

# АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВБУДОВУВАНOSTІ КІНЕМАТИЧНИХ МОДУЛІВ СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ В РАМКАХ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТОЧНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ВИДАВЛЮВАННЯМ

Донбаська державна машинобудівна академія

## *Анотація*

*Запропоновано класифікацію кінематичних модулів складної конфігурації, що дозволило виявити обмеження та рекомендації щодо раціональності їх застосування в рамках проектування процесів точного об'ємного штампування видавлюванням, розширено базу уніфікованих кінематичних модулів із криволінійними межами.*

**Ключові слова:** енергетичний метод, кінематичний модуль, видавлювання, проектування.

## *Abstract*

*The classification of kinematic modules of complex configuration is offered, which allowed to identify limitations and recommendations on the rationality of their application in the design of processes of precise volumetric stamping by extrusion, expanded the base of unified kinematic modules with curvilinear boundaries.*

**Keywords:** energy method, kinematic module, extrusion, design.

## **Вступ**

В наш час збільшується інтерес до процесів точного об'ємного штампування, які демонструють тенденцію до збільшення обсягів виробництва та розширення номенклатури штампованих деталей і матеріалів [1, 2]. У зв'язку з цим пошук прийомів спрощення розрахунків та отримання інженерних формул оцінки силових параметрів процесу деформування та формозміни напівфабрикату визначає задачі теоретичних досліджень процесів холодного видавлювання. Ефективним теоретичним методом дослідження вісесиметричних процесів є енергетичний метод балансу потужностей. Важливим етапом застосування даного методу є визначення комплексу кінематичних модулів схеми та побудова відповідних кінематично можливих полів швидкостей (КМПШ) [2, 3]. Складна форма інструменту (наявність кромок, фасок, опуклості або увігнутості поверхні інструменту) або характер розподілу течії металу всередині заготовки вимагає застосування кінематичних модулів складної конфігурації [3-5]. Більш активне впровадження процесів комбінованого видавлювання вимагає створення адекватних методик розрахунків, які можуть оперативного використовуватися при розробці технології в умовах виробництва на основі створення САПР. З огляду на це необхідним є уніфікація відомих кінематичних модулів та виокремлення етапів їх вбудовуваності в загальні розрахункові схеми в рамках проектування процесів комбінованого видавлювання.

Метою роботи є аналіз особливостей вбудовуваності кінематичних модулів складної конфігурації в рамках проектування процесів точного об'ємного штампування видавлюванням.

## **Результати дослідження**

Для розширення можливостей оперативного використання кінематичних модулів складної конфігурації в розрахункових схемах з наявністю фасок та заокруглень запропоновано їх класифікацію за ознаками та властивостями, що надають можливість на етапі побудови розрахункової схеми процесу вирішити питання раціональності використання того чи іншого модуля (рис. 1). До основних ознак, що істотно впливають на вбудовуваність кінематичних модулів в розрахункові схеми процесів комбінованого видавлювання, можна віднести: форму кінематичного модуля та його геометричне розташування відносно вісі симетрії та з огляду на межування із суміжними модулями; кількість швидкостей на вході та виході із кінематичного модуля, що обумовлює ступінь свободи течії металу та ставить питання можливості (або ні) використання кінематичного параметру у якості варійованого; наявність (або відсутність) обмежень щодо форми

кривої, яка описує похилу межу, та можливості виродження у іншу форму; наявність (або відсутність) обмежень щодо варіації конфігурації суміжних модулів, що може накладати суттєві обмеження у використанні даного кінематичного модуля.

