

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ТА  
МАШИН

**Гураль Андрій Ігорович**

УДК 21.833(784.4)

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ  
ЗУБОДОВБАЛЬНОГО ВЕРСТАТА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ  
РЕГУЛЯРНИХ МІКРОРЕЛЬЄФІВ НА ЕВОЛЬВЕНТНИХ ПОВЕРХНЯХ  
ЗУБЧАСТИХ КОЛІС**

133 – Галузеве машинобудування

**Автореферат**  
дипломної роботи магістра

**Тернопіль - 2019**

Роботу виконано на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент **Кривий Петро Дмитрович**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, професор кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Заслужений винахідник України

Рецензент : кандидат технічних наук, **Дичковський Михайло Григорович**, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, доцент кафедри технології машинобудування.

Захист відбудеться 24 грудня 2019 р. об 11.00 на засіданні екзаменаційної комісії №11 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м.Тернопіль, вул. Руська, 56, аудиторія 4-1.

## **1. Загальна характеристика роботи**

### **а) Актуальність теми роботи.**

Тенденції сучасного машинобудування полягають у значній інтенсифікації потужності, продуктивності, швидкості виконавчих органів, з одного боку, і забезпеченні високої якості робочих поверхонь оброблюваних деталей, зокрема високої точності, оптимальної шорсткості робочих поверхонь та високих їх фізико-механічних властивостей.

Експлуатаційні властивості робочих поверхонь деталей машин та приладів, у тому числі найпоширеніших і найвідповідальніших – зубчастих коліс – у значній мірі визначаються якістю робочих поверхонь, що створюється, в основному, фінішними операціями.

Традиційні методи фінішного оброблення зубчастих коліс різанням характеризуються значною трудомісткістю, невисокою якістю робочих поверхонь у плані забезпечення таких показників поверхонь як мастильна місткість, зміцнення поверхневого шару, регуляризація мікровідхилень робочих поверхонь.

Висока якість оброблення у поєднанні з ефективними технологічними показниками найповніше реалізується у калібрувальному і зміцнювальному обробленні зубчастих коліс поверхневим пластичним деформуванням у холодному стані з використанням обкочування, здійсненого різними видами роликів: циліндричними, конічними, виконаними у вигляді зубчастих коліс тощо. Проте можливості такого оброблення обмежені таким параметром як твердість матеріалу оброблюваних зубчастих коліс (HRC40), жорсткістю зубів, високими енергетичними затратами, невисокою стійкістю використовуваних інструментів.

Суттєвий резерв підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин і зубчастих коліс полягає, зокрема, у забезпеченні регуляризації мікрогеометрії їх робочих поверхонь. Основним методом її забезпечення є вібраційне у постійно змінюваних напрямках обкочування, що базується на пластичній деформації поверхневого шару матеріалу деталі у холодному стані. Дослідження в області вібраційного обкочування обмежувались, головним чином, обробленням деталей циліндричної форми сферичним деформуючим інструментом, кінематика руху якого у поєднанні з рухом заготовки, забезпечує повну або часткову регуляризацію мікрорельєфу.

Існуючі дослідження в галузі формоутворення частково або повністю регулярних мікрорельєфів робочих евольвентних поверхонь зубчастих прямозубих циліндричних коліс на даний час не дають відповідей на цілий ряд питань і не можуть використовуватись у виробництві.

Таким чином, створення технологічного процесу формування методом вібраційного обкочування регулярних мікрорельєфів різних видів на робочих евольвентних поверхнях зубчастих коліс із розробленням інструментально-верстатного обладнання, які забезпечуватимуть зміцнення поверхневого шару і підвищену мікротвердість, мастильну місткість поверхонь та підвищену точність евольвентного профілю, сприятиме збільшенню зносостійкості зубчастих коліс, що, безперечно, є новим і актуальним.

