

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертацію
ХРОПОСТА Вячеслава Івановича на тему:
«Геометричні аспекти деформування деталей
із врахуванням їх форми і властивостей матеріалу»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
з галузі знань 13 «Механічна інженерія»

Актуальність теми дослідження. Виготовлення деталей із металу супроводжується пластичними деформаціями заготовки. Ці заготовки можуть бути як у вигляді прокату, так і листовим матеріалом. Крім того, готові деталі теж можуть деформуватися у процесі експлуатації під дією прикладених сил. У цьому випадку відбувається пружна деформація. При абсолютно пружній деформації деталь відновлює свою початкову форму після припинення дії на неї прикладених сил. Важливо знати ступінь цієї деформації, оскільки вона може впливати на перебіг технологічного процесу. Деформація може бути не абсолютно пружною, тобто деталь не повністю відновлює свою початкову форму. Це стосується, зокрема, виготовлення деталей із листового матеріалу прокаткою його між валками.

Всі ці деформації мають складний характер і не завжди можуть бути описані аналітично з абсолютною точністю. Однак важливо мати хоча б наближений опис, який спирається на незаперечні факти. Такими фактами є незмінність об'єму металу початкової форми у процесі його деформування, а також ізотропність при пластичних деформаціях. Ці властивості теж не гарантують точного опису процесу деформації, але вони дають орієнтовні розрахунки процесу для виготовлення деталі, які можуть бути уточнені в результаті експерименту. Все це, а також розроблені рекомендації для практичного застосування свідчать про актуальність теми досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в широкому застосуванні апарату диференціальної геометрії, що дозволило отримати аналітичний опис деформування заготовок їх прокаткою між циліндричними і конічними валками, а також пружного згинання листового матеріалу і абсолютно пружного згинання консольно защемлених стержнів з різною формою пружної осі у вільному стані. Крім того, на основі згинання гвинтових нерозгортних поверхонь у поверхні обертання запропоновано отримані поверхні апроксимувати зрізаним конусом для подальшого знаходження наближених розгортки витків поверхні.

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність. Ознайомлення зі змістом і структурою дисертації дає підстави стверджувати, що мета роботи, яка полягає у виявленні особливостей деформування металевих деталей та використання їх у задачах пружного, абсолютно пружного згинання

та знаходженні геометричних зв'язків між заготовкою та готовим виробом, досягнута. Викладені наукові положення, висновки і рекомендації є обґрунтованими та аргументованими, оскільки базуються на використанні як теорії конструкційних матеріалів, так і геометричних методів дослідження, які перебувають між собою у тісному зв'язку. Крім того, опрацьовано значну кількість наукових праць щодо пластичного деформування як заготовок у вигляді прокату, так і пружного деформування листового матеріалу, а також абсолютно пружного деформування готових виробів. Не викликають сумніву розрахунки згинання розгортних поверхонь у готовий виріб, які базуються на теорії згинання поверхонь розділу диференціальної геометрії. Достовірність підтверджується отриманими зображеннями цих поверхонь за отриманими параметричними рівняннями.

Дисертація за своєю структурою складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел, висновків та додатків. Загальний обсяг роботи складає 181 сторінку. Дисертація містить 62 рисунків. Анотація викладена в лаконічній, але змістовній формі, передає основні положення та висновки дослідження, а також відображає його логічну послідовність і структуру.

Розділи дисертації логічно побудовані та змістовно наповнені. У **першому розділі** здобувачем зроблено аналіз існуючих способів деформування деталей і поверхонь з точки зору технології, геометричних параметрів та теорії згинання поверхонь. Заслуговує на увагу вивчення різних способів деформації металу. На простому прикладі згинання прямолінійної смуги під прямим кутом із заокругленням показано складність розрахунку потрібної довжини смуги для отримання деталі потрібних розмірів.

Автором зроблено аналіз абсолютно пружного згинання консольно закріплених стержнів з поєднанням як їх властивостей з точки зору матеріалознавства, так і з точки зору геометричних характеристик. При цьому ключова роль відводиться саме геометричним характеристикам: формі поперечного перерізу і кривині пружної осі.

Велика увага приділена згинанню листового матеріалу у потрібну форму. При цьому розглядаються форми, які можна отримати простим згинанням металевого листа на прикладі згинання аркуша паперу, так і поверхні, які носять назву нерозгортних. У другому випадку згинання носить більш складний характер, оскільки отримання потрібної форми зв'язано із значними пластичними деформаціями, тобто перерозподілом металу в його об'ємі.

