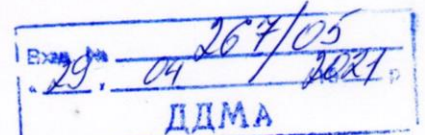


*В спеціалізовану вчену раду Д12.105.01  
Донбаської державної машинобудівної академії,  
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72*

## **ВІДГУК**

**офіційного опонента на дисертацію Грудкіної Наталії Сергіївни «Розвиток енергетичних методів аналізу технологічних режимів та удосконалення процесів точного об'ємного штампування видавлюванням», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – «Процеси та машини обробки тиском»**

1. **Актуальність теми.** Удосконалення існуючих і розробка нових технологій обробки металів тиском в значній мірі залежить від визначення оптимальних технологічних параметрів процесу, режимів обробки, прогнозування формоутворення деталі, навантажень на інструменти, оптимальної форми і стійкості інструменту, достовірної оцінки напружено-деформованого стану та прогнозування можливості дефектоутворення тощо. Вирішення поставлених завдань дозволить забезпечити виробництво якісних виробів з високими експлуатаційними характеристиками. Одним із найбільш раціональних, економічно обумовлених та перспективних напрямків створення високоефективних технологій є застосування способів точного об'ємного штампування, які дозволяють отримувати напівфабрикати з формою, розмірами і якістю максимально наближеними до готових виробів. Досить ефективними для отримання якісних виробів є способи комбінованого видавлювання, які характеризуються наявністю декількох ступенів свободи течії металу, але використання таких способів обмежене недостатнім рівнем досліджень. Оскільки в даний час недостатньо науково обґрунтованих рекомендацій з проектування технологічних режимів, визначення оптимальної форми інструментів та оцінки технологічних можливостей способів комбінованого видавлювання з точки зору ефективного керування формоутворенням деталей, успішно розв'язувати конкретні практичні задачі при дослідженні широкого кола процесів дозволяє розвиток та удосконаленням енергетичних методів. Одним із



**1. основних теоретичних методів досліджень процесів холодного комбінованого видавлювання, який дозволить вирішити зазначені задачі, є метод балансу потужностей. Тому, вважаю, що науково-прикладна проблема вдосконалення і розвитку методів проектування технологічних процесів точного об'ємного штампування на базі розвитку наукових основ енергетичного методу балансу потужностей, є актуальною.**

**2. Відповідність планам наукових досліджень.**Результати докторської дисертації Грудкіної Н. С. спрямовані на вирішення завдань, поставлених у Програмі науково-технічного розвитку Донецької області на період до 2020 року. Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку «Розвиток ресурсозберігаючих процесів обробки тиском на основі створення нових технологічних способів і методик аналізу закономірностей пластичного деформування» наукової школи «Обробка металів тиском» Донбаської державної машинобудівної академії. Робота виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт за планами Міністерства освіти і науки України та виконаних на кафедрі ОМТ ДДМА (№держреєстрації 0115U003123, 0115U004736, 0117U001164, 0119U000242), де авторка була виконавцем, та виконаних на кафедрі КДіМПІМ ДДМА (№держреєстрації 0120U101973), де авторка є відповідальним виконавцем, а також в рамках спільних науково-дослідних робіт з низкою підприємств.

**3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, та їх достовірність.**

Високий ступінь достовірності та обґрунтованості наукових результатів роботи визначається використанням базових фундаментальних залежностей обробки металів тиском для визначення нових методів розрахунку технологічних параметрів процесів точного об'ємного штампування. Для досліджень використано комплексний метод, який включає проведення експериментів з визначення силового режиму та формоутворення напівфабрикату і моделювання на їх основі процесів об'ємного деформування з подальшою експериментальною перевіркою запропонованих рішень.

Теоретичні дослідження силового і деформаційного режимів процесів

видавлювання проведені з використанням енергетичних методів балансу потужностей і методу скінченних елементів. Розробка нових кінематичних модулів трапецеїдальної та трикутної форми враховувала дані напружено-деформованого стану та викривлення ділительних сіток, що дозволило описати криволінійні межі розділу течії металу всередині заготовки та наявність складних ділянок поверхні контакту інструменту та заготовки у вигляді фасок та заокруглень.

Для оцінки умов контактної тертя використані результати вимірювання сил тертя у спеціальних пристроях безпосередньо в процесі холодного об'ємного деформування. Для оцінки точності отриманих результатів експериментальних досліджень використовувалися методи статистичної обробки дослідних даних.

Крім того достовірність та обґрунтованість підтверджується всебічною та багаторазовою апробацією дисертації на міжнародних конференціях, впровадженням у виробництво результатів досліджень та нових методів розрахунку.

#### **4. Наукова новизна отриманих результатів.**

Наукову новизну дисертаційної роботи складають наступні її основні положення.

1. *Вперше* на основі енергетичного методу балансу потужностей розроблено комплекс розрахункових моделей процесів холодного видавлювання із застосуванням кінематичних модулів складної конфігурації з похилими межами різної форми.

2. *Отримали розвиток* методи та прийоми спрощення оцінки приведенного тиску деформування кінематичних модулів трапецеїдальної та трикутної форми із криволінійними межами.

3. *Вперше* в рамках використання енергетичного методу балансу потужностей обґрунтовано можливість використання швидкості течії металу у поздовжньому напрямку у якості варіюємого кінематичного параметру для осьового трапецеїдального модуля виключно за умови наявності додатної радіальної складової швидкості суміжних модулів.

4. *Отримали розвиток* уявлення на основі використання даних про напружено-деформований стан та викривлення ділильних сіток про особливості формування осередку деформації в осьовій зоні розвороту до радіальної течії металу.

5. *Отримали розвиток* уявлення про особливості вбудовування розроблених та узагальнення існуючих кінематичних модулів складної конфігурації та їх комплексів, що *забезпечує можливість* проведення оперативного аналізу силового режиму деформування і поетапного формоутворення деталей в процесах комбінованого видавлювання з кількома ступенями свободи течії металу.

## **5. Практична цінність роботи.**

Практичну цінність дисертаційної роботи представляють наступні її основні результати:

- рекомендації з раціонального вибору кінематичних модулів складної конфігурації із відокремленням властивостей та особливостей використання;

- методика розрахунків процесів комбінованого видавлювання та осадження, в тому числі із застосуванням кінематичних модулів з двома ступенями свободи течії;

- удосконалення способів послідовного та суміщеного комбінованого видавлювання за рахунок визначення оптимальної форми інструменту із наявністю конструктивних особливостей у вигляді складних елементів перехідних ділянок у формі фасок і заокруглень та встановлення закономірностей формоутворення та дефектоутворення у вигляді утягнення;

- методики проектування технологічних процесів та технічні рішення виготовлення складнопрофільованих деталей типу гільз, втулок і стаканів з фланцем.

Методичні матеріали та рекомендації з проектування процесів і оснащення комбінованого видавлювання і штампування в роз'ємних матрицях передані для промислового освоєння на ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (НКМЗ, м. Краматорськ), ПАТ «Енергомашспецсталь» (ЕМСС, м. Краматорськ), ПАТ Дружківський завод металевих виробів» (ДЗМВ, м. Дружківка) і ТОВ «Завод рейкових скріплень» (ЗРС, м. Дніпро). Результати досліджень використовуються в

навчальному процесі при викладанні курсів «Теорія процесів кування і штампування» і «Холодне об'ємне штампування» та практичних, лабораторних і проектних робіт студентами та магістрами.

**Наукова-практична цінність результатів роботи** ґрунтується на можливості на етапі проектування процесів комбінованого видавлювання з декількома ступенями свободи течії металу визначитися із силовим режимом, і що більш актуальне з огляду на саморегульованість процесу формоутворення, отримати дані щодо приростів напівфабрикату та оцінити їх відповідність необхідним розмірам готової деталі, а також виявити можливість появи дефектоутворення у вигляді утягнення. Підвищення оперативності енергетичного методу балансу потужностей досягнуто за рахунок розширенням бази уніфікованих кінематичних модулів трапецеїдальної та трикутної форми, що дозволяють врахувати криволінійні межі розділу течії металу всередині заготовки та складні ділянки поверхні контакту інструменту та заготовки у вигляді фасок та заокруглень, що дозволяє обґрунтувати можливість зниження навантажень на інструмент.

