми кінематичного руху ролика, нові створені нерівності будуть $R_{zob} = R_{np}(1 - \sin \alpha)$, де $\alpha = \arccos \frac{S_{noz}}{2R_{np}}$.

В кінцевому вигляді величина R_{zochik} у сталому режимі становить:

$$R_{zochik} = R_{zвих} - R_{np}(\cos \zeta - \sin \alpha), \quad R_{zochik} = (R_{zвих} - h_{nl}) + R_{np}(1 - \sin \alpha).$$

Висновки

За результатами аналізу технологій отримання профільованих отворів, встановлено, що на якість отриманих виробів впливає схема реалізації процесу, технологічні режими, форма валків. Тому наступним етапом дослідження планується використання валків складної форми з реалізацією того ж принципу на токарному верстаті, виготовлення пристосування для процесів холодної пластичної деформації для поперечного і поздовжнього прокатування роликів на оправці, вивчення властивостей матеріалів, деформації зерен по перетинах надкладних виробів.

Список використаної літератури

1. Тітов В.А., Злочевська Н.К., Качан О.Я., Тітов А.В., Кондратюк Е.В. Технологічна механіка забезпечення міцності та якості деталей пластичним деформуванням. Київ. : КВІЦ, 2016. 176 с.
2. Тітов В.А., Шамарін Ю.Є., Долматов А.І., Борисевич В.К., Маковей В.О., Алексеєнко В.М. Високошвидкісні методи обробки металів тиском. Київ: КВІЦ, 2010. 304 с.
3. Шейкін С.Є., Грушко О.В., Мельниченко В.В., Студенець С.Ф., Ростоцький І.Ю., Єфросінін Д.В., Мельниченко Я.В. Про контактну взаємодію твердосплавних деформуючих протяжок із заготовкою при формуванні пазів в отворах трубчастих виробів. *Науковий журнал Надтверді матеріали*. 2021. № 3. С. 91–101.
4. Чигиринський В.В., Бергеман Г.В. Теоретичне прогнозування моделі пластичної середина в умовах складного напруженого стану. Технологічні системи. Дніпропетровськ: Національна металургійна академія України, завод ім. Петровського. 2002. 2 (13). С. 44.
5. Федорчук Д. Д. Вплив пластичного деформування на мікроструктуру матеріалу при обтисненні трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею. Матеріали VII-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу». Херсон, 2021. С. 121–123.
6. Тітов В.А. Деякі особливості контактної взаємодії інструменту і заготовки при деформуючому протягуванні отворів / Тітов В.А., Яворовський В.Н., Герасимов О.В. Технологічні системи. Київ: НТУУ «Київський політехнічний інститут». 2002. 2 (13). С. 40–43.
7. Дмитрієв Д.О. Забезпечення якості обробки довгомірних деталей поверхневим пластичним деформуванням з використанням полімервмісних МОТЗ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. Нац. техн. ун-т України «Київський політехнічний інститут». Київ, 2003. С. 22.
8. Комп'ютерна програма «Profile Generator». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 100070 / Розов Ю.Г., Дмитрієв Д.О., Русанов С.А. Опубл. 20.09.2020 р.
9. Розов Ю. Г. Моделювання і конструктивне забезпечення технології виготовлення трубчастих виробів з профільованою поверхнею / Ю. Г. Розов, Д. О. Дмитрієв, С. А. Русанов, Д. Д. Федорчук // *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон. ХНТУ. 2020. № 3 (74), С. 38–44.
10. Селіверстов І.А., Дмитрієв Д.О., Максимів І. Технології виготовлення профільованих виробів методами холодного пластичного деформування. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці металів тиском». Київ, 2023. С. 121–123.

References

1. Titov V.A., Zlochevska N.K., Kachan O.Ya., Titov A.V., Kondratyuk E.V. (2016) Technological mechanics of safety of plasticity and strength of parts to plastic deformation. Kyiv. : KVIC, 176 p.
2. Titov V.A., Shamarin Yu.E., Dolmatov A.I., Borisevich V.K., Makovei V.O., Alekseenko V.M. (2010) High-quality methods of metal processing with a vice. Kyiv: KVIC, 304 p.
3. Sheikin S.Y., Grushko O.V., Melnichenko V.V., Studenets S.F., Rostotsky I.Yu., Efrosinin D.V., Melnichenko Ya.V. (2021) About the contact interplay of hard-alloy deforming broaches from the workpiece with shaping grooves in the openings of tubular pipes. *Naukovy journal Nadtverdi materials*. № 3. pp. 91–101.
4. Chigirinsky V.V., Bergeman G.V. (2002) Theoretical forecasting of the plastic core model in the minds of a folding stressed frame. *Technological systems. Dnipropetrovsk: National Metallurgical Academy of Ukraine, plant im. Petrovsky*. 2 (13). P. 44.
5. Fedorchuk D. D. (2021) Infusion of plastic deformation onto the microstructure of the material with embossed tubular molds with a profiled inner surface. *Kherson*, pp. 121–123.
6. Titov V.A. (2002) Actual features of the contact between the tool and the workpiece with a deforming broaching opening / Titov V.A., Yavorovsky V.N., Gerasimov O.V. *Technological systems. Kyiv: NTUU “Kyiv Polytechnic Institute”*. 2 (13). pp. 40–43.
7. Dmitriev D.O. (2003) Safeguarding the quality of processing of pre-fabricated parts to surface plastic deformations of victorious polymeric materials MOTZ: Abstract of the thesis. dis. ... cand. tech. Sciences: 05.02.08. National tech. University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. Kyiv, P. 22.
8. Computer program “Profile Generator”. Certificate of copyright registration for the work No. 100070 / Rozov Y.G., Dmytriev D.O., Rusanov S.A. Publ. 09/20/2020.
9. Rozov U. H. (2020) Modeling and constructive security of technology for the production of tubular parts with a profiled surface / Yu. G. Rozov, D. O. Dmitriev, S. A. Rusanov, D. D. Fedorchuk // *Bulletin of the Kherson National Technical University. Kherson. KhNTU*. No. 3 (74), P. 38–44.
10. Seliverstov I.A., Dmitriev D.O., Maksimiv I. (2023) Technologies for the preparation of profiling profiles by methods of cold plastic deformation. *Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference “Theoretical and practical problems in the processing of materials in a vice”*. Kyiv, pp. 121–123.