

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**МАРЧУК НАЗАР МИКОЛАЙОВИЧ**

**УДК 621.95**

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА СИНТЕЗ ІНСТРУМЕНТІВ  
ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ ОТВОРІВ**

05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти  
13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Н.М. Марчук

Науковий керівник:

Гевко Богдан Матвійович

доктор технічних наук, професор,

заслужений винахідник України

Тернопіль – 2018

## АНОТАЦІЯ

*Марчук Н.М.* Обґрунтування параметрів та синтез інструментів для виготовлення різьбових отворів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 “Процеси механічної обробки, верстати та інструменти”. - Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Дисертаційна робота присвячена теоретичним і експериментальним дослідженням обробки отворів, розробленню технологічного оснащення та ріжучих інструментів для нарізання різі і захисту інструментів від поломки.

Широке використання різьбових з'єднань у машинобудуванні обумовлене їхньою простотою, високою несучою здатністю, експлуатаційною надійністю і довговічністю, а також зручністю з'єднання та роз'єднання деталей. Застосуванню різьбових з'єднань також сприяє наявність значної номенклатури спеціальних різьбових деталей, пристосованих до різних конструктивних варіантів з'єднань, їх широка стандартизація, мала вартість виготовлення особливо в умовах масового виробництва. Обмеження у використанні різьбових з'єднань пов'язані з наявністю значної кількості концентраторів напружень на їх поверхнях, що зменшує їх втомну міцність при дії змінних напружень.

В дисертації розроблено структурний синтез інструментів для оброблення отворів. Розроблені теоретичні передумови для свердління отворів і виведенню аналітичних залежностей для визначення силових характеристик і конструктивних параметрів обох лез інструмента. Приведені прогресивні конструкції пристроїв і різальних інструментів для різей. Представлені режими різання швидкісного технологічного процесу.

Розроблено багатоваріативну структуру конструктивних і функціональних можливостей реалізації процесів свердління та нарізання різі, а також захисту інструментів від поломки і синтезу необхідного технологічного оснащення

різальних інструментів, яке вдосконалюється з використанням трьох ієрархічних рівнянь. Для дослідження спроектовано спеціальне технологічне оснащення і ріжучий інструмент.

Складено диференціальне рівняння руху системи для вимушених коливань Лагранжа другого роду. Розв'язок системи нелінійних диференціальних рівнянь з початковими умовами проведено на комп'ютері із застосуванням стандартної підпрограми чисельного методу Рунге-Кутта. За результатами досліджень представлені графічні залежності зміни кута деформації мітчика в часі та динамічного моменту деформації.

Вперше розроблена динамічна модель технологічного процесу нарізання різі в гайках з зігнутих хвостовиком, виведено диференціальне рівняння руху системи для вимушених коливань та побудовані графічні залежності для визначення динамічних моментів під час їх роботи.

Результатом теоретичних та експериментальних досліджень є впровадження у виробництво.

Вперше досліджено технологічний процес нарізання різі реверсивним пристроєм в тонкостінних деталях машин, виведені аналітичні залежності для визначення граничних силових і конструктивних параметрів.

Розроблені нові конструкції інструментів для оброблення різьбових отворів тонкостінних деталей машин в залежності від їх конструктивних і силових параметрів. Розроблено стендове обладнання та виготовлено експериментальні інструменти для обробки різьбових отворів, а також методики проведення досліджень для визначення енергосилових параметрів технологічного процесу свердління та нарізання різі залежно від режимів роботи. Запропоновано методику й прикладне програмне забезпечення проектування і вибору технологічної системи «Різьбонарізний інструмент для обробки отворів» з урахуванням техніко-економічних параметрів. Технічна новизна розробок захищена 6 патентами України на корисні моделі.

**Ключеві слова:** технологічне оснащення, інструмент, свердло, мітчики, різь, синтез, верстат, якість оброблення.

## ANNOTATION

*Marchuk N.M.* Justification of parameters and synthesis of tools for machining threaded holes. - The qualification scientific work on the manuscript copyright.

Thesis for the scientific degree of the candidate of technical sciences in specialty 05.03.01 " Machining processes, machine-tools and tools". - Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2018.

The dissertation is devoted to the theoretical and experimental research of the hole processing, developed technological equipment and cutting tools for cutting rivets and tools protection against breakage.

The wide use of threaded joints in mechanical engineering is due to their simplicity, high carrying capacity, operational reliability and durability, as well as the convenience of connecting and detaching parts. The use of threaded joints is also facilitated by the availability of a significant range of special threaded parts adapted to the various constructional variants of the joints, their wide standardization, and the low cost of manufacturing, especially in mass production. Limitations in the use of threaded joints are due to the presence of a significant amount of stress concentrators on their surfaces, reducing their fatigue strength under the influence of variable stresses.

In the dissertation the structural synthesis of tools for processing of holes is developed.

The theoretical prerequisites for drilling holes and deriving analytical dependencies for determining the power characteristics and structural parameters of both blades of the tool were developed.

The progressive designs of devices and cutting tools for threads were given. The modes of cutting of high-speed technological process were presented.

A variational structure of constructive and functional possibilities for the implementation of drilling and cutting processes, as well as tool protection against breakage and synthesis of the necessary technological equipment for cutting tools, has been developed, which is improved using three hierarchical levels. For the research, special technological equipment and cutting tools have been designed.

A differential equation of motion of the system for forced oscillations of Lagrange of the second kind is compiled. The solution of a system of nonlinear differential equations with initial conditions on a computer using a standard subroutine of the Runge-Kutta numerical method. Based on the results of the studies, graphical dependencies of the change in the angle of the tap deformation in time and the dynamic strain moment were presented.

The dynamic model of the thread cutting process in nuts by taps with a curved shank was developed for the first time, the differential equation of motion of the system for forced vibrations was derived and graphical dependences were constructed to determine the dynamic moments during their operation.

The results of theoretical and experimental research are used in production. For the first time, the technological process of thread cutting by a reversing device in thin-walled machine parts has been investigated, analytical dependencies for determining the limiting power and design parameters have been derived.

New designs of tools for machining of threaded holes of thin-walled machine components were developed, depending on their design and power parameters. The bench equipment has been developed and experimental tools for threaded holes have been made, as well as research methods for determining the energy-strength parameters of the drilling and cutting process, depending on the operation modes. The methodology and application software for the design and selection of the technological system "Thread-cutting tool for hole machining", taking into account technical and economic parameters, was proposed.

The technical novelty of developments is protected by 6 patents of Ukraine on utility models.

**Keywords:** technological equipment, tool, drill, taps, threads, synthesis, machine-tool, quality of processing.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Публікації в закордонних збірниках*

1. Hevko B. The study of the dynamics of a device for screw thread turning / B. Hevko, A. Djachun, N. Marchuk // Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2016. – Vol. 18, № 1. – P. 87–93. *(Автором виведені залежності силових та динамічних параметрів).*

### *Публікації у фахових виданнях*

2. Гевко Б.М. Обґрунтування параметрів пристроїв для нарізання різі в гайках і деталях машин / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 32. – С. 41–47. *(Автором обґрунтовано параметри пристроїв для нарізання різі в гайках).*

3. Гевко Б.М. Універсальний пристрій для швидкісного нарізання різі / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук, В.П. Казмірчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2017. – Вип. 181. – С. 350–353. *(Автором запропонована конструкція універсального пристрою).*

4. Структурний синтез пристроїв та інструментів для нарізання різі / Б.М. Гевко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук, В.П. Казмірчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 34. – С. 3–10. *(Автором проведений синтез інструментів для нарізання різі та побудована морфологічна таблиця).*

5. Гевко І.Б. Теоретичне обґрунтування режимів подачі свердління при обробленні наскрізних отворів / І.Б. Гевко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 34. – С. 10–18. *(Автором запропоновано застосування зменшення режимів різання при свердлінні).*

6. Технологічне спорядження для виготовлення мітчиків / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук, М.Г. Левкович, П.В. Казмірчук // Вісник Житомирського державного технічного університету. – Житомир, 2017. – Вип. 2(80). – С. 39–43.

*(Автором обґрунтовані геометричні параметри мітчиків та запропонований контрольний пристрій для заміру середніх діаметрів мітчиків).*

7. Обґрунтування параметрів запобіжних елементів технологічного оснащення для механічного оброблення / В.М. Клендій, В.В. Гупка, М.Д. Радик, Н.М. Марчук, Р.І. Котик // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький, 2017. – Вип. 47. – С. 99–105. *(Автором обґрунтовано параметри запобіжних елементів технологічного оснащення для механічної обробки, що дозволить убезпечити інструменту від поломок та збільшити продуктивність праці).*

8. Клендій В.М. Нове технологічне оснащення для відновлення і виготовлення внутрішніх поверхонь різьбових деталей / В.М. Клендій, І.В. Фльонц, Н.М. Марчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2016. – Вип. 168. – С. 60–64. *(Автором запропоновано конструкція реверсивного пристрою для нарізання гайок).*

9. Обґрунтування параметрів патрона для нарізання різі / Р.В. Комар, Т.С. Дубиняк, І.С. Яким, Н.М. Марчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2016. – Вип. 168. – С. 80–84. *(Автором запропонована конструкція експериментального патрона для нарізання різі).*

10. Марчук Н.М. Технологічність конструкцій різьбових з'єднань деталей машин / Н.М. Марчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування «Технічні науки». – Рівне, 2016. – Вип. 1(73). – С. 203–210.

11. Марчук Н.М. Обґрунтування параметрів оправок для нарізання різі мітчиками в отворах деталей машин / Н.М. Марчук // «Наукові нотатки». – Луцьк, 2017. – Вип. 60. – С. 166–171.

### ***Тези конференцій та семінари***

12. Марчук Н.М. Пристрій для нарізання різі в гайках / І.Б. Гевко, Н.М. Марчук, І.В. Колеснік // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних

технологій»: 25–26 листопада 2015р.: тези доп. – Тернопіль, 2015. – Т.1. – С. 114–117. *(Автором приведена конструкція пристрою для нарізання різі в гайках).*

13. Марчук Н.М. Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різі в трубчастих заготовках / Іг.Б. Гевко, Н.М. Марчук // XIX Наукова конференція Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя: 18–19 травня 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – Т.1. – С. 26 – 27. *(Автором запропонована технологічна конструкція пневматичного автоматизованого пристрою для свердління і нарізання різі в трубчастих заготовках)*

14. Марчук Н.М. Головка для нарізання внутрішніх різьб / О.Я. Гурик, Н.М. Марчук // XXI Наукова конференція Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя: 18–19 травня 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – Т.1. – С. 34 – 36. *(Автором обґрунтовано конструкцію різьбонарізної головки).*

15. Марчук Н.М. Патрон для оброблення деталей пальцевими ріжучими інструментами / Н.М.Марчук, В.М. Клендій // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: 17–18 листопада 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – Т.1. – С.270–272. *(Автором запропонований з пальцевим інструментом для оброблення деталей).*

16. Марчук Н.М. Різьбонарізний блок для нарізання різі / Н.М. Марчук // III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Інноваційні розробки студентів та молодих науковців в галузі технічного сервісу машин»: 1–2 грудня 2017 р.: тези доп. – Харків, 2017. – С. 89.

17. Марчук Н.М. Пристрій для нарізання різі в корпусних деталях / Н.М. Марчук // Шістнадцята міжнародна молодіжна науково-технічна конференція. «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво»: 26 – 29 жовтня 2016 р.: тези доп. – Суми, 2016. – С. 44–46.

18. Марчук Н.М. Оправка для розточування отворів і нарізання різі / Н.М. Марчук, Б.М. Гевко, П.В. Казмірчук // Міжнародна науково-технічна конференція «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій»: 22–24 травня 2018 р.: тези доп. – Тернопіль, 2018. – С. 89. *(Автором*



запропонована нова технологічна конструкція оправки для розточування отворів і нарізання різей).

### ***Патенти України на корисні моделі***

19. Пат. 106937 Україна, МПК В23В 51/00, В23G 5/00. Комбіноване свердло-мітчик / Марчук Н.М.; заявник і патентоотримувач Марчук Н.М - №u201511743; заявл. 27.11.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.

20. Пат. 107031 Україна, МПК В23В 31/00, F16L 15/00. Реверсивний патрон для нарізання різі / Гевко Б.М., Марчук Н.М, Гудь В.З., Навроцька Т.Д.; заявники і патентоотримувачі: Гевко Б.М., Марчук Н.М, Гудь В.З., Навроцька Т.Д. - №u201503993; заявл. 27.04.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. *(Частка всіх авторів однакова).*

21. Пат. 107215 Україна, МПК В23G 5/06 (2006.01), В23В 49/02. Мітчик – протяжка / Гевко Б.М., Марчук Н.М.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Марчук Н.М. - №u201511741; заявл. 27.11.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. *(Частка всіх авторів однакова).*

22. Пат. 107909 Україна, МПК В23G 5/00, В23В 49/02. Головка для нарізання внутрішніх різей / Гевко Б.М.; Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д. - №u201512856; заявл. 25.12.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. *(Частка всіх авторів однакова).*

23. Пат. 124001 Україна, МПК F16В 33/00. Безканавочний мітчик / Гевко Б.М., Клендій В.М., Марчук Н.М., Котик Р.М., Когут І.Р.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Клендій В.М., Марчук Н.М., Котик Р.М., Когут І.Р. - №u201711030; заявл. 13.11.2017; опубл. 12.03.18, Бюл. № 5. *(Частка всіх авторів однакова).*

24. Пат. 124231 Україна, МПК В23В 49/02 (2006.01), В23В 49/04 (2006.01), В23В 31/171 (2006.01). Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різі в трубчатих заготовках / Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д., Казмірчук П.В., Гевко І.Б.; заявники і патентоотримувачі Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д., Казмірчук П.В., Гевко І.Б. - №u201711045; заявл. 13.11.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6. *(Частка всіх авторів однакова).*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	12
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ НАРІЗАННЯ ВНУТРІШНІХ РІЗЕЙ</b> .....	17
1.1. Види різьб і конструкцій інструменту для утворення отворів .....	17
1.2. Матеріали, які використовуються для виготовлення різьбонарізних пристроїв і термічна обробка інструменту.....	28
1.3. Аналіз результатів теоретичних досліджень нарізання різей і структурно-схемного синтезу верстато-інструментального оснащення.....	35
1.4. Методи розрахунку основних розмірів мітчиків.....	40
1.5. Висновки та задачі дослідження.....	43
<b>РОЗДІЛ 2 СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ РІЗЬБОВИХ ОТВОРІВ</b> .....	44
2.1 Структурний синтез пристроїв та інструменту для нарізання різі.....	44
2.2. Дослідження впливу зміщення різьбового отвору втулки під дією неврівноваженої радіальної сили.....	51
2.3. Дослідження технологічного процесу нарізання різі реверсивним пристроєм.....	59
2.4. Теоретичне обґрунтування регулювання подачі свердління при обробленні наскрізних отворів.....	67
2.5. Дослідження динаміки пристрою для нарізання різьби в гайках.....	74
2.6. Висновки до другого розділу.....	81
<b>РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРСТАТНО- ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ ОТВОРІВ</b> .....	83
3.1. Програма і методика проведення експериментальних досліджень.....	83
3.2 Стендове обладнання для дослідження технологічного процесу нарізання різі.....	84

	11
3.2.1. Обґрунтування параметрів люнетів для відрізання профільних заготовок.....	84
3.2.2. Конструкції головок для нарізання різі в отворах.....	90
3.2.3. Стендове обладнання для проведення експериментальних досліджень..	92
3.3. Методика та результати проведення багатофакторних експериментальних досліджень стійкості інструменту.....	96
3.4. Методика та результати проведення багатофакторних експериментальних досліджень сили різання.....	103
3.5. Висновки до третього розділу.....	113
<b>РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ПРОЕКТУВАННЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ.....</b>	<b>115</b>
4.1. Інженерна методика проектування оснащення для формоутворення різьбових поверхонь.....	115
4.2. Технологічність конструкції пристроїв і різальних інструментів для оброблення різьбових поверхонь та основні параметри процесу нарізання різьбових отворів в тонкостінних деталях комбінованим свердлом-мітчиком.....	122
4.3. Перспективні конструкції пристроїв і різальних інструментів для оброблення різьбових поверхонь.....	126
4.4. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика.....	134
4.5. Висновки до четвертого розділу.....	140
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>141</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>144</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>161</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Відомо, що понад 60% деталей більшості сучасних машин і механізмів мають різьбові з'єднання, обробка яких ріжучими інструментами в деталях з кольорових металів, їх сплавів, а також високопластичних сталей являє собою досить складну технологічну задачу. Це має особливо серйозне значення при виготовленні точних різьбових отворів в тонкостінних деталях машин.

Широке використання різьбових з'єднань у машинобудуванні обумовлено їхньою простотою та високою несучою здатністю з'єднань деталей. Застосуванню різноманітних різьбових з'єднань сприяють також наявність значної номенклатури спеціальних різьбових деталей, пристосованості до різних варіантів з'єднань, їхня широка стандартизація та мала вартість в умовах масового виготовлення.

Створення нових конструкцій деталей машин з різьбовими отворами, удосконалення конструкції мітчиків і оптимізація геометрії їх ріжучої частини, поліпшення якості робочих поверхонь, застосування оптимальних налагоджень і нових видів охолодження не вирішують повністю питання високопродуктивного та якісного виготовлення внутрішніх різьбових поверхонь у високо пластичних матеріалах та тонкостінних деталях машин.

Тому вирішення наукового завдання, яке полягає у розробленні та практичній реалізації раціональних технологічних процесів виготовлення різьбових отворів є **актуальним**, доцільним і перспективним для машинобудівної галузі України та інших держав.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, що складають основи дисертаційної роботи, виконані відповідно до Державної науково-технічної програми Міністерства освіти і науки України за напрямком «Виробництво машин і технологічного обладнання для сільськогосподарської, харчової і переробної промисловості». Основні положення роботи увійшли до звіту по темі «Синтез гвинтових транспортно-технологічних

механізмів з розширеними технологічними можливостями на основі САПР «Гвинтові конвеєри»» (№ держ. реєстр. 0115U 002450), яка реалізується в рамках Постанови Кабінету Міністрів України «Про розвиток сільськогосподарського машинобудування і забезпечення агропромислового комплексу конкурентоспроможною технікою».

**Мета і завдання дослідження.** *Метою роботи є розроблення та реалізація технологічних процесів, інструментів та устаткування для підвищення ефективності виготовлення різьбових отворів тонкостінних деталей машин.*

Для досягнення мети в роботі поставлені і вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз відомих технологій та конструкцій інструментів для оброблення різьбових отворів і розроблено наукову концепцію технологічного забезпечення одержання таких деталей, що відповідають сучасним вимогам за технологічною собівартістю, матеріало- та енергоємністю;
- виведено аналітичні залежності для визначення основних силових параметрів процесів виготовлення отворів і нарізання в них різьби залежно від їх конструктивних і технологічних параметрів;
- розроблено багатоваріантну структуру і морфологічну модель конструктивних та функціональних можливостей реалізації процесів нарізання різьби в отворах, а також принципи синтезу необхідного технологічного оснащення, яке вдосконалюється із використанням трьох ієрархічних рівнів технічної системи нарізання різьби в отворах, яка в процесі синтезу генерує множину можливих альтернатив для кожного з трьох ієрархічних рівнів;
- розроблено динамічну модель нарізання різьби і обґрунтування параметрів технологічного процесу нарізання різьби зігнутими мітчиками з визначенням силових характеристик і режимів різання та встановлено характер змін навантажень при врізанні і виході зубів мітчика при закінченні нарізання різьби;
- спроектовано і виготовлено відповідне спорядження та інструменти для формування різьбових профілів;

- проведено комплекс експериментальних досліджень для визначення основних конструктивних та силових параметрів процесів формоутворення різьби;

- виведені регресійні залежності для визначення сили нарізання різьби на вході і виході інструментів;

- розроблено інженерну методику проектування технологічного оснащення та різальних інструментів з подальшим впровадженням у виробництво.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення різьбових отворів в тонкостінних деталях машин.

**Предмет дослідження** – взаємозв'язок конструкторсько-технологічних чинників для формоутворення різьбових отворів, закономірності впливу їх параметрів на силові характеристики формоутворюючих процесів.

**Методи дослідження.** В основу досліджень було покладено загальні положення технології машинобудування, теорії різання матеріалів, методів механіко-математичного моделювання, інженерної творчості, опору матеріалів, теорії пружності та інформатики. Експериментальні дослідження здійснено за допомогою методів математичного планування експерименту з використанням комп'ютерної техніки і прикладного програмного забезпечення та стандартних методик із застосуванням спеціального спроектованого та виготовленого технологічного устаткування та інструменту.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому, що:

- вперше розроблено нові методи проектування технологічної системи “Різьбонарізний інструмент для обробки отворів тонкостінних деталей машин”, з використанням системно-морфологічного підходу до структурно-схемного синтезу ієрархічних груп із урахуванням техніко-економічного обґрунтування ефективності конструкцій;

- вперше розроблена динамічна модель технологічного процесу нарізання різьби в гайках мітчиком із зігнутих хвостовиком, виведено диференціальні рівняння руху системи для вимушених коливань та побудовано графічні залежності для визначення динамічних моментів під час їх роботи;

- вперше досліджено технологічний процес нарізання різьби реверсивним пристроєм в тонкостінних деталях машин, виведені аналітичні залежності для визначення граничних силових і конструктивних параметрів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблена нова конструкція інструмента для оброблення різьбових отворів тонкостінних деталей машин та виведено аналітичні залежності для визначення основних силових параметрів процесів залежно від їх конструктивних і технологічних параметрів. Розроблено стендове обладнання та виготовлено експериментальний інструмент для оброблення різьбових отворів тонкостінних деталей машин, а також методики проведення досліджень для визначення енергосилових параметрів технологічного процесу свердління та нарізання різьби залежно від режимів роботи. Запропоновано методику й прикладне програмне забезпечення проектування і вибору технологічної системи “Різьбонарізний інструмент для обробки отворів тонкостінних деталей машин” з урахуванням техніко-економічних чинників.

Технічна новизна розробок захищена 6 патентами України на корисні моделі. Отримані наукові та практичні результати, методики й рекомендації впроваджено на ТозВ «Універст ЛТД» (м. Тернопіль) та ТДВ «Рівненське ремонтно-транспортне підприємство».

**Особистий внесок здобувача.** Викладено основні результати досліджень, отримані автором у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за період його роботи.

У працях, опублікованих у співавторстві та самостійно [36, 37, 40, 100, 116, 117, 178], автор обґрунтував основні параметри пристроїв для нарізання різьби в гайках і деталях машин. У працях [75, 154, 160] здобувач запропонував нові конструкції інструментів для виготовлення різьбових поверхонь. У працях здобувач також запропонував елементи конструкцій пристроїв для нарізання різьби та технологічність конструкцій різьбових з'єднань деталей машин [39, 41, 51, 101-105]. За матеріалами досліджень у співавторстві отримано 6 деклараційних патентів України на корисні моделі [122-124, 126-128].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення виконаних досліджень доповідались і обговорювалися на науково-технічних семінарах і наукових конференціях: міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” (м. Тернопіль, ТНТУ, 2015-2016 р.р.); XXI науковій конференції ТНТУ ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, ТНТУ, 2016 р.); шістнадцятій міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво» (м. Суми, СумДУ, 2016р.); третій всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції “Інноваційні розробки студентів та молодих науковців в галузі технічного сервісу машин” Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П.М. Василенка (м. Харків, ХНТУСГ, 2017р.); міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль, ТНТУ, 2018р.). У повному обсязі робота доповідалась і отримала позитивний відгук на науково-технічних семінарах у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя (2018 р.)

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи й результати дослідження опубліковано в 24 наукових працях, з них 11 публікацій – у наукових фахових виданнях України та 1 стаття в закордонному періодичному фаховому виданні, 7 матеріалів тез конференцій, 6 патенти України на корисні моделі.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 189 найменувань і 4 додатки. Основні результати викладено на 138 сторінках, де міститься 51 рисуноків і 15 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки.



## РОЗДІЛ 1

# СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ПРИБОРІВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ НАРІЗАННЯ ВНУТРІШНІХ РІЗЕЙ

### 1.1. Види різьб і конструкцій інструменту для утворення отворів

Поняття різь (нарізь, різьба) означає гвинтову канавку на циліндричній або конічній поверхні чого-небудь (рівномірно розташовані виступи чи впадини постійного перерізу на зовнішній чи внутрішній бічній циліндричній чи конічній поверхні по гвинтовій лінії з постійним кроком [81, 114, 168].

Загалом різі класифікують наступним чином (ДСТУ 2497-94):

- за одиницею вимірювання кроку різі поділяють на: метричну, дюймову, модульну, пітчеву;
- за розташуванням на поверхні: зовнішня та внутрішня;
- за напрямом руху гвинтової поверхні: права та ліва;
- за профілем: трикутна, трапецеїдальна, прямокутна, кругла, упорна, іншої нестандартної форми (основні типи різей представлено на рис. 1.1.);
- за формою поверхні, на якій розташована різь: циліндрична та конічна.

Різьбові з'єднання разом із зварними є найпоширенішими у машинобудуванні. Для виконання на поверхнях деталей різних типів різей використовуються різноманітні методи та інструменти.

Основні вимоги до різей і різьбових з'єднань визначаються: ДСТУ 2497-94 (Основні норми взаємозамінності. Різьба і різьбові з'єднання. Терміни та визначення); ГОСТ 24705-2004 (ИСО 724:1993) (Резьба метрическая. Основные размеры); ГОСТ 9150-81 (Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Профиль); ГОСТ 8724-81 (Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Диаметры и шаги); ISO 965-1:1998 (Різні метричні ISO загального призначення. Допуски. (в 5 частинах)); ISO 261:1998 (Різні метричні ISO загального призначення. Загальний вигляд); ISO 262:1998 (Різні ISO метричні загального призначення).


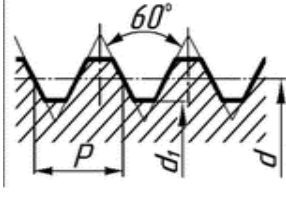
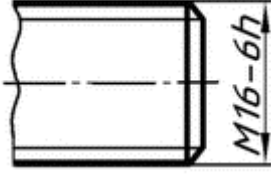
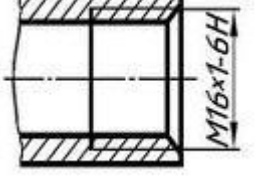
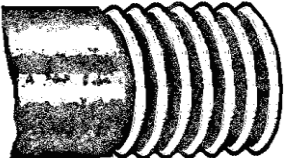
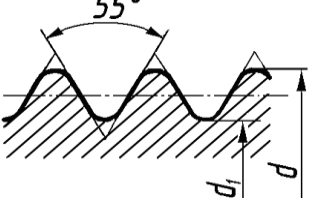
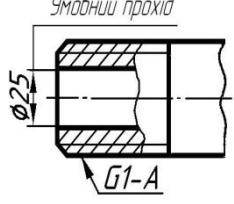
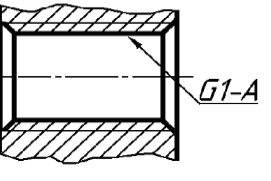
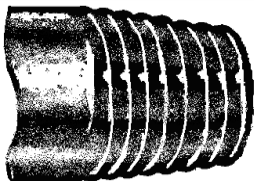
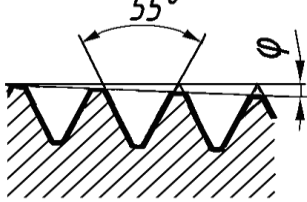
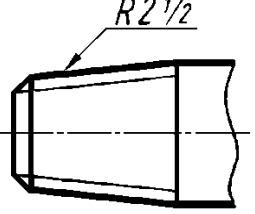
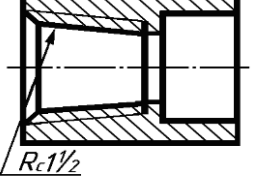
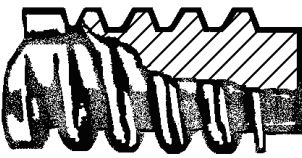
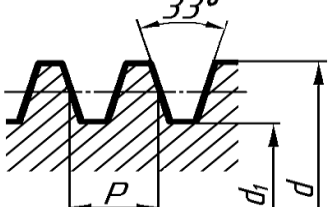
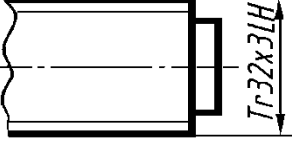
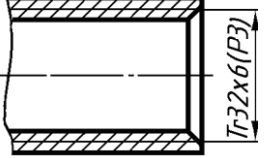
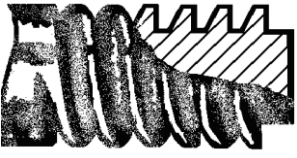
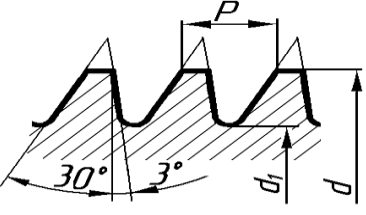
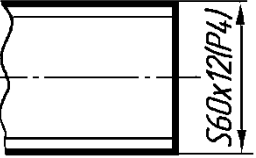
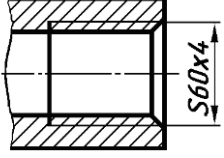

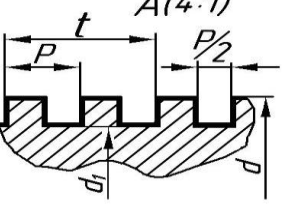
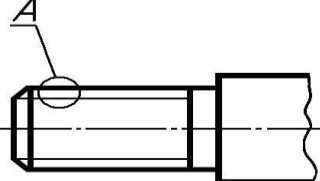
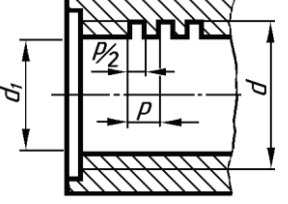
Зовнішній вигляд	Профіль різи	Зовнішній вигляд різи	
<b>Різьба метрична</b>			
			
<b>Різьба трубна циліндрична</b>			
			
<b>Різьба трубна конічна</b>			
			
<b>Різьба трапеціадальна</b>			
			
<b>Різьба упорна</b>			
			
<b>Різьба прямокутна нестандартна</b>			
			

Рис.1.1 – Основні типи різей

Для сучасного машинобудування величезне революційне значення має інструмент, який задіюється у технологічних операціях. На сьогоднішній день уже не намагаються розглядати інструмент як якийсь механічний придатак до верстата. Часто винахід нових або удосконалення існуючих інструментів забезпечує розвиток верстатобудування, як, приклад, розвиток інструментів для оброблення зубчастих коліс забезпечив створення нових верстатів для цієї обробки (винахід нових інструментів для оброблення зубчастих коліс, таких як черв'ячна фреза, довб'яки, гребінки, зубоутворюючої головки, обкатні різці, шевера, різцеві головки для кругового зачеплення, фрези-протяжки для конічних прямозубих коліс та інші стали причиною появи цілої серії спеціальних зубонарізних верстатів). Слід також вказати на величезний вплив, який мають на конструкцію верстатів інструменти, що виконані з матеріалів з більш високими ріжучими властивостями [83, 137].

Спеціалізовані інструментальні заводи випускають більш дешевий і кращий за якістю інструмент в порівнянні з тим, що забезпечує внутрішньозаводське інструментальне виробництво, і це заставляє звертати увагу на розвиток інструментальної промисловості. Тому машинобудівним підприємствам завжди вигідніше купувати інструмент на стороні, ніж виготовляти його у себе. Раніше в Україні кожне солідне металообробне підприємство володіло інструментальною базою, яка, крім ріжучого інструменту, виготовляла все необхідне для підприємства інструментальне і технологічне оснащення, а часто і спеціальне обладнання. Проте за кількість верстатів і зайнятістю працівників таке виробництво інструменту в інструментальних цехах неспеціалізованих підприємств значно уступає випуску продукції спеціалізованої інструментальної промисловості.

За роки свого існування інструментальна промисловість виконала величезну роботу по освоєнню простих і складних прецизійних і високопродуктивних інструментів для оброблення різьбових отворів: свердл, розверток, зенкерів, мітчиків, зуборізних різців і гребінок, протяжок, різцевих головок, збірних конструкцій інструментів з вставними зубами (фрези, розвертки, зенкери),

складних різьбонарізних головок для зовнішньої і внутрішньої різьби, різних деталей з плоскими і круглими плашками, муфтонарізних і трубонарізних патронів для нафтової промисловості, різьбонакатних головок тощо. Деколи різьбонарізні інструменти можуть бути використані як для утворення зовнішніх, так і для виконання внутрішніх різей.

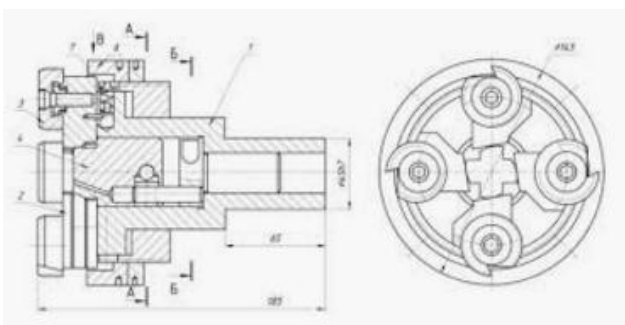
Коротко проаналізуємо найбільш розповсюджені методи формування різних типів різей і застосовуваних для них інструментів [16, 81, 137].

Для нарізання зовнішньої різі використовують круглі плашки (рис. 1.2), які мають широке застосування через свою універсальності, дешевизну та простоту в експлуатації. За формою зовнішньої поверхні вони бувають круглими, квадратними, шестигранними та трубчатими.



Рис. 1.2 – Плашки

Різьбонарізні головки (рис. 1.3) використовуються для нарізання зовнішніх та внутрішніх різей і володіють значними перевагами у порівнянні з іншими інструментами. Проте через свою конструктивну складність вони не отримали широкого застосування.



а)



б)

Рис. 1.3 – Різьбонарізні головки: а) для нарізання внутрішньої різі; б) для нарізання зовнішньої різі

Різьбонарізними фрезами (рис. 1.4) нарізають зовнішні та внутрішні різі гострокутного та трапеціадального виду. Основною характеристикою методу обробки з їх використанням є висока продуктивність при зниженій якості різі.



Рис. 1.4 – Різьбонарізні фрези

Різьбошліфування забезпечує високу точність і якість різі. Цей метод може застосовуватись як кінцева додаткова операція з метою підвищення якості отриманої різі виконаної іншими методами різьби, а також і як окрема операція вишліфовування різьби.

Одним із самих прогресивних методів отримання різі є її накатування роликками, накатними головками і плашками (розкочування для внутрішніх різей), що забезпечує отримання різі не шляхом зняття стружки, а при використанні пластичної деформації металу (рис. 1.5).



Рис. 1.5 – Інструмент для накатування різі: а) ролик для розкочування внутрішньої різі; б) різьбонакатна головка; в) різьбонакатні плашки

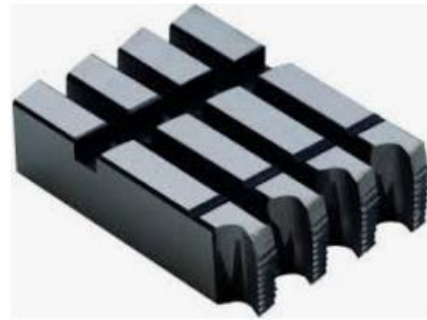
Свого часу нарізання різі різцями і гребінками (рис. 1.6) знайшло найширше розповсюдження на токарно-гвинторізних станках та автоматах при невеликих партіях деталей (одиничне і серійне виробництво), а також у випадках коли інший інструмент неможливо або не вигідно застосовувати (наприклад, для нарізання різі на поверхні деталей великих розмірів). На даний час нарізання різі з допомогою різців в основному виконується швидкісним методом. Загалом різьбонарізні різці призначенні для нарізання різноманітних типів різей: зовнішньої і внутрішньої

різьби різноманітного профілю, гострокутної, трапецеїдальної, прямокутної і т.д. За конструктивними особливостями вони поділяються на стержневі призматичні та круглі. Стержневі різці для гострокутної різьби відрізняються від звичайних токарних різців формою головки, що забезпечує відповідний профіль різі, а перевагою круглих різців є можливість отримання більшої кількості переточок.

На відміну від різців різьбонарізні гребінки забезпеченні декількома витками (як правило до 8), які поділяються на ріжучі (до 2 витків) і калібруючі (до 6 витків). У порівнянні з різцями гребінки забезпечують більш рівномірне нарізання різі, вимагають меншої кількості проходів і забезпечують більшу продуктивність [16, 166].



а)



б)

Рис. 1.6 – Різьбонарізні гребінки: а) круглі; б) призматичні

За формою гребінки поділяються на круглі (рис. 1.6.а) та призматичні (рис. 1.6.б). Круглі є більш технологічні у порівнянні з призматичними, а тому отримали більш широке застосування. Для полегшення обробки на різьбошліфувальному верстаті круглі гребінки (рис. 1.7) забезпечується витками, які розміщені по гвинтовій лінії. Для деталей з правою зовнішньою різьбою використовують гребінки з лівою різзю, для деталей з лівою зовнішньою різьбою - з правою різзю, а при внутрішньому нарізанні напрямлення витків деталі повинно співпадати з напрямком витків гребінки, бо лише при такому напрямку витків можна отримати співпадіння нахилу різьби деталі з нахилом різі гребінки.

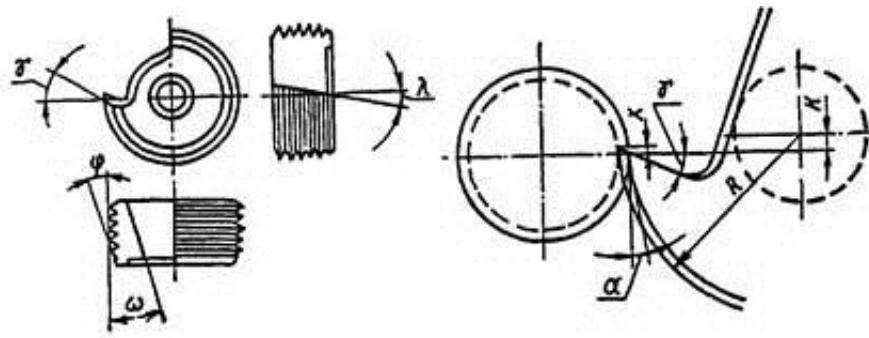


Рис. 1.7 - Геометричні параметри круглої гребінки

При нарізанні трапецеїдальної різі та черв'яків використовують спеціальні різці для трапецеїдальних різей. Різець встановлюється перпендикулярно середній гвинтовій лінії (в профільному січенні) або може бути встановлений таким чином, щоб ріжуча кромка на вершині його була розміщена у впадинах або по осі деталі (в осьовому січенні), і в цьому випадку бокові сторони профіля різця, як утворюючі гвинтової архімедової поверхні гвинта, є прямолінійними і виготовлення такого різця не являє важкості [21, 162]. Значним недоліком різця є нерівномірні умови різання на сторонах профіля різця. Одна сторона має вигідний кут різання, тоді як інша знаходиться в невідгідних умовах.

Мітчики призначенні для нарізання або калібрування різей в отворах і за конструкцією та застосуванням поділяються на такі основні типи [166]:

1. Ручні - для нарізання різей вручну, складаються вони зазвичай з одного, двох або трьох штук в комплекті.
2. Машинні - для нарізання різей в різних деталях на верстатах або за допомогою пневматичних або електричних дрилів.
3. Гайкові - для нарізання різей в гайках на гайконарізних верстатах, які виготовляються з короткими або довгими хвостовиками.
4. Плашечні та маточні - для нарізання і калібрування різей в плашках.
5. Трубні – для нарізання трубної різі в трубах і муфтах.
6. Конічні - для нарізання конічної різі.
7. Мітчики збірної конструкції, регульовані, нерегульовані та самовідключні (різьбонарізні головки для внутрішньої різьби).

8. Калібрувальні - для калібрування і зачистки різей в різних деталях, попередньо вже нарізаних іншими різьбонарізними інструментами.

9. Спеціальні- здвоєнні, ступінчасті, з перервною різьєю для різі трапецеїдальної, прямокутної та інших видів профілю.

Основними конструктивними елементами мітчика (рис. 1.8) є [137, 143]: ріжуча і калібруюча частини, число, профіль і направлення канавок, кути різання, потончення калібруючої частини, елементи різі, комплектність, затискна частина. Ріжуча частина є важливим конструктивним елементом мітчика, так як виконує основну роботу по вирізання профіля. Для розподілення роботи різання на більшу кількість окремих різців ріжуча частина оформляється у вигляді конуса і її довжина має вплив на продуктивність нарізання, стійкість інструмента та точність нарізки різі. Завершальне формування різі закінчується після проходу першого калібруючого витка, як маючого повну висоту профіля різі, а наступні витки не беруть участь в калібруванні різі і служать лише для направлення в роботі і забезпечення переміщення мітчика за подачею (самозатягування).

По мірі затуплення першого повного витка мітчик переточується і наступний виток стає калібрувальним, а тому калібруюча частина виконує роль резерву для переточки мітчика.

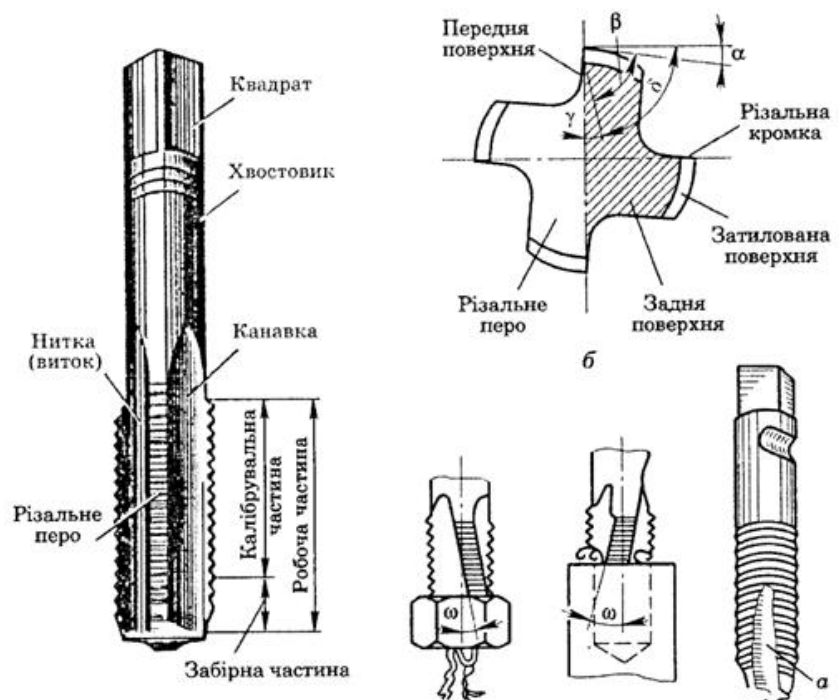


Рис. 1.8 - Будова мітчика

Часто при нарізанні в'язких і важкооброблюваних матеріалів (алюміній, мідь, м'яка сталь, жаростійкі сталі, титанові сплави і т.д.) звичайні мітчики



ламаються і не забезпечують потрібної якості різі. В процесі нарізання різі ріжучі зуби діють як клинки, оброблюваний матеріал створює порівняно невеликий опір безперервному ряду зубів, а відділювана стружка спресовується в канавках і між виткам інструменту й усією масою давить на зуби, що спричиняє його заклинювання та поломку. Тому для полегшення роботи нарізання добре себе зарекомендували мітчики з перервною різзю, у яких зуби зрізають стружку в шаховому порядку. Як правило такі зуби утворюють лише на калібруючій частині мітчика, бо на ріжучій існують надто великі навантаження. Також мітчики даної конструкції використовують при нарізанні отворів в тонкостінних деталях.

Конструкція безканавочних мітчків (рис. 1.9.а) не передбачає повздовжніх наскрізних канавок; вони виконуються на невеликій довжині зазвичай рівній подвійній довжині ріжучої частини під кутом до осі  $9-12^\circ$ , з напрямком зворотнім до напрямку зубів, а ріжучі кромки на калібруючій частині у них призначені для видалення видавлених в процесі різання заусенець і зачистки різі від стружки та бруду [137].

Такі мітчики володіють цілим рядом переваг: вони забезпечують високу кращі умови різання і відводу стружки, більш повне використання матеріалу через багаторазове подовження канавок після повного сточування ширини пера, вищу чистоту оброблюваної поверхні, також зростає міцність мітчика. Використовуються для оброблення легких сплавів, кольорових металів, в'язкої сталі, а також для нержавіючих сплавів різноманітних марок [108].

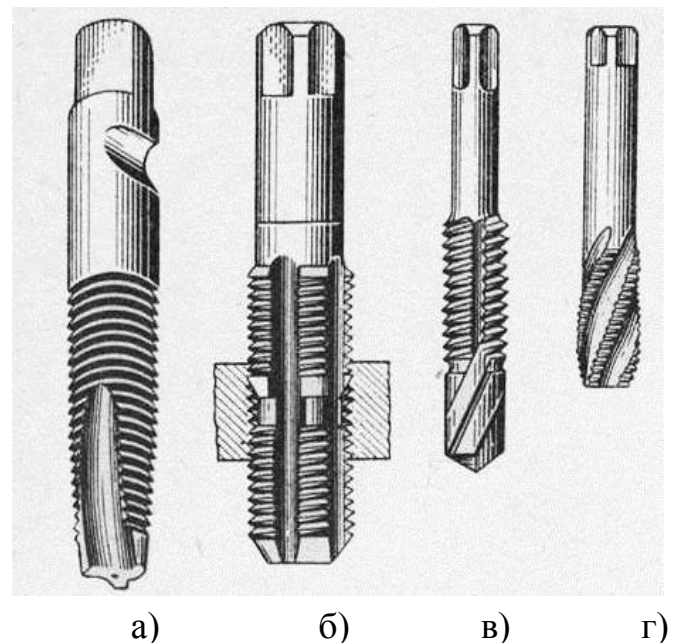


Рис. 1.9 - Види мітчиків: а) безканавочний мітчик; б) комбінований; в) мітчик-свердло; г) з гвинтовими канавками

Комбіновані мітчики (рис. 1.9.б і рис. 1.9.в) на сьогоднішній день отримують все більшого поширення. Як правило такі мітчики використовуються для свердління наскрізних отворів у стінках невисокої товщини з подальшим нарізанням різі. Тому ці комбіновані мітчики є, як правило, комбінованими свердлами-мітчиками (рис. 1.10).