## **6. Повнота викладення результатів в опублікованих працях.**

Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 40 роботах, у тому числі 10 статей в міжнародних наукових журналах, які входять до бази даних Scopus та WoS, 14 у фахових та періодичних зарубіжних виданнях, в тому числі 7 з них одноосібні, 11 робіт опубліковано в матеріалах міжнародних конференцій, 2 роботи опубліковано в галузевих збірниках, на нові технічні рішення отримані 3 патенти України на корисну модель.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Проведено апробацію та обговорення результатів досліджень на більш ніж 20-ти наукових конференціях та семінарах.

## **7. Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому.**

Дисертація складається із анотацій, вступу, шести розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 485 сторінок машинописного тексту, з них 310 сторінок основного тексту, 184 рисунки і 20 таблиць, список використаних джерел з 302 найменувань на 35 сторінках, анотації і 7 додатків, що включають і список опублікованих праць за темою дисертації і перелік науково-технічних конференцій.

*У першому розділі* розглянуті сучасні тенденції та шляхи розвитку технологій об'ємного пластичного деформування.

Виконаний аналіз публікацій з удосконалення процесів об'ємного штампування вказує на обґрунтованість і необхідність застосування нових способів деформування. Встановлено, що основною задачею є ефективне керування процесом деформування з прогнозуванням силового режиму, формоутворення, дефектоутворення, дотримання розмірів та отримання якісних деталей. Це є особливо актуальною задачею з точки зору розширення можливостей способів комбінованого видавлювання, підвищення точності ефективних методів моделювання та проектування процесів точного об'ємного штампування видавлюванням.

На основі проведеного аналізу сформульовані мета роботи і завдання дослідження

*У другому розділі* обґрунтовано вибір напрямків досліджень і прийнятих методів і методик теоретичного і експериментального дослідження, скінченно-елементного моделювання процесів холодного видавлювання.

Для зниження трудомісткості процесу штампування доцільно застосовувати ефективні теоретичні методи аналізу та експериментальне моделювання, що дозволить на етапі проектування визначити обмеження та оцінити вплив конструктивних та технологічних параметрів на основні показники якості готових виробів.

Ефективним теоретичним методом вирішення задач об'ємного штампування вважається енергетичний метод у вигляді методу балансу

потужностей, до незаперечних переваг якоговідносяться гнучкість, оперативність та можливість прогнозування дефектоутворення. Маючи в наявності банк уніфікованих кінематичних модулів із повним комплектом розрахунків приведенного тиску деформування в рамках використання методу кінематичних модулів можна оперативно реагувати на всі зміни в розрахунковій схемі, викликані зміною форми деталі або конфігурації інструменту.

Імітаційне моделювання процесів об'ємного штампування здійснювалось за допомогою методу скінченних елементів з використанням програм Qform 2/3D та DEFORM.

Проведені експериментальні дослідження із використанням універсально-переналаджованої установки, яка дозволяє здійснювати видавлювання в рухомих і роз'ємних матрицях за кінематичними схемами комбінованого видавлювання з вимірюванням сил деформування.

*В третьому розділі* на основі узагальнення основних характеристик, властивостей та обмежень, аналізу проблем застосування, систематизовано кінематичні модулі трикутної та трапецеїдальної форми, що дозволило визначитися із основними напрямками подальшої розробки нових кінематичних модулів складної конфігурації.

Приведена класифікація кінематичних модулів складної конфігурації за різними ознаками дозволяє значно розширити можливості використання енергетичного методу верхньої оцінки для широкого кола нових процесів холодного видавлювання. Встановлено, що заміна напрямків швидкостей у кінематичних модулях з декількома ступенями свободи течії металу виявляє суттєві відмінності при розділі течії всередині модуля та вимагає контролю у кожному новому випадку.

