

# Універсальна дослідницька установка для обтиску трубчастих заготовок

В.А. Тітов<sup>1</sup> • С.П. Гожій<sup>1</sup> • В.А. Мироненко<sup>1</sup>

Received: 31 March 2022 / Accepted: 30 May 2022

**Анотація.** Дослідження проводились на кафедрі технології виробництва літальних апаратів Науково-навчального механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”. На підставі виконання наукової тематики щодо обтиснення трубчастої порожнинної заготовки з формуванням внутрішньої порожнини були досліджені найбільш перспективні схеми такої технологічної обробки та визначені технологічні і конструктивні елементи процесів і обладнання. До уваги брались такі показники як якість (відповідність виробу вимогам використання) і його собівартість, продуктивність процесу, техніко-економічні характеристики та універсальність устаткування. Для експериментального підтвердження вибраного напрямку реалізації в першу чергу було спроектоване експериментальне устаткування та проведено моделювання техпроцесу за кожною з запропонованих схем.

**Ключові слова:** трубчаста заготовка, ролики, бійки, пресування, волочіння, конструкція, штамповий блок.

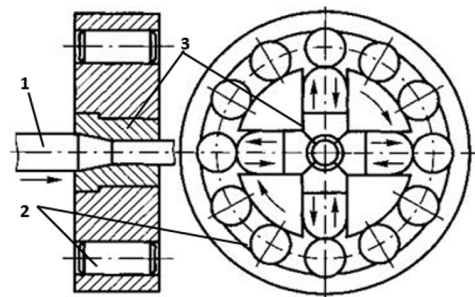
## Вступ

До найбільш поширених схем виготовлення трубчастих виробів з профільованої порожниною методами обробки металів тиском слід вважати:

- радіальне кування заготовки на профільній оправці (радіальне кування) (рис. 1) [1];
- обтиснення групою валків (роликів), робочі поверхні яких утворюють замкнутий контур [2], аналогічно до (рис. 2) або іншими методами, що також застосовують обтиснення через суцільний замкнутий контур [3–6].

Спільна риса наведених видів обробки полягає в тому, що трубчаста заготовка обтискається по оправці, яка має попередньо закладений профіль, а внутрішня поверхня виробу є її відбитком. Треба також відмітити, що принципові відмінності щодо результатів формозміни за схемами обробки на рис. 1 (радіальне кування)

або на рис. 2 (обтиснення) з точки зору створення напружено-деформованого стану та протікання пластичних деформацій в зразку – практично відсутні.



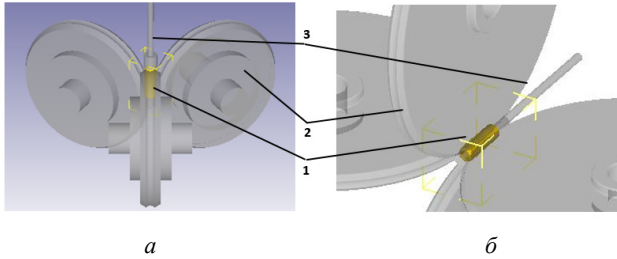
**Рис. 1.** Схема обтиску трубчастої заготовки (профільна оправка не показана) ротаційним куванням (1 – трубчаста заготовка; 2 – ролики; 3 – бійки радіальної дії)

Радіальне кування [7, 8, 9], зокрема, може проводитись на устаткуванні типу SHK-17 австрійської фірми GFM, яка є фактичним монополістом у виробництві цього виду обладнання [2]. До головних переваг радіального кування відносяться те, що даний спосіб дозволяє отримувати вироби з внутрішньою поверхнею необхідної геометрії з достатньою точністю. До недоліків

✉ В.А. Мироненко  
ll671563@gmail.com

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

можна віднести вартісне спеціалізоване обладнання, складні умови праці та наявність додаткових і складних в реалізації операцій правки, а також особливості дискретної силової дії на результати формоутворення.



