

Ученому секретарю спеціалізованої вченої ради
Д 26.002.11 Ганпанцуровій О. С.

Відгук

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Грушка Олександра Володимировича на дисертаційну роботу Немировського Якова Борисовича «Наукові основи забезпечення точності при деформуючому протягуванні», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування.

Актуальність теми дисертації

Забезпечення точності виробів було, є і завжди буде одним з актуальних питань їх виробництва, що починається ще на стадії проектування технологічного процесу. Деформуюче протягування, або дорнування є одним із ефективних способів калібрування, роздачі деталей типу циліндричної втулки, що забезпечує разом необхідні квалітети точності, низьку шорсткість та сприятливу технологічну спадковість обробленої поверхні за один прохід інструменту. Незважаючи на те, що такий вид технологічної обробки досить глибоко вивчався низкою вчених, зокрема, наукової школи О. М. Розенберга та О.О. Розенберга, залишилась невирішеною проблема керування точністю виробів за рахунок підбору раціональних технологічних параметрів із врахуванням особливостей геометричних характеристик заготовок, що оброблюються дорнуванням.

Асортимент деталей, що можуть бути ефективно оброблені дорнуванням є широким. Це такі відповідальні деталі, як гідроциліндри, циліндри амортизаторів та нафтових насосів, шахтних стійок, хвилеводів, камер спецпризначення, поршневі пальці, стволи стрілецької зброї тощо. До цих виробів висуваються вимоги підвищеної точності як по відхиленню від круглості, так і по викривленню вісі. Відсутність науково-обґрунтованого апарату, на якому ґрунтуються технологічні рекомендації і розробка техпроцесів стримує широке впровадження в промисловість процесу ДПР.

З цієї точки зору, дисертація Немировського Я. Б., яка спрямована на розробку наукових основ забезпечення точності при деформуючому протягуванні та вдосконаленню технологічного процесу дернування, є актуальною.

Зв'язок з державними науковими програмами та темами

Дисертація виконана відповідно до тематичних планів науково-дослідних робіт (НДР) кафедри металорізальних верстатів та систем Центральноукраїнського національного технічного університету, а також науково-дослідними роботами, які виконувались у ІНМ НАН України ім В.М. Бакуля. У дисертацію увійшли результати держбюджетних пошукових НДР №№ ДР 0113U003088, 0116U008173, 0117U003576, 01870006678, 81081587, а також договір №2280 з Дніпропетровським тепловозоремонтним заводом. Автор був виконавцем зазначених робіт. Робота відповідає вимогам Закону України від 11.07.2001 р № 2623-III «Про пріоритетні напрямки науки і техніки», п. 6 статті 7 «Нові технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі».

Структура та зміст дисертації

Робота складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг роботи – 451 сторінка, з яких 336 сторінок основного машинописного тексту, 214 рисунків, 20 таблиць, список використаних джерел з 232 найменувань що займає 19 сторінок, 11 додатків на 41 сторінці.

У **вступі** обґрунтована актуальність науково-технічної проблеми розробки науково-обґрунтованих технологічних методів управління параметрами точності для забезпечення необхідної геометричної точності виробів, оброблених деформуючим протягуванням; наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, наведено мету і задачі досліджень, об'єкт, предмет та методи досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Відзначено особистий внесок здобувача, наведено інформацію про апробацію роботи та публікації здобувача.

У першому розділі виконано аналіз проблеми геометричної точності виробів, оброблених деформуючим протягуванням та наведено сучасний стан можливих шляхів її розв'язання. Зокрема, наведено сучасне представлення про схему осередку деформації при дорнуванні та його кінематичних, геометричних і енергетичних характеристик; стан досліджень про деформований стан оброблених заготовок, а також досліджень, що стосуються геометричної точності при ДПР.

Автор дійшов висновку, що теоретичні моделі, що коректно описують осередок деформації, який складається з 3-х сполучених характерних ділянок – контактної та двох позаконтактних – у літературних джерелах відсутні.

Також проаналізовано джерела, присвячені розвитку питання про вплив вихідної різнотовщинності на формування похибок при ДПР. З'ясовано, що різнотовщинність викликає значне зниження величини граничної пластичної деформації заготовки. Також зазначено, що загальні теоретичні моделі впливу вихідної різнотовщинності на похибки обробки практично не знайшли відображення в літературі. Зроблено акцент, що при оцінюванні величини похибки на осьові деформації обробленої заготовки повинні враховуватись режими протягування, геометрія інструмента та товстостінність заготовки.