*У четвертому розділі* згідно потреб у моделюванні похилих криволінійних меж контакту заготовки та інструменту та розділу течії металу всередині заготовки розроблено нові кінематичні модулі трапецеїдальної та трикутної

форми, розширення можливостей відомих кінематичних модулів досягнуто за рахунок ускладнення форми похилої межі.

За необхідності спрощення потужності деформування однозначно підтверджена раціональність використання верхньої оцінки за Коші-Буняковським у порівняння із лінеаризацією інтенсивності швидкості деформації.

Аналіз величин приведенного тиску деформування всередині кінематичного модуля із заокругленням виявив наявність точки мінімуму та суттєвий вплив умов тертя на отримання оптимального значення радіусу заокруглення.

У якості альтернативи при моделюванні процесів послідовного комбінованого радіально-прямого видавлювання проаналізовано раціональність заміни найуживанішого осьового модуля прямокутної форми на комплекс із двох суміжних кінематичних модулів, один з яких є трапецеїдальним з похилою межею.

У *п'ятому розділі* проведено дослідження процесів послідовного та суміщеного комбінованого радіально-поздовжнього видавлювання порожнистих і суцільних деталей з фланцем.

Побудована альтернативна розрахункова схема процесу комбінованого радіально-прямого видавлювання деталей з фланцем та осьовим відростком дозволила суттєво знизити прогнозовані оцінки силового режиму та отримати дані щодо формування осьового відростку із відхиленням до 7-10 % у порівнянні з експериментально отриманими даними.

Здійснено моделювання процесів послідовного радіально-прямого видавлювання з обтисненням та з роздаванням із наявністю складної конфігурації інструменту та визначено оптимальні співвідношення, що визначають оптимальну конфігурацію інструменту.



Визначено межі раціонального використання удосконалених розрахункових схем моделювання процесів комбінованого радіально-зворотного видавлювання порожнистих деталей з фланцем.

Виконано моделювання отримання порожнистих деталей із складним зовнішнім профілем комбінованим радіально-прямим видавлюванням в два етапи.

Узагальненням виконаних досліджень є рекомендації щодо меж використання кожної із розрахункових схем відповідно до геометричних співвідношень, стадії процесу та можливого дефектоутворення у вигляді утягнення.

*У шостому розділі* виконано систематизацію та узагальнення результатів теоретичних і експериментальних досліджень для їх підготовки до практичного використання. Розглянуто основні етапи проектування процесів комбінованого суміщеного та послідовного видавлювання та запропоновано відповідні технологічні рекомендації.

Розроблено програму з використанням безкоштовного середовища «Delphi Community Edition», яка дозволяє отримати дані щодо кінематично можливих полів швидкостей, розрахункових залежностей приведеного тиску деформування та рекомендацій щодо використання кінематичних модулів з непаралельною течією із урахуванням форми, розташування, властивостей та обмежень, що накладаються на форму похилої межі, конфігурацію суміжних модулів та осередку деформації досліджуваної розрахункової схеми.

Розроблений програмний продукт дозволяє отримати оцінку формоутворення напівфабрикату та силового режиму для бази матеріалів, яку можна за потреби розширити для досліджуваних процесів радіально-поздовжнього видавлювання, інший модуль узагальнює базу уніфікованих кінематичних модулів складної конфігурації із наведенням розрахунків складових енергетичного рівняння та рекомендаціями щодо їх раціональності та обмежень у використанні, що сприятиме подальшому розвитку енергетичного методу.

Запропоновано спосіб комбінованого видавлювання для виготовлення складнопрофільованих порожнистих деталей із формуванням на заключному етапі зовнішнього фланця на бічній поверхні, розташованим в придонній частині деталі.

Надано технологічні рекомендації з проектування процесів комбінованого видавлювання, штампового оснащення для отримання порожнистих і суцільних деталей з фланцем, деталей типу гільз, втулок і стаканів, а також програмне забезпечення для розрахунку технологічних силових режимів та формоутворення і дефектоутворення.

*У висновках*, які наведено наприкінці роботи, відмічені основні результати досліджень з обґрунтуванням рекомендацій з практичного використання результатів.

