

**Міністерство освіти і науки України**  
**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет транспорту та механічної інженерії**

(повне найменування факультету)

**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Вдосконалення конструкції пристроїв для фіксації**  
**заготовок при фрезеруванні**

спеціальність 131 Прикладна механіка  
(цифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»  
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ІМм-21  
Іщук Олександр Олександрович

\_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент  
Придальний Борис Іванович

\_\_\_\_\_

(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.  
к.т.н., доцент  
Гарант освітньої програми:  
Четвержук Тарас Іванович

\_\_\_\_\_

(підпис)

Луцьк – 2023 року

## АННОТАЦІЯ

Іщук О.О. Вдосконалення конструкції пристроїв для фіксації заготовок при фрезеруванні. – Рукопис

У роботі розглянуті важливі питання машинобудування, що присвячені проблемам надійності фіксації призматичних заготовок під час фрезерування. На сьогодні, дані питання не вивчені достатньою мірою, і особливо процеси, що можуть суттєво впливати на якісні та кількісні показники роботи приводів затискних механізмів.

Значною мірою відкритою залишається проблема стабільності радіального зусилля затиску при застосуванні різних конструкцій затискних пристроїв, які використовуються для фіксації заготовок у вигляді призматичних заготовок, особливо зі значними діапазонами по жорсткості та розмірах на які налаштовується пристрій для затиску. При цьому, встановлено, що зміна характеристик функціонування приводів машинних лецат і зокрема кількості кінематичних ланцюгів може забезпечити нові шляхи розв'язання розглядуваної проблеми.

## ANNOTATION

Ishchuk O.O. Improvement of the design of devices for fixing workpieces during milling - Manuscript

The paper deals with important issues of mechanical engineering, which are devoted to the problems of reliability of fixing prismatic workpieces during milling. To date, these issues have not been studied sufficiently, and especially the processes that can significantly affect the qualitative and quantitative performance of clamping drives.

The problem of the stability of the radial clamping force remains largely open when applying various designs of clamping devices used to fix workpieces in the form of prismatic workpieces, especially with significant ranges in stiffness and dimensions for which the clamping device is adjusted. At the same time, it is established that changing the characteristics of the functioning of machine vice drives and, in particular, the number of kinematic chains can provide new ways to solve the problem under consideration.

## ЗМІСТ

Вступ	6
1. Машинні лещата як об'єкт дослідження	8
1.1. Сукупність вимог до технологічної оснастки	8
1.2. Патентно-інформаційні дослідження машинних лещат	13
1.3. Аналіз відомих лещат, схем і конструкцій затискних пристроїв з двома кінематичними ланцюгами	14
2. Методики експериментальних досліджень машинних лещат	21
2.1. Дослідження сили затиску машинних лещат	21
2.1.1. Експериментальний стенд	21
2.1.2. Методика дослідження силових характеристик	23
2.1.3. Результати експериментальних досліджень сили затиску	24
2.2. Дослідження характеристик жорсткості	26
2.2.1. Експериментальний стенд	26
2.2.2. Методика дослідження характеристик жорсткості	28
2.2.3. Результати експериментальних досліджень жорсткості системи «заготовка-рухома губка і нерухома губка»	28
3. Принципи створення затискних пристроїв з двома кінематичними ланцюгами	32
3.1. Нові підходи до створення пристроїв затиску для заготовок призматичної форми	32
3.2. Функціонально-вартісний аналіз при конструюванні затискних пристроїв	38
3.3. Структурно-схемний синтез лещат методом морфологічного аналізу	40
3.4. Аналіз отриманих рішень	44
4. Конструкторсько-технічне обґрунтування прийнятих рішень	46
<b>4.1. Особливості конструктивного виконання лещат</b>	46
4.2. Розрахунок сил затиску при фрезеруванні заготовки	47
4.3. Розрахунок пружних елементів	50
4.3.1. Розрахунок тарілчастих пружин	50
4.3.2. Розрахунок гвинта	52
4.4. Розрахунки міцності основних деталей лещат	52
4.4.1. Вибір підшипників	52
4.4.2. Розрахунок на міцність найбільш навантажених деталей	53
Висновки	58
Перелік використаних джерел	59

## ВСТУП

Актуальність досліджень. Існуючий стан машинобудування вимагає підвищеної уважності до випуску технологічного оснащення металообробного обладнання. Виготовлення оновленого технологічної оснастки сприяє підвищенню техніко-економічних показників та розширенню технологічних можливостей в умовах гнучкого виробництва.

Широкого застосування в складі металорізальних верстатів набули затискні пристрої для фіксації призматичних заготовок на верстатах свердлильно-фрезерної групи. Серед яких помітне місце займають лещата з різними принципами забезпечення фіксації, і які здебільшого мають постійну структуру з один кінематичним ланцюгом від привода до затискних елементів. Наявність лише одного кінематичного ланцюга зменшує коефіцієнт корисної дії та збільшує додаткові витрати енергії.

Розробка нових затискних пристроїв із змінною кінематичною структурою, що має два або більше кінематичних ланцюга, дозволяє покращити їх технічні показники та більш повно використати потенціал технологічних можливостей, підвищити рівень взаємозамінності деталей, розширити функціональність та діапазон розмірів. Процеси розробки та проектування оснащення такого виду потребує нових підходів та покращених методів структурного та схемного синтезів, а також ефективніших математичних моделей і алгоритмів розрахунку.

Затискні пристрої і лещата для фіксації призматичних деталей мають широкий вжиток на внутрішньому і зовнішньому ринках. При цьому окремі їх види використовуються для побутових потреб. Для покращення їх адаптивності необхідні додаткові дослідження, що визначає актуальність та основні напрямки проведення досліджень цієї роботи.

Мета проведення досліджень – покращення силових характеристик пристроїв затиску шляхом вдосконалення існуючих та створення нових покращених конструкцій на основі їх досліджень, розробки методик проектування і розрахунку основних характеристик.

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Здійснити патентно-інформаційні дослідження конструкцій лещат.
2. Провести дослідження факторів які впливають на основні характеристики затискних пристроїв з декількома кінематичними ланцюгами.
3. Побудувати розрахункову схему визначення працездатності лещат з декількома кінематичними з'єднаннями для затиску та під час обробки.
4. Розробити принципи створення затискних пристроїв шляхом застосування морфологічного підходу.
5. Сформулювати рекомендації для проектуванню і розрахунку затискних пристроїв нової конструкції.
6. Розробити рекомендації по проведенню експериментальних досліджень затискних пристроїв з двома кінематичними ланцюгами.

Об'єкт досліджень – процеси, що відбуваються у затискних механізмах і зокрема машинних лещатах з декількома кінематичними ланцюгами для фіксації призматичних заготовок.

Предмет досліджень - процес затиску і основні характеристики затискних пристроїв з двома і більше кінематичними ланцюгами при обробці гранних деталей.

Методи проведення досліджень: теорія синтезу та системного підходу, математичного моделювання, машин і механізмів та динаміки елементів верстатів.

Апробація результатів роботи проведена під час студентської конференції. За результатами опубліковані тези доповіді Придальний Б.І. Машинні лещата з двома кінематичними ланцюгами / Придальний Б.І., Іщук О.О. // Тези III студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”. Луцьк: ЛНТУ – 2023 р.

# 1. МАШИННІ ЛЕЩАТА ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Сукупність вимог до технологічної оснастки

Пристосування в машинобудуванні – це допоміжні пристрої до технологічного обладнання, що використовуються для виробництва Затискне ТО класифікується по призначенню, джерелу енергії і принципу компоновки (рис. 1.1.).

Дана робота присвячена затискним пристроям для затиску гранних призматичних заготовок для обробки на металорізальних (свердлильно-фрезерних та багатоопераційних) верстатах, а також для слюсарних робіт.

ТО для обробки поділяється на пристосування для затиску деталей і інструментів, тобто останні є об'єктами затиску. Класифікацію лещат можна провести по наступним ознакам (рис. 1.2.): по конструкції; по виду механізму; по можливості обертання; за способом переналадки; за кількістю кінематичних ланцюгів та типу приводу.

В лещатах може проводитись обробка площин, циліндричних і конічних отворів осьовим інструментом і т. ін.