Автором з'ясовано, що певні відомі теоретичні та експериментальні дослідження з зазначеної проблеми, зокрема впливу режимів роздачі та геометрії інструмента на точність, мають суперечливий характер. В результаті без залучення глибинного теоретичного аналізу виявити й систематизувати можливі причини формування похибок при ДПР не представляється можливим.

Таким чином, на основі аналізу відповідних літературних джерел, автор окреслив проблему забезпечення геометричної точності деталей, оброблених деформуючим протягуванням, і зробив логічний і правильний висновок, що її потрібно вирішувати на основі вивчення механіки пластичного деформування в сполученні з розробкою науково-обґрунтованих технологічних методів управління параметрами точності.

Слід відзначити достатнє опрацювання автором, як за глибиною так і за географією літературних джерел. Зроблено узагальнюючі висновки по літературному огляду, в яких поставлено задачі дослідження.

Другий розділ присвячений розробленню науково-методологічних принципів виконання досліджень. Обґрунтовано використання розрахункових і експериментальних методів досліджень деформованого стану осередку деформацій та осьових деформацій оброблених заготовок. Виконаний опис обладнання та інструменту для експериментальних досліджень, зазначено їх технічні характеристики. Також наведено умови досліджень, інструмент, апаратура, устаткування, досліджувані матеріали, їх фізико-механічні властивості, застосовувані технологічні змашення.

Розроблена методика, що дозволяє вимірювати осьові напруження в стінці деталі при її деформуванні. Кінематичні, геометричні та енергетичні параметри осередку деформацій визначалися за допомогою оригінальної розрахункової методики, розробленої на основі варіаційних принципів. Розрахунок здійснювався за допомогою методу послідовних наближень. У підсумку визначали кінематичні, геометричні і енергетичні параметри осередку деформації.

Вибір методів досліджень, апаратного та інструментального забезпечення, розроблених методик та кола оброблюваних матеріалів заперечень не викликає.

У третьому розділі розроблена математична модель осередку деформації при ДПР заготовок із невеликою товстостінністю. Для її побудови використовувався енергетичний метод, заснований на варіюванні функціонала потужності зовнішніх і внутрішніх сил деформування за допомогою параметрів кінематично можливих полів швидкостей деформацій.

У відповідності зі схемою осередку деформації та вимогами до моделі побудоване кінематично можливе поле швидкостей, що визначалось декількома варіюваними параметрами. Для їхнього знаходження використані варіаційні принципи, що полягають у визначенні цих параметрів, які забезпечують мінімум функціонала потужності. Для обрахунків використано чисельне моделювання.

Важливим результатом розділу є встановлення залежності довжини

позаконтактних зон від товстостінності заготовки. Збіг розрахункових і експериментальних даних спостерігається до критичної товщини стінки, при якій контактний тиск досягає критичної величини. У цьому випадку спостерігається поява локальної зони пластичного деформування, яка приводить до утворення додаткового «напливу» у зоні контакту, що, збільшує довжину контакту.

Наступним важливим результатом є встановлення, що потужність пластичних деформацій у контактній зоні має чітко виражений мінімум при $K_2 = 0,5$, і течія матеріалу в цій зоні жорстко визначена формою інструмента, тому процес деформування в цій зоні має стійкий характер. При цьому потужності у позаконтактних зонах такого явно вираженого мінімуму не мають. Їх мінімальне значення досягається в широкому діапазоні зміни параметра $K=0,4-2,3$. Тому у позаконтактних зонах, де оброблюваний матеріал не контактує з інструментом, процес деформування має явно виражений нестійкий характер, що на практиці приводить до утворення значних похибок обробки заготовок.

І ще одним важливим результатом розділу є детальний аналіз шляхів технологічного управління енергетикою процесу, через зміну технологічних факторів. Зокрема, аналіз зміни складових потужності від кута α показав, що частка роботи тертя не залежить від розмірів заготовки та режимів роздачі, а визначається тільки коефіцієнтом тертя та кутом α . При малих α і високих значеннях f потужність сил тертя може досягати до 80% від загальної потужності. У той же час при більших α і низьких значеннях f співвідношення $\frac{\overline{W}_{mp}}{\overline{W}}$ знижується до 25%. Розроблена схема, що дозволяє залежно від наявного обладнання, розмірів і вимог до деталей використовувати розроблені рекомендації для зниження енерговитрат на величину до 50%.

У четвертому розділі наведено результати по дослідженню деформованого стану та кінцевих деформацій оброблених заготовок.