*Список використаних джерел* з 302 найменувань є інформативним та достатньо повно охоплює предметну галузь, відображає опрацювання здобувачем значної кількості сучасних джерел.

*У додатки* винесені відомості про власні публікації і апробацію роботи. Основні положення дисертації знайшли відображення в публікаціях автора, а також були повідомлені на науково-практичних конференціях.

Зміст *автореферату* достатньо повно розкриває основні положення дисертації та відповідає вимогам до оформлення.

## **8. Зауваження по змісту і оформленню дисертації.**

1. Наскільки достовірним є відхилення теоретичних розрахунків від експериментальних результатів (1,5-12%), якщо прийняти до уваги припущення про однорідність та ізотропність металу?

2. Чи можна застосувати запропонований комплекс математичних моделей до розрахунку процесів, які характеризуються додатковими впливами на заготовку за рахунок складних кінематичних рухів інструментів?

3. Наскільки раціонально ускладнювати форму кінематичних модулів, а потім спрощувати вирази потужностей сил? Який вплив такі дії мають на

величину похибки розрахунків?

4. Які рекомендації щодо випадків, коли в процесі деформування змінюється характер течії металу і обраний на початку кінематичний модуль виявляється не придатним для моделювання процесу?

5. Чому при оцінці величини використаного ресурсу пластичності в процесі комбінованого радіально-зворотного видавлювання було обрано критерій (2.36)?

6. Не зрозуміло, яку величину на рис. 5.41, б відображає вісь ординат? І бажано було б показати розташування точок, для яких пораховано ресурс пластичності, на початку деформування.

7. Яке максимальне значення діаметру фланця при радіально-зворотному видавлюванні для досліджуваних матеріалів можна отримати без руйнування?

8. У висновках бажано було б вказати наскільки точно відображають криві для опису похилих меж трикутних та трапецеїдальних кінематичних модулів характер розділу течії металу в об'ємі заготовки.

9. З якою ймовірністю за допомогою параметру, що визначає оптимальну швидкість течії металу в прямому напрямку, можна прогнозувати утворення дефектів форми заготовки?

10. Назва п. 2.1 «Визначення перспективних напрямків розвитку методики досліджень технологічних режимів точного об'ємного штампування видавлюванням» не досить вдала, оскільки в параграфі в основному представлена інформація про класифікацію кінематичних модулів.

11. В тексті зустрічається, що метод скінченних елементів використано для отримання інформації про напружено-деформований стан, але в дійсності використовується інформація тільки про деформований стан.

12. Зустрічаються рисунки з малоінформативними підписами, бажано робити більш детальні пояснення.

**Висновок.** На підставі аналізу дисертаційної роботи **Грудкіної Н. С.** «Розвиток енергетичних методів аналізу технологічних режимів та удосконалення процесів точного об'ємного штампування видавлюванням» і опублікованих праць автора вважаю, що в дисертації з достатньою повнотою обґрунтовано і вирішено актуальну науково-технічну проблему вдосконалення і розвитку методів проектування технологічних процесів точного об'ємного штампування на базі розвитку наукових основ енергетичного методу балансу потужностей. Матеріали дисертації викладено логічно і послідовно, стиль викладу чіткий і зрозумілий. Зміст автореферату повністю відповідає тексту дисертації, а основні наукові положення, які в них містяться, є ідентичними.

За своєю актуальністю, ступенем достовірності та обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, новизною, практичним значенням, повнотою викладу в опублікованих працях дисертаційна робота відповідає кваліфікаційним вимогам до докторських дисертацій.

Зважаючи на відповідність дисертації вимогам п. 9 та п. 10 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, вважаю що її автор **Грудкіна Наталія Сергіївна** заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском.

Офіційний опонент,

д. т. н., доц.,

доцент кафедри загальнотехнічних

дисциплін та охорони праці

Вінницького національного

аграрного університету

Р. І. Сивак

Особистий підпис  
засвідчую

Начальник відділу  
кадрів ВНАУ



Грудкіна Наталія Сергіївна