## 1.2 Процеси що відбуваються при обробці деталей в машинних лещатах

Процес обробки протікає у важких умовах при невисокій жорсткості технологічної системи верстата і пов'язаний із базування поверхонь [2, 4].

Розглянемо сили що діють на затиснену деталь у процесі обробки. Візьмемо, для прикладу, фрезерування площин як один із найбільше важких видів механічної обробки (рис. 1.3.) [43]. Сили, що діють на деталь, можна привести до головної складової сили різання  $P_z$  - колова сила (при фрезеруванні),  $P_h$  - горизонтальної,  $P_v$  - вертикальної,  $P_y$  - в радіальному напрямку і  $P_x$  - в осьовому напрямку.

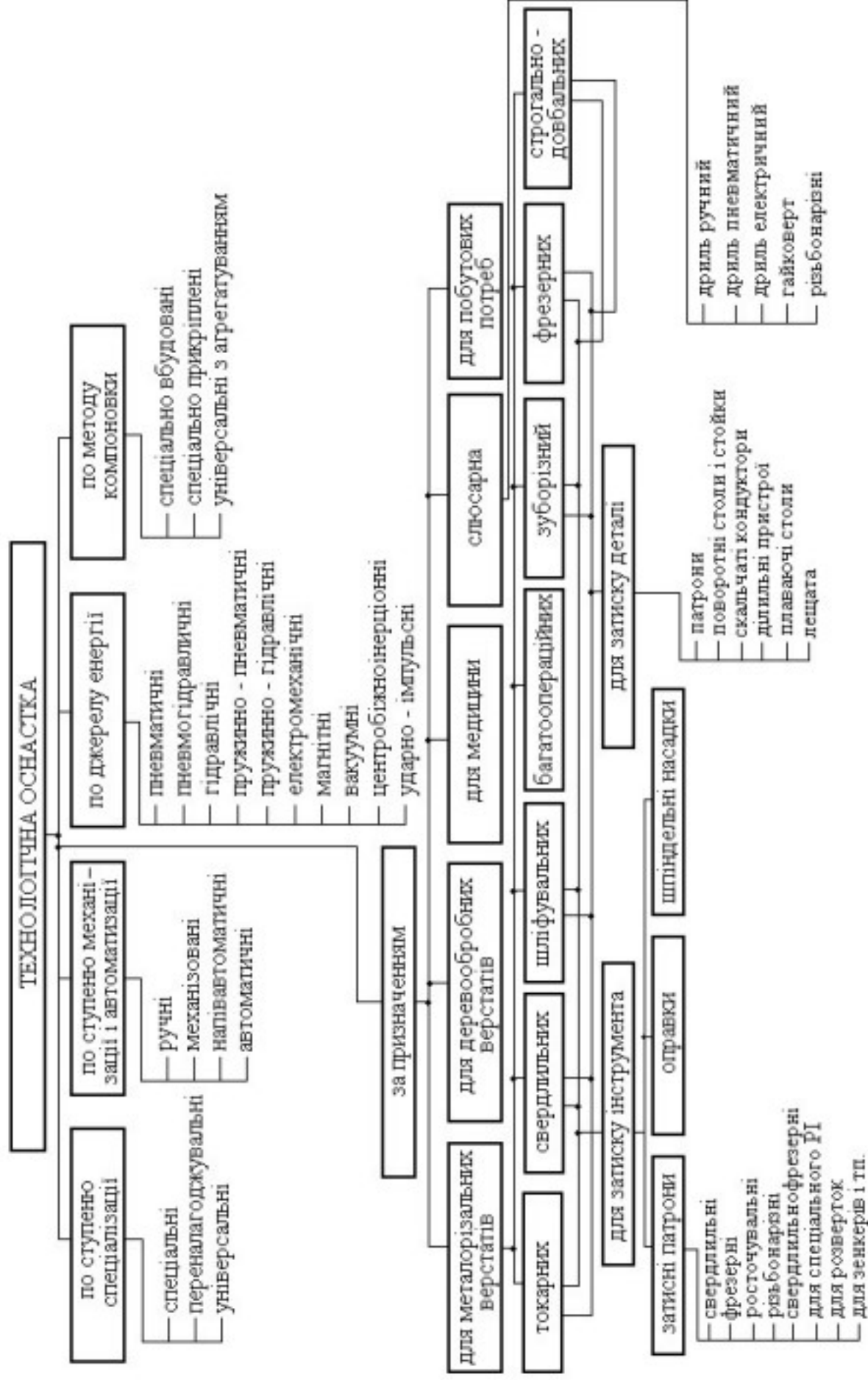


Рисунок 1.1 – Класифікація технологічного оснащення

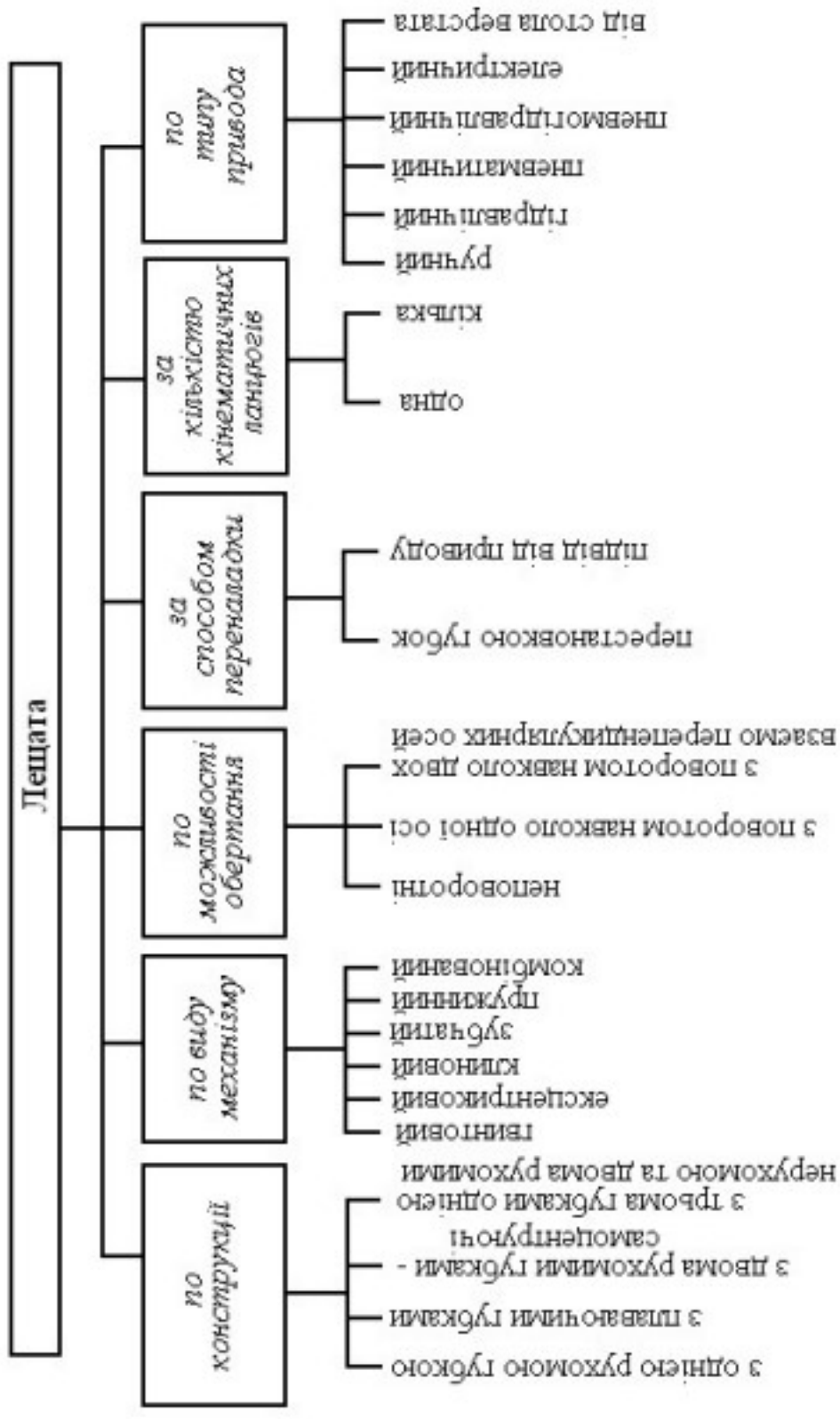


Рисунок 1.2 – Класифікація лещат

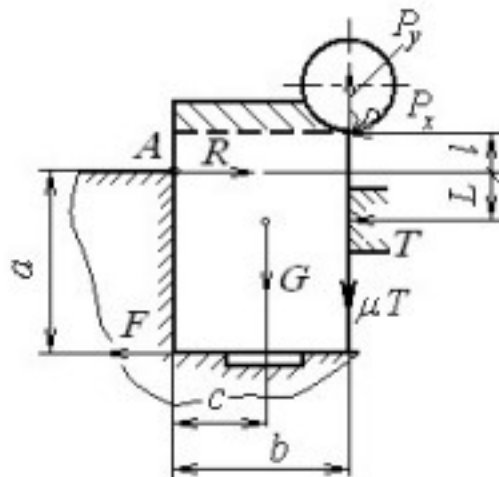


Рисунок 1.3 – Схема сил, які діють на затиснуту заготовку при фрезеруванні

Для випадку (рис. 1.3.), коли горизонтальна осьова складова  $P_x$  сили різання спрямована перпендикулярно базовим площинам, до котрих притискається заготовка, а складова  $P_y$  - паралельно цим площинам, необхідна сила затиску  $T$  (нормально до поверхні затиску) може бути визначена приблизно з умови непровороту заготовки відносно точки  $A$  [43].

З рівняння моментів відносно точки  $A$  усіх сил, що діють на оброблювану заготовку при умові що сила тертя

$$F = (G + T_\mu - P_y) \cdot f,$$

$$T = \frac{K_{zw} \cdot [P_y \cdot (b + a \cdot f) + P_x \cdot l - G \cdot (c + a \cdot f)]}{a \cdot \mu \cdot f + b \cdot \mu + L} \quad (1.1)$$

де  $l, b, c, L$  – плечі прикладання сил  $P_x, P_y, G, T$  відповідно;  $G$  – сила тяжіння (вага) заготовки;  $\mu$  - коефіцієнт тертя (зчеплення) заготовки з затискним елементом (губкою);  $f$  - коефіцієнт тертя заготовки з базовою поверхнею.

Таким чином, для лещат основні вимоги ставляться до силових характеристик затиску, жорсткості і точності [7].

До силових характеристик лещат відноситься сила затиску  $T$ ,  $H$ .

Сила зчеплення (тертя) заготовки з затискними поверхнями дорівнює [38]:

$$P_{TP} = T \cdot \mu$$

Виходячи з вищевикладеного сила затиску на губках лещат  $T$  буде визначатися з умов:

1.  $P_{TP} > P_1$ , тобто сила тертя на губці, що утримує деталь від зсуву або виривання повинна бути більша від відповідної сили, що діє від інструмента на деталь у процесі обробки.

2.  $P_{TP} \cdot r > M$ , де  $r$  – радіус центра обертання. Сила тертя на губці, що утримує деталь від обертання, прикладена на відстані  $r$  від центра обертання, повинна бути більшою від прикладеного моменту сил різання від інструмента на деталь у процесі обробки.

До характеристик жорсткості варто віднести:

$j_r$  - лінійна жорсткість – характеризує зсув  $x_i$ , базових поверхонь деталі паралельно самим собі (осям просторової системи координат) у процесі обробки під впливом сил різання;

$j_a$  - кутова жорсткість – характеризує зсув базових поверхонь деталі на деякий кут  $y_i$  щодо початкового свого положення (або положення щодо осей просторової системи координат) у процесі обробки під впливом сил різання.

Жорсткість визначається по розмірах пружних відтискань:

$$j_r = \frac{P_i}{x_i}, \quad H / \text{мм}; \quad j_a = \frac{M_i}{y_i}, \quad \text{Нм} / \text{рад}.$$

## 1.2. Патентно-інформаційні дослідження машинних лещат

З метою визначення стану на час виконання магістерської роботи автором згідно завдання № 1 (додаток А) був проведений патентний пошук згідно регламенту № 2 довідки про пошук № 3 (додаток А).

Джерелами інформації для патентних досліджень можуть бути [8]:

