

РОЗДІЛ IV ОБЛАДНАННЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ

УДК 621.73.043; 621.79.15

DOI: 10.37142/2076-2151/2025-1(54)183

Обдуд В. Д.
Матюхін А. Ю.
Єпішкін О. В.

ГВИНТОВИЙ ПРЕС З МУФТОЮ ВКЛЮЧЕННЯ З РОЗДІЛЬНОЮ ВЕДУЧОЮ МАХОВОЮ МАСОЮ

У роботі розглянуто конструктивні особливості та енергетичні аспекти створення гвинтових пресів номінальним зусиллям від 2 МН та енергією удару до 5 МДж для використання в прецизійному штампуванні складних відповідальних деталей з тугоплавких і важко деформованих матеріалів. Зазначені характеристики дозволяють суттєво розширити сферу застосування таких пресів, зокрема для виготовлення крупногабаритних поковок підвищеної точності, компресорних і турбінних лопаток газотурбінних двигунів, шестерень та інших виробів з високими вимогами до точності і якості поверхні, без необхідності застосування штампувальних нахилів у матриці. Проведено аналіз сучасних технічних рішень провідних виробників, таких як Weingarten і Hasenclever, зокрема конструкцій типу RZS, де робочий маховик виконує функцію ротора електродвигуна та жорстко з'єднаний із гвинтом. Виявлено їхні недоліки, пов'язані з високими піковими навантаженнями на електромережу, значними втратами енергії, тепловими перевантаженнями та низьким коефіцієнтом корисної дії в перехідних режимах. Запропоновано нову конструкцію гвинтового преса з альтернативним приводом, що включає накопичувач кінетичної енергії у вигляді ведучої махової маси, яка кінематично з'єднується з робочим маховиком через муфту включення. Розглянуто кінематичну схему приводу та способи зменшення інерційних навантажень за рахунок поділу ведучої махової маси на декілька частин. Надано рекомендації щодо реалізації автономного зворотного ходу повзуна та вдосконалення умов експлуатації преса з метою підвищення його ефективності та надійності.

Ключові слова: гвинтовий прес, накопичення кінетичної енергії, ведуча махова маса, муфта включення, автономний зворотний хід, інерційні навантаження, теплові перевантаження, енергоефективність.

Фірмами Weingarten і Hasenclever розроблено конструкції пресів з одним робочим маховиком, жорстко зв'язаним з гвинтовим шпинделем. Так "Weingarten" для своїх пресів розробив спеціальний привід, у якого робочий маховик одночасно є ротором асинхронного двигуна зі зниженою частотою обертів (преси при номінальних зусиллях до 10 МН) і з одноступеневою зубчастою передачею з двигунами в кількості 2, 4 або 6, розташованими симетрично навколо робочого маховика [1] з частотою обертання 600 об/хв. Це прес типу RZS з діаметром шпинделя 560 мм, 710 мм, 900 мм і 1120 мм, з накопичуваною робочим маховиком енергією 1 МДж, 1,1 МДж, 2,5 МДж і 3 МДж. Привід робочого маховика здійснюється спеціально розробленим електродвигуном потужністю 250 кВт, частотою 600 об/хв та одноступеневою зубчастою передачею від валу двигуна на маховик. Кількість двигунів залежить від потужності преса – можуть застосовуватись 2, 4 або 6 двигунів, розташованих діаметрально протилежно навколо робочого маховика [1].

Недоліком такої конструкції є робота приводу в пусковому режимі на хід вниз і на ході вгору, викликаючи пікове навантаження електромережі, що веде до зниження $\cos \varphi$. На рис. 1 представлено діаграму споживання струму і розгону маховика. Як видно з цієї діаграми струм у піку перевищує 1000 А, а частота обертання не перевищує 500 об/хв.

Як видно з теорії електроприводу, коефіцієнт корисної дії, теоретичний, в перехідних режимах досягає 50 %, а практично він досягає лише половини теоретичного. Це приводить до виділення значної кількості тепла, швидкого нагріванням обмоток до граничної температури.

