

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Трет'якова Олександра Леонідовича** «Обґрунтування параметрів виготовлення гвинтових робочих органів екструдерів», представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування

### **Актуальність роботи**

Підвищення надійності, довговічності та конкурентоспроможності машин і обладнання є одним із важливих завдань машинобудування.

Забезпеченням високої якості процесів зміцнюальної технології в провідних галузях промисловості, що розширюється, і широких досліджень, що проводяться в цій галузі в нашій країні і за кордоном приділено багато наукових праць. Більшість існуючих методів поверхневого зміцнення значно відрізняються один від одного фізико-хімічною природою зміцнюючої дії, сферою застосування, технічними показниками й ефективністю.

Формування якісних та кількісних характеристик поверхневого шару деталі (твердості, шорсткості та інших) після механічної обробки вимагає розрахунку та обґрунтування вибору елементів режиму різання, проектування обкатного інструмента, верстатного устаткування тощо.

Тому відповідні наукові дослідження, які пов'язані з розробкою нового більш ефективного технологічного процесу виготовлення деталей гвинтових робочих органів екструдерів та зміцнення їх робочих поверхонь для забезпечення експлуатаційних характеристик цих деталей є актуальним.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами**

Представлена дисертаційна робота виконувалась відповідно до тематики наукового напрямку Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя в рамках науково-дослідних держбюджетних тем ДІ 232-17 «Розробка нового методу технічного діагностування стану зварних швів магістральних газопроводів на основі статистичного аналізу їх структурної неоднорідності» (номер державної реєстрації 0117U002245) та ДІ 242-19 «Створення нового покоління методів фрактодіагностування матеріалів і конструкцій на основі використання нейронних мереж» (номер державної реєстрації 0119U001323).

### **Наукове і практичне значення отриманих результатів**

Представлена дисертаційна робота Трет'якова О.Л. є завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, яке характеризується достатньо високим рівнем актуальності, єдністю змісту, свідчить про особистий внесок здобувача в відповідну галузь наукових знань, містить елементи наукової новизни, має теоретичне та практичне значення.

Результати дослідження забезпечують вирішення науково-прикладного завдання, пов'язаного зі створенням теоретичних основ виготовлення та зміцнення гвинтових

поверхонь деталей робочих органів екструдерів. На цій основі вдосконалено технологію виготовлення та зміцнення гвинтових поверхонь деталей екструдерів із подальшим розвитком технологічного спорядження, створені відповідні методи і методики виготовлення та зміцнення гвинтових поверхонь деталей екструдерів.

На основі створених математичних моделей розроблено методики визначення конструктивних, кінематичних і технологічних параметрів процесу зміцнення гвинтової поверхні робочого органа екструдера. Спроектовано й виготовлено пристрій для нарізування зовнішніх радіусних канавок деталей гвинтових робочих органів та робочого обкатного інструменту для зміцнення робочої гвинтової поверхні. Експериментально підтверджено теоретичні залежності для визначення впливу конструктивних і технологічних параметрів на процес формування робочої поверхні після механічної обробки.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна**

На основі конструктивного критичного аналізу науково-технічних джерел інформації систематизовано існуючі підходи до розроблення технологічного процесу та устаткування для формування якості гвинтових поверхонь деталей робочих органів екструдерів, що дозволило визначити мету, об'єкт, предмет і поставити завдання дослідження.

Аналіз проблеми і підходів до її вирішення приведений з технологічної, математичної та інформаційної позицій. Використано методи теорії механіки контактної взаємодії, теорії тертя, механіки руйнування, математичної статистики.

Основні результати роботи опубліковані в статтях у фахових та наукометричних вітчизняних і зарубіжних виданнях, доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях.

Достатньо високий ступінь відповідності результатів теоретичних розрахунків експериментальним даним, які одержано з використанням сучасних методик наукових досліджень, а також їх відповідність існуючим науково-технічним джерелам інформації, свідчать про достовірність отриманих результатів.

Лабораторні дослідження, стендові випробування проводили із застосуванням розроблених і апробованих методів та методик. Використано спеціальна вимірювальна апаратура та модернізовані установки для визначення якості гвинтових робочих поверхонь деталей екструдерів. Обробку результатів досліджень здійснювали із застосуванням комп'ютерних технологій і статистичної обробки, математичного планування експерименту та комп'ютерного моделювання.