- I. Описи винаходів різних країн (авторські свідоцтва і патенти).
- II. Офіційні бюлетені.
- III. Видання ВНІП.
- IV. Фірмові журнали.
- V. Рекламні матеріали.
- VI. Видання закордонних інформаційних фірм.
- VII. Іноземні видання (книги, журнали і т.д.).
- VIII. Реферативні журнали і ін.

В нашому випадку:

- розділ В – різні технологічні процеси;
- підклас В23Q – деталі, вузли і допоміжні пристрої для металорізальних верстатів;
- група В23Q3/00 – пристрої для кріплення або установки в робоче положення оброблюваних виробів або ріжучих інструментів, що знімаються;
- підгрупа В23Q3/08 – з немеханічним приводом.

Тоді код пошуку лещат за МПК В23Q3/08.

Також для пошуку підходять : В23Q3/02, В23Q3/04, В23Q3/06, В25В1/18.

### 1.3. Аналіз відомих лещат, схем і конструкцій затискних пристроїв з двома кінематичними ланцюгами

В загальному випадку лещата містять корпус (основу) - базовий елемент на якому монтуються всі інші їх елементи. Корпус звичайно оснащують базовими поверхнями та кріпленням за допомогою яких його орієнтують та закріплюють на столі верстата чи верстаку.

Для безпосереднього закріплення та базування оброблюваної заготовки відносно корпуса останній оснащують затискними елементами (губками) які можуть бути в вигляді: однієї рухомої та однієї нерухомої взаємно-паралельних призматичних пластин з насіченням та без нього; двох рухомих зустрічно-рухомих пластин (самоцентруючі); двох рухомих "плаваючих" пластин; двох взаємно-перпендикулярних призматичних пластин; трьох, двох рухомих та однієї нерухомої призматичних пластин з насіченням та без нього.

Для створення необхідного зусилля затиску лещата оснащують приводом який може бути: ручним, електромеханічним, гідравлічним, пневматичним, пневмогідравлічним, комбінованим, від зовнішнього джерела вбудованого в стіл верстата. Пряме з'єднання затискних елементів (губок) з приводом застосовується рідко тому лещата оснащують передавально-підсилюючими ланками виконаними в вигляді: важелів, гвинтових механізмів, ексцентриків, клиноплунжерних механізмів, зубчатих механізмів, черв'ячних механізмів та їх комбінацій.

Лещата звичайні (рис. 1.4). Лещата містять корпус 1 із плоскими направляючими 2, нерухому губку 3 із циліндричним отвором 4, рухливу губку 5 із площинами 6, силовий гвинт 7 із циліндричною частиною 8 і гайку 9 на різьбовій частині 10 силового гвинта 7. Силовий гвинт 7 жорстко закріплений циліндричною частиною 8 на рухливій губці 6. Гайка 9

установлена на різьбовій частині 10 силового гвинта 7. Для закріплення оброблюваної деталі обертають гайку 9, при цьому переміщається гвинт 7 із рухливою губкою 5 і відбувається затиснення деталі. Підвищення точності базування досягається за рахунок рознесення поверхонь контакту направляючих як по осі лещат, так і в площині розташування направляючих. Виконання однієї з направляючих плоскою, а іншої циліндричною дозволяє робити виготовлення плоскої направляючої 6 з меншими трудовитратами. Лещата [50]. У корпусі 1 (рис. 1.5) виконані циліндричні направляючі 2. На корпусі 1 закріплена нерухома губка 3. На направляючих 2 установлений повзун 4, на ньому закріплена рухлива губка 5, робоча поверхня 6 якої перпендикулярна до направляючої 2 і яка розташована в площині, яка рівновіддалена від торців 8, 9 повзуна 4 і вісі, що пересікає його у точці О. В процесі затиску заготовки 10 губка 5 повертається навколо точки О, пружно-деформує направляючі 2 і повзун 4. Точки робочої поверхні 6 переміщуються паралельно до направляючих 2, чим досягається необхідна точність установки.