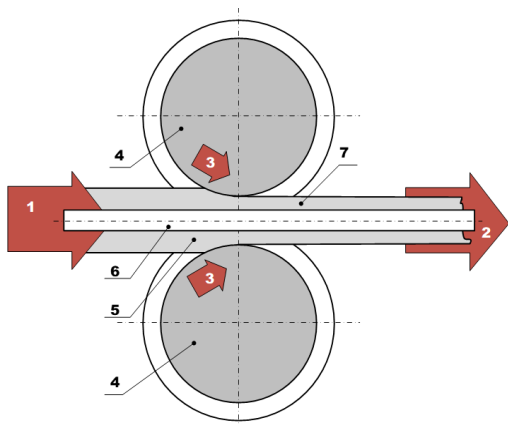
**Рис. 2.** Схеми обтиску трубчастої заготовки між 3-ма (а) та 4-ма (б) валками (1 – трубчаста заготовка; 2 – валки; 3 – профільна оправка)

Реалізація обладнання по варіанту обтиску групою валків по рис. 2 також здається не простим науково-конструкторським завданням, особливо зважаючи на те, що треба оцінювати варіанти як по кількості валків, що беруть участь в обтисканні, так і те, що схему обтискання можна реалізувати, як мінімум, трьома шляхами. Зокрема, впливають три відомі схеми обтиснення.

**Схема I.** Як при пресуванні, від зовнішнього зусилля, що заштовхує трубчасту заготовку в простір обтискання між валками, а самі валки не приводні (див. рис. 3 поз. 1, а поз. 2 та поз. 3 відсутні);

**Схема II.** Як при волочінні, від зовнішнього зусилля, що тягне трубчасту заготовку за межами простору обтискання між валками, а самі валки не приводні (див. рис.3 поз. 2, а поз. 1 та поз. 3 відсутні);

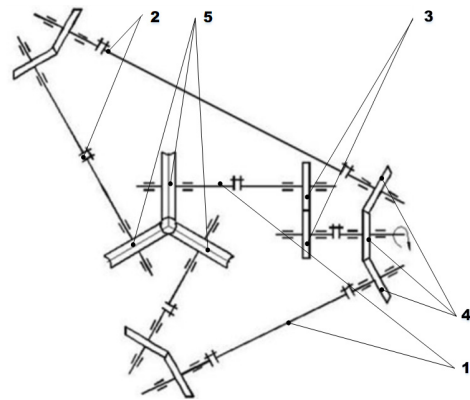
**Схема III.** За рахунок примусового обертання приводних валків як при прокатуванні, від зовнішнього моменту і створення сил тертя між валками і заготовкою (див. рис.3 поз. 3, а поз. 1 та поз. 2 відсутні).



**Рис. 3.** Варіанти схеми обтиску трубчастої заготовки між валками (1 – зовнішнє зусилля, що заштовхує; 2 – зовнішнє зусилля, що тягне; 3 – крутний момент, який прикладений до валка; 4 – валок; 5 – початкова трубчаста заготовка; 6 – профільна оправка; 7 – обтиснутий виріб)

Для виконання експериментальної частини, в першу чергу, для мінімізації витрат ставили за мету створення дослідницького устаткування з універсальними можливостями для відпрацювання різних технологічних випадків реалізації процесу обтискання з подальшим відпрацюванням технологічних параметрів процесу для виробничих потреб.

Для робочого варіанту дослідницької установки було обрано схему з чотирма рівномірно розташованими валками. Також аналіз відомих рішень приводу валків показав, що традиційний обертальний привод на кожний з валків значно ускладнюють конструкцію. Зокрема кінематична схема стану на рис. 4 для обтиску (редуціювання) з трьома робочими приводними валками має значну кількість кінематичних ланцюгів, але приваблива з точки зору організації безперервного виробничого процесу. Оскільки в нашому випадку використовується одиничні заготовки (300...400 мм) така конструкція була відкинута.