Рис. 1.10 - Комбіновані свердла-мітчики

Мітчики збірної конструкції поділяються на три групи [47, 108]: нерегульовані мітчики з вставними гребінками, які виконують роль пера; регульовані мітчики зі вставними гребінками, які шляхом переміщення забезпечують установку на розмір різьби; самовимикаючі мітчики. До конструкцій збірних мітчиків висувають наступні вимоги: точність нарізки різі і чистота обробленої поверхні, простота і зручність в регулюванні мітчиків, безвідмовність в роботі, технологічність, універсальність, надійність тощо.

Мітчики для нарізання трубної різі (рис. 1.11) виготовляють комплектами з двох штук для виконання двох переходів при нарізанні різі. Перший мітчик робиться меншим по зовнішньому діаметру за другий на одну глибину різі, а діаметр ріжучої частини другого мітчика є рівним внутрішньому діаметру різі першого. У першого мітчика ріжуча частина становить чотири або п'ять витків, а в другого два – три. При переточуванні кількість ріжучих витків зростає.



Рис. 1.11 – Мітчики для нарізання трубної різі

У машинобудуванні для нарізання різі в круглих плашках широко використовуються плашкові мітчики, а для її зачистки та калібрування - маточні мітчики. Для нарізання різі в круглих плашок діаметром до 3 мм і від 6 мм застосовується один мітчик, в від 6 до 3 мм – два мітчики. Для зачистки і калібрування отриманої в круглих плашках різі застосовуються маточні мітчики з довжиною ріжучої частини рівною 12 виткам і калібруючої частини рівною 10 виткам.

Трапецеїдальна різь в силу своїх переваг (висока міцність, усунення осьових зазорів, технологічність виготовлення) отримала широке застосування на практиці і широко застосовується в механізмах призначених для переміщення, таких як ходові гвинти та гайки для них. Конструювання і виготовлення мітчиків для трапецеїдальної різьби, в порівнянні з гострокутною, відрізняються значною складністю через значні зусилля, які виникають при нарізанні трапецеїдальної різі (значна подача та велике січення стружки), бо при неправильному їх розрахунку та використанні часто виникають понаднормові перевантаження та їх поломки. Для їх уникнення і правильного розподілу навантаження використовують комплекти мітчиків для трапецеїдальної різі від двох до п'яти та більше, в залежності від розмірів нарізаємої різі та фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу.

Для щільної циліндричної різі необхідно застосувати різноманітні ущільнюючі речовини, а для конічної різі цього робити не потрібно, бо щільність різьбового з'єднання забезпечується за рахунок деформації витків. Тому конічні різі отримали широке застосування в різних галузях промисловості для різьбових з'єднань паливних, масляних, водяних та повітряних трубопроводів машин і верстаті, а також їх використовують при наявності високих тисків і температур. Тому потреба в такому типі різі зумовила появу мітчиків для конічної різі, які, в порівнянні з мітчиками для циліндричної різі, мають такі особливості: нарізання конічної різі в деталі виконується одночасно по всій робочій частині мітчика на довжинні всієї різі, що в процесі різання зумовлює великі зусилля, а тому нарізання конічних різі проводиться виключно на верстатах.

## 1.2. Матеріали, які використовуються для виготовлення різьбонарізних пристроїв і термічна обробка інструменту

Різальна частина інструменту під час роботи піддається зношенню, тепловим впливам і силовим навантаженням. Тому інструментальний матеріал повинен мати високу твердість, теплостійкість, зносостійкість, достатню міцність та ударну в'язкість. Твердість інструменту повинна значно перевищувати твердість матеріалу заготовки [42].

До інструментальних матеріалів належать сталі, тверді сплави, мінералокераміка і надтверді матеріали (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

### Інструментальні матеріали

Сталі	Тверді сплави	Мінералокераміка	Надтверді матеріали
Вуглецеві	WC-Co	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiC	Алмаз,
Леговані	WC-TiC-Co		ельбор
Швидкорізальні	WC-TiC-Ta-Co		(кубічний нітрид бору)

Властивість матеріалу зберігати необхідну твердість при високій температурі називається теплостійкістю (червоностійкістю). Під впливом високої температури під час різання твердість інструмента знижується і може виявитися недостатньою для здійснення різання. Від теплостійкості залежить допустима швидкість різання. Ударна в'язкість необхідна для інструментів ударної дії.

Технологічні властивості деяких марок інструментальних матеріалів наведені у таблиці 1.2.

Вуглецеві інструментальні сталі [22, 23, 65] містять 0,65–1,35% С. Вони маркуються літерою “У” і однією-двома цифрами: У7-У13, У7А-У13А. Літера “У” позначає, що сталь вуглецева, число показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка, літера “А” позначає, що сталь високоякісна, тобто зі зниженим змістом шкідливих домішок, сірки і фосфору. Вуглецеві інструментальні сталі мають високу твердість, міцність, добре шліфуються, дешеві і недефіцитні. Найбільш поширене їх використання наведено у табл. 1.3.

Властивості інструментальних матеріалів

Матеріал	Марка	Твердість	Теплостійкість, °С	Орієнтовна швидкість різання, м/хв.
Вуглецева сталь	У10А	HRC 61-63	150-250	15-18
Легована сталь	ХВГ	HRC 62-64	250-350	До 25
Швидкорізальна сталь	P18	HRC 63-66	600-650	До 100
Твердий сплав	T15K6, BK8	HRA 87-92	1000	До 1000
Мінерало-кераміка	ЦМ-332	HRA 87-92 (HV22500)	1200	До 1500
Ельбор	Ельбор	HV90700	1500	До 1500
Алмаз штучний	АСБ	HV98700	600	До 300

Таблиця 1.3

Використання вуглецевих сталей

Марка сталі	Типове призначення
У7, У7А, У8, У8А	Зубила, клейма, ножиці, штампи, інструмент для обробки деревини
У9, У9А, У10, У10А, У11, У11А	Мітчики, свердла, розвертки, ножівки
У12, У12А, У13, У13А	Напилки, інструмент для гравіювання

Леговані інструментальні сталі [24] звичайно містять 0,9–1,4% С. Сумарний вміст легуючих елементів (Cr, W, Mn, Si, V і ін.) не перевищує 5%. Усі сталі цієї групи роблять високоякісними. Висока твердість і зносостійкість визначаються процентним вмістом вуглецю. Легування використовується головним чином для підвищення прогартовування, а також для збереження дрібного зерна, міцності і в'язкості.

Сталі даної групи маркуються цифрами і літерами [80]. На початку марки цифра показує середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Відсутність цифри означає, що вміст вуглецю становить близько 1%. Літери за цифрами – відповідний легуючий елемент, цифра за літерою – середній вміст цього елемента

в цілих відсотках. Відсутність цифри означає, що даного елемента міститься - 1%. При маркуванні використовують такі літерні позначення легуючих елементів: В – вольфрам; Г – марганець; К – кобальт; М – молібден; Н – нікель; С – кремній; Т – титан; Ф – ванадій; Х – хром.

Найбільше застосування мають дві групи твердих сплавів [1, 10, 176]: вольфрамові (ВК), що складаються з твердих зерен карбіду вольфраму, пов'язаних більш м'яким металом кобальтом, і титано - вольфрамові (ТК), що містять додатково зерна карбіду титану.

Вольфрамові сплави рекомендується застосовувати в основному для обробки чавуну і кольорових металів, титано-вольфрамові - для обробки сталей.

Сталі марок Х, У2Ф, 13Х, ХВСГ, 9ХС, ХВГ використовують для виготовлення плашок, розверток, мітчиків, шаберів та інших інструментів, що працюють при швидкостях різання до 25 м/хв.

Швидкорізальними сталями [44, 47, 55] називаються залізобуглецеві сплави, поліпшені вольфрамом (до 8%), хромом (до 4,5%) і деякими іншими елементами. Такі сталі після термічної обробки набувають високі ріжучі властивості. Швидкорізальні сталі мають більш високу теплостійкість (550–650 °С). Швидкорізальні сталі містять 0,7–1,5% С, до 18% W та інші елементи. У позначенні марок наявна літера Р (від англ. слова «Rapid»), що в перекладі означає “швидкий”. Цифри за цією літерою показують середній вміст вольфраму, який є основним легуючим елементом, тому що забезпечує високу теплостійкість. В металообробці набули поширення безвольфрамові сталі М6Ф1, М6Ф3, М5Ф1С, М5Ф1С4 та інші. Із швидкорізальних сталей виготовляють фасонні різці, свердла, фрези, у тому числі для обробки зубчастих коліс, тощо.

Тверді сплави являють собою сплави карбідів тугоплавких металів з кобальтом, що є своєрідним зв'язуванням [44, 63]. Тверді сплави мають високу твердість, зносостійкість і теплостійкість до 1000 °С. При цьому вони мають меншу ударну в'язкість і теплопровідність у порівнянні зі швидкорізальними сталями. Тверді сплави випускають у вигляді пластинок різних форм і розмірів, виготовлених методом порошкової металургії.

Промисловість випускає три групи вольфрамових твердих сплавів: ВК – вольфрамові, ТК – титановольфрамові і ТТК – титанотанталовольфрамові.

Для універсальних токарних робіт найбільш часто використовуються дві марки твердих сплавів: ВК8, що складається з 92% карбіду вольфраму і 8% кобальту і ТІ5К6, має 79% карбіду вольфраму, 15% карбіду титану і 6% кобальту.

Крім того, існує ще група безвольфрамових твердих сплавів на основі карбідів інших сполук титану з додаванням молібдену, нікелю та інших тугоплавких металів.

Однокарбідні тверді сплави виготовляють на основі карбіду вольфраму і називають вольфрамовими (група ВК). У марках ВК2, ..., ВК30 літера К означає кобальт Со, а цифра показує його вміст у відсотках. Друга складова таких сплавів - карбід вольфраму WC. Сплави цієї групи найміцніші. Зі збільшенням вмісту кобальту підвищується опір сплаву ударним навантаженням, але зменшується його зносостійкість. Застосовуються однокарбідні сплави для обробки чавуну, нержавіючих сталей, кольорових металів і їхніх сплавів, неметалевих матеріалів. Гранична теплостійкість цих матеріалів визначається початком інтенсивного окиснювання карбідів, тобто температурою 950–1000 °С.

Двокарбідні тверді сплави містять карбіди вольфраму та титану і називаються титановольфрамовими (група ТК).

У марках Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4 цифри після літери Т означають відсоток карбіду титану TiC, літера К – Со, цифра після літери К– процентний вміст кобальту, інше – карбіди вольфраму WC.

Сплави цієї групи більш зносостійкі, але менш міцніші за сплави групи ВК. Їх застосовують при обробці вуглецевих і легованих конструкційних сталей. Гранична теплостійкість цих матеріалів визначається початком інтенсивного окиснювання карбідів, тобто температурою 1100–1150 °С.

Трикарбідні тверді сплави у порівнянні зі сплавами групи ТК включають карбіди танталу і називаються титанотанталовольфрамовими (група ТТК). У марках ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9 цифра перед літерою К показує сумарний вміст карбідів титану і танталу, після літери К – вміст Со, інше – WC.

Сплави цієї групи мають високу міцність і застосовуються при обробці жароміцних сталей і сплавів, титанових сплавів [137].

При призначенні матеріалу різальної частини інструмента, оснащеного твердим сплавом, технолог повинен враховувати те, що для чорнової обробки вміст кобальту має бути максимальним, а для чистової – навпаки. Тверді сплави випускають у вигляді багатогранних пластин, які закріплюють на різальному інструменті паянням або механічним кріпленням.

Мінералокераміка [142] створена на основі окису алюмінію (99%) з додаванням легуючих елементів. До неї належать марки ЦМ-332, ВШ-75, ВОК 60 тощо. Ці матеріали широко застосовуються для чистових і фінішних операцій при обробці сталевих і чавунних заготовок підвищеної міцності (наприклад, вибілений чавун).

Штучні та природні алмази масою 0,2–0,85 карата закріплюють на інструменті механічним способом або напаюванням. Алмази застосовують для виготовлення абразивного інструменту, для чистового точіння заготовок з кольорових металів і сплавів, пластмас та інших неметалевих матеріалів, обробки твердих сплавів, а також іншого інструменту. Проте алмаз не дуже теплостійкий (до 600 °С) і при більшому нагріванні він перетворюється на графіт матеріал. Галузь застосування алмазних інструментів обмежується високою адгезією до заліза, що є причиною його низької зносостійкості при точінні сталей і чавунів.

Кубічний нітрид бору (КНБ), відомий за назвами Ельбор-Р, Композит, Боразон, Кубоніт та Гексаніт-р, застосовують для виготовлення різальної частини різців, фрез тощо [143]. Він випускається у вигляді пластин круглої форми діаметром до 30 мм і довжиною до 8 мм. Маючи хімічну інертність до вуглецю і заліза, КНБ успішно використовується при обробці сталей і чавунів. КНБ за твердістю наближається до алмаза і приблизно вдвічі перевершує його за теплостійкістю (1600°С). При фінішній обробці таким інструментом заготовок із чавуну або загартованих сталей високої твердості досягається шорсткість поверхні, що відповідає шліфуванню. Значного підвищення працездатності



інструмента (від 1,5 до 3 разів) можна досягти нанесенням на різальну частину тонкого (5-10 мкм) шару спеціального покриття.

Найбільш поширеними є одно- та багат шарові покриття не тільки на основі карбідів, нітридів та карбонітридів титану, а і на основі сполук інших тугоплавких металів (Nb, Ta, Cr, Zr, Mo) та їх композицій (TiZrN, TiAlCN, TiMoN, TiAlN, TiMoCN тощо). Такі покриття наносять шляхом осадження із газової фази на робочі поверхні різальної частини методами CVD (метод хімічного осадження – Chemical Vapour Deposition) та PVD (метод фізичного осадження – Physical Vapour Deposition). Метод CVD практично не має обмежень марок покриттів за їх хімічним складом.

Для зменшення негативного впливу на властивості інструментальних матеріалів високої температури (до 1100 °C), яка необхідна для методу CVD, використовують метод MT-CVD із зменшеною до 800°C температурою реалізації.

Для нанесення покриття електрофізичними способами існують спеціальні установки типу “Булат”.

Для того, щоб визначитися з термічною обробкою для сталі ХВГ, розглянемо основні поняття термічної обробки та суть їх застосування.

Термічною обробкою [159-160] називається нагрів сплаву до певної температури, витримка його при даній температурі і подальше охолодження із заданою швидкістю. Метою термічної обробки є отримання заданих властивостей сплаву шляхом зміни його структури без зміни форми і складу. Термічною обробкою можна змінювати властивості сплавів в самих різних цілях. Основними видами термічної обробки, різних змінюються структуру і властивості сталі і призначуваними залежно від вимог, що пред'являються напівфабрикатом і готовим виробам, є відпал, нормалізація, загартування і відпустку.

Відпалювання (відпал). Відпалювання - вид термооброблення, який полягає в нагріванні матеріалу (метал тощо) до температури вище критичної точки, тривалій витримці за цієї температури і подальшому повільному охолодженні. Основними видами відпалювання є гомогенізувальне, графітизувальне, перекристалізаційне, рекристалізаційне, релаксаційне та сфероїдизувальне [1].

Графітизувальне та сфероїдизувальне відпалювання характерне тільки для сталей. Відпалювання підвищує пластичність, зменшує внутрішні напруження, понижує твердість сталей.

Нормалізація. Нормалізацією [160] називають нагрівання до високої температури, видержування і повільне охолодження на повітрі. Нормалізація доводить сталь до дрібнозернистої та однорідної структури. Твердість і міцність сталі після нормалізації вищі, ніж після відпалу.

Гартування. Гартуванням [161] називають нагрівання до високої температури, витримування і швидке охолодження (у воді, мінеральній оліві та інших охолоджувачах). Є такі види загартування: в одному охолоджувачі; перервне; ступінчасте; ізотермічне; поверхнєве та ін. Загартування сталей забезпечує підвищення твердості, виникнення внутрішніх напружень і зменшення пластичності. Твердість збільшується у зв'язку з виникненням таких структур: сорбіт, тростит, мартенсит. Практично загартуванню піддаються середньо- і високовуглецеві сталі.

Відпуск. Відпуском [159-161] називають нагрівання до температури нижчої за 973 К, витримування та повільне охолодження на повітрі. Розрізняють три види відпуску: низький (нагрівання до температури 473 К; середній (573–773 К); високий (773–973 К). Після відпуску певною мірою зменшується твердість і внутрішні напруження, збільшується пластичність і в'язкість сталей. До цього приводить зміна структур після відпуску. Структура мартенситу сталі переходить відповідно в структуру трооститу і сорбіту. Чим вища температура відпуску, тим менша твердість відпущеної сталі і тим більша її пластичність та в'язкість.

Відпуск, в основному, проводять після загартування для зняття внутрішніх напружень. Низький відпуск застосовують при виготовленні різального інструменту, вимірювального інструменту, цементованих деталей та ін.; середній - при виробництві ковальських штампів, пружин, ресор; високий - для багатьох деталей, що зазнають дії високих напружень.

### 1.3. Аналіз результатів теоретичних досліджень нарізання різей і структурно-схемного синтезу верстато-інструментального оснащення

В Україні питаннями різьбонарізання займалися і займаються вчені і спеціалісти київської, тернопільської, севастопольської та інших шкіл. У НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського цим питанням приділяють увагу Пуховський Є.С., Добрянський С.С. [56-57], Радченко С.Г., Сердюк А.В. [145], Таурин Г.Е. [156] та інші. У ТНТУ ім. Івана Пулюя займалися дослідженням оброблення різей і гвинтових поверхонь Нагорняк С.Г. [113], Луців І.В. [89-90, 97, 159], Зінь М.М. [67], Шанайда В.В [173] та інші. У СевНТУ синтезом і дослідженням різьбових інструментів для приладобудування займався Харченко О.О [158, 168] та інші.

Фундаментальні теоретичні основи дослідження конструкцій технологічного спорядження, що забезпечує регулювання подачі при свердлінні отворів та нарізання різі, викладено в наукових працях Вerezуба М.В., Глоби О.В., Жаркова І.Г., Пасічника В.А., Равської Н.С., Нагорняка С.Г., Зеленцова В.В., Кривого П.Д., Тарасюка А.П., Доброскок В.Л., Кобельника В.Р., Arola D., Aspinwall D.K., Bhatnagar N., Boehnke D., Brinksmeier E., Campbl F.C., Chen D., Chen W., Cong W.L., Weiss R.A, Zhang H., та багатьох інших. Повнотою та комплексним підходом до викладення питання теоретичного визначення нарізання різі мітчиками характеризуються роботи С.О. Васіна, О.С. Верещаки, В.С. Кушнера, Ю.О. Розенберга М.Ф. Полетіки, В.І. Подураєва, Н.Н. Зорева, Я.Л. Гуревича, А.М. Данієляна, Є.В. Бурмістрова, В.А. Кривоухова, Н.І. Резникова та інші.

Відомі роботи і раціоналізаторів-токарів при обробленні різних різей різцями та іншим різьбонарізним оснащенням.

Різці, якими нарізують різьбу різного виду, поділяються за конструкцією на стержньові, призматичні і круглі, а за кількістю різальних кромки- на односторонні і багаторіжкові (гребінки) [57, 62].

Найпростіші різці-односторонні стержньові (рис. 1.12) [47, 63]. Їх застосовують для чорнового та чистового нарізання і виготовляють як із швидкорізальної сталі, так і з напаяванням пластин з твердого сплаву для

швидкісного різьбонарізання.

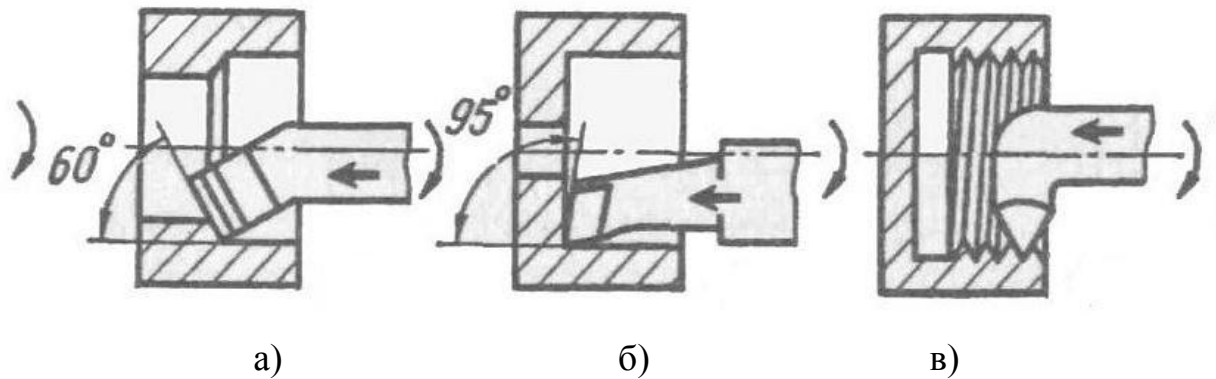


Рис. 1.12 - Способи утворення різі різцями: а), б) - розточними; в) - фасонним

Стержньовими одонитковими різцями нарізують на токарних верстатах зовнішні і внутрішні різьби, ходові і кріпильні різьби різних профілей.

Нарізування різей гребінками продуктивніше, ніж різцями, але через наявність збірної частини гребінки можна застосовувати тільки для нарізування наскрізної різьби. Щоб забезпечити потрібний профіль різьби, потрібно зробити корекційний розрахунок профілю різця.

Особливості конструкції і геометричних параметрів твердосплавних різьбових різців дають можливість використовувати їх при високих швидкостях і зменшеній кількості проходів, що підвищує продуктивність праці.

Збільшення профілю чорнового різця до  $69^\circ$  дає можливість зняти цим різцем основному масу металу, залишивши на чистову обробку незначний шар, тим самим розвантажуючи різальні кромки різці.

Круглі різці з гострокутною різьбою мають ту перевагу, що є можливість отримання великої кількості переточування.

Токар Розсадін Д.Д. запропонував для нарізування різьби в упор зігнутий різець пластинкою, таким різцем можна нарізувати праву і ліву різьби, причому продуктивність нарізування підвищується вдвічі.

Швидкісне нарізування різі можна виконувати різцями [78, 114, 143], закріпленими в обертових головках, змонтованих на супорті токарного або різьбофрезерного верстата. При вихровому методі або методом різьбофрезерування одержують різьбу до 3-го класу точності і 4-6-го класів

чистоти. Різьбу нарізують за один прохід при обертанні деталі із швидкістю 40 м/хв. До методів вихрового різьбонарізання належить також нарізування різьби торцевою фрезою, при цьому продуктивність зростає у 3-6 разів.

Кінематичним схемам різьбарізання присвятив свої роботи Грановський Г.І. [44] та інші [95-96]. Характерна особливість ізенарізання полягає в тому, що при зрізанні припуску різальний інструмент повинен забезпечити точність форми даного профілю різі, що забезпечується кроком  $P$ , а також зовнішнім  $D$ , середнім  $D_2$  та внутрішніми  $D_1$  діаметрами.

Нарізання внутрішньої та зовнішньої різі токарними різцями, гребінками, мітчиками, круглими плашками і різьбарізними головками базується на принциповій кінематичній схемі, зображеній на рис. 1.13, що передбачає одночасно: 1) обертальний рух  $D_r$  навколо осі  $x$ , який є основним рухом, що характеризує швидкість різання  $v$ ; 2) поступальний рух  $D_s$  вздовж осі  $y$ , він є допоміжним рухом і характеризує подачу на один прохід різця або на один ріжучий зуб інших різьбарізних інструментів другої групи (в останньому випадку подача на зуб  $S_z$ ); 3) поступальний рух вздовж осі  $x$ , являється додатковим формоутворюючим рухом  $D_u$ , який характеризує крок  $P$  різі, яку нарізають. Поступальний рух необхідний для створення нормальних умов формоутворення різьової поверхні під дією перших двох рухів [74, 114].

Нарізання різі фрезами також базується на принциповій кінематичній схемі, зображеній на рис. 1.13.б. Ця кінематична схема в процесі передбачає в процесі нарізання різі також три одночасних рухи: 1) обертальний рух навколо осі  $x$  і є головним рухом  $D_r$ ; 2) обертальний рух навколо осі  $z$ , яка є паралельною осі  $x$  і допоміжним рухом  $D_s$  колової подачі; 3) поступальний

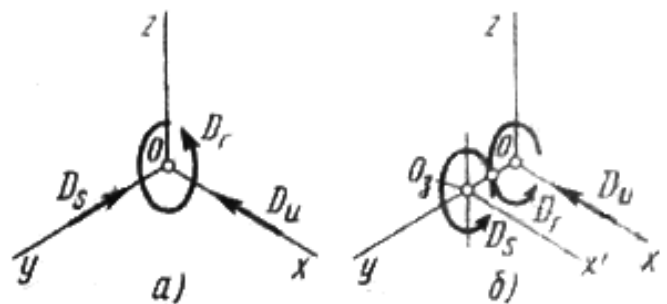


Рис. 1.13 – Принципова кінематична схема різьбарізання:  
а) різьбовими різцями, гребінками, круглими плашками, різьбарізними головками; б) різьбовими одно- та багатодисковими фрезами

рух вздовж осі  $x$ , який є допоміжним рухом формоутворення  $D_u$ . Обертальний рух  $D_r$  і  $D_s$  кількісно характеризується основними режимними параметрами – швидкістю різання  $v$  і подачею на зуб фрези  $S_z$ ; допоміжні рухи  $D_u$  кількісно виражаються величиною рівною кроку різі, що нарізають.

Значний вклад в питаннях системно-морфологічного підходу в галузі машинобудування внесли вчені Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Михайлов О.М., Нагорняк С.Г., Настасенко В.О., Половінкін О.І. та їх учні [90-92].

Вагомий внесок у розвиток пошуку нових технічних рішень внесли Альтшуллер Г.С. [4-5], Андрейчиков А.В. [7-9], Бєлий І.В. [17], Буш Т.Я. [27, 28], Джонс К. [53], Кіндрацький Б.І. [73-74], Кузнєцов Ю.М. [85-90], Мойсеєва Н.К. [110], Одрін В.М. [118], Половінкін А.І. [131-132], Роках А.Г. [138], Романова Н.В. [139], Скобцов Ю.А. [147], Столяров А.М. [152], Фінан І. [177], Холланд І. [179] та інші.

Процедури структурного та параметричного синтезів здійснюються незалежно, використовуючи різні за структурою математичні моделі та методи [73, 131-132]. На сьогодні найбільш поширеними формалізованими методами генерування механічних систем в машинобудуванні є метод морфологічного аналізу та метод генерування структурних моделей за допомогою типових математичних моделей [73], а також для синтезу механічних конструкцій часто застосовують методи динамічного програмування, відсікань і метод Лагранжа [73], який забезпечує пришвидшення пошуку точного розв'язку при збереженні в загальному випадку експонентного закону залежності тривалості алгоритму від вихідного числа.

Загалом усі методи пошуку нових рішень можна розділити на «класичні» методи та «неокласичні». Відповідно «Класичні» методи поділяють на евристичні та машинні. «Класичні» евристичні методи пошуку нових рішень широко викладені в працях Буша Т.Я. [27, 28], Бірюкова Б.В. [20], Джонса Д.К. [53], Кузнєцова Ю.М. [84-89], а машинні методи автоматизації пошуку нових рішень представлені в роботах Андрейчикова А.В. [7-9] та Альтшуллера Г.С. [4-5] В свою чергу «неокласичні» методи представлені інтелектуальними методами пошуку

нових рішень викладеними в працях Скобцова Ю.А. [147], Холланда І. [179], Вонга Ф. [177], Фінана І. [186].

До широко вживаних евристичних методів генерування ідей і пошуку нових рішень відносять [90]: прямого і зворотного мозкового штурму, контрольних (ключових) питань, метод вільних асоціацій, методи аналогії (прямої, особистої, символічної, фантастичної), методи інверсії, морфологічного аналізу, методи організуючих понять, «матриць відкриття» і десяткових матриць пошуку тощо.

Метод організуючих понять (розроблений Ханzenом Ф. [85]) передбачає генерування ідей в декілька етапів: встановлення організуючих понять і визначення їх відмітних ознак; класифікація організуючих понять по ступеню їх важливості; проведення наочних зіставлень організуючих понять із їхніми відмітними ознаками й розробка на цій основі керівного матеріалу для всіх можливих розв'язків, відповідних до обраних обмежень; оцінка ознак у відношенні їх відповідності спеціальним вимогам завдання; комбінація ознак різних організуючих понять у розв'язки.

До евристичних методів генерування ідей відноситься диференціально-морфологічний метод синтезу, розроблений Кузнецовим Ю.М. [86-89], суть якого полягає в тому, що для вирішення протиріч на стадії пошуку ефективних структур механічних систем використовують евристичні прийоми повного, неповного і комбінованого розчленування окремих елементів системи, використовуючи перестановки, сполучення, встановлення послідовності робіт і функції елементів введення різних зв'язків, вибору їх місця тощо, що дає різні основні і додаткові ефекти.

Недоліками евристичних методів є хаотичність процесу вироблення нових ідей. Тому для нівелювання цих недоліків і кращої формалізації інформації розроблені методи машинного пошуку рішень, які передбачають впорядкування всіх евристичних методів у певну систему (технологію, алгоритм) і з допомогою ПК автоматизації відповідних дій.

### 1.4. Методи розрахунку основних розмірів мітчиків

Точність різі, яка нарізається мітчиком, залежить не тільки від точності різі мітчика, але й від багатьох інших факторів. Вони пов'язані з інструментом (биття перів, викривлення осі тощо) і з експлуатаційними даними (характеристиками оброблюваних матеріалів, режим обробки, мастильно-охолоджуючого середовища тощо). Внаслідок цього не представляється можливим встановити класи точності різі мітчиків в залежності від класу точності нарізуваної різі.

Основними конструктивними елементами мітчика (рис. 1.14) є: параметри різальної  $l_1$  і калібрувальної  $l_2$  частин (лінійні і кутові розміри, кількість, профіль і напрям стружкових канавок, геометрія лез, потоншення калібрувальної частини, елементи різі); приєднувальної частини [172].

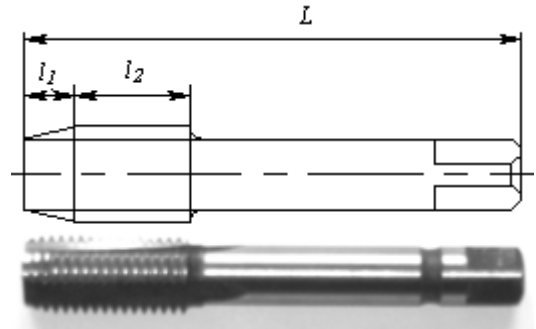


Рис. 1.14 – Мітчик

При нормальних умовах товщина зрізу (рис. 1.15) на всій протяжності ріжучої частини однакова і визначається по формулі [167]:

$$A = h/p, \quad (1.1)$$

де  $p$  - кількість різців на ріжучій частині;  $h$  - фактична висота різі, що вирізається мітчиком з урахуванням того, що частина висоти різі видаляється при свердлінні під різь [51, 76].

Величину розбивки отвора свердлом приймають [44]:  $m = fl$ , де  $f = 0.30-0.18$  для мітчиків від 2 до 30 мм.

Діаметр переднього торця [44]:

$$DT = d_c - 2fl_1 \operatorname{tg} \varphi. \quad (1.2)$$

Довжина ріжучої частини [44]:

$$L = d_0 - d_t / 2 \operatorname{tg} \varphi. \quad (1.3)$$

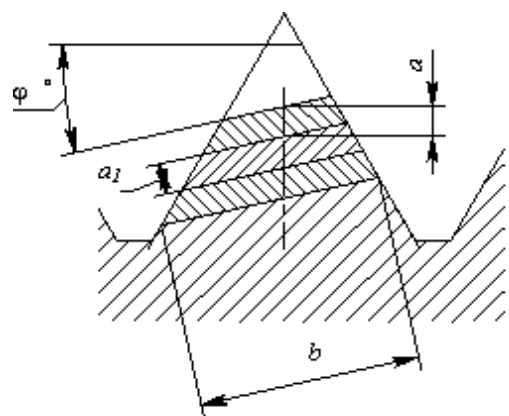


Рис. 1.15 – Товщина і ширина зрізування



З метою забезпечення кращого відводу стружки і усунення забивання канавок стружкою потрібно канавку на ріжучій частині виготовляти гвинтовою або нахиленою під кутом  $L$  до осі і визначаємий по формулі [161]:

$$\operatorname{tg} \lambda = h / l_1 - a. \quad (1.4)$$

Передній кут  $\gamma$  вибирається в залежності від оброблюваного матеріалу [76]. З збільшенням кута  $\gamma$  покращуються умови для формування і відводу стружки, особливо при обробці м'яких або вязких матеріалів, і підвищується чистота нарізаємої поверхні. Рекомендують кут  $\gamma$  для чавуну, бронзи і твердої сталі  $0-5^\circ$ , сталі середньої твердості  $8-10^\circ$ , для м'якої сталі  $12-15^\circ$ , для легких сплавів  $20-30^\circ$ .

Задній кут  $\lambda$  на мітчику отримується шляхом затилування по зовнішньому діаметру ріжучої частини [165]. Величина заднього кута залежить від призначення, типу та розміру мітчика, а також від оброблюваного матеріала. Чим вязкіший матеріал, тим більшим повинен бути кут  $\lambda$ . Проте занадто значна його величина призводить до викришування витків ріжучої частини. Рекомендують кут  $\lambda$  для машинних і гайкових мітчиків  $8-10^\circ$ , для ручних  $6-8^\circ$ . При обробці легких сплавів кут  $\lambda$  зменшується до  $5-6$  градуса, для наскрізних отворів до  $3-4^\circ$  для глухих [155].

Кут профілю різі залежить, в основному, від точності інструменту (накатні ролики, різець, шліфований круг) і правильності його встановлення на верстаті [159]. Для мітчиків, які не шліфовані по профілю різі, необхідно враховувати спотворення по профілю від проведеної термічної обробки. Виготовлення та контроль різі з мілким кроком пов'язані з великим утрудненням, а тому відхилення для малих мітчиків встановлюються менш жорсткішими, ніж для великих.

Крок різі залежить від точності механізму верстата, що забезпечує створення різі на мітчику, а також похибки термічної обробки [166]. Практика показує, що верстати при хорошій експлуатації забезпечують отримання різі з точністю  $0,01$  мм по кроку і вона не залежить від діаметра заготовки. При термічній обробці похибки отримуються значно більшими, приблизно  $0,04-0,07$  мм на  $25$  мм довжини в обидві сторони, незалежно від діаметра заготовки.

Зазвичай величину похибки по кроку дається в плюс та мінус і відноситься до довжини 25 мм. Ця величина повина бути дійсною для відстані між будь-якими витками в межах вимірюваної довжини.

Середній діаметр різі є основною велечиною, яка характеризує ступінь точності мітчика [175]. При виборі відхилення потрібно враховувати похибку виготовлення самого середнього діаметра, похибки кроку та кута профілю різі прохідного різьбового калібра. Середній діаметр мітчика в результаті тертя, яке виникає на боках профілю різі в процесі різання, зношуються. Мітчики з шліфованою різзю повині бути затиловані по всьому профілю, причому затилування зазвичай виконують починаючи від передньої поверхні. При переточках середній діаметр різі мітчика буде зменшуватися. Відповідно знос середнього діаметра і зменшення його при переточуваннях вимагають мати гарантований запас на знос.

Зовнішній діаметр мітчика піддається великому зношенню в порівнянні з середнім діаметром [145]. Це пояснюється тим, що вершини витків гострі, більш схильні до зношенню кутів при термічній обробці і роботі в більш важких умовах при погіршеному відводі тепла. Звідси необхідно дати для зовнішнього діаметра гарантований запас на зношення і при цьому більшою величиною, ніж це передбачено по середньому діаметрі.

Внутрішній діаметр мітчика не повинен приймати участь в роботі різання [114, 144]. Це позитивно відноситься до всіх різьбонарізним інструментам. Для них важливо виключити з роботи різання ріжучу кромку, яка знаходиться на дні впадини витків. Зазвичай це досягається шляхом невеликого збільшення висоти ножки профіля різі або безпосередньо перед попереднім збільшенням нарізаємого отвора (гайки) або зменшення зовнішнього діаметра заготовки (гвинта).

На сьогоднішній день у зв'язку із появою і широким впровадженням в металообробці комбінованих свердл-мітчиків постала гостра потреба в дослідженні процесів одночасного свердління та нарізання різі в отворах. Відтак обґрунтування параметрів та синтез інструментів для оброблення різьбових отворів є не в повній мірі досліджений і потребує нагального вивчення.

### **1.5. Висновки та задачі дослідження**

На підставі аналізу стану питань нарізання різьбових поверхонь в отворах деталей машин можна зробити наступні висновки:

1. Проведений аналіз літературних джерел і патентний пошук технологічних процесів нарізання різей в отворах деталей машин свідчать про те, що вони піддаються конструктивному і технологічному удосконаленню в процесі їх відпрацювання на технологічність конструкції на основі технологічних і механіко-математичних методів моделювання їх роботи.

2. На основі проведеного аналітичного аналізу технологічних процесів нарізання різей в отворах корпусних деталей і технологічного оснащення для їх виготовлення, та заміру конструктивних параметрів встановлено, що на практиці та в літературних джерелах цьому питанню приділено не достатньо уваги, питання є актуальним і його необхідно вирішувати, бо різьбові отвори, за різними даними, в деталях машин складають 60...70%.

3. Загальна характеристика наукової проблеми показує, що ряд питань теоретичного та технологічного забезпечення виготовлення різьбових отворів у тонкостінних деталях машин у звичайному та автоматизованому виробництві вимагають подальшого розроблення та дослідження, й особливо це ця проблема стосується дослідженні процесів одночасного свердління та нарізання різі комбінованими свердлами-мітчиками.

4. Відтак створення високопродуктивного технологічного оснащення з метою збільшення продуктивності праці комбінованим інструментом для оброблення різьбових отворів на основі синтезу та його дослідження потребує подальшого опрацювання.

## РОЗДІЛ 2

### СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ РІЗЬБОВИХ ОТВОРІВ

#### 2.1. Структурний синтез пристроїв та інструменту для нарізання різи

Оскільки задачі структурно-схемного синтезу можуть бути різної складності, то морфологічний аналіз доцільно проводити на різних рівнях ієрархії, починаючи з нульового (рис.2.1) [ 85 ].

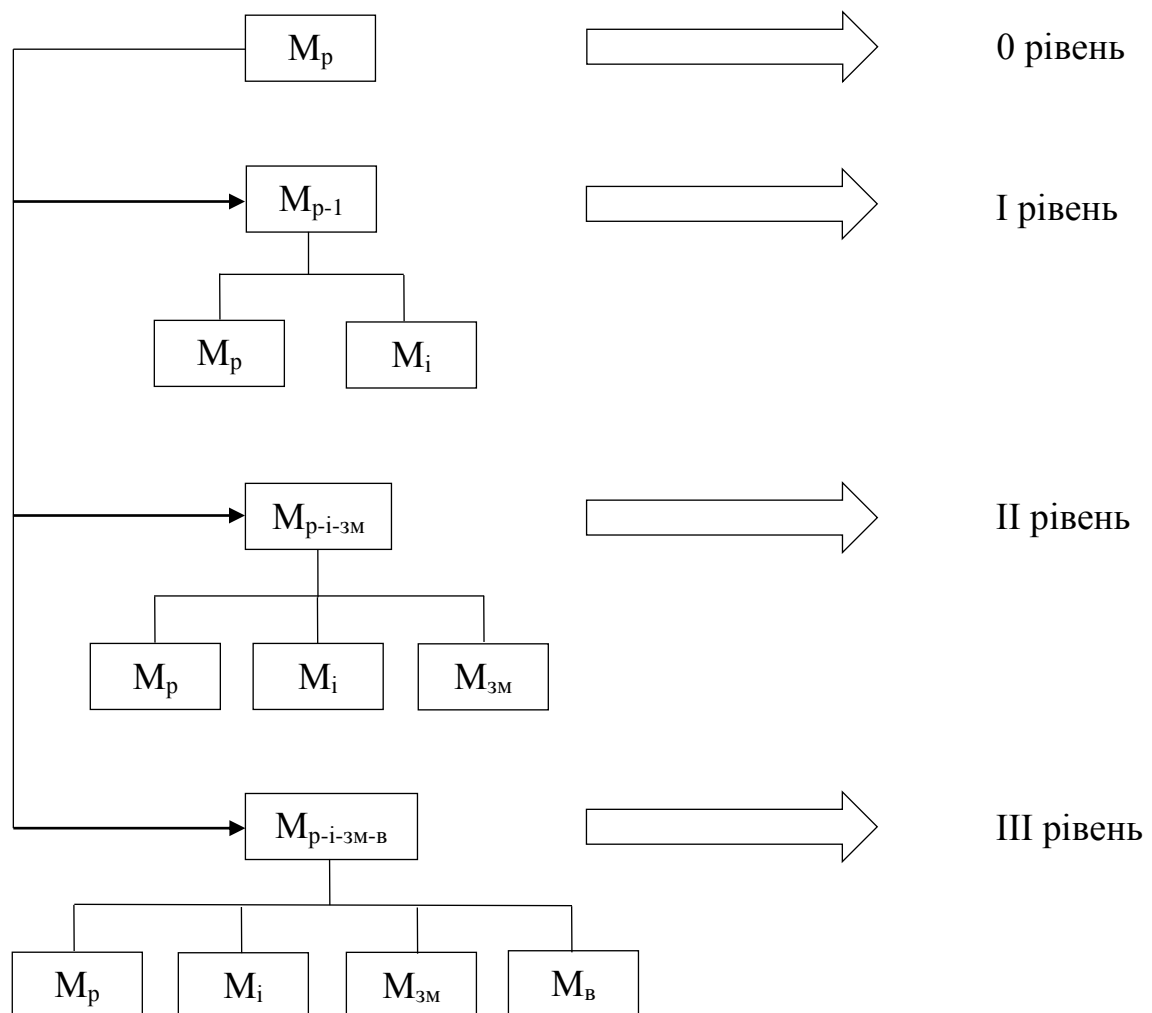


Рис. 2.1 – Ієрархія морфологічного аналізу і синтезу верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів

Для кожного рівня може бути побудована своя морфологічна модель у вигляді морфологічної таблиці з ознаками і альтернативами (варіантами) реалізації: ознаки 1-5 (табл. 2.1); ознаки 6, 7 (табл. 2.2); ознаки 8-12 (табл. 2.3); ознаки 13-18 (табл. 2.4).

Таблиця 2.1

## Морфологічна таблиця різьб

<i>1. Вид</i>	<i>2. Форма профіля</i>	<i>3. Кількість заходів</i>	<i>4. Деталь з різьбою</i>	<i>5. Місце розташування отвору відносно осі деталі</i>
1.1 Циліндрична 1.2 Конічна	2.1 Метрична трикутна 2.2 Трапецоїдна 2.3 Прямокутна (стрічкова) 2.4 Упорна 2.5 Кругла	3.1 Один 3.2 Два 3.3 Три 3.4 Чотири	4.1 Циліндрична тонкостінна 4.2 Циліндрична товстостінна 4.3 Комбінована	5.1 Вздовж 5.2 Паралельно 5.3 Перпендикулярно 5.4 Під кутом

Таблиця 2.2

## Морфологічна таблиця різьбового інструменту

<i>6. Вид (конструктивне виконання)</i>	<i>7. Приєднуюча частина (хвостовик)</i>
6.1 Мітчик	7.1 Циліндрична зовнішня
6.2 Різець	7.2 Циліндрична внутрішня
6.3 Гребінка стержнева	7.3 Конічна зовнішня
6.4 Гребінка кругла	7.4 Конічна внутрішня
6.5 Гребінка призматична	7.5 Квадратна зовнішня
6.6 Свердло-мітчик	7.6 Квадратна внутрішня
6.7 Мітчик-зенкер	7.7 Різьба зовнішня
6.8 Фреза дискова	7.8 Різьба внутрішня
6.9 Різьбонарізна головка	7.9 РК-профіль внутрішній
6.10 Накатний ролик	7.10 РК-профіль внутрішній
6.11 Мітчик безканавочний	7.11 Відсутня

Таблиця 2.3

Морфологічна таблиця затискних механізмів для різьбових інструментів

<i>Привод затиску</i>			<i>Затискний патрон (пристрій)</i>	
<i>8. Джерело енергії</i>	<i>Перетворювач енергії</i>		<i>11. Перетворювач</i>	<i>12. Виконавчий орган (затискний елемент)</i>
	<i>9. Кількість</i>	<i>10. Вид</i>		
8.1 Мускульна сила	9.1 Один	10.1 Механічний	11.1 Твердотільний	12.1 Втулка пружна
8.2 Повітря (вітер)	9.2 Два	10.2 Електричний	11.2 Електромагнітний	циліндрична
8.3 Рідина (олія)	9.3 Декілька	10.3 Гідравлічний	11.3 Магнітний	12.2 Втулка пружна конічна
8.4 Сонце		10.4 Пневматичний	11.4 Гідравлічний	12.3 Цанга пелюсткова
		10.5 Комбінація	11.5 Пневматичний	12.4 Цанга безпелюсткова
		10.6 Немає	11.6 Електростатичний	12.5 Кулачки
			11.7 П'єзоелектричний	12.6 Немає
			11.8 Немає	

Таблиця 2.4

Морфологічна таблиця верстата для оброблення різьбових отворів

<i>13. Тип верстата</i>	<i>14. Система керування</i>	<i>Приводи руху об'єкта обробки (інструменту)</i>				
		<i>15. Призначення</i>	<i>16. Напрямок руху</i>	<i>17. Відбір руху від двигуна</i>	<i>18. Тип виконання</i>	
13.1 Токарний	14.1 Ручне	15.1 Для обертання	16.1 За годинников	17.1 Загальний	18.1 Механічний	
13.2 Свердлильний	14.2 Циклове	15.2 Для поступового переміщення	ою	17.2 Окрем	18.2 Гідравлічний	
13.3 Фрезерний	14.3 Числове		16.2 Проти годинниково	ого	ого	-ний
13.4 Агрегатний	14.4 Комбіноване		стрільки	17.3 Немає		18.3 Пневматичний
13.5 Багатоцільовий		15.3 Комбінація	16.3 Нерухомий		18.4 Електричний	
13.6 Спеціальний					18.5 Магнітний	
					и	
					18.6 Комбінація	

Морфологічні матриці I рівня аналізу і синтезу верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів (табл.2.2):

- повна:

$$M_{p-i} = \left| \begin{array}{ccccc} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 \\ & 2.3 & 3.3 & 4.3 & 5.3 \\ & 2.4 & 3.4 & & 5.4 \\ & 2.5 & & & \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 6.1 & 7.1 \\ 6.2 & 7.2 \\ 6.3 & 7.3 \\ 6.4 & 7.4 \\ 6.5 & 7.5 \\ 6.6 & 7.6 \\ 6.7 & 7.7 \\ 6.8 & 7.8 \\ 6.9 & 7.9 \\ 6.10 & 7.10 \\ 6.11 & 7.11 \end{array} \right|, \quad (2.1)$$

- скорочена (усічена):

$$M^1_{p-i} = \left| \begin{array}{ccccc} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ & 2.2 & & 4.2 & 5.2 \\ & & & & 5.3 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{c} 6.1 & 7.1 \\ 6.6 & 7.3 \\ 6.7 & 7.4 \\ 6.11 & 7.8 \end{array} \right|. \quad (2.2)$$

Згідно повної матриці (2.1) кількість варіантів:

$$N_{p-i} = 2 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 11 \cdot 11 = 58080,$$

а згідно усіченої (2.2):

$$N^1_{p-i} = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4 = 192.$$

Для розв'язання конкретної промислової задачі кількість варіантів може бути додатково скорочена і зведена до можливості відбору кращих варіантів одним з методів експертної оцінки [85-87]. Для прикладу реалізації морфологічного синтезу на I рівні наведені дві запропоновані конструкції, як описані наступними морфологічними формулами:

$$X_1 = |1.1 \ 2.1 \ 3.1 \ 4.1 \ 5.3| \wedge |6.6 \ 7.8| \text{ (патент № 106937);}$$

$$X_2 = |1.1 \ 2.1 \ 3.1 \ 4.1 \ 5.3| \wedge |6.11 \ 7.5| \text{ (патент №124001).}$$

Примітки підкреслені у варіанті  $X_2$  відмітні від варіанту  $X_1$  альтернативи 6.11 і 7.5.

