

РЕЦЕНЗІЯ

Гулько Ірини Василівни,

кандидата технічних наук, професора, професора кафедри машин
та обладнання сільськогосподарського виробництва

на дисертаційну роботу **Колісника Миколи Анатолійовича**

**«Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу
механіки формоутворення складнопрофільних виробів»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 132 Матеріалознавство

1. Актуальність теми і зв'язок з науковими планами і програмами

Актуальність дисертаційного дослідження зумовлена відповідністю теми дослідження сучасним пріоритетам розвитку машинобудування, матеріалознавства та енергозберігаючих технологій. Робота спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми — удосконалення теоретичних засад і впровадження ефективних ресурсозберігаючих технологічних процесів металообробки, що є необхідною умовою підвищення продуктивності, якості та екологічності сучасного виробництва.

Особливе значення в цьому контексті має розвиток обробки матеріалів тиском (ОМТ) як маловідходного, високоефективного та енергоощадного методу формоутворення. Серед технологій ОМТ процес штампування обкочуванням (ШО) вирізняється технологічною гнучкістю, універсальністю обладнання, екологічною чистотою та економічністю, що робить його привабливим для машинобудування. Його потенціал особливо актуальний для виготовлення складнопрофільних тонкостінних елементів, зокрема порожнистих деталей з буртами та фланцями, які широко використовуються в аграрно-промисловому комплексі.

Разом із тим широке впровадження ШО стримується низкою складнощів: ризиком руйнування заготовок через недостатню пластичність, втрату стійкості при великих деформаціях, а також недосконалістю розрахункових підходів до

моделювання процесу. Традиційні методи виготовлення таких деталей (пряме й зворотне витискування, роздавання, обтиснення, зварювання) є затратними та малоефективними при дрібносерійному виробництві. Тому виникає нагальна потреба у вдосконаленні теорії механіки формоутворення, зокрема в розробленні достовірних моделей течії матеріалу, прогнозуванні напружено-деформованого стану, граничних станів та накопичення пошкоджень. У цьому контексті вибір об'єкта дослідження — процесу штампування обкочуванням — є науково обґрунтованим.

Актуальність роботи визначається необхідністю розвитку як теоретичних підходів до аналізу процесу, так і практичних рішень для оптимізації технологічних параметрів. Це дозволить значно підвищити ефективність виробництва, розширити застосування ШО в промисловості та забезпечити виготовлення конкурентоспроможної продукції відповідно до вимог сучасного ринку.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження, що складають основу дисертації, проведено у Вінницькому національному аграрному університеті (ВНАУ) в межах двох ініціативних науково-дослідних робіт на інженерно-технологічному факультеті «Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів» № ДР 0117U006830 (13.11.2017 р. по 21.12.2021 р.), «Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів та створення поверхневих шарів деталей із застосуванням газодинамічного напилення» № ДР 0122U002110 (18.13.2022 р. по 03.2026 р.), із залученням дисертанта.

Дисертаційні дослідження проводились у відповідності до договорів між Вінницьким національним аграрним університетом, ТОВ «Агромаш-Калина» та ТОВ «Краснянське СП «Агромаш».

3. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертація за своєю структурою відповідає вимогам і традиціям наукової школи матеріалознавства, складається зі вступу, 4 розділів, висновків та списку використаних джерел і додатків, що включає 208 сторінок, у тому числі додатків на 29 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 159 сторінок, містить 72 рисунки, 3 таблиці. Список використаних джерел нараховує 159 найменування на 19 сторінках.

У першому розділі представлено детальний аналіз процесів штампування обкочуванням, що застосовуються на сферорухомих пресах та установках торцевого розкочування. Розглянуто основні технологічні схеми, зокрема осаджування, пряме та зворотне витискування, що забезпечують необхідні умови для формування заготовок шляхом пластичної деформації. Виявлено, що при торцевому обкочуванні використовуються два типи валків - циліндричні та конічні. Особливістю процесу є здатність формувати направлений плин матеріалу заготовки шляхом радіального зміщення вершини конічного валка.