**Рис. 4.** Кінематична схема приводу кліті стану для обтиску з трьома приводними валками (1 – вали; 2 – муфти; 3 – циліндричні зубчасті колеса; 4 – конічні зубчасті колеса; 5 – валки; 6 – підшипникові опори валів; 7 – заготовка)

На підставі визначених критеріїв була запропонована і зараз проектується дослідницька (лабораторна) установка, яка поєднує в собі два вузли: - прокатну кліть з чотирма валками, з приводом кожного від зубчастих рейок; - штамповий блок, що має перетинається з прокатною кліттю та встановлюватись в робочий простір гідропресу, який є джерелом навантаження і перемішень, які застосовуються як для зусиль, так обертючих моментів на валках. Ці вузли об'єднані в єдину конструкцію, яка схематично представлена на рис. 5.

Конструкція прокатної кліті (вузла) виглядає наступним чином (рис. 5). Прокатний вузол встановлюється на стіл 1 гідралічного пресу. Нижня плита 2 прокатного вузла безпосередньо контактує з столом 1, до неї через дистанційні колони 3 кріпиться середня плита 4. Яка, в свою чергу, через вісім кутових плит 5 контактує з верхньою плитою 6 і утворює жорстку конструкцію. Кожна з кутових плит 5 об'єднані попарно і в неї встановлений на валу 7 робочий валок 8

