

Вченому секретарю
спеціалізованої вченої ради К 58.052.03
Дячуну А.Є.

46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВІДГУК

офіційного опонента

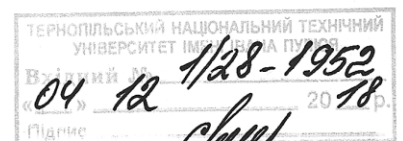
к. т. н., доцента Кусого Ярослава Маркіяновича
на дисертаційну роботу Сеника Андрія Антоновича
на тему: «Технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок
підвищеної точності форми і якості»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування

Дисертаційна робота Сеника Андрія Антоновича присвячена підвищенню якості згортних втулок шляхом технологічного забезпечення підвищеної точності їх форми за параметром відхилення від круглості та зміцнення їх внутрішніх циліндричних поверхонь.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Згортні втулки як деталі окремих складальних одиниць машин найширше використовуються у приводних роликівих і втулкових ланцюгах (ПРВЛ), а також як елементи підшипників ковзання (ЕПК). ПРВЛ, у свою чергу, широко використовують у транспортних системах: автомобілях, мотоциклах, велосипедах, а також у дорожніх та сільгоспмашинах, вертольотобудуванні, металорізальних верстатах тощо. Згортні втулки як ЕПК застосовують у механізмах газорозподілу двигунів внутрішнього згоряння (підшипники в коромислах клапанів), а також у ходовій частині деяких марок автомобілів.

Для виготовлення таких згортних втулок використовують тисячі тонн високоякісного прокату як чорних, так і кольорових сплавів.



Згортні втулки для ПРВЛ виготовляють із якісних сталей з наступним термічним або хіміко-термічним обробленням, а втулки для ЕПК – переважно зі сплавів міді – бронз і латуней.

Згортні втулки при функціонуванні ПРВЛ піддаються ударним і згинним навантаженням, а також зношуванню в результаті контакту їх внутрішніх циліндричних поверхонь (ВЦП) з валиком, а згортні втулки для ЕПК, як правило, піддаються зношуванню по своїх внутрішніх циліндричних поверхнях.

Інтенсивність зношування контактуючих циліндричних поверхонь значною мірою залежить від таких показників якості як точність форми поперечного перерізу ВЦП за параметром відхилення від круглості, який впливає на дійсну площу контакту, та від фізико-механічних і геометричних параметрів поверхневого шару ВЦП, а саме його мікротвердості і шорсткості.

Тому здійснення технологічного забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості поверхневого шару з розробленням імовірнісно-статистичних методик оцінювання відхилень від круглості та мікротвердості і шорсткості віброоброблених поверхонь є актуальним завданням.

Дисертаційна робота відповідає тематиці, яка передбачена переліком тематичних наукових досліджень і розробок вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації та наукових установ Міністерства освіти і науки на 2012-15 рр. наказ МОН України від 07.06.2011 №535, а також плану держбюджетної науково-дослідної теми: «Розробка наукових основ створення надтвердої високотемпературної кераміки і методики дослідження її різальної здатності» (2002–2004р.р.) (номер державної реєстрації 0102U002298).

2. Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 155 найменування і додатків. Робота містить 93 рисунків та 15 таблиць. Загальний обсяг роботи 245 сторінок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, а також висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Подано інформацію про апробацію результатів досліджень та публікації, що висвітлюють основні положення дисертаційної роботи.

У *першому розділі* здійснено огляд і аналіз прогресивних технологічних процесів виготовлення згортних втулок та методів контролю точності їх форми, поданий аналіз існуючих технологій і технологічного спорядження виготовлення втулок. Відзначено проблеми, які мають місце у досягненні точності форми та якості робочих поверхонь згортних втулок, охарактеризовано існуючі методи оцінювання таких параметрів точності форми як відхилення від круглості поперечних перерізів ВЦП втулок, відхилення від прямолінійності профілю цієї поверхні. Встановлено невідповідність такого параметра точності форми як відхилення від круглості фізичній моделі контакту циліндричних поверхонь спряження втулка-валик.

Підкреслено, що в існуючих методах контролю точності форми такі параметри як відхилення від круглості і середнє квадратичне відхилення від круглості подаються як детерміновані величини, хоча такі параметри є випадковими величинами з певними законами розподілу.