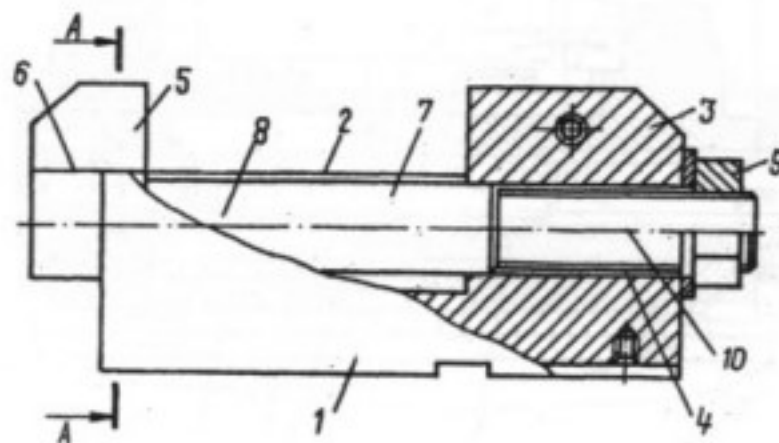


Рисунок 1.4 – Лещата звичайні



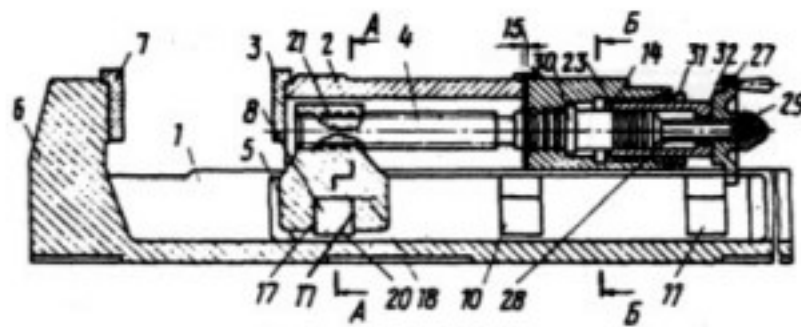


Рисунок 1.6 – Затискний пристрій

Прецизійні лещата. Лещата (рис. 1.7) містять корпус 1, установлені на ньому нерухому і рухому губки 2, 3, клинної елемент 5, що самовстановлюється на осі 4, повзун 6 із похилою поверхнею на передньому кінці, пружину 7, розміщену в циліндричній порожнині повзуна 6 і діючу на втулку 8, що має конічний отвір на протилежному кінці [48]. З губкою 3 жорстко зв'язаний штифт 9 із відповідною конічною поверхнею, відносно осі якого вісь втулки 8 зміщена на розмір  $a$  убік направляючих 10 корпуса 1. Пружина 1, взаємодіючи зі втулкою 8, забезпечує постійний контакт між її конічним отвором і конічною поверхнею штифта 9, підтискаючи задній кінець губки 3 до направляючих 10 корпуса. Пневмогідравлічні лещата. Лещата (рис. 1.8) мають установлені на корпусі 1 нерухому і рухливу губки 2,3, силовий привід у виді пневмоциліндра 4 із поршнем 5 і штоком 6 і гідравлічний механізм-підсилювач, що включає циліндр 7, поршень 8 із порожнім штоком 9 і плунжер 10 [47].

Порожнини 11 і 12 з'єднані. При затиску тиск подається в порожнину 14, завдяки чому поршень 5 із штоком 6 і з'єднаним із ним плунжером 10 переміщуються вправо, у порожнині 17 створюється підвищений тиск, завдяки чому поршень 8 механізму-підсилювача переміщується вліво і здійснюється затиск. При розкритті заготовки 15 тиск подається в порожнині 11 і 12, робоче середовище, діючи одночасно на поршні 5, 8, переміщає рухливу губку 3 праворуч.

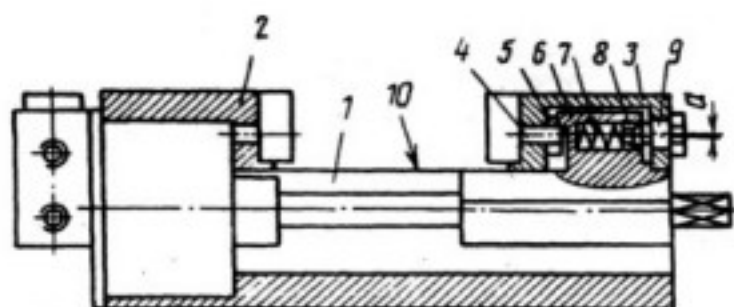


Рисунок 1.7 – Прецизійні лещата

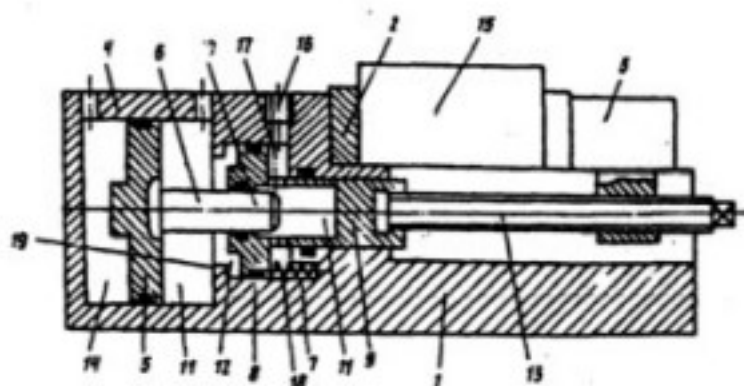


Рисунок 1.8 – Пневмогідролічні лещата

Лещата. Лещата з поліпшеними експлуатаційними характеристиками (рис. 1.9) шляхом гарантованого притискання оброблюваного виробу до базової поверхні і гарантованим незаклинюванням гвинтового механізму [45]. Лещата містять підставу 1, дві губки 2, 3, гвинтовий механізм 4, частина 5 гвинта 6 якого виконана пружною, і Г-подібний упор 7, закріплений на пружній частині 5 гвинта 6. Для затиску виробу губка 3 вручну переміщається до контакту з цим виробом. Далі обертається гайка 20, який через гвинт 6 Г-подібний упор 7 впливає на похилу поверхню 11 паза 9, виконаного в губці 3. Завдяки наявності пружної частини 5 гвинта 6 кінець 12 упора 7 переміщається по поверхні 11 до контакту з поверхнею 10. У процесі переміщення відбувається вибірка зазору між направляючими і губкою 3, а також між виробом і цією ж губкою 3. Наприкінці при взаємодії кінця 12 із поверхнею 10 відбувається остаточний затиск виробу.

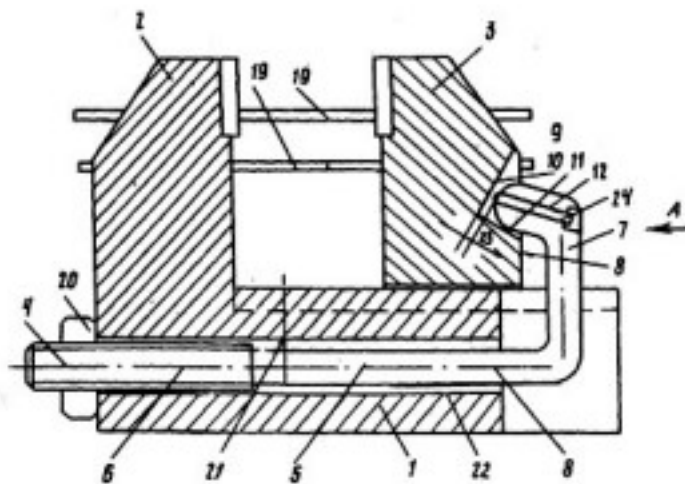


Рисунок 1.9 – Лещата з поліпшеними експлуатаційними характеристиками.

Плаваючі лещата [46]. Плаваючі лещата містять корпус 1 із направляючими, повзуни 2 із встановленими в них губками 3, пружину 4 між повзунами, тягу 5 силового приводу з гайкою, що зв'язує повзуни 2, плунжер 8, встановлений в отворі 7 одного з повзунів, і пружину 11 із регулювальними гайками 12, що забезпечують необхідний розмір затиску. Фіксація повзунів 2 щодо корпусу 1 здійснюється при впливі клинової поверхні 10 тяги 5 на клинову поверхню 9 плунжера 8 (рис. 1.10).