### **б) Мета і завдання.**

Модернізація зубодовбального верстата для фінішного оброблення евольвентних поверхонь прямозубих зубчастих коліс вібраційним обкочуванням із розробленням інструменту різних видів мікрорельєфів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Здійснити аналіз стану питання, висвітливши такі пункти:
  - 1.1. Вплив якості поверхонь зубів зубчастих коліс на їх експлуатаційні властивості.
  - 1.2. Показники і особливості фінішного оброблення зубчастих коліс різанням.
  - 1.3. Викінчувально-зміцнювальна обробка зубчастих коліс поверхневим пластичним деформуванням.
  - 1.4. Викінчувально-зміцнювальна обробка робочих евольвентних поверхонь зубчастих коліс вібраційним обкочуванням з утворенням частково регулярних мікрорельєфів.
2. Розробити принципові схеми процесу вібраційного обкочування робочих поверхонь прямозубих циліндричних коліс.
3. Розробити геометричні моделі трьох видів частково регулярних мікрорельєфів на робочих поверхнях зубів прямозубих циліндричних зубчастих коліс.
4. Модернізувати коробку швидкостей фрезерного верстата моделі 6P13.
5. Техніко-економічне обґрунтування доцільності виконання поставленого завдання.
6. Розробити заходи безпеки з охорони праці, безпеки життєдіяльності та екології.

*с) Об'єкт, методи та джерела дослідження.*

*Об'єкт дослідження* – процес формування на евольвентних поверхнях зубів прямозубих циліндричних коліс частково регулярних мікрорельєфів вібраційним обкочуванням.

*Предмет дослідження* – кінематика руху інструмента і заготовки, математичні моделі частково регулярних мікрорельєфів, інструментальне забезпечення.

#### **d) Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Отримані залежності для визначення відносної площі віброобкочування.
2. Вперше запропоновано кінематику формування частково регулярних мікрорельєфів, особливістю якої є кінематичний зв'язок рухів: осциляційного руху інструменту і обертового руху заготовки – зубчастого колеса.

#### **e) Практичне значення отриманих результатів.**

1. Розроблено принципову конструктивну схему пристрою із замкнутим силовим контуром для формування регулярних мікрорельєфів на робочих зубчастих коліс.
2. Розроблено принципову кінематичну схему модернізованого зубодовбального верстата моделі 514 для формування частково регулярних мікрорельєфів на робочих евольвентних поверхнях зубів циліндричних зубчастих коліс.

#### **f) Апробація.**

Основні положення виконаної роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних семінарах кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин та висвітлені у тезах доповіді на міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 27-28 листопада 2019).

**2. Структура роботи.** Дипломна робота магістра складається із трьох частин: вступу, графічної частини і розрахунково-пояснювальної записки. Графічна частина виконана на 10,5 листах формату А1, а пояснювальна записка складається із вступу і 9 розділів, виконаних на 160 листах формату А4, в тому числі додатків на 23 листах формату А4.

### **3. Основний зміст роботи**

а) У **вступі** подано загальну характеристику досліджуваної теми, обґрунтовано актуальність дипломної роботи, сформульовано мету, завдання досліджень, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, подано інформацію про апробацію, структуру та обсяг роботи.

б) У **першому розділі** висвітлено вплив якості робочих поверхонь зубчастих коліс на їх експлуатаційні властивості, показники і особливості фінішної обробки робочих поверхонь зубчастих коліс різанням, а також охарактеризовані існуючі види викінчувально-зміцнювального оброблення евольвентних поверхонь зубчастих коліс методами поверхневого пластичного деформування.

в) У **другому розділі** подано оптимізацію схем формоутворення на модернізованому верстаті та оптимальна його компоновальна схема.

г) У **третьому розділі** висвітлені технологічні показники та розрахунки, зокрема: аналіз деталі-представника на технологічність, вибір та обґрунтування металообробного обладнання, металорізальних інструментів та контрольно-вимірювальних приладів; розрахунок припусків, режимів різання, здійснено нормування часу.

д) У **четвертому розділі** подано проектування конструкцій верстатного обладнання шляхом висвітлення наступних питань: вибір діапазону регулювання кінематичних параметрів і потужності електродвигунів; проектування приводу головного руху і розрахунок на міцність його деталей, перевірочний розрахунок зубів зубчастих передач на згин і контактну міцність.

е) У **п'ятому (науково-дослідному) розділі** зазначено мету наукових досліджень, здійснено аналіз деформування поверхні зубів зубчастих коліс деформівними елементами з евольвентним профілем, розроблені принципові схеми пристрою із замкнутим силовим контуром для формування частково регулярних мікрорельєфів вібраційним віброобкочуванням, подані геометричні моделі частково регулярних зигзагоподібних мікрорельєфів шести видів та конструкція віброобкатника.

ж) У **шостому розділі («Спеціальна частина»)** здійснено автоматизований розрахунок шліцевого та шпонкового з'єднань на зріз і зминання.

