

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

**БОНДАРУК ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ**

УДК 621.9

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ РОЗТОЧУВАННЯ  
ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ЦИЛІНДРІВ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ**

133 Галузеве машинобудування

**Автореферат**  
дипломної роботи магістра

Тернопіль 2018

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 кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин  
**Крупа Володимир Васильович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

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

Захист відбудеться 27 грудня 2018 р. о 13.00 годині на засіданні екзаменаційної комісії №10 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №4, ауд. 101

## 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Аналіз обробки різанням деталей, які обробляються на машинобудівних заводах показує, що ефективна обробка отворів в деталях типу втулок і циліндрів є важливим завданням. Для розточування таких отворів використовуються горизонтально розточувальні верстати, або верстати токарної групи, які є більш універсальнішими. Серед інструментів для розточування використовують розточні різці, спеціальні свердла, пластинчасті різці та багатолезові розточні інструменти. Процес обробки отворів на токарно-гвинторізних верстатах розточувальними різцями ускладнюється тим, що виникають несприятливі умови різання, пов'язані з великими вильотами інструменту, що веде до втрати вібробостійкості різального інструменту. Тому все частіше застосовують багатолезові розточувальні інструменти з визначеним базуванням, а також розточувальні інструменти з асиметричним розміщенням різальних елементів. Обробка такими інструментами дає високу продуктивність обробки із збереженням необхідної точності. Проте при роботі таких інструментів значно зростають силові характеристики процесу різання (складові сили різання, крутний момент), що спричиняє збільшення навантаження на вузли та механізми верстату. Причому зміна геометричних параметрів інструментів вимагає окремого вивчення впливу елементів режиму різання на силові характеристики процесу. Тому дослідження силових характеристик процесу оброблення глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті інструментами з несиметричним розміщенням різальних елементів є безумовно актуальною задачею.

**Метою роботи** є встановлення впливу режимів різання на осьову силу та крутний момент при розточуванні глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті для розточувальних інструментів з асиметричним розміщенням лез.

Для досягнення мети поставлено наступні **задачі дослідження**:

1. Провести модернізацію токарного верстату з метою підвищення точності обробки глибоких отворів циліндрів
2. Провести літературно-патентний аналіз та запропонувати спеціальне обладнання для затиску заготовок-пустотілих циліндрів на токарному верстаті
3. Провести літературно-патентний аналіз та запропонувати спеціальний

динамометричний пристрій для закріплення розточувального інструменту для вимірювання осьової сили різання та крутного моменту

4. Навести методику конструювання розточувальних інструментів з попарно-асиметричним розміщенням лез та непереточуваними пластинами

5. Розробити методики проведення експериментальних досліджень силових характеристик процесу оброблення запропонованими інструментами (осьової сили та крутного моменту) на основі теорії планування експерименту.

6. Провести лабораторні випробування та встановити залежність осьової сили та крутного моменту від глибини різання та подачі при розточуванні глибоких отворів циліндрів на токарних верстатах

**Об'єкт дослідження** – процес розточування глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті багатолезовими інструментами із попарно-асиметричним розміщенням лез.

**Предмет дослідження** – силові характеристики глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті багатолезовими інструментами із попарно-асиметричним розміщенням лез.

**Методи дослідження.** Основою роботи є комплексний підхід до дослідження процесу оброблення отворів циліндрів на токарному верстаті з запропонованою конструкцією пристрою для вимірювання осьової сили різання та крутного моменту, встановлення впливу глибини різання і подачі на осьову силу та крутний момент при розточуванні на основі та теорії планування експерименту.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у запропонованих емпіричних залежностях для визначення осьової сили та крутного моменту при розточуванні отворів на токарному верстаті інструментами із попарно-симетричним розміщенням різців.

**Практичне значення отриманих результатів.** Проведено модернізацію приводу головного руху токарно-гвинторізного верстату. Подано методику конструювання інструментів із несиметричним розміщенням різців із непереточуваними шестигранними пластинами. Запропоновано комплект обладнання для розточування глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті, та

вимірювання силових характеристик процесу розточування.

**Апробація.** Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались на II Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (12 листопада - 15 листопада 2018 р. м. Гельсінкі, Фінляндія) і опубліковані в збірнику тез доповідей цієї конференції.

## **2. СТРУКТУРА РОБОТИ.**

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, списку літератури (62 найменування), 1 додатку. Загальний обсяг текстової частини - 169 сторінок, 17 таблиць, 69 рисунків.

## **3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **Вступі** подано актуальність магістерської роботи, сформульована мета досліджень та задачі, які необхідно виконати, відзначені об'єкт та предмет дослідження, описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **Аналітичному розділі** здійснено аналіз базової моделі верстату, зокрема його технічних характеристик будови та приводів головного руху і подачі, виявлено його основні недоліки та запропоновано шляхи їх усунення. Проведено аналіз інструментального забезпечення для розточування глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті, а також існуючих залежностей для розрахунку силових характеристик процесу різання при розточуванні.