### **Оцінка новизни досліджень і результатів роботи**

На основі комплексного підходу до технологічного процесу виготовлення та зміцнення поверхонь деталей гвинтових робочих органів екструдерів вирішено науково-прикладну задачу підвищення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь деталей, що підтверджується наступними науковими результатами:

- набуло подальшого розвитку наукові дослідження процесу нарізання зовнішніх радіусних канавок гвинтових робочих органів із виведенням аналітичних та емпіричних залежностей, які дозволяють встановити силові й технологічні параметри процесу для підвищення точності обробки та зменшення величини деформації заготовки;
- виведено теоретичні залежності для визначення силових параметрів процесу зміцнення поверхонь гвинтових робочих органів деформуючими пуансонами від їх конструктивних параметрів, що дозволяє визначити максимальне значення перекриття гвинтової поверхні робочого органа деформуючим пуансоном;
- набуло подальшого розвитку наукові дослідження динамічних характеристик процесу зміцнення гвинтових робочих органів деформуючими пуансонами, що дає змогу визначити основні параметри процесу зміцнення та встановити характер зміни величин деформацій елементів технологічної системи;
- на основі динаміки імпульсного зміцнення гвинтової поверхні деталей робочого органа виведено аналітичні залежності, які встановлюють співвідношення параметрів процесу зміцнення поверхонь для резонансного і нерезонансного випадків.

### **Повнота викладу наукових положень дисертації в опублікованих роботах**

Результати дисертаційної роботи представлені в 21 науковій праці, з них 10 – у наукових фахових виданнях, одна з яких опублікована в журналі, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 4 –патенти України на корисні моделі, 7 – у матеріалах наукових конференцій. Зміст автореферату ідентичний змістові дисертації.

В опублікованих працях повністю викладено основні положення дисертаційної роботи, зокрема:

- розроблено конструкцію пристрою для визначення деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок;
- виведено аналітичні залежності, які дають можливість встановлювати силові параметри процесу поверхневого зміцнення;
- запропоновано практичні рекомендації для виготовлення та зміцнення гвинтових поверхонь деталей робочого органа екструдера;
- наведено компонувальні схеми обладнання та установки.

**Мова і стиль викладу матеріалу дисертації.** Дисертаційна робота написана українською мовою грамотно, логічно і послідовно, розділи взаємопов'язані і повністю розкривають поставлену мету. Дисертація є цілісною і завершеною роботою, яка містить нові наукові результати.

**Структура і зміст дисертації.** Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації – 208 сторінок, в тому числі 97 рисунків, 13 таблиць, список використаних літературних джерел із 146 найменувань, 4 додатки. Обсяг основного тексту дисертації – 151 сторінка.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформовано мету, об'єкт, предмет досліджень та задачі, які розв'язуються в роботі. Окреслено наукову

новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію щодо апробації, структури та обсягу роботи.

**У першому розділі** проведено аналіз та узагальнення відомих наукових напрацювань і проблемних питань із застосуванням методів для виготовлення і змінення відповідних деталей машин, обґрунтовано доцільність проведення досліджень та перспективність виготовлення й змінення деталей машин даними методами.

Проведено патентний пошук комплексних методів виготовлення та відновлення деталей машин, а також їхньої фінішної обробки. На основі проведеного аналізу визначено наукові підходи та напрямки досліджень як вихідні дані для вирішення поставлених у роботі завдань.

Проведено аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень виготовлення та змінення гвинтової поверхні деталей робочого органа екструдера та процесів їх роботи. Сформульовано висновки та поставлені задачі досліджень.

**У другому розділі** проведено теоретичні дослідження деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. Показано, що для забезпечення необхідної точності нарізання зовнішньої канавки доцільно застосувати пристрій для нарізання канавки замість використання одного різця, оскільки це призводить до зменшення величини деформації заготовки, у тому числі за рахунок часткової компенсації сил різання протилежно розташованих різців.

Досліджено силові параметри процесу змінення поверхонь деталей гвинтових робочих органів деформуючими пуансонами. Визначено максимально допустиме значення перекриття гвинтової поверхні робочого органу та деформуючого пуансона. Досліджено динаміку процесу змінення гвинтових робочих поверхонь деталей деформуючими пуансонами. Отримано аналітичні залежності для визначення сумарних сил взаємодії деформуючого пуансона із з поверхнею деталі гвинтового робочого органу в проекціях.

