Голові разової спеціалізованої вченої ради
ДФ 05.854.037 Вінницького національного
аграрного університету
д.т.н., доц. Віталію ЯНОВИЧУ

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, професора
кафедри машинобудування Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
ШАПОВАЛА Олександра Олександровича
на дисертацію **КОЛІСНИКА Миколи Анатолійовича**
на тему **«Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів»**
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 13 Механічна інженерія
за спеціальністю 132 Матеріалознавство

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 208 сторінок комп'ютерного тексту, зокрема, 29 сторінок додатків та 19 сторінок списку використаних джерел, що містить 159 найменувань. Основна частина дисертації викладена на 159 сторінках тексту і містить 72 рисунки та 3 таблиці.

Актуальність обраної теми. Актуальність дисертації зумовлена її відповідністю сучасним пріоритетам розвитку машинобудування та матеріалознавства. Дослідження спрямоване на вирішення науково-технічної проблеми впровадження ресурсозберігаючих технологій металообробки, що є важливою умовою підвищення енергоефективності, якості та екологічності виробництва.

Особливу увагу приділено розширенню можливостей обробки матеріалів тиском (ОМТ) – маловідходного та ефективного методу формоутворення. Однак його широке застосування обмежують складнощі, пов'язані зі зносом оснащення, низькою пластичністю заготовок і ризиком втрати стійкості. Подолання цих викликів вимагає вдосконалення моделей прогнозування напружено-деформованого стану та пошкоджуваності матеріалів.

Практичне значення дослідження особливо актуальне для агропромислового комплексу, де потрібне економічно ефективне виготовлення складнопрофільних порожнистих деталей. Традиційні методи обробки вимагають коштовного оснащення та складних технологічних операцій, що є недоцільним при малосерійному виробництві.

У цьому контексті вибір об'єкта дослідження – процесу штампування обкочуванням (ШО) – є обґрунтованим. ШО забезпечує сприятливі умови формоутворення складних тонкостінних елементів при низьких зусиллях, а також характеризується технологічною гнучкістю й універсальністю. Для його ефективного застосування необхідно розвивати теоретичні засади механіки формоутворення – саме цьому й присвячена представлена дисертаційна робота.

Ступінь обґрунтованості наукових положень. Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, є обґрунтованими як з точки зору теорії, так і з позицій прикладної інженерної практики. Високий рівень достовірності одержаних результатів забезпечено завдяки побудові та впровадженню математичних моделей деформівності матеріалу заготовок в процесах штампування обкочуванням, що розроблені в рамках широковідомої теорії підсумовування пошкоджень яка має численні прикладні застосування. Ці моделі адекватно відтворюють реальні умови напружено-деформованого стану та дозволяють враховувати механізми накопичення пошкоджень у матеріалі.

Для формування теоретичних висновків за результатами комп'ютерного моделювання використовувалась сучасна багатофункціональна система скінченно-елементного аналізу, здатна адекватно відтворювати закономірності пластичного формозмінення заготовок в процесах штампування обкочуванням.

Крім того, експериментальні дослідження проводилися із залученням як лабораторного, так і промислового обладнання, що дозволило підтвердити реальну працездатність та ефективність запропонованих рішень. Їхнє практичне

впровадження підтверджене відповідними актами реалізації в виробничих та навчальних умовах.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше:

1. 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.

2. 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.

3. 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:

1. 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.

2. Розроблено дві нові моделі деформівності 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.

3. Під час проведення комплексного імітаційного моделювання процесу формоутворення складнопрофільної деталі та напружено-деформованого стану матеріалу заготовок при торцевій ШО встановлено, що сучасні програмні комплекси, засновані на скінчено-елементному аналізі, здатні адекватно відтворювати процес формозміни 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.

Повнота викладу наукових положень в опублікованих працях.

За результатами виконаних теоретичних і експериментальних досліджень автором дисертації опубліковано 30 наукових праць, що свідчить про значну публікаційну активність і системну наукову роботу. Зокрема, 15 статей були надруковані у наукових фахових виданнях України категорії Б, ще 4 статті опубліковано у закордонних виданнях.

Окрему цінність мають 3 наукові статті, опубліковані у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science Core Collection, що підтверджує їхню важливість і рівень наукового внеску. Також отримано свідоцтво про авторське право на твір, що підтверджує оригінальність і практичну цінність розробок, здійснених у межах дисертаційної роботи.

Крім того, результати дослідження були представлені у формі 7 тез доповідей, опублікованих у збірниках матеріалів наукових конференцій, що свідчить про активну участь здобувача в науково-комунікативному процесі.

Усі опубліковані праці відповідають чинним вимогам до апробації

наукових результатів та повною мірою відображають зміст основних положень дисертації. У публікаціях, підготовлених у співавторстві, чітко окреслено особистий внесок здобувача. Така широка й різнопланова наукова присутність у фаховому середовищі підкреслює високий рівень професіоналізму та наукової зрілості автора.