Морфологічні матриці II рівня аналізу і синтезу верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів за додаванням табл.2.3 виглядають наступним чином:

- повна:

$$M_{p-i-zm} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccccc} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 \\ & 2.3 & 3.3 & 4.3 & 5.3 \\ & 2.4 & 3.4 & & 5.4 \\ & 2.5 & & & \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{cc} 6.1 & 7.1 \\ 6.2 & 7.2 \\ 6.3 & 7.3 \\ 6.4 & 7.4 \\ 6.5 & 7.5 \\ 6.6 & 7.6 \\ 6.7 & 7.7 \\ 6.8 & 7.8 \\ 6.9 & 7.9 \\ 6.10 & 7.10 \\ 6.11 & 7.11 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{ccc} 8.1 & 9.1 & 10.1 \\ 8.2 & 9.2 & 10.2 \\ 8.3 & 9.3 & 10.3 \\ 8.4 & & 10.4 \\ & & 10.5 \\ & & 10.6 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{cc} 11.1 & 12.1 \\ 11.2 & 12.2 \\ 11.3 & 12.3 \\ 11.4 & 12.4 \\ 11.5 & 12.5 \\ 11.6 & 12.6 \\ 11.7 & 12.7 \\ 11.8 & 12.8 \end{array} \right|, \quad (2.3)$$

- скорочена (усічена):

$$M_{p-i-zm}^1 = \left| \begin{array}{ccccc} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ & 2.2 & & 4.2 & 5.2 \\ & & & & 5.3 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{cc} 6.1 & 7.1 \\ 6.2 & 7.2 \\ 6.3 & 7.3 \\ 6.4 & 7.4 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{ccc} 8.2 & 9.1 & 10.1 \\ 8.3 & & 10.2 \end{array} \right| \wedge \left| \begin{array}{cc} 11.1 & 12.1 \\ 11.2 & 12.3 \\ & 12.5 \end{array} \right| \quad (2.4)$$

Згідно повної матриці (2.3) кількість варіантів:

$$N_{p-i-zm} = N_{p-i} \cdot N_{zm} = 58080 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 8 = 58080 \cdot 4608 = 267632640,$$

- а згідно усіченої (2.4):

$$N_{p-i-zm}^1 = 192 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 = 4608.$$

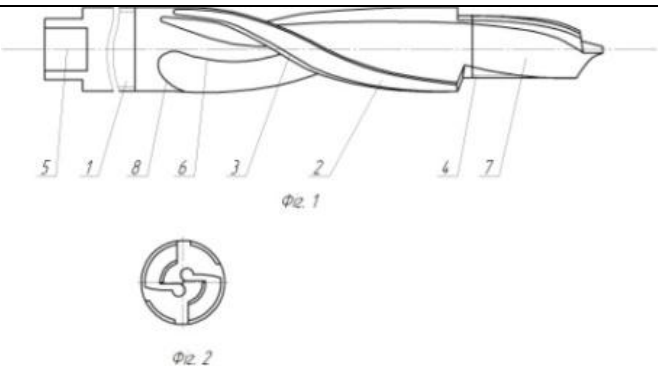
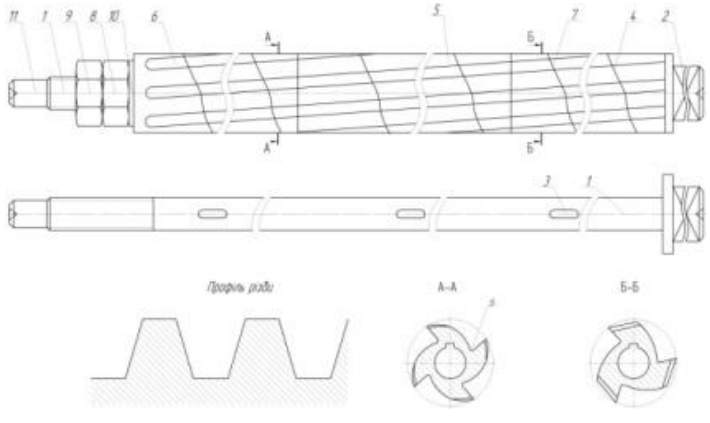


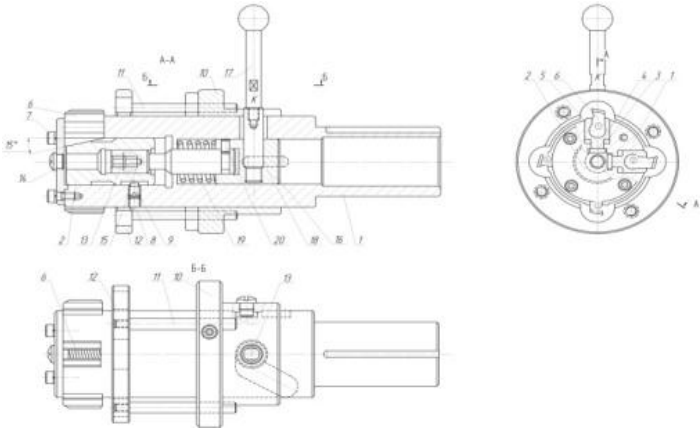
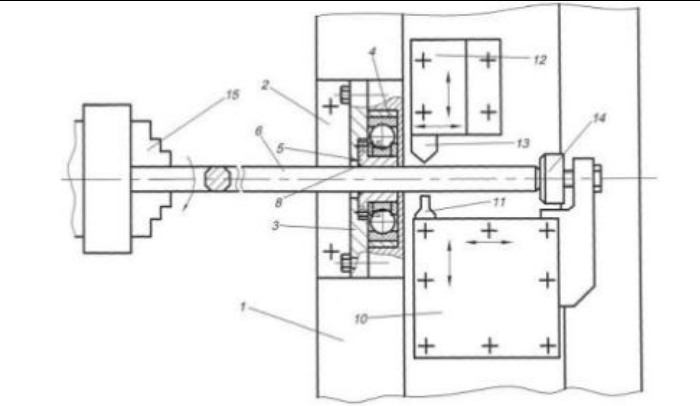
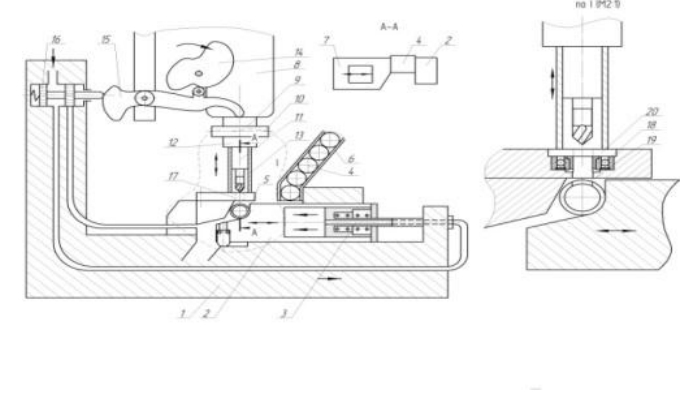
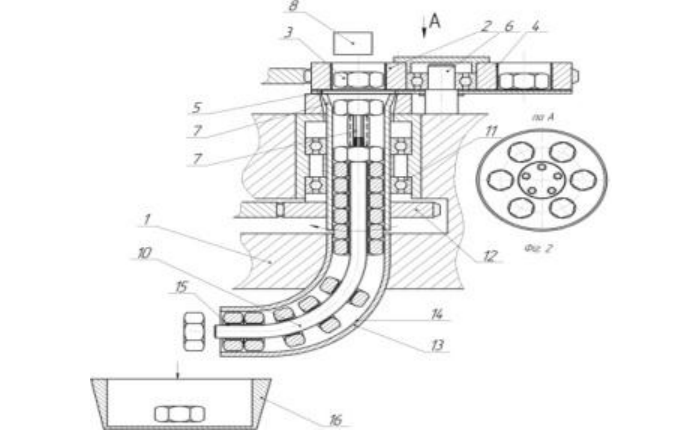
Аналогічно можна розглянути морфологічні моделі III рівня аналізу і синтезу верстано-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів на різних верстатах, користуючись морфологічною табл.2.4.

Синтезовані конструкції захищені патентами України, поданою заявкою і наведені в табл.2.5, які обрані для експертної оцінки і мають покращені експлуатаційні характеристики. Їх морфологічні формули можна записати по аналогії з варіантами  $X_1$  та  $X_2$ .

Таблиця 2.5

Синтезовані конструкції устаткування та інструментів для оброблення отворів під різі

№ п/п	Загальний вигляд устаткування та інструментів для оброблення отворів під різі	Патент
1	<p style="text-align: center;">2</p> 	3  Комбіноване свердло-мітчик Пат. №106937
2		Мітчик –протяжка Пат. №107215

1	2	3
3		<p>Головка для нарізання внутрішніх різей Пат. №107909</p>
4		<p>Люнет токарного верстата Пат. №107251</p>
5		<p>Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різі в трубчатих заготовках Пат. №124231</p>
6		<p>Пристрій для нарізання різі в гайках Пат. №126983</p>

## 2.2. Дослідження впливу зміщення різьбового отвору втулки під дією неврівноваженої радіальної сили

Оброблення різьбових отворів в тонкостінних трубах в переважній більшості передбачає попереднє свердління, від якого залежить якість отвору і як наслідок, якість готового виробу. Для дослідження впливу зміщення різьбового отвору втулки під дією неврівноваженої радіальної сили запропоновано Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різьби

Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різьби в трубчастих заготовках (рис. 2.2) виконано у вигляді корпусу 1 з пневматичним затискним пристроєм 2, який оснащений пневмоциліндром 3 відомої конструкції з можливістю осевого горизонтального переміщення.

Крім цього зверху корпусу 1 встановлено відомий механізм завантаження циліндричних заготовок 4 в зону різання 5 у вигляді лотка 6 відомої конструкції. Для точного базування заготовки 4 на позиції різання її ззаду підтискує пневматичний прижим 7 відомим способом і відомої конструкції.

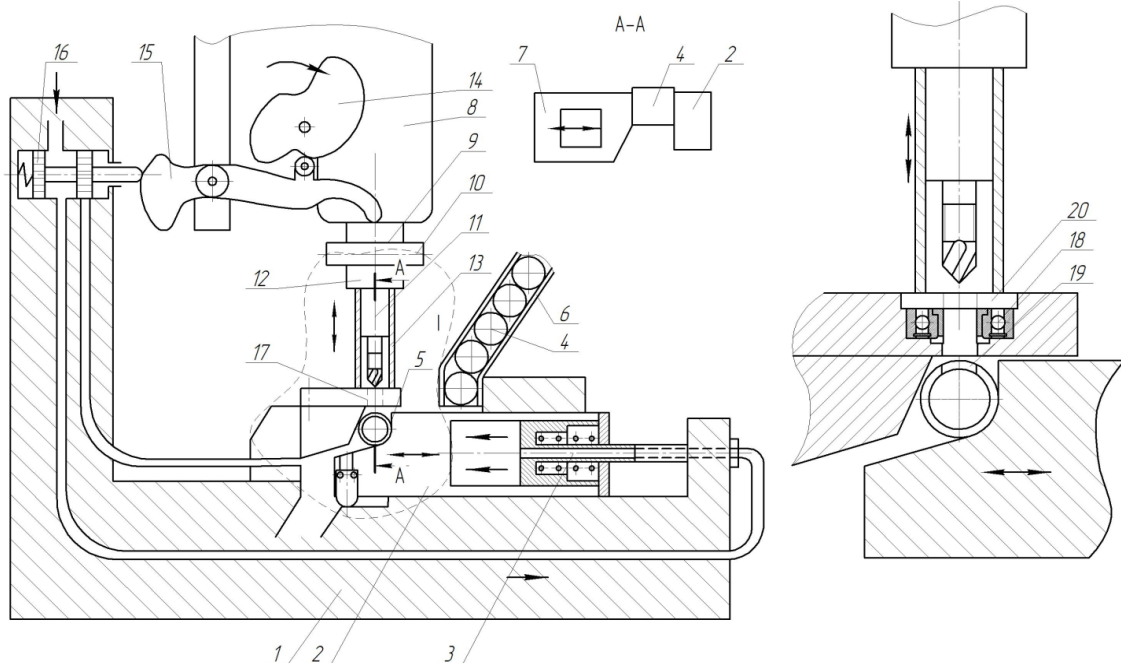


Рис. 2.2 – Конструктивна схема пневматичного автоматизованого пристрою для свердління і нарізання різьби в трубчастих заготовках [128]

Пристрій оснащений шпindelним вузлом 8 вертикально-свердлильного верстату. Це шпindel 9, затискний патрон 10, свердло-мітчик 11, реверс 12 і реверсного упора 13. Робота пристрою здійснюють кулачок подачі 14 заготовок 4 і кулачок 15 регулювання роботи золотника 16, який регулює подачу стиснутого повітря в пневматичні циліндри 7 затиску заготовки 4 і її базування в зоні різання – 5.

Пристрій оснащений кондукторною плитою 17 з кондукторними втулками, які виконані у вигляді упорного підшипника 18 з метою явного зменшення зношення інструментів і підвищення їх надійності і довговічності пристрою при свердлінні отворів 19 і нарізання різи [35].

Робота пристрою здійснюється наступним чином. В лоток 6 встановлюють трубчасті заготовки 4 в певній кількості. Механізм затиску 4 відводять вправо з можливістю одній трубчастій заготовці 4 поступити в зони різання 5. При цьому за допомогою кулачків 14 і 16 здійснюють управління роботою пристрою і затиску заготовки з двох сторін пневмоциліндрами 3 і 7 і при цьому здійснюють свердління отвору 19 в трубчастій заготовці 4 і нарізання різи свердлом-мітчиком 11 шляхом його опускання вертикально вниз. При цьому торець реверсного упора 12 впирається в циліндричне кільце яке знизу є у взаємодії з упорним підшипником, через упорне кільце 20, а свердло 11 опускається в низ в отвір кондукторної втулки 17. При дальшому опусканні ріжучого інструменту 11 здійснюють нарізання різи. Після закінчення нарізання різи в отворі 19 включається реверс 13 за допомогою реверсного упора 12 і свердло-мітчик починають обертатися в протилежну сторону і свердло-мітчик 11 піднімають ввєрх. Циліндрична прокладка 20 виконана у вигляді кільця з діаметрами упорного підшипника. За допомогою кулачків 16 і 14 затискні механізми відводять з зони різання, готову деталь звідти знімають, а в її місце поступає наступна заготовка, яку в автоматичному режимі встановлюють в пристрій і далєше здійснюється процес різання.

До переваг пристрою відноситься можливість свердління отворів, нарізання різей, і викручування мітчика 11 реверсним механізмом 13 при цьому

відбувається розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності праці.

Радіальні переміщення свердла характеризуються відхиленням вісі симетрії двох головних ріжучих кромок свердла від вісі шпинделя верстата, що виникає через згин свердла під дією невірноважених поперечних складових сил різання при різанні протилежними кромками свердла.

Для визначення невірноваження поперечних складових сил різання прийемо наступні припущення. Нехтуємо невірноваженою поперечною силою при свердлінні, що викликана похибкою заточування стандартних свердл, оскільки вони є порівняно малими величинами. Також можна знехтувати невірноваженою силою тертя перемички в початковий момент врізання, особливо при використанні змащувально-охолоджуючих рідин.[45]

Попередні розрахунки показали, що при свердлінні зміщеного отвору у втулці (рис. 2.3) найбільша невірноважена радіальна сила на свердлі  $\Delta P_y$  зумовлена різною глибиною різання  $t_1$  та  $t_2$  відповідно лівої та правої ріжучих кромки та перемичок свердла.

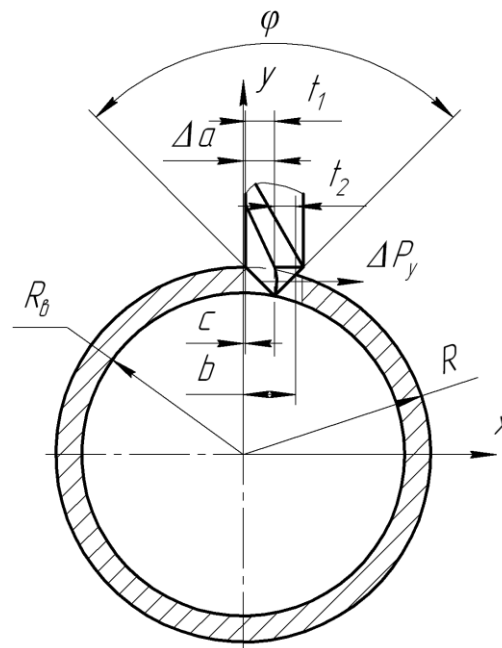


Рис. 2.3 – Розрахункова схема для визначення величини невірноваженої радіальної сили на свердлі

Враховуючи малу кривизну різальних кромок, їх прийнято у вигляді прямих відрізків. Кромка свердла, що ближче розміщена до вісі симетрії втулки зрізає більший шар металу. Найбільша різниця глибин виникає в момент, коли одна із кромок починає контактувати з матеріалом заготовки по всій довжині.

Глибину різання правої кромки можна визначити за формулою:

$$t_2 = b - \Delta a, \quad (2.5)$$

де  $b$  – відстань від крайньої точки контакту правої кромки до вісі симетрії втулки, мм;  $\Delta a$  - величина зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки, мм.

Відстань від крайньої точки контакту правої кромки до вісі симетрії втулки знаходимо в системі координат  $xOy$  у точці перетину зовнішнього кола втулки та правої кромки свердла.

Зовнішнє коло втулки визначено рівнянням:

$$x^2 + y^2 = R^2, \quad (2.6)$$

де  $R$  – зовнішній радіус втулки, мм.

Рівняння лінії правої кромки свердла:

$$y_2 = \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\varphi}{2}\right)(x - \Delta a) + \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2}, \quad (2.7)$$

де  $\varphi$  - кут при вершині свердла, град;  $R_g$  - внутрішній радіус втулки, мм.

Для знаходження відстані  $b$  від крайньої точки контакту правої кромки до вісі симетрії втулки на основі рівнянь (2.6) і (2.7) складено систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} y &= \sqrt{R^2 - b^2}; \\ y &= k_2(b - \Delta a) + \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2}, \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

$$\text{де } k_2 = \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\varphi}{2}\right).$$

Після розв'язку системи рівнянь (2.8) одержали вираз:

$$b = \frac{1}{(1+k_2^2)} \left( k_2^2 \Delta a - k_2 \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} + \sqrt{R^2 - R_g^2 + \Delta a^2 - k_2^2 \Delta a^2 + 2\sqrt{R_g^2 + \Delta a^2} k_2 \Delta a + k_2^2 R^2} \right). \quad (2.9)$$

Тоді глибина різання для правої кромки буде становити:

$$t_2 = \frac{1}{(1+k_2^2)} \left( k_2^2 \Delta a - k_2 \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} + \sqrt{R^2 - R_g^2 + \Delta a^2 - k_2^2 \Delta a^2 + 2\sqrt{R_g^2 + \Delta a^2} k_2 \Delta a + k_2^2 R^2} \right) - \Delta a. \quad (2.10)$$

Глибину різання лівої кромки можна визначити за формулою:

$$t_1 = \Delta a - c, \quad (2.11)$$

де  $c$  – відстань від крайньої точки контакту лівої кромки до вісі симетрії втулки, мм;

Для знаходження відстані  $c$  від крайньої точки контакту лівої кромки до вісі симетрії втулки на основі рівнянь (2.6) і (2.7) складено також систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} y &= \sqrt{R^2 - c^2}; \\ y &= k_1(c - \Delta a) + \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

$$\text{де } k_1 = \operatorname{tg}\left(90 + \frac{\varphi}{2}\right).$$

Після розв'язку системи рівнянь (2.12) одержали:

$$c = \frac{1}{(1+k_1^2)} \left( k_1^2 \Delta a - k_1 \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} - \sqrt{R^2 - R_g^2 + \Delta a^2 - k_1^2 \Delta a^2 + 2\sqrt{R_g^2 + \Delta a^2} k_1 \Delta a + k_1^2 R^2} \right). \quad (2.13)$$

Тоді глибина різання для лівої кромки буде становити:

$$t_1 = \Delta a - \frac{1}{(1+k_1^2)} \left( k_1^2 \Delta a - k_1 \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} - \sqrt{R^2 - R_g^2 + \Delta a^2 - k_1^2 \Delta a^2 + 2\sqrt{R_g^2 + \Delta a^2} k_1 \Delta a + k_1^2 R^2} \right). \quad (2.14)$$

Різниця глибин різання лівої та правої кромки:

$$\Delta t = t_1 - t_2. \quad (2.15)$$

На основі рівняння (2.15) із врахуванням рівнянь (2.10) та (2.14) побудовані графічні залежності різниці глибин різання лівої та правої кромки  $\Delta t$  від величина зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки  $\Delta a$  (рис. 2.4).

Радіальні сили різання  $P_{y1}$  та  $P_{y2}$ , які виникають відповідно на лівій і правій кромках свердла при однакових режимах різання приймаємо прямопропорційними глибинам різання  $t_1$  та  $t_2$ :

$$P_{y1} = 10C_p t_1^x s^y V^n K; \quad (2.16)$$

$$P_{y2} = 10C_p t_2^x s^y V^n K, \quad (2.17)$$

де  $C_p$  - коефіцієнт оброблюваності матеріалу втулки (сталь 45);  $s$  - осьова подача свердла, мм/об;  $V$  - швидкість різання, м/хв;  $K$  – поправочний коефіцієнт, що враховує режими різання;  $x, y, n$  - табличні показники степені.



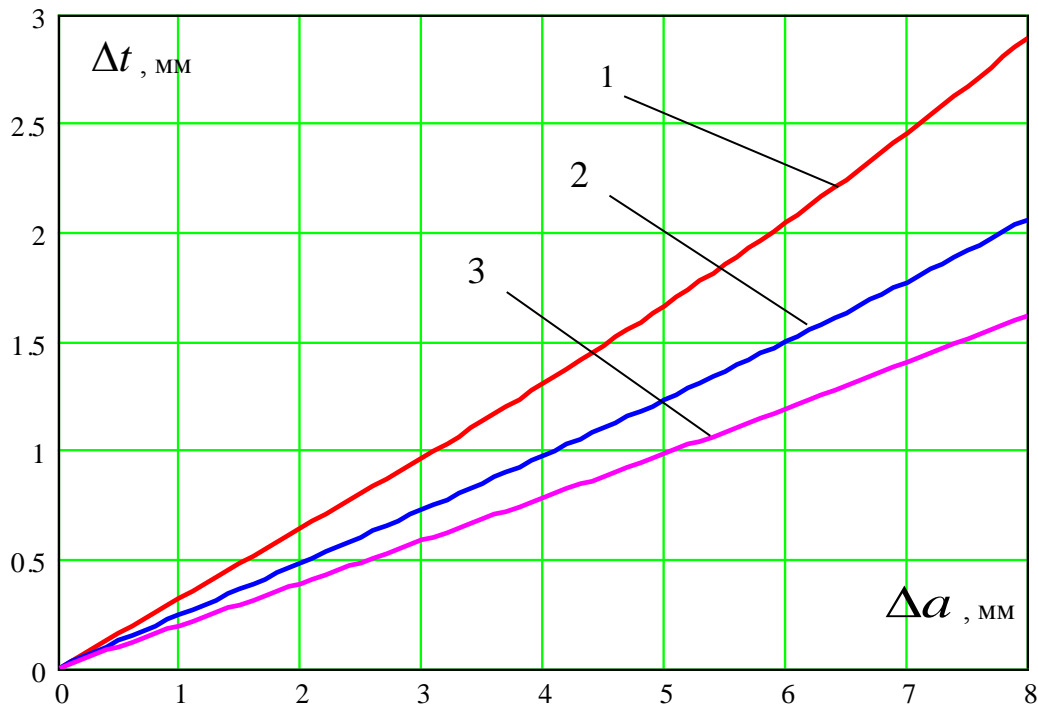


Рис. 2.4 – Графічні залежності різниці глибин різання лівої та правої кромки  $\Delta t$  від величини зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки  $\Delta a$  для матеріалу сталь 45: 1)  $R=25$ мм;  $R_g = 20$ мм; 2)  $R=35$ мм;  $R_g = 30$ мм; 3)  $R=45$ мм;  $R_g = 40$ мм

Із графіків на рис. 2.4 видно, що навіть при малих зміщеннях вісі свердла відносно вісі симетрії втулки виникає різниця глибин різання лівої та правої кромки, що призводить до прогинання свердла, а відповідно і погіршення якості отвору. Більший вплив цього зміщення виникає при менших радіусах оброблюваних втулок.

Величину неврівноваженої радіальної сили визначаємо за формулою:

$$\Delta P_y = P_{y1} - P_{y2}. \quad (2.18)$$

Підставляючи формули (2.16), (2.17) у формулу (2.19), одержуємо:

$$\Delta P_y = 10C_p s^y V^n K (t_1^x - t_2^x). \quad (2.19)$$

На основі формули (2.19) із врахуванням рівнянь (2.10) та (2.14) побудовано графіки залежності величини невірноваженої радіальної сили  $\Delta P_y$  від величини зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки  $\Delta a$  (рис. 2.5) для сталі 45.

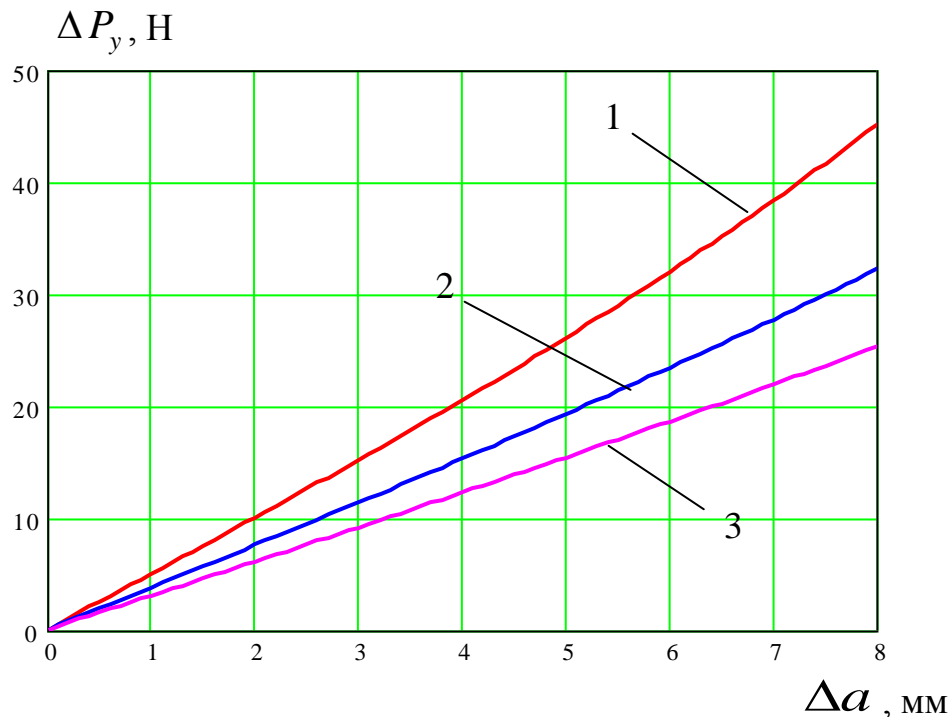


Рис. 2.5 – Графік залежності величини невірноваженої радіальної сили  $\Delta P_y$  від величини зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки  $\Delta a$  :

1)  $R=25$ мм;  $R_g = 20$ мм; 2)  $R=35$ мм;  $R_g = 30$ мм; 3)  $R=45$ мм;  $R_g = 40$ мм

Із графіка на рис. 2.5 видно, що навіть при малих зміщеннях вісі свердла відносно вісі симетрії втулки виникає достатня величина невірноваженої радіальної сили, що може призводити до прогинання свердла, а відповідно і погіршення якості отвору. Більший вплив цього зміщення виникає при менших радіусах оброблюваних втулок. Тому у таких випадках доцільним є використання кондукторних втулок, або радіально-упорних підшипників.

### **2.3. Дослідження технологічного процесу нарізання різі реверсивним пристроєм**

Реверсивний патрон для нарізання різі (рис. 2.6) [123] виконано у вигляді хомута 1 для його кріплення на вертикально-свердлильному чи іншому верстаті за допомогою хвостовика 2 відомим способом. В нижній частині хвостовика виконано радіальний отвір, який є у жорсткій взаємодії з віссю – поводком 3, кінці якого є у взаємодії з верхньою конічною шестернею 4, у верхній частині якої встановлено підшипник 5 через який вони є у взаємодії з можливістю відносного обертового руху. Підшипник 5 також встановлений у внутрішній отвір верхньої частини обойми 6, в середній частині якої з двох протилежних сторін радіально встановлені на підшипниках 7 конічні шестерні сателіти 8, зуби яких є у взаємодії з зубами верхньої конічної шестерні 4 з можливістю кругового повертання. А до нижнього торця хвостовика 2 жорстко закріплено циліндричну пружину 9, яка зовнішнім діаметром і нижнім торцем є у взаємодії з валом – мітчика 10, через верхній отвір, який верхньою частиною є у взаємодії з зовнішнім діаметром підшипника-кочення 11, який зовнішнім діаметром є у взаємодії з латунною втулкою 12 з можливістю кругового повертання, який у верхній частині є у взаємодії з радіальним гвинтом 13, який жорстко встановлено у верхній частині шестерні верхньої 4. В нижній частині з торця підшипник 11 є у взаємодії з проміжною втулкою 14, яка разом з латунною втулкою 12, яка нижнім торцем є у взаємодії з підшипником кочення 15, який жорстко встановлено на середній частині вала мітчика 10. Зовнішнім діаметром підшипник 15 є у взаємодії з внутрішнім отвором нижньої шестерні 16 з можливістю кругового повертання, яка конічними зубами є у взаємодії з зубами конічних шестерень сателітів 8. З нижнього торця на зовнішньому діаметрі вала мітчика 10 жорстко встановлена втулка 17, яка збоку закріплено гвинтом, а знизу болтом з шайбою гравером.

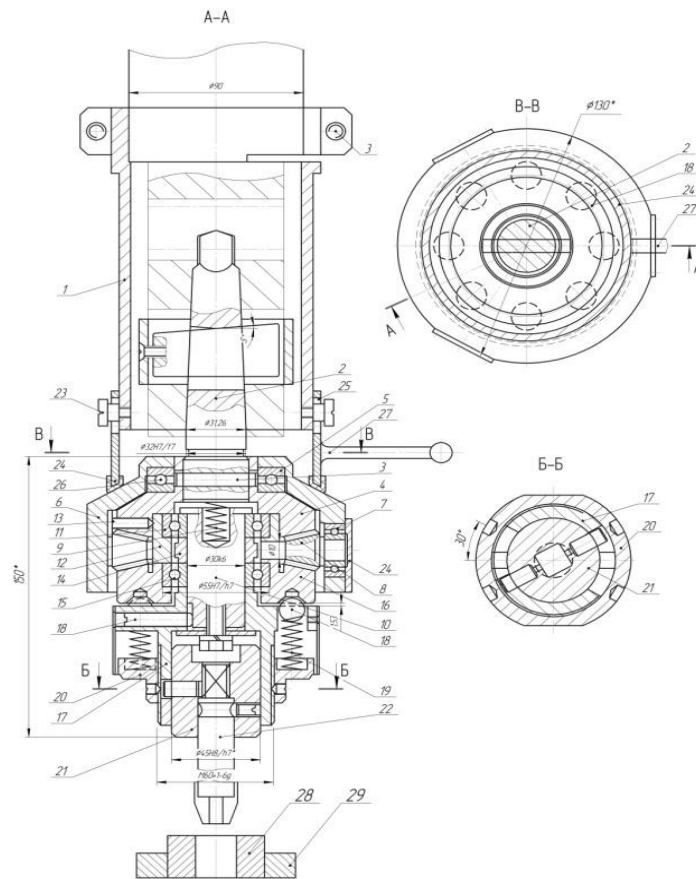


Рис. 2.6 – Реверсивний пристрій для нарізання гайок з зігнутим хвостовиком

Реверсивний патрон є оснащений захисним механізмом від перевантаження шляхом виконання в торцевій поверхні нижньої шестерні 16 знизу і зверху втулки 17 рівномірно по колу конічні отвори, наприклад, вісім, які є у взаємодії з тілами кочення 18, які знизу підтиснуті пружинами 19 і наживною гайкою 20, яка нагвинчена на втулку 17, у внутрішньому отворі якої встановлено змінну циліндричну вставку 21 з квадратним отвором, який є у взаємодії з хвостовиком мітчика 22.

Крім цього в нижній частині хомута 1, встановленого на верстат за допомогою спеціальних болтів 23 жорстко закріплений утримувач 24 в якому у верхній частині виконані осьові пази 25 з можливістю відносного переміщення його відносно хомута. При цьому утримувач 24 знизу є у жорсткій взаємодії з підп'ятником 26, який нижньою основою опирається зверху в обойму 6 з

можливістю осьового переміщення. До утримувача 4 рівномірно по колу приварені, наприклад, три рукоятки 27.

Робота патрона здійснюється наступним чином. Заготовка 28, в отворі якої необхідно нарізати різь, жорстко встановлена в пристрої 29 відомої конструкції, до якої підводиться мастильно-охолоджуюча рідина, включається верстат і мітчик 22 підводять до отвору заготовки 28 і здійснюють технологічний процес нарізання різі. При цьому обертовий рух передається зі шпинделя верстата на верхню конічну шестерню 4, конічні паразитні шестерні 8, тіла кочення 18, втулку 17, циліндричну вставку 21 і мітчик 22. При проходженні останнього до упора за допомогою рукояток 27 утримувач 4 опускають в низ і опускають обойму 3 і конічні шестерні. При цьому спрацьовують сателіти – конічні шестерні 8 і обертовий рух здійснюється в протилежну сторону і мітчик 22 викручують з отвору заготовки 28 і на її місце подається наступна заготовка.

До переваг реверсивного патрона відноситься розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності праці.

Для визначення характеру зміни крутного моменту необхідно розглянути розрахункову схему взаємозв'язку конструктивних параметрів механізму розтиску (рис. 2.7).

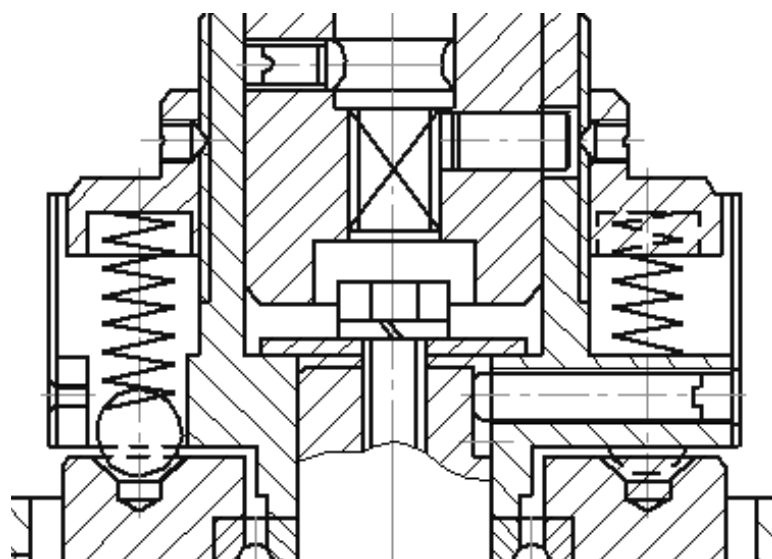


Рис. 2.7 – Механізм розтиску реверсивного патрона

Визначити крутний момент, що передає кулька, яка розміщена на деякій відстані  $R$  від осі патрона, можна наступним чином. Як видно із розрахункової

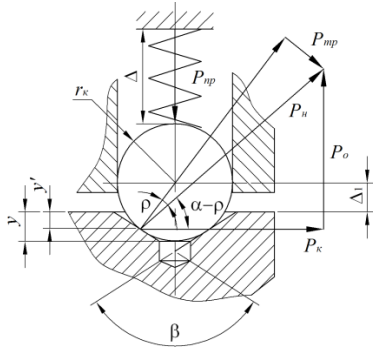


Рис. 2.8 – Розрахункова схема для визначення конструктивно-силових параметрів пари контакту реверсивного патрона

схеми (рис. 2.8.) в зоні контакту «кулька-лунка» виникає нормальна реакція  $P_n$  і сила тертя  $P_{тр}$ , які направлені в напрямку протилежному робочому руху патрона. Результуюча сила  $P_p$  зміщена відносно нормальної реакції  $P_n$  на кут тертя  $\rho$  в напрямку колової сили  $P_k$ , яка визначає величину крутного моменту, що передає патрон. Повне відключення патрона у запобіжному режимі відбувається під час

переміщення кульок на величину  $y$ . Нормальна реакція  $P_n$  завжди направлена відносно колової сили  $P_k$  під кутом  $\alpha$  при зміщенні рухомої частини патрона на величину  $y'$ , а при подальшому зміщенні від певного значення  $y'$  на величину  $y - y'$  кульки викочуються на торцеву поверхню патрона і відбувається зміна напрямку нормальної реакції  $P_n$

Відповідно метою наших розрахунків є визначення максимального крутного моменту, що здатен сприймати патрон.

Узагальнюючи відомі залежності, які використовуються для визначення крутного моменту [96, 116, 121] можна отримати формулу для визначення крутного моменту, який передає пара контакту «кулька-лунка»:

$$T = \frac{C \cdot (y' + \Delta) \cdot R}{\operatorname{tg}(\alpha - \rho)}, \quad (2.20)$$

де  $C$  – жорсткість пружини;  $\Delta$  – попередній натяг пружини;  $y'$  – поточне значення осьового переміщення кульки в процесі спрацювання пристрою;  $\alpha$  – кут між напрямком дії колової сили і нормаллю від точки контакту кульки з поверхнею лунки;  $\rho$  – кут тертя між кулькою і поверхнею лунки.

Враховуючи, що в процесі відключення патрона величина  $y'$  зростає від 0 до певного значення  $r_k \cdot \sin \alpha - \Delta_1$  (де  $r_k$  – радіус кульки) то максимальне значення моменту, який передає пара контакту, буде рівне:

$$T = \frac{C \cdot ((r_{\hat{e}} \cdot \sin \alpha - \Delta_1) + \Delta) \cdot R}{\operatorname{tg}(\alpha - \rho)}, \quad (2.21)$$

де  $\Delta_1$  – відстань від торцевої поверхні веденої частини патрона до центру кульки при замкнутих парах контакту.

На момент спрацювання патрона у запобіжному режимі, за попередніми припущеннями суттєвий вплив має кут нахилу поверхонь лунок  $\beta$  (рис. 2.9). Для встановлення функціональної залежності величини  $x_n$  від кута  $\varphi$  відносного провертання частин патрона при відомому куті нахилу  $\beta$  поверхні лунки задамо наступним. Оскільки кулька контактує з торцевою поверхнею веденої частини патрона і похилою поверхнею лунки, то визначимо відстань  $l$  від плями контакту кульки з поверхнею лунки в напрямку осі  $x$ :

$$l = r_{\hat{e}} \left( 1 - \cos \left( \frac{\beta}{2} \right) \right). \quad (2.22)$$

Відносне колове зміщення  $y'$  ведучої і веденої частин патрона буде рівним:

$$\delta' = \operatorname{ctg} \left( \frac{\beta}{2} \right) \left( h_{\hat{e}} - r_{\hat{e}} \left( 1 - \cos \left( \frac{\beta}{2} \right) \right) \right). \quad (2.23)$$

Кут  $\varphi$ , при проходженні кульки по поверхні лунки, розраховується за формулою:

$$\phi = \frac{y'}{R}, \quad (2.24)$$

Відповідно  $x_n$  визначається як [95]:

$$x_n = \phi R \operatorname{tg} \left( \frac{\beta}{2} \right). \quad (2.25)$$

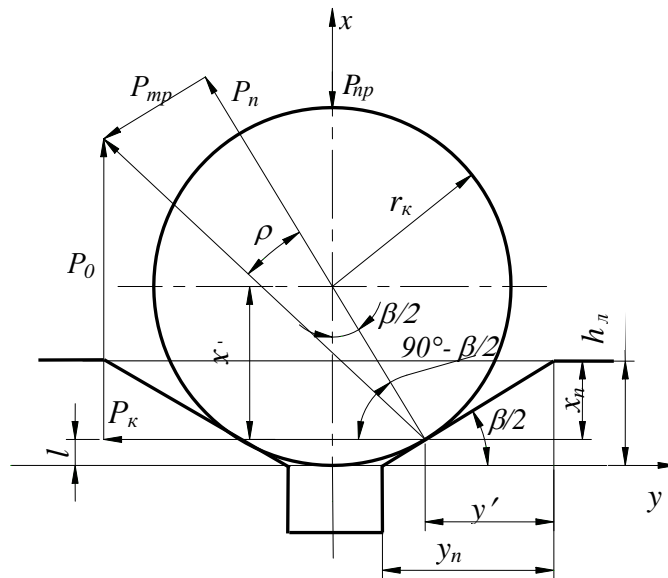


Рис. 2.9 – Розрахункова схема для визначення конструктивних параметрів взаємодії кульки з площиною лунки

Максимальне значення кута нахилу поверхні лунки  $\beta_{\max}$ :

$$\beta_{\max} = 2 \arccos \left( \frac{h_{\ddot{e}}}{r_{\hat{e}}} \right). \quad (2.26)$$

Діаметр лунки можна визначити з умови:

$$r_l^2 = r_k^2 - \left( r_k^2 - h_l \right)^2, \quad (2.27)$$

Звідки [8]:

$$r_{\hat{e}} = \sqrt{2r_{\ddot{e}}h_{\ddot{e}} - h_{\ddot{e}}^2}. \quad (2.28)$$



Залежність для визначення крутного моменту, з врахуванням вище наведених рівностей, набуде вигляду:

$$T = \frac{RC(\Delta_0 + h_{\bar{e}} + \phi R \operatorname{tg}(\beta/2))}{\operatorname{tg}(90^\circ - \beta/2 - \rho) - f}. \quad (2.29)$$

Максимального значення крутний момент набуває при осьовому переміщенні кульки на величину  $x_n$ . Тоді максимальне значення  $\phi$  буде рівне:

$$\phi_{\max} = \frac{\operatorname{ctg}(\beta/2) \left[ \left( h_{\bar{e}} - r_{\bar{e}} (1 - \cos(\beta/2)) \right) \right]}{R}. \quad (2.30)$$

Аналогічна залежність для визначення максимального крутного моменту, який може сприймати даний патрон без переходу у запобіжний режим:

$$T_{\max} = \frac{RC \left[ \Delta_0 + h_{\bar{l}} + \left( h_{\bar{l}} - r_{\bar{k}} (1 - \cos(\beta/2)) \right) \right]}{\operatorname{ctg}((\beta/2) + \rho) - f}. \quad (2.31)$$

Графічні залежності зміни значень крутного моменту від конструктивних параметрів елементів зачеплення представлені на рисунку 2.10. Оскільки максимальний крутний момент передається пристроєм у початковому положенні пар контакту, а надалі при коловому зміщенні частин патрона починає спадати, то для визначення інтенсивності впливу вище вказаних параметрів у зазначених межах на його зміну представлено графічні залежності  $T = f(R; r_k; h_l; C)$ .

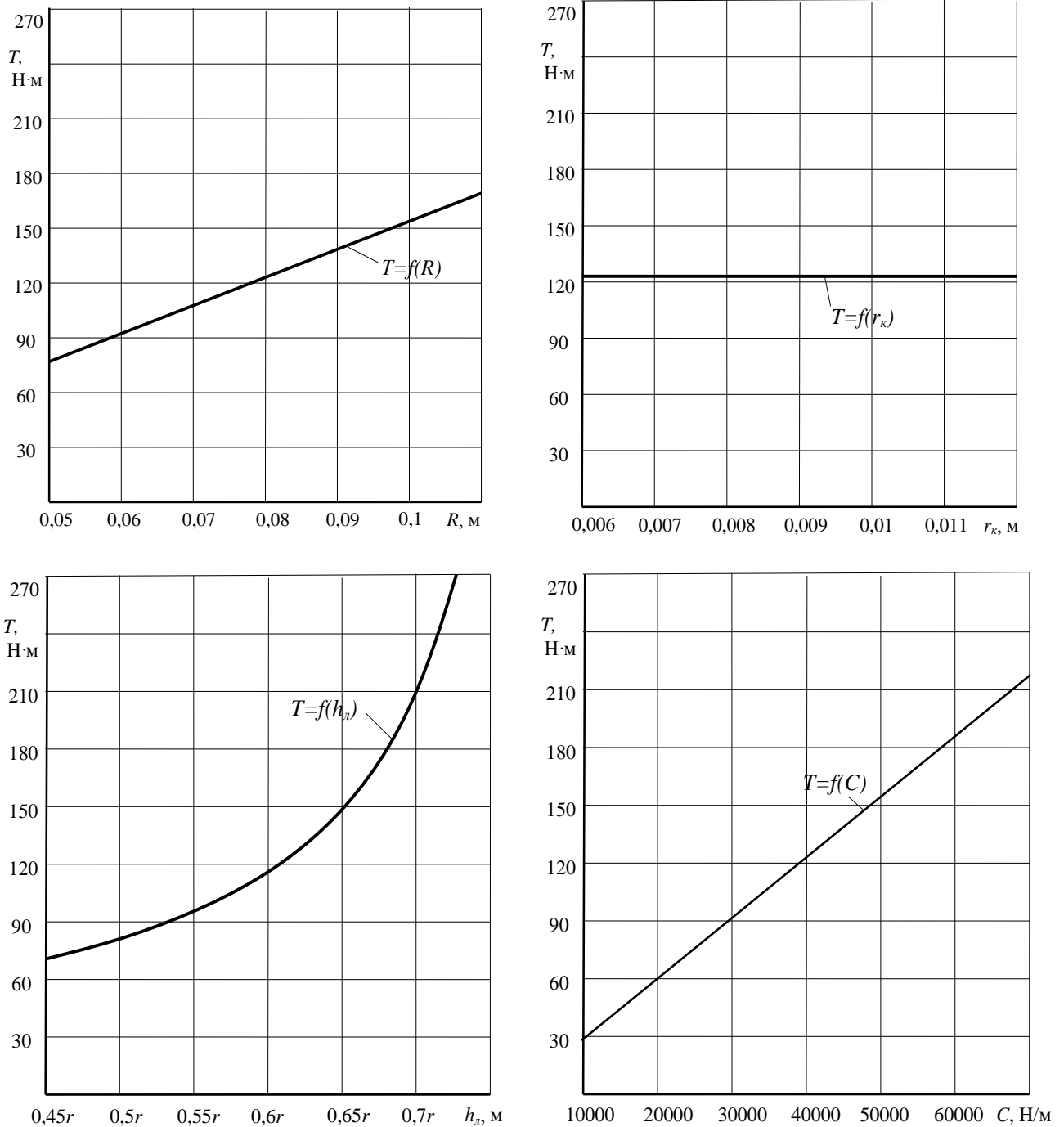


Рис. 2.10 – Залежності зміни крутного моменту  $T$  від радіуса розташування кульок  $R$ , радіуса кульки  $r_k$ , глибини лунки  $h_l$ , і жорсткості пружини  $C$

Аналіз даних залежностей показує, що зміна радіуса розташування елементів зчеплення та жорсткість пружини прямопропорційно впливає на зростання крутного моменту. Найбільший рівень росту крутного моменту спостерігається при збільшенні глибини лунок  $h_l$  від  $0,7r$  і більше.