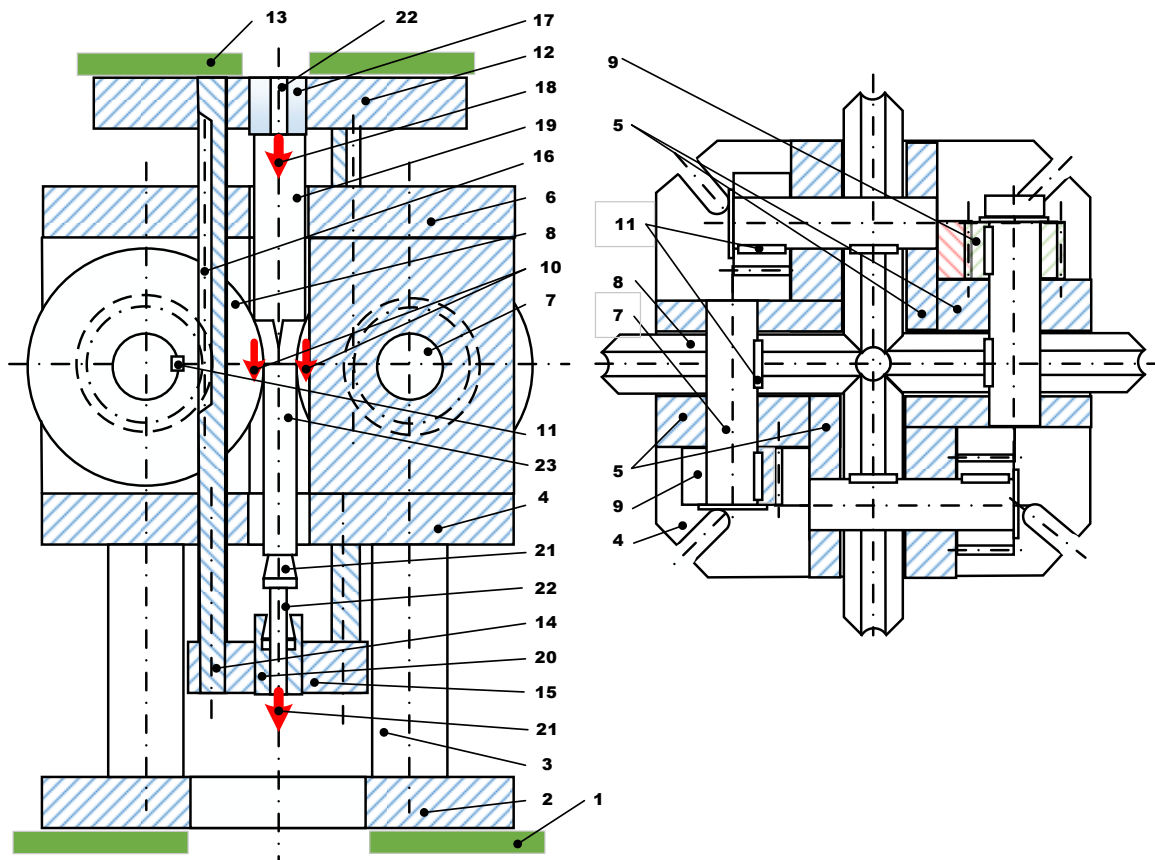


Рис. 5. Конструкція дослідницької установки з чотирма валками для обтиску трубчастої заготовки (позначення на рисунку надані в тексті)

(таких пар, вал 7 та валок 8, загалом – чотири). Кожний з валів 7 має консольне закінчення, на якому закріплюється зубчасте колесо 9. Передача обертових моментів 10, завдяки яким реалізується процес прокатування (обтискання), від колеса 9 на валок 8 здійснюється через шпонки 11.

Конструкція штампового блоку також представлена рис. 5. Верхня плита 12 блоку кріпиться до повзуна 13 гідравлічного пресу. Також верхня плита 12 з'єднана через колонки 14, які проходять через напрямні отвори в плитах 4 та 6 кліті, з нижньою плитою 15 блоку, що також утворює жорстку просторову конструкцію. Одночасно центральна частина колонок 14 виконана як зубчаста рейка 16, яка входить в зачеплення з зубчастим колесом 9. Тому колонки 14 виконують подвійне призначення: центрують штамповий блок відносно прокатної кліті та передають, завдяки зубчастій рейці 16, обертальні моменти 10 на зубчасті колеса 9 та валки 8. Це відповідає режиму роботи (Схема III) дослідницької (лабораторної) установки в режимі обтискання прокатуванням.

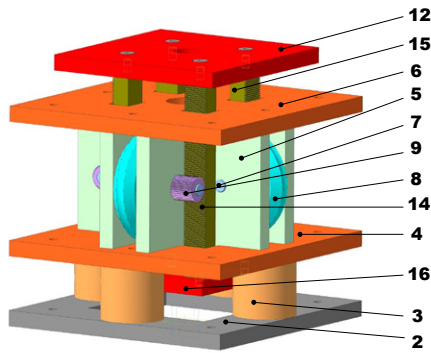
Конструкція штампового блоку передбачає встановлення в верхній плиті 12 спеціального інструменту 17, що центрує, фіксує і заштовхує з зусиллям 18 труб

часту заготовку 19 в простір для обтискання між валками 8, перед цим зубчасті колеса 9 – демонтуються. Це відповідає режиму роботи дослідницької установки в режимі обтискання пресуванням (Схема I).

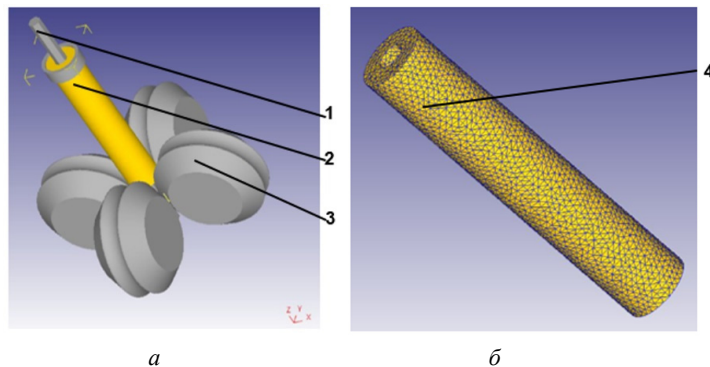
Конструкція штампового блоку одночасно передбачає встановлення в нижній плиті 15 ще одного спеціального інструменту 20, що фіксує, центрує та затягує (тягне) з зусиллям 21 трубчасту заготовку 19 в простір для обтискання між валками 8. Для цього на певні ділянки 21 нижній кінець заготовки 19 зменшують до діаметру обтиснення та надають відповідну форму із зворотнім конусом чи нахилом поверхні як в інструменті 20. Під цим зубчасті колеса 9 – також демонтуються та забезпечується відсутність контакту між інструментом 17 та заготовкою 19. Це відповідає режиму роботи дослідницької установки в режимі обтискання волочінням (Схема II).