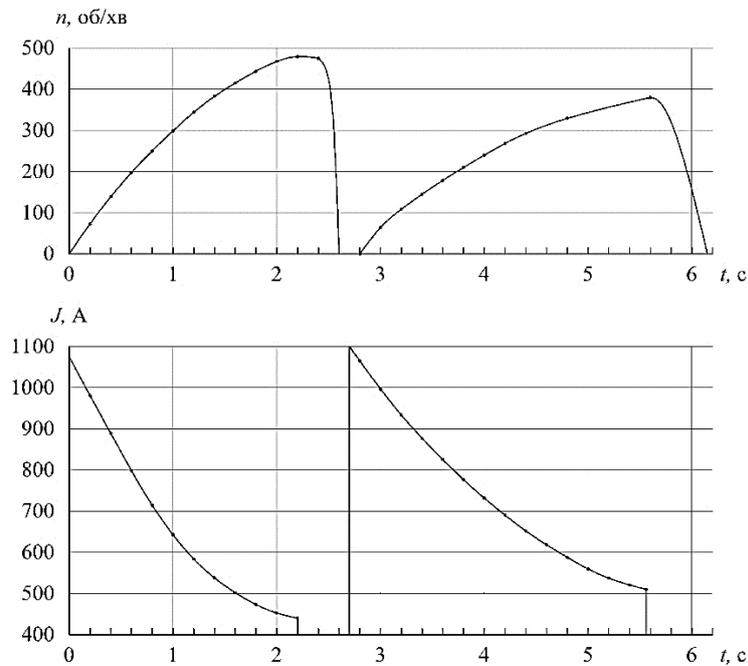


Рис. 1. Діаграма роботи двигуна асинхронного з $N = 250$ кВт, $n_{\text{синхр}} = 600$ об/хв

Видалення цього тепла з обмоток статора становить значну проблему, незважаючи на застосування електровентилятора, що погіршує умови експлуатації преса і його обслуговування.

Для нівелювання цих недоліків пропонується використовувати кінетичну енергію, попередньо накопичену відповідною маховою масою. У цьому випадку механізм реалізується шляхом використання муфти включення, у якій робочий маховик є веденою частиною, а ведучою частиною виступає маховик-накопичувач кінетичної енергії. На рис. 2 представлено діаграму роботи, з якої видно процес включення та розгону робочого маховика до номінальної частоти обертання. До точки 2 відбувається падіння кутової швидкості ведучого маховика і розгін веденого.

В точці 2 відбувається повне змикання ведучого і веденого маховика, подальший рух відбувається як рух однієї маси до точки 3. В точці 3 муфта розмикається і рух ведених мас (робочий маховик) відбувається по інерції.

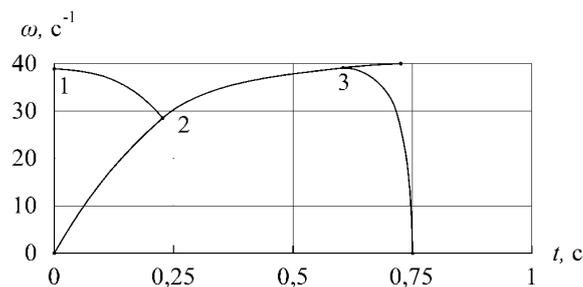


Рис. 2. Зміни кутової швидкості ведучих і ведених мас при включенні муфти (якісна картина)

На рис. 3 представлена кінематична схема преса. В станині 1 преса встановлено повзун 2 кінематично зв'язаний з гвинтовим шпинделем 3, на кінці якого змонтовано робочий маховик (ведений маховик муфти включення) 4, — над яким встановлена ведуча частина муфти (накопичувач кінетичної енергії) 5. Діаметрально встановлені частини ведучої маси 6 і 7, встановлені, наприклад, на валах приводних двигунів 8 і 9. Зворотній рух повзуна здійснюється приводом зворотного ходу 10.

Внутрішня частина жорстко насаджена на гвинтовий шпindel (рис. 4), а зовнішня з можливістю вільно обертатись. Кінематичний зв'язок обох частин при ході вниз забезпечується поворотними шпонками, а при зворотному ході зовнішня частина гальмується, одночасно шпонки повертають частини робочого маховика втрачають кінематичний контакт і при підйомі повзуна обертається тільки гвинтовий шпindel і внутрішня частина робочого маховика.