Доведено, що розроблену модель осередку деформації можна використовувати для визначення деформацій заготовок, товстостінність яких менше критичної товщини стінки. Для більш товстостінних заготовок її

використовувати недоцільно. Для розробки узагальнюючих моделей у широкому діапазоні зміни товстостінності були обрані експериментальні методи вивчення деформацій оброблених заготовок із застосуванням апарату регресійного аналізу та планування експерименту.

Показано, що залежно від геометрії інструмента, режимів протягування та товщини стінки, осьові деформації відносно тонкостінних заготовок можуть бути трьох видів: осьове укорочення, відсутність осьових деформацій, осьове подовження. Для випадку укорочення отримані залежності для розрахунку деформацій заготовок, оброблених по схемах стиснення та розтягнення.

Встановлено важливу закономірність: досягнення в зоні контакту критичного контактного тиску якісно міняє схему формоутворення – переходом укорочення до подовження. Отримано залежності для вибору необхідного кута α , що забезпечує деформування заготовки без зміни її довжини при заданих натягах і товстостінності як для схеми розтягнення, так і для схеми стиснення.

Виявлено факт аномальної зміни довжини для випадку деформування заготовок із різних матеріалів з товщиною стінки, більшу за критичну деформуючим елементом з кутом $\alpha > 6^\circ$. Установлено, що при таких кутах змінюється характер залежності натягу від контактного тиску. Вплив матеріалу на довжину контакту та осьову деформацію спостерігається тільки при деформуванні заготовок із товщиною стінки більше критичної.

Методом регресійного аналізу, для випадку роздачі деталей з товщиною стінки, більшу за критичну отримані інтерполяційні моделі для визначення осьових деформацій з достатньою для інженерної практики точністю.

У п'ятому розділі розглянуто деформування різнотовщинних деталей.

Для аналізу впливу вихідної різнотовщинності на деформований стан обробленої заготовки розроблена теоретична модель деформування різнотовщинної труби, що враховує деформаційного зміцнення.

При певній комбінації степені різностінності, деформації при роздачі і здатності оброблюваного матеріалу до зміцнення пластична область може охопити весь об'єм заготовки. При їх несприятливому сполученні товстостінна

частина заготовки залишається недеформованою, що приводить до появи браку. Нерівномірність розподілу деформації в окружному напрямку може привести до браку за рахунок руйнування або локальної втрати стійкості течії матеріалу, тобто утворення шийки.

У результаті чисельних розрахунків для різних матеріалів і різнотовщинностей отримані залежності між ступенем роздачі та кутовим розміром пластичної області.

Розроблено алгоритм використання отриманих результатів при визначенні мінімально необхідної деформації, що забезпечує деформування всього об'єму різнотовщинної заготовки.

Також розроблено розрахунково-експериментальну модель по визначенню прогину осі залежно від зміни довжини тонкостінної та товстостінної ділянок. За цією моделлю визначено область технологічних режимів, де практично відсутній вплив різностінності, натягу і кута на викривлення осі, що є важливим практичним результатом.

Показано, що при роздачі деталей складної форми, що мають значні перепади товщини стінки в поперечному перерізі, можуть виникнути досить істотні похибки, що приводять до появи браку. Для успішної обробки таких деталей запропонований спосіб гарантованої локалізації пластичної деформації за рахунок створення в заготовках жорстких ділянок, а також розроблена теоретична модель роздачі труби, що має жорсткі та пластичні ділянки.

З урахуванням зміцнення матеріалу і стоншення стінки пластичної ділянки в процесі роздачі визначене припустиме співвідношення товщин стінок пластичної і жорсткої ділянок, що забезпечує гарантовану локалізацію деформації на пластичних ділянках. Отримано залежність, що дозволяє врахувати зміну граничної деформації при наявності жорстких ділянок.

Шостий розділ присвячений визначенню шляхів забезпечення геометричної точності при ДПР. На підставі аналізу результатів математичного моделювання

визначено (розділ 3), що позаконтактні зони є місцем інтенсивного утворення похибок деталі.

Аналіз деформованого стану оброблених заготовок, а також вивчення впливу різнотовщинності на викривлення осі обробленої заготовки, показали, що цей вид похибки виникає в зоні контакту і обумовлений варіацією осьових розмірів різнотовщинних ділянок заготовки. Встановлено, що мінімальний вигин забезпечується при значеннях кута α : $2^\circ \leq \alpha \leq 8^\circ$. Максимальний вигин спостерігається при використанні кута $\alpha=4-6^\circ$, а також при використанні мінімальних натягів. Таким чином, розроблена модель для оцінки такого виду похибки, як викривлення осі різнотовщинної заготовки, дозволила визначити кількісне значення цього виду погрішності в широкому діапазоні зміни технологічних факторів, геометрії інструмента, вихідної різнотовщинності та підтвердити висновок, отриманий на основі теоретичних даних, що цей вид похибки утворюється в контактній зоні осередку деформації. На підставі моделювання розроблені рекомендації з вибору раціональних режимів протягування та геометрії інструмента, що дозволяють зменшити цей вид похибки в 1,5-2 рази.