Проведено наукові дослідження динаміки імпульсного змінення поверхні деталі гвинтового робочого органа. Отримано теоретичні та графічні залежності, що показують вплив додаткового підпружинення деталі робочого органа на власну частоту коливань системи. Крім того, це одночасно зменшує амплітуду коливань оброблюваної деталі, зумовлену дією імпульсного збурення.

**У третьому розділі** наведено програму і методику експериментальних досліджень. На основі проведених теоретичних досліджень розроблено конструкцію експериментальної установки для виготовлення та змінення гвинтової поверхні деталі робочого органа екструдера та фіксації отриманих результатів. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень для визначення зусилля нарізання зовнішніх радіусних канавок та процесу змінення поверхні деталі гвинтового робочого органа в автоматизованому режимі за допомогою перетворювача частоти Altivar та програмного забезпечення PowerSuite v.2.5.0, з отриманням на дисплеї комп'ютера даних про зміну крутного моменту та потужності двигуна в часі. Отримані експериментальні дані оброблено з

використанням загальновідомих методик кореляційного та регресійного аналізу для отримання емпіричних рівнянь регресії.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень визначення залежності із встановлення впливу величини подачі різця, швидкості різання та радіуса канавки на величину сили різання у заготовка із різних матеріалів.

Представлено результати досліджень зміщення поверхонь деталей гвинтових робочих органів з отриманням регресійних залежностей, що можуть бути використані для визначення твердості обробленої поверхні, сили удару, на пуансонах, крутого моменту та максимальної потужності на пристрої для ударного зміщення в процесі оброблення поверхонь гвинтових робочих органів залежно від зміни трьох наступних основних факторів: частоти обертання обкатного інструмента, часу обробки заготовки та величини перекриття поверхні гвинтової заготовки для матеріалу сталь 45.

Підтверджено адекватність проведених теоретичних досліджень процесу зміщення гвинтової поверхні робочого органа.

У п'ятому розділі наведено комп'ютерне моделювання гвинтового робочого органу екструдера, яке врахувало умови, що є близькими до експериментального дослідження. Проаналізовано основні закономірності та встановлено причини руйнування вала робочого органу екструдера, що дозволило виконати скінченно-елементне моделювання його навантажування та оцінити вплив крутого моменту двигуна на концентрацію напружень в шпонковому пазу вала. Встановлено, що збільшення крутого моменту вала робочого органу екструдера призводить до лінійного збільшення максимального значення інтенсивності напружень на ребрі шпонкової канавки. Наприклад, збільшення віддалі від галтелей до шпонкової канавки на 2 мм призводить до зменшення максимальних напружень на ребрі шпонкової канавки на 15,72 %. Приведено візуалізацію залежності твердості від інших параметрів, зокрема кількості ударів, та розроблено алгоритм динамічної моделі, який дозволяє краще зрозуміти процес зміщення і знайти оптимальне співвідношення вхідних даних, використовуючи, наприклад, технологію LIMQ.

### **Основні наукові положення і висновки дисертації**

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання щодо розроблення нового більш ефективного технологічного процесу та устаткування для формування якості гвинтових поверхонь деталей робочих органів екструдерів.

**Перший висновок** пов'язаний з аналізом науково-прикладної задачі розроблення та практичної реалізації раціонального технологічного процесу виготовлення деталей гвинтових робочих органів, що дозволяє підвищити ресурс і надійність, забезпечити працездатність деталей і вузлів у важких умовах експлуатації при високих температурах і в агресивних середовищах, дії динамічних і контактних навантажень. Ця задача вирішена на основі досліджень силових параметрів та динаміки процесу зміщення поверхонь гвинтових робочих органів, що дає можливість розробляти технологію і виготовляти нові робочі органи екструдерів для приготування кормових сумішей.

**У другому висновку** відзначено аналітичні залежності, на основі яких встановлено, що для забезпечення вищої точності нарізування зовнішніх гвинтових канавок доцільно застосовувати пристрій для нарізання канавки замість використання одного різця, оскільки це призводить до зменшення величини деформації заготовки при стабільному процесі різання за рахунок вищої жорсткості системи заготовка-пристрій, а також часткової компенсації сил різання протилежно розташованих різців.