У розділі «**Аналіз формоутворення та компоувальної схеми верстата**» проведено аналіз формотворення на токарних верстатах та його компоувальної схеми на основі математичного методу відбору компоунок.

У **Конструкторському розділі** проведений кінематичний розрахунок приводу головного руху, здійснено розрахунок пасової передачі, силовий та міцнісний розрахунок коробки швидкостей. Проведено розрахунок шпindelного вузла на жорсткість. Зокрема прогин шпindelя при максимальних навантаженнях становить 0,0368 мм. Здійснено підбір підшипників для валів та розраховано їх ресурс роботи.

В **науково-дослідному розділі** проаналізовано особливості та схеми оброблення глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті, а також факторів, що впливають на сили різання. Проведено патентний аналіз затискних патронів, а також спеціальних

динамометричних пристроїв для вимірювання сил різання при розточуванні, на основі якого розроблено конструкцію спеціального патрона для затиску по торцях заготовок та пристрою для закріплення інструмента та вимірювання осьової сили та крутного моменту при розточуванні. Подано методики конструювання розточувальних інструментів із попарно-асиметричним розміщенням різців як з переточуваними так і з непереточуваними пластинами, а також конструкцію інструменту, розробленого на основі даних методик. Розроблена методика проведення експериментальних лабораторних досліджень на основі теорії планування експерименту. На основі цієї методики проведені лабораторні дослідження впливу глибини різання та подачі на осьову силу та крутний момент при розточуванні, проведено опрацювання результатів експериментів і здійснено їх аналіз.

У розділі **«Обґрунтування економічної ефективності»** проведено комплекс економічних розрахунків, які показують економічну ефективність прийнятих інженерних рішень.

В **«Спеціальному розділі»** проведено розрахунок найбільш навантаженої зубчастої передачі коробки швидкостей на основі використання програмного продукту Kompas Gears.

У розділі **«Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** висвітлені питання про небезпечні шкідливі фактори на машинобудівному підприємстві, здійснено оцінку вібро- та електробезпеки підприємства а також описано джерела шуму, інфра та ультразвуку. Подана характеристика уражаючих факторів на підприємствах.

У розділі **«Екологія»** приділена увага впливу машинобудівної галузі на стан довкілля з точки зору забезпечення захисту навколишнього середовища від металевих відходів та відходів змащувально-охолоджуючих рідин.

#### **4. ВИСНОВКИ**

1. Проведено модернізацію приводу головного руху токарного верстату з двоступеневою коробкою швидкостей та регульованим асинхронним двигуном. Частоти обертання шпинделя 6,3-2500 об/хв.

2. Проведено літературно-патентний аналіз та запропонований самоцентруючий спеціальний патрон для затиску по торцях заготовок пустотілих циліндрів, а також розроблено його конструкцію для діаметра заготовки 70 мм.

3. Проведено літературно-патентний аналіз та запропоновано конструкцію спеціального динамометричного пристрою для вимірювання осьової сили різання та крутного моменту та закріплення розточувального інструменту з хвостовиком із двозахідною прямокутною різьбою діам. 28 мм.

4. Запропоновано методику проектування розточувальних інструментів з попарно-асиметричним розміщенням лез та непереточуваними пластинами

5. Розроблено методики проведення експериментальних досліджень силових характеристик процесу оброблення запропонованими інструментами (осьової сили та крутного моменту) на основі теорії планування експерименту.

6. Внаслідок проведених лабораторних випробувань отримано залежності для визначення осьової сили різання  $P_o = 1014 \cdot t^{1.062} \cdot s^{0.403}$  та крутного моменту  $M = 1.585 \cdot D \cdot t^{1.098} \cdot s^{0.822}$ . Отримані значення осьової сили різання є вищими на 15,9%, а крутного моменту нижчими на 24,12 % від результатів, які отримані за відомими емпіричними формулами.

7. Здійснено розрахунки економічної ефективності прийнятих технічних рішень, та обґрунтовано їх відповідно до вимог охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони навколишнього середовища.

### **Перелік наукових праць**

1. Бондарук О.В. Обґрунтування параметрів розточувальних інструментів з попарно-асиметричним розміщенням лез та непереточуваними пластинами / Крупа В.В., Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Бондарук О.В. // Матеріали II Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (12 листопада - 15 листопада 2018 р. м. Гельсінкі, Фінляндія): тези допов. - Дніпро-Гельсінкі, 2018. С. 335-338

2. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис. канд. техн. наук, спец. 05.03.01 / Крупа Володимир Васильович - Тернопіль, 2015. - 185 с.

3. Кривий П. Д. Інструментальне забезпечення процесу розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Вісник ЖДТУ. – 2012. – №2. – С. 23-34.