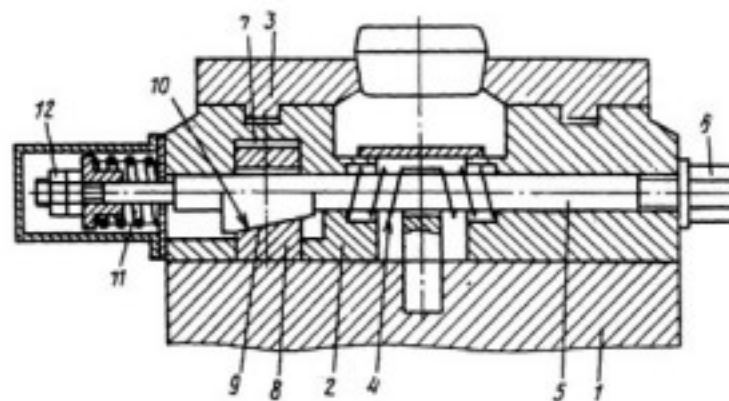


Рисунок 1.10 – Плаваючі лещата

Лещата з ручним затиском досить прості і дуже поширені. Застосовуються для фрезерних, стругальних і свердлильних робіт, У сталевому або чавунному корпусі по направляючим, притиснута до них планками, переміщається рухлива губка. До губки прикріплена гайка, через

яку проходить гвинт. На нерухомій губці розташований шпонковий паз, у якому встановлена шпонка, призначена для фіксації спеціальних змінних накладних губок. У губку вбудований сегментний паз, у якому може бути встановлена самовстановлювальна губка для закріплення деталей із непаралельними поверхнями. До обох губок прикріплені гвинтами загартовані рифлені накладки. Лещата встановлені на градуйованій підставці, центруються на ній пальцем і закріплюються болтами.

Заставні лещата з гвинтовим затиском, застосовуються для обробки великогабаритних деталей. Ліва, частина лещат являє собою відлитий корпус, до якого гвинтами прикріплена загартована накладка. Права частина складається з відлитого корпусу, по направляючим який переміщається губка з прикріпленою до неї загартованою накладкою. Затиск деталі здійснюється гвинтом із гайкою, закріпленою в корпусі [46].

## 2. МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИННИХ ЛЕЩАТ

### 2.1. Дослідження сили затиску машинних лещат

#### 2.1.1. Експериментальний стенд

За основу розроблених лещат взято конструкцію Барановіцького заводу верстатних пристосувань «Лещата машинні гвинтові» (тип МТВ-140) УП616-2.

Корпус лещат установлюємо на стіл верстата фрезерного. Корпус має на нижній поверхні шпонковий паз, що дає можливість його установки на робочу поверхню верстата.

Як одне ціле з корпусом виконані направляючі, по яким переміщається рухома губка. Тяговий гвинт закріплений в нерухомій губці через упорний підшипник і пакет тарілчастих пружин таким чином, що отримує тільки обертальний рух.

Рухома губка через гайку взаємодіє з гвинтом і отримує поступальний рух при його обертанні. Другий кінець гвинта виходить за рухома губку і має чотириохітаний переріз для встановлення приводної рукоятки.

На рис. 2.1 зображено експериментальний стенд для проведення заміру силових характеристик.

За допомогою динамометричного ключа відбувається навантаження лещат. Індикатор, встановлений на ключі, при навантаженні покаже відхилення, яке відповідає значенню прикладеної сили.

Момент на ключі:

$$M_p = M_{кр} + M_{тр} \quad (2.1)$$

де  $M_{кр}$  - момент в різі від колової сили  $F_t$ ;

$$M_{кр} = \frac{Ft d_2}{2} \quad (2.2)$$

$M_{тр}$  – момент сил тертя на опорному кінці гвинта;

$$M_{тр} = P_p \cdot f \cdot (D_1 + d_0) / 4 \quad (2.3)$$

$P_p$  - сила затиску, що визначається індикатором;

$f$  - коефіцієнт тертя, для сталевих і чавунних поверхонь  $f = 0,12 \dots 0,20$

$D_1$  - зовнішній діаметр різьби;

$d_0$  - внутрішній діаметр різьби;

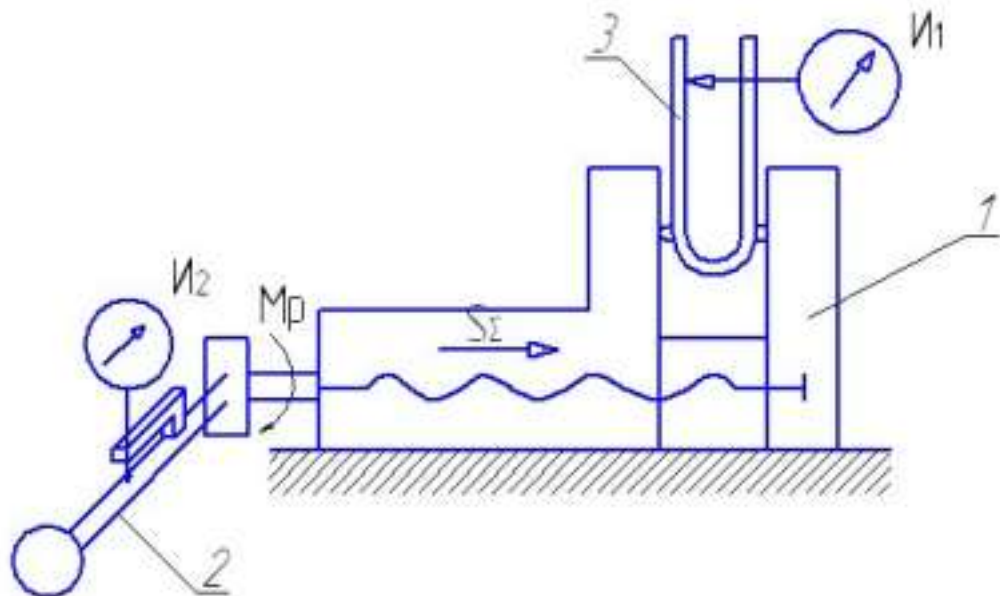


Рисунок 2.1 – Схема заміру силових характеристик: 1. лещата; 2. динамометричний ключ; 3. динамометр камертонного типу ДС-3000; 4. И1- індикатор з шкалою 0.01мм; 2. И2- індикатор з шкалою 0.01мм

$$Ft = S \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \varphi') \quad (2.4)$$

$$S = \frac{Ft}{\operatorname{tg}(\varphi + \varphi')} \quad (2.2)$$

де  $S_x$  - осьове навантаження;  $\varphi$  - кут підйому різьби;



### 2.1.3. Результати експериментальних досліджень сили затиску

При проведенні експерименту знімаємо показники індикаторів  $I_p$  (сила затиску губок),  $I_1$ - індикатор на динамометричному ключі. За допомогою тарировок переводимо показники індикаторів в необхідну нам розмірність, Н.

Зробимо розрахунок:

$$\begin{aligned} \text{Дано: } D_1 &= 18\text{мм} & f &= 0.2 \\ d_2 &= 16\text{мм} & P &= 4\text{мм} \\ d_0 &= 14\text{мм} \end{aligned}$$

Проведемо розрахунок для одного з показників індикатора:

$$M_{np} = \frac{0.8 \cdot 10^3 \cdot 0.2(32 \cdot 10^{-3})}{4} = 1.28\text{Нм}$$

$$M_p = 10 \cdot 0.5 = 5\text{Нм}$$

$$F_i = \frac{3.72 \cdot 2}{0.016} = 465\text{Н}$$

$$\varphi = \arctg \frac{4}{\pi \cdot 16} = 4.55^\circ$$

$$\varphi' = \arctg \frac{f}{\cos \beta} = \arctg \frac{0.2}{\cos 30} = 13^\circ$$

$$S = \frac{465}{\text{tg}(4.55 + 13)} = 1.47\text{кН}$$

Подальші розрахунки наведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2 Зведені результати розрахунків

$I_1$	13	27	37	21	62	74	82	98	110	121	134	140
$I_2$	1	1.2	2	2.2	3	3.2	4	4.2	2	6	6.2	7
$T_z, \text{кН}$	0.8	1.2	2	2.8	3.4	4	4.6	2.2	6	6.6	7.2	7.2
$M_p, \text{Нм}$	10	12	20	22	30	32	38	42	46	20	28	62
$S_z, \text{кН}$	1.47	2	2.67	3.17	3.78	4.39	4.6	2	2.3	2.7	6.9	8.1

(продовження таблиці 2.2)

160	172	184	196	210	226	236	246	260	274	289	298	312	322
8.2	9.2	10	10.2	11.2	12	14	12.2	17	18	19.2	20.2	21	22
8.8	9.4	10	10.7	11.4	12.1	13.2	14	14.8	12.8	16.1	16.9	17.4	18
80	90	100	110	120	140	122	172	190	200	210	220	238	220
10.3	11.8	13.2	14.9	16.2	20	22.3	22.8	28.2	29.2	31.3	32.8	36	38

Будуємо графіки («сумарна сила затиску - крутний момент»), («сумарна сила затиску - сумарне осьове навантаження»),  $T_{\Sigma}(M_p, S_{\Sigma})$  (рис. 2.2).