**У третьому висновку** наведено результати дослідження силових параметрів процесу зміщення поверхонь гвинтових робочих органів деформуючими пuhanсонами. Встановлено, наприклад, що збільшення перекриття поверхні гвинтового робочого органа та деформуючого пuhanсона від 1 мм до 4 мм призводить до зростання сили контакту між деформуючим пuhanсоном та цією поверхнею у 4,25 рази та до зростання сили тертя між деформуючим пuhanсоном та поверхнею у 2,32 рази. Крім того, при зменшенні коефіцієнта тертя між контактуючими поверхнями від 0,9 до 0,4 максимально допустиме перекриття поверхні деталі гвинтового робочого органа та деформуючого пuhanсона зростає у 2,17 рази.

**У четвертому висновку** відображені аналітичні залежності для визначення сумарних сил взаємодії деформуючого пuhanсона із поверхнею гвинтового робочого органа у проекціях на осі  $z$  та  $y$ . На основі теоретичних досліджень та розв'язку системи диференціальних рівнянь вимушених коливань елементів розрахункової схеми за допомогою чисельного методу побудовано графічні залежності: зміни кута деформації вала між диском та муфтою, лінійної деформації гвинтового робочого органа, лінійної деформації пuhanсона в напрямку осі  $y$  в часі.

**У п'ятому висновку** відображені встановлені закономірності дослідження динаміки імпульсного зміщення гребеня робочого органа поодиноких ударів за різних точок їх прикладання, різних значень жорсткості та тривалості дії ударного імпульсу. Встановлено умову виникнення резонансних коливань у системі, де амплітуда переходу через резонанс набуває меншого значення за більших значень податливості системи робочого органа та додаткова жорсткість за умови, коли імпульсне збурення діє на більшій відстані від середини витків робочого органа.

**У шостому висновку** відображені методика та експериментальні дослідження нарізання зовнішніх радіусних канавок, а також регресійні залежності із визначенням впливу величини подачі різця  $S$ , швидкості різання  $V$  та радіуса канавки  $r$  на величину сили різання  $P_z$  у заготовках із різних матеріалів. Факторне поле визначали наступним діапазоном зміни параметрів:  $0,04 \leq S \leq 0,1$  (мм/прохід);  $10 \leq V \leq 30$  (м/хв);  $3 \leq r \leq 7$  (мм). Встановлено, наприклад, що найбільша сила різання становить 867 Н під час нарізування канавок і досягається при максимальній подачі 0,1 мм/прохід і радіусі канавки 7 мм і мінімальній швидкості різання 10 м/хв.

**У сьомому висновку** відображені методику та результати експериментальних досліджень зміщення поверхонь деталей гвинтових робочих органів з отриманням рівнянь регресії, для визначення залежності, яка передбачала, наприклад, встановлення твердості  $HRC$  до 50, сили удару

пуансона  $P_u = 1977$  Н, крутного моменту  $M=22,65$  Н·м та максимальної спожитої потужності  $N=0,901$  кВт при зміненні поверхні гвинтового робочого органа екструдера від зміни основних факторів: частоти обертання обкатного інструмента, що знаходилися в межах  $190 \leq n \leq 390$  (об/хв), часу обробки заготовки  $20 \leq t \leq 60$  (с) та величини перекриття поверхні гвинтової заготовки  $1 \leq h \leq 5$  (мм) для сталі 45.

**У восьмому висновку** відображені результати комп'ютерного моделювання гвинтового робочого органа екструдера, яке врахувало умови, що є близькими до експериментального дослідження. Встановлено, що при збільшенні зусилля та часу обробки зростає величина деформованого шару і найбільше її зростання спостерігається, наприклад, для зусилля  $P = 2500$  Н та часу обробки більше 3 с, а найменше – для  $P = 1000$  Н. Застосування методу поверхневого пластичного деформування, змінення гвинтової поверхні деталі робочого органа екструдера дозволяє підвищити мікротвердість на 30 – 60 %, збільшити площу фактичного контакту поверхні в 2 – 4 рази. Збільшувати швидкості інструменту понад 1,8 ... 2,0 м/с недоцільно, так як при практично незмінній шорсткості максимальна потужність значно зростає.