Правильний вибір технологічних параметрів дає змогу отримувати внутрішні та зовнішні бурти з великим діаметральним відношенням. Зазначено, що технологія штампування обкочуванням відноситься до ресурсозберігаючих процесів, що відповідають концепції сталого розвитку та забезпечують підвищення енергоефективності і зниження матеріальних втрат у машинобудуванні. Оцінка накопичення мікропошкоджень у матеріалі при інтенсивній пластичній деформації є ключовим аспектом для забезпечення експлуатаційної надійності готових виробів. Запропоновано модельні підходи до прогнозування механічних властивостей матеріалів із врахуванням напружено-деформованого стану (НДС), що мають фундаментальне значення для матеріалознавства і розробки нових технологій формоутворення. В обґрунтування цього підкреслено потребу в сучасних методах аналізу напружено-деформованого стану (НДС) і порівнянні моделей руйнування, представлених у міжнародній науковій літературі.

Другий розділ присвячено аналізу досліджень у сфері руйнування матеріалів при пластичній деформації. Встановлено, що переважна більшість відомих моделей зосереджена на стаціонарних деформаційних умовах, тоді як менш вивченими залишаються траєкторії деформування макрочастинок у небезпечних зонах. Розглянуті моделі руйнування ґрунтуються переважно на функціональній залежності граничної деформації від одного-двох параметрів НДС і реалізують принцип лінійного (адитивного) накопичення пошкоджень. Аналіз емпіричних критеріїв виявив зв'язок з теоретичними моделями пошкодження, підкреслюючи актуальність поглибленого вивчення даної проблематики та удосконалення наявних моделей..

У третьому розділі зосереджено увагу на оцінці напружено-деформованого стану матеріалу заготовок як ключового чинника, що визначає рівень їх деформовності. На прикладі процесу формування зубців зубчастої муфти методами прямого і зворотного витискування досліджено розподіл НДС у небезпечних зонах. Застосування теорії пластичного згину дозволило визначити характер розподілу НДС у зубцях. Побудовано траєкторії деформування, що стали основою для двох моделей опису накопичення пошкоджень у небезпечних зонах. Обидві моделі містять опис траєкторій деформування, криві граничних деформацій та моделі підсумовування пошкоджень (зокрема моделі Огороднікова). Для процесу зворотного витискування запропоновано оригінальну методику побудови траєкторій із застосуванням базисних сплайн-функцій, що дозволяє підвищити точність моделювання.

Результати досліджень дали змогу отримати графоаналітичні залежності для прогнозування граничних станів матеріалів типу сталь 10 та І4Х17Н2, що відкриває перспективи для оптимізації параметрів штампування обкочуванням відповідно до типу матеріалу та геометрії деталі.

У четвертому розділі проведено поєднаний комп'ютерний та фізичний експеримент із моделювання процесів торцевого обкочування складнопрофільних деталей. Використання методу скінченних елементів (Finite Element Method, FEM) дозволило отримати просторовий розподіл деформацій, а

також оцінити закономірності формоутворення, хоча і з певними обмеженнями в точності моделювання НДС. Для фізичного моделювання розроблено та виготовлено експериментальну обкочувальну приставку з конічним валком, адаптовану до конструкції токарного верстата. Об'єктом моделювання обрано деталь типу «Доїльний стакан». Проведено серію експериментів з вивчення впливу технологічних параметрів — кута нахилу валка, величини радіального зміщення вершини, швидкості обертання шпинделя — на процес формоутворення. На основі результатів експериментів сформульовано практичні рекомендації щодо вибору режимів штампування, що забезпечують стабільну якість формованих елементів і мінімізацію пошкоджень.

У підсумкових висновках чітко окреслено наукову новизну, теоретичну й практичну цінність одержаних результатів. Висновки відповідають вимогам до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії, є логічним підсумком проведених досліджень і демонструють комплексне вирішення поставленого наукового завдання.

Список використаних джерел охоплює широке коло сучасних праць, включно з патентною документацією та іноземними публікаціями, що свідчить про глибоке опрацювання предметної галузі.

Додатки до роботи містять ілюстративні та аналітичні матеріали, які доповнюють основний зміст і є підтвердженням достовірності проведених досліджень, що не увійшли в основну частину роботи.

4. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна отриманих результатів, які виносяться на захист:

Вперше:

- показано що низка найвідоміших у всьому світі критеріїв руйнування є імплементацією різних апроксимацій кривої або поверхні граничних деформацій при стаціонарному деформуванні у найпростішу модель підсумовування пошкоджень за лінійним принципом;

- встановлено зв'язок між емпіричним критерієм руйнування матеріалу

бічної поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні та теорією підсумовування пошкоджень, що дозволяє узагальнити та теоретично обґрунтувати емпіричні спостереження;

- виявлено домінуючий вплив граничної деформації при рівномірному стисненні на форму граничної лінії в координатах «осьова – колова логарифмічні деформації» та показано, що зі збільшенням граничної деформації при рівномірному стисненні за незмінності інших умов форма граничної лінії наближається до прямої, що є підтвердженням емпіричного критерію руйнування.

Отримали подальший розвиток:

- побудова аналітичних представлень параметричними співвідношеннями траєкторій деформування в координатах «показник напруженого стану» - «накопичена пластична деформація» часток матеріалу небезпечних ділянок заготовки під час процесів прямого витискування складнопрофільних заготовок методом штампування обкочуванням.

- розроблено дві нові моделі деформовності заготовок, що дозволяють описати процес накопичення пошкоджень у небезпечних зонах заготовки під час прямого витискування методом штампування обкочуванням. Кожна з моделей включає три базисні елементи: а) аналітичне представлення траєкторії деформування в координатах «показник напруженого стану – накопичена пластична деформація»; б) апроксимація кривої граничних деформацій, що враховує особливості матеріалу; в) модель підсумовування пошкоджень, що забезпечує прогнозування граничного стану матеріалу.

- під час проведення комплексного імітаційного моделювання процесу формоутворення складнопрофільної деталі та напружено-деформованого стану матеріалу заготовок при торцевому ШО встановлено, що сучасні програмні комплекси, засновані на скінчено-елементному аналізі, здатні адекватно відтворювати процес формозмінення заготовки та розподіл накопичених пластичних деформацій, що підтверджує їхню ефективність для дослідження подібних технологічних процесів. В той же час виявлено обмеження в точності моделювання напруженого стану та накопичення пошкоджень у матеріалі

заготовки, що потребує подальшого вдосконалення моделей.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є повністю обґрунтованими з наукової та технічної точки зору. Для отримання імітаційних моделей і теоретичних результатів застосовувалася універсальна програмна система скінчено-елементного аналізу, яка використовується для розв'язання лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформовного твердого тіла.

Експериментальні дослідження виконувалися на лабораторному та промисловому обладнанні, а практична цінність отриманих результатів підтверджена актами впровадження.

5. Достовірність отриманих результатів і висновків

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректною постановкою задачі, мети та завдань дисертаційного дослідження, які розв'язуються послідовно та аргументовано. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується відповідністю методології дослідження поставленої науково-технічної задачі, повнотою розгляду на теоретичному та експериментальному рівнях об'єкта дослідження, застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження.

6. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

Практична значимість роботи одержаних результатів досліджень, теоретичних узагальнень та розробок полягає у вирішенні проблем, що мають важливе прикладне значення, а саме, в розробці комбінованих схем процесів (штампування обкочуванням складнопрофільних виробів без руйнування та з визначеною залишковою пластичністю) ШО для отримання якісних складнопрофільних виробів:

- Для забезпечення фізичного моделювання процесу ШО складнопрофільних заготовок в лабораторних умовах розроблено та виготовлено

оригінальну обкочувальну приставку з конічним обкочувальним валком для токарно-гвинторізних верстатів. Запропонована конструкція розширює експериментальні можливості дослідження процесу ШО та може бути використана для вдосконалення технології обробки в умовах промислових та навчально-дослідних лабораторій.

- Підтверджено можливість використання програмних комплексів для аналізу та оптимізації процесу торцевого штампування обкочуванням, що знижує потребу в дорогих експериментальних випробуваннях, в той же час, виявлені недоліки у відтворенні напруженого стану та пошкоджень можуть слугувати основою для подальшого вдосконалення існуючих програмних моделей, що покращить точність прогнозування залишкового ресурсу деталей;

- Отримані рекомендації щодо оптимального вибору технологічних параметрів процесу ШО, що сприяє підвищенню якості формоутворення деталей типу «стакан» та можуть бути використані для вдосконалення виробничих процесів, зокрема у виготовленні деталей зі складною геометрією методом обкочування.

- Розроблені моделі та їх програмна реалізація в середовищі системи комп'ютерної математики забезпечують гнучке налаштування параметрів процесу (механічних властивостей матеріалу, режимів навантаження) та комплексний аналіз їхнього впливу на деформування заготовки. Зокрема, вони дозволяють розраховувати використаний ресурс пластичності матеріалу та визначати граничні деформації перед руйнуванням у небезпечних зонах заготовки під час прямого витискування методом ШО. Це значно прискорює процес оцінки, скорочує потребу у фізичних експериментах, мінімізує ризик передчасного виходу деталей з ладу та сприяє підвищенню їхньої довговічності.

Створене обладнання буде використано для демонстрації та практичного вивчення процесів штампування обкочуванням для лекційних і практичних занять обов'язкового освітнього компонента «Теорія різання, металообробне обладнання та інструмент» освітньо-професійної програми «Галузеве машинобудування» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти інженерно-

технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету. Розроблена технічна документація з проектування обладнання для виготовлення складнопрофільних виробів прийнята до впровадження на підприємстві ТОВ «Агрома-Калина» (2024 рік) та ТОВ «Краснянське СП «Агромаш» (2024 рік).

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертація має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи.

Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Усі основні положення та найбільш важливі результати дисертації, подані до захисту, опубліковані в необхідному обсязі у фахових виданнях України та закордонних виданнях. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 30 наукових працях, у тому числі: 15 (статей у наукових фахових виданнях України (категорії Б); 4 у фахових виданнях інших держав (категорії Б); 3 у наукових журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science Core Collection; 1 свідоцтво про авторське право на твір; 7 тез у збірниках доповідей наукових конференцій..

8. Недоліки та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи

8.1. Дисертація містить значну кількість посилань на закордонні праці з високими наукометричними показниками. Проте ці праці переважно стосуються дослідження граничних пластичних деформацій залежно від напруженого стану. Не зрозуміло, чому автор у меншій мірі використовує роботи, що безпосередньо стосуються технологічних процесів штампування обкочуванням.

8.2. У дисертації аналіз граничної пластичної деформації з точки зору напруженого стану орієнтований переважно на використання кривих граничної деформації для умов стаціонарного деформування. Водночас у зарубіжних дослідженнях останнього десятиліття простежується тенденція до застосування поверхонь граничної деформації, що визначаються за допомогою двох безрозмірних параметрів. Яким чином автор враховує або планує врахувати ці сучасні підходи у власних дослідженнях?

8.3. У четвертому розділі дослідження процесу торцевого штампування обкочуванням із використанням програмного забезпечення DEFORM-3D дало низку корисних результатів. Однак зроблені висновки мають переважно якісний характер. Чи передбачено проведення кількісного аналізу результатів моделювання для підвищення обґрунтованості отриманих висновків?

8.4. У роботі в четвертому розділі розглянуто вплив геометричних параметрів інструменту на напружено-деформований стан заготовки. Проте недостатньо уваги приділено впливу параметрів тертя на результати процесу деформування. Чи враховано автором змінність коефіцієнта тертя в реальних умовах штампування обкочуванням та яким чином змінність коефіцієнта тертя може вплинути на достовірність моделювання?

8.5. У дисертації застосовано модель накопичення пошкоджень для опису граничного стану матеріалу. Проте не розглянуто можливість локалізації деформацій у вигляді зони шийки або мікротріщин, яка часто передує руйнуванню. Чи враховував автор механізми локалізації деформацій при оцінці граничного стану?

9. Загальний висновок

Дисертаційна робота Колісника Миколи Анатолійовича «Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів» є завершеною науковою працею, що виконана автором особисто на належному рівні, яка має наукову новизну і практичну цінність. Робота вирішує важливу науково-технічну проблему – розробка

математичного апарату для аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів і на цій основі розвиток відповідних процесів штампування обкочуванням.

Дисертаційна робота «Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складно профільних виробів» відповідає вимогам затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. №44, та наказу МОН України від 12.01.2017 р, №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Зміст дисертації відповідає напрямкам досліджень Вінницького національного аграрного університету та вимогам освітньо-наукової програми «Матеріалознавство», а її автор Колісник Микола Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Рецензент: кандидат технічних наук,
професор, професор кафедри машин та
обладнання сільськогосподарського
виробництва машин та обладнання
сільськогосподарського виробництва
Вінницького національного
аграрного університету



Ірина Гунько

Підпис Гунько І.В. засвідчую:
Вчений секретар



Тетяна Корпанюк