Кількість виділених частин ведучої махової маси може бути дві, чотири, або шість, що дозволяє зменшити момент інерції, а отже і вагу верхньої частини преса, що в свою чергу вплине на стійкість преса в просторі

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз роботи гвинтового преса з електричним приводом та виявлено недолік, що обумовлений перехідним режимом роботи приводу, який є небажаним для оптимальної роботи пристрою.

Запропоновано гвинтовий прес, у якого привод зворотного ходу автономний, а робочий хід здійснюється за рахунок виконання приводу з муфтою включення, в якій робочий маховик є веденою частиною, а ведучою є накопичувач кінетичної енергії, необхідної для розгону веденого (робочого) маховика.

Ведуча частина може бути розділена на декілька: одна насаджена на консоль гвинтового шпindеля і має таку ж саму частоту обертання, як і робочий маховик, інші розташовані діаметрально протилежно і мають зубчаті вінці, якими вони кінематично з'єднані з першою. Кількість таких частин парна, і може бути 2, 4, або 6. Привод здійснюється від двигунів з високою синхронною частотою обертання, причому вони можуть бути безпосередньо насажені на вал двигунів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. SMS Hasenclever Maschinenfabrik GmbH. Screw Press. U.S. Patent No. 4,563,889. 1986. Available at: <https://patents.justia.com/patent/4563889>
2. Song H., Durand C., Baudouin C., Bigot R. Dynamic Modelling and Efficiency Prediction for Forging Operations Under a Screw Press. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024. 134, pp. 645–656. DOI: 10.1007/s00170-024-14145-y.
3. Dziubinska A. Connectors from ZK60 Magnesium Alloy Preforms. *Materials*. 2023. 16(9), art. 3467.
4. Schuler Group. Screw Presses with Direct Drive. Schuler Group. [Accessed: 17.03.2025]. Available at: https://www.schulergroup.com/major/download_center/broschueren_forging/download_forging/forging_broschuere_spindelpressen_direktantrieb_e.pdf
5. Fait D., Karban P., Hofrichterová P. Evolutionary Algorithm-Driven Screw Press Design. *Tandfonline*. 2025. DOI: 10.1080/19397038.2025.2454364.
6. Gontarz A., Drozdowski K., Dziubinska A., Winiarski G. A Study of a New Screw Press Forging Process for Producing Aircraft Drop Forgings Made of Magnesium Alloy AZ61A. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. 2018. 90(3), pp. 559–565. DOI: 10.1108/AEAT-11-2016-0238.
7. Bambach M., Sydow B., Hirtler M., Sviridov A. A Simulation Study on the Closed-Loop Control of Screw Press Forgings Using the Impact Energy as Control Input. 2018. 18(3), pp. 98–106.
8. Gontarz A., Drozdowski K., Dziubinska A., Winiarski G., Surdacki P. Forging of Mg-Al-Zn Magnesium Alloys on Screw Press and Forging Hammer. *Materials*. 2020. 14(1), art. 32. DOI: 10.3390/ma14010032.
9. Гвинтовий прес: пат. 127676 Україна. МПК В30В 1/18 (2006.01) / Обдун В.Д., Матюхін А.Ю., Широкобоков В.В., Матюхіна Т.Г. — заявл. 28.06.2022, опубл. 11.11.2022, бюл. № 47.