Графічні залежності, які представлені на рис. 2.10 дають змогу комплексно оцінити інтенсивність впливу того чи іншого параметра, на величину крутного моменту, який сприймає реверсивний патрон, а також є основою для розробки інженерної методики проектування аналогічних пристроїв.

Ефективна потужність в кіловатах, витрачається на нарізування різьби, визначається за рівнянням [44]:

$$N_e = 60M_{кр} n, \quad (2.32)$$

де  $M_{кр}$  - крутний момент, кНм;  $n$  - частота обертання інструмента об/хв.

Основний час роботи різьбонарізного обладнання витрачений на обробку однієї заготовки для різних методів різьбонарізання, розраховується за такими рівняннями: для різьбових різців:

$$t_i = l_a + l_1 + f / (nP), \quad (2.33)$$

для гайкових і машинних мітчиків, нарізати різьбу в наскрізних отворах:

$$t_0 = (l_a + l_p) / (nt). \quad (2.34)$$

де  $l_q$  – довжина нарізання різі на заготовках;  $l_p$  – довжина робочої частини інструмента.

#### **2.4. Теоретичне обґрунтування регулювання подачі свердління при обробленні наскрізних отворів**

Величина подачі повинна призначатися з врахуванням як міцності механізму подач верстата і самого свердла так і його стійкості, фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, експлуатаційної надійності і довговічності. [65, 76, 187] Значення подач  $S_1$  і  $S_2$ , що допускаються відповідно міцністю свердла і його стійкістю можуть бути визначені з відомих залежностей:

$$S_1 = C_s d^{xs} \quad (2.35)$$

$$S_2 = \left( \frac{P_{kp}}{\alpha^{Xp} C_p} \right)^Y = \left( \frac{\pi^2 EI}{C_p \mu^2 l^2 \alpha^{Xp}} \right)^Y \quad (2.36)$$

Підставивши відповідне значення рівняння (2.35) у рівняння (2.36) і виконавши перетворення, одержимо:

$$S_2 = C_0 d^Y, \quad (2.37)$$

де  $C_0 = \left( \frac{8,22}{C_p} \right)^Y$  - величина постійна для конкретного матеріалу заготовки і свердла.

Із залежностей (2.36) і (2.37) видно, що подачі, обумовлені міцністю й стійкістю свердл є функціями їх діаметрів. Аналіз довідкових даних показує, що  $C_s > C_0$ , а  $Y > 1$ , тому можна припустити, що при одних значеннях діаметрів свердел подача буде лімітуватися стійкістю, а при інших обмежуватися їхньою міцністю, а в третій фізико-механічними властивостями матеріалу заготовки. Для визначення областей значень подач, що визначаються тим або іншим обмеженням введемо позначення:  $C_s = K_1 C_0$ ;  $Y = k_2 X_s$  причому  $K_1$  і  $K_2 > 1$ .

Розділивши рівняння (2.35) на (2.37) одержимо:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{K_1}{\alpha^{X_s(K_2-1)}} \quad (2.38)$$

У випадку, коли подача лімітується стійкістю свердел, то  $S_2 < S_1$ , а отже  $\frac{S_1}{S_2} > 1$ , і це має місце при значеннях діаметрів свердел, обумовлених із залежності:

$$d < K_1^{\frac{1}{X_s(K_2-1)}} \quad (2.40)$$

Якщо лімітуючим фактором є міцність свердла, тоді  $S_1 < S_2$ , а  $\frac{S_1}{S_2} < 1$ , а значення діаметрів при цій умові визначаються з виразу:

$$d > K_1^{\frac{1}{X_s(K_s-1)}}. \quad (2.41)$$

При,  $S_1 = S_2$ ,  $d = K_1^{\frac{1}{X_s(K_s-1)}}$  і подача свердла обмежується рівною мірою одночасно як його міцністю так і стійкістю. Для свердел більших діаметрів обмежуючим параметром значень подач є зусилля  $P_{м.п.}$ , що допускається міцністю механізму подач. У цьому випадку значення подач можна визначити, використавши відому залежність:

$$S_3 \leq C_1 \frac{1}{d^Y}, \quad (2.42)$$

де  $C_1 = \left(\frac{P_{м.п.}}{C_p}\right)^Y$  для конкретних умов обробки  $C_1 = const$ .

Розділивши почленно рівняння (2.35) на (2.42) і врахувавши, що необхідно виконання умови  $\frac{S_1}{S_3} = 1$ , після обчислень одержимо значення діаметрів, що відповідають заданій умові:

$$d \geq \left(\frac{C_1}{C_s}\right)^{\frac{1}{X_s+Y}}. \quad (2.43)$$

Таким чином на всьому діапазоні діаметрів значення подач визначаються з залежності:

$$S = \psi(d) = \begin{cases} \left(\frac{8,22}{C_p}\right)^Y d^Y & \text{при } 0 < d \leq \left(\frac{C_s C_p^Y}{8,22^Y}\right)^{\frac{1}{Y-X_s}} \\ C_s d^{X_s} & \text{при } \left(\frac{C_s C_p^Y}{8,22^Y}\right)^{\frac{1}{Y-X_s}} \leq d \leq \left(\frac{P_{м.п.}^Y}{C_s C_p^Y}\right)^{\frac{1}{X_s+Y}} \\ \left(\frac{P_{м.п.}}{C_p}\right)^Y \frac{1}{d^Y} & \text{при } d > \left(\frac{P_{м.п.}^Y}{C_s C_p^Y}\right)^{\frac{1}{X_s+Y}} \end{cases}. \quad (2.44)$$

Аналіз виразу (2.44) показує, що при малих діаметрах свердел обмежуючою умовою величин подач є їхня стійкість, і тільки починаючи з певних діаметрів параметрами, що лімітують, процес свердління стають міцність свердел і механізму подачі.

На рис.2.11 показані графічні залежності величини подач від діаметрів свердел, визначених з умов їх стійкості й міцності при свердлінні сталей з  $\sigma_B = 75 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ ,  $\sigma_B = 100 \text{ кгс} / \text{мм}^2$  і чавунів із НВ 170.

Значення осьового зусилля  $P_0$  при свердлінні свердлами різних діаметрів визначається з урахуванням рівняння (2.44) по формулі:

$$P_0 = C_p d [\psi(d)]^{y_p} \quad (2.45)$$

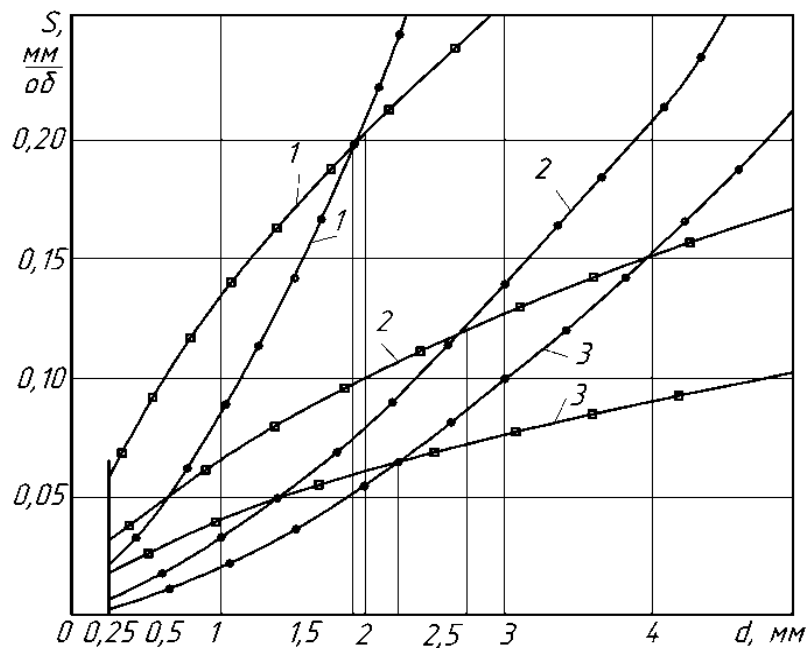


Рис. 2.11 – Графічні залежності подач від діаметрів свердел, побудовані з умов:

- — міцність свердел на кручення;
- — стійкість свердла;

1 – для чавунів з НВ 170; 2 – для сталі з  $\sigma_B = 75 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ ; 3 – для сталі з

$\sigma_B = 100 \text{ кгс} / \text{мм}^2$

У загальному випадку на підставі рівняння (2.44) характер залежності  $S = \psi(d)$  наведеному на рис. 2.12.

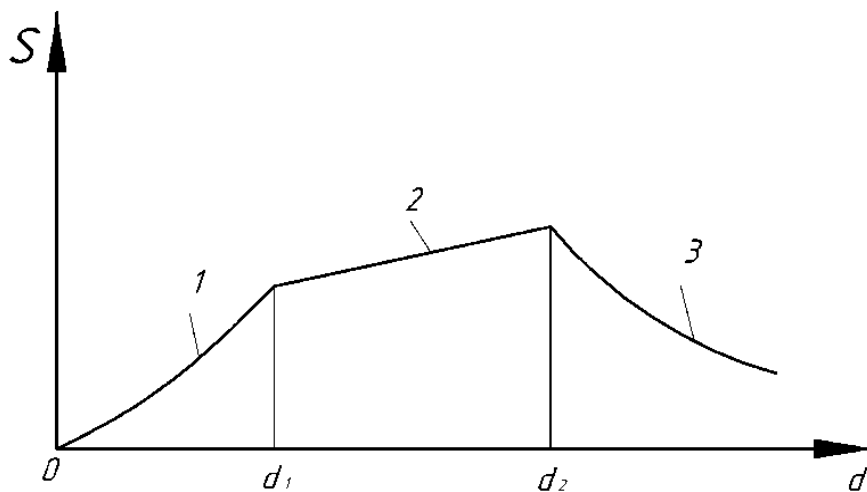


Рис. 2.12 – Характер залежності  $S = \psi(d)$ : 1 - обмеження подачі по стійкості; 2 - обмеження подачі по міцності свердла на крутіння; 3 - обмеження подач по міцності механізму подач

Величини діаметрів в інтервалі  $0 < d \leq d$  (рис. 2.12) невеликі  $d_{1\max} = 2,5-3$  мм, то значення  $P_0$  для таких свердел будуть незначні. Враховуючи те що в цьому інтервалі подачі вибираються з умови стійкості свердел, будемо вважати свердло абсолютно жорстким у поздовжньому напрямку. Знаючи приведену жорсткість верстата -  $C_{пр}$ . можемо знайти переміщення шпинделя  $\Delta$ , як результат пружних деформацій деталей верстата від впливу осьової сили -  $P_0$ .

$$\Delta = \frac{P_0}{C_{пр}} = \frac{C_p d [\psi(d)]^{y_p}}{C_{пр}} \quad (2.46)$$

Слід зазначити, що наведена твердість верстата залежить від діаметра свердла, тому що цей параметр визначає необхідні частоти обертання шпинделя й значення подач. У верстаті це відтворюється певними кінематичними ланцюгами тобто відповідною комбінацією зачеплень шестірень, валів, запобіжних пристроїв і т.д. На підставі вищевикладеного впливає, що процес виходу свердел може мати різний характер.

Для свердел, діаметри яких перебувають в інтервалі:

$$0,25 \leq d \leq \left( \frac{C_s C_p}{8,22^Y} \right)^{\frac{1}{Y-X_s}} \quad (2.47)$$

Внаслідок малої подачі і осьової сили різання величина приведеної до шпинделя пружної деформації деталей верстата незначна. Тому, при виході свердла з заготовки, збільшенням подачі через наявність незначних пружних деформацій верстата можна знехтувати і вважати її постійною. Коли в момент виходу свердла шар металу під його ріжучими лезами починає випучуватися і розривається з утворенням тріщин і своєрідних консольно-закріплених пелюсток, то під впливом конічної частини свердла, що рухається, вони звиваючись, утворюють заусенці. Якщо врахувати, що для свердел зазначених діаметрів величина подачі встановлювалася з умови забезпечення їх стійкості і з певним запасом міцності на кручення (рис. 2.11), а також і те, що в міру заглиблення свердла в процесі свердління збільшується коефіцієнт наведеної довжини  $\mu$  то на виході свердла параметром, що лімітує подачу, стає допустиме значення крутного моменту. У такий спосіб представляється можливим, регулювати величину подачі в сторону зменшення чи збільшення в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, на величину  $\Delta S = C_s d^{X_s} - C_0 d^Y$  й зрізати при цьому допоміжними лезами, що утворюються заусениці.

Для свердел, діаметри яких більше величини  $\left( \frac{C_s C_p}{8,22^Y} \right)^{\frac{1}{Y-X_s}}$  і подача лімітується їхньою міцністю характер зміни подачі на виході в основному визначається наведеною жорсткістю верстата. Якщо діаметри свердел незначно більше величини  $\left( \frac{C_s C_p}{8,22^Y} \right)^{\frac{1}{Y-X_s}}$ , а виникаюче при цьому осьове зусилля  $P_0$  викликає деформації верстата  $\Delta = \kappa_0 S_1$ , де  $\kappa_0 = 0,2 \dots 0,3$ , то практично при виході свердла подачу слід залишати незмінною. Для цього випадку граничні значення діаметрів свердел



можна визначити з наступних міркувань. Знаючи приведену до шпинделя жорсткість верстата й використавши залежності ( 2.46) і ( 2.47) можна записати:

$$\Delta = \frac{P_0}{C_{\text{ПР}}} = \frac{C_p d [\psi(d)]^{Yp}}{C_{\text{ПР}}}, \quad (2.48)$$

де  $S_1 = S_s d^{X_s}$ ,

тоді:

$$k_0 C_s d^{X_s} C_{\text{np}} = C_p d (C_s d^{X_s})^Y. \quad (2.49)$$

Знайшовши значення рівняння (2.47) відносно  $d$ , при максимальному значенні  $K_0$  одержимо:

$$d \leq \left( \frac{k_{0\text{max}} C_{\text{np}} C_s^{1-Y}}{C_p} \right)^{\frac{1}{1+X_s(Y-1)}}. \quad (2.50)$$

Для свердел, діаметри яких більше значень наведених у формулі (2.50) виникає необхідність зменшувати подачу. Момент початку зменшення подачі свердла повинен починатися на відстані від нижнього торця оброблюваної деталі рівному величині приведеної деформації привода до шпинделя, що виражається з врахуванням (2.50) функції діаметра свердла залежністю:

$$\sigma = \frac{C_p d C_s^Y d^{0,6Y}}{C_{\text{np}}} = C_2 d^{0,6Y}. \quad (2.51)$$

Таким чином, величина небезпечної зони, по досягненню якої слід зменшувати подачу на підставі (2.51) залежить від: фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, приведеної до шпинделя жорсткості привода верстата й діаметра свердла.

## 2.5. Дослідження динаміки пристрою для нарізання різьби в гайках

Процес нарізання різьби в гайках характеризується сукупністю досить складних процесів, пластичними, пружними, температурними деформаціями та власне різання матеріалу гайки.

В процесі автоматичного нарізання різьби в гайках одним із важливих параметрів, який впливає на точність середнього діаметру, кроку та шорсткості поверхні утвореної різьби є кут деформації мітчика в наслідок динамічних навантажень. Чим більший кут деформації, тим більша похибка обробки. Особливо це важливо при нарізанні різьби малого діаметра з великим кроком, коли жорсткість мітчика є порівняно низькою.

В процесі роботи пристрою для нарізання різьби виникають навантаження, що спричиняють вихід із ладу його робочих частин, коли кут відносного повертання між мітчиком і хвостовиком перевищує допустимий, що визначається із умови міцності складових частин пристрою. При цьому встановлено, що величина кута відносного повертання при динамічних навантаженнях перевищує величину при статичних навантаженнях.

На основі вищесказаного виникає необхідність у дослідженні динамічних навантажень на елементи пристрою для нарізання різьби та характер переміщення його складових. Ці переміщення можна знайти за допомогою вирішення диференціальних рівнянь руху. Для спрощення розрахунків здійснюємо деяку ідеалізацію системи, не враховуючи другорядні фактори.

Розрахункову схему частини пристрою для нарізання різьби в гайках можна представити так, як це показано на рис. 2.13. Ця модель представлена у вигляді зосереджених мас, що з'єднані пружними зв'язками. Пружні зв'язки допустимо невагомими, що характеризуються постійним коефіцієнтом жорсткості. Місцевими напруженнями і деформаціями в місцях з'єднання окремих елементів знехтувано.

До зосереджених мас віднесено:  $I_1$  – момент інерції мітчика;  $I_2$  – моменти інерції хвостовика. Крім цього, на рис. 2.14 показано  $C_{12}$  – приведена жорсткість з'єднання між мітчиком та хвостовиком,  $C_2$  – жорсткості з'єднань між

хвостовиком і корпусом,  $\beta_{12}$  – коефіцієнт демпфування між мітчиком і хвостовиком,  $\beta_2$  – коефіцієнти демпфування між хвостовиком і корпусом.

Під час нарізання різьби виникає момент різання  $M(t)$ . Вивченню впливу конструктивних і геометричних параметрів мітчика на усталений момент різання  $M_{різ}$  присвячено велику кількість досліджень, які носять переважно експериментальний характер і враховують в основному три фактори – номінальний діаметр, крок різьби та матеріал гайки.

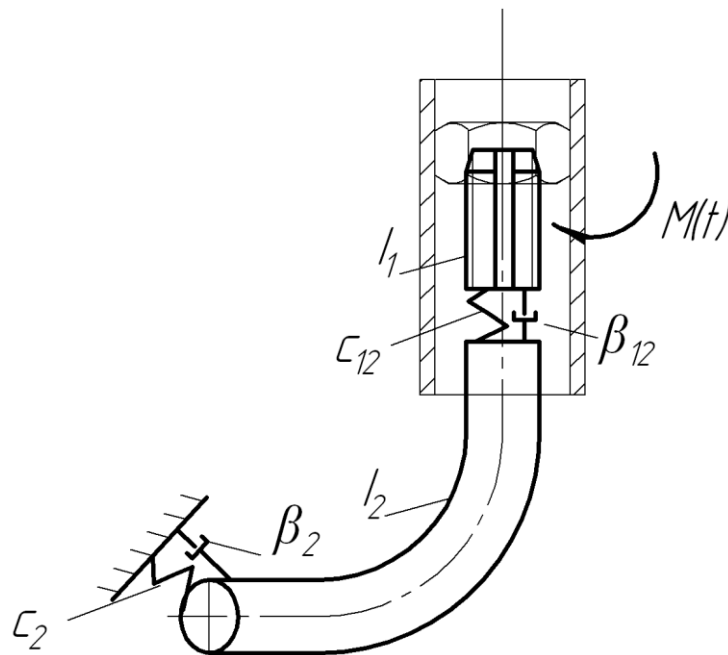


Рис. 2.13 – Розрахункова схема частини пристрою для нарізання різьби в гайках

Тому момент різання  $M_{різ}$  при досягненні усталеного процесу різання можна записати за формулою [ 178 ]:

$$M_{різ} = 10C_m D^q P^y k_p, \quad (2.52)$$

де  $C_m$ ,  $q$ ,  $y$ ,  $k_p$  – коефіцієнти і показники степені, що характеризують оброблюваний матеріал і його якість;  $D$  – номінальний діаметр різьби, мм;  $P$  – крок різьби, мм.

Оскільки мітчик для малих діаметрів складається із трьох зубів та забірної конусної частини, для процесу різання можна виділити ряд моментів:

- поступове врізання першого зуба;
- поступове врізання другого зуба та різання першим зубом;
- поступове врізання третього зуба та різання першим і другим зубом;
- одночасне нарізання різьби трьома зубами (усталений процес різання);
- поступовий вихід зубів із нарізаної різьби.

Враховуючи те, що на початку і в кінці зони різання, коли відбувається врізання і вихід зубів проходить зміна величини глибини різання, на цих ділянках момент різання  $M_I(t)$  для кожного зуба представимо відповідно зростаючою і спадаючою лінійними залежностями.

Залежність зростання моменту різання  $M_I(t)$  для кожного зуба представимо функцією:

$$M_1(t) = \frac{M_{\delta z}}{z t_v} (t - (z-1)t_3), \quad (2.53)$$

де  $t_v$  – час, на протязі якого проходить поступове врізання зуба мітчика, с;  $t_1$  – час між проміжками врізання попереднього і наступного зубів, с;  $z$  – кількість зубів на мітчику.

Час між проміжками врізання попереднього і наступного зубів визначають за формулою:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z \cdot \omega}, \quad (2.54)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання гайки, рад/с.

Використовуючи рівняння (2.52) та (2.53), моменти різання представимо алгебро-логічною функцією:

$$M_z(t) = \frac{M_1(t) + M_{pi3} - |M_1(t) - M_{pi3}| + |M_1(t) + M_{pi3} - |M_1(t) - M_{pi3}||}{4} \quad (2.55)$$

Момент різання визначаємо за формулою:

$$M(t) = \sum_{z=1}^z M_z(t). \quad (2.56)$$

Зміну моменту різання  $M(t)$  у часі представлено у вигляді графіків на рис. 2.14.

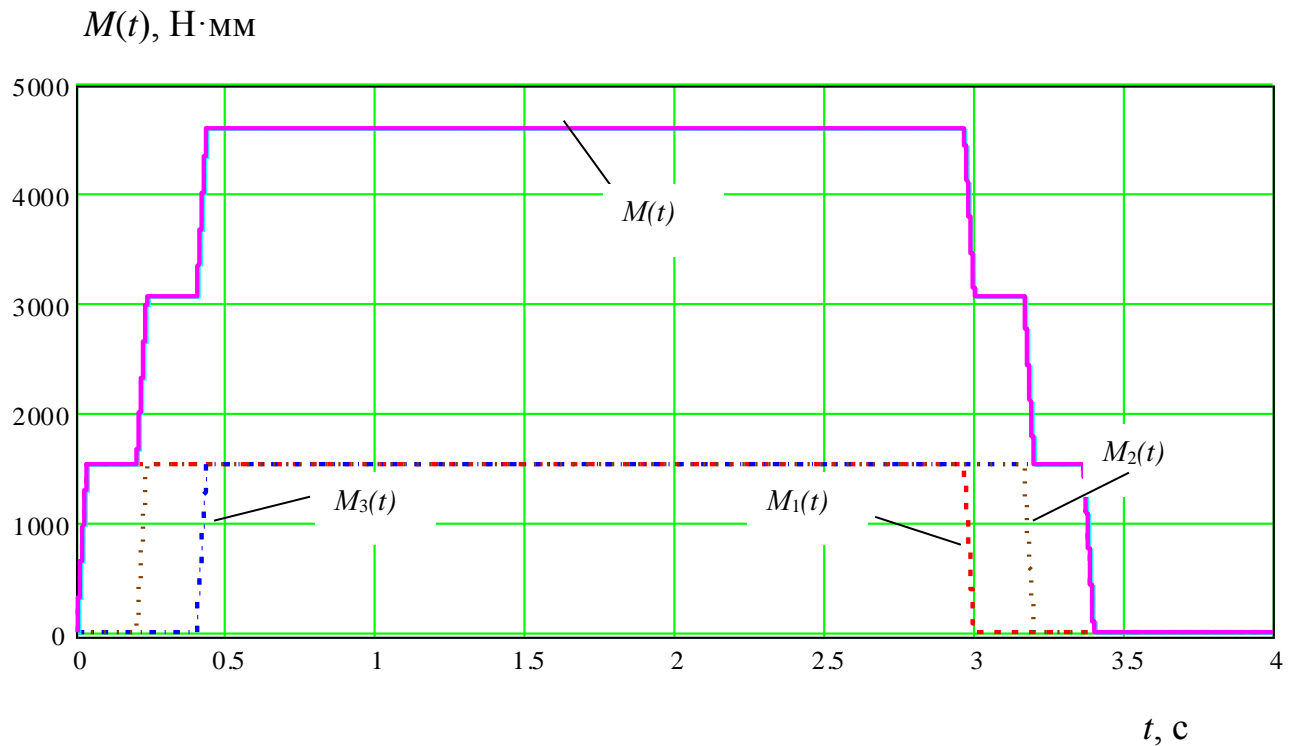


Рис. 2.14 – Графік зміни моменту різання  $M(t)$  та моментів різання на кожному зубі  $M_z(t)$  у часі

Вибираємо за узагальнені координати кути повороту інерційних мас  $\varphi_1, \varphi_2$ .

Кінетична енергія системи:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2}. \quad (2.57)$$

Потенціальна енергія системи:

$$\Pi = \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_2 \cdot \varphi_2^2}{2}. \quad (2.58)$$

Функція розсіювання:

$$\Phi = \frac{\beta_{12} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2}, \quad (2.59)$$

де  $\beta_{ij}$  - коефіцієнти демпфування.

Складемо диференціальні рівняння руху системи для вимушених коливань, застосовуючи рівняння Лагранжа другого роду. Для мас, що здійснюють крутильні коливання:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = M(t). \quad (2.60)$$

На основі формули (2.60) система диференціальних рівнянь для схеми на рис. 2.13 буде наступною:

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) - \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 &= M(t); \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + (\beta_2 + \beta_{12}) \dot{\varphi}_2 + (C_{12} + C_2) \varphi_2 - \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 - C_{12} \cdot \varphi_1 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.61)$$

Початкові умови для системи рівнянь записуємо з наступних міркувань. При нарізанні різьби до моменту зіткнення мітчика із гайкою, від якого і ведемо відлік часу, не відбувається деформації пружних елементів системи. Тому, початкові відносні координати і швидкості приймаємо рівними нулю. Подальша деформація відбувається за рахунок дії зовнішніх сил. Отже, для  $t = 0$  маємо:

$$\varphi_1(0) = 0, \quad \varphi_2(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_1(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_2(0) = 0. \quad (2.62)$$

Розв'язок системи нелінійних диференціальних рівнянь (2.61) з початковими умовами (2.62) доцільно провести на комп'ютері із застосуванням стандартної підпрограми чисельного методу Рунге-Кутта. Величину деформації в місці з'єднання мітчика із хвостовиком визначаємо за формулою:

$$\Psi_1 = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (2.63)$$

За результатами досліджень представлено графічні залежності зміни кута деформації мітчика в часі (рис. 2.15), кута деформації мітчика відносно хвостовика в часі (рис. 2.16), швидкості деформації мітчика в часі (рис. 2.17) та

динамічного моменту деформації мітчика в часі (рис. 2.18) під час нарізання різи М10.

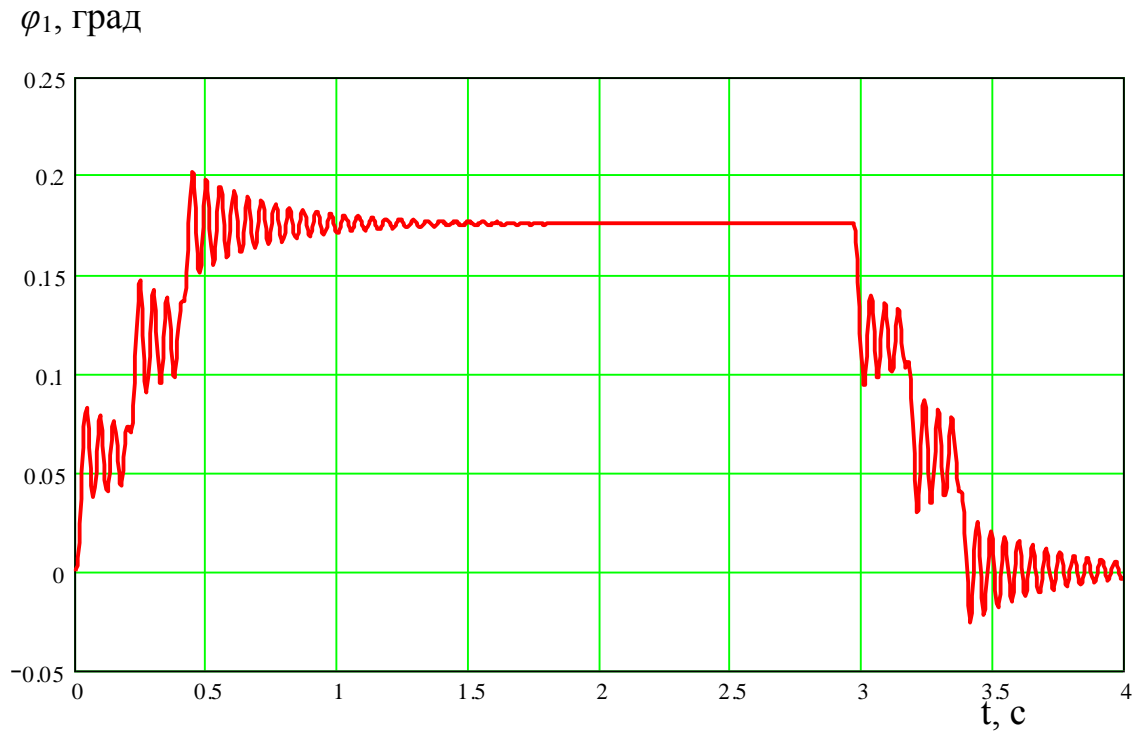


Рис. 2.15 – Графік зміни кута деформації мітчика в часі

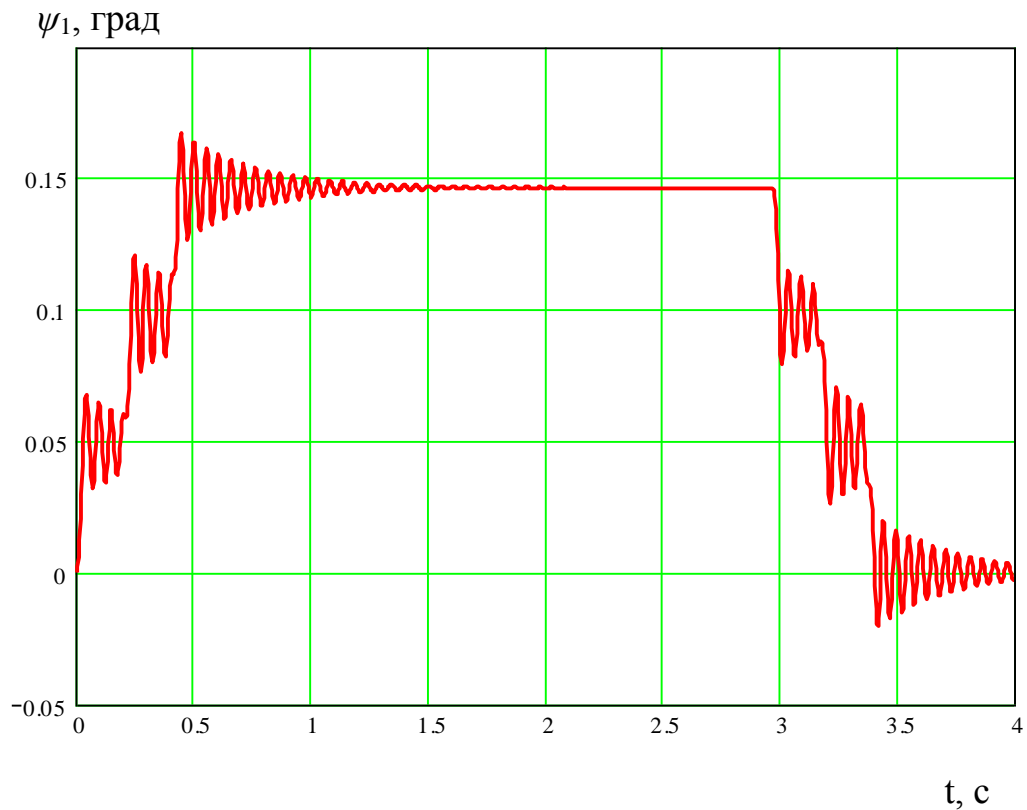


Рис. 2.16 – Графік зміни кута деформації мітчика відносно хвостовика в часі

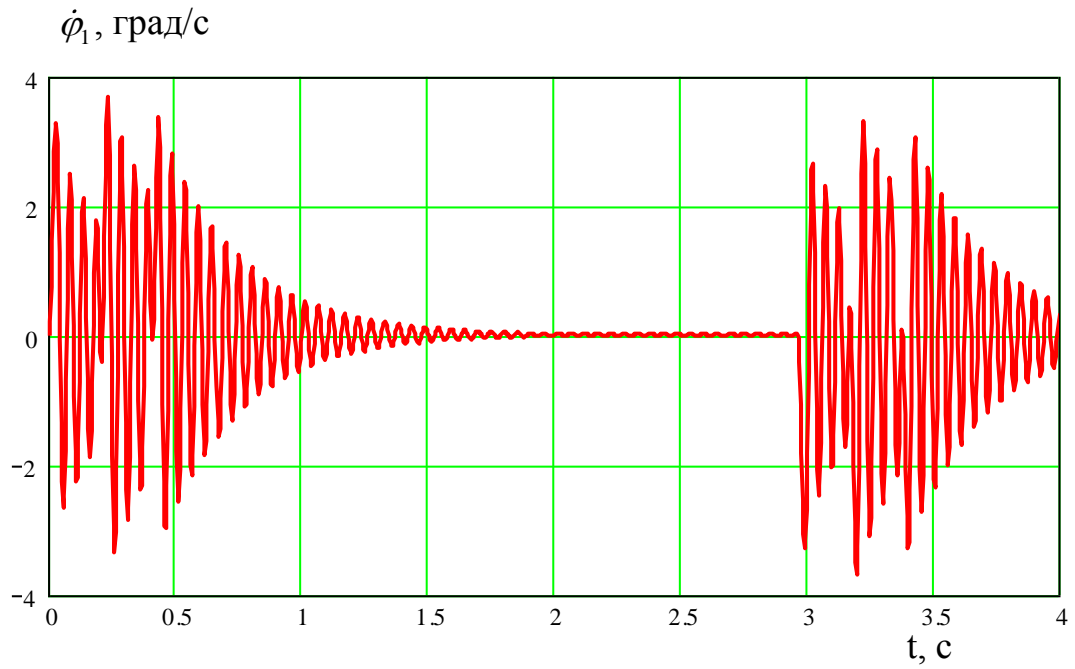


Рис. 2.17 – Графік зміни швидкості деформації мітчика в часі

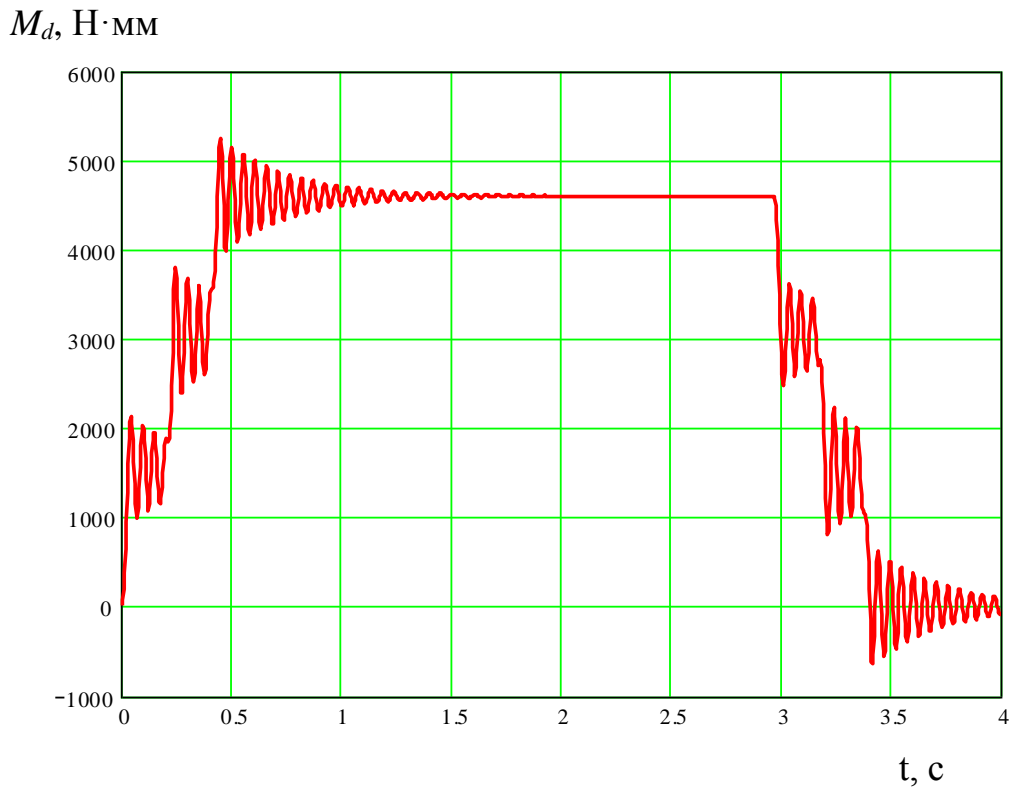


Рис. 2.18 – Графік зміни динамічного моменту деформації мітчика в часі

Для перевірки адекватності запропонованої системи диференціальних рівнянь усі їх складові визначалися експериментально. Із представлених



графічних залежностей видно, що кут деформації мітчика в часі спочатку зростає при поступовому врізанні зубів до 0,2 град, потім стабілізується при одночасній роботі усіх зубів на відмітці 0,175 град, потім поступово знижується із затухаючими коливаннями до нуля при виході зубів із нарізаної різи.

## **2.6. Висновки до другого розділу**

2.1. Виведені аналітичні залежності для визначення величин подач свердел залежно від їх діаметра, встановлені технологічні зони, починаючи з яких необхідно її зменшувати і визначено значення осьових сил при свердлінні отвору. Отримані дані є вихідними при розробленні й проектуванні спеціальних приводів і пристроїв, які забезпечують автоматичну зміну подач при виході інструмента з отвору з метою їх захисту від поломки, а також підвищення ефективності якості обробки, експлуатаційної надійності свердел і їх захист від поломок.

2.2. В процесі свердління отворів під різьби характеризується відхиленням осі симетрії двох головних ріжучих кромки від вісі шпинделя, що виникає через згин свердла під дією нерівноважених поперечних складових сил різання при різанні протилежними кромками свердла. Встановлено, що при цьому найбільша нерівноважена радіальна сила зумовлена різною глибиною різання відповідно лівою і правою кромками до перемички свердла. Виведені рівняння лівої і правою ріжучих кромки свердла і визначені значення від крайніх точок контакту до вісі симетрії втулки в залежності від глибини різання.

2.3. Розроблена морфологічна схема технічної системи “Різьбонарізні інструменти отворів деталей машин”. Представлений варіант морфологічної моделі, який отримано внаслідок виділення функціонально важливих елементів з метою створення суттєвої інформації, яка збагачує її корисну дію з групуванням конструктивних елементів за ієрархічними групами, що забезпечує отримання найбільш раціональних конструктивних рішень за значно меншими витратами зусиль та часу ніж при використанні звичайного морфологічного аналізу. В наслідок синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу

згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів різьбонарізних інструментів внутрішніх отворів, які захищені патентами України.

2.4. Розроблена динамічна модель технологічного процесу нарізання різьби в гайках мітчиком із зігнутим хвостовиком. Складені диференційні рівняння руху системи для вимушених коливань, використовуючи рівняння Лагранжа другого роду. Розв'язок системи нелінійних диференційних рівнянь приведено на комп'ютері з використанням стандартної програми числового методу Рунге-Кутта за результатами досліджень. Представлені графічні залежності зміни кута деформації мітчика відносно хвостовика в часі, швидкості деформації і динамічного моменту деформації. Встановлено, що кут деформації мітчика в часі спочатку збільшується при врізанні зубів до 0,2 град, після чого стабілізується при одночасній роботі всіх зубів на відмітці 0,175 град., після чого постійно зменшується до нуля при виході з зони нарізання.

2.5. Досліджено технологічний процес нарізання різьби реверсивним пристроєм в корпусних деталях, для випадків поширених у машинобудуванні, коли при виході мітчиків з отворів корпусних деталей вони часто ламаються. Тому забезпечення реверсивного відводу мітчика з отворів корпусів забезпечує їх захист від поломок. Розроблена розрахункова схема і виведені аналітичні залежності для визначення граничних силових і конструктивних параметрів взаємодії кульок з площиною лунок при реверс. Побудовані графічні залежності зміни величини крутного моменту при включенні сателітів реверса реверсивного пристрою від радіуса розташування кульок, радіусів кульок, глибини лунки і жорсткості пружини.

2.6. Обґрунтовано параметри експериментального патрона для нарізання різьби, який виконано у вигляді корпуса з центральним еліпсним отвором в якому жорстко встановлено еліпсну оправку з можливістю осьового переміщення. Виведено аналітичні залежності для визначення крутного моменту, який передає оправка.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРСТАТНО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ ОТВОРІВ

#### 3.1. Програма і методика проведення експериментальних досліджень

Згідно мети дисертаційної роботи та поставлених задач, а також проведеного теоретичного аналізу, програма і методика експериментальних досліджень включає наступні етапи:

- спроектувати і виготовити функціонально здатні зразки технологічного оснащення для дослідження технологічного процесу нарізання різьби в корпусних деталях на базі вертикально-свердлильного верстату моделі МН18Н-45 та виготовити експериментальні зразки комбінованих інструментів свердл-мітчиків трьох типорозмірів  $\varnothing 5$ ,  $\varnothing 8$  і  $\varnothing 10$ мм.
- провести комплекс лабораторних експериментальних досліджень комбінованими інструментами свердло-мітчик з визначенням сили різання і відповідних режимів оброблення деталей виготовлених зі сталі 08кп, сталі 20, сталі 45.
- уточнити достовірність запропонованих теоретичних розрахунків, щодо визначення силових та конструктивних параметрів устаткування;
- статистично обробити результати експериментів з метою визначення рівнянь регресій та емпіричних залежностей, що адекватно описують досліджувані процеси.

## **3.2. Стендове обладнання для дослідження технологічного процесу нарізання різі**

### **3.2.1. Обґрунтування параметрів люнетів для відрізання профільних заготовок**

Люнет токарного верстату (рис. 3.1) для виготовлення пальцевих заготовок ріжучих інструментів виконано у вигляді плити 1, розйомного кронштейна 2, який в поперечному вертикальному січенні має форму нижнього 3 і верхнього 4 неповних півкругів, які є у взаємодії з циліндричними роликами 5 з можливістю радіального переміщення. Останні зверху є у взаємодії з обмежуючою сіткою 6, з якої виступають їх верхні частини і які є у періодичній взаємодії з заготовкою прутка 7 пальцевої заготовки ріжучого інструмента. Пруток 7 одним кінцем жорстко кріпиться в патроні 8 токарного верстату, а другим кінцем впирається в упор 9. Обмежуючі сітки 6 жорстко кріпляться до розйомних кронштейнів верхнього 4 і нижнього 3 відомим способом з можливістю їх прокручування в них і тим самим зменшуючи зусилля тертя.

Розйомний кронштейн 2 жорстко встановлений на плиті-основі 1, яка встановлена на направляючі верстата (на кресленні не показано) з можливістю осевого переміщення. З правої сторони плити-основи жорстко встановлено різцетримач 10 з відрізним різцем 11, а навпроти нього з другої сторони заготовки 7 на плиті-основі жорстко встановлено додатковий різцетримач 12 з спеціальним фасонним різцем 13. З правої сторони каретки встановлено упор 9 на якому встановлюється довжина відрізної заготовки 7. Заготовка 7 жорстко кріпиться в токарному патроні 8 верстату з можливістю кругового провертання. Крім цього ролики 5 зі сторони токарного патрона 8 заточенні під кутом 14 для кращого заходу заготовки 7 при її горизонтальному переміщенню під час порізки [124].

Робота верстату з люнетом запропонованої конструкції відбувається наступним чином. Кругла чи профільна заготовка 7 жорстко кріпиться в токарному патроні 8, а її профіль є у взаємодії з тілами кочення 5 для зменшення прогину, які значно зменшують сили тертя, просовується між ролики 5 нижнього і верхнього кронштейна до упора 9. Після чого включають верстат підводять

відрізний різець 11 з основним різетримачем 10 і надрізають заготовку 7 на глибину 3...4 мм. Після чого фасонним різцем 13 знімають фаску на заготовці, після чого відрізають заготовку.