4. Кривий, П. Д. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлев // Технічні науки та технології. – 2016. – № 2 (4). - С. 28-35.

5. Кривий П. Д. Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Вісник ЖДТУ. Технічні науки, 2010. – Том 4. – №2. – С.45-56.

6. Пат. UA73092 МПК (2006.01) В 23В 51/10. Багатолезовий різальний інструмент для витяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / Кривий П. Д., Крупа В. В.; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201202467; заявл. 01.03.2012; опубл. 10.09.2012, бюл. № 17/2012.

7. Пат. UA117075 МПК В23В 31/16 (2006.01) Самоцентруючий трикулачковий патрон / Кривий П.Д., Крупа В.В., Дзюра В.О.; заявник та патентовласник ТНТУ ім. І. Пулюя– а 2017 05784 ; заявл. 12.06.2017 опубл. 11.06.2018, Бюл.№ 11

8. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под. ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т2. – 1985. – 496 с.

9. Dubovska, R. Experimenta measurement of cutting forces in the turning technology / Ddubovska, R.;Majerik, J. Baska, S. Daaam international scientific book, 2012 pp. 255-266, chapter 22

10. Воронцов А. Л. Разработка новой теории резания. Практические расчеты параметров резания при точении / А. Л. Воронцов, Н. М. Султан-Заде, А. Ю. Албагачиев // Вестник машиностроения. – 2008. – №9. – С. 67-76.

11.Обработка глубоких отверстий / [Уткин Н. Ф., Кижняев Ю. Н. , Плужников С. К. и др.] ; под общ. ред Н. Ф. Уткина. – Л. : Машиностроение, 1988. – 269 с.

12. Обработка глубоких отверстий в машиностроении. Справочник. [Кирсанов С. В., Гречишников В. А., Григорьев С. Н., Схиртладзе А. Г.]. –

М. : Машиностроение. – 2010. – 344с.

13. Пляскин И. И. Оптимизация технических решений в машиностроении / И. И. Пляскин. – М. : Машиностроение, 1982. – 176 с.

14. Справочник металлиста: в 5-ти т. / под ред. А. Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1977. – Т.3. – 1977. – 748с.

### **Анотації**

Бондарук О.В. Дослідження силових факторів процесу розточування глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті. 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2018р.

Здійснено аналіз базової моделі верстату, виявлено його основні недоліки та запропоновано шляхи їх усунення. Проведено аналіз інструментального забезпечення для розточування глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті, а також існуючих залежностей для розрахунку силових характеристик процесу різання при розточуванні. Проведено аналіз формотворення на токарних верстатах та його компоновальної схеми на основі математичного методу відбору компоновок. Здійснено кінематичний розрахунок приводу головного руху, розрахунок пасової передачі, силовий та міцнісний розрахунок коробки швидкостей, розрахунок шпindelного вузла на жорсткість. Проаналізовано особливості та схеми оброблення глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті. Проведено патентний аналіз затискних патронів, а також спеціальних динамометричних пристроїв для вимірювання сил різання при розточуванні. Подано методики конструювання розточувальних інструментів із попарно-асиметричним розміщенням різців як з переточуваними так і з непереточуваними пластинами, а також конструкцію інструменту, розробленого на основі даних методик. Розроблена методика проведення експериментальних лабораторних досліджень на основі теорії планування експерименту, на основі якої проведені лабораторні дослідження впливу глибини різання та подачі на осьову силу та крутний момент при розточуванні, проведено опрацювання результатів експериментів і здійснено їх аналіз.

**Ключові слова:** глибокий отвір, багатолезовий розточувальний інструмент,

сила різання, крутний момент, режими різання, планування експерименту.

### **Abstract**

Bondaruk O.V. Investigation of force characteristics of deep holes of cylinders boring on lathes. 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2018.

Analysis of the machine-tool basic model has been revealed and the ways of their elimination have been proposed. Analysis of the tools equipment for boring the cylinder deep holes on the lathe was carried out as well as the available dependencies for calculation of power characteristics of cutting process under boring. Forming on lathes and its components scheme were studied on the mathematic method of the arrangement selection. The kinematic calculation of the primary motion drive was performed, as well as the calculation of the belt transmission, force and strength calculation on of the gear-box and the rigidity of the spindle unit. Besides, the characteristics and the mode of treatment of the cylinder deep holes on the lathe have been studied, the patent analysis of the face chucks and special dynamometric devices for measuring the cutting forces while boring have been carried out. The methods of boring tools design with both turning and non-turning plates have been presented as well as the tool structure, developed basing on these methods. The method the method of carrying out the experimental laboratory investigations, based on the experiment planning theory, which was used to perform the laboratory investigations of the cutting depth and transmissions effect on the axis force and the torque while boring, has been developed. The results have been summarized and analyzed.

Key words: deep hole, multi-cutter, boring tool, cutting force, torque, cutting mode, experiment planning.