Другий розділ присвячено пластичній деформації матеріалу із урахуванням його властивостей, форми і об'єму. Спочатку розглядається деформація прокату із прямокутним поперечним перерізом прокаткою між циліндричними валками. Після прокатки виходить смуга із зміненим поперечним перерізом: меншою товщиною та більшою шириною. При знаходженні розмірів перерізу після прокатки смуги було прийнято допущення, що об'єм її не змінюється, а подовження у всіх напрямках відбувається однаково

із-за ізотропних властивостей металу. Розглянуто більш складний випадок прокатки, коли смуга з трапецеїдальним поперечним перерізом проходить між конічними валками і формується у плоске кільце прямокутного перерізу. При цьому здійснено відповідні розрахунки із урахуванням внутрішнього радіуса кільця і налаштування конічних валків.

Наступна задача – деформація плоского кільця із фаскою на зовнішньому діаметрі у конічний диск. При цьому необхідно визначити, як зміниться кут фаски на готовому виробі. При розв'язанні цієї задачі автор виходив із припущення, що при згинанні заготовки площа поверхонь, що утворюють фаску, не змінюється, а також не змінюються і довжина лінії їх перетину, тобто загостреної крайки. У результаті проведених розрахунків було з'ясовано, що кут зняття фаски після згинання змінюється. Крайка на диску стає гострішою. Звідси можна знайти кут зняття фаски на плоскому кільці, щоб отримати потрібний кут на конічному диску.

Подібною є третя задача цього розділу, у якій йдеться про знаходження плоскої заготовки для виготовлення гвинтоподібного ножа, який є нерозгортною поверхнею. При розв'язанні цієї задачі висунуто припущення, що довжини зовнішньої гвинтової лінії, якою є ріжуча кромка ножа, і внутрішньої гвинтової лінії повинні бути рівними відповідним лініям на плоскій заготовці. У результаті знайдено плоску заготовку у вигляді кільця та її розміри через конструктивні розміри ножа.

У **третьому розділі** розглянуто пружне і абсолютно пружне згинання металевих виробів. Пружне згинання передбачає часткове повернення металевого листа після прокатки між валками до початкової форми. Для циліндричних деталей воно оцінюється коефіцієнтом пружинення, який є співвідношенням фактичної і заданої кривини кривої поперечного перерізу циліндричної поверхні, яка утворюється після згинання плоского листа циліндричними валками. Заслуга автора полягає в тому, що він знайшов і математично описав принципову відмінність між згинанням циліндричних і конічних деталей.

Щодо абсолютно пружного згинання стержнів автором розглянуто як пряму, так і обернену задачу. Пряма задача полягає у знаходженні форми пружної осі консольно защемленого стержня під дією прикладеної сили. Вона розглянута на прикладі деталей сільськогосподарської техніки: стояків культиваторної лапи, пружинного зуба борони. При цьому розглядалися різні варіанти пружної осі стержня у вільному стані: прямолінійна (кривина пружної осі дорівнює нулю), криволінійна (кривина пружної осі має початкове значення кривини), поєднання прямолінійної і криволінійної ділянок і поєднання двох криволінійних ділянок із різними кривинами.

Для оберненої задачі розглянуто два випадки. Один випадок стосується виготовлення спіральної пружини, інший – виготовлення поршневого кільця. Для обох випадків задачею є знаходження форми пружної осі у вільному стані, яка під дією прикладених сил набуде

потрібної форми. Це необхідно для того, щоб мати початкову форму деталі, з якою проводяться певні технологічні операції, після яких вона стає абсолютно пружною. Обидві задачі супроводжуються математичними викладками, розрахунками конкретних прикладів і побудовою пружних осей у вільному стані за отриманими рівняннями.

У **четвертому розділі** розглянуто згинання лінійчатих гвинтових поверхонь на основі теорії диференціальної геометрії. Заслуга автора полягає в тому, що він пробує поєднати класичну теорію згинань поверхонь диференціальної геометрії із реальними процесами, які відбуваються у процесі формування деталей із листового матеріалу. При цьому розглядаються як розгортні, так і нерозгортні поверхні. Велика увага приділена гвинтовим поверхням. Запропоновано два варіанти згинання розгортного гелікоїда із наведенням відповідних рівнянь. Розглянуто також конструювання гвинтоподібного ножа подрібнювального барабана із розгортного гелікоїда та знайдено і побудовано його розгортку. У цьому випадку розгортка є не наближеною, а точною. Детально розглянуто згинання нерозгортних лінійчастих гвинтових поверхонь. Дослідження спираються на відомий факт, що всяку гвинтову поверхню можна зігнути на поверхню обертання. Автором запропоновано знаходити меридіан цієї поверхні обертання і замінити його відрізком прямої. Таким чином, поверхня обертання замінюється зрізаним конусом. Точна розгортка зрізаного конуса є наближеною розгорткою витка поверхні. Наведено практичні рекомендації формування із цієї розгортки витки поверхні в умовах малосерійного виробництва.