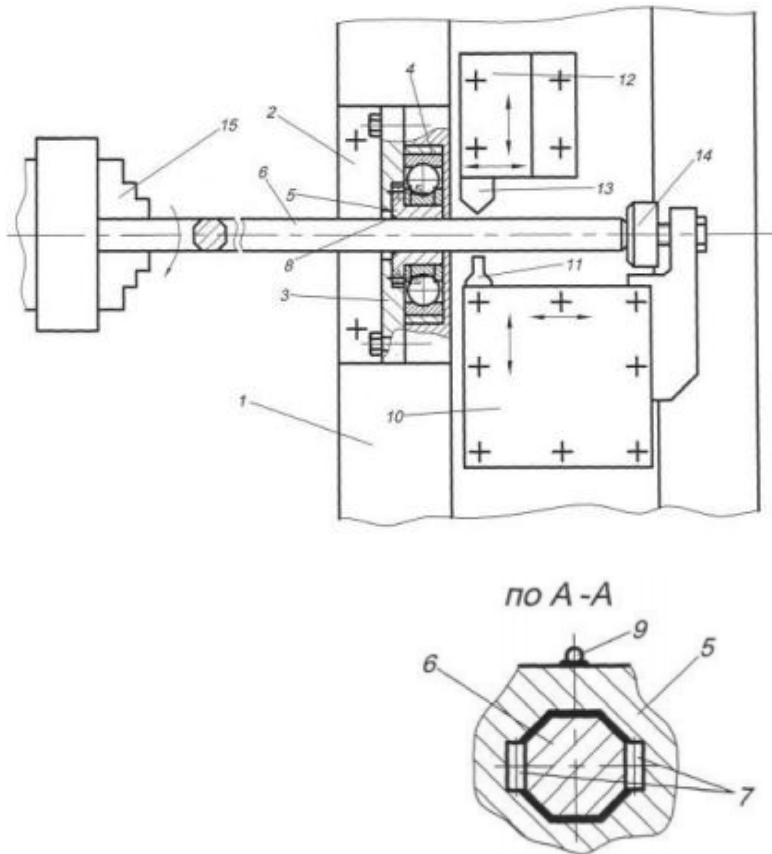


Рис. 3.1 – Люнет токарного верстату

У даній конструкції люнета заготовка контактує із циліндричними тілами кочення, типу роликів, по чотирьох гранях. Таке конструктивне виконання суттєво зменшує тертя під час поздовжнього переміщення заготовки у люнеті. Проте одночасно ця конструктивна особливість є слабким місцем пристрою, оскільки при значному прогині заготовки можливе руйнування роликів.

Відповідно метою даної роботи є отримання аналітичних залежностей для розрахунку сили тиску заготовки, під час її можливого зміщення, на ролики люнету.

Сила, яка діє на ролики, створюється осьовою складовою  $P_x$  сили різання. Відповідно дану складову можна розрахувати за відомою формулою [106]:

$$P_x = 10C_p t^x s^y v^n K_p, \quad (3.1)$$

де  $C_p$  – сталий коефіцієнт;  $t$ ,  $s$ ,  $v$  – відповідно глибина, подача та швидкість різання;  $x$ ,  $y$ ,  $n$  – показники степеня для конкретних умов обробки;  $K_p$  – поправочний коефіцієнт.

Згідно розрахункової схеми (рис. 3.2) результуючу силу  $P_p$ , яка протидіє осьовій силі  $P_x$ , можна виразити через нормальні сили  $N_1$  і  $N_2$ , що виникають із сторони установочного паза ролика та заготовки:

$$P_p L = N_1 \sin(\alpha/2) + N_2 \sin(\alpha/2) = \sin(\alpha/2)(N_1 + N_2), \quad (3.2)$$

де  $L$  – відстань від місця обробки до осі ролика;  $\alpha$  – кут прогину поверхні заготовки.

Відповідно умова рівноваги сил, при якій не відбувається руйнування ролика, є наступною:

$$\begin{aligned} P_x L &\geq P_p \cos(\alpha/2) + P_{T1} \cos(\alpha/2) + P_{T2} + P_{T3} / [\operatorname{tg}(\alpha/2)]; \\ P_x L &\geq P_p \cos(\alpha/2) + P_{T1} \cos(\alpha/2) + P_{T2} + \frac{P_{T3} \cos(\alpha/2)}{\sin(\alpha/2)}; \\ P_x L &\geq P_{T2} + \cos(\alpha/2) \left( P_p + P_{T1} + \frac{P_{T3}}{\sin(\alpha/2)} \right). \end{aligned} \quad (3.3)$$

Значення сил тертя можна виразити через одну із нормальних сил  $N_1$  або  $N_2$ . Відповідно сила тертя рівна [121]:

$$P_{T1} = N_1 f; \quad (3.4)$$

$$P_{T2} = N_2 f; \quad (3.5)$$

$$P_{T3} = N_1 f / \cos(\alpha/2), \quad (3.6)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя.

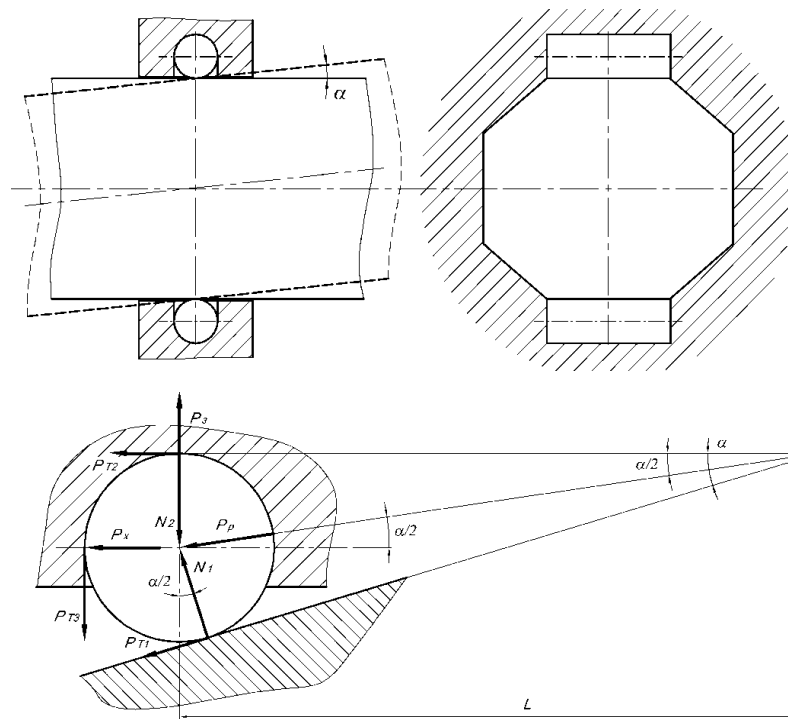


Рис. 3.2 – Розрахункова схема для визначення співвідношення сил контакту в зачепленні ролика люнета із заготовкою

З урахуванням рівності (3.2) і залежностей (3.4), (3.5), (3.6) умову цілісності ролика можна представити у наступному вигляді:

$$P_x L \geq N_2 f + \cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2) (N_1 + N_2) + N_1 f \cos(\alpha/2) + \frac{N_1 f \cdot \cos(\alpha/2)}{\cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)};$$

$$P_x L \geq N_2 (f + \cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)) +$$

$$+ N_1 \cos(\alpha/2) \left[ \sin(\alpha/2) + f + \frac{f}{\cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)} \right]. \quad (3.7)$$

Як видно із розрахункової схеми нормальна сила  $N_2$  із сторони установочного паза ролика є протилежно напрямленою силі тиску заготовки на ролик  $P_3$ , але рівною їй за значенням, а отже:

$$N_2 = P_3. \quad (3.8)$$

Відповідно силу тиску заготовки на ролик знайдемо з умови (3.6):

$$N_2(f + \cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)) \leq P_x L - N_1 \cos(\alpha/2) \left[ \sin(\alpha/2) + f + \frac{f}{\cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)} \right]$$

$$N_2 \leq \frac{P_x L - N_1 \cos(\alpha/2) \left[ \sin(\alpha/2) + f + \frac{f}{\cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)} \right]}{f + \cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)}, \quad (3.9)$$

відповідно сила тиску заготовки на ролик рівна:

$$P_3 = \frac{P_x L - N_1 \cos(\alpha/2) \left[ \sin(\alpha/2) + f + \frac{f}{\cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)} \right]}{f + \cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)}. \quad (3.10)$$

З врахуванням залежності (3.1) формула (3.10) набуде наступного вигляду:

$$P_3 = \frac{10C_p t^x s^y v^n K_p - N_1 \cos(\alpha/2) \left[ \sin(\alpha/2) + f + \frac{f}{\cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)} \right]}{f + \cos(\alpha/2) \cdot \sin(\alpha/2)}. \quad (3.11)$$

По аналогії із умовою міцності на зминання [66] напруження зминання при лінійному контакті ролика із заготовкою:

$$\sigma = 0,107 k_\tau \sqrt[3]{\frac{k_n P_x}{bd}} \leq [\sigma], \quad (3.12)$$

де  $k_\tau$  – коефіцієнт, що враховує дотичне навантаження в місці контакту;  $k_n$  – коефіцієнт нерівномірності по лінії дотику ролика і заготовки;  $b$  – ширина контакту ролика і заготовки;  $d$  – діаметр ролика;  $[\sigma]$  – гранично допустиме напруження при зминанні.

Для встановлення функціональної залежності сили тиску заготовки на ролик  $P_3$  від кута  $\alpha$  зміщення заготовки, було прораховано аналітичну залежність



(3.11). Теоретичні значення кута зміщення заготовки знаходились в межах  $\alpha = 1 \dots 9^\circ$ . Варіації лінійної довжини заготовки  $L = 0,8 \dots 1,0$  м (рис. 3.3).

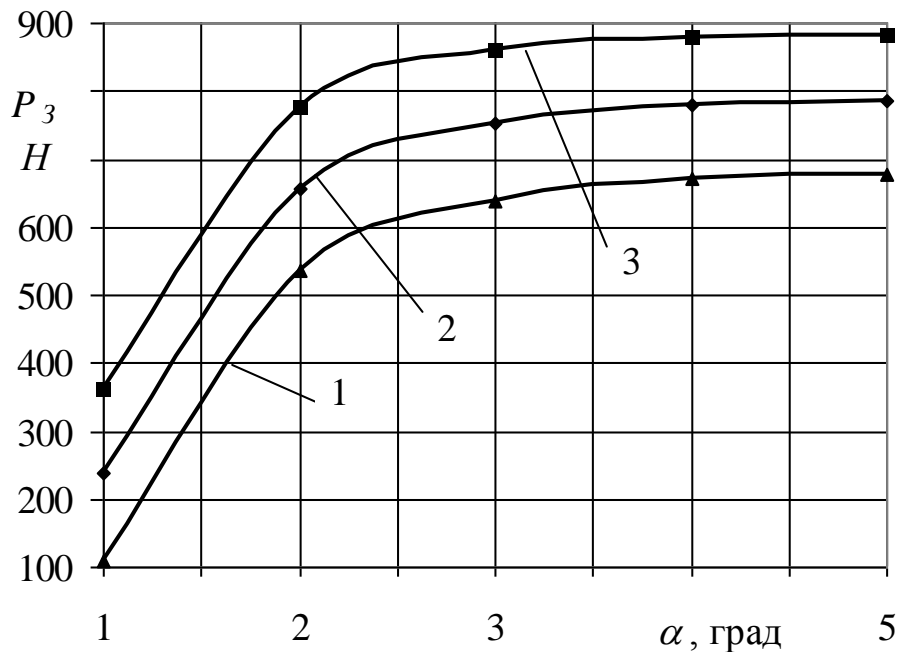


Рис. 3.3 – Залежності сили тиску заготовки на ролик  $P_3 = f(\alpha)$  при різних значеннях лінійної довжини заготовки: 1 –  $L = 0,8$  м; 2 –  $L = 0,9$  м; 3 –  $L = 1,0$  м

Шляхом аналізу числових даних отриманих в результаті розрахунку залежності (3.11), а також аналізуючи отримані графічні залежності  $P_3 = f(\alpha)$  (рис. 3.3) теоретично встановлено, що в зазначеному діапазоні сили різання при зміщенні заготовки в межах  $1 \dots 2^\circ$  спостерігається значне збільшення значення сили тиску на ролик. У діапазоні  $2 \dots 5^\circ$  ця тенденція зберігається, але характеризується більш плавним збільшенням. Зокрема в межах  $1 \dots 2^\circ$  сила тиску на ролик збільшується у  $2,1 \dots 4,8$  рази в залежності від довжини заготовки. А у діапазоні  $2 \dots 5^\circ$  лише в  $1,1 \dots 1,2$  рази. Відповідно можна зробити висновок, що найбільш небезпечним є початковий момент зміщення заготовки, оскільки саме тоді відбувається різке збільшення сили тиску на ролики, що і може спричинити руйнування останніх. Тому під час проектування аналогічних пристроїв доцільно

попередньо проводити перевірку тіл кочення на напруження зминання. Для цього можна застосовувати рівність (3.12).

Проте для підтвердження даного припущення необхідна серія експериментальних досліджень. Отримані аналітичні залежності дають змогу комплексно оцінити інтенсивність впливу того чи іншого параметра (при заданих інших), на величину сили тиску заготовки на ролик, а також можуть бути основою для розробки інженерної методики проектування аналогічних пристроїв.

### **3.2.2. Конструкції головок для нарізання різі в отворах**

Нами розроблено ряд пристроїв для забезпечення процесу нарізання різі в отворах, зокрема реверсивний патрон для нарізання різі [123], опис якого проведено в розділі 2 (рис. 2.6). Також розроблено головку для нарізання внутрішньої різі [125] (рис. 3.4). Її виконано у вигляді циліндричного корпусу 1 в якому встановлені всі механізми і деталі пристрою. З лівого кінця опорного стержня 2 виготовленні Т-подібні пази 3, під кутом  $15^\circ$ , які розміщені рівномірно по колу і які є у взаємодії з Т-подібними повзунками виступами 4 повзунів 5, з можливістю осевого переміщення. В повзунах 5 по центру встановленні різьбові гребінки 6, які затилованні в сторону руху головки гребінки 6 марковані за годинниковою стрілкою, які відрізняються одна від одної зміщенням профілю кроку від позначки «К» – вліво на  $0,5 \pm 0,05$  мм (крок  $t=2$ мм) на чотирьох гребенях.

Різьбові гребінки 6 маркують за годинниковою стрілкою 1, 2, 3, 4, які відрізняються одна від одної зміщенням профілю вліво на  $0,5 \pm 0,05$  мм (при кроку  $t=2$ мм) на чотирьох гребенях.

Для запобігання випадання гребінок 6 на торці опорного стержня 2 використовують кришку 7, яку кріплять гвинтами. Установка головки на довжину розміру нарізання різі здійснюється гвинтом 8 в пазу 9 опорного стержня 2, а також кільцем вимикання 10 і стержнями 11, які опорно кріпляться до корпусу 1 і кільцем опорним 12.

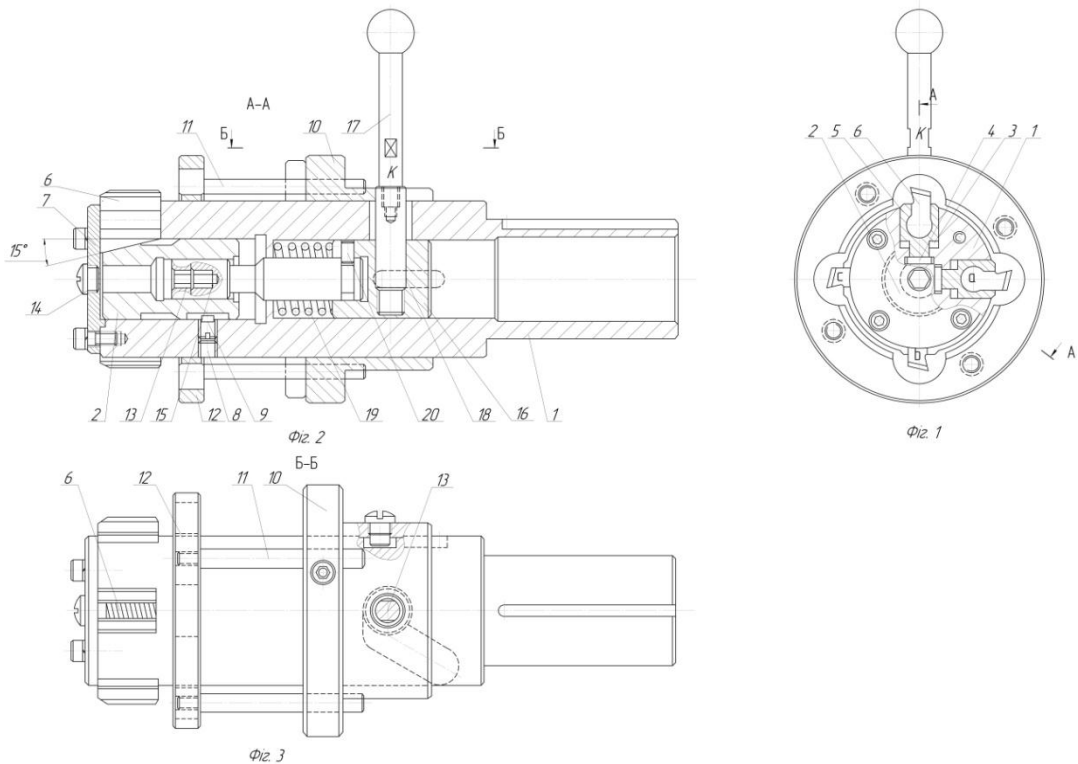


Рис. 3.4 – Головка для нарізання внутрішньої різі

Механізм регулювання величини різі здійснюють регулювальним гвинтом 13 шляхом продольного його переміщення опорного стержня 2. Для цієї мети відкручуються пробки 14 шестигранним ключем, який вводиться в центральний отвір кришки 7 викручується гвинт 13 до тих пір поки він не впреться в середині в тіло опорного стержня 2. Після цього регулювальний шестигранний ключ вводиться через стопорний гвинт 15 в шестигранний отвір регулювального гвинта 13 і провертається в ту чи іншу сторону. Регулювальний гвинт за допомогою штифтів 8, з'єднаний із сердечником 16, зв'язаним через рукоятку 17 з корпусом 1. Після цього закінчення регулювання розмір нарізної різі фіксується стопорним гвинтом 13.

Виключення мітчика здійснюється, як і автоматично так і вручну. Після автоматичного вимкнення та закінчення нарізання різі, упорне кільце 12 і зв'язне з ним кільце вимикання 10 зупиняється гребінками 6, дякуючи самозабезпеченню продовжують рухатись вперед і захоплюють з собою корпус із всіма зв'язними з ним деталями. Включене в роботу положення, здійснюється шляхом повороту

рукоятки 17 або поверхні назад опорного пальця 12. При ручному вимиканні необхідно рукоятку 17 повернути за годинниковою стрілкою, тоді кільце вимикання 10 заставить палець зіскочити 18 з прямолінійної ділянки паза корпусу, що призведе до самовиключення мітчика.

Робота головки здійснюється на ступним чином. Гребінка 6 своїми нижніми Т-подібними виступами входять у взаємодію з Т-подібними виступами опорного стержня 2 з можливістю осьового і радіального переміщення. Механізми включення і виключення головки виконанні з рукояткою 17, сердечником 16, пружиною 19, гвинтом регулюванням 13 та стопорним гвинтом 15 з штифтом 20. Переміщення цього механізму вперед здійснюється включенням головки, а назад – виключенням. При цьому гребінки 6 можуть бути ліві і праві – відповідно різьби можна виготовляти також ліві і праві.

Настроювання головки на заданий розмір нарізання різьби змінною гребінок 6 і налаштування здійснюють за допомогою втулки-калібра.

### **3.2.3. Стендове обладнання для проведення експериментальних досліджень**

На рис. 3.5 зображена конструкція пристрою для дослідження технологічних процесів виготовлення деталей автомобілів, який виконано у вигляді хвостовика 1, яким він кріпиться до шпинделя свердлильного чи іншого верстату [122].

Різьбовий кінець якого є у взаємодії з верхньою кришкою 2 до якого прикріплено демфуючі пружини 3, які в конструкції патрона 6 для кріплення свердла-мітчика 7. Ділянка між кінцевою частиною хвостовика 1 і різьбовою кінцевою частиною виконана у вигляді шліцьової поверхні, яка є у взаємодії з шліцьовою втулкою з можливістю осьового переміщення. На торці шліцьової втулки виконані півсферичні виїмки 8, які є у взаємодії з кульками 5.

В період перевантаження виходить з зачеплення і переміщаються по торцю фланця корпусу. Шліцьова втулка підтиснута пружиною стиснення за допомогою регулювальної гайки, яка накручена на різі на шліцьовій поверхні.

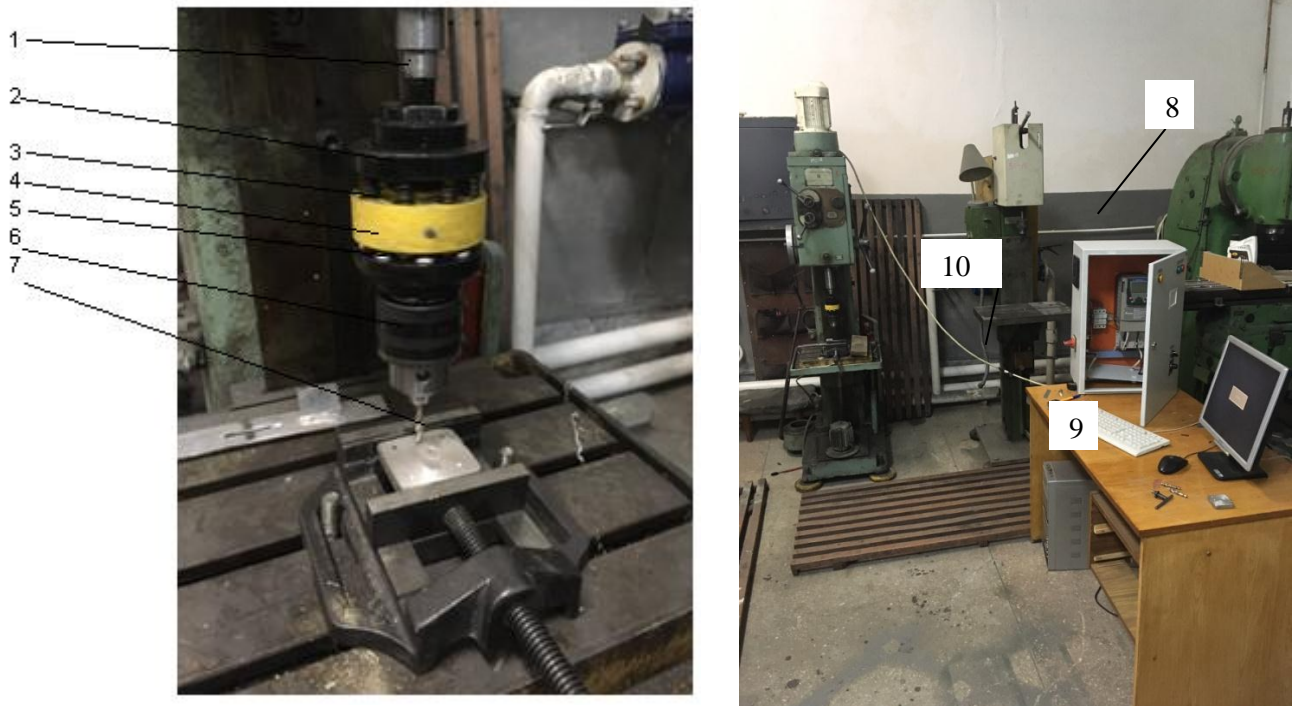


Рис. 3.5 – Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – хвостовик; 2 – верхня кришка; 3– демфуючі пружини; 4 – основа; 5 – кульки; 6 – патрон; 7 – свердло-мітчик; 8 – керуючий пристрій Altivar 71; 9 – комп’ютер; 10 – комутаційне з’єднання

Для відновлення процесу нарізання різьби усувають причину перевантаження свердла-мітчика 7 і при цьому встановлюється можливість відновлення технологічного процесу.

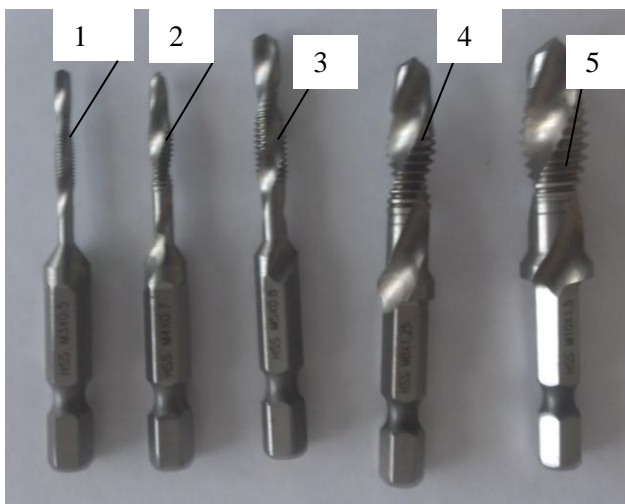


Рис. 3.6 – Набір експериментальних зразків комбінованих інструментів свердл-мітчиків типорозмірів  $\varnothing 3-10$  мм: 1) M3x0,5; 2) M4x0,7; 3) M5x0,8; 4) M8x1,25; 5) M10x1,5

Для експериментального дослідження комбінованих інструментів свердл-мітчиків (рис. 3.6) використовували розроблений макетний зразок експериментальної установки (рис. 3.5). Проведено дослідження технологічного процесу нарізання дюймової та метричної різі в корпусних тонкостінних деталях на базі вертикально-свердлильного верстату з експериментальними зразками комбінованих інструментів свердл-

мітчиків типорозмірів  $\varnothing 3-10$  мм іноземного виробництва у заготовках із сталі 08кп, сталі 20, сталі 45 та кольорових сплавів. Дослідження стійкості свердла-мітчика  $M8 \times 1,25$  проведено на вертикально-свердлильному верстаті моделі МН18Н-45. Матеріал – листовий прокат товщиною 8 мм.

Для керування частотою обертання хвостовика 1 (рис. 3.5) та комбінованих інструментів свердл-мітчиків 7 використовували стандартне ліцензоване програмне забезпечення Power Suite V2.3.0, яке призначене для регулювання керуючого пристрою 8 Altivar 71 та узгодження його перетворювачів частоти, пристроїв пуску системи Altistart 48, сервоприводів Lexium і інтелектуальних пускачів, зчитування даних з керуючого пристрою, виведення їх на монітор комп'ютера 9 у вигляді числових значень, або графічних побудов [].

Для пуску двигуна, регулювання частоти його обертання, та зняття експериментальних даних використовували перетворювач частоти Altivar 71, який працює в діапазоні потужності двигуна від 0,7 кВт до 2,2 кВт та програмне забезпечення PowerSuite v.2.5.0.

Силові кабелі приєднували через перетворювач частоти Altivar 71 до електричної системи токарного верстату. В свою чергу Altivar 71 підключали до ПК. У вікні програми PowerSuite v.2.5.0. вибирали модель даного перетворювача частоти та налаштовували необхідні параметри пуску двигуна і режим його роботи. Після усіх підготовчих робіт запускали процес проточування зовнішньої гвинтової канавки.

Після завершення процесу проточування у вікні програми Power Suite на дисплеї комп'ютера отримували дані про зміну крутного моменту і потужності двигуна в часі. Результати отримували у форматі графічних залежностей у вікні програми на дисплеї комп'ютера рис. 3.7.

Для крутного моменту і потужності двигуна фіксувались у відсотках від номінальних. Потужність двигуна визначалась із добутку номінальної потужності двигуна (2,2 кВт) на максимальне відсоткове значення для вибраного режиму. Аналогічно для крутного моменту. Для визначення номінального крутного моменту використовувалась відома формула:

$$M_n = \frac{9554 \cdot P_n}{n},$$

де  $P_n$  – номінальна потужність двигуна (кВт);  $n$  – частота обертання (об/хв).

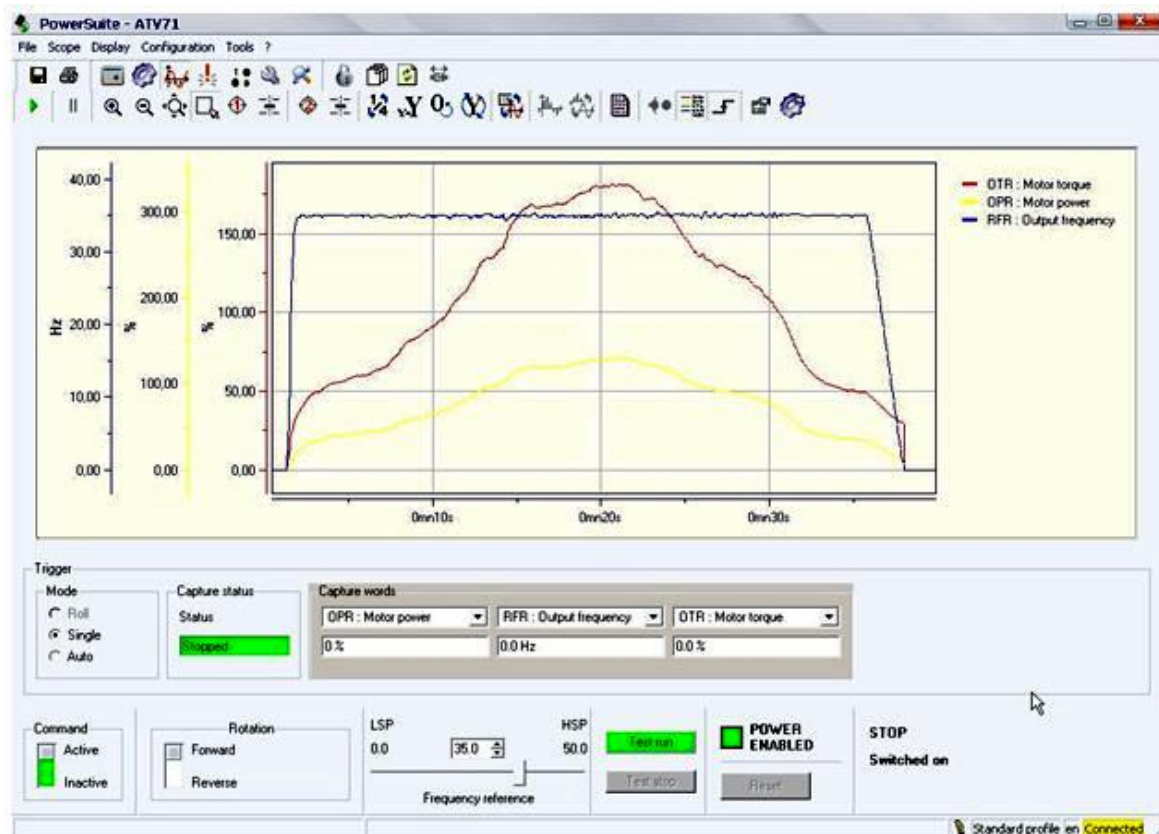


Рис. 3.7 – Зразок вікна програми з отриманими результатами

Для нашого випадку:  $M_n=45,86\text{Н}\cdot\text{м}$ .

Перевищення паспортних даних потужності та крутного моменту двигуна пояснюється тим, що перетворювач частоти Altivar може короткочасно перевищувати свій номінальний струм до 170%. Якщо перетворювач вибрано із запасом, то 170% перетворювача можуть становити 210% перевантаження двигуна.

Потрібно також відмітити, що крутний момент перетворювач розраховує за математичною моделлю і похибка може становити до 20% (або 5% в режимі зі зворотнім зв'язком з енкодера).

### **3.3. Методика та результати проведення багатофакторних експериментальних досліджень стійкості інструменту**

Результати його визначаються багатьма параметрами, іноді скритого характеру. Нерівномірність фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, його анізотропія, велика глибина фрезерування, деформування і нагрів, зміна різальної крайки зуба фрези, різні фізико-хімічні ефекти (налипання, окисні плівки тощо) появляються і зникають в процесі різання, і інші візуально непомітні фактори значно відбиваються на стійкості різального інструменту – нестабільність матеріалу інструменту, термічної обробки і заточки інструменту, його неконтрольовані параметри (мікрогеометрія різальної крайки, радіус її заокруглення), зміна зони жорсткості у зв'язку з режимами роботи верстата – все це у великій степені впливає на стійкість інструменту, а в кінцевому результаті – на продуктивність [138].

Метою експериментальних досліджень є дослідження стійкості мітчика у комбінованому інструменті свердло-мітчик, що у першу чергу дозволить обґрунтувати параметри обох інструментів у комбінації свердло-мітчик, оскільки стійкість комбінованого інструменту залежить якраз від стійкості мітчика, оскільки у свердлі можлива необмежена кількість переточок.

Експеримент проводили за методикою, розробленою проф. Боксом при вивченні оптимізації процесів хімічної технології і в 1964 році застосований для випробування стійкості різального інструменту [2]. Він носить назву «метод оптимального планування». Для експериментального визначення стійкості свердла-мітчика створюється математична модель, яка описує поведінку даної організованої системи. Вона дає представлення про поведінку даної системи із зміною ряду факторів і створюється на основі досліджень.

Матеріал інструменту HSSG-E має наступний хімічний склад: С – 0,93%, Cr – 4,2%, Мо – 6,4%, W – 6,4%, V – 1,8%, Со – 5%.

Дослідження стійкості свердла-мітчика  $M8 \times 1,25$  проводили на вертикально-свердлильному верстаті моделі МН18Н-45. Матеріал – листовий прокат товщиною 8 мм із сталі 08кп, сталь 20 і сталь 45.



Для визначення стійкості інструменту «свердло-мітчик» використовували математичну модель зміни стійкості.

Зміна стійкості інструменту  $T$  залежно від швидкості різання  $v$ , подачі на зуб  $s_z$  (визначається кількістю західних зубів мітчика) і твердістю оброблювального матеріалу  $HB$  визначається математичною моделлю [138, 142]:

$$T^m = C v s_z^p \hat{A}^q. \quad (3.13)$$

У даній залежності приймається  $T$  – залежна і  $v$ ,  $s_z$ ,  $HB$  – незалежні змінні.

Потрібно обмовитися: математична модель не описує систему в цілому, а лише окремий комплекс факторів, які нас цікавлять.

В логарифмічному масштабі рівняння буде поліномом першого степеню:

$$\ln T = \frac{\ln C}{m} + \frac{1}{m} \ln v + \frac{p}{m} \ln s_z + \frac{q}{m} \ln HB,$$

або, враховуючи помилки експерименту  $\varepsilon$ :

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \varepsilon. \quad (3.14)$$

Експеримент планували на основі багатофакторного аналізу, тобто одночасно варіюювали усі змінні фактори,  $x_1(v)$ ,  $x_2(s_z)$ ,  $x_3(HB)$ . Необхідно було визначити постійну  $b_0$  і коефіцієнти  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ . Кожна із цих змінних варіюється на двох рівнях ( $2^k$ ), де  $k$  – число змінних.

Швидкість різання досліджували для 3, 5, 8 м/хв., що відповідає обертам фрези 120, 200, 320 об/хв. відповідно; подачу на зуб мітчика використовували 0,18 (7 західних зубів), 0,25 (5 західних зубів) 0,38 (3 західні зуби) мм/зуб; твердість матеріалу сталі  $HB$  – 126 (сталь 08кп), 159 (сталь 20), 193 (сталь 45).

План дванадцяти дослідів передбачав дві серії по шість дослідів у кожній – шість основних і шість додаткових. Вибір режимів обробки проводиться таким чином, щоб спростити кодування із врахуванням можливостей обладнання і граничних режимів обробки, як це показано у табл.3.1.

Режими різання і кодові позначення

Рівень	Режими дослідження			Кодові позначення		
	$v$ м/хв.	$s_z$ мм/зуб	$HB$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Верхній	8	0,38	193	1	1	1
Середній	5	0,25	159	0	0	0
Нижній	3	0,18	126	-1	-1	-1

Ці рівні закодовані за допомогою рівнів перетворення таким чином, щоб верхній рівень відповідав +1, а нижній -1.

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\ln v - \ln 8)}{(\ln 8 - \ln 3)} + 1 \\ x_2 &= \frac{2(\ln s_z - \ln 0,38)}{(\ln 0,38 - \ln 0,18)} + 1 \\ x_3 &= \frac{2(\ln HB - \ln 193)}{(\ln 193 - \ln 126)} + 1 \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

Тут, у плані експерименту, наприклад, за одиницю швидкості нарізання різі прийнята величина  $\frac{\ln 8 - \ln 3}{2}$ . Таким чином швидкість нарізання різі  $v$  перетворюється шляхом ділення її на прийняту одиницю.

Аналогічно поступаємо з подачею  $s_z$  і твердістю  $HB$ . Для спрощення розрахунків композиційний план будувався згідно так званого “італійського куба” [142], побудованого на трьох ортогональних координатах з початком в центрі куба (рис. 3.8). На вершинах куба позначені номери дослідів, режимів нарізання різі і твердості матеріалу заготовки згідно табл. 3.2.

Дослідні точки позначені темними кружками згідно перших чотирьох дослідів; додатково два досліді ставляться в центрі куба для перевірки гіпотези адекватності (досліді 9 і 10). Якщо гіпотеза адекватності не проходить, виконуємо ще шість дослідів: добудовуються ще вершини куба (позначені кружками) і ще два досліді в центрі [130].

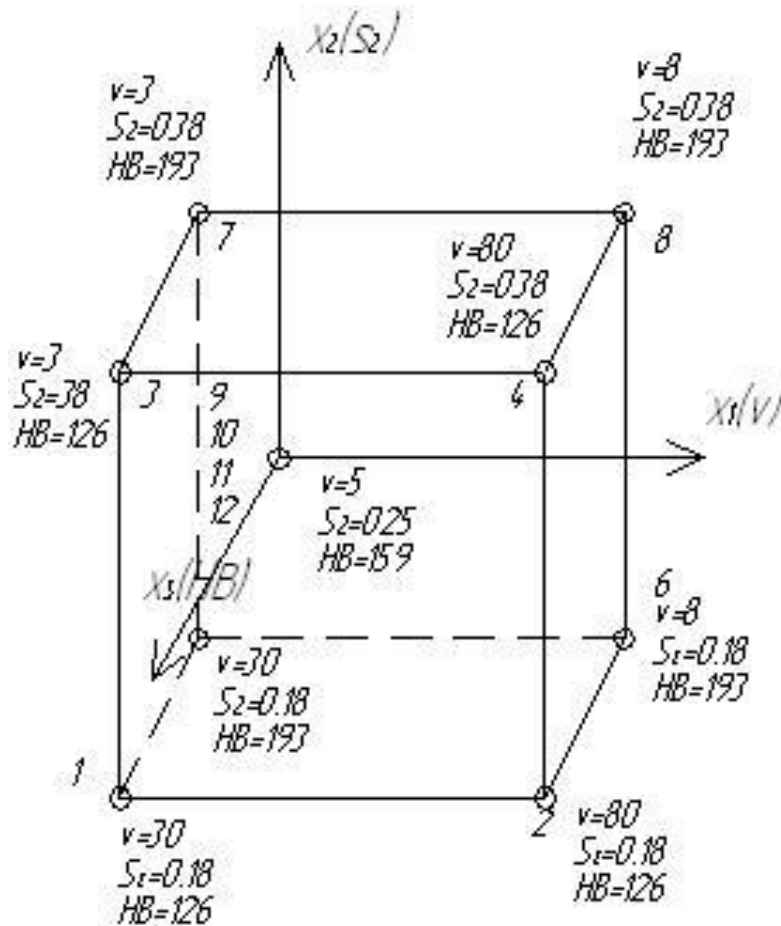


Рис. 3.8 – Композиційний план дослідження згідно “італійського куба”

Таблиця 3.2

Режими різання, твердість матеріалу, кодові значення і стійкість інструменту

№ з/п	№ серії	Режими різання			Кодові позначення			T, хв.	y=lnT
		v, м/хв.	S <sub>2</sub> , мм/зуб	HB	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>		
1	2	3	0,18	126	-1	-1	-1	90	4,49
2	1	8	0,18	126	1	-1	-1	60	4,09
3	1	3	0,38	126	-1	1	-1	70	4,24
4	2	8	0,38	126	1	1	-1	45	3,81
5	1	3	0,18	193	-1	-1	1	35	3,55
6	2	8	0,18	193	1	-1	1	25	3,21
7	2	3	0,38	193	-1	1	1	20	2,99
8	1	8	0,38	193	1	1	1	12,5	2,52
9	1	5	0,25	159	0	0	0	40	3,68
10	1	5	0,25	159	0	0	0	45	3,8
11	2	5	0,25	159	0	0	0	40	3,68
12	2	5	0,25	159	0	0	0	45	3,8

На основі результатів серії №1 із шести дослідів зручно оцінити чотири коефіцієнти в емпіричній формулі  $y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3$  використовуючи метод найменших квадратів і властивості скалярного добутку основних векторів.

Згідно способу найменших квадратів необхідно, щоб сума квадратів відхилень фактичних значень  $y$  від формальних, отриманих за рівнянням (3.15)  $y_{x_1x_2x_3}$ , була найменшою, тобто:

$$\sum(y-y_{x_1x_2x_3})^2=\min \quad (3.16)$$

Ліву частину виразу (3.16) позначимо буквою  $f$  ( $f$  – функція від невідомих параметрів  $b_0, b_1, b_2, b_3$ ).

Мінімум цієї функції знайдемо із рівнянь:

$$\frac{df}{db_0}=0; \quad \frac{df}{db_1}=0; \quad \frac{df}{db_2}=0; \quad \frac{df}{db_3}=0. \quad (3.17)$$

Продиференціювавши, напишемо систему цих рівнянь у кінцевому вигляді:

$$\begin{aligned} \sum y &= nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + b_3 \sum x_3; \\ \sum yx_1 &= b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1x_2 + b_3 \sum x_1x_3; \\ \sum yx_2 &= b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_2x_1 + b_2 \sum x_2^2 + b_3 \sum x_2x_3; \\ \sum yx_3 &= b_0 \sum x_3 + b_1 \sum x_3x_1 + b_2 \sum x_3x_2 + b_3 \sum x_3^2. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Рівняння (3.18) дають можливість визначити  $b_0 = \frac{\sum y}{n}$ , де  $n$  – число дослідів;  
 $n = 6$ :

$$b_1 = \frac{\sum yx_1}{\sum x_1^2} = \frac{\sum yx_1}{4}; \quad b_2 = \frac{\sum yx_2}{\sum x_2^2} = \frac{\sum yx_2}{4}; \quad b_3 = \frac{\sum yx_3}{\sum x_3^2} = \frac{\sum yx_3}{4}. \quad (3.19)$$

Необхідно додати, що інші члени рівнянь (3.18) будуть рівні нулю, оскільки вектори  $x_1, x_2, x_3$  є ортогональними і  $\sum x_i = 0$ .

Очевидно, було б простіше не вирішувати рівнянь (3.16) – (3.18), а

використати матриці  $(x'x)$  і  $(x'x)^{-1}$ :

$$x'x = \begin{vmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{vmatrix}, \quad (x'x)^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{6} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} \end{vmatrix}.$$

Залежності для визначення коефіцієнтів  $b_0 \dots b_3$  згідно рівнянь (3.19) будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= 1/6(y_2 + y_3 + y_5 + y_8 + y_9 + y_{10}) \\ b_1 &= 1/4(y_2 - y_3 - y_5 + y_8) \\ b_2 &= 1/4(-y_2 + y_3 - y_5 + y_8) \\ b_3 &= 1/4(-y_2 - y_3 + y_5 + y_8) \end{aligned} \right\}. \quad (3.20)$$

Тут індекси при  $y$  визначають номери дослідів (табл. 3.2).

Підставляючи в останні рівняння (3.20) значення дослідів із табл. 3.2, отримаємо:

$$b_0 = \frac{1}{6}(4,09 + 4,24 + 3,55 + 2,52 + 3,68 + 3,80) = 3,65;$$

$$b_1 = \frac{1}{4}(4,09 - 4,24 - 3,55 + 2,52) = -0,3;$$

$$b_2 = \frac{1}{4}(-4,09 + 4,24 - 3,55 + 2,52) = -0,22;$$

$$b_3 = \frac{1}{4}(-4,09 - 4,24 + 3,55 + 2,52) = -0,57.$$

У цьому випадку для серії дослідів №1 отримаємо формулу для визначення стійкості інструмента:

$$\ln T \approx 3,65 - 0,3x_1 - 0,22x_2 - 0,57x_3. \quad (3.21)$$

Логарифмічна залежність (3.21) необхідно розшифрувати згідно рівнянь (3.15), тобто:

$$x_1 = \frac{2(\ln v - \ln 8)}{\ln 8 - \ln 3} + 1 \approx \frac{2(\ln v - 2,07)}{2,07 - 1,09} + 1 = 2,04 \ln v - 4,22;$$

$$x_2 = \frac{2(\ln s_z - \ln 0,38)}{\ln 0,38 - \ln 0,18} + 1 \approx \frac{2(\ln s_z + 0,96)}{-0,96 + 1,71} + 1 = 2,66 \ln s_z + 3,55;$$

$$x_3 = \frac{2(\ln HB - \ln 193)}{\ln 193 - \ln 126} + 1 \approx \frac{2(\ln HB - 5,26)}{5,26 - 4,83} + 1 = 4,65 \ln HB - 23,46.$$

Підставляємо значення  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  в рівняння (3.21) і отримуємо уточнену формулу для визначення логарифма стійкості фрези:

$$\ln T = 3,65 - 0,3(2,04 \ln v - 4,22) - 0,22(2,66 \ln s_z + 3,55) - 0,57(4,65 \ln HB - 23,46) = 14,98 - 0,61 \ln v - 0,58 \ln s_z - 2,65 \ln HB.$$

Отже, кінцева формула для визначення стійкості комбінованого свердла-мітчика для оброблення сталевих деталей прийме вигляд:

$$T = \frac{e^{14,98}}{v^{0,61} s_z^{0,58} HB^{2,65}} = \frac{3,06 \times 10^6}{v^{0,61} s_z^{0,58} HB^{2,65}}, \text{ хв.} \quad (3.22)$$

Після статистичного аналізу результатів серії №1, коли виявилися сильно великі інтервали стійкості для 95% достовірності, були виконані ще шість дослідів серії №2 досліджень.

В результаті всіх 12 дослідів, відповідно до вище наведених розрахунків і табл. 2, отримуємо уточнені коефіцієнти для визначення стійкості свердла-мітчика:

$$b_0 = \frac{1}{12} \left( 4,49 + 4,09 + 4,24 + 3,81 + 3,55 + 3,21 + 2,99 + 2,52 + 3,68 + \right. \\ \left. + 3,80 + 3,68 + 3,80 \right) = 3,65;$$

$$b_1 = \frac{1}{8} (-4,49 + 4,09 - 4,24 + 3,81 - 3,55 + 3,21 - 2,99 + 2,52) = -0,21;$$

$$b_2 = \frac{1}{8} (-4,49 - 4,09 + 4,24 + 3,81 - 3,55 - 3,21 + 2,99 + 2,52) = -0,22;$$

$$b_3 = \frac{1}{8} (-4,49 - 4,09 - 4,24 - 3,81 + 3,55 + 3,21 + 2,99 + 2,52) = -0,54.$$

$$\ln T = 3,65 - 0,21(2,04 \ln v - 4,22) - 0,22(2,66 \ln s_z + 3,55) - 0,54(4,65 \ln HB - 23,46) = 14,85 - 0,42 \ln v - 0,58 \ln s_z - 2,51 \ln HB$$

$$T = \frac{e^{14,85}}{v^{0,42} s_z^{0,58} HB^{2,51}} = \frac{2,2 \times 10^6}{v^{0,42} s_z^{0,58} HB^{2,51}}, \text{ хв.} \quad (3.23)$$

Аналіз формули (3.23) показує, що результат обчислення мало відрізняється від результату, отриманого за формулою (3.22), але 95-процентні довірчі інтервали значно покращилися завдяки більшій кількості дослідів.