Аналіз змісту дисертаційної роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної тематики, що зумовлена необхідністю впровадження енерго- та ресурсозберігаючих методів обробки тиском при виготовленні складнопрофільних виробів – актуального завдання сучасного матеріалознавства. Здійснення таких технологічних рішень вимагає детального вивчення двох взаємопов'язаних аспектів: особливостей накопичення пошкоджень у матеріалі та процесів його деформування під час штампування обкочуванням – перспективного методу пластичного формоутворення. У вступному розділі чітко сформульовано мету дослідження, окреслено основні завдання, визначено об'єкт, предмет, а також методологічну базу виконаної наукової роботи. Надано інформацію про наукову новизну, прикладну значущість отриманих результатів, їх апробацію та структурну побудову дисертації.

Перший розділ присвячено комплексному аналізу процесів штампування обкочуванням, із фокусом на реалізацію цих процесів на сферорухомих пресах і торцеобкочувальних установках, що широко застосовуються при виготовленні складнопрофільних металевих заготовок. Автором здійснено класифікацію основних схем процесу (осаджування, пряме та зворотне витискування), які забезпечують потрібні умови пластичної деформації. Окрема увага приділена конструкційним та технологічним параметрам обкочувального обладнання, особливо – аспектам використання циліндричних і конічних валків, що дають змогу керувати напрямом плину матеріалу шляхом регулювання положення вершини валка. Це створює широкі технологічні можливості для формування

елементів із вираженою геометрією, як-от бурти й фланці. Підкреслюється, що подібні процеси належать до ресурсоощадних технологій, які повною мірою відповідають вимогам сталого розвитку, мінімізуючи енерговитрати та втрати матеріалу. У розділі також розглядаються проблеми, пов'язані з накопиченням мікропошкоджень, і наголошується на важливості прогнозування цих процесів шляхом моделювання деформівності заготовок.

У другому розділі проведено аналітичний огляд сучасного наукового доробку щодо руйнування матеріалів у процесах пластичного деформування. Автор звертає увагу на те, що більшість наявних досліджень зосереджуються на умовах стаціонарного деформування, тоді як аналіз реальних деформаційних траєкторій та механізмів накопичення пошкоджень у небезпечних зонах розглядається недостатньо. З'ясовано, що основа більшості моделей руйнування – це функціональні залежності між граничною деформацією та характеристиками напруженого стану, причому всі вони спираються на лінійний принцип підсумовування пошкоджень. Важливим є встановлений у роботі зв'язок між емпіричним критерієм руйнування та параметрами торцевого стиснення циліндричних зразків, що дозволяє краще пояснити механізми пластичного руйнування. Аналітичний огляд базується на авторитетних джерелах, індексованих у наукометричних базах даних Scopus і Web of Science, що свідчить про актуальність і наукову значущість теми.

Третій розділ присвячено дослідженню напружено-деформованого стану матеріалу під час штампування обкочуванням. На прикладі формування зубчастої муфти проведено аналіз прямого та зворотного витискування. Теоретичні побудови базуються на застосуванні положень теорії пластичного згину. Встановлено особливості розподілу напружень і деформацій у характерних зонах деталі. Побудовано математичні моделі, що описують траєкторії деформування та процеси накопичення пошкоджень – із використанням параметричних функцій, апроксимацій граничних кривих

деформацій і двох моделей підсумовування пошкоджень (лінійної та степеневої за В.А. Огородніковим). Запропоновано оригінальні математичні підходи до побудови траєкторій деформування, що враховують особливості як прямого, так і зворотного витискування.

Четвертий розділ об'єднує результати числового та фізичного моделювання процесу торцевого штампування обкочуванням. Застосування методу скінченних елементів дозволило проаналізувати розподіл деформацій у матеріалі, однак виявлені обмеження комп'ютерного моделювання стали підставою для проведення фізичного експерименту. Для цього було розроблено експериментальну установку з конічним валком, яку адаптовано до серійного верстата. У ході досліджень встановлено вплив геометричних і кінематичних параметрів процесу на поведінку матеріалу, запропоновано низку прикладних рекомендацій, що мають практичну цінність для оптимізації процесів виготовлення деталей складної форми в умовах виробництва.

Додатки до дисертаційної роботи містять інформацію щодо розв'язку окремих залежностей, наведення якого в основному тексті дисертації є обтяжливим для його змісту.

Матеріали розділів дисертації подано у логічній послідовності відповідно до сформульованих задач досліджень.

Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації. Зміст анотацій українською та англійською мовами відображає зміст дисертації та в достатньому обсязі висвітлює її основні результати та висновки.