**У дев'ятому висновку** відображені основні закономірності та зафіковано причини руйнування вала робочого органа екструдера, що дозволило виконати скінченно-елементне моделювання його навантажування та оцінити вплив крутного моменту двигуна на концентрацію напружень у шпонковому пазу вала. Встановлено, що збільшення крутного моменту вала робочого органа екструдера призводить до лінійного збільшення максимального значення інтенсивності напружень на ребрі шпонкової канавки. Збільшення, наприклад, відстані від ґалтелей до шпонкової канавки на 2 мм призводить до зменшення максимальних напружень на ребрі шпонкової канавки на 15,72 %. Відображені також створені конкурентоспроможні пристрої для процесу виготовлення деталей робочих органів екструдерів, інструмент для контролю параметрів, які захищені 4 патентами України на корисні моделі. Відображені, що розроблені пристрої пройшли дослідно-промислову апробацію (підтверджено 2 актами) та впроваджені у виробництво на підприємствах ТДВ «Булат» (с.м.т. Микулинці), ТзОВ «ВМП Електроконструкція» (м. Рівне) з річним економічним ефектом 120694,37 грн.

### **Недоліки та зауваження до роботи**

1. У першому розділі не достатньо інформації про сучасні вітчизняні та зарубіжні технології виготовлення гвинтових робочих органів, а також про використовуване технологічне устаткування та робочий інструмент. В розділах 1.1 и 1.2 дисертації, не має огляду зарубіжних джерел. Не зрозуміло ціль розділу 1.3 дисертації. З нього не наведено ніяких висновків і не витікають ніякі задачі. Цей огляд не критичний.

2. Формули (1.3)-(1.6) і (2.1)-(2.3) не мають посилань. В формулах (1.4)-(1.6) не розкрито змінні, а також ці формули мають друкарські помилки.

3. В першому розділі дисертації не обґрунтовано необхідність використання чотирьох різців замість одного. Не наведено проблеми, які виникли при обробці одним різцем. Отже не відомо, чому треба використовувати чотири. Не має схеми розподілення припуску, який знімає кожен з чотирьох різців.

4. На етапі вибору матеріалів, геометричних розмірів гвинтових заготовок та технології її виготовлення не закладено параметри трибологічної надійності робочих поверхонь у процесі експлуатації, у зв'язку з важкими умовами роботи та інтенсивного зношування.

5. Не достатньо обґрунтовано вибір матеріалів, а саме сталь 45 для виготовлення гвинтових робочих органів екструдерів.

6. В динамічній моделі враховано не всі параметри, які впливають на формування динамічної моделі, наприклад, сили тертя, затухаючі коливання, зношення інструментів тощо.

7. Відсутні експериментальні підтвердження наведених на рис. 2.21 (стор. 89) залежностей. Не виконано оцінка похибки вимірювання та експерименту в цілому.

8. В роботі не відображено із якого матеріалу виготовляли формувальний інструмент. Очевидно, що в процесі роботи цей інструмент буде зношуватись та змінювати свою геометрію. Добре було б показати граничні зміни геометрії інструменту, за яких необхідна його заміна.

9. В роботі не вказано похибки контрольних і вимірювальних інструментів при проведенні експериментальних досліджень.

10. Доцільно було б розглянути шляхи підвищення експлуатаційної надійності та довговічності робочих органів.

11. В тексті дисертації та автореферату зустрічаються деякі друкарські помилки, невдалі звороти.

12. У додатах до дисертації немає робочого креслення типової деталі гвинтового робочого органа екструдера, а також немає типового і нового технологічних процесів її виготовлення з відповідним аналізом трудомісткості та витрат.

### **Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам**

Незважаючи на зазначені зауваження, дисертаційна робота Третьякова Олександра Леонідовича «**Обґрунтування параметрів виготовлення гвинтових робочих органів екструдерів**» є завершеним науковим дослідженням. У роботі розв'язується наукове завдання розроблення технологічного процесу виготовлення та змінення поверхонь гвинтових робочих органів екструдерів та формування показників якості поверхні.

За актуальністю і науковою новизною, обґрунтованістю наукових положень, практичних результатів, ступенем апробації результатів представлена дисертаційна робота повністю відповідає існуючим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук і п.п. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від

24.07.2013 р №567 (зі змінами), та всім вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, а її автор, **Третьяков Олександр Леонідович**, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри технології  
машинобудування Одеського  
національного політехнічного  
університету

В.П. Ларшин

Підпис професора В.П. Ларшина засвідчує

Вчений секретар

В.І. Шевчук