з) У **сьомому розділі** подано обґрунтування економічної ефективності від модернізації верстата моделі 514, у якому, зокрема, висвітлено: вартість конструкторської, технологічної та організаційної підготовки, обсяг коштів на заробітну плату, покупні вироби, капітальні затрати, визначено собівартість і ціна модернізованого верстата, економічна ефективність й термін окупності.

и) У **восьмому розділі** розроблено заходи щодо охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, а саме: заходи при гасінні пожеж, оцінка стійкості роботи об'єкта у випадку ударної хвилі, вплив радіаційного опромінення та проникаючої радіації та радіоактивного зараження.

й) У **дев'ятому розділі** висвітлені питання актуальності охорони навколишнього середовища, застереження щодо виникнення забруднень та проаналізовані існуючі методи очищення викидів і скидів у цехах механічної

обробки та заходи, спрямовані на зменшення забруднень навколишнього середовища машинобудівними підприємствами.

#### **4. ВИСНОВКИ:**

За результатами виконання поставлених задач та проведеної роботи сформульовані такі висновки:

1. Здійснено огляд і аналіз стану питання щодо формування частково регулярних мікрорельєфів на робочих поверхнях деталей машин.

2. Проведено оптимізацію схем формоутворення на модернізованому верстаті, на основі якої здійснено аналіз конструктивно-технологічних особливостей деталі-представника та її технологічності, проаналізовано методи формоутворення і формоутворюючі рухи при окремих операціях, проведено оптимізацію компоновочної схеми, завдяки чому отримано матриці компоновок.

3. Виконано технологічну частину роботи, на основі якої отримані елементи режиму різання і норми часу на операції.

4. Отримані геометричні моделі трьох видів частково регулярних мікрорельєфів, а саме: з паралельними синфазними канавками, із системою асинфазних канавок, що дотикаються по вершинах; із системою асинфазних канавок, що дотикаються по вершинах для зигзагоподібних систем канавок.

5. Розроблено конструкцію інструменту для формування частково регулярних мікрорельєфів.

6. Річний економічний ефект від підвищення зносостійкості евольвентних робочих поверхонь зубчастих коліс складе 32,9 тис.грн з терміном окупності 0,2 року.

#### **5. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

1. Кривий П.Д. Математичні моделі регулярних мікрорельєфів на робочих евольвентних поверхнях циліндричних прямозубих коліс / П.Д.Кривий, В.В.Крупа, Н.М.Тимошенко, А.І.Гураль// Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей VIII Міжнар.наук.-техн.конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27-28 листоп.2019) /М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. Ун-т ім. І.Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – С.100-101 .

2.Кривий П.Д. Фінішне оброблення поверхневим пластичним деформуванням евольвентних поверхонь зубчастих коліс з формуванням регулярного мікрорельєфу/ П.Д.Кривий, В.В.Крупа, А.О.Бутрин// Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар.наук.-техн.конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17-18 листоп.2016) /М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. Ун-т ім. І.Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – С.127.

3. А.с.659370 СССР МКИ<sup>2</sup> В24В39/00 Устройство для обработки виброобкатыванием плоских поверхностей/ П.Д.Кривый (СССР). - №2486606/25-27; заявл.12.05.77; опубл. 30.04.79. Бюл. №16.

4. А.с. 538794 СССР МКИ<sup>2</sup> В21Н3/06. Устройство для обработки винтовой профилией/ Ю.Г.Шнейдер, С.А.Дубиняк, С.Г.Рожук, П.Д.Кривый, А.Г.Рудник (СССР). - №2180054/27; Заявл. 30.09.75; опубл. 15.12.76. Бюл. №16.

5. Пат. №108691 Україна. МПК В24В39/04. Інструмент для чистового фінішного оброблення зовнішніх циліндричних поверхонь/Кривий П.Д., Дзюра В.В., Кашуба Н.П. Заявник і патентовласник Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. - №201311876; Заявл. 09.10.2013; Опубл. 25.05.2015. Бюл. №10.

6. Устройство для чистовой обработки винтовых поверхностей вибрационным накатыванием/ [Рожук С.Г., Дубиняк С.А., Кривый П.Д., Рудник А.Г.] Материалы республиканской научн.-техн.конф. «Современные технические и технологические методы повышения качества, надежности и долговечности деталей машин, Кишинев, КПИ, 1976. – С.43-47.