Відсутність порушень академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора ознак академічного плагіату не виявлено. У тексті дисертації здобувачем наведено посилання на наукові публікації як власні, так і інших авторів. Елементів фальсифікації, фабрикації та запозичень фрагментів тексту, наукових результатів в роботі не виявлено. Це дає можливість зробити висновок про

відсутність порушень академічної доброчесності в дисертаційній роботі.

Зауваження та пропозиції до дисертаційної роботи

1. На рисунку 2.11 представлено зміну форми циліндричного зразка до та після торцевого осадження. Слід зауважити, що набуття зразком бочкоподібної форми внаслідок пластичної деформації є характерним не за будь-яких умов, а лише за умови збереження достатнього рівня тертя на торцевих поверхнях заготовки.

2. Згідно з даними вітчизняних публікацій, наведеними в таблиці 2.2, лише два матеріали – сталь 40 та сталь 3 – із майже пів сотні досліджених демонструють необмежену граничну деформацію під час рівномірного стиску. Як показано в дисертаційному дослідженні, саме для таких матеріалів підтверджується справедливість емпіричного критерію руйнування. З огляду на ці результати дослідження, феномен широкого використання емпіричного критерію в зарубіжних публікаціях виглядає дещо неочікувано, що залишилось поза увагою представленого дослідження.

3. З міркувань структурної логіки та зосередження на ключових аспектах дослідження, підрозділ 3.1 можна було б суттєво скоротити або навіть вилучити, оскільки він містить загальновідомі відомості, що не впливають на наукову новизну роботи.

4. Під час аналізу НДС металу при згинанні, в дисертації відзначається, що напружений стан елемента у зоні згинання буде об'ємним, а деформований – плоским. В той же час ключовим результатом цього дослідження є аналіз значень показника напруженого стану, використання якого є достатнім лише для описання плоских напружених станів.

5. На стор. 111 зазначено, що критерій В.А. Огороднікова може застосовуватися і за умов об'ємного напруженого стану. Водночас, з огляду на майже повну відсутність відповідних експериментальних підтверджень у науковій літературі, доцільно підкреслити, що таке застосування має виключно

теоретичний характер.

6. Рис. 2.6, на якому зображено траєкторії деформування матеріалу бічної поверхні цилиндричних зразків при торцевому стисненні з бочкоутворенням та криві граничних деформацій при стаціонарному та нестаціонарному деформуванні виявився дещо інформаційно перевантаженим. Можливо краще б було розділити цю інформацію на два або більше окремих рисунків.

7. По рис. 2.7 – незрозуміло за якими траєкторіями в координатах «показник напруженого стану – накопичена пластична деформація» отримано граничні точки, що утворюють пряму лінію в просторі компонент осьової та колової логарифмічних деформацій.

8. По рис. 2.10, де показаний вид перетинів циліндричних зразків, осаджених до різних ступенів деформації – відсутній аналіз вигляду цих перерізів. Отже, не зовсім зрозуміло, які висновки отримані на основі отримання цих перерізів.

9. Під час теоретичного дослідження НДС матеріалу при формуванні вершини зуба на стадії, коли його поверхня ще не контактує з матрицею і є вільною, використано теорію пластичного згину широкої смуги. При цьому використана гіпотеза про степеневу форму кривої зміцнення, але залишається нез'ясованим, чи впливає ця гіпотеза на отримане значення безрозмірного показника напруженого стану, що дорівнює кореню квадратному із трьох.

10. З огляду на велику кількість побудованих моделей, що відносяться, як до аналітичного представлення траєкторій деформування часток матеріалу небезпечних зон заготовок при різних процесах ШО, так і відповідних моделей деформівності, доцільно було б систематизувати ці моделі у вигляді таблиць або в іншому наочному вигляді.

Однак наведені зауваження суттєво не знижують наукову та практичну цінність даного дисертаційного дослідження.

Дисертація **Колісника Миколи Анатолійовича** на тему **«Розвиток**

процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство (галузь знань 13 Механічна інженерія), є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати. Робота присвячена розв'язанню важливої науково-технічної задачі – створенню математичного інструментарію для аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів, що стало підґрунтям для подальшого розвитку технологічних процесів штампування обкочуванням.

Дисертаційна робота **«Розвиток процесів штампування обкочуванням на основі аналізу механіки формоутворення складнопрофільних виробів»** виконана на належному теоретичному рівні, відповідає вимогам п. 5, 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», що затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 341 від 21.03.2022 р., № 502 від 19.05.2023 р., № 507 від 03.05.2024 р.), та «Основним положенням вимог до оформлення дисертації (затверджених Наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40), а її автор **Колісник Микола Анатолійович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Офіційний опонент
Доктор технічних наук професор, професор кафедри машинобудування Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського **Олександр ШАПОВАЛ**

ЗАСВІДЧУЮ