Також розглянуто вплив вихідних похибок на геометричні похибки оброблених деталей. Аналіз цих результатів показав, що при деформуванні із пластичними деформаціями, що охоплюють весь об'єм заготовки, похибка обробленого отвору практично не залежить від вихідної.

У випадку, коли ДПР застосовується для обробки напівкрихких матеріалів та товстостінних заготовок як фінішна операція обробки, забезпечуючи необхідний розмір отвору, потрібну шорсткість і зміцнення, вихідна похибка отвору повинна бути незначною і не перевищувати сумарну пластичну деформацію отвору, яка обмежується відсутністю пластичної деформації біля зовнішньої поверхні заготовки. Як наслідок рекомендовано здійснювати обробку заготовок із чавуну з малими натягами і невеликими сумарними деформаціями. Експериментальне вивчення особливостей формування похибок при обробці з малими натягами показало, що визначальним режимним параметром є величина

сумарної пластичної деформації отвору, що обмежується необхідною точністю форми отвору, а при обробці напівкрихких матеріалів необхідною точністю форми отвору і ресурсом пластичності оброблюваного матеріалу.

Певну увагу в розділі присвячено усуненню похибок зовнішньої поверхні, що обумовлені нестійкістю течії матеріалу у осередку деформації.

Здійснено ретельний аналіз основних шляхів зниження похибок при деформуючому протягуванні та надані технологічні рекомендації щодо практичної реалізації цих шляхів.

Автором запропоновано активне технологічне втручання на позаконтактні зони осередку деформації, що істотно впливає на стабільність усього процесу деформування і на зниження похибок обробки. Розроблені різноманітні конструкторсько-технологічними прийоми. Наприклад, за рахунок вибору раціональних режимів роздачі та геометрії інструмента, що дозволяють зменшувати розміри позаконтактних зон. За рахунок накладення додаткових стабілізуючих зв'язків, що наближають деформування матеріалу у позаконтактних зонах до умов деформування в зоні контакту. За рахунок впливу на умови деформування у позаконтактній зоні за ділянкою контакту (розроблена нова конструкція деформуючого елемента). Використання таких підходів знижує похибки обробленого отвору до 80%. За рахунок застосування раціональної схеми протягування. Зокрема, схема з обмеженням осьової деформації є вдосконаленою схемою протягування на розтягнення. Вона стабілізує процес їх деформування, що у свою чергу дозволяє уникнути появи досить істотних похибок обробки.

Автор показав, що підвищення точності деталей при ДПР може бути здійснено за рахунок впливу на течію металу на ділянці контакту. Це можна здійснити за рахунок вибору раціональних режимів протягування і геометрії інструмента, що дозволяють знизити варіацію зміни осьових розмірів заготовки. Особливо, це істотно впливає на зниження такого виду похибки, як вигин осі, яка має місце при обробці різнотовщинних деталей.

Автор розробив низку способів технологічної обробки деталей, які забезпечують необхідну точність і базуються на теоретичних висновках. Це:

спосіб, в якому реалізована попередня роздача деформуючим елементом; спосіб деформування різновтовщинних заготовок, по якому пластична деформація локалізується на пластичних ділянках, а ділянки з більшою товщиною стінки залишаються жорсткими недеформованими; спосіб, при якому введено додатковий конічний елемент, який дозволяє забезпечити співвісність інструмента і оброблюваної заготовки; спосіб, що забезпечує мінімальне відхилення осей інструмента та оброблюваної заготівлі можна за рахунок зустрічного деформуванням; нова схема роздачі, відповідно до якої необхідна сумарна деформація здійснюється в парне число проходів.

Також зазначені інші практичні рекомендації підвищення точності процесу ДПР: застосування пружних розсувних опор при деформуванні за схемою стиснення; додатковий стабілізуючий відпал матеріалу для підвищення однорідності механічних характеристик; використання спеціальних опор і пристроїв, що супроводжують і підтримують інструмент у процесі його переміщення через заготовку; здійснення роздачі на вертикальних пресах тощо.

У цьому розділі наведено результати промислового впровадження, виконаного на основі отриманих науково-технологічних результатів.