Діаграма зміни стійкості інструменту від твердості оброблювального матеріалу зображена на рис. 3.9.

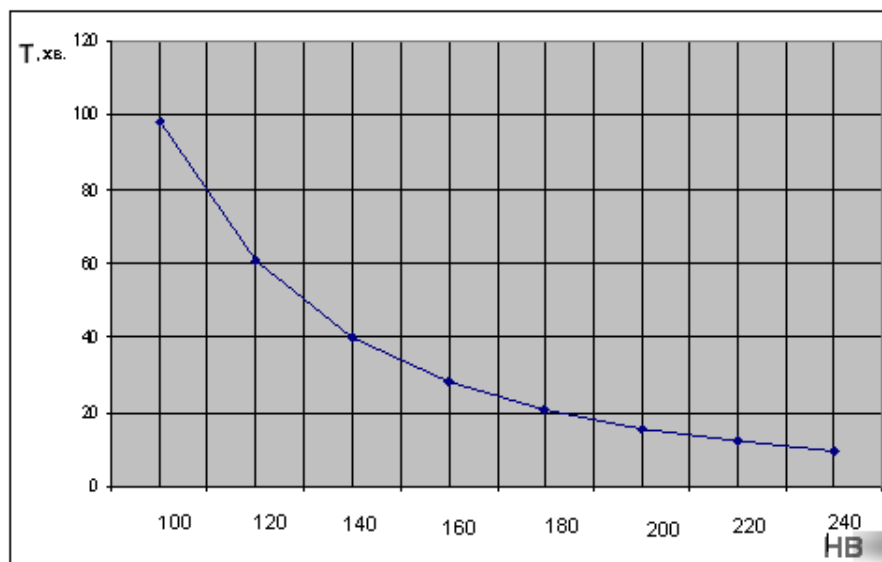


Рис. 3.9 – Діаграма зміни стійкості мітчика від твердості оброблювального матеріалу

### 3.4. Методика та результати проведення багатофакторних експериментальних досліджень сили різання

Для визначення впливу конструктивно-кінематичних параметрів (незалежних факторів  $x_i$ ) технологічного процесу нарізання різьби в корпусних тонкостінних деталях з визначенням сили різання, стійкості інструмента, (параметр оптимізації P) проведено два окремі повнофакторні експерименти, тобто визначення залежності сили різання від зміни трьох основних факторів.

Для перевірки адекватності теоретичних досліджень (теоретичної моделі) сили різання  $P$ , Н, проведено експериментальні дослідження за допомогою лабораторних установок та комбінованих інструментів свердл-мітчиків, які наведена на рис. 3.5. та рис. 3.6.

Основними незалежними змінними факторами, які впливали на процес сили різання  $P$ :

- частота обертання інструмента  $n$ , яку кодували індексом  $x_1$ ;
- діаметра свердла-мітчика  $d$ , яку кодували індексом  $x_2$ ;
- швидкості різання  $v$ , яку кодували індексом  $x_3$ ;

Таким чином, для дослідження сили різання лабораторних установок, було вибрано апроксимуючі математичні моделі у вигляді функціональної залежності  $P = f_{(P)}(x_1, x_2, x_3)$ .

Для реалізації експериментальних досліджень з визначення сили різання лабораторних установок або функціональних залежностей, а саме  $P = f_{(P)}(x_1, x_2, x_3)$  був таким:

- кодування змінних вхідних факторів,
- розроблення таблиці вхідних факторів, визначення верхнього і нижнього рівнів варіювання кожного фактора та інтервалу його варіювання;
- визначення загального числа експериментів однієї повторності;
- складання план-матриці порядку проведення експериментів;
- проведення рандомізації план-матриці;
- реалізацію експериментів згідно з рандомізованою план-матрицею;
- оброблення експериментального масиву даних з метою отримання емпіричного рівняння регресії з визначенням виду функціональної залежності та її коефіцієнтів;
- перевірку відтворюваності одержаних експериментальних даних;
- оцінювання значущості коефіцієнтів регресії;
- перевірку адекватності отриманої математичної моделі реальному експериментальному процесу;



- проведення графо-аналітичного аналізу результатів експериментальних досліджень і висновків

Для побудови план-матриці планування експериментів [2] вводили умовні позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторів, відповідно +1, -1, 0, тобто трифакторний експеримент провели на трьох рівнях варіювання вхідними факторами або реалізували планований експеримент типу ПФЕ  $3^3$ .

Оскільки, під час проведення експериментів змінні незалежні фактори неоднорідні та мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних значень до кодованих.

Зв'язок між кодованими  $x_i$  та натуральними  $X_i$  змінними факторами встановлювали за залежністю [60]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3.24)$$

де  $X_{i0}$  – натуральне значення  $i$ -го фактору на нульовому рівні;  $\Delta X_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го фактору.

Повнофакторний експеримент проводили на трьох рівнях варіювання факторів. Нульовий рівень, або середнє значення кожного вхідного фактору, визначали за формулою [60]:

$$X_0 = \frac{X_{max} + X_{min}}{2}, \quad (3.25)$$

де  $X_0$  – числове значення нульового рівня вхідного фактору;  $X_{max}$  – числове значення верхнього рівня вхідного фактору;  $X_{min}$  – числове значення нижнього рівня вхідного фактору.

Визначали інтервали варіювання факторами [60]:

$$\Delta X_i = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}. \quad (3.26)$$

Вводили умовні позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторів, відповідно +1, -1, 0 для побудови план-матриці планування експериментів [60]. Дослідження проводили, для визначення сили різання із заготовки сталі 08кп, сталі 20, сталі 45 ГОСТ 1050-94.

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 3.3 для сили різання. Після кодування вхідних факторів склали план-матриці повнофакторних експериментів типу ПФЕ  $3^3$  для загального числа дослідів  $N = P^k$ , де  $P$  – кількість рівнів варіювання,  $k$  – кількість діючих вхідних факторів у експерименті, наведені для експериментальних досліджень проточування канавок та гнуття полоси відповідно у табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання для проведення експериментальних досліджень сили різання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур.	код.				
Частота обертання обкатного інструмента $n$ , об/хв	$X_1$	$x_1$	54	216/(+1)	162/(0)	108/(-1)
Діаметр свердла-мітчика $d$ , м	$X_2$	$x_2$	0,0014	0,007/(+1)	0,0056/(0)	0,0042/(-1)
Швидкість різання $v$ , м/хв	$X_3$	$x_3$	2,5	8/(+1)	5,5/(0)	3/(-1)

З метою достовірної оцінки експериментальних даних, необхідну кількість вимірів показників, що контролюються (повторність дослідів), визначали за методикою, викладеною у [2, 60], при цьому досліди проводили у трикратній повторності.

Рандомізована план-матриця багатфакторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$  для  $P = f_{(P)}(n; d; v)$  наведена у табл. 3.4.

Рандомізована план-матриця експерименту типу ПФЕ  $3^3$ 

№ досл ·	Рівні факторів			Взаємодія факторів			Параметр оптимізації, $T, H_m$			Середні значення $T_c, H_m$
							Повторюваність			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	1	2	3	$P$
1	0	+1	-1	0	0	-1				85,77
2	+1	-1	+1	-1	+1	-1				42,89
3	0	-1	+1	0	0	-1				57,15
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1				95,3
5	0	0	-1	0	0	0				57,18
6	+1	+1	0	+1	0	0				76,2
7	0	+1	0	0	0	0				95,3
8	+1	0	+1	0	+1	0				47,65
9	0	0	+1	0	0	0				69,85
10	+1	+1	-1	+1	-1	-1				104,83
11	+1	-1	0	-1	0	0				52,42
12	-1	-1	-1	+1	+1	+1				69,85
13	-1	+1	0	-1	0	0				133,42
14	0	0	0	0	0	0				66,71
15	0	-1	-1	0	0	+1				88,9
16	0	-1	0	0	0	0				114,36
17	1	0	0	0	0	-1				57,18
18	+1	+1	+1	+1	+1	+1				76,2
19	-1	0	0	-1	0	0				95,3
20	-1	-1	+1	+1	-1	-1				47,65
21	+1	-1	-1	-1	-1	+1				63,5
22	-1	0	-1	0	0	0				123,89
23	+1	0	-1	0	-1	0				57,18
24	-1	-1	0	+1	0	0				82,55
25	0	+1	+1	0	0	+1				104,83
26	-1	0	+1	0	-1	0				52,42
27	-1	+1	-1	-1	+1	-1				69,85

При цьому функцію відгуку (параметр оптимізації) приймали у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратичного полінома, який описує реальний експериментальний процес:

$$\begin{aligned}
 Y = \eta = & b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + \\
 & + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2,
 \end{aligned}
 \tag{3.27}$$

де  $\eta$  – експериментальне значення сили різання  $H$ ;  
 $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  – коефіцієнти регресії відповідних значень  
 вхідних факторів  $x_i$ ;  $x_1, x_2, x_3$  – вхідні кодовані фактори.

З метою достовірної оцінки експериментальних даних, необхідну кількість вимірів показників, що контролюються (повторність дослідів), визначали за методикою, викладеною у [2], при цьому досліди проводили у трикратній повторності.

Коефіцієнти апроксимуючого полінома, представленого у вигляді повного квадратичного рівняння, за умови ортогональності та симетрії, визначали за відповідними загальними формулами [60]:

- вільний член  $b_0$  і коефіцієнти  $b_i$   $i$ -го фактору:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N} ; \quad (3.28)$$

- коефіцієнти взаємодії  $b_{ij}$ :

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N} , \quad (3.29)$$

де  $x_{iu}$  – значення кодової змінної у відповідному стовпці плану експерименту;  
 $\bar{y}_u$  – середній результат  $u$ -го дослідів;  $u$  – порядковий номер дослідів;  $i$  – номер фактору;  $j, k$  – номер фактору, відмінного від  $i$ -го;  $N$  – кількість проведених експериментів.

Статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії  $b_i$  проводили за  $t$  – критерієм Ст'юдента та визначали у такій послідовності [28]:

- визначали дисперсію похибок дослідів у рядках плану ПФЕ:

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{ui} - \bar{y}_u)^2 , \quad (3.30)$$

де  $n$  – кількість паралельних дослідів (повторюваностей одного експерименту);

$j = 1, 2, \dots, n$ ;

- визначали дисперсію відтворення дослідів:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2, \quad (3.31)$$

- визначали похибку відтворення:

$$S_y = \sqrt{S_y^2}, \quad (3.32)$$

- визначали умову значимості коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії:

$$b_{i(jk)} > \frac{t_T S_y}{\sqrt{Nn}}, \quad (3.33)$$

де  $t_T$  – табличне значення коефіцієнта Ст'юдента, яке вибирається з таблиці залежно від ступеня відповідності  $f$  та рівня значимості  $\alpha$  [60].

Ступінь відповідності дорівнює:

$$f = (n - 1)N. \quad (3.34)$$

Якщо умова значимості (3.31) не виконується, то такий коефіцієнт  $b_i$  рівняння регресії приймали рівним нулю, а відповідний член  $x_i$  рівняння регресії виключали.

Перевірку адекватності вибраної математичної моделі експериментальним даним, тобто відповідність математичної моделі реальному процесу, здійснювали за  $F$  - критерієм Фішера наступним чином [60]:

- визначали дисперсію адекватності:

$$S_{ag}^2 = \frac{n}{N - g'} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2, \quad (3.35)$$

де  $N - g'$  – число степеней вільності дисперсії адекватності;  $g'$  – число значимих коефіцієнтів в рівнянні регресії;  $\bar{y}_u$  – середнє значення відгуку в  $u$ -му досліді;  $\tilde{y}_u$  – значення відгуку в  $u$ -й точці плану, обчислене за рівнянням регресії;

- визначали розрахунковий критерій відповідності Фішера  $F_p$ :

$$F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2}, \quad (3.36)$$

де  $S_y^2$  – дисперсія відтворення дослідів;

- визначали табличне значення критерію Фішера  $F_T$  за заданим рівнем значимості  $\alpha$  і двома степенями відповідності [60]:  $f_{ag} = N - g$  та  $f_y = N(n - 1)$ .

Умову адекватності вибраної математичної моделі перевіряли згідно нерівності:

$$F_p < F_T. \quad (3.37)$$

Отримане значення  $F_p$  порівнювали з табличним  $F_T$ . Якщо умова  $F_p < F_T(0,05, f_{ag}, f_y)$  виконувалась, тобто розрахункове значення  $F_p$  – критерію Фішера менше табличного  $F_T$  при 5 %-му рівні значущості, числі степені вільності дисперсії адекватності  $f_{ag} = N - g$  та числі степені вільності дисперсії відтворюваності  $f_y = N(n - 1)$ , то рівняння регресії ПФЕ адекватне експериментальним даним.

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакету прикладних статистичних програм оброблення та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК „Statistica 6.0”, будували залежності поверхонь відгуку параметра оптимізації та двомірний переріз поверхонь відгуку для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень [2, 60].

Апроксимацію отриманої експериментальної ломаної лінії, яка побудована за результатами проведених досліджень, проводили за відомими стандартними методиками, при цьому величину відхилення (“неузгодженості”) визначали за способом найменших квадратів, яка описується залежністю:

$$\Theta = \sum_{i=1}^N \varepsilon^2 = \sum_{i=1}^N (m_{i_e} - m_{i_m})^2, \quad (3.38)$$

де  $\Theta = \varepsilon^2$  – величина “неузгодженості”;  $m_{i_e}$ ,  $m_{i_m}$  – відповідно теоретичне, визначене за емпіричною формулою та експериментальне значення  $i$ -го дослідження.

Відповідно в натуральних координатах рівняння регресії прийме вигляд:

$$P(n, d, v) = 224,35 - 1,26n - 7,9v + 0,0024n^2 - 0,0298nd + 0,0299dv + 1,0071d^2. \quad (3.39)$$

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК, будували тривимірні просторові залежності поверхонь відгуку сили різання комбінованих інструментів свердл-мітчиків та їх двомірний переріз для наочного зображення результатів проведених експериментальних лабораторних досліджень.

Отримані регресійна залежності сили різання комбінованих інструментів свердл-мітчиків у вигляді функціонала  $P = f_{(P)}(n; d; v)$  характеризували впливи одиничних факторів (частота обертання інструмента  $n$ , діаметр свердла-мітчика  $d$  та швидкість різання  $v$ ) та їх взаємодію на параметр оптимізації.

На рис. 3.10 зображено поверхні відгуку та їх двомірний переріз зміни сили різання комбінованих інструментів свердл-мітчиків від частоти обертання інструмента  $n$ , діаметра свердла-мітчика  $d$  та швидкості різання  $v$ .

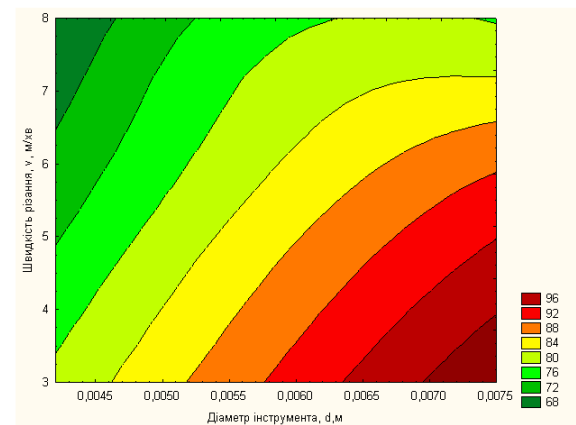
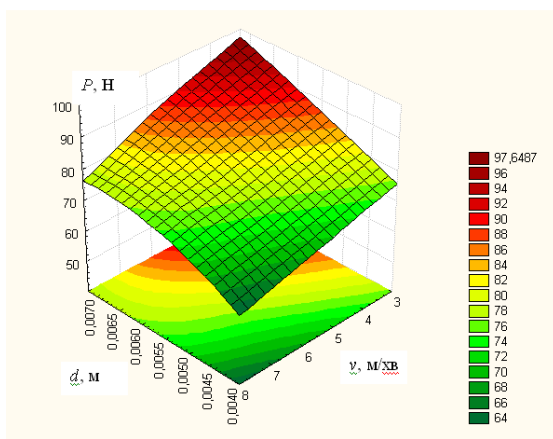
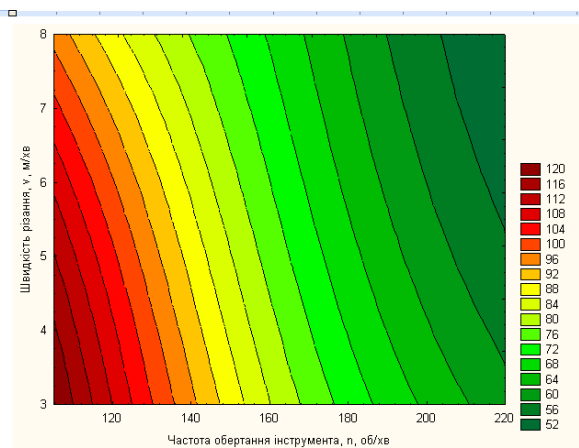
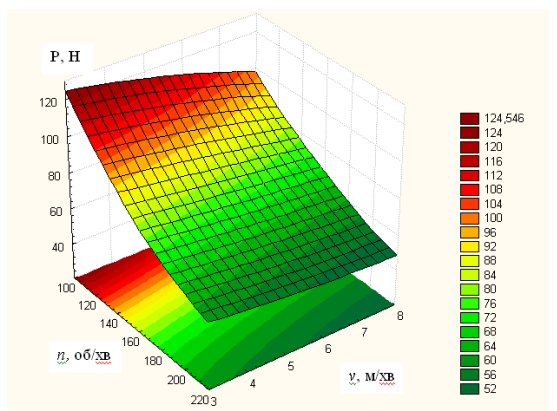
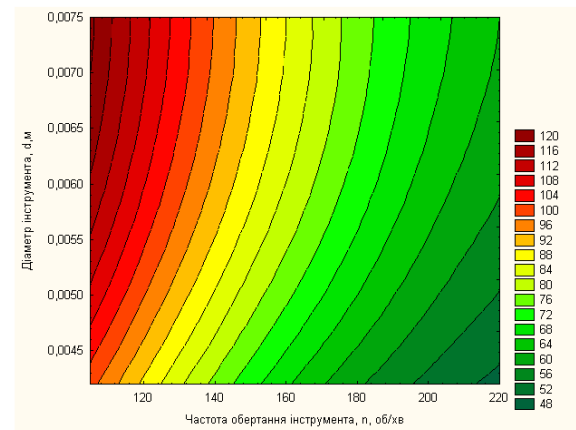
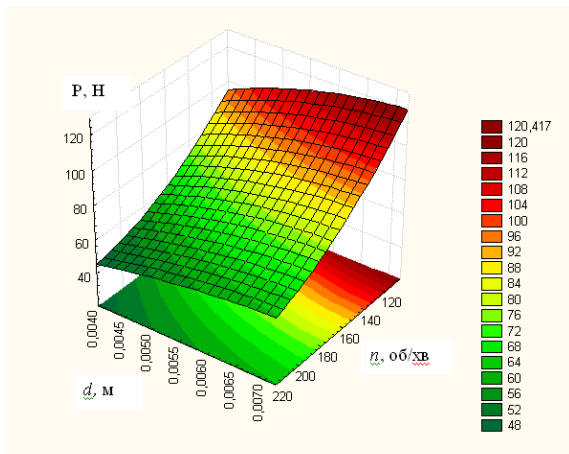


Рис. 3.10 – Поверхня відгуку зміни сили різання  $P$  як функціонал:

$$\text{а) } P = f_{(P)}(n; d); \text{ б) } P = f_{(P)}(n; v); \text{ в) } P = f_{(P)}(d, v)$$

На основі графо-аналітичного аналізу побудованої діаграми зміни сили різання в часі встановлено, що характер функціональної зміни зменшення проходить внаслідок виходу свердла із зони різання і входу шийки мітчика в зону нарізання різьби (рис. 3.11).



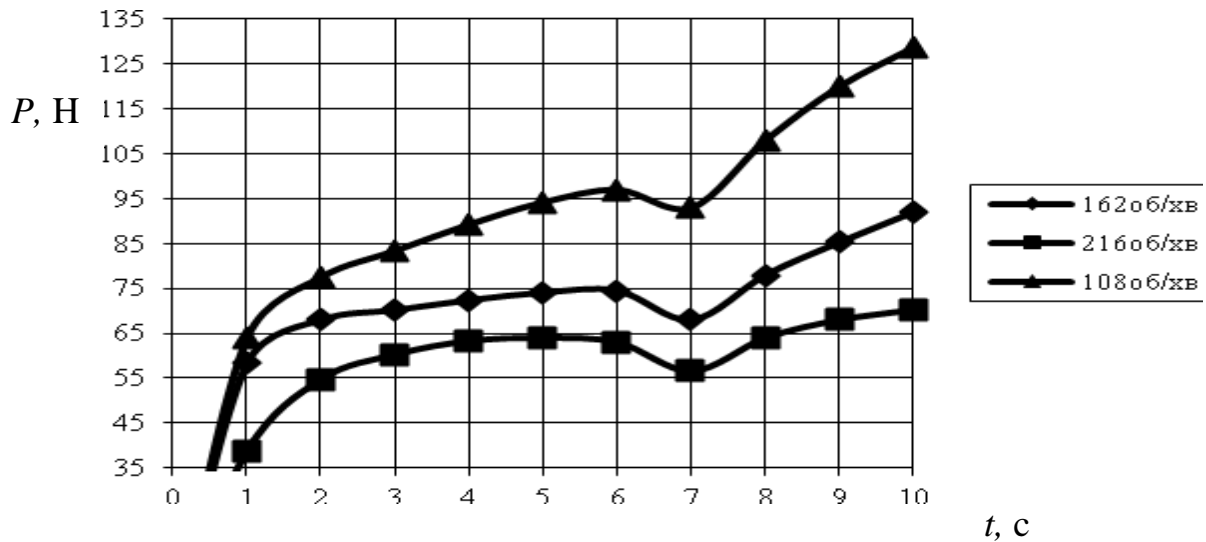


Рис. 3.11 – Залежність зміни величини зусилля в часі при свердлінні та нарізанні різі (1–6 секунди – свердління; 7–10 секунди - нарізання різі)

### 3.5. Висновок до третього розділу

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Розроблена методика проведення експериментальних досліджень пальцевими різальними інструментами, на основі якої спроектовано конструкцію експериментального патрона для дослідження різних технологічних процесів, Пристрій забезпечує визначення силових, конструктивних та технологічних параметрів.

2. Наведено методику та експериментальні дослідження верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів та отримано регресійну залежність із визначенням впливу величини швидкості різання  $v$ , подачі на зуб мітчика  $S_z$  та твердості матеріалу  $HB$  на величину зміни стійкості інструменту  $T$  тобто  $T = f(v, S_z, HB)$ . Факторне поле визначалось таким діапазоном зміни параметрів:  $3 \leq v \leq 8$  (м/хв);  $0,18 \leq S_z \leq 0,38$  (мм/зуб);  $126 \leq HB \leq 193$ . Для проведення досліджень використовували листовий прокат товщиною 8мм із сталі 08кп, сталі 20 і сталі 45.

3. Наведено результати експериментальних досліджень із визначення сили різання та одержано рівняння регресії у вигляді функції  $P = f_{(P)}(n; d; v)$ , яка описує

характер зміни сили різання інструмента у таких межах зміни вхідних факторів: частоти обертання свердла-мітчика  $108 \leq n \leq 216$  об/хв.; діаметра свердла-мітчика  $0,0042 \leq d \leq 0,007$  м; швидкість різання  $3 \leq v \leq 8$  м/хв. Основний масив апроксимованих значень сили різання знаходиться в діапазоні від 47,65 до 133,42 Н.

4. Встановлено, що із збільшенням діаметра свердла-мітчика від 0,0042 до 0,007 м сила різання  $P$  збільшується в середньому від 53 до 100 Н, а із збільшенням частоти обертання інструмента  $n$  від 108 до 216 об/хв. сила різання  $P$  зменшується. Приріст сили різання  $P$  в межах збільшення діаметра свердла-мітчика  $d$  від 0,0042 до 0,007 м та при збільшенні швидкості  $v$  від 3 до 8 м/хв. досягає 57,1 Н.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ПРОЕКТУВАННЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ

#### 4.1. Інженерна методика проектування оснащення для формоутворення різьбових поверхонь

Затискні пристрої типу патронів мають значну сферу застосування у сучасному машинобудуванні в процесах механічної обробки деталей, а саме у свердлильних та різьбонарізних операціях. Як правило для цього застосовуються стандартні пристрої без підвищених вимог щодо точності обробки. Проте при розробці нових затискних пристроїв доцільно забезпечувати розширення їх технологічних можливостей і підвищення чутливості системи.

Результати досліджень розрахунків і проектування верстатних пристосувань висвітлені у монографії Белоусова А.П. [16], теорія розрахунку елементів конструкцій різного роду механізмів наведені у працях Біргера І.А. [19]. Проте кожен новий пристрій має свою специфіку розрахунку та проектування, а отже є потреба паралельно із розробкою конструкції проводити розрахунок її конструктивно-силових параметрів.

Як приклад затискного пристрою із розширеними технологічними можливостями можна навести розроблену конструкцію патрона для обробки деталей пальцевим ріжучим інструментом (рис. 4.1).

Патрон для оброблення деталей пальцевими ріжучими інструментами виконано у вигляді ступінчастого корпусу 1 з лівої сторони у центральному еліпсному отворі 2 якого жорстко встановлено еліпсну оправку з можливістю осьового кругового переміщення, яку виконано із двох половинок нижньої 3 і верхньої 4 (розріз по А-А перший варіант). Між ними встановлені пружні елементи – пружини 5 з горизонтальним розміщенням зі значним кроком.

У другому варіанті (розріз по А-А другий варіант рис. 4.1) пружина 5 встановлені вертикально в отвори 6 з верхніми центрувальними елементами 7 в

кількості 2...4 штук в залежності від величини крутного моменту і довжини оправки, яку в зборі мають діаметр рівний меншому діаметрі еліпсної оправки з можливістю кругового провертання. Причому з лівого кінця нижньої половинки 4 виконано глухий квадратний отвір 8, який є у взаємодії з кінцями ріжучого інструменту 9. Верхня частина 4 еліпсної оправки по довжині є коротшою від нижньої і вони виконані у двох варіантах. Перший між нижньою 3 і верхньою 4 половинками виконано осьовий отвір 10, який є у взаємодії з циліндричною пружною пружиною 5 з великим кроком (розріз по А-А перший варіант рис. 4.1). У другому варіанті (розріз по А-А другий варіант рис. 4.1) пружини 5 встановлені вертикально в отвори 6 нижньої півкруглої половини в кількості 2...4 штук в залежності від довжини оправки і величини крутного моменту. Крім цього половинки розрізаних оправок зцентровані відомими центрувальними елементами 7 і стягнуті пружними елементами 11 відомої конструкції.

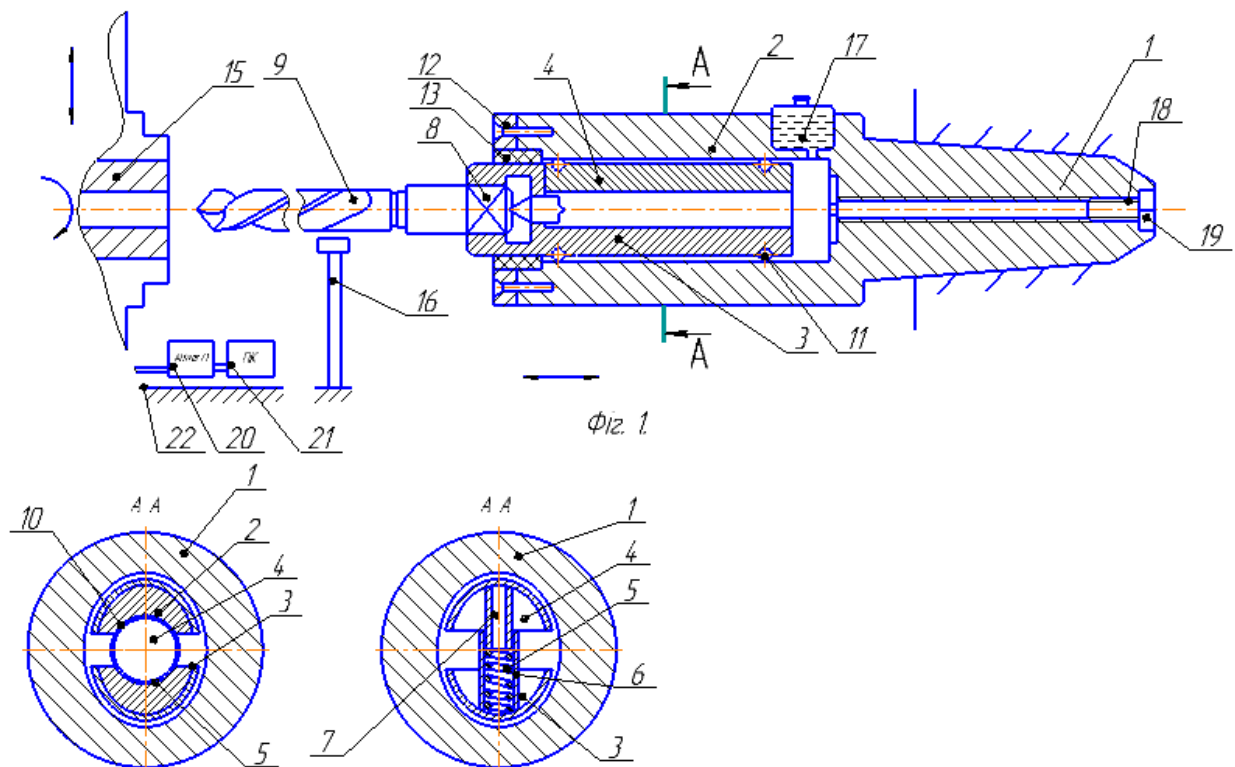


Рис. 4.1 – Конструкція патрона для обробки деталей пальцевим ріжучим інструментом

Крім цього еліпсний отвір з лівого торця ступінчастого циліндричного корпусу закритий кришкою 12 і еліпсним ущільнення 13, який є у взаємодії з зовнішнім діаметром еліпсної оправки 3 і 4 з можливістю осьового і кругового переміщення. Це забезпечує відповідну фіксацію положення вильоту еліпсної оправки 3 з мітчиком 9, який встановлений в глухий квадратний отвір 8 еліпсної оправки з лівого її кінця. Мітчик 9 служить для виконання відповідних операцій в заготовці 15, яка жорстко закріплена в патроні токарного верстату, він здійснює осьове переміщення, заготовки.

Для обмеження осьового переміщення і включення реверсу в нижній зоні переміщення торця оправки 3 і 4 встановлено упор-перемикач 16 на станині верстату. Крім цього в зону еліпсного отвору 2 залито мастило для зменшення тертя, яке розміщено зверху корпусу 1 в ємкості 17. З правого торця корпусу отвір 18 закритий (заглушений) гвинтом 19. Крім цього на столі 22 встановлені Altivar 71 20 і персональний комп'ютер 21 для заміру зусилля і параметрів різання. Використання еліпсного з'єднання оправка-еліпсний отвір значно зменшують сили тертя і підвищують точність обробки.

Оскільки даний пристрій призначений для високоточних операцій то на точність обробки, можуть впливати поздовжні зміщення еліпсної оправки, які виникають при крученні. Величину поздовжніх зміщень можна визначити з відповідної формули [16]:

$$z = \frac{M_{кр} [(a/2)^2 - (b/2)^2]}{G\pi(a/2)^3(b/2)^3} xy, \quad (4.1)$$

де  $M_{кр}$  – крутний момент;  $a, b$  – розміри січення еліпсної оправки по осях  $x$  і  $y$ ;  $G$  – модуль зсуву.

Крутний момент можна виразити через кут  $\varphi$  закручування еліпсної оправки:

$$M_{кр} = GC\varphi, \quad (4.2)$$

де  $C$  – жорсткість еліпсної оправки на кручення :

$$C = \pi \frac{(a/2)^3 (b/2)^3}{(a/2)^2 + (b/2)^2}. \quad (4.3)$$

Інший аспект полягає в тому, що корпус патрона можна розглядати як товстостінний циліндр, який зазнає навантаження внутрішнім тиском  $P$ , що створюється маслом. З точки зору статки, для забезпечення умови рівноваги, невідомі шукані напруження  $\sigma_r$  і  $\sigma_t$  знаходяться розв'язуванням статично невизначених задач. Рівняння статки має наступний вигляд: [42]:

$$\sigma_r - \sigma_t + \frac{d\sigma_r}{dr} = 0. \quad (4.4)$$

Для визначення напружень  $\sigma_r$  і  $\sigma_t$  радіальне переміщення довільної точки кільця нашого циліндра з абсцисою  $r$  позначимо через  $u$ , а приріст цього переміщення за рахунок зміни координати  $r$  на величину  $dr$  буде  $du$ . Тоді відносні лінійні деформації у радіальному  $\varepsilon_r$  і тангенціальному  $\varepsilon_t$  напрямках виражаються через переміщення  $u$ :

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}; \quad \varepsilon_t = \frac{u}{r}. \quad (4.5)$$

Вище наведені вирази визначають геометричні зв'язки задачі. Фізичні аспекти визначаються законом Гука і у нашому випадку для напружень  $\sigma_r$  і  $\sigma_t$  мають наступний вигляд:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{du}{dr} + \mu \frac{u}{r} \right); \quad \sigma_t = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{u}{r} + \mu \frac{du}{dr} \right), \quad (4.6)$$

де  $E$  – модуль пружності;  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона.

Підставивши вирази для напружень (4.5) у рівняння статки (4.4) отримаємо:

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = 0. \quad (4.7)$$

Розв'язком даного диференціального рівняння другого порядку із змінними коефіцієнтами буде:

$$u = c_1 r + \frac{c_2}{r}. \quad (4.8)$$

Шляхом підстановки виразу (4.8) у рівняння (4.6) отримаємо:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{E}{1-\mu^2} \left( c_1(1+\mu) - c_2 \left( \frac{1-\mu}{r^2} \right) \right); \\ \sigma_t &= \frac{E}{1-\mu^2} \left( c_1(1+\mu) + c_2 \left( \frac{1-\mu}{r^2} \right) \right). \end{aligned} \quad (4.9)$$

Сталі інтегрування  $c_1$  і  $c_2$  знаходяться із граничної умови на внутрішньому контурі циліндра  $\sigma_r(r) = P$  і  $\sigma_t(r) = P$ .

Відповідно формули для визначення напружень мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_r \\ \sigma_t \end{array} \right\} = \frac{P \cdot r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( 1 \pm \frac{r_2^2}{r_1^2} \right), \quad (4.10)$$

де  $r_1$  і  $r_2$  – відповідно внутрішній і зовнішній радіуси корпусу.

Оскільки отвір корпусу є фактично глухим, закритий (заглушений) гвинтом (див. рис.1), то паралельно до осі корпусу діє поздовжня сила  $F$  і у поперечних перерізах діють напруження  $\sigma_z$ , які визначаються за формулою:

$$\sigma_z = \frac{F}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}. \quad (4.11)$$

Напруження  $\sigma_r$  – розтягуючі,  $\sigma_t$  – стискуючі. Максимальні значення цих напружень виникають на внутрішньому контурі і вони рівні:

$$\sigma_r = -F; \quad \sigma_t = F \frac{1 + \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2}{1 - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2}. \quad (4.12)$$

Навантаження, які діють на кульки патрона можна визначити за умовами статичної рівноваги. Як правило навантаження зводяться до сили  $F$ , прикладеної до центра робочої поверхні і до моменту  $M$ , який діє у поздовжній площині (рис. 4.2). Розрахунок можна провести для випадку лінійного закону розподілу навантаження на тіла кочення, які розміщені по довжині оправки патрона.

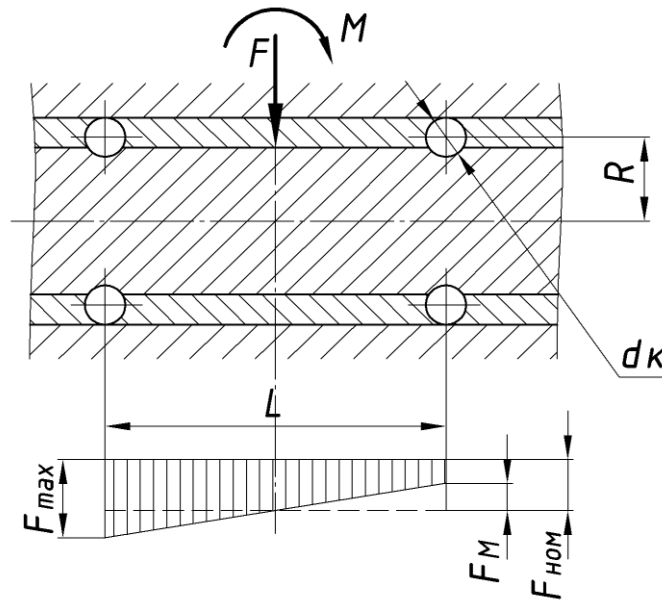


Рис. 4.2 – Схема дії навантажень на тіла кочення плаваючого патрона

Силу  $F$ , прикладену до центра робочої поверхні, можна виразити через зовнішній крутний момент  $M_{кр}$  і у нашому випадку:

$$F = \frac{M_{кр}}{R}, \quad (4.13)$$

де  $R$  – радіус розміщення кульок, м.

Згідно умови стійкості робочих поверхонь проти спрацювання силу, яка сприймається найнавантаженішою кулькою з урахуванням рівності (4.13), можна розрахувати за формулою:

$$F_{\max} = M_{кр} \cdot \left( \frac{1}{zR} + \frac{6}{z^2 L} \right), \quad (5.14)$$

де  $z$  – кількість робочих тіл кочення (кульок);  $L$  – відстань між кульками, м.



По аналогії з розрахунком тіл кочення за максимальним навантаженням на тіла кочення та з врахуванням залежності (4.14) можна провести перевірочний розрахунок на контактну втому нашого зачеплення:

$$\sigma_H = Z_M \sqrt[3]{2 \left[ (10C_M \cdot D_H^q \cdot P^y \cdot K_p) \cdot \left( \frac{1}{zR} + \frac{6}{z^2L} \right) \right]} / d_k^2 \leq [\sigma]_H, \quad (4.15)$$

де  $Z_M$  – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів деталей пари контакту;  $d_k$  – діаметр кульки, мм.

Якщо при підстановці конструктивних даних в розрахунках умови (4.14) і (4.15) не виконуються, то необхідно збільшити кількість  $z$  кульок залишивши сталими відстань  $L$  між ними і їх діаметр  $d_k$ .

При навантаженні циліндричної пружини кручення, яка розміщена горизонтально, зовнішнім крутним моментом  $M_{кр}$  у поперечних перерізах витків утворюється такий же момент, вектор якого напрямлений вздовж осі пружини. Дане навантаження можна умовно розкласти на дві складові, а саме на згинальний момент  $M_{зг} = M_{кр} \cdot \cos \alpha$  та момент, що спрямований на скручування витків,  $T_{ск} = M_{кр} \cdot \sin \alpha$ . Оскільки в стандартних пружинах кут підйому витків  $\alpha \leq 10^\circ$ , то скручуванням витків можна знехтувати, а розрахунок витків пружини на міцність достатньо проводити лише за згинальним моментом  $M_{зг} = M_{кр}$ .

Відповідно напруження згину для витків циліндричної пружини кручення можна розрахувати за формулою:

$$\sigma = \frac{32M_{кр} \cdot K'}{\pi d^3}, \quad (4.16)$$

де  $d$  – діаметр поперечного перерізу витка пружини, мм;  $K'$  – коефіцієнт кривизни витків, який рівний:

$$K' = \left( \frac{D}{d} - 0,25 \right) / \left( \frac{D}{d} - 1 \right), \quad (4.17)$$

де  $D$  – середній діаметр пружини, мм.

Для випадку вертикального розміщення пружних елементів під час роботи патрона вони будуть зазнавати додаткового впливу, в межах пружної деформації, від відцентрової сили  $P_e$ .

Значення відцентрової сили можна визначити за формулою:

$$P_e = m_n \omega_o^2 (R_o - \Delta'_n), \quad (4.18)$$

де  $m_n$  – маса половинки еліпсної оправки;  $\omega_n$  – кутова швидкість обертання патрона;  $R_o$  – відстань від осі патрона до половинки еліпсної оправки;  $\Delta'_n$  – поточна деформація пружини.

Конструктивно забезпечивши жорсткість патрона можна запобігти поздовжньому зміщенню еліпсної оправки, проте з врахуванням перспективи обробки отворів значної довжини необхідно, при проектуванні аналогічних пристроїв, попередньо проводити такого роду розрахунки з метою встановлення можливості забезпечення необхідної точності обробки.

#### **4.2. Технологічність конструкції пристроїв і різальних інструментів для оброблення різьбових поверхонь та основні параметри процесу нарізання різьбових отворів в тонкостінних деталях комбінованим свердлом-мітчиком**

Суттєвий вплив на процеси оброблення отворів має технологічність конструкції інструменту, а також самого процесу. Відповідно відпрацювання конструкції металорізального інструменту на технологічність передбачає: зниження трудомісткості і собівартості виготовлення металорізального інструменту, вартості і часу технічного обслуговування та ремонту інструменту [159]. Загалом технологічність конструкції виробу [157, 162] – це сукупність властивостей, які визначають його пристосованість до досягнення оптимальних витрат у процесі виробництва, експлуатації та ремонту для заданих показників якості й умов виконання своїх функцій.

Вимоги, що ставляться до конструкцій мітчиків, регулюються ДСТУ ГОСТ 1604:2008 (Мітчики гайкові. Конструкція), ДСТУ ГОСТ 3266:2008 (Мітчики машинно-ручні. Конструкція та розміри), ДСТУ ISO 8051:2015 (ISO 8051:1999,

IDT) (Мітчики з довгим хвостовиком номінального діаметра від М3 до М10. Мітчики з хвостовиком повного діаметра з канавкою) та ішими.

Вимоги, що ставляться до технологічності виробів, регламентуються ГОСТ 14.205-83 (Технологічність конструкції виробу. Терміни і визначення), ГОСТ 14.202-83 (Правила вибору показників технологічності конструкції виробів) та ГОСТ 14.201-83 (Забезпечення технологічності конструкції виробів. Загальні вимоги). ГОСТ 14.202-83 [Орг] виділяє основні і додаткові показники технологічності. До основних показників відносять: трудомісткість виготовлення виробу (сумарні витрати праці на здійснення технологічних процесів виготовлення виробу); технологічну собівартість виробу (частина собівартості виробу, яка визначається сумою витрат на здійснення технологічних процесів виготовлення виробу). До додаткових показників технологічності відносять: техніко-економічні (до них відносяться відносна трудомісткість заготівельних, механічних і складальних робіт); технічні (що до них відносяться коефіцієнти уніфікації і стандартизації виробів, коефіцієнт точності та інші). Для всіх видів виробів, в тому числі й металоріжучих інструментів, за ГОСТ 14.201-83 при відпрацюванні конструкції виробу на технологічність головним завданням ставиться зниження трудомісткості виготовлення виробу.

Технологічне оснащення повинно забезпечувати правильне базування і надійне закріплення заготовки, точний напрям ріжучого інструменту, має бути достатньо міцним і довговічним, і для забезпечення цих вимог потрібно проводити наступні розрахунки технологічного оснащення: геометричний, силовий, на точність, міцність і жорсткість, а також економічної ефективності розробки і використання.

Геометричний розрахунок повинен передбачати перевірку правильності розташування опор і упорів, затискачів, кондукторних втулок, виконання правила шести точок, і під час його проведення виконується перевірка безперешкодного встановлення та зняття заготовки, а також можливість руху поворотних деталей (відкидних кришок, поворотних планок, відсутність на їх шляху будь-яких перешкод). При виконання геометричного розрахунку уточнюються розміри та

розташування усіх без виключення елементів, за допомогою яких проводиться базування оснащення на верстаті (напрямних шпонок, опорних штифтів тощо). При використанні призматичних, регульованих та самоустановочних опор перевіряються їх розміри з метою перевірки правильності розташування заготовки як по висоті, так і в горизонтальній площині. Також потрібно враховувати естетичні показники, і, особливо, безпеки. [75].

Силовий розрахунок технологічного оснащення здійснюється для перевірки можливості закріплення заготовки і збереження її нерухомого положення під час дії сил різання та визначення необхідних зусиль на важілях ручного затиску або штоках проводів. Виходячи з розрахункових значень цих зусиль визначаються розміри силової частини приводу та тиску робочого середовища. Силовий розрахунок пристосувань проводиться на основі рівнянь статички з урахуванням дії сил і моментів різання та при врахуванні коефіцієнту запасу 1,5...2.

Після проведення силового розрахунку виконують розрахунок технологічного оснащення на міцність і жорсткість, і його головною метою є перевірка розмірів, які виключають поломку деталей та виникнення надмірних деформацій під дією сил затиску та різання.

З метою забезпечення технологічності швидкість різання мітчиками приймають в межах  $v = 10...20$  м/хв., а для швидкорізальних автоматних мітчиків більше 20 м/хв. Також у розділі 2 дисертаційної роботи наведено формули для визначення крутного моменту при різьбонарізанні для різних типів різьбарізних інструментів, потужності, яка витрачається на нарізання різи, витрат часу роботи різьбонарізного обладнання на обробку однієї заготовки для різних методів різьбонарізання.

В дисертаційній роботі проведено дослідження і обґрунтовано параметри (розділ 3) процесу нарізання різьбових отворів в тонкостінних деталях комбінованим свердлом-мітчиком. Встановлено, що процес нарізання різи в тонкостінних деталях комбінованим інструментом свердло-мітчик можна проводити лише на верстатах напівавтоматах та верстатах з ЧПК. На універсальних верстатах ефективно цей процес виконувати неможливо, бо після

свердління отвору і виході з нього свердла слід змінювати режими оброблення для операції нарізання різи, а це на універсальному верстаті здійснити надто важко. Крім того, в процесі арізання різи необхідно, щоб при завершенні процесу кілька останніх калібрувальних витків залишились у нарізаній різі, для ефективного реверсування інструменту і його виведення з оброблені деталі. Відповідно текий параметр оброблення можна реалізувати лише на верстатах напівавтоматах та верстатах з ЧПК.