Коефіцієнт підсилення лещат:

$$K_T = \frac{T_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} \approx 0.2 \quad (2.7)$$

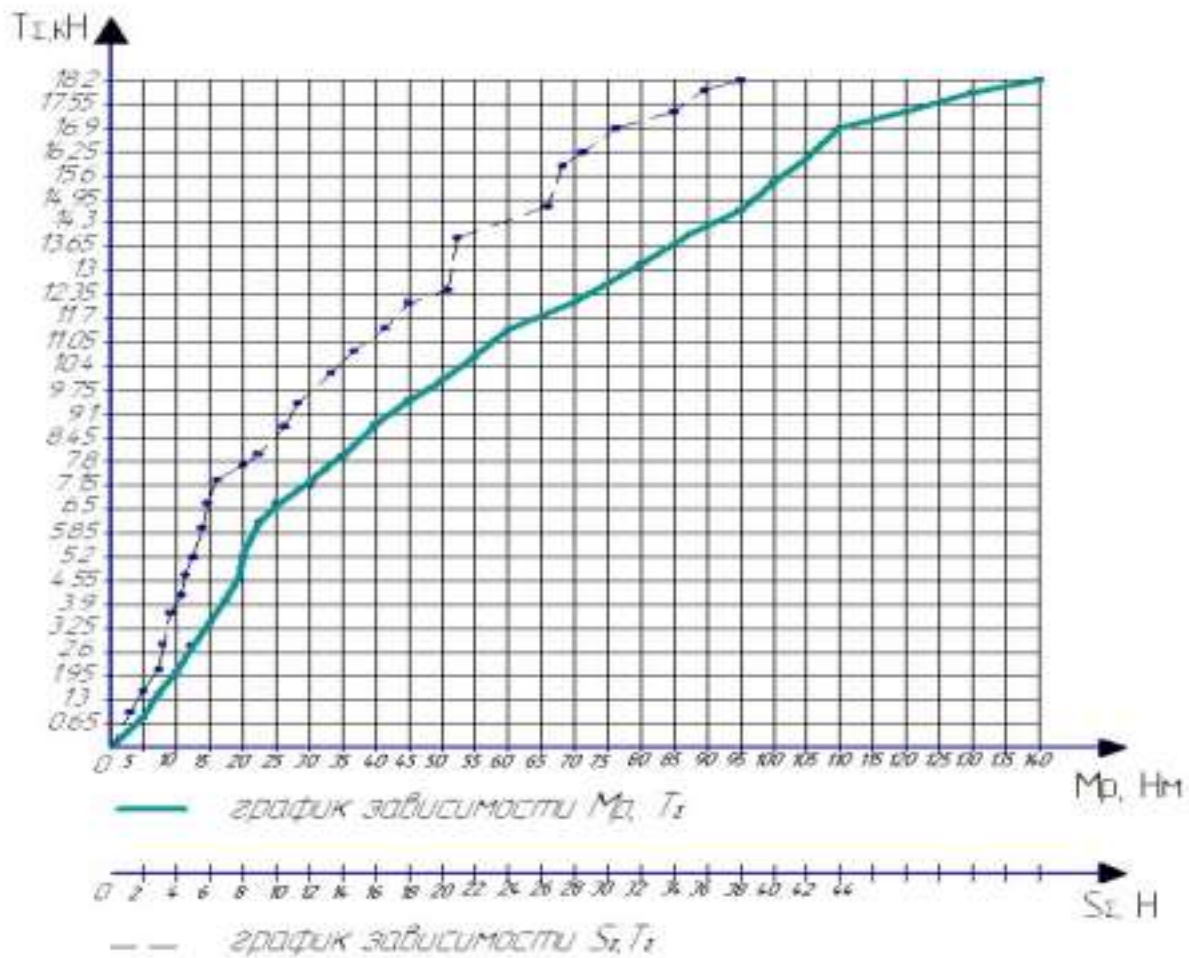


Рисунок 2.2 – результуючі графіки дослідження сили затиску

## 2.2. Дослідження характеристик жорсткості

### 2.2.1. Експериментальний стенд

Плоский стик є найпростішим. При високій жорсткості спряжених деталей і центральному навантаженні номінальний тиск по його площі розподіляється рівномірно. Тому плоскі стики найбільш зручно використовувати для отримання залежностей між контактними переміщеннями  $\delta$  і тиском  $\sigma$  при варіації різних параметрів стиків; мікро- і мікрогеометрії, матеріалу, наявності і виду змащення.

При фіксації заготовки результуюча сила затиску складається з:

$$T_{\Sigma} = T_1 + T_2 = 2T, \quad (2.8)$$

де  $T_1$ - сила затиску рухомої губки;

$T_2$ - сила затиску стаціонарною губкою.

Після проведення затискання контур силового потоку замикається і знаходиться в рівновазі, тому  $T_1 = T_2 = T$ .

Якщо зі сторони входу від приводу затиску через гвинтове з'єднання знаходяться в балансі пружних переміщень окрім контактних деформації стаціонарної губки із заготовкою та рухомою частиною є розтискання гвинта, контактні деформації пари гвинт-гайка та інші пружні елементи. В даному експерименті ми перевіряємо теорію.

На столі фрезерного верстат ми встановлюються лещата, навантажувальний пристрій. В лещатах необхідно затиснути деталь з розмірами  $120 \times 70 \times 36$ . Затиск виконується за допомогою динамометричного ключа, навантаження здійснюється з боку гвинта та з протилежної сторони, причому з боку гвинта навантаження виконуємо при допомозі шпинделя верстата (рис. 2.3).