Також для реалізації процесів та забезпечення роботи дослідницької установки в отворах спеціальних інструментах 17 та 20 мається можливість плаваючого закріплення в верхній і нижніх частинах профільної оправки 22, яка проходить через отвір трубчастої заготовки, та формує її внутрішню поверхню частини 23 при обтисканні між приводними або неприводними валками.

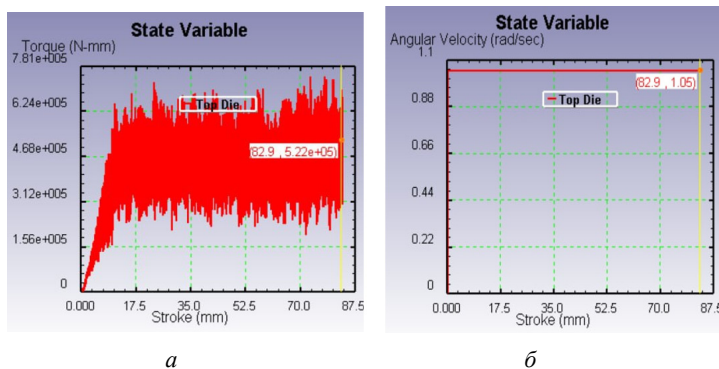
Представлена конструкція має додаткові технологічні можливості. Найбільш суттєвою з них є можливість реалізації додаткових схем обтиснення, зокрема, поєднання схеми прокатування (Схема III) та схеми волочіння (Схема II). Можливі і інші варіанти комбінацій силової дії на заготовку. Вбачається отримання нових корисних результатів обробки.



**Рис. 6.** Зовнішній вигляд дослідницької установки з чотирма валками для обтиску трубчастої заготовки (позначення такі ж як на рис. 5 та в тексті)



**Рис. 7.** Схема обтиску при моделюванні прокатуванням (а) відповідна розбивка трубчастої заготовки на скінечні елементи (б) (де: 1 – оправка; 2 – трубчаста заготовка; 3 – валки; 4 – розбивка на елементи моделювання)



**Рис. 8.** Результати моделювання: а – графік крутного моменту на валку за час виконання технологічної операції обтиску прокатуванням; б – кутова швидкість валка

Для усвідомлення особливостей обтиску трубчастої заготовки між валками, розрахунку потужності приводу дослідницької установки в режимі прокатування та подальшого підтвердження результатів роботи проведенням натурних експериментів паралельно проводиться моделювання зазначених схем з врахуванням особливостей кожної або їх сукупної дії для обробки доевтектоїдної сталі.

На рис. 7 представлені: - схема обтиску для розрахунку енергосилових параметрів обтиску прокатуванням (Схема III) при моделюванні методом скінечних елементів в середовищі DEFORM 2D-3D (рис. 7. а); - відповідна розбивка трубчастої заготовки на елементи (рис. 7. б) Кількість елементів сітки – 28296, що достатньо для отримання достовірного результату.

На рис. 8 представлені результати: - графік крутного моменту на валку за час виконання технологічної операції обтиску прокатуванням (рис. 8. а); - кутової швидкості валка (рис. 8. б).

Для підтвердження отриманих величин енергосилових параметрів реалізації процесу при моделюванні та для проектування дослідницької установки використовувались залежності для визначення зусиль прошивування та протягування заготовки в простір між валками, а також моменти адаптовані по класичним методам прокатування між калібрами. Зокрема, енергосилові параметри, в тому числі, обертовий момент, потужність приводу) прокатування, рекомендовані ступені деформування (обтиску) та кінематичні параметри визначались за рекомендаціями [10].