Визначено, що процес нарізання різьбових отворів (дюймова та метрина різи) в тонкостінних деталях комбінованим свердлом-мітчиком діаметром  $d = 0,0042...0,007$  м слід проводити з частоти обертання  $n = 108...216$  об/хв.; швидкістю різання  $v = 3...8$  м/хв.; подачею різання  $s_z = 0,18...0,38$  мм/зуб. В таблиц 4.1 відображено основні параметри процесу нарізання різьбових отворів в тонкостінних деталях комбінованим свердлом-мітчиком діаметром  $d = 0,0042...0,007$  м.

Таблиця 4.1

Основні параметри процесу нарізання різьбових отворів в тонкостінних деталях комбінованим свердлом-мітчиком

Діаметр інструменту, $d$ (мм)	Свердління		Різьбонарізання	
	подача, $s$ (мм/об.)	частота обертання, $n$ (об/хв.)	крок різи, $P$ (мм)	швидкість різання, $v$ (м/хв.)
сталь 08кп (твердість матеріалу HB – 126)				
4,2	0,12	300	0,75	5,6
5,0	0,15	250	0,81	6,0
6,0	0,18	200	1,25	6,0
7,0	0,21	180	1,5	6,0
сталь 20 (твердість матеріалу HB – 159)				
4,2	0,12	300	0,75	5,6
5,0	0,15	250	0,81	6,0
6,0	0,18	200	1,25	6,0
7,0	0,21	180	1,5	6,0
сталь 45 (твердість матеріалу HB – 193)				
4,2	0,12	300	0,75	5,6
5,0	0,15	250	0,81	6,0
6,0	0,18	200	1,25	6,0
7,0	0,21	180	1,5	6,0

### **4.3. Перспективні конструкції пристроїв і різальних інструментів для оброблення різьбових поверхонь**

Широке використання різьбових з'єднань у машинобудуванні обумовлене їхньою простотою, високою несучою здатністю, експлуатаційною надійністю і довговічністю, зручністю з'єднання та роз'єднання деталей, а відтак потребує розробленим прогресивних конструкцій технологічного оснащення для оброблення зовнішніх і внутрішніх поверхонь і різей. Тому нами розроблено ряд розроблено ряд перспективних конструкцій пристроїв і різальних інструментів для оброблення різьбових поверхонь.

Зокрема розроблено конструкцію реверсивного патрона [123] (рис. 3.4), особливістю якого є захист різальних інструментів при обробленні корпусних деталей від поломок. Конструкція патрону працює таким чином, що при завершенні нарізання в отворі різі здійснюється включення реверсивної подачі і вивід інструменту з отвору. При цьому обертовий рух передається зі шпінделя верстату на верхню конічну шестерню де спрацьовують сателіти – конічні шестерні і обертовий рух здійснюється в протилежну сторону, відповідної мітчик викручуються з заготовки.

Пристрій для нарізання гайок зігнутих мітчиком (додаток А Пат. України №126983) зображено рис. 4.3. Його виконано у вигляді станини 1, на якій встановлені всі вузли і деталі, а кожна із шестигранних секцій 2 знизу є у взаємодії з заготовками гайок 3, відсувним диском 5, а магазин оснащений центральним механізмом повороту 6 кожної із шести секцій на 60°. Це шестигранний магазин 2 для подачі заготовок гайок 3, де у внутрішній корпус з шести сторін жорстко встановлені (приклеєні) пластичні пластини 4, які гасять динамічні навантаження при взаємодії з заготовками гайок. Внизу під магазином 2 встановлена завантажувальна секція 7 з внутрішнім шестигранником з конусною зручною західною частиною для гайок 3, який є у періодичній взаємодії з зовнішніми гранями гайок з можливістю осьового переміщення, яка знизу підтримує потік гайок і за допомогою пневмоприжима 8 подає гайку до контакту з мітчиком 9, який лівим кінцем різцю загвинчується у внутрішній отвір 10 мітчика

9 в напрямок само закручування. Для мітчиків збільшених типорозмірів така конструкція, яка складається з двох деталей дає значну економію металу. Знизу під завантажувальною секцією в станині жорстко встановлена на двох підшипниках 11 шестигранна труба 7 з можливістю кругового повертання. Зверху шестигранна труба виконана з індивідуальним приводом 12 зі зручним заходом шестигранних гайок в середині труби. Знизу шестигранна труба 7 встановлена співвісно до Г-подібної труби 13 дещо збільшеного діаметра і жорстко закріплена до станини 1.

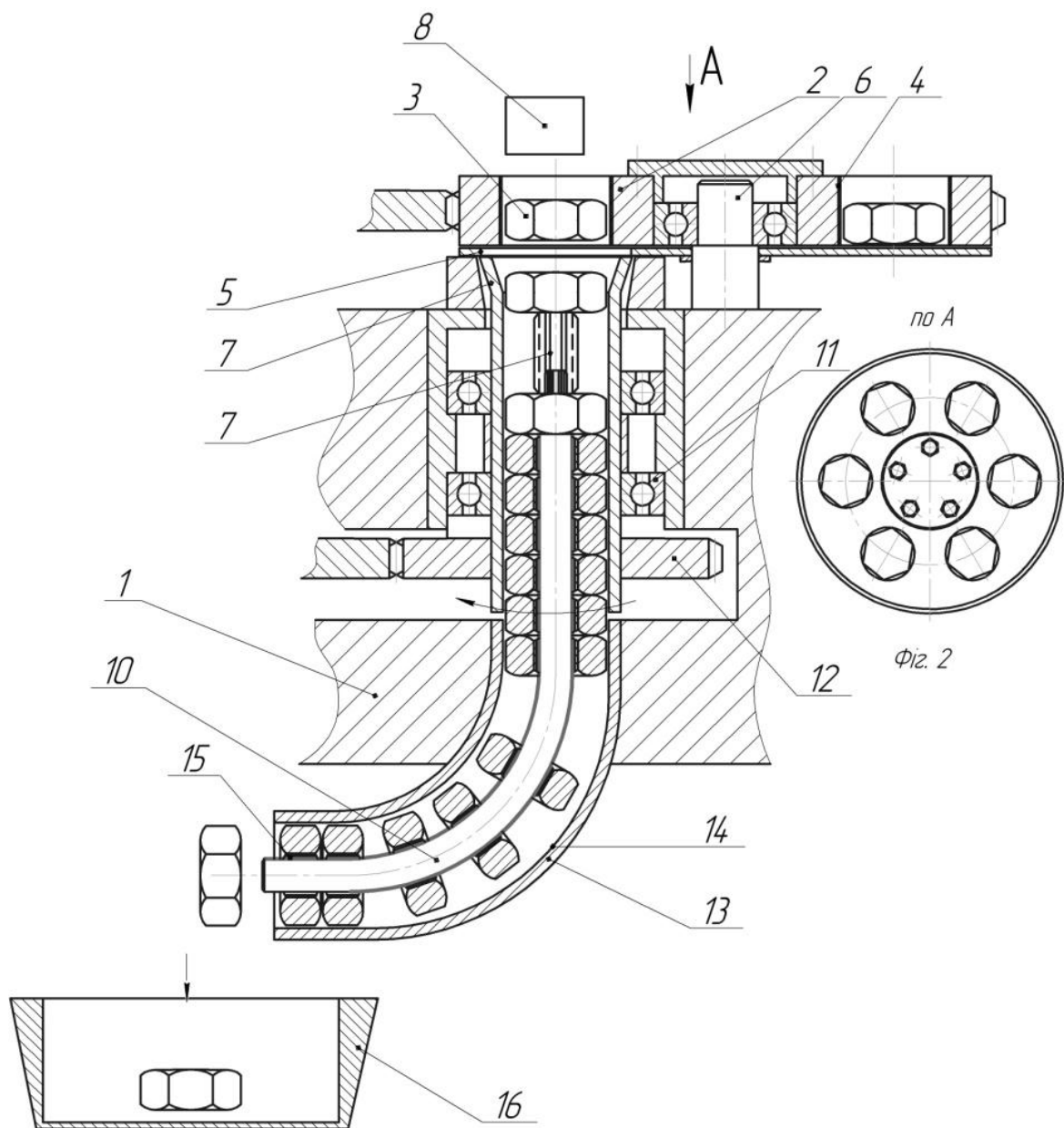


Рис. 4.3 - Пристрій для нарізання різі в гайках

Г-подібний мітчик 10 розмірів виконано з двох частин вертикальної верхньої, яка обертається і нижньої 15 Г-подібної, яка центрується в Г-подібній трубі із гайками 3. Зверху над завантажувальною позицією 8 магазину встановлено притискний механізм поверхні гайки 3 до верхньої ріжучої частини мітчика 9, який працює в автоматичному реверсному режимі відомим способом.

Для зменшення шуму при роботі пристрою у внутрішній отвір труби 13 жорстко встановлено пластичну трубу 14 (приклеєна), яка по внутрішньому діаметру є у взаємодії з зовнішніми параметрами гайок 3 з можливістю їх вільного осевого переміщення. На зовнішній діаметр Г-подібного хвостовика 10 жорстко одягнена пластична труба 15, яка зовнішнім діаметром є у взаємодії з внутрішніми діаметрами гайок для зменшення шуму від взаємодії гайок з Г – подібним хвостовиком.

При цьому гайка накручується і зміщується в зігнутій трубі 13, після чого прижим 8 подає наступну гайку 3 та інші де відбувається нарізання різи. При цьому гайки проштовхують одна другу і по зігнутому хвостовику 14 вони переміщуються і збираються в ємкість 16. Використання пластмасових пружних труб 14, 15 і пластин 4 при нарізанні різи забезпечує безшумну роботу і покращує умови роботи при неперервній подачі мастила. При наповненні ємкості 16 її забирають і встановлюють нову порожню. До переваг пристрою відноситься зменшення шуму і покращення умов роботи.

Розроблено конструкція мітчика-протяжки (рис. 4.4) [124] (додаток А Пат. України №107215), який виконана у вигляді збірного інструмента, де циліндрична поверхня валу 1 виконана з хвостовиком 2 прямокутного поперечного січення із шпоночними канавками 3 які є у взаємодії з внутрішніми шпоночними пазами окремих ріжучих секцій 4, 5, 6 через шпонки. Причому ріжучі канавки на окремих ріжучих секціях повинні бути на одній лінії. Секції протяжок мають по 3...6 поздовжніх канавок 6 для виходу стружки. При цьому на робочій частині секцій мітчика-протяжки по зовнішньому діаметру прорізані гвинтові стружки канавки 7, напрямом яких є протилежним напрямку витків різи зі змінними кроками.



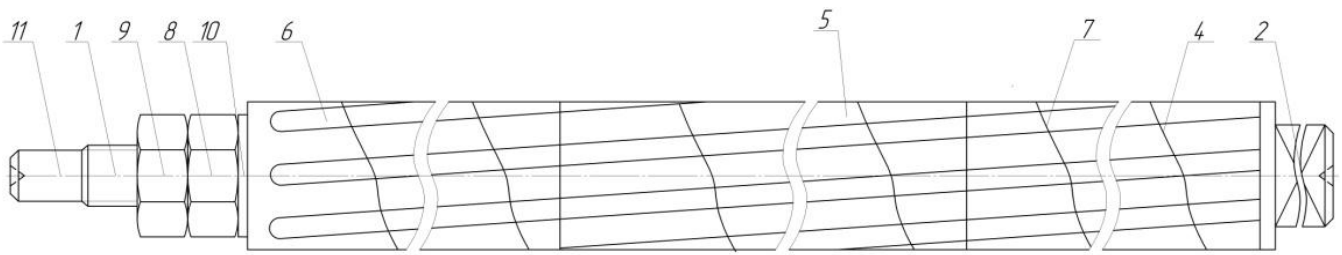


Рис. 4.4 - Мітчик-протяжка

Протяжні елементи мають свої підйоми на зуб по мірі збільшення розмірів діаметрів. Крім цього на початку валу 1 нарізана різь, яка є у взаємодії з затискною гайкою 8 і контргайкою 9, при цьому упорні збірні елементи мітчика протяжки в разі потреби є у взаємодії з упорними мідними шайбами прокладок 10, а кінець валу 11 виконаний циліндричної форми, який є опорою інструмента при його нарізанні різі.

Для нарізання різьби розточену по внутрішньому діаметру заготовку надягають на хвостовик мітчика-протяжки, а кінець валу 11 вставляють в отвір державки, встановленої і закріпленої в різцетримачі токарного верстату, і кріплять клином. Перед цим отвір державки встановлюють по лінії центрів верстату. Після закріплення заготовки в патроні верстату здійснюється нарізання різьби при обертанні деталі і поздовжній подачі (зліва на право) мітчика-протяжки від ходового гвинта верстату, рівній кроку нарізної різі. Продуктивність при нарізанні двох-трьохзахідних гайок з трапецеїдальною різзю мітчиком-протяжкою значно збільшується (в 5-10 разів), у порівнянні з багатопрохідною обробкою різьбовим різцем. До переваг інструменту відноситься розширення технологічних можливостей і значне підвищення продуктивності праці.

На рис. 4.5 зображено комбіноване свердло-мітчик [122] (додаток А Пат. України №106937), що виконано у вигляді комбінованого ступінчастого свердла 1 з чотирма ріжучими стрічками 2 на обох ступенях, а ріжучі кромки свердла на більшій ступені розвернуті відносно кроком меншої ступені 3 на 35...45°. Крім цього, на ріжучих кромках двох ступенів виконані виїмки 4 для подрібнення стружки і покращення умов відведення стружки. В хвостовій частині інструменту

виконано різьбовий отвір для його кріплення в пристрої чи верстаті 5 і для підведення охолоджуючої рідини в зону різання 6. Крім цього на ріжучій частині меншого діаметра 6 зверху нарізана різь 7 для розширення технологічних можливостей інструмента. В разі потреби і на більшому діаметрі 7 свердла теж виконана різь 8 для розширення технологічних можливостей. Робота свердла мітчика здійснюються наступним чином. Воно жорстко кріпиться в шпінделі верстату за допомогою оправки і її різьбовим отвором 5 свердла-мітчика. Оправка має центральний отвір через який поступає охолоджуюча рідина в зону різання при обертанні свердла і здійснювання технологічного процесу свердління і нарізання різі з двох сторін обох ступеней свердла позиції.

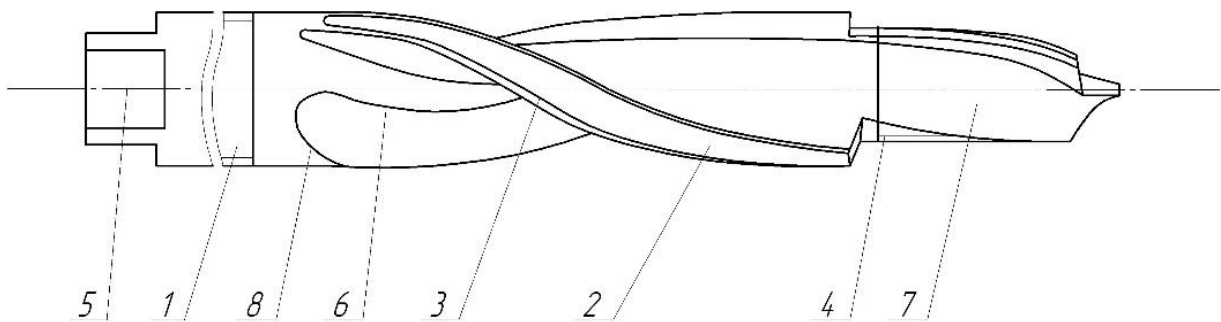


Рис. 4.5 - Комбінований інструмент для оброблення отворів

До переваг комбінованого свердла-мітчика відноситься можливість послідовного виконання кількох переходів без змін інструментів. Їх, як правило, використовують для виготовлення наскрізного різьбового отвору.

Безканавочний мітчик зображено на рис. 4.6 [127] (додаток А Пат. України №124001). Він виконаний у вигляді гвинта 1, вздовж осі якого рівномірно по колу прорізани, наприклад гвинтові канавки 2, які розміщені під кутом до осі мітчика і вони направлені протилежно напрямку різі. Форма хвостовика укорочені квадратної форми 3, радіальні розміри якого є меншими зовнішнього діаметра тіла мітчика. А на двох плоских протилежних поверхнях 4 виконані фасонні виїмки 5, які є у взаємодії з кульками 6, які підпружинені по осі мітчика пружиною 7 і вони за вальцьовані з можливістю їх утримання в тілі з'єднувальної втулки 8. При цьому зовнішня квадратна поверхня тіла мітчика є у взаємодії з

внутрішнім квадратним отвором 9 приводної оправки 10 з квадратним закінченням 11, яким мітчик приводиться в рух під час нарізання різі.

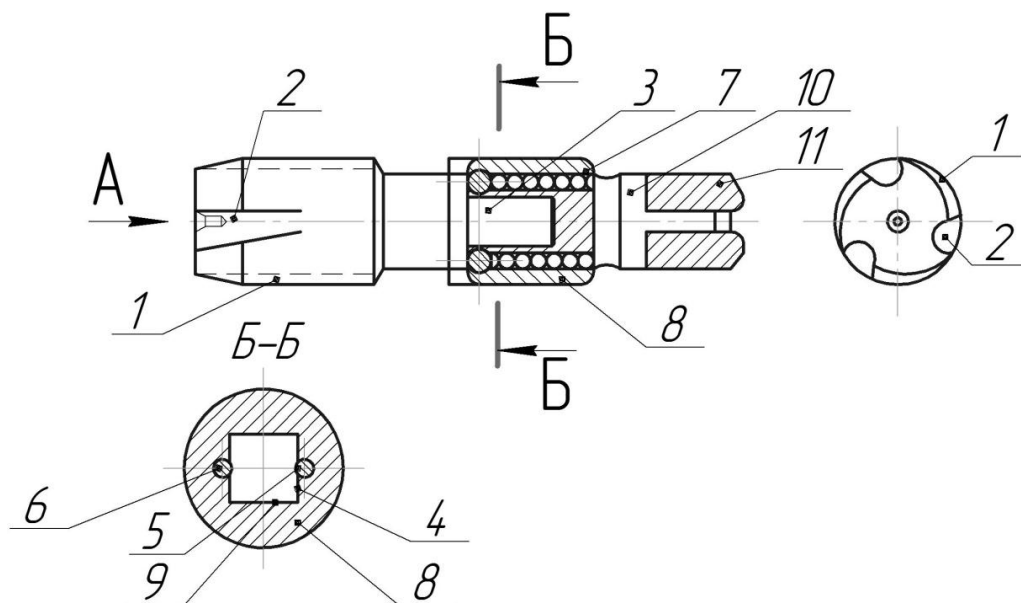


Рис. 4.6 - Безканавочний мітчик

Ці мітчики доцільно використовувати при нарізанні глухих або наскрізних отворів в кількості 2...3 в комплекті. До переваг мітчика відноситься покращення умов їх роботи, відведення стружки, який формує чистішу поверхню і особливо при роботі із в'язкими матеріалами. Вони також забезпечують більшу щільність переточувань мітчиків, дає можливість уникати з'їдань отворів і їх поломки.

Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різі в трубчастих заготовках зображений на рис. 4.7 [128] (додаток А Пат. України №124231), виконано у вигляді корпусу 1 з пневматичним затискним пристроєм 2, який оснащений пневмоциліндром 3 відомої конструкції з можливістю осьового горизонтального переміщення.

Крім цього зверху корпусу 1 встановлено відомий механізм завантаження циліндричних заготовок 4 в зону різання 5 у вигляді лотка 6 відомої конструкції. Для точного базування заготовки 4 на позиції різання її ззаду підтиску є пневматичний прижим 7 відомим способом і відомої конструкції.

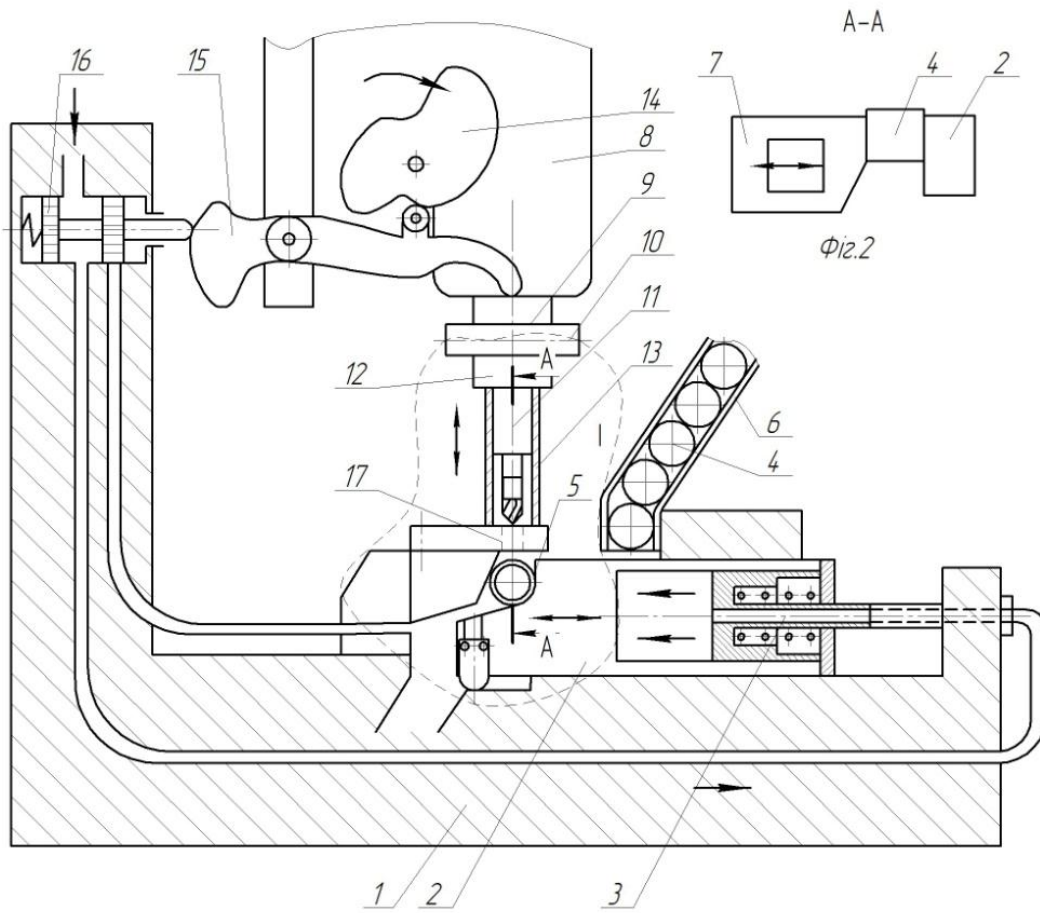


Рис. 4.7 - Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різи в трубчастих заготовках

Пристрій оснащений шпиндельним вузлом 8 вертикально-свердильного верстату. Це шпіндель 9, затискний патрон 10 свердло-мітчик 11, реверс 12 і реверсного упора 13. Робота пристрою здійснюють кулачок подачі 14, заготовок 4 і кулачок 15 регулювання роботи золотника 16, який регулює подачу стиснутого повітря в пневматичні циліндри 7 затиску заготовки 4 і її базування в зоні різання 5. Пристрій оснащений кондукторною плитою 17 з кондукторними втулками, які виконані у вигляді упорного підшипника з метою явного зменшення зношення інструментів і підвищення їх надійності і довговічності.

Робота пристрою здійснюється наступним чином. В лоток 6 встановлюють трубчасті заготовки 4 в певній кількості. Механізм затиску 4 відводять вправо з можливістю одній трубчастій заготовці 4 поступити в зони різання 5. При цьому

за допомогою кулачків 15 і 14 здійснюють управління роботою пристрою і затиску заготовки з двох сторін пневмоциліндрами 3 і 16 і при цьому здійснюють свердління отвору в трубчастій заготовці 4 і нарізання різи свердлом-мітчиком 11 шляхом його опускання вертикально вниз. При цьому торець реверсного упора 13 впирається в циліндричне кільце, який знизу є у взаємодії з упорним підшипником, а свердло 11 опускається в низ в отвір кондукторної втулки 18. При дальшому опусканні ріжучого інструменту 11 здійснюють нарізання різи. Після закінчення нарізання різи в отворі включається реверс 12 за допомогою реверсного упора 13 і свердло-мітчик починають обертатися в протилежну сторону і свердло-мітчик 11 піднімають в верх. За допомогою кулачків 15 і 14 затискні механізми відводять з зони різання, готову деталь звідти знімають, а в її місце поступає наступна заготовка, яку в автоматичному режимі встановлюють в пристрій і далі здійснюється процес різання.

До переваг пристрою відноситься можливість свердління отворів, нарізання різей, і викручування мітчика 11 реверсним механізмом 12 при цьому відбувається розширення технологічних можливостей і підвищення продуктивності праці.

Головка для нарізання внутрішніх різей зображена на рис. 3.5 [126]. Настроювання головки на заданий розмір нарізання різьби змінною гребінок і налаштування здійснюють за допомогою втулки-калібра. Для запобігання випадання гребінок використовують кришку, яку кріплять гвинтами. Механізм регулювання величини різи здійснюють регулювальним гвинтом шляхом продольного його переміщення опорного стержня. Виключення мітчика здійснюється, як і автоматично так і вручну.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено технологічне оснащення і різальні інструменти для нарізання різей, які забезпечують підвищення продуктивності праці, підвищення міцності і експлуатаційної надійності і довговічності і захисту від поломок.

2. Розроблені конструкції захищені деклараційними патентами України на винаходи.

#### **4.4. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика**

Нами розроблено і досліджено конструкцію нового комбінованого інструменту – свердла-мітчика, який вносить суттєве новаторство у процес нарізання наскрізної різі в елементах деталей машин. Слід відзначити, що товщина цих елементів може орієнтовно коливатися в межах від декількох міліметрів до більш ніж 10 см., що визначається діаметром отвору під різь, конфігурацією та кроком різі. Проте раціональна товщина оброблюваного свердлом-мітчиком елемента при нарізанні у ньому різі повинна бути визначатись конфігурацією інструменту.

Процес механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика полягає в наступному. Оброблювану деталь закріплюють затискному пристрої на столі верстата, а інструмент в патроні шпинделя верстата, далі включають головний рух і рух подачі. При цьому відбувається на початковій стадії процес свердління отвору в деталі з подальшим нарізанням різі. Проте при завершенні нарізання різі комбінованим свердлом-мітчиком декілька останніх калібруючих зубів повинні залишатись у нарізаній різі деталі. Далі включають реверс і свердло-мітчик вигвинчується з нарізаної різі і відводиться в початкове положення.

Обґрунтування економічної ефективності використання свердла-мітчика проведемо на прикладі механічної обробки з використанням досліджуваного інструменту  $M8 \times 1,25$  на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК 2P135Ф2. Матеріал – листовий прокат товщиною 8 мм із сталі 08кп. З експериментальних даних (діаграми рис. 4.16) час витрачений на свердлінні становить 6 с, а нарізання різі – 3 с).

Запропонований нами процес механічної обробки передбачає виконання двох операцій за один установ з двома переходами: свердління та нарізання різі з автоматичною зміною швидкості головного руху верстату між ними. При використанні класичного процесу для виконання даної роботи виконуються дві окремі операції з двома установами. При цьому при обробці партії деталей може

проводитись окрема операція над усією партією деталей – свердління, а далі над усією партією деталей інша операція – нарізка різи. В іншому варіанті, при використанні верстата ЧПК, можливе виконання спочатку однієї, а потім іншої операції при автоматичній заміні інструменту з використанням інструментальної головки.

Використання лише однієї операцій з двома переходами в даній механічній обробці дозволяє спростити процес нарізання наскрізної різи в елементах деталей машин, значно зменшити його тривалість та скоротити різні види витрат (часові, енергетичні, трудові). Порівняння варіантів відмінних операцій у процесах виготовлення нарізання наскрізної різи в елементах деталей машин по окремих критеріях представлено в табл. 4.2. Дані, які представлено в табл. 1, є порівняльними і можуть змінюватись в залежності від зміни товщини деталі, в якій нарізується різь, величини оплати праці працівників, вартості електроенергії тощо.

Таблиця 4.2

Порівняння окремих критеріїв різних варіантів механічної обробки нарізання наскрізної різи в листовому прокаті товщиною 8 мм із сталі 08кп з використанням окремих інструментів та комбінованого свердла-мітчика

Базовий варіант 1 (оброблення поопераційно усієї партії виробів)	Базовий варіант 2 (оброблення подетально усієї партії виробів)	Проектний варіант
Обладнання: 2с132	Обладнання: ЧПК 2Р135Ф2	Обладнання: ЧПК 2Р135Ф2
Вартість б/у обладнання - 33 тис. грн.	Вартість б/у обладнання - 53 тис. грн.	Вартість б/у обладнання - 53 тис. грн.
Потужність: - головний рух: 4 кВт	Потужність: - головний рух: 4 кВт; - рух подачі: 2,2 кВт; - рух повороту револь- верної головки: 0,75 кВт	Потужність: - головний рух: 4 кВт; - рух подачі: 2,2 кВт
Розряд робітника - 4	Розряд робітника - 5	Розряд робітника - 5
Тривалість операції: - свердління: 6 с; - нарізання різи - 3 с	Тривалість операції: - свердління: 6 с; - нарізання різи - 3 с	Тривалість операції: - свердління: 6 с; - нарізання різи - 3 с
Тривалість міжопераційного переходу: 12 с.	Тривалість міжопераційного переходу: 4 с.	Тривалість міжопераційного переходу: 1 с.

Проведемо підрахунок окремих видів витрат на виконання окремих операцій по базових та проектних варіантах процесів механічної обробки нарізання наскрізної різи в листовому прокаті.

Витрати на заробітну плату робітника, зайнятого виконанням операцій, з врахуванням єдиного соціального внеску (0,22 згідно Закону України від 21 грудня 2016 року № 1801-VIII «Про Державний бюджет України на 2017 рік») визначатимуться за формулою [38]:

$$Z = \sum T_i \cdot T_{c1} \cdot K_i \cdot K_n, \quad (4.19)$$

де  $Z$  - затрати на зарплату робітника;  $T_i$  - трудомісткість  $i$ -ї операції чи переходу, год.;  $T_{c1}$  - величина тарифної ставки 1-го розряду ( $3723 / (21 \cdot 8) = 22,16$  грн.);  $K_i$  - тарифний коефіцієнт  $i$ -го розряду;  $K_n$  - коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок (1,22).

Витрати на заробітну плату по першому базовому варіанті (оброблення поопераційно усієї партії виробів) складуть:

$$Z_{1б} = ((6 + 3 + 12) / 60) \cdot 22,16 \cdot 1,35 \cdot 1,22 = 12,77 \text{ грн.}$$

Витрати на основну заробітну плату по другому базовому варіанті (оброблення подетально усієї партії виробів) складуть:

$$Z_{2б} = ((6 + 3 + 4) / 60) \cdot 22,16 \cdot 1,54 \cdot 1,22 = 9,02 \text{ грн.}$$

Витрати на основну заробітну плату по проектному варіанті виконання процесу складуть:

$$Z_n = ((6 + 3 + 1) / 60) \cdot 22,16 \cdot 1,54 \cdot 1,22 = 6,94 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при вказаних параметрах визначатимуться за формулою [38]:

$$E = \sum T_i \cdot C_{ел.ен} \cdot B_{кгод}, \quad (4.20)$$

де  $C_{ел.ен}$  - ціна 1 кВт/год. електроенергії (II клас - 1,96 грн. з 01.12.2017р. для промислових та прирівняні до них споживачі з приєднаною потужністю 750 кВА і



більше);  $B_{\text{кгод}}$  – приведений обсяг споживання електроенергії обладнанням при виконанні операції чи переходу, кВт/год.

Витрати на електроенергію по першому базовому варіанті (оброблення поопераційно усієї партії виробів) складуть:

$$E_{16} = ((6 + 3) / 60) \cdot 1,96 \cdot 4 = 1,18 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію по другому базовому варіанті (оброблення подетально усієї партії виробів) складуть:

$$E_{26} = ((6 + 3 + 4) / 60) \cdot 1,96 \cdot (4 + 2,2) + (4 / 60) \cdot 1,96 \cdot 0,75 = 2,73 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію по проектному варіанті виконання процесу складуть:

$$E_n = ((6 + 3 + 1) / 60) \cdot 1,96 \cdot 4 = 1,31 \text{ грн.}$$

Затрати на амортизацію обладнання (при використанні в одну зміну), при обробленні одиниці продукції, визначаємо з залежності [38]:

$$A = B_o \cdot K_a \cdot \Sigma T_i / T_\partial, \quad (4.21)$$

де  $B_o$  - вартість обладнання, яке використовується в процесі, грн.;  $K_a$  - коефіцієнт амортизації, 0,2;  $T_\partial$  - дійсний час роботи обладнання протягом року, 2070 год.

Витрати на амортизацію обладнання (при використанні в одну зміну), при обробленні одиниці продукції по першому базовому варіанті (оброблення поопераційно усієї партії виробів) складуть:

$$A_{16} = (((6 + 3 + 12) / 60) / 2070) \cdot 33000 \cdot 0,2 = 1,12 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію обладнання (при використанні в одну зміну), при обробленні одиниці продукції по другому базовому варіанті (оброблення подетально усієї партії виробів) складуть:

$$A_{26} = (((6 + 3 + 4) / 60) / 2070) \cdot 53000 \cdot 0,2 = 1,11 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію обладнання (при використанні в одну зміну), при обробленні одиниці продукції по проектному варіанті виконання процесу складуть:

$$A_n = (((6 + 3 + 1) / 60)) / 2070) \cdot 53000 \cdot 0,2 = 0,85 \text{ грн.}$$

Провівши відповідні розрахунки за елементами витрат на виконання окремих операцій по базових та проектному варіантах процесів механічної обробки нарізання наскрізної різи в листовому прокаті, їх результати відобразимо в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Підрахунок за елементами окремих витрат на виконання окремих операцій по базових та проектному варіантах процесів механічної обробки нарізання наскрізної різи в листовому прокаті товщиною 8 мм із сталі 08кп з використанням окремих інструментів та комбінованого свердла-мітчика

Елементи витрат	Базовий варіант 1 (оброблення поопераційно усієї партії виробів)	Базовий варіант 2 (оброблення подетально усієї партії виробів)	Проектний варіант
Затрати на зарплату	12,77	9,02	6,94
Витрати на електроенергію	1,18	2,73	1,31
Витрати на амортизацію обладнання	1,12	1,11	0,85
Разом витрат	15,07	12,86	9,1

Проведемо підрахунок річного економічного ефекту:

1. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту 1 (оброблення поопераційно усієї партії виробів) на проектний:

$$E_{p1} = (60 \cdot 2070 / (6 + 3 + 1)) \cdot (15,07 - 9,1) = 74147,4 \text{ грн.};$$

2. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту 2 (оброблення подетально усієї партії виробів) на проектний:

$$E_{p2} = (60 \cdot 2070 / (6 + 3 + 1)) \cdot (12,86 - 9,1) = 46699,2 \text{ грн.}$$

Проведемо підрахунок відносної зайнятості обладнання при використанні базових по відношенні до проектного варіанту:

1. Зайнятість обладнання при використанні проектного варіанту по відношенні до базового варіанта 1 (оброблення поопераційно усієї партії виробів):

$$BO_1 = ((6 + 3 + 1) / (6 + 3 + 12)) \cdot 100\% = 47,61\%;$$

2. Зайнятість обладнання при використанні проектного варіанту по відношенні до базового варіанта 2 (оброблення подетально усієї партії виробів):

$$BO_2 = ((6 + 3 + 1) / (6 + 3 + 4)) \cdot 100\% = 76,92\%.$$

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Витрати при механічній обробці нарізання наскрізної різі в листовому прокаті товщиною 8 мм із сталі 08кп з використанням комбінованого свердла-мітчика будуть значно меншими, у порівнянні з базовими технологіями, що доводить значну ефективність розробленого інструменту. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту оброблення поопераційно усієї партії виробів на розроблений становитиме 74147,4 грн., а при заміні базового варіанту оброблення подетально усієї партії виробів - 46699,2 грн.

2. Як свідчать розрахунки, зайнятість обладнання при використанні проектного варіанту по відношенню до базового варіанта оброблення поопераційно усієї партії виробів становитиме 47,61%, а по відношенні до базового варіанта оброблення подетально усієї партії виробів - 76,92%, що дозволить при використанні такого комбінованого інструменту значно ефективніше використовувати обладнання.

#### **4.5. Висновки до четвертого розділу**

1. Розроблена інженерна методика проектування оснащення для формоутворення гвинтових різьбових поверхонь. Наведений практичний приклад розрахунку машинного мітчика з вибором основних розмірів різьби та діаметрів заданих мітчиків, в результаті подальшого розрахунку було отримано значення кутів затилування, переднього кута та кута затилування також отримано значення діаметра серцевини мітчика.

2. Розроблено технологічність конструкції пристроїв і різальних інструментів для оброблення різьбових поверхонь. Детально розглянуто і проаналізовано розроблене технологічне оснащення і різальні інструменти для нарізання різей, які забезпечують підвищення продуктивності праці, підвищення міцності і експлуатаційної надійності і довговічності і захисту від поломок. Розроблені конструкції захищені деклараційними патентами України на винаходи.

3. Розроблено техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика і встановлено, що витрати при механічній обробці нарізання наскрізної різі в листовому прокаті товщиною 8 мм із сталі 08кп з використанням комбінованого свердла-мітчика будуть значно меншими, у порівнянні з базовими технологіями, що доводить значну ефективність розробленого інструменту. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту оброблення поопераційно усієї партії виробів на розроблений становитиме 74147,4 грн., а при заміні базового варіанту оброблення подетально усієї партії виробів - 46699,2 грн. Як свідчать розрахунки, зайнятість обладнання при використанні проектного варіанту по відношенню до базового варіанта оброблення поопераційно усієї партії виробів становитиме 47,61%, а по відношенню до базового варіанта оброблення подетально усієї партії виробів - 76,92%, що дозволить при використанні такого комбінованого інструменту значно ефективніше використовувати обладнання.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми розроблення і практичної реалізації технологічного процесу свердління отворів під різьбові поверхні і нарізання різьби в корпусних деталях, обґрунтовано параметри технологічного спорядження, яке забезпечує автоматичну зміну подач при виході інструментів з отвору з метою їх захисту від поломки, а також підвищення ефективності і якості обробки, експлуатаційної надійності свердл і мітчиків.

2. Наведено реалізацію ієрархічного морфологічного аналізу і синтезу верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів. Розроблена методика синтезу з розподілом конструктивних ознак елементів системи на ієрархічні групи та підгрупи при врахуванні суттєвості їх впливу на досягнення заданих критеріїв оцінювання оснащення для оброблення різьбових отворів, що дозволила зменшити кількість варіантів синтезованих альтернатив у порівнянні з класичною моделлю, що забезпечує покращені експлуатаційні характеристики. В наслідок синтезу верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів різьбонарізних інструментів для внутрішніх отворів, які захищені патентами України.

3. Процес свердління отворів під різьбу характеризується відхиленням осі симетрії двох головних ріжучих кромки від вісі шпинделя, що виникає через згин свердла під дією неврівноважених поперечних складових сил різання. Встановлено, що при цьому найбільша неврівноважена радіальна сила  $\Delta P_y = 43 \text{ Н}$  зумовлена різницею глибин різання двох протилежних кромки  $\Delta t = 2,7 \text{ мм}$  від величини зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки  $\Delta a = 8 \text{ мм}$  для матеріалу сталь 45.

4. Досліджено технологічний процес нарізання різьби реверсивним пристроєм в корпусних деталях, для запобігання випадків, коли мітчики при

виході з отворів корпусних деталей часто ламаються. Розроблена розрахункова схема і виведені аналітичні залежності для визначення граничних силових і конструктивних параметрів взаємодії кульок з площиною лунок при реверсі. Побудовані графічні залежності зміни величини крутного моменту від конструктивних параметрів робочих частин пристрою, встановлено що зміна радіуса розташування та жорсткість пружини прямопропорційно впливає на зростання крутного моменту. Найбільший приріст крутного моменту спостерігається при збільшенні глибини лунки  $h_n$  від 70% величини радіуса кульки.

5. Розроблено динамічну модель системи різьбонарізного пристрою в процесі нарізання різьби в отворі, проведено розрахунок та складені диференціальні рівняння руху для вимушених коливань з використанням рівняння Лагранжа другого роду. Представлені графічні залежності зміни кута деформації мітчика, кута деформації мітчика відносно хвостової частини, швидкості деформації мітчика і динамічного моменту деформації мітчика в часі під час нарізання різьби. Встановлено, що кут деформації мітчика в часі спочатку збільшується при врзанні зубів до 0,2 град, після чого стабілізується при одночасній роботі всіх зубів на відмітці 0,175 град., а потім поступово знижується із затухаючими коливаннями до нуля при виході зубів із нарізаної різьби.

6. Наведено методику та експериментальні дослідження верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів та отримано регресійну залежність із визначенням впливу величини швидкості різання  $v$ , подачі на зуб мітчика  $S_z$  та твердості матеріалу  $HB$  на величину зміни стійкості інструменту  $T$  тобто  $T = f(v, S_z, HB)$ . Факторне поле визначалось таким діапазоном зміни параметрів:  $3 \leq v \leq 8$  (м/хв);  $0,18 \leq S_z \leq 0,38$  (мм/зуб);  $126 \leq HB \leq 193$ . Для проведення досліджень використовували листовий прокат товщиною 8мм із сталі 08кп, сталі 20 і сталі 45.

7. Наведено результати експериментальних досліджень із визначення сили різання та одержано рівняння регресії у вигляді функції  $P = f_{(P)}(n; d; v)$ , яка описує

характер зміни сили різання інструмента у таких межах зміни вхідних факторів: частоти обертання свердла-мітчика  $108 \leq n \leq 216$  об/хв; діаметра свердла-мітчика  $0,0042 \leq d \leq 0,007$  м (для дюймової та метричної різі); швидкість різання  $3 \leq v \leq 8$  м/хв. Основний масив апроксимованих значень сили різання знаходиться в діапазоні від 47,65 до 133,42 Н. Із збільшенням діаметра свердла-мітчика від 0,0042 до 0,007 м сила різання  $P$  збільшується в середньому від 53 до 100 Н, а із збільшенням частоти обертання інструмента  $n$  від 108 до 216 об/хв сила різання  $P$  зменшується. Приріст сили різання  $P$  в межах збільшення діаметра свердла-мітчика  $d$  від 0,0042 до 0,007 м та при збільшенні швидкості  $v$  від 3 до 8 м/хв досягає 57,1 Н.

8. За результатами проведених досліджень проаналізовано нові типи інструментів для оброблення та нарізання різьби в отворах, а також для швидкісного нарізання зовнішньої і внутрішньої різьби в упор. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту оброблення поопераційно усієї партії виробів на розроблений становитиме 74147,4 грн., а при заміні базового варіанту оброблення подетально усієї партії виробів - 46699,2 грн. Результати роботи впроваджено на ТозВ «Універст ЛТД» (м. Тернопіль) та ТДВ «Рівненське ремонтно-транспортне підприємство». Технічну новизну захищено 6 деклараційними патентами України на корисні моделі.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Абиргер И. Расчет на прочность деталей машин: справочник, 3-е изд., перераб. и доп / И. Абиргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 215 с.
3. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. – М.: Московский рабочий, 1972. – 296 с
4. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер. – Новосибирск : Наука, 1986. – 209 с.
5. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – М.: Советское радио, 1979. – 184 с.
6. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов / Л.Е. Андреева. – М.: Машгиз, 1962.
7. Андрейчиков А. В. Интеллектуальный метод синтеза технологических инноваций / А. В. Андрейчиков // Известия вузов. Сер. Машиностроение. – 2003. – №10. – С. 47-62.
8. Андрейчиков А. В. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Машиностроение, 1998. – 478 с.
9. Андрейчиков А.В. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения). / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – Москва: Машиностроение, 1998. – 478 с.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 1979–1982. – Т. 1. – 728 с.; Т. 2. – 559 с.; Т. 3. – 557 с.
11. Ачеркан Н.С. Детали машин: справочник в 2 т. / Н.С. Ачеркан. – М.: Машиностроение, 1968. – Т.2: Расчет и конструирование. – 440 с.



12. Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения: в 2 кн. / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1982. – Кн. 1. – 239 с.; Кн. 2 – 367 с.
13. Банди Б. Методы оптимизации / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1988. – 127 с.
14. Банди Б. Основы линейного программирования: пер. с англ. / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с.
15. Безухов И.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / И.И. Безухов. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
16. Белоусов А.П. Проектирование станочных приспособлений / А.П. Белоусов. – М.: Высшая школа, 1980. – 342 с.
17. Белый И. В. Основы научных исследований и технического творчества / И. В. Белый, К. П. Власов, В. Б. Клепиков. – Х. : Вища школа, 1989. – 200 с.
18. Бернштейн М.Л. Прочность стали / М.Л. Бернштейн. – М.: Металлургия, 1974. – 199 с.
19. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин : Справочник / И.А. Биргер, Б.Р. Шорр, Г.Б. Йосилевич. – 4-е изд., пераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.
20. Бирюков Б.В. Машина и творчество / Б.В. Бирюков, И.Б. Гудчин. – М.: Радио и связь, 1982. – 112 с.
21. Болотин Х.Л. Станочные приспособления / Х.Л. Болотин, Ф.П. Костромин. – М.: Машиностроение, 1973. – 344 с.
22. Бочвар А.А. Металловедение / А.А. Бочвар. – М.: Metallurgizdat, 1956. – 495 с.
23. Бочвар А.А. О разных механизмах пластичности в металлических сплавах / А.А. Бочвар // Изв. АН СССР. – 1948. – №5. – С. 649–653.
24. Брегер И.Д. Справочник инструментальщика / И.Д. Брегер. – М.: БССР, 1961. – 74 с.
25. Брижмен П. Исследование больших пластических деформаций и разрыва: пер. с англ. / П. Брижмен. – М.: Изд-во иностр. лит., 1955. – 444 с.

26. Бронштейн И.Н. Справочник по математике: пер. с нем. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 719 с.
27. Буш Т.Я. Рождение изобретательских идей / Г. Буш. – Рига : Лиесма, 1976. – 128 с.
28. Буш Т.Я. Аналогия и техническое творчество / Т.Я. Буш. – Рига: Лиесма, 1979. – 432 с.
29. Бэкофен В. Процессы деформации: пер. с англ. / В. Бэкофен. – М.: Металлургия, 1977. – 288 с.
30. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели / Ю.Р. Валькман. – Киев: Port-Royal, 1998. – 250 с.
31. Васильків В.В. Актуальність використання методів уніфікаційного синтезу для вирішення задач пошукового проектування технологічних інновацій / В.В. Васильків // Матер. 10-ї наук. конф. ТДТУ імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2006. – С. 27.
32. Васильків В.В. Структура геометричного моделювання об'єктів в уніфікованому синтезі / В.В. Васильків // Праці 9-го Міжнародного симпозиуму українських інженерів-механіки. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2009. – С. 158–160.
33. Вовк Ю.Я. Самовстановлювальні інструментальні блоки з пружними зв'язками для обробки отворів: дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Вовк Юрій Ярославович; Терноп. держ. техн. ун-т ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2007. – 197 с.
34. Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем / А.С. Вольмир. – М.: Гос. Изд-во. Физико-математ. Литературы, 1963. – 880 с.
35. Вульф А.М. Резание металлов / А.М. Вульф. – Л.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
36. Гевко Б.М. Обґрунтування параметрів пристроїв для нарізання різі в гайках і деталях машин / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 32. – С. 41–47.
37. Гевко Б.М. Універсальний пристрій для швидкісного нарізання різі / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук, В.П. Казмірчук // Вісник Харківського національного

технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2017. – Вип. 181. – С. 350–353.