Загальні висновки повністю відповідають отриманим у дисертації результатам, які є обґрунтованими та стосуються прикладної механіки.

Практичне значення результатів дослідження. Одержані результати можуть бути застосовані під час налагодження різноманітних процесів деформування металевих заготовок у готові вироби. У процесі виготовлення деталей із листового матеріалу необхідно враховувати їхню геометричну форму. Якщо поверхня є розгортною, контури плоскої заготовки можна визначити з високою точністю. У випадку нерозгортних поверхонь формується наближена розгортка. У цій роботі запропоновано методи побудови наближеної розгортки для гвинтових поверхонь. Така розгортка представляє собою плоске кільце, яке потрібно деформувати у гвинтову поверхню. З цією метою автором надано практичні рекомендації щодо виготовлення витків поверхні при малосерійному виробництві в умовах майстерні.

Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій, в опублікованих працях. Основні наукові результати дисертації опубліковано у 25 наукових працях, з яких 8 статей у періодичних наукових виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України та/або у закордонних виданнях,

проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 6 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, а також 11 тез наукових доповідей, представлених на наукових конференціях.

Відповідність академічній доброчесності. Аналіз звіту про подібність за результатами перевірки дисертації на наявність текстових збігів дає підстави стверджувати, що дисертація Хропоста Вячеслава Івановича не містить ознак фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату чи неправомірних запозичень і є результатом самостійного наукового дослідження автора. Ідеї, результати та тексти інших авторів, використані в роботі, супроводжуються належними посиланнями на відповідні джерела.

Дискусійні положення та зауваження щодо роботи. Високо оцінюючи науковий рівень підготовки дисертації, хотів би акцентувати увагу на окремих положеннях роботи, які, на мою думку, заслуговують на подальше обговорення в рамках наукової дискусії.

1. У першому розділі проаналізовано різні види деформації металевих заготовок або деталей з точки зору геометрії. Автор роботи зробив висновок, що в багатьох випадках, особливо при пластичній деформації металу не існує абсолютно точних рішень, які б цей процес описували. Він пропонує свої моделі із застосуванням методів геометрії без порівняння із існуючими рішеннями, які теж дають наближений результат.

2. У другому розділі запропоновано деформувати плоске кільце заданої товщини у конічний диск. При цьому розв'язується задача зняття фаски на зовнішній периферії кільця під таким кутом, щоб після деформації ця фаска на диску мала потрібне значення кута. Розв'язування задачі ґрунтується на тому, що площа суміжних поверхонь, що утворюють фаску, в процесі деформації не змінюється, як не змінюється і довжина їх спільної лінії перетину, тобто кола. Однак на кільці існують й інші поверхні, які не приймаються до уваги. Це ставить під сумнів достовірність отриманих результатів.

3. При пружному згинанні прямолінійних і криволінійних стержнів розраховується форма їх пружної осі. За отриманою формою будується стержень після деформації, наприклад, стояк лапи культиватора. Цей стояк має прямокутну форму поперечного перерізу. Для точної побудови деформованого стояка потрібно знати місцезнаходження пружної осі в його об'ємі. У роботі про це нічого не сказано, а сам стояк схематично зображено у вигляді пружної осі.

4. При моделюванні S-подібного стояка культиваторної лапи взято прототип із нанесеними розмірами із ресурсів інтернету (рис. 3.11). Розглянута у роботі модель має спрощену форму, в якій складна форма прототипу замінена двома дугами кіл. Також прототип має змінну форму поперечного перерізу по довжині стояка, тоді як в розробленій моделі він сталий і прямокутний.

Наведені зауваження не носять принципового характеру і не знижують рівня виконаних досліджень.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам. Аналіз дисертації та опублікованих праць свідчить про те, що дисертація Хропост Вячеслава Івановича на тему «Геометричні аспекти деформування деталей із врахуванням їх форми і властивостей матеріалу» є завершеною науковою працею, що має наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

За актуальністю, ступенем новизни представлених результатів, їх наукової обґрунтованості, повноти викладення в опублікованих наукових працях, рівнем виконання поставленого наукового завдання та володінням методологією наукової діяльності відповідає вимогам, які ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертація відповідає спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія», вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами), наказу МОН України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) і Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор Хропост Вячеслав Іванович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Офіційний опонент професор кафедри автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, доктор технічних наук, професор Іван ГЕВКО