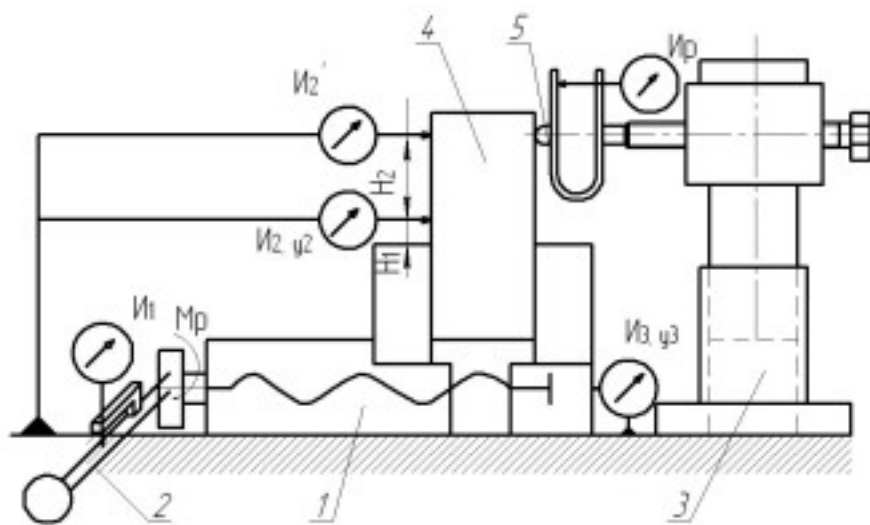


Рисунок 2.3 – Схема заміру податливості лещат при навантаженні на рухомому губку

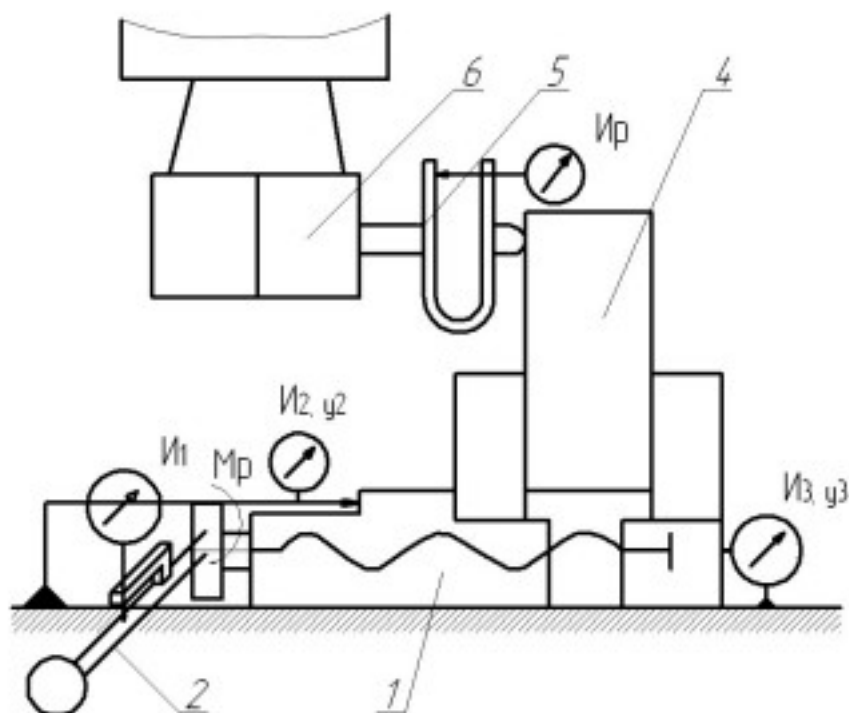


Рисунок 2.4 – Схема заміру податливості лещат при навантаженні на нерухому губку: 1- машинні лещата; 2- динамометричний ключ; 3- навантажувальний пристрій; 4- заготовка; 5- динамометр камертонного типу; 6- шпиндель фрезерного станка; I1- індикатор з шкалою 0.01мм; I2- індикатор з шкалою 0.01мм; I3- індикатор з шкалою 0.01мм; Iр- індикатор з шкалою 0.01мм

Індикатори установлені з боку рухомої і стаціонарної губок, а також встановлюємо індикатор для визначення сили навантаження на деталь з боку навантажувального пристрою.

Жорсткість визначається як:

$$J_p = \frac{P_i}{x_i}, \text{ Н/мм}, \quad (2.9)$$

де  $J_p$ - лінійна жорсткість деталі - характеризує зсув  $X_i$  базових поверхонь деталі паралельно самим собі (осям просторової системи координат) у процесі обробки під впливом сил різання.

### 2.2.2. Методика дослідження характеристик жорсткості

*Мета роботи* - визначення жорсткості підсистем «заготовка - рухома губка і нерухома губка» при різних схемах навантаження заготовки.

*Порядок виконання експерименту:*

1. Зібрати схему установки відповідно (рис. 2.3, та рис. 2.4) встановити і закріпити (з натягом 1-2 мм) навантажувальні пристрої.
2. Визначити відтиск губок зі сторони гвинта, через  $42^\circ$  і протилежну сторону при  $M_p=80\text{Н}, 160\text{Н}, 240\text{Н}$ , з навантаженням  $P=2, 4, 6, 8, 10$  Кн.
3. Записати показники індикаторів  $I_1, I_2, I_3$  при навантаженні і розвантаженні.
4. Зробити необхідні розрахунки і результати записати до таблиці 2.3.
2. Побудувати графіки ( $J_p (M_p, P)$ ).

2.2.3. Результати експериментальних досліджень жорсткості системи («заготовка-переміщувана губка та стаціонарна губка»)

*1. Навантаження на рухому губку (рис.2.2):*

$$M_p = 80\text{Нм};$$

$h = 30\text{мм};$

$\delta_1$  – стаціонарна губка;

$\delta_2$  – переміщувана губка.

$H$  – навантаження,

$P$  – розвантаження.

Результати замірів приведені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3. Результати замірів дослідження жорсткості рухомої губки

$P, \text{кН}$		0	2	4	6	8	10
$\delta_1$	$H$	0	0	0	0.2	0.2	0.6
	$P$	0.1	0.2	0.2	0.4	0.6	0.6
	$H$	0.7	1	2.2	2.8	4	2
	$P$	1.2	2.2	2.9	3.6	4.2	4.8
$\delta_2$	$H$	2.2	6	10	12	17	18
	$P$	4	6.2	8	9	14	16
	$H$	0	1	4	11	12	19
	$P$	2	4	6	7	13	17
$\delta_2$	$H$	3	6	14	20	31	38
	$P$	8	13	18	21	29	32
	$H$	11	17	26	39	21	64
	$P$	14	23	32	44	22	62
$\delta_1$	Середнє знач.	1.06	2.33	4.16	2	7.16	11.6
		1.86	3.06	3.7	4.3	6.36	7.13
$\delta_2$	Середнє знач.	4.6	8	14.6	23.3	32.3	40.3
		8	13.3	19.6	72	32.3	38

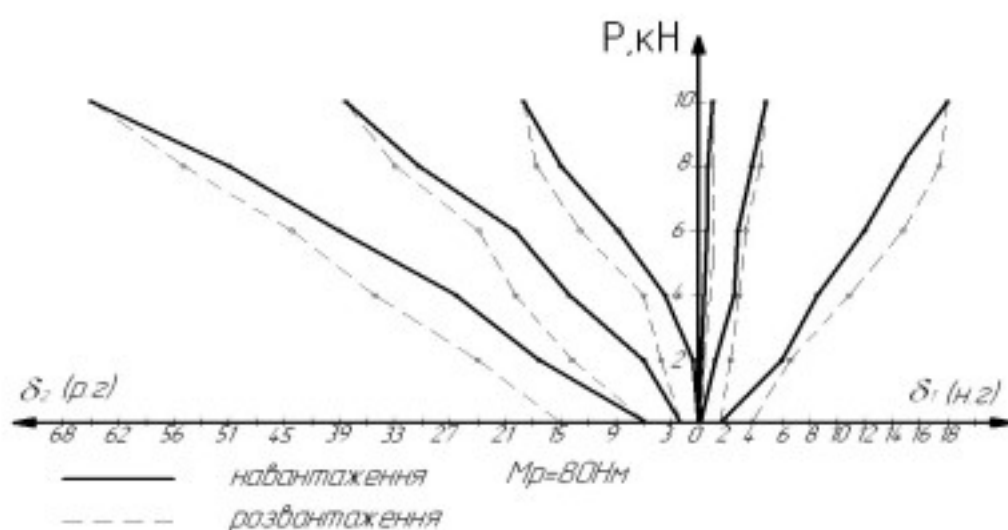


Рисунок 2.5 – Графік навантаження на рухому губку

2. Навантаження на нерухому губку (рис.2.6)

$M_p=80\text{Нм}$ ;

$h=30\text{мм}$ ;

$\delta_1$  – стаціонарна губка;

$\delta_2$  – переміщувана губка.

$H$ -навантаження,  $P$ -розвантаження.

Результати замірів приведені в табл.2.4

Таблиця 2.4. Результати замірів дослідження жорсткості нерухомої губки

P,кН		0	2	4	6	8	10
$\delta_1$	H	0	0.1	4	9	16	21
	P	1	3	7	8.2	14	18
	H	3	2	8	16	23	32
	P	4	7	11	19	24	27
	H	6	12	21	27	32	39
	P	9	14	23	29	36	37
$\delta_2$	H	0	1.2	2	12	23	47
	P	2	9	14	16	29	38
	H	6	12	26	34	47	63
	P	9	17	29	38	24	29
	H	11	22	39	23	72	87
	P	19	33	48	61	76	82
$\delta_1$	Середнє знач.	3	2.7	11	17.3	24.6	30.6
		4.6	8	14	18.8	24.6	27.3
$\delta_2$		2.6	13.8	23.3	33	47.3	62.6
		11	19.6	30.3	38	23	29.6

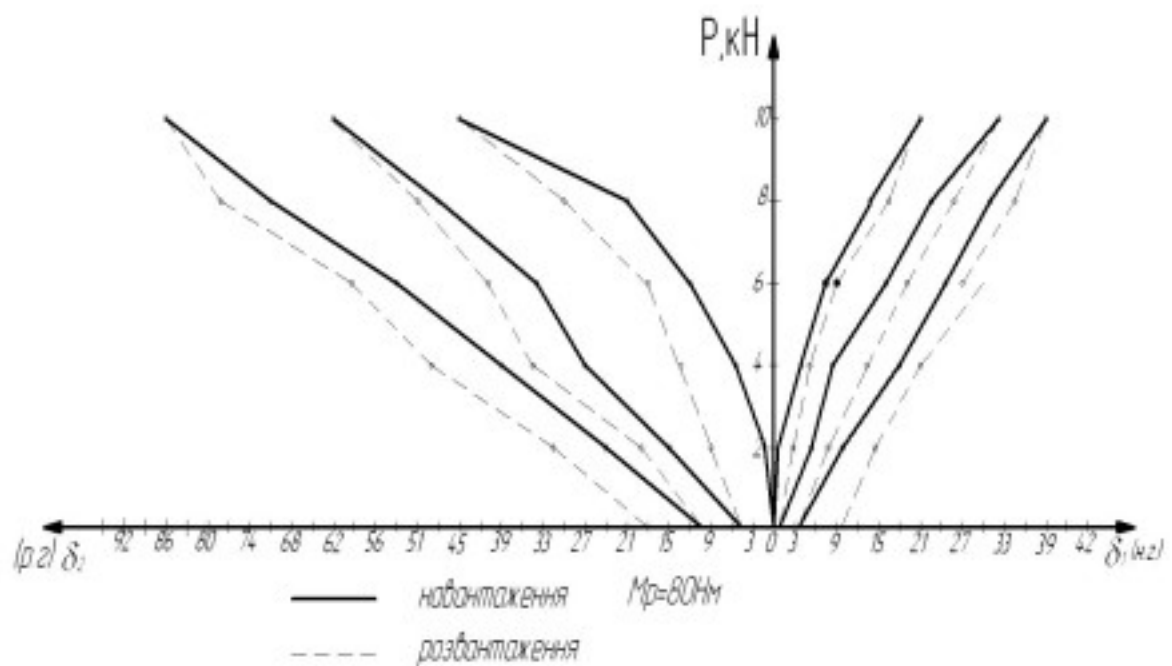


Рисунок 2.6 – Графік навантаження на нерухому губку

Результати замірів відтискань підтвердили відмінність жорсткостей у системі “лещата-деталь” під час навантаження на рухому (відтискання  $\delta_1$ ) і стаціонарну (відтискання  $\delta_2$ ) губки. Чим більшою є зусилля затискання  $T_\Sigma$  (або обертальний момент  $M_p$ ), тим вище жорсткість системи.

### 3. ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ЗАТИСКНИХ ПРИСТРОЇВ З ДВОМА КІНЕМАТИЧНИМИ ЛАНЦЮГАМИ

3.1. Нові підходи до створення пристроїв затиску для заготовок призматичної форми

Для створення нової технологічної оснастки велике значення представляє не тільки оригінальність конструкцій, але також важливу роль грають методики розрахунку характеристик цієї оснастки як у статиці так і в динаміці, оскільки саме силові, жорсткісні і динамічні характеристики технологічної оснастки забезпечують надійність затиску впливають на результати механічної обробки, тобто якісні показники оброблених поверхонь.

У класичній теорії механізмів і машин розрізняють структурний, кінематичний та динамічний синтез [27]. Сучасна наука додала ще і такі види синтезів як геометричний, топологічний, графічний, структурно – схемний, векторний, параметричний, оптимальний та ін.

Кожний із цих синтезів вирішує свої конкретні специфічні задачі, але усі вони повинні з елементів об'єкта створити новий об'єкт.

Так результатом структурно-схемного синтезу є структурна схема майбутнього об'єкта. В залежності від технічного об'єкта виділяють різні принципи побудови структурних схем: накопичення структурних груп; інверсія; неузгодженість векторів швидкості головних і відомого елементів; агрегатно-модульний принцип; метод повного кутового розчленовування; введення рухомих і пружних зв'язків; метод самоорганізації й ін. [25].

Існують евристичні методи, що допомагають вирішувати творчі задачі без попередньої оцінки результатів наприклад, морфологічний аналіз, «мозковий штурм», метод елементарних питань, аналогій, синтетики й ін. [25].

Оснастка того ж самого призначення може бути спроектована навіть при однакових параметрах точності на базі різних конструктивно-технологічних рішень [33, 3]. Кожне рішення приводить до створення пристосувань різних по складності й ефективності в експлуатації, а також по вартості його реалізації.

В практиці конструювання оснастки існує ряд методів, що дозволяє знизити витрати на проектування і виготовлення (наприклад, стандартизація й уніфікація). Однак обґрунтований вибір конструкції верстатного пристосування, оптимальної для існуючих умов виробництва й експлуатації, повинний здійснюватися з обліком усього різноманіття чинників, що впливають на створювану конструкцію [16, 19]. Чинники, обумовлені виробничими особливостями, у яких буде експлуатуватися оснастка, підрозділяються на наступні [36, 37]: конструктивні, що залежать від розмірів, конфігурації і точності оброблюваних деталей; технологічні, що включають метод обробки заготовки, характерів переміщень (рухів), вид верстата, характеристику інструмента, режим обробки; організаційні, зв'язані з особливостями організації процесу, типом виробництва, можливостями забезпечення гнучкості; експлуатаційні, обумовлені в першу чергу збереженням необхідної точності в процесі роботи, ремонтпридатністю і транспортабельністю пристосування.

Ієрархічний опис ЗП, як об'єкта, з підвищенням складності має наступну послідовність лещат як технічної системи включає основні їх характеристики (технологічні по призначенню, розмірні, кінематичні, силові або енергетичні).

Морфологічний опис лещат включає: джерело енергії, двигун, передавально-перетворюючі та виконавчі елементи, систему керування (при автоматизованому принципі роботи) деталь – лещата – верстат, режимів обробки деталей тощо. Прикладом функціонально – морфологічного опису

служать рівняння кінематичних ланцюгів або передаточні відношення між ними.

Можливий і інший підхід до ієрархії опису лещат як технологічної системи у вигляді пристрою. Загальна ієрархічна структура опису ЗП, як технічної системи наведена на рис 3.1, де ТФ – технічна функція; ФС – функціональна структура; ПФД – принцип фізичної дії (принцип або спосіб затиску); ТР – технічне рішення [25].

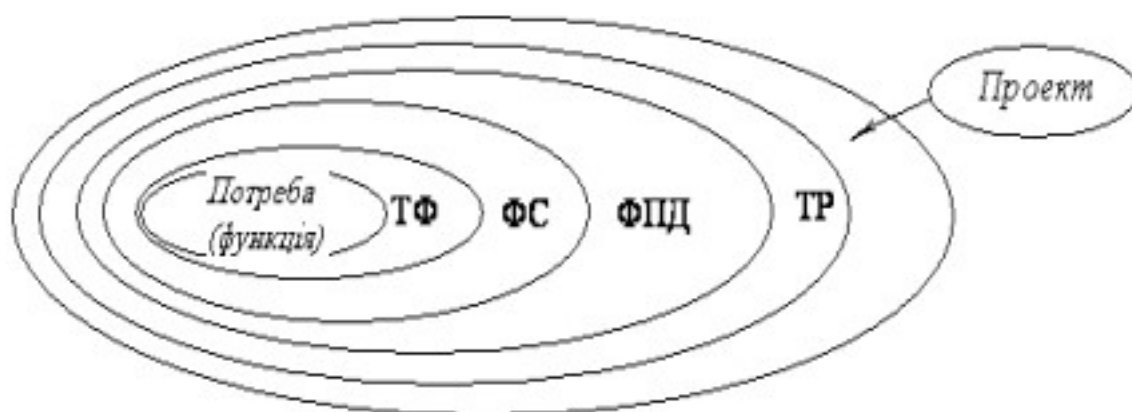