Автором на основі науково-обґрунтованих технологічних методів управління точністю розроблено низку технологічних процесів на основі ДПР та окремих конструкторських рішень.

Розроблено технологічний процес обробки внутрішньої поверхні різновтовщинних заготовок хвильоводних труб з кольорових металів латуні Л63 і міді М1. Процес забезпечує викривлення осі не більше 1 мм на 1 м довжини заготовки з максимальною похибкою отвору $\delta=0,03$ мм, що відповідає вимогам, які висуваються до таких виробів.

Розроблено технологічний процес обробки отвору в гільзах із чавунів пластичним деформуванням. Використання цього процесу забезпечує одержання поверхні з поліпшеними механічними характеристиками, з технологічним мікрорельєфом обробленої поверхні, що відповідає експлуатаційному.

Розроблено технологічний процес відновлення геометричної розмірної

точності зношених поршневих пальців ДВС, за рахунок роздачі внутрішнього отвору деформуючим елементом. Розроблений технологічний процес пройшов виробничі випробування в умовах Ташкентського ОРМЗ і впроваджений на трьох підприємствах при відновленні геометричної розмірної точності зношених поршневих пальців дизелів тепловозів, автомобілів і тракторів.

Розроблена нова конструкція розширювача для буріння гірських порід, що дозволяє здійснити багаторазове відновлення зношеного розширювача за рахунок роздачі його внутрішнього отвору деформуючим елементом. Ремонтпридатна конструкція розширювача і режими його відновлення пройшли виробничі випробування та впроваджені в умовах Норильської комплексно-розвідувальної експедиції.

Розроблено конструкцію комбінованої протяжки для обробки отворів у втулках із сірого чавуну.

Впровадження зазначені вище технологічних процесів та розробок дало значний сумарний технічний та економічний ефекти, про що свідчать відповідні акти впровадження.

Після кожного розділу дисертаційної роботи наведені висновки.

Загальні висновки по роботі повно підбивають підсумок усієї роботи.

У **додатках** розміщено додаткову інформацію у вигляді копій договорів, актів впровадження результатів роботи, креслень зразків, інструментів тощо.

Вважаю, що матеріал, який наведений в дисертації, розташовано послідовно і логічно. Компонування тексту, рисунків і таблиць відповідає вимогам. В цілому структура роботи відповідає основним вимогам до докторських дисертацій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

У представлений на розгляд дисертації проведено достатньо широкий аналіз літературних даних по сучасному стану проблеми забезпечення геометричної точності деталей, оброблених деформуючим протягуванням, що послужило обґрунтуванням до всіх поставлених задач досліджень.

Достовірність і обґрунтованість отриманих результатів базується на науково обґрунтованих методах теоретичних і експериментальних досліджень: застосовано апарат механіки течії деформованого твердого тіла, теорії пластичності та пружності, варіаційні принципи, теорія подібності, що в цілому забезпечило коректність постановки та рішення задач, а також адекватність отриманих математичних та інтерполяційних моделей. Теоретична база та використання цих методів для розв'язання завдань дисертаційних досліджень заперечень не викликає. Експериментальні дослідження виконані за допомогою обладнання та апаратури, що пройшли метрологічний контроль. Для аналізу та обробки експериментальних даних використані методи математичної статистики, теорії планування експерименту.

Вищевикладене дає підставу стверджувати, що ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи відповідає науковим вимогам до кваліфікаційних робіт такого рівня.

Наукова новизна

В дисертаційній роботі створені наукові основи технологічного управління параметрами точності при деформуючому протягуванні деталей, які полягають в такому:

- вперше розроблена математична модель осередку деформації, яка дозволила встановити закономірності течії матеріалу в ньому, зокрема з варіаційних принципів з'ясовані коефіцієнти осьової деформації та виконано енергетичний аналіз потужності формоутворення заготовки, що в свою чергу дало основу теоретичного вивчення утворення геометричних похибок та енергетики процесу;
- вперше розроблена аналітично-експериментальна модель викривлення осі оброблених деталей, яка дозволила встановити технологічні шляхи мінімізації величини цієї похибки;
- вперше розроблена теоретична модель деформування різновіщинних заготовок, яка дозволила врахувати вплив різновіщинності на вибір мінімально необхідної деформації, яка забезпечує пластичне деформування

всього об'єму заготовки;

- вперше експериментально доведено, що досягнення контактним тиском критичного значення якісно змінює схему формоутворення заготовки - переходом укорочення до видовження; при цьому спостерігається вплив оброблюваного матеріалу на довжину контакту та осьові деформації; встановлено, що для випадку осьового подовження при деформуванні з кутами більше 6° змінюється відома залежність контактного тиску від натягу, а саме зі збільшенням натягу контактний тиск зростає;
- вперше розроблена теоретична модель деформування протягуванням нерівножорсткої деталі, що має в поперечному перерізі жорсткі та пластичні ділянки та забезпечує мінімізацію похибок обробленої деталі зі значним перепадом товщини стінки в поперечному перерізі.