Оснащення установки засобами тензометрії та цифрової реєстрації і обчислення енергосилових та інших технологічних параметрів значно розширить її дослідницькі можливості.

## Висновки

Дослідницька установка має універсальні можливості з точки зору проведення натурних експериментів дослідження широкого спектру схем обтиснення порожнистої заготовки.

Впровадження результатів дослідження процесу обтиску дозволить зменшити собівартість, збільшити продуктивність, забезпечити якість виготовлених виробів, зменшити енергоємність виробництва тощо.



## References

- [1] J. Huang *et al.*, “A Dynamic Model for Simulation of Hot Radial Forging Process”, in *ICTP 2017*, Cambridge, United Kingdom, pp. 478–783, 17–22 September 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.808>
- [2] O. Polyvoda *et al.*, “Acoustic Signal Processing Methods for Diagnosing Electromechanical Systems”, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1020, pp. 97–109, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_7)
- [3] Y.G. Rozov, “New technologies for manufacturing precision tubular products with a profiled inner surface”, *Bulletin of KhNTU, Engineering Sciences Kherson National Technical University*, No. 4(51), pp. 33–39, 2014.
- [4] Jianglin Huang, Carl D. Slater, Anup Mandral and Paul Blackwell, “A Dynamic Model for Simulation of Hot Radial Forging Process”, in *International Conference on the Technology of Plasticity, ICTP 2017*, 17–22 September 2017, Cambridge, United Kingdom
- [5] A.V. Vydrin, E.V. Khramkov and M.V. Bunyashin, “Kinematics of the deformation zone during mandrelless rolling of oil country tubular goods”, *Bulletin of SUSU. Series “Metallurgy”*, Vol. 16, No. 1. pp. 91–97, 2016. <https://doi.org/10.14529/met160113>
- [6] S. Khayatzadeh, M. Poursina and H. Golestanian, “A Simulation of Hollow and Solid Products in Multi-Pass Hot Radial Forging Using 3D-FEM Method”, *International Journal of Material Forming*, 1, pp. 371–374, 2008. DOI: 10.1007/s12289-008-0072-6
- [7] L.D. Dolgikh *et al.*, “Control of the Deformation of a Circular Cylindrical Shell”, *Mechanics of Solids*, Vol. 54, No. 8, pp. 1171–1181, 2019. <https://doi.org/10.3103/S0025654419080077>
- [8] Erik G. Thompson *et al.*, “A Quasi-Steady-State Analysis for Radial Forging”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 34, Issues 1–4, pp. 1–8, 1992. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(92\)90084-6](https://doi.org/10.1016/0924-0136(92)90084-6)
- [9] H. Li *et al.*, “Tooling design–related spatial deformation behaviors and crystallographic texture evolution of high-strength Ti-3Al-2.5V tube in cold pilgering”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04151-w>
- [10] V.K. Smirnov, V.O. Shipov and K.I. Litvinov, *Deformations and susilla in calibers of a simple form*, Metallurgy, 1982.

## Universal research installation for compression of tubular billets

V. Titov, S. Godziy, V. Myronenko

**Abstract.** The research was conducted at the Department of Aircraft Technology and Design of the Educational and Research Institute of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. On the basis of performance of scientific subjects concerning compression of a tubular cavity preparation with formation of an internal cavity the most perspective schemes of such technological processing were investigated and technological and constructive elements of processes and the equipment were defined. Indicators such as quality (compliance of the product with the requirements of use) and its cost, process productivity, technical and economic characteristics and versatility of the equipment were taken into account. To experimentally confirm the chosen direction of implementation, first of all, experimental equipment was designed and the technical process was modeled according to each of the proposed schemes.

**Keywords:** tubular billet, rollers, fights, pressing, drawing, construction, stamp block.