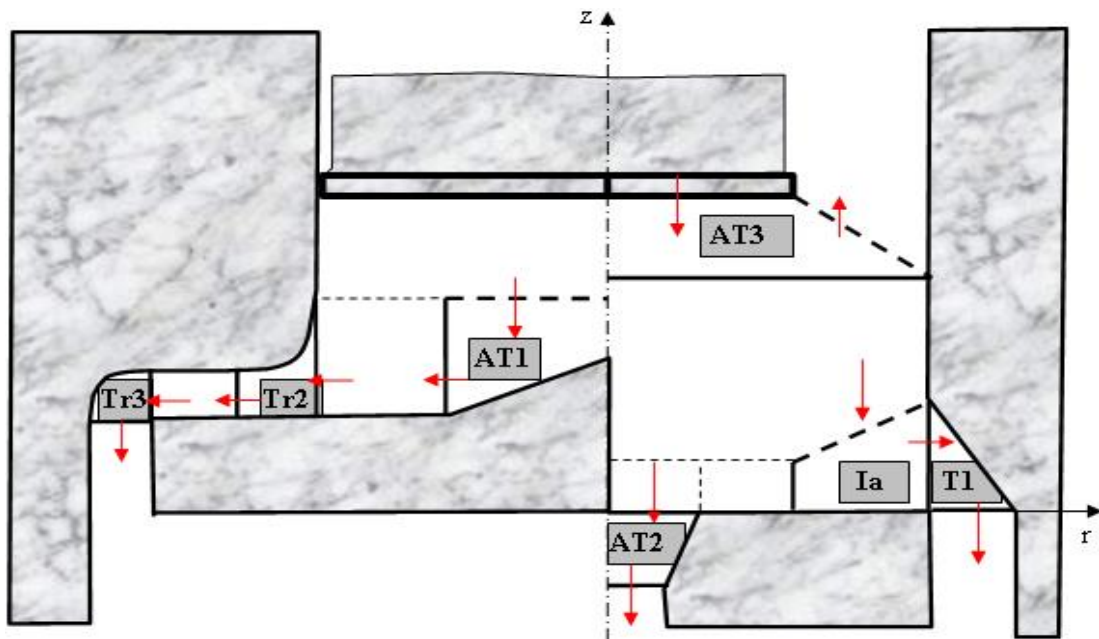


Рис. 1. Узагальнена схема процесу комбінованого видавлювання

Аналіз властивостей кінематичних модулів складної форми згідно із запропонованою класифікацією, дозволив виявити обмеження щодо раціональності застосування кінематичних модулів трикутної та трапецеїдальної форми та можливі напрямки розширення їх можливостей. Представлено фрагмент класифікації трикутних кінематичних модулів (табл. 1).

Таблиця 1. Фрагмент класифікації кінематичних модулів трикутної форми

1	Трикутні	
2	Неосьовий внутрішній 1 вертикальна та 2 похилі межі із суміжними модулями	Неосьовий внутрішній 1 вертикальна та 1 горизонтальна межі із суміжними модулями; 1 похила межа контакту з інструментом
3	Одна степінь свободи течії: 1 вхідна швидкість 1 вихідна швидкість	Одна степінь свободи течії: 1 вхідна швидкість 1 вихідна швидкість
4	Швидкість входу через похилу межу є Зміна напрямку течії є	Швидкостей входу (виходу) через похилу межу немає. Зміна напрямку течії є
5	Варіативності форми немає. Криві, що описують похилі межі однозначно визначені	Варіативність форми кривої під питанням Найпростіший випадок похилої межі - пряма
6	Обмеження: жорсткий верхній та мертва зона знизу	Обмежень щодо суміжних модулів немає
7	-	Частинний випадок трапецеїдального кільцевого кінематичного модуля із зміною напрямку течії

Виявлено обмеженість форм осьових трикутних модулів з криволінійними межами, що можуть моделювати осередки пластичної деформації в зоні розвороту металу із зміною поздовжнього напрямку до радіального. Також виявлена необхідність пошуку функцій, що відображають похилу межу у вигляді заокруглення для кінематичних модулів трикутної та трапецеїдальної форм. В подальших дослідженнях запропоновано наближені функції, що моделюють складну конфігурацію матриці із заокругленням із відхиленням кривої за довжиною дуги та площею криволінійної трапеції від чверті кола меншим, ніж 0,8 %. Розроблено осьові кінематичні модулі трапецеїдальної форми із похилою нижньою межею, запропоновано використання верхньої оцінки для потужності сил деформування за Коші-Буняковським, доведено нераціональність використання загальних прийомів лінеаризації інтенсивності швидкості деформації. З огляду на можливості розширення відомих кінематичних модулів трапецеїдальної форми узагальнено їх КМПШ та запропоновано нові форми похилих меж, що дозволило проводити подальшу оптимізацію приведеного тиску деформування за параметром, що її визначає. Для осьових кінематичних модулів з двома степенями свободи течії металу виявлено обмеження у вигляді конфігурації та КМПШ суміжних модулів для можливості використання кінематичного параметру у якості варійованого.

### Висновки

Встановлено основні властивості кінематичних модулів складної конфігурації, що істотно впливають на особливості їх використання при розробці розрахункових схем процесів комбінованого видавлювання. Виявлені обмеження дозволили розширити базу нових кінематичних модулів трапецеїдальної та трикутної форми та надати рекомендації щодо особливостей їх використання, що значно підвищує оперативність енергетичного методу балансу потужностей при проектуванні процесів точного об'ємного видавлювання штампуванням.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bhaduri A. Extrusion. In: Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys. Springer Series in Materials Science. 2018. vol 264. pp. 599-646. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7209-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7209-3_13).
2. Aliev I.S. Radial extrusion processes. Soviet Forging and Metal Stamping Technology. In: English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo. 1988. Part 3. pp. 54–61. ISSN 0891-334x
3. Анализ влияния формы инструмента на энергосиловые параметры при комбинированной осадке / К. В. Гончарук, Л. И. Алиева, Н. С. Грудкина, Л. В. Таган, А. В. Шкира // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2015. – № 3 (18Е). – С. 70–79.
4. Грудкіна Н.С. Математичне моделювання процесів радіально-поздовжнього видавлювання з використанням трапецеїдальних кінематичних модулів // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2020 (123). – С. 78–83. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.4.78-83
5. Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression / L. Aliieva, N. Hrudkina, I. Aliiev, I. Zhbankov, O. Markov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 2/1 (104), P. 15–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433>

*Грудкіна Наталія Сергіївна* — канд. техн. наук, доцент кафедри математики та моделювання, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

*Hrudkina Natalia S.* — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of Mathematics and Modeling, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk