**РЕЦЕНЗІЯ**

**Швець Людмили Василівни**

кандидата технічних наук, доцента

кафедри агроінженерії та технічного сервісу

на дисертаційну роботу здобувача

**КОЛІСНИКА МИКОЛИ АНАТОЛІЙОВИЧА**

на тему: «**РОЗВИТОК ПРОЦЕСІВ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ МЕХАНІКИ ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ВИРОБІВ**»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю Матеріалознавство

**1. Актуальність теми дисертаційного дослідження.**

Актуальність дослідження зумовлена важливістю удосконалення технологічних процесів обробки металів тиском, зокрема штампування обкочуванням (ШО), для виробництва конкурентоспроможної продукції з високими технічними характеристиками. З розвитком сучасних технологій, проблема забезпечення високої якості та низької вартості продукції стає надзвичайно актуальною. У контексті виробництва складнопрофільних виробів, процеси ШО мають значний потенціал завдяки своїм перевагам, таким як висока екологічна чистота, економічність і універсальність обладнання. Водночас, процеси ШО мають обмеження, пов'язані з ризиками руйнування заготовок та складністю забезпечення стабільної якості продукції при досягненні великих деформацій.

Необхідність вдосконалення розрахункових методів механіки формоутворення та моделювання напружено-деформованого стану заготовок під час процесу ШО. Для успішного впровадження таких технологій на виробництво необхідно розробити надійні методи прогнозування граничних станів матеріалу, що дозволить підвищити ефективність виробничих процесів і знизити витрати. Відсутність розвинутих методів для аналізу впливу

параметрів технологічних процесів на пластичність матеріалів обмежує можливості широкого застосування ШО в промисловості. Розробка нових моделей деформовності та удосконалення інструментальних конструкцій, які дозволяють фізично моделювати процеси ШО, стане важливим кроком у підвищенні точності прогнозування та якості виробів.

Тому актуальність дослідження зумовлена необхідністю розвитку теоретичних і практичних підходів до удосконалення процесу штампування обкочуванням, що відповідають вимогам сучасного виробництва.

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напрямку з переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року, який визначений в Законі України від 07.09.2011 р. № 942 «Нові ресурсозберігаючі, енергоощадні та екологічно безпечні процеси одержання конкурентоспроможних речовин і матеріалів та виробів із них» і науковому напряму «Розвиток феноменологічної теорії руйнування матеріалів при великих пластичних деформаціях та розробка на цій основі нових і вдосконалення існуючих технологій обробки металів тиском» Вінницького національного аграрного університету. Робота виконана в рамках двох ініціативних науково-дослідних робіт (НДР) на інженерно-технологічному факультеті (№ ДР 0117U006830 «Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів» (13.11.2017р. по 21.12.2021р.), № ДР 0122U002110 «Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів та створення поверхневих шарів деталей із застосуванням газодинамічного напилення» (18.13.2022р. по03.2026р.), із залученням дисертанта у ролі основного виконавця.

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

ТОВ «Краснянське СП «Агромаш» про що свідчать акти впровадження в виробництво. Також впровадженою у навчально-методичний процес та наукову роботу кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки ВНАУ.

**3. Наукова новизна отриманих 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 стисненніза незмінності інших умов форма граничної лінії наближається до прямої, що є підтвердженням емпіричного критерію руйнування;

– розроблено нову конструкцію обкочувального інструментального блоку, на основі якої створено та виготовлено оригінальну обкочувальну приставку з конічним обкочувальним валком для токарно-гвинторізних верстатів. Запропоноване технічне рішення забезпечує можливість фізичного моделювання процесу штампування обкочуванням (ШО) в лабораторних умовах, що розширює можливості експериментальних досліджень та технологічного вдосконалення процесу.

*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.

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

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційного дослідження забезпечується використанням математичного моделювання в рамках відомого підходу до опису граничних пластичних деформацій до руйнування. Достовірність отриманих результатів підтверджується:

- коректним вибором математичних моделей, що адекватно відображають фізичні закономірності процесів деформування до руйнування;

- верифікацією числових розрахунків на основі порівняння з експериментальними даними та відомими теоретичними рішеннями, а також узгодженістю отриманих закономірностей з результатами інших досліджень у цій галузі.

Зазначені фактори свідчать про надійність запропонованих моделей та адекватність отриманих результатів для прогнозування поведінки матеріалу заготовок у процесах штампування обкочуванням.

Комп'ютерне моделювання здійснене на основі скінчено-елементного аналізу — універсального та загальновідомого інструмента для розв'язання лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформовного твердого тіла. Його застосування забезпечує високу достовірність отриманих результатів завдяки можливості детального врахування напружено-деформованого стану та граничних умов процесу.

Експериментальні дослідження проводились на лабораторному та промисловому обладнанні, практичні результати роботи підтверджені актами впровадження.

**5. Практична значимість отриманих результатів**

До практичної цінності результатів роботи можна віднести:

1) Для забезпечення фізичного моделювання процесу ШО виготовлено оригінальну обкочувальну приставку з конічним обкочувальним валком для токарно-гвинторізних верстатів. Вказана приставка дозволила провести експериментальні дослідження процесу ШО складно профільної заготовки без потреби у спеціалізованих промислових установках, що значно знизило витрати на експерименти, дало змогу досліджувати параметри обкочування в реальних умовах і тим самим покращувати режими обробки, підвищувати якість деталей і продовжити їхній ресурс;

2) Оригінальна обкочувальна приставка розширює функціональні можливості токарно-гвинторізних верстатів, дозволяючи їм виконувати додаткові операції без капітальних змін конструкції;

3) Розроблене обладнання може використовуватися у навчальних закладах для демонстрації та практичного вивчення процесів ШО, що сприятиме підготовці кваліфікованих фахівців;

4) Дослідження на експериментальній установці дозволяють отримати реальні дані про поведінку матеріалів під час ШО, що допомагає уточнювати математичні моделі та вдосконалювати методи прогнозування деформацій і пошкоджень;

5) 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;

6) 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.

7) 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 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.

8) Моделювання в системі комп'ютерної математики дають можливість гнучко змінювати параметри (механічні властивості матеріалу, режими навантаження) та аналізувати їхній вплив на процес деформування, що сприяє оптимізації технологічних рішень.

Практична значимість роботи полягає в удосконалення процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення Складнопрофільних виробів.

Прикладна цінність проведеного наукового дослідження, підтверджується впровадженнями окремих його компонентів у виробничий процес.

**6. Апробація матеріалів дисертації.**

Основні результати роботи доповідались нанауково-технічних конференціях позитивну оцінку від провідних науковців: Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні проблеми виробництва, переробки сільськогосподарської продукції, машинобудування та енергетичних систем АПК» (28-30 листопада 2017 р., ВНАУ,Вінниця, Україна); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва» (30 листопада 2017 р., ТДСДС, Тернопіль, Україна); Міжнародній науково-практичній конференції «Молодь і технічний прогрес в АПК» (4 квітня 2019 р., ХНТУСГ, Харків, Україна); Всеукраїнській науково-практичній конференції«Інженерно-технологічне забезпечення аграрного сектору економіки: сучасний стан, проблеми та перспективи» (21-22 жовтня 2020 р., ВНАУ, Вінниця, Україна); Міжнародній науково-практичній конференції«Проблеми та перспективи інноваційної діяльності вагропромисловій інженерії» (19-20 листопада 2020 р., ВНАУ, Вінниця, Україна); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Реалізація європейського зеленого курсу в україні:погляд молодих учених» (14-15 травня 2021 р., ВНАУ, Вінниця, Україна); II Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту-2021» (13 – 15 травня 2021 р., ВНТУ. Вінниця, Україна); Міжнародній науково-методичнійінтернет-конференції «Проблеми

вищої математичної освіти: виклики сучасності» (11-12 жовтня 2022 р., ВНТУ, Вінниця, Україна); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні підходи агропромислової інженерії у контексті євроінтеграції» (19-20 жовтня 2023 р., ВНАУ, Вінниця, Україна); IV Міжнародній науково-методичнійінтернет-конференції «Проблеми вищої математичної освіти: виклики сучасності» (20-22 червня 2024 р. ВНТУ, Вінниця, Україна); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні підходи агропромислової інженерії в контексті глобальних викликів» (17-18 жовтня 2024 р., ВНАУ, Вінниця, Україна).

**7. Повнота викладання в опублікованих працях основних наукових та прикладних результатів дисертації**

За матеріалами та основними положеннями дисертаційної роботи опубліковані у 30 наукових працях, у тому числі: 15 статей у наукових фахових виданнях України (категорії Б); 4 у фахових виданнях інших держав та 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 теза у збірнику доповідей наукових конференцій.

Публікації відповідають встановленим вимогам та достатньо повно відображають зміст роботи.

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

1. На рис. 1.4 наведено класифікацію деталей за формою, що можуть бути ефективно виготовленими методом ШО. Проте не розкрито, що автор розуміє під поняттям «ефективно виготовленими» в цьому контексті.

2. По рис. 1.7 з розташуванням валка відносно осі заготовки: відсутній детальний опис зображених елементів та позначень; використовується підпор під час формування бурта заготовки, в той час, коли в дисертаційному дослідженні практично всі теоретичні дослідження стосуються матеріалу вільної бічної поверхні.

3. У підпункті 1.3.1 зазначається, що аналізуються широко відомі серед фахівців праці. Зазначається, що в цих дослідженнях запропоновані моделі руйнування подаються як незалежні підходи, а не як різні методи побудови окремих складових єдиної теорії. Водночас недостатньо розкрито, в чому саме полягає відмінність між цими двома концепціями: «незалежний підхід» та «окремі складові єдиної теорії».

4. На наш погляд недостатньо зрозумілою є доцільність чи необхідність подання одних й тих самих критеріїв руйнування, що запропоновані закордонними науковцями, у двох формах: формулами (1.11)÷(1.18) та відповідними формулами підпункту 2.2.1.

5. Викликає сумнів, чи варто обговорювати дві форми подачі одного й того самого безрозмірного показника напруженого стану, що відрізняються сталим множником.

**9. Перевірка роботи на антиплагіат.**

Дана дисертаційна робота проходила ретельну перевірку за допомогою антиплагіатного програмного забезпечення StrikePlagiarism. Отримані результати показали рівень плагіату 8,93%, що є в допустимих межах.

**10. Загальні висновки по дисертації**

В цілому наведені зауваження не впливають на якість, наукову новизну та практичну значимість дисертації, тому їх можна розглянути як побажання. Вони можуть бути використані в подальшій роботі для розвитку процесів штампування обкочуванням.

Дисертаційна робота 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,
доцент кафедри агроінженерії та
технічного сервісу Людмила ШВЕЦЬ
Вінницького національного
аграрного університету

Підпис Швець Л.В. засвідчую
Вчений секретар Тетяна Корпанюк