38. Гевко І.Б. Організація виробництва: теорія і практика: підручник / І.Б. Гевко, А.О. Оксентюк, М.П. Галушак. – К.: Кондор, 2008. – 178 с.

39. Гевко І.Б. Пристрій для нарізання різі в гайках / І.Б. Гевко, Н.М. Марчук, І.В. Колеснік // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: 25–26 листопада 2015р.: тези доп. – Тернопіль, 2015. – Т.1. – С. 114–117.

40. Гевко І.Б. Теоретичне обґрунтування режимів подачі свердління при обробленні наскрізних отворів / І.Б. Гевко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 34. – С. 10–18.

41. Гевко І.Б. Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різі в трубчастих заготовках / І.Б. Гевко, Н.М. Марчук // XIX Наукова конференція Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя: 18–19 травня 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – Т.1. – С. 26 – 27.

42. Горохов В.А. Проектирование и расчет приспособлений / В.А. Горохов. – Минск.: Высшая школа, 1986. – 238 с.

43. Гоффман О. Введение в теорию пластичности для инженеров: пер. с англ. / О. Гоффман, Г. Закс; под. ред. З.И. Григолюка. – М.: Машгиз, 1957. – 279 с.

44. Грановский Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.

45. Григорьян Г.Р. Применение математических методов в машиностроении / Г.Р. Григорьян, П.А. Линчевский. – Одесса: ОПИ, 1979. – 116 с.

46. Громов Н.П. Теория обработки металлов / Н.П. Громов. – М.: Металлургия, 1978. – 360 с.

47. Грудов А.А. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент: Обзор / А.А. Грудов, П.Н. Комаров. – М.: НИИмаш, 1980. – 64 с.

48. Губкин С.И. Деформируемость металлов / С.И. Губкин. – М.: Металлургиздат, 1953. – 199 с.
49. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов: в 3-х т. / С.И. Губкин. – М.: Металлургия, 1960. – Т. 1. – 376 с.; Т. 2. – 416 с.; Т. 3. – 306 с.
50. Гулида Э.Н. Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес / Э.Н. Гулида. – Львов.: Вища школа, 1983. – 135 с.
51. Гурик О.Я. Головка для нарізання внутрішніх різьб / О.Я. Гурик, Н.М. Марчук // XXI Наукова конференція Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя: 18–19 травня 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – Т.1. – С. 34 – 36.
52. Давыдов В.И. Определение методом коллокаций формы очага деформации при гибке на валковых гибочных машинах / В.И. Давыдов, О.В. Давыдов, Б.И. Ющенко // В кн.: Прогрессивная технология и оборудование для листовой штамповки и гибки. – Воронеж, 1981. – С.105–114.
53. Джонс Д. К. Методы проектирования / Д. К. Джонс [пер. с англ. 2-е изд.]. – М. : Мир, 1986. – 326 с.
54. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1981. – 520 с.
55. Динамика станочно-инструментальной оснастки для высокоэффективной токарной обработки / Ю.Н. Кузнецов, О.И. Драчев, И.В. Луцив, А.В. Шевченко, В.Н. Волошин. – Старый Оскол (Россия): ТНТ, 2015. – 432 с.
56. Добрянский С.С. Анализ влияния конструктивных и технологических факторов на точность резьб, нарезаемых головками / С.С. Добрянский // Технология и автоматизация машиностроения. – К.: Техника, 1976. – Вып. 17. – С.44–48.
57. Добрянский С.С. Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на крутящие моменты и качество нарезаемых резьб / С.С. Добрянский // Технология и автоматизация машиностроения. – К.: Техника, 1978. – Вып. 21. – С.15–18.

58. ДСТУ 2233-93. Інструменти різальні. Терміни та визначення. – Київ: Держстандарт України, 1995. – 22 с.
59. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Машиностроение, 1985. – 360 с.
60. Душинський В. В. Основи наукових досліджень. Теорія та практикум з програмним забезпеченням: навчальний посібник / В. В. Душинський. - К.: НТУУ “КПІ”, 1998. – 408 с
61. Дэннис Дж. Числительные методы безусловной оптимизации и решение нелинейных уравнений: пер. с англ. / Дж. Дэннис, Р. Шнабель. – М.: Мир. – 440 с.
62. Егоров М.Е. Технология машиностроения / М.Е. Егоров. – М.: Высш. Шк., 1979. – 526 с.
63. Жарков Н.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом: Монография / Н.Г. Жарков. – Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1986. – 184 с.
64. Жигалко Н.И. Проектирование и производство режущих инструментов / Н.И. Жигалко, В.В. Киселев. – Минск: Вышэйш. Шк., 1969. – 224 с.
65. Закс Г. Пластическое металловедение / Г. Закс. – М.: ОНТИ, 1938. – 244 с.
66. Заплетохин В.А. Конструирование деталей механических устройств: справочник / В.А. Заплетохин. – Л.: Машиностроение, 1990. – 669 с.
67. Зінь М.М. Моделювання і синтез вихрових головок для фрезерування гвинтових поверхонь: Автореферат на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / М.М. Зінь. – Тернопіль, 1996. – 16 с.
68. Зубцов М.Е. Листовая штамповка / М.Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
69. Ильюшин А.А. Пластичность. Ч.1. / А.А. Ильюшин. – М.-Л.: ГТИ, 1984. – 346 с.
70. Каплунов Р.С. Точность контрольных приспособлений / Р.С. Каплунов. – М.: Машиностроение, 1908. – 219 с.
71. Качанов Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов – М.: Гостехтеориздат, 1956. – 324 с.

72. Кирилюк Ю.Е. Допуски и посадки: справочник / Ю.Е. Кирилюк. – К.: Вища школа, 1989. – 135 с
73. Кіндрацький Б. І. Концепція і алгоритм багатокритеріального структурно-параметричного синтезу машинобудівних конструкцій / Б. І. Кіндрацький // Вісник ТДТУ. –2003. – Т. 8. – № 1. – С. 73–82.
74. Кіндрацький Б. І. Рациональне проектування машинобудівних конструкцій / Б. І. Кіндрацький, Г. Т. Сулим. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 280 с.
75. Клендій В.М. Нове технологічне оснащення для відновлення і виготовлення внутрішніх поверхонь різьбових деталей / В.М. Клендій, І.В. Фльонц, Н.М. Марчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2016. – Вип. 168. – С. 60–64.
76. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Кобельник Володимир Романович ; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с
77. Колев К.С. Технология машиностроения / К.С. Колев. – М.: Высшая школа, 1997.
78. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособления: учебник для вузов, 2-е изд. / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
79. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения / В.С. Корсаков – Высшая школа, 1978. – 333 с.
80. Косилова А.Г. Справочник технолога машиностроителя: 4-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – Том 1. М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
81. Косилова А.Г. Справочник технолога машиностроителя: 4-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – Том 2. М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

82. Кочергин А.Н. Автоматы и автоматические линии / А.Н. Кочергин. – Минск: Высшая школа, 1980. – 288 с.
83. Кривоухов В.А. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки / В.А. Кривоухов. – М.: Машиностроение, 1967. – 657 с.
84. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.
85. Кузнецов Ю. М. Прогнозування розвитку технічних систем / [Ю. М. Кузнецов, Р. А. Склярів]; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – К.: ТОВ «ЗМОК». – ПП «ГНОЗИС», 2004. – 323 с.
86. Кузнецов Ю. М. Использование эвристических приемов в работе конструктора станочной оснастки / Ю. М. Кузнецов. – М.: УТПМ, 1992. – 86 с.
87. Кузнецов Ю.Н. Морфологический синтез станков и их механизмов: Монография / Ю.Н. Кузнецов, Рерра Ж.А. Хамуйела, Т.О. Хамуйела; под. ред. Ю.Н. Кузнецова. – К.: ГНОЗИС, 2012. – 286 с.
88. Кузнецов Ю.Н. Новые зажимные механизмы станков-автоматов / Ю.Н. Кузнецов, А.В. Кухарец. – К.: Техника, 1979. – 151 с.
89. Кузнецов Ю.Н. Теория технических систем: учебник / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, Н.В. Луцив. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – 242 с.(рос.); 2011. – 246 с. (укр.); 2012. – 246 с.(англ.)
90. Кузнецов Ю. М. Теорія технічних систем / [Ю. М. Кузнецов, І. В. Луцив, С. А. Дубиняк]; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – Тернопіль : ТНТУ, 1997 – 310 с.
91. Кузнецов Ю.М. Схеми охоплення заготовок різними затискними патронами / Ю.М. Кузнецов, В.Г. Кушик, В.Н. Волошин // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2002. – №3. –Т. 7. – С. 23–28.
92. Кузнецов Ю.М. Теорія розв'язання творчих задач / Ю.М. Кузнецов. – К.: ГНОЗИС, 2003. – 294 с.
93. Курейчик В.В. Эволюционные методы решения задач: монография / В.В. Курейчик. – Таганрог: ТРТУ, 1999 – 95 с.

94. Лейбензон Л.С. Курс теории упругости / Л.С. Лейбензон. – М.: Гостехтеориздат, 1947. – 464 с.
95. Линчевский П. А. Способы определения жесткости станков / П.А. Линчевский, А.А. Якимов // Металлорежущие станки. Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техника, 1988. – Вып. 16. – С. 58–59.
96. Линчевский П.А. Расчет износа инструмента на основе динамической модели механической обработки / П.А. Линчевский, С.С. Фотти, В.И. Попов // Изв. вузов Машиностроение. – 1985. – №2. – С. 122–124.
97. Луців І.В. Амплітудно-частотні характеристики самоналагоджувального верстатно-інструментального оснащення при багатолезовій обробці / І.В. Луців // Збірник наукових праць КДТУ. – 2000. – Вип.6. – С.33– 38.
98. Малинин Н.Н. Пластический изгиб листа при больших деформациях / Н.Н. Малинин, А.А.Ширшов // Изв. вузов. Машиностроение, 1965. – №8. – С.187–192.
99. Манасевич А.Д. Физические основы напряженного состояния и прочность металлов / А.Д. Манасевич. – М.: Машгиз, 1962. – 198 с.
100. Марчук Н.М. Обґрунтування параметрів оправок для нарізання різі мітчиками в отворах деталей машин / Н.М. Марчук // «Наукові нотатки». – Луцьк, 2017. – Вип. 60. – С. 166–171.
101. Марчук Н.М. Оправка для розточування отворів і нарізання різі / Н.М. Марчук, Б.М. Гевко, П.В. Казмірчук // Міжнародна науково-технічна конференція «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій»: 22–24 травня 2018 р.: тези доп. – Тернопіль, 2018. – С. 89.
102. Марчук Н.М. Патрон для оброблення деталей пальцевими ріжучими інструментами / Н.М.Марчук, В.М. Клендій // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: 17–18 листопада 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – Т.1. – С.270–272.
103. Марчук Н.М. Пристрій для нарізання різі в корпусних деталях / Н.М. Марчук // Шістнадцята міжнародна молодіжна науково-технічна



конференція. «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво»: 26 – 29 жовтня 2016 р.: тези доп. – Суми, 2016. – С. 44–46.

104. Марчук Н.М. Різьбонарізний блок для нарізання різи / Н.М.Марчук // III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Інноваційні розробки студентів та молодих науковців в галузі технічного сервісу машин»: 1–2 грудня 2017 р.: тези доп. – Харків, 2017. – С. 89.

105. Марчук Н.М. Технологічність конструкцій різьбових з'єднань деталей машин / Н.М. Марчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування «Технічні науки». – Рівне, 2016. – Вип. 1(73). – С. 203–210.

106. Матвеев В.В. Исследование точности обработки резьб метчиками / В.В. Матвеев // В кн. Резьбообрабатывающий инструмент. – М.: НИИмаш, 1968.

107. Медвідь В.М. Технологічні основи технології машинобудування / В.М. Медвідь, В.А. Шабайкович. – Львів: Вища школа, 1976. – 300 с.

108. Меньшиков В.М. Бесстружечные метчики / В.М. Меньшиков, Г.П. Урлапов, В.С. Серода. – М.: Машиностроение, 1976. – 176 с.

109. Металлорежущий инструмент / А.А. Грудов, Ю.А. Погонянин, И.В. Славнов и др. – М.: НИИмаш, 1971. – 475 с.

110. Мойсеева Н. К. Выбор технических решений при создании новых изделий / Н. К. Мойсеева. – М. : Машиностроение, 1980. – 181 с.

111. Мошнин Е.М. Гибка и правка на ротационных машинах / Е.М. Мошнин. – М.: Машиностроение, 1977. – 269 с.

112. Мэтсон Р.Л. Усталость, остаточные напряжение и упрочнение поверхностного слоя наклепом / Р.Л. Мэтсон // Усталость металлов. – М.: Иностранная литература, 1961. – С.333–351.

113. Нагорняк С.Г. Принципы рассогласования векторов скоростей ведущего и ведомого элементов технологическо-инструментальной оснастки - как основа ее конструирования и создания новых кинематических схем / С.Г. Нагорняк // Ред. Сб. «Технология и орг. пр-ва». – Киев, 1989. – 14 с.

114. Нарезание резьбы метчиками-протяжками: Руководящие материалы. М.: ВНИИ инструмент, 1967. – 33 с.

115. Настасенко В.О. Морфологічний аналіз-метод синтезу тисяч винаходів: изд.2-е, перераб. и доп. / В.В, Настасенко. – Херсон: Айлант, 2015. – 100 с.

116. Обґрунтування параметрів запобіжних елементів технологічного оснащення для механічного оброблення / В.М. Клендій, В.В. Гупка, М.Д. Радик, Н.М. Марчук, Р.І. Котик // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький, 2017. – Вип. 47. – С. 99–105.

117. Обґрунтування параметрів патрона для нарізання різи / Р.В. Комар, Т.С. Дубиняк, І.С. Яким, Н.М. Марчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2016. – Вип. 168. – С. 80–84.

118. Одрин В. М. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц / В. М. Одрин, С. С. Картавов. – К. : Наукова думка, 1977. – 183 с.

119. Орликов М.Л. Динамика станков: монография – 2-е изд; перераб. и доп. / М.Л. Орликов. – К.: Высшая школа, 1989. – 272 с.

120. Орликов М.Л. Проектирование механизмов станков-автоматов / М.Л. Орликов. – М.: Машиностроение, 1968. – 248 с.

121. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В.Т. Павлище. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.

122. Пат. 106937 Україна, МПК В23В 51/00, В23G 5/00. Комбіноване свердло-мітчик / Марчук Н.М.; заявник і патентоотримувач Марчук Н.М - №u201511743; заявл. 27.11.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.

123. Пат. 107031 Україна, МПК В23В 31/00, F16L 15/00. Реверсивний патрон для нарізання різи / Гевко Б.М., Марчук Н.М, Гудь В.З., Навроцька Т.Д.; заявники і патентоотримувачі: Гевко Б.М., Марчук Н.М, Гудь В.З., Навроцька Т.Д. - №u201503993; заявл. 27.04.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.

124. Пат. 107215 Україна, МПК В23G 5/06 (2006.01), В23В 49/02. Мітчик – протяжка / Гевко Б.М., Марчук Н.М.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Марчук Н.М. - №u201511741; заявл. 27.11.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.

125. Пат. 107251 Україна, МПК В23D 15/00. Люнет токарного верстата / Гевко І.Б., Навроцька Т.Д., Марчук Н.М., Третьяков О.Л.; заявники і патентоотримувачі Гевко І.Б., Навроцька Т.Д., Марчук Н.М., Третьяков О.Л. - №u201512168; заявл. 08.12.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.

126. Пат. 107909 Україна, МПК В23G 5/00, В23В 49/02. Головка для нарізання внутрішніх різей / Гевко Б.М.; Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д. - №u201512856; заявл. 25.12.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.

127. Пат. 124001 Україна, МПК F16B 33/00. Безканавочний мітчик / Гевко Б.М., Клендій В.М., Марчук Н.М., Котик Р.М., Когут І.Р.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Клендій В.М., Марчук Н.М., Котик Р.М., Когут І.Р. - №u201711030; заявл. 13.11.2017; опубл. 12.03.18, Бюл. № 5.

128. Пат. 124231 Україна, МПК В23В 49/02 (2006.01), В23В 49/04 (2006.01), В23В 31/171 (2006.01). Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різі в трубчатих заготовках / Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д., Казмірчук П.В., Гевко І.Б.; заявники і патентоотримувачі Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д., Казмірчук П.В., Гевко І.Б. - №u201711045; заявл. 13.11.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6.

129. Пластическое формоизменение металлов / Г.Я. Гун, П.И. Полухин, В.П. Полухин, Б.Л. Прудковский. – М.: Metallurgy, 1968. – 416 с.

130. Повышение точности обработки на одно- и многоинструментальных станках / Н.А. Муминов, Б.М. Исмаилов, Т. Сафаров и др. – Ташкент: Фан, 1982. – 150 с.

131. Половинкин А. И. Методы инженерного творчества: [учеб пособие] / Половинкин А. И. – Волгоград : ВолгПИ, 1984. – 368 с.

132. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества: [учеб. пособие для студентов вузов] / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.

133. Пономарев С.Д. Расчет упругих элементов машин и приборов / С.Д. Пономарев, А.Е. Андреева. – М.: Машиностроение, 1980. – 326 с.

134. Пуховский Е.С. Номограмма для определения оптимальных условий резьбонарезания / Е.С. Пуховский // Технология и автоматизация машиностроения. – К.: Техника, 1982. – Вып.30. – С.76-80.
135. Радчик А.С. Пружины и рессоры / А.С. Радчик, И.И. Буртковский. – К.: Техника, 1973. – 136 с.
136. Расчеты экономической эффективности новой техники: справочник // Под ред. К.М.Великанова. – Л.:Машиностроение, 1990. – 488 с.
137. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты / П.Р. Родин. – Киев: Вищ. Шк., 1974. – 399 с.
138. Роках А. Г. Логика и эвристика научно-технических решений [учеб. пос.] / А. Г. Роках. – Саратов : САИН, 2005. – 153 с.
139. Романова Н. В. Основы научно-технического творчества и патентования [учеб. пос.] / Н. В. Романова, А. Ю. Вагарин, Д. А. Усанов. – Саратов : САИН, 2003. – 64 с.
140. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
141. Самонастраивающиеся зажимные механизмы: справочник / Ю.Н. Кузнецов, А.А. Вачев, С.П. Сяров, А.Й. Цървенков. – К.: Техника, 1988. – 222 с.
142. Сверхпластичность металлических материалов / М.Х. Шоршоров и др. – М.: Наука, 1973. – 220 с.
143. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матрюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Машгиз, 1962. –952 с.
144. Семинський В.К. Приспособления и инструменты токарных работ / В.К. Семинський, П.П. Вирченко, С.А. Платанюк. – К.: Техника. – 1977. – 160 с.
145. Сердюк А.В. Технологическое обеспечение степени точности резьбы / А.В. Сердюк // Технология и автоматизация машиностроения. – К.: Техніка, 1986. – Вып. 38. – С. 102–108.
146. Скловский А.С. Приспособления и инструменты станочников-новаторов / А.С. Скловский, Ф.О. Андрощук. – К.: Техніка, 1986. – 112 с.

147. Скобцов Ю. А. Современные модификации и обобщения генетических алгоритмов / Ю. А. Скобцов, В. Ю. Скобцов // Таврический вестник информатики и математики. – 2004. – № 1. – С. 60-71.

148. Сокольников И.С. Тензорный анализ: пер. с англ. / И.С. Сокольников. – М.: Наука, 1971. – 376 с.

149. Соппротивление материалов / Г.С. Писаренко и др. – К.: Вища школа, 1979. – 609 с.

150. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

151. Старостин В.Г. Формализация проектирования процессов обработки резанием / В.Г. Старостин, В.Е. Лелюхин. – М.: Машиностроение, 1986. – 136 с.

152. Столяров А. М. Методологические основы изобретательского творчества / А. М. Столяров. – М. : Машиностроение, 1986. – 112 с.

153. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 427 с.

154. Структурний синтез пристроїв та інструментів для нарізання різі / Б.М. Гевко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук, В.П. Казмірчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 34. – С. 3–10.

155. Тарасов В.Б. Интеллектуальные системы в проектировании / В.Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. – Москва, 1993. – № 4. – С.24–67.

156. Таурин Г.Д., Добрянский С.С., Казанджиева Р.А. Повышение качества и увеличение производительности при нарезании резьб твердосплавными гребенками на высокохромистых сталях / Г.Д. Таурин, С.С. Добрянский, Р.А. Казанджиева // Технология и автоматизация машиностроения. – К.: Техника, 1979, – Вып.23. – С. 69–74.

157. Технологичность конструкции изделий: справочник // под. редакции Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.

158. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: навчальний посібник / Ю.М. Кузнєцов, О.Ф. Саленко, О.О. Харченко, В.Т. Щетинін. – Київ-Кременчук-Севастополь: Точка, 2014. – 500 с.

159. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія / Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин; упоряд. Кузнєцов Ю.М. – Київ–Тернопіль: Терно-град, 2011. – 692 с.

160. Технологічне спорядження для виготовлення мітчиків / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук, М.Г. Левкович, П.В. Казмірчук // Вісник Житомирського державного технічного університету. – Житомир, 2017. – Вип. 2(80). – С. 39–43.

161. Технологія автоматизованого виробництва / О.О. Жолобов, В.А. Кирилович, П.П. Мельничук, В.А. Яновський. – ЖДТУ, 2008. – 187 с.

162. Тиллес С.А. Точность обработки на токарных и сверлильных станках / С.А. Тиллес. – М.: Машгиз, 1949. – 175 с.

163. Томсен Э. Механика пластической деформации при обработке металлов: пер. с англ. / Э. Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши. – М.: Машиностроение, 1969. – 503 с.

164. Унксов Е.П. Инженерная теория пластичности. Методы расчета усилия деформирования / Е.П. Унксов. – М.: Машгиз, 1959. – 328 с.

165. Филиппов Г.В. Режущий инструмент / Г.В. Филиппов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 392 с.

166. Фрумин Ю.Л. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент / Ю.Л. Фрумин. – М.: Машиностроение, 1977. – 183 с.

167. Хамуйела Ж.А. Герра. Генетико-морфологічний синтез зажимных патронов / Герра Ж.А. Хамуйела, Ю.Н. Кузнєцов, Т.О. Хамуйела; под ред. Ю.Н. Кузнєцова. – Луцк: Вежа-Друк, 2017. – 328 с.

168. Харченко А.О. Прогрессивное оборудование для обработки внутренних резьб / А.О. Харченко // Obrobka skrawaniem i narzedzia IV Miedzynarodowe symposjum. – Krakow, 1999. – s.53-60.

169. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем / А.О. Харченко. – К.: Фенікс, 2004. – 300 с.

170. Хилл Р. Математическая теория пластичности / Р. Хилл. – М.: Гостехиздат, 1956. – 407 с.
171. Четверенков С.С. Металорежущие инструменты / С.С. Четверенков. – М.: Высшая школа, 1965. – 650 с.
172. Чус А. В. Основы технического творчества: [учебное пособие] / А. В. Чус, В. Н. Данченко. – Киев-Донецк : Вища шк., 1983. – 184 с.
173. Шанайда В.В. Синтез инструментального оснащения для нарезания и восстановления резей митчиками в деталях сільськогосподарських машин: автореферат дис. на здобуття вченого ступ. канд. техн. наук. – Тернопіль, 1995. – 17 с.
174. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 374 с.
175. Якухин В.Г. Оптимальная технология изготовления резьб / В.Г. Якухин. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
176. Blättry H. Spannzenge für Drehmaschinen / H. Blättry // Werkstatt und Betrieb, 106. – 1973. – Nr 2. – s. 89–92.
177. Finan J.S., Hurley W.J. Transitive calibration of the AHP verbal scale / J.S. Finan, W.J. Hurley // European Journal of Operational Research. –1999. – V.112.
178. Hevko B. The study of the dynamics of a device for screw thread turning / B. Hevko, A. Djachun, N. Marchuk // Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2016. – Vol. 18, № 1. – P. 87–93.
179. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence. – London: Bradford book edition, 1994.
180. Kalpakjian Serope. Manufacturing engineering and technology / Serope Kalpakjian. – USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
181. Krdmengtr H., Ullrich M.: Untersuchungen fn oinem Schaeckenverbampfer. Chem. Ing.-Techn., 1970. – pp. 1 - 9.
182. Rakov D.L. Applying of adaptation principale for design of lovding spacecrafts / D.L. Rakov. – Moskow: Vestnik MAT, 1995. – №1.

183. Rudnickas Vitte W. Machine Design / W. Vitte Rudnickas, A. Richard Fine. – 1965. – №11. – P. 37–42.
184. Sadowy M. Einsant von Stimseitenmitnehmern / M. Sadowy, R. Welk. – Werkstatt und Betrieb, 105. – 1972. – Nr 8. – S. 591–517.
185. Zwicky F. Discovery, invention, research through the morphological approach / F. Zwicky. – Toronto-New York: McMillan, 1969.
186. Wong F., Yong Tan P. Neural Networks And Genetic Algorithm For Economic Forecasting // AI in economics and business administration. Institute of systems Science, National University of Singapore, 1999.
187. Ertunc H.M., Loparo K.A. A decision fusion algorithm for tool wear condition monitoring in Drilling / H.M. Ertunc, K.A. Loparo // International Journal of Machine tool & Manufacture, 2001, vol. 41. – p.1347-1362.
188. Kalpakjian, Serope. Manufacturing engineering and technology. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
189. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen-Geräte-und apparatebau-Berlin: Springer-Verlag, 1976. – 184 S.



# ДОДАТКИ

## Додаток А



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

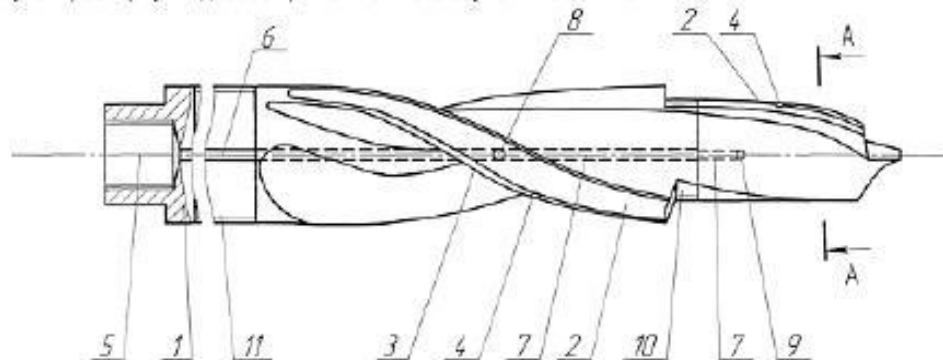
(19) **UA** (11) **106937** (13) **U**  
(51) МПК (2016.01)  
**B23B 51/00**  
**B23G 5/00**

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2015 11743</b>	(72) Винахідник(и): <b>Марчук Назар Миколайович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>27.11.2015</b>	(73) Власник(и): <b>Марчук Назар Миколайович,</b> вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46000 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.05.2016</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.05.2016, Бюл.№ 9</b>	

**(54) КОМБІНОВАНЕ СВЕРДЛО-МІТЧИК****(57) Реферат:**

Комбіноване свердло-мітчик виконано у вигляді ступінчастого свердла з чотирма стрічками на великому діаметрі і довгою робочою частиною з хвостовиком. Хвостовик виконано квадратної форми з центральним різьбовим отвором для кріплення і центральним отвором для підведення охолоджуючої рідини в зоні свердління двох ступенів на дві сторони і в зоні нарізання різі на дві сторони. При цьому торець отворів є заглишений, свердло по довжині робочих частин оснащено різьбовими поверхнями, а на ріжучих кромках двох ступенів виконані виїмки для подрібнення стружки і покращення умов її відведення, а ріжучі кромки свердла на більшому ступені розвернуті відносно кромки меншого ступеня на 35...45°.



Фіг. 1

UA 106937 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **107215** (13) **U**  
 (51) МПК  
**B23G 5/06** (2006.01)  
**B23B 49/02** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ  
 УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2015 11741</b>	(72) Винахідник(и): <b>Гевко Богдан Матвійович (UA), Марчук Назар Миколайович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>27.11.2015</b>	(73) Власник(и): <b>Гевко Богдан Матвійович, вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46000 (UA), Марчук Назар Миколайович, вул. Шептицького, 13, м. Тернопіль, 46008 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є членими права на корисну модель: <b>25.05.2016</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.05.2016, Бюл.№ 10</b>	

**(54) МІТЧИК-ПРОТЯЖКА****(57) Реферат:**

Мітчик-протяжка виконана у вигляді хвостовика, який розміщений спереду ріжучої частини, а ріжуча частина виконана у вигляді конічної різі, де кожен наступний зуб має відповідний підйом, як у протяжки і калібруючої частини, а на робочій частині прорізані гвинтові стружкові канавки, направлені в протилежну сторону витків різі. Інструмент виконано у вигляді збірної конструкції. Містить вал з шпонковими канавками, який є у взаємодії з внутрішніми шпонковими пазами окремих ріжучих секцій мітчика протяжки, які мають свої підйоми на зуб, у міру збільшення діаметрів вони є збільшеними, а довжина окремих ріжучих секцій є більшою або рівною довжині оброблювальної деталі. На робочій частині секцій мітчика протяжки по зовнішньому діаметру прорізані гвинтові стружкові канавки. Ріжучі канавки на окремих ріжучих секціях повинні бути на одній лінії. На початку вала нарізана різь, яка є у взаємодії з затисною гайкою і контргайкою. При цьому упорні збірні елементи мітчика-протяжки є у взаємодії з упорними мідними шайбами прокладками і кінець вала є опорою в пристрої для нарізання різі.

**UA 107215 U**



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **107251** (13) **U**  
(51) МПК (2016.01)  
**B23D 15/00**

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2015 12168</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>08.12.2015</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.05.2016</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.05.2016, Бюл.№ 10</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Ігор Богданович (UA), Навроцька Тетяна Дем'янівна (UA), Марчук Назар Миколайович (UA), Третяков Олександр Леонідович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Гевко Ігор Богданович, вул. І. Сірка, 10, кв. 2, м. Тернопіль, 46000 (UA), Навроцька Тетяна Дем'янівна, вул. І. Сірка, 10, кв. 2, м. Тернопіль, 46000 (UA), Марчук Назар Миколайович, вул. Шептицького, 13, м. Тернопіль, 46000 (UA), Третяков Олександр Леонідович, вул. Братів Бойчуків, 5-а, кв. 82, м. Тернопіль, 46000 (UA)</b></p>
--	---

**(54) ЛЮНЕТ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА**

**(57) Реферат:**

Люнет токарного верстата виконано у вигляді плити-основи, кронштейна, різцетримачів основного і допоміжного, самоцентрувального патрона, упора. Вузол переміщення люнета виконано у вигляді роз'ємного кронштейна, який у поперечному вертикальному перерізі має форму верхнього і нижнього неповних півкравів. Радіуси поперечних перерізів кронштейнів є більшими радіусів заготовок.

**UA 107251 U**



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **107909** (13) **U**  
 (51) МПК (2016.01)  
**B23G 5/00**  
**B23B 49/02** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ  
 УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2015 12856</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>25.12.2015</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>24.06.2016</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>24.06.2016, Бюл.№ 12</b></p>	<p>(72) Винахідник(и):  <b>Гевко Богдан Матвійович (UA),          Марчук Микола Михайлович (UA),          Марчук Назар Миколайович (UA),          Навроцька Тетяна Дем'янівна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и):  <b>Гевко Богдан Матвійович,          вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46000 (UA),          Марчук Микола Михайлович,          вул. Шептицького, 13, м. Рівне, 33004 (UA),          Марчук Назар Миколайович,          вул. Шептицького, 13, м. Рівне, 33004 (UA),          Навроцька Тетяна Дем'янівна,          вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46000 (UA)</b></p>
--	--

**(54) ГОЛОВКА ДЛЯ НАРІЗАННЯ ВНУТРІШНІХ РІЗЕЙ****(57) Реферат:**

Головка для нарізання внутрішньої різі виконана як циліндричний корпус з регульованими планками, механізмами регулювання діаметра нарізання різі, включення і виключення роботи головки, установчими і кріпильними елементами. З лівого кінця опорного стрижня виготовлені кінчні Т-подібні пази під кутом 15°, які розміщені рівномірно по колу і які є у взаємодії з Т-подібними повзунами-виступами з можливістю осьового і радіального переміщення, а в пазах по центру виконані профільні циліндричні вставки, зверху яких виконані різьбові гребінки і які жорстко встановлені у повзуни в сторону проти руху головки. Гребінки марковані за годинниковою стрілкою, які відрізняються одна від одної зміщенням профілю кроку від позначки "К" - вліво на  $0,5 \pm 0,05$  мм (крок  $t=2$  мм) на чотирьох гребенях.

UA 107909 U



УКРАЇНА

(19) UA (11) 124231 (13) U

(51) МПК

B23B 49/02 (2006.01)

B23B 49/04 (2006.01)

B23B 31/171 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2017 11045</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>13.11.2017</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.03.2018</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.03.2018, Бюл.№ 6</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Марчук Микола Михайлович (UA), Марчук Назар Миколайович (UA), Навроцька Тетяна Дем'янівна (UA), Казмірчук Петро Васильович (UA), Гевко Ігор Богданович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Марчук Микола Михайлович, вул. Злуки, 45/12, м. Тернопіль, 46000 (UA), Марчук Назар Миколайович, вул. Степана Бандери, 12, м. Рівне, 33000 (UA), Навроцька Тетяна Дем'янівна, вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46000 (UA), Казмірчук Петро Васильович, вул. Шептицького, 13, м. Тернопіль, 46000 (UA), Гевко Ігор Богданович, вул. І. Сірка, 10/2, м. Тернопіль, 46000 (UA)</b></p>
---	--

## (54) ПНЕВМАТИЧНИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ СВЕРДЛІННЯ І НАРІЗАННЯ РІЗИ В ТРУБЧАТИХ ЗАГОТОВКАХ

## (57) Реферат:

Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різи в трубчатих заготовках, що виконано у вигляді корпусу з пневматичним затискним механізмом, механізмом завантаження трубчастих заготовок, механізму свердління отворів, механізму управління роботою механізму у вигляді кулачків, кондукторної плити, установчих і кріпильних елементів. Ріжучий інструмент виконано у вигляді комбінованого свердла - мітчика, а на зовнішньому діаметрі мітчика встановлена плаваюча реверсна втулка з реверсом з можливістю осьового переміщення, яка знизу є у взаємодії з торцем кондукторної плити, знизу якої встановлено кондукторну плиту у вигляді упорного підшипника з можливістю сумісного обертання через циліндричну прокладку, яка виконана у вигляді кільця з діаметрами упорного підшипника і центрова з упорним підшипником відомим способом без заїдання при обертанні. Ззаду корпусу в зоні торця трубчастих заготовок встановлено повзун для точного їх базування в пристрої.

UA 124231 U



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **124001** (13) **U**  
(51) МПК (2018.01)  
F16B 33/00

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2017 11030</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>13.11.2017</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>12.03.2018</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>12.03.2018, Бюл.№ 5</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Богдан Матвійович (UA), Клендій Володимир Миколайович (UA), Марчук Назар Миколайович (UA), Котих Роман Михайлович (UA), Когут Ігор Романович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Гевко Богдан Матвійович, вул. І. Сірка, 10, м. Тернопіль, 46020 (UA), Клендій Володимир Миколайович, вул. Тарнавського, 7-а, м. Тернопіль, 46400 (UA), Марчук Назар Миколайович, вул. Степана Бандери, 12, м. Ріане, 33014 (UA), Котих Роман Михайлович, вул. Шелтицького, 13, м. Тернопіль, 46008 (UA), Когут Ігор Романович, с. Волинки, Зборівський р-н, Львівська обл., 47250 (UA)</b></p>
---	---

**(54) БЕЗКАНАВОЧНИЙ МІТЧИК****(57) Реферат:**

Безканавочний мітчик виконано у вигляді гвинта, вадсвж осі якого прорізана прями або гвинтові канавки для утворення загальних кромки і розміщення стружки, в якому по забірній частині фрезерують канавки, причому на заборній конусній поверхні рівно по колу виконані конусні гвинтові канавки, які направлені протилежно напрямку різі, а форма хвостовика виконана укороченої квадратної форми радіальні розміри якого є менші зовнішнього діаметра тіла мітчика, а на плоских поверхнях квадратів виконані фасонні виїмки, які є у взаємодії з кульками, які підпружинено по осі мітчика кожною пружиною і завальцьовані з можливістю утримання в тілі мітчика, при цьому зовнішня квадратна поверхня тіла мітчика є у взаємодії з внутрішнім квадратним отвором приводної оправки, зовнішнім діаметром, меншим внутрішнього отвору різі, яку нарізає мітчик.

**UA 124001 U**





УКРАЇНА

(19) UA (11) 107031 (13) U  
 (81) МПК (2016.01)  
 B23B 31/00  
 F16L 15/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ  
 УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: <b>ш 2015 03993</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>27.04.2015</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.05.2016</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.05.2016, Бюл.№ 10</b></p>	<p>(72) Визобретця(и):  <b>Гевко Богдан Матвійович (UA),          Марчук Назарій Миколайович (UA),          Гудь Віктор Зеновійович (UA),          Навроцька Тетяна Демнішна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и):  <b>Гевко Богдан Матвійович,          вул. Б. Лепкого, 6, смт Гусятин, 46205 (UA),          Марчук Назарій Миколайович,          вул. Шаповалова, 18, м. Березань,          Тернопільська обл., 47501 (UA),          Гудь Віктор Зеновійович,          вул. Тарнавського, 7-а/145, м. Тернопіль,          46400 (UA),          Навроцька Тетяна Демнішна,          вул. І. Сірка 102, м. Тернопіль, 46000 (UA)</b></p>
--	--

## (54) РЕВЕРСИВНИЙ ПАТРОН ДЛЯ НАРІЗАННЯ РІЗІ

## (57) Реферат:

Реверсний патрон для нарізання різі, який виконано у вигляді хому́та з хвостовиком, циліндричного корпусу з роликопідшипниками, двох пар сепараторів, які з'єднані кулачками, обойми для передачі обертового руху, регульовальної гайки і кільцевого механізму його фіксації, а також механізму зчеплення від переважання, причому в нижній частині хвостовика виконано радіальний отвір, який є у жорсткій взаємодії з пальцем, кінець якого є у взаємодії з верхньою кінцевою шестірнею, у верхній частині якої встановлено підшипник, який є у взаємодії з внутрішнім отвором обойми, через який вона є у взаємодії з можливістю відносного обертового руху, а з двох протилежних сторін в середній частині обойми радіально встановлені на підшипниках кінцеві шестерні-сателіти, зуби яких є у взаємодії з зубами верхньої кінцевої шестерні з можливістю кругового провертання, а до нижнього торця хвостовика жорстко закріплена циліндрична пружина, яка зовнішнім діаметром і нижнім торцем є у взаємодії з валом мітчика через верхній отвір, який верхньою частиною є у взаємодії з зовнішнім діаметром з підшипником кочення, який зовнішнім діаметром є у взаємодії з патунною втулкою з можливістю кругового провертання у верхній частині, який є у взаємодії з радіальним гвинтом, який жорстко встановлено знизу верхньої шестерні, а в нижній частині з торця підшипник кочення є у взаємодії з проміжною втулкою, яка разом з нижнім торцем є у взаємодії з підшипником кочення, який жорстко встановлено на середній частині вала мітчика, а зовнішнім діаметром підшипник кочення є у взаємодії з внутрішнім діаметром шестерні нижньої з можливістю кругового провертання, яка кінцевим зубам є у взаємодії з зубами кінцевих шестерень-сателітів і яка встановлена в нижній частині обойми, а з нижнього торця вала мітчика на зовнішньому діаметрі жорстко встановлено втулку, яка збоку закріплена гвинтом, а знизу - болтом з шайбою і гравером, а знизу у нижній шестерні виконано захисний механізм від переважання, який виконано у вигляді торцевих поверхонь, шестерні нижньої і ставана, де рівномірно по колу кінцеві отвори є у взаємодії і з тілами кочення, які знизу підтіснені пружинами і підтісненою знизу наковичною гайкою, яка навішнена на ставані, у внутрішньому отворі якого встановлено з'єдну вставку з квадратним отвором, який є у взаємодії з хвостовою

UA 107031 U



## Додаток Б

Таблиця Б.1

План-матриця планованого факторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$  для  
 $P = f_{(P)}(n; d; v)$

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів				Параметр оптимізації, У			Середні значення, У
									повторюваність			
	x <sub>0</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	1	2	3	У <sub>сер.</sub>
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	У11	У12	У13	У1с
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	У21	У22	У23	У2с
3	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	У31	У32	У33	У3с
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	У41	У42	У43	У4с
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	У51	У52	У53	У5с
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	У61	У62	У63	У6с
7	+1	-1	0	-1	0	+1	0	0	У71	У72	У73	У7с
8	+1	+1	0	-1	0	-1	0	0	У81	У82	У83	У8с
9	+1	0	0	-1	0	0	0	0	У91	У92	У93	У9с
10	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	У101	У102	У103	У10с
11	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	У111	У112	У113	У11с
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	У121	У122	У123	У12с
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	У131	У132	У133	У13с
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	У141	У142	У143	У14с
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	У151	У152	У153	У15с
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	0	У161	У162	У163	У16с
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	0	У171	У172	У173	У17с
18	+1	0	0	+1	0	0	0	0	У181	У182	У183	У18с
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	0	У191	У192	У193	У19с
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	0	У201	У202	У203	У20с
21	+1	0	-1	0	0	0	0	0	У211	У212	У213	У21с
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	0	У221	У222	У123	У22с
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	0	У231	У232	У233	У23с
24	+1	0	+1	0	0	0	0	0	У241	У242	У243	У24с
25	+1	-1	0	0	0	0	0	0	У251	У252	У253	У25с
26	+1	+1	0	0	0	0	0	0	У261	У262	У263	У26с
27	+1	0	0	0	0	0	0	0	У271	У272	У273	У27с

## Додаток Б2

Несиметрична план-матриця некомпозиційного плану другого порядку Бокса-Бенкіна планованого експерименту типу ПФЕ  $3^3$

№ експер.	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	+1	+1	+1	0
2	+1	+1	-1	0
3	+1	-1	+1	0
4	+1	-1	-1	0
5	+1	0	0	+1
6	+1	0	0	+1
7	+1	0	0	-1
8	+1	0	0	-1
9	+1	0	0	0
10	+1	+1	0	0
11	+1	+1	0	0
12	+1	-1	0	0
13	+1	-1	0	0
14	+1	0	+1	+1
15	+1	0	+1	-1
16	+1	0	-1	+1
17	+1	0	-1	-1
18	+1	0	0	0
19	+1	+1	0	+1
20	+1	+1	0	-1
21	+1	-1	0	+1
22	+1	-1	0	-1
23	+1	0	+1	0
24	+1	0	+1	0
25	+1	0	-1	0
26	+1	0	-1	0
27	+1	0	0	0

## Додаток В

Показники статистичної обробки масиву експериментальних  
даних сили різання

STAT

4 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6  
Уровень вероятности P=0.90 t-альфа крит.= 1.705

N	Корреляция	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Коэфф. эластичности	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная						
Y		+224.346466064453				
Независимые переменные						
1	-0.886	-1.256041884422	+0.18562	-6.77	-2.63	значим
3	-0.259	-7.901007652283	+1.29649	-6.09	-0.56	значим
1*1	-0.869	+0.002390930196	+0.00051	+4.73	+0.87	значим
1*2	-0.528	-0.029803352430	+0.01333	-2.24	-0.35	значим
1*3	-0.692	+0.029931994155	+0.00772	+3.88	+0.34	значим
2*2	+0.309	+1.007147669792	+0.19932	+5.05	+0.43	значим

Имя файла MARCHUK .STA

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	15366.4873046875	6	2561.081
Остаток	260.82520	20	13.041
Итого	15627.3125	26	

Коэффициент множественной детерминации D= 0.983  
Коэффициент множественной корреляции R= 0.992  
Стандартное отклонение оценки s= 3.611  
F критерий Фишера = 196.383  
Коэффициент D значим с вероятностью P = 1.000000

Имя файла MARCHUK .STA

## Додаток Д

## Акти впровадження результатів дослідження

Затверджую

Голова правління

ТОВ «Універст»

Петришин І.Р.



## Акт

Впровадження наукової розробки Гевко Богдана Матвійовича, Марчука Назара Миколайовича, Гудя Віктора Зеновійовича і Навроцької Тетяни Дем'янівни на ТОВ «Універст».

У відповідності до Патенту №107031 «Реверсивний патрон для обробки отворів» авторів Гевко Б.М., Марчук Н.М. та інші спроектовано, виготовлено і впроваджено у виробництво запропонований патрон.

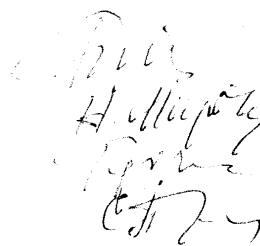
До переваг патрона відноситься захист сверл і мітчиків від поломки і економічний річний ефект склав 2520грн.

Від ТОВ «Універст»



Пастернак І.Ф.

Від авторів



Гевко Б.М.

Марчук Н.М.

Гудь В.З.

Навроцька Т.Д.

73 10 07 25

Затверджую  
ТДВ Рівненське ремонтно-  
транспортне підприємство  
Директор  
Шумін Ю.І.

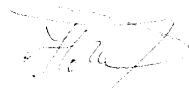
### Акт

Впровадження наукової розробки Марчука Назара Миколайовича на ТДВ “Рівненське ремонтно-транспортне підприємство.”

У відповідності до Патенту 106937 “Комбіноване свердло-мітчик ” автора Марчука Н.М. впроваджено у виробництво запропоновану конструкцію комбінованого інструменту.

До переваг комбінованого інструменту свердло-мітчик відноситься можливість послідовного виконання кількох переходів без змін інструментів. Їх, як правило, використовують для виготовлення наскрізного різьбового отвору і економічний річний ефект склав 1257 грн.

Головний інженер



Мельникович В.І.

Від автора



Марчук Н.М.