REFERENCES

1. SMS Hasenclever Maschinenfabrik GmbH. Screw Press. U.S. Patent No. 4,563,889. 1986. Available at: <https://patents.justia.com/patent/4563889>
2. Song H., Durand C., Baudouin C., Bigot R. Dynamic Modelling and Efficiency Prediction for Forging Operations Under a Screw Press. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024. Vol. 134, pp. 645–656. DOI: 10.1007/s00170-024-14145-y.
3. Dziubinska A. Connectors from ZK60 Magnesium Alloy Preforms. *Materials*. 2023. Vol. 16, No. 9, Art. 3467.
4. Schuler Group. Screw Presses with Direct Drive. Schuler Group. [Accessed: March 17, 2025]. Available at:

https://www.schulergroup.com/major/download_center/broschueren_forging/download_forging/forging_broschuere_spindelpressen_direktantrieb_e.pdf

5. Fait D., Karban P., Hofrichterová P. Evolutionary Algorithm-Driven Screw Press Design. Tandfonline. 2025. DOI: 10.1080/19397038.2025.2454364.
6. Gontarz A., Drozdowski K., Dziubinska A., Winiarski G. A Study of a New Screw Press Forging Process for Producing Aircraft Drop Forgings Made of Magnesium Alloy AZ61A. Aircraft Engineering and Aerospace Technology. 2018. Vol. 90, No. 3, pp. 559–565. DOI: 10.1108/AEAT-11-2016-0238.
7. Bambach M., Sydow B., Hirtler M., Sviridov A. A Simulation Study on the Closed-Loop Control of Screw Press Forgings Using the Impact Energy as Control Input. 2018. Vol. 18, No. 3, pp. 98–106.
8. Gontarz A., Drozdowski K., Dziubinska A., Winiarski G., Surdacki P. Forging of Mg-Al-Zn Magnesium Alloys on Screw Press and Forging Hammer. Materials. 2020. Vol. 14, No. 1, Art. 32. DOI: 10.3390/ma14010032.
9. Screw press: Patent of Ukraine No. 127676. IPC B30B 1/18 (2006.01) / Obdun V., Matiukhin A., Shyrokobokov V., Matiukhina T. — appl. 28.06.2022, publ. 11.11.2022, Bulletin No. 47.

Obdul V., Matiukhin A., Yepishkin O. Screw Press with Clutch Engagement and a Separate Driving Flywheel Mass.

The paper examines the design features and energy aspects of screw presses with a nominal force of 2 MN and above, and with an impact energy of up to 5 MJ, intended for precision stamping of complex critical parts made from refractory and hard-to-deform materials. These characteristics allow for a significant expansion in the range of applications of such presses, particularly for manufacturing large-scale drop forgings with enhanced precision, compressor and turbine blades for gas turbine engines, gears, and other products with high requirements for dimensional accuracy and surface quality, without the need for stamping inclinations in the die. An analysis is conducted of modern technical solutions from leading manufacturers, such as Weingarten and Hasenclever, particularly of the RZS type designs, where the working flywheel serves as the rotor of an electric motor and is rigidly connected to the screw. Their shortcomings have been identified, including high peak loads on the electrical network, significant energy losses, thermal overloads, and low efficiency in transient operating regimes. A new screw press design with an alternative drive is proposed, which incorporates an accumulator of kinetic energy in the form of a driving flywheel mass that is kinematically coupled with the working flywheel via a clutch. The kinematic scheme of the drive and methods for reducing inertial loads by dividing the driving flywheel mass into several parts are discussed. Recommendations for implementing an autonomous reverse movement of the slider and for improving the operating conditions of the press to enhance its efficiency and reliability are provided.

Keywords: screw press, kinetic energy accumulation, driving flywheel mass, clutch engagement, autonomous reverse motion, inertial loads, thermal overloads, energy efficiency.

Обдул Василь Дмитрович – канд. техн. наук, доцент НУ «Запорізька політехніка»

Obdul Vasyi – Candidate of Technical Science, Associate Professor National University Zaporizhzhia Polytechnic

E-mail: obdul@zp.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6490-8884>

Матюхін Антон Юрійович – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. ОМТ НУ «Запорізька політехніка»

Matiukhin Anton – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Head of Metal Forming Department

National University Zaporizhzhia Polytechnic

E-mail: matiukhin85@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-0577>

Єпішкін Олександр Вячеславович – аспірант НУ «Запорізька політехніка»

Yepishkin Oleksandr – Graduate student of National University Zaporizhzhia Polytechnic

E-mail: dodgevipercoupe00@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1447-9473>

Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia

Стаття надійшла до редакції 12.07.25 р.