7. Петро Кривий, Назар Кашуба. Пристрій для комплексного оброблення плоских поверхонь вібраційним обкочуванням/ Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 21.22 грудня 2010 р., ТНТУ ім. І.Пулюя.

8. Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу фінішної обробки плоских поверхонь нешироких стрічок вібраційним обкочуванням/ П.Д.Кривий, Н.П.Кашуба// Наукові нотатки. Львівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка, інженерна механіка». «Металургія та матеріалознавство»). Випуск 40. – С.129-134.

9. Дубиняк С.А. Новая технология изготовления свертных втулок и сборки приводных цепей/ Дубиняк С.А., Кривый П.Д., Куцевич А.В. Теоретические и экспериментальные исследования в области сельскохозяйственного машиностроения. Материалы VII науч.-техн.конф. молодых ученых (24-26 февраля 1977). – М.: ВИСХОМ, 1979. – С.91-94.

10. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом/ Ю.Г.Шнейдер. – М.: Машиностроение, 1982. – 248 с.

11. Рудник А.Г. Разработка и исследование процесса отделки зубчатых колес вибрационным накатыванием; дис.канд.техн.наук: спец. 05.02.02; 05.03.05/ Рудник Андрей Григорьевич. – Ленинград, 1982. – 248 с.

12. Кривий П.Д. Новий метод чистового фінішного оброблення евольвентних поверхонь прямозубих зубчастих коліс вібраційним обкочуванням/ Кривий П.Д., Крупа В.В., Тимошенко Н.М.// Збірник наукових праць VI-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції 8-12 лютого 2016 р. «Прогресивні технології у машинобудуванні»: Львів, НУ «Львівська політехніка», 2017 р.

13. Луців І.В. Теорія технічних систем/Ю.М.Кузнецов, Ю.К.Новосьолов, І.В.Луців – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 246 с.

14. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках/ Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.

## 6. АНОТАЦІЯ

Гураль А.І. Теоретичне обґрунтування модернізації зубодовбального верстата для формування регулярних мікрорельєфів на евольвентних поверхнях зубчастих коліс.

Дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Дипломна робота присвячена важливій науково-технічній задачі, яка полягає у створенні верстатного обладнання і математичних моделей для формування частково регулярних мікрорельєфів на робочих евольвентних поверхнях зубів циліндричних прямозубих коліс. Розглянуто три види частково регулярних мікрорельєфів: з паралельними синфазними канавками; з системою синфазних канавок, що дотикаються по вершинах; із системою асинфазних канавок, що дотикаються по вершинах.

Розглянуто і виконано комплекс технологічних розрахунків для проектування технологічного процесу виготовлення деталі-представника.

У плані модернізації верстата здійснено кінематичний розрахунок приводу головного руху і розраховано на міцність елементи механізму приводу. Окрім цього запропонована принципова конструкторська схема пристрою із замкнутим силовим контуром для вібраційного обкочування прямозубих зубчастих коліс.

Подані необхідні техніко-економічні розрахунки, які підтверджують доцільність виконання даної дипломної роботи.

Ключові слова: зубчасте колесо, евольвента, математична модель, частково регулярний мікрорельєф, вібраційний інструмент.

A.I.Hural. Theoretical substantiation of a gear-shaping machine retrofit to form a regular micro relief on the evolvement surfaces of gear wheels.

Diploma thesis for the fulfillment of educational-qualification level of “Master” in specialism 133 “Industry engineering”. Ternopil Ivan Pul’uj National Technical University, Ternopil, 2019.

Diploma thesis is dedicated to an important scientific and engineering problem of development of machine-tools and mathematical models for forming partially regular microreliefs on work evolvent surfaces of cylindrical spur gear teeth. Three types of partially regular microreliefs are considered: ones with parallel in-phase grooves; with a system of tip tangent in-phase grooves; with a system of tip tangent transverse grooves.

A complex set of technological design for the development of the specimen manufacturing process.

Within machine tool modernization program a kinematic estimation of the main motion drive was performed and components of drive mechanism were estimated for their ruggedness. Besides, a conceptual structure diagram of device with four-square torque loop for vibrational spinning of spur gears was proposed.

Essential technical and economic estimate was introduced confirming the feasibility of this diploma thesis.

Key words: tooth gear, evolvent, mathematical model, partially regular microrelief, vibrational tool.