Практична значущість отриманих результатів

Практичну значимість мають наступні результати дисертаційної роботи здобувача:

- науково-обґрунтовані схеми та способи ДПР, конструкції інструментів і алгоритми побудови технологічних процесів, що забезпечують підвищення точності обробки;
- методики проектування операції ДПР, які орієнтовані на забезпечення осьової деформації заготовки; визначення мінімально необхідної деформації при обробці різновтовщинних деталей, забезпечення необхідного ресурсу пластичності, забезпечення стійкості течії матеріалу;
- методики оцінки конструкційної міцності твердосплавних деформуючих елементів з урахуванням масштабного ефекту та неоднорідності напруженого стану;
- розроблені технологічні процеси обробки отворів у гільзах із сірого чавуну; відновлення геометричної розмірної точності поршневих пальців ДВС; обробки різновтовщинних деталей заготовок стволів та хвильоводних вигинів із латуні Л63 та міді М1; розраховані режими та геометрія інструменту

- дозволили одержати належну якість зазначених виробів з поліпшеними механічними, трибологічними та експлуатаційними характеристиками;
- розроблено конструктивні рішення інструменту для обробки отворів у корпусі гідророзподільника із чавуну СЧ20; а також розширювача для буріння гірських порід; надано технологічні рекомендації по застосуванню деформуючого протягування забезпечення розмірної точності відповідних деталей.

Значення отриманих результатів для науки і практики

Вважаю, що наукову і практичну цінність у тому чи іншому ступені мають всі основні положення і висновки роботи.

В дисертаційній роботі вирішена актуальна для процесу деформуючого протягування науково-технічна проблема управління та забезпечення необхідної геометричної точності виробів, що оброблюються. Розв'язання цієї проблеми полягає в наступному:

1. у розробленні теоретичної моделі осередку деформації при деформуючому протягуванні, що дозволяє вивчити його кінематичні, геометричні й енергетичні параметри;
2. у встановленні особливостей розвитку осьових деформацій в оброблених заготовках та вплив на них технологічних факторів процесу;
3. у розробленні математичної моделі протягування різнотовщинних деталей і вивченні закономірностей їх деформування;
4. у встановленні особливостей формування геометричних похибок при деформуванні деталей із малими натягами;
5. у встановленні закономірностей формування геометричних похибок на основі теоретичних та експериментальних досліджень деформованого стану осередку деформації і деформацій оброблених деталей;
6. у розробці технологічних процесів обробки, схеми деформування, конструкції інструментів, що забезпечують досягнення необхідних параметрів точності деталей;
7. у визначенні та систематизації технологічних способів управління

параметрами точності при деформуючому протягуванні, а також у розробці алгоритмів управління цими параметрами для побудови технологічних процесів на основі деформуючого протягування.

Результати, отримані в ході виконання дисертаційної роботи, знайшли широке впровадження та промислову апробацію, зокрема на Київському 3-му авторемонтному заводі при обробці гільз ДВС із чавуну, на Ташкентському заводі Ташормз, Дніпропетровськом тепловозремонтному заводі при відновленні геометричної точності поршневих пальців ДВС, на НКГРЕ м. Норильськ при відновленні геометричної точності розширювачів для алмазного буріння, на підприємстві ПАТ НВФ «Радій», м. Кропивницький при обробці отворів у корпусі гідророзподільника та на підприємствах Укроборонпрому при обробці отворів в спеціальних різновтовщинних деталях тощо.

Отже, оцінка отриманих результатів здобувача щодо значущості його праці для науки і практики є впевнено позитивною.

Рекомендації з використання результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи можуть бути ефективно використані на підприємствах машинобудування, приладобудування, оборонної промисловості та інших підприємствах України де є технологічна обробка циліндричних отворів в виробах відповідального призначення. До таких процесів можна віднести ресурсозберігаючі технологічні процеси обробки різновтовщинних заготовок стволів, хвильоводних вигинів, гільз ДВС із чавуну, техпроцесів відновлення геометричної точності поршневих пальців ДВС, розширювачів для алмазного буріння, а також конструкції комбінованої протяжки для обробки отворів у втулках із чавуну тощо.