Проведений огляд та аналіз значної кількості наукової літератури, авторських свідоцтв та патентів на винаходи і корисні моделі показав, що питання технологічного забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості з точки зору наукового обґрунтування та розроблення нових технологічних процесів виготовлення згортних втулок, нових конструкцій заготовок таких втулок і створення нових імовірнісно-статистичних методів оцінювання точності форми, ступеня зміцнення і шорсткості науково не обґрунтовано. На основі проведеного огляду та аналізу сформульовані основні задачі роботи.

Другий розділ присвячений теоретичному дослідженню спотворення форми U- подібних заготовок і силових характеристик процесу формоутворення згортних втулок. Подано теоретичне обґрунтування величини відпружинення U- подібних листових заготовок при їх пружно-пластичному деформуванні; здійснено теоретичне дослідження загального зусилля, прикладеного до пуансона при послідовному деформуванні заготовки у транспортному каналі; проведено теоретико-експериментально-статистичне дослідження приведеної сили тертя і величини відпружинення при переміщенні прямокутної карточки у цьому каналі; виконано теоретичне дослідження відносної площі віброобкочування з підвищеним ступенем перекриття, а також запропоновано імовірісно-статистичний метод визначення зусилля дорнування ВЦП шкворневих втулок.

Слід відзначити розробку методики експериментального визначення приведеної сили тертя та її реалізацію на експериментальній установці.

Отримана залежність для визначення приведеної сили тертя при транспортуванні карточки у транспортному каналі із заданим радіусом r , яка підтверджена експериментальними дослідженнями. Запропонована методика дозволяє з імовірністю $P=0,95\%$ визначити приведену величину відпружинювання і максимальне значення приведеної сили тертя.

Отримана формула для визначення відносної площі віброобкатування, яка залежно від ширини канавки й амплітуди осциляцій, може бути використана для встановлення елементів режиму вібраційного обкочування.

Запропонований імовірісно-статистичний метод визначення зусилля дорнування, який може бути використаний для вибору технологічного обладнання і розрахунку конструктивних параметрів дорна.

У *третьому розділі* подано прогресивні конструкції заготовок згортних втулок і технологічне спорядження з радіусним та прямолінійним транспортним каналом для формування втулок підвищеної точності форми,

нова технологія виготовлення і застосування шкворневих втулок ходової частини деяких транспортних засобів; пружні фільтери для калібрування згортних шкворневих втулок.

Запропоновано нові конструкції згортних втулок для ПРВЛ, особливостями яких є: по-перше, виконання стикового шва комбінованим – прямолінійно-гвинтовим, а по-друге, розкриття на задану величину прямолінійного стикового шва, яке служило б ключем для кутової орієнтації згортних втулок з метою недопущення лінійного контакту стикового шва, як своєрідного леза, з валиком, що сприяло б підвищенню зносостійкості шарнірів ПРВЛ.

Отримані залежності для визначення допустимого розкриття стикових швів згортних втулок, які можна використати як ключ для орієнтації згортних втулок при складанні внутрішніх ланок ПРВЛ. Зокрема, розкриття стикового шва по ВЦП для ПРВЛ з кроками 9,525 мм; 15,875 мм і 19,05 мм відповідно склало: 0,135; 0,907 і 1,194 мм. Отримані для цих ПРВЛ значення діаметрів калібруючих інструментів (мм): оправки – $3,71_{-0,03}$; $5,655_{-0,67}$ і $6,77_{-0,13}$ і отвори фільтери $8,12_{+0,01}$; $7,65_{+0,02}$ і $9,13_{+0,05}$ відповідно.

Запропоноване технологічне спорядження для згортання втулок з механізмом повороту фільтери, виконаним за різними варіантами. Отримані залежності для налагоджування кожного із цих механізмів на поворот комплекту фільтер на заданий кут.

Запропонований прогресивний технологічний процес і технологічне спорядження для формування згортної втулки підвищеної точності форми. Отримані номінальні значення діаметрів формуючих фільтер в залежності від номінальних зовнішніх діаметрів втулки і товщина їх стінок, а також визначені зони з мінімальним і максимальним відхиленням від круглості. Мінімальне значення $EFK_{min}=3,79$ мм. на проміжку $[3/4\pi, 5/4\pi]$ складає 33,2% від середнього значення $\overline{EFK}=11,9$ на проміжку $[0, 2\pi]$ і 19,4% від максимального значення EFK_{max} на проміжку $[15/12\pi, 21/12\pi]$.