Також результати рекомендується використовувати в науково-дослідних інститутах України, в яких проводяться розробки в області механічної обробки матеріалів. В вищих навчальних закладах України результати можуть бути використані при підготовці фахівців за напрямками галузеве машинобудування, прикладна механіка, обробка металів тиском.

Вважаю, що подальші дослідження необхідно проводити в напрямку розробки технологічних процесів деформуючого протягування засобами САПР в сполученні з методом кінцевих елементів, що дасть змогу отримувати оптимальні технологічні параметри та мінімальний час технологічної підготовки процесу.

Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях

За результатами досліджень опубліковано 44 наукові праці, які повністю відображають зміст роботи. Серед них 2 монографії, 35 статей у наукових фахових виданнях (з них 3 статті виданих у виданнях іноземних держав, 8 статей у виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз), 2 авторські свідоцтва СРСР, 1 патент України на корисну модель, 3 матеріали і 1 теза доповідей в збірниках конференцій.

У статтях містяться всі необхідні складові частини, такі як: стан питання, формулювання мети роботи, виклад отриманих результатів і висновки по роботі.

Апробація результатів дисертаційної роботи

Результати дисертації доповідалися на 16 науково-технічних та науково-практичних конференціях, що мають міжнародне та галузеве значення. Ознайомлення наукових співробітників зі змістом дисертації та його обговорення здійснено на 4-х наукових семінарах кафедр, відділів, що займаються проблемами механічної обробки металів та технології машинобудування провідних вищих навчальних закладів України (ЦНТУ, м. Кропивницький; ВНТУ, м. Вінниця; м. Київ, НУТУ «КП» ім. І. Сікорського, м. Київ), а також Інституту надтвердих матеріалів ім. Бакуля НАН України.

Апробацію дисертаційної роботи вважаю цілком достатньою.

Ідентичність автореферату змісту дисертації

Автореферат повністю відповідає змісту і основним положенням дисертації.

Зауваження за змістом роботи

1. В розділі 3 автор здійснює виведення формул із використанням балансу потужностей та мінімізує відповідні функціонали із застосуванням варіаційних принципів. При отриманні залежності (3.11) (стор. 141) використана гіпотеза плоских нормалей (Кірхгофа-Лява), яку автор не виокремлює в явному вигляді. Цю гіпотезу можна вводити тільки після відповідного ретельного аналізу. Очевидно, що справедливність припущення залежатиме від геометричних співвідношень (відносної товщини стінки, відносного натягу тощо). Наприклад, при відносно малих натягах, коли в основному відбувається поверхневе пластичне деформування вона не виконується в принципі. Так само автору слід було проаналізувати і довести, що в межах кожної ділянки параметри K_i мають постійні значення, оскільки і це припущення є важливим для отримання відповідних залежностей функціоналу потужностей. В результаті висновки, що ґрунтуються на отриманих залежностях із врахуванням зазначених гіпотез, треба робити, вказуючи межі, в яких ці гіпотези справедливі.

2. При отриманні залежностей (3.35), (3.46) використана гіпотеза про ідеальну пластичність матеріалу, за τ_s взята середня межа текучості на зсув матеріалу по всьому осередку деформації. При цьому не оцінено середню деформацію і не визначено відповідну межу текучості на зсув, що є некоректно. При варіації геометричних параметрів K змінне напруження τ_s , що входить в відповідні підінтегральні вирази буде давати свій вклад з певною вагою, яка автором не проаналізована. Це, в свою чергу, значно впливатиме на висновок, щодо протяжності зони екстремуму (рис. 3.9 або рис. 4 автореферату). Графіки були б іншої форми. Загальновідомо, що зміцнення матеріалу призводить до стійкості пластичної течії, а постійність напруження течії – до нестійкості. Очевидно, що такий висновок і отримано в чисельному розв'язку мінімізації функціонала. В результаті параметри, що характеризують деформаційне зміцнення не виділено, як такі, що впливають на енергетичні характеристики процесу протягування. Розроблені рекомендації щодо управління енергетикою процесу без врахування властивостей матеріалу є неповними.

3. Варто було використати МСЕ для перевірки більшості гіпотез моделей, висновків, отриманих розрахункових та натурних результатів, оскільки саме для такого складного за своєю механікою процесу постановка задачі в явній формі, без особливих припущень могла б дати корисну інформацію для наукового пошуку.

Аналіз впливовості факторів в отриманих регресійних моделях, як правило, супроводжується побудовою діаграм Парето - на сьогодні є чисельна кількість прикладних програм (наприклад, Statistica), що дозволяють як будувати план експерименту і отримати готові математичні моделі, так і обрахувати всю необхідну статистичну інформацію з відповідним аналізом, графічними представленнями і таке інше.

4. В розділі 4 автор використав феноменологічний підхід для аналізу явища зміни довжини заготовки при протягуванні. Проте, як правило, такий підхід ґрунтується на фізично змістовних моделях теорії пластичності. Нажаль, отримані моделі носять лише „зовнішній” описовий характер статистичного характеру з регресійними залежностями, що отримані плануванням експерименту. Цей факт також призвів до того, що в моделі не входять механічні характеристики матеріалу, що звужує межі її практичного використання.

5. В розділі 4 міститься (стор. 192) невдалий і некоректний висновок, що зміна довжини заготовки при протягування залежить від характеристик пластичності (діаграми пластичності), проте характеристики пластичності не можуть впливати безпосередньо на пластичну течію, вони є граничними (показано в роботах В. Л. Колмогорова, В. А. Огороднікова, Г. Д. Деля та ін.). Тут коректно було б проаналізувати і зробити висновок про вплив насамперед кривої течії, і, можливо, інших фундаментальних механічних характеристик пластичної течії.

6. Автором не проаналізовано залишкові напруження, які можуть призводити до неточності виробів, особливо, коли після дорнування здійснюється ще додаткова механічна обробка зовнішньої поверхні.

7. Некоректно представлена накопичена інтенсивність деформації (6.5)

через відношення кінцевого і початкового розміру ($e_r=t_i/t_0$; $e_\varphi=r_i/r_0$; $e_z=l_i/l_0$). Тут можуть бути виключно логарифмічні деформації. Також незрозуміло, чому на рис. 6.8 накопичена інтенсивність деформації вимірюється у %.

8. В розділі 7 наведені розрахунки міцності поршневих пальців після їх відновлення. Цей аналіз в основному тексті роботи, на мою думку, є зайвим, його слід було навести в додатку. Цілком достатньо висловленої думки, що незначна зміна геометричних параметрів відновленого пальця, очевидно, незначно впливає на міцність, оскільки для такого елемента вихідні запаси міцності суттєво перевищують мінімально допустимі.

Зауваження по структурі та оформленню роботи

1. Розділи 3-6 починаються текстом без нумерації, що не відповідає чинним вимогам стандартів оформлення рукопису. Розділ 2 не містить висновків, а висновки розділу 5 замалі і носять характер анотацій. Висновки розділу 7 розкидані по розділу, а в його кінці – мають вид, як дуже короткі анотації.

2. По тексту роботи зустрічаються русизми, як наслідок невдалого перекладу термінів, наприклад: „тарірування” має бути „тарування” (с. 97); „утонення” має бути „стоншення” (скрізь по тексті); „степенного” має бути „степенного” тощо.

Деяка термінологія некоректна: „напруг” має бути „напружень”; „зниження довжини” має бути „зменшення довжини”. „Збурювання технологічного процесу” є стилістично невдалим виразом (с. 229).

Стор. 132 містить російськомовне речення „Программа разработана доцентом ВГТУ Балаганской Е.А.”

Має місце повтор формул (4.15) і (6.1), (4.16) і (6.2).

В таблиці (6.1) невдало наведені чисельні значення (типу 0,00000019) мало б бути $1,9 \cdot 10^{-7}$, або інша форма представлення таких чисел.

Рис. 2.12 не відповідає його опису в тексті.

В формулі (5.29) порушена логіка в розмірностях величин. До розмірної товщини стінки не можна додавати безрозмірну одиницю.

3. Деякі рисунки (фотографії креслень) в додатках поганої якості (наприклад, на стор. 436, 437).

Завершальна оцінка дисертаційної роботи

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи здобувача і їх слід розглядати як побажання для подальшого наукового пошуку.

Робота відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування.

В цілому, дисертація Немировського Якова Борисовича «Наукові основи забезпечення точності при деформуючому протягуванні», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування є завершеною науковою працею, що вирішує актуальну науково-технічну проблему для розвитку вітчизняної машинобудівної галузі, має суттєві наукові та прикладні результати.

Оцінюю дану роботу, як таку, що відповідає вимогам п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, які висуваються до докторських дисертацій.

Автор дисертації, Немировський Яків Борисович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент,
професор кафедри опору матеріалів та прикладної механіки,
директор Інституту магістратури, аспірантури та докторантури,
Вінницький національний технічний університет,
доктор технічних наук, професор



Грушко О. В.