Четвертий розділ присвячений експериментальному дослідженню зусилля формування згортних втулок, точності їх форми, шорсткості та ступення зміцнення віброобкочених поверхонь. Подана установка, методика та результати експериментальних досліджень зусилля формування згортних втулок, шорсткості та зміцнення поверхні, сформованої вібраційним обкочуванням, імовірісно-статистичний метод оцінювання точності форми ВЦП згортних втулок за параметром відхилення від круглості – EFK на основі гармонічного аналізу; методика визначення кратності калібрування згортних втулок на відхилення від круглості і оцінювання даних відхилень за коефіцієнтом наповнення форми.

Запропоновано експериментальне обладнання і методику експериментальних досліджень впливу кута закручування карточки у формуючій матриці (ФМ), а також способу базування заготовки на зусилля формування згортних втулок, які можуть бути використані при проектуванні технологічного обладнання для виготовлення згортних втулок.

В результаті експериментальних досліджень зусилля формування згортних втулок з різними радіусами транспортного каналу і способами базування заготовки у ФМ встановлено, що зусилля формування є змінним по куту закручування карточки і його максимальні значення 246,42 – 309,69 Н мають місце на проміжку $[\pi/3 \dots \pi/2]$.

Запропонований технологічний процес згортання втулок ПРВЛ, при якому максимальне зусилля формування в 1,4 рази менше, ніж у традиційному.

Встановлено, що найефективнішим щодо забезпечення точності форми згорнутої втулки за параметром відхилення від круглості $\overline{EFK}_{m.n}$ згортних втулок, сформованих за цим процесом при $R=50$ мм і однаковим способом базування зменшились у 2,4 – 5,6 разів порівняно з таким же параметром при формуванні заготовки за традиційним технологічним процесом.

Дослідження відхилень від круглості ВЦП згортних втулок ПРВЛ з кроками 9,525; 12,7; 15,875 мм після калібрування і запресування у отвори внутрішніх пластин показало, що у проміжку $[3\pi/4 \dots 5\pi/4]$ в зоні, діаметрально

протилежній до стикового шва середні значення EFK і дисперсії розсіювання більше, ніж на порядок менші, ніж у зоні стикового шва і може бути оцінена амплітудами перших двох гармонік, так як $0,5(A_1^2 + A^2) = (0,9 - 0,95) \sum_{i=1}^{10} A_i / 2$

Встановлено, що спосіб базування при згортанні втулок має суттєвий вплив на точність форми. Використано за теорією малої вибірки метод ітерацій і отримано характеристики розсіювання відхилень від круглості – математичне сподівання $M(EFK)$ і дисперсію - $D(EFK)$. Відзначено, що найвища точність форми забезпечується запропонованим і запатентованим технологічним процесом, при якому формування втулки здійснюється із наступними параметрами точності: $M_3(EFK)=23,9$ мкм; $D(EFK)=1802$ мкм² і $M_{max}(EFK)=155$ мкм. Ефективність запропонованих технологічних рішень підтверджено критеріями Стюдента і Фішера.

Виявлено, що на даний час відсутнє науково-технічне обґрунтування кратності калібрування згортних втулок у деформуючих і калібруючих фільтрах. Запропонована методика визначення впливу кратності калібрування, яка обґрунтовано встановила достатню кількість фільтр.

Запропонована методика оцінювання точності форми за відхиленням від круглості коефіцієнтом наповнення форми.

Встановлено значний вплив зусилля обкочування на шорсткість поверхні сформованої запропонованим методом. Так при зміні зусиль обкочування в межах 0 (після прокатування), 200, 250, 300, 350 Н отримали наступні математичні сподівання параметра шорсткості R_a , відповідно: 0,60; 0,55; 0,40; 0,28 і 0,24 мкм. Сутєвість зміни або ефективність такого технологічного прийому підтверджено критерієм Стюдента.

Встановлено, що поверхнево-пластичне деформування при вібраційному обкочуванні із зусиллями 200; 250; 300 і 350 Н забезпечило збільшення мікротвердості порівняно із мікротвердістю поверхні заготовки відповідно у 1,32; 1,43; 1,55 і 1,64 разів.

У *п'ятому розділі* подані практичні рекомендації щодо розрахунку економічної ефективності запропонованого технологічного забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості на прикладі втулок для ПР 19,05-3800, подана методика визначення економічної ефективності безпосередньо на виробництві за рахунок удосконалення технологічного процесу і у сфері експлуатації за рахунок підвищення зносостійкості згортних втулок.

Зміст *автореферату* є ідентичним до змісту дисертаційної роботи і достатньо повно відображає основні її положення.

3. Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що на основі теоретико-експериментальних досліджень вперше досліджено залежності для визначення загального зусилля при транспортуванні встановленої кількості заготовок (карточок) у транспортному каналі та формуванні згортних втулок у циліндричній пустотілій матриці; запропоновано імовірнісно-статистичний метод визначення зусилля формування шкворневих втулок та отримано залежності для визначення математичного сподівання і дисперсії; запропоновано та обґрунтовано новий параметр оцінювання відхилення від круглості, так званий коефіцієнт наповнення профілю; вперше отримано закономірності зміни зусилля деформування заготовки при згортанні втулки, які статично опрацьовано за методом ітерацій і в результаті отримано усереднену закономірність, яку апроксимовано тригонометричним рядом Фур'є; при застосуванні основ теорії малих вибірок і методу ітерацій запропоновано методику визначення необхідної та достатньої кількості деформуючих і калібруючих фільєр при викінчувальній обробці згортних втулок, а також отримано залежності для визначення величини розкриття стикового шва, на основі яких запропоновані нові конструкції втулок.

4. Практична цінність одержаних результатів

Запропонований новий технологічний процес згортання втулки забезпечує підвищену точність форми за параметром відхилення від круглості.

Експериментально підтверджено ефективність пропонованих технологічних заходів, яка виражається у значному (майже на порядок) зменшенні відхилень від круглості поперечних перерізів згорнутих втулок.

Розроблено комплект конструкцій заготовок для згортних втулок та подано аналітичні залежності для визначення їх конструктивних параметрів.

Розроблено нові конструкції згортних втулок як для ПРВЛ, так і для вузлів машин, у яких згортні втулки виконують функції ЕПК. Особливість нових конструкцій втулок для ПРВЛ полягає в тому, що стиковий шов непрямолінійний. Це дає можливість уникнути лінійного контакту стикового шва як своєрідного леза по всій довжині втулки, а для ЕПК наявність одного або декількох наскрізних отворів на бічній поверхні втулки, що є ключем кутової орієнтації, яка забезпечить у зоні контакту валика із внутрішньою поверхнею згортної втулки її мінімальне відхилення від круглості.

Запропоновані нові конструктивні рішення для формування згортних втулок, які забезпечують підвищення точності форми за параметром відхилення від круглості і підвищення стійкості калібруючих фільтер за рахунок їх повороту на певний кут за один подвійний хід пуансона.

Розроблена методика визначення конструктивних параметрів заготовок згортних втулок і елементів пристрою для їх калібрування на основі імовірнісного підходу.

Слід відзначити, що технічна новизна розробок захищена 10-ма деклараційними патентами України на корисні моделі.

Запропонована автором “Методика визначення деяких конструкторських параметрів заготовок згортних втулок і пристрою для їх калібрування на прикладі згортної втулки ТРД 38-3116-12Т» застосовується на НВ ПМП “Промтехконструкція” (м. Краматорськ) та на заводі приводних ланцюгів “DITTON” (м. Даугавпілс) знайшла застосування.

Ряд патентів на корисні моделі впроваджено на приватному підприємстві “Кам’янець-Подільськагрегат” – Пат. 112745; на ТОВ “БІГМА” м. Тернопіль – Пат. 92908, на ТОВ “Кабельний завод” м. Кам’янець-Подільськ – Пат. 115787.

Окремі результати роботи використовуються у навчальному процесі при підготовці фахівців галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» при викладанні дисциплін: «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин», “Технологія обробки деталей тиском” у ТНТУ ім. І. Пулюя.

5. Ступінь достовірності та обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Усі теоретичні та практичні висновки, які зроблені у розглянутій дисертаційній роботі, а також наукові положення та рекомендації, є достовірними і в достатній мірі обґрунтовані результатами як теоретичних так і проведених експериментальних досліджень.

Результати досліджень достатньо повно відображені в публікаціях автора, технічна новизна підтверджена патентами України на корисні моделі. Робота пройшла належну апробацію на наукових конференціях і семінарах.

6. Аналіз викладення основних положень дисертації в опублікованих працях

Результати наукових досліджень викладено у 26 друкованих працях, з яких: 6 статей у фахових виданнях України, 2 у закордонних виданнях (США і РФ), одна з яких входить до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS, 10 патентів України (деклараційні і на корисні моделі), 8 тез у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій та симпозіумів.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

7. Зауваження до дисертації та автореферату

1. Мету роботи та об'єкт дослідження сформульовано не зовсім вдало.

2. При оцінці основних показників якості з'єднань типу «втулка-корпус» аналізуються відхилення від круглості, як результат технологічної спадковості операцій і переходів при обробленні різанням циліндричних поверхонь. Однак, в огляді літературних джерел відсутні посилання на класичні роботи стосовно технологічної спадковості в машинобудуванні та механообробці, зокрема В. І. Аверченкова, Е. В. Рижова, О.С. Пронікова, А. Г. Суслова, П. І. Ящеріцина. Окрім того, в огляді літератури недостатньо актуальних джерел.

3. В огляді та аналізі прогресивних технологічних процесів виготовлення згортних втулок відзначено здобутки високотехнологічних фірм США, Німеччини, Великобританії, Швеції, Італії, Японії, Франції, Латвії, Росії. Здобувачем проаналізовано раціональні конструкції та технологічні процеси виготовлення згортних втулок виробників Франції, Латвії, Росії. Однак, в сучасних умовах виготовлення виробів технологічне забезпечення якості деталей машин реалізується впровадженням PLM – концепцій (Product Lifecycle Managment – PLM -система керуванням життєвим циклом виробу (машини)) із проектуванням функціонально-орієнтованих технологій машинобудівного виробництва засобами паралельного інжинірингу - CAPE (Concurrent Art-to-Product Environment), про що не відзначено у літературному огляді.

4. Обробку окремих отриманих результатів, згідно автореферату та дисертаційної роботи, здійснено з використання розробленого програмного забезпечення, яке не описане у розділах дисертаційної роботи.

5. Із дисертаційної роботи незрозуміло, чи встановлена аналітична або будь-які інші залежності між параметрами макрогеометрії поверхні (точність форми) та показниками надійності, зокрема, довговічністю ПВРЛ.

6. У розділі 4 (п. 4.7.2) значення мікротвердості приведено у кгс/мм², що не відповідає розмірностям міжнародної системи одиниць (СІ).

7. У розділі 5 «Економічна ефективність запропонованого технологічного забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної

точності форми і якості на прикладі втулок для ПР 19,05-3800» доцільно було б привести блок-схему розрахунків економічної ефективності для автоматизації розрахунків засобами прикладного програмного забезпечення.

8. У тексті дисертації виявлені друкарські помилки, які потребують виправлення, наприклад, на рис.1.22 поз.1 і 3 ідентичні; на рис.1.24 відсутня поз. 5 – задній центр, відсутня штриховка верхньої частини згортної втулки; у тексті і у розрахунках позначення товщини заготовки – h , радіуса R , а на кресленні – t і R_v відповідно (рис.2.1); некоректні терміни «масломісткість»/«оливомісткість», «процентний»/«відсотковий», «дорнування»/«дорнування» тощо.

9. У дисертації список використаних джерел за темою дисертації подано з порушенням сучасних вимог.

Зауваження, зроблені до дисертації та автореферату, не мають вирішального значення і мають, здебільшого, рекомендаційний характер. Вказані зауваження не знижують наукового рівня одержаних результатів, які виносяться дисертантом на захист.

8. Загальний висновок по дисертаційній роботі

8.1.Зміст дисертації Сеника А.А. на тему «Технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості» відповідає спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування.

8.2. Дисертація є завершеною науковою працею, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що мають наукову та практичну цінність і стосуються технологічного забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми та якості поверхні, є суттєвими для проектування раціональних технологічних процесів виготовлення згортних втулок як певного наукового напрямку дослідження в технології машинобудування.

8.3. Автореферат виконаний згідно із встановленими вимогами, повністю розкриває зміст дисертації. Зміст автореферату та основні положення дисертації ідентичні.

8.4. Основні результати дисертації повністю викладені в наукових фахових виданнях, на сторінках яких розміщені виконані згідно з вимогами МОН України відповідні публікації здобувача. Особистий внесок Сеника А.А. в наукових працях, що написані у співавторстві, є основним і визначальним. Результати, викладені в дисертації автором, отримані особисто.

8.5. На основі наведеного вище вважаю, що дисертаційна робота Сеника Андрія Антоновича «Технологічне забезпечення виготовлення згортних втулок підвищеної точності форми і якості» є завершеною самостійною науковою працею, яка відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» та вимогам Міністерства освіти і науки України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Сеник Андрій Антонович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент
кандидат технічних наук, доцент кафедри
технології машинобудування
Національного університету
«Львівська політехніка»

 Кусий Я.М.

Підпис офіційного опонента Кусого Ярослава Маркіяновича
засвідчую

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»



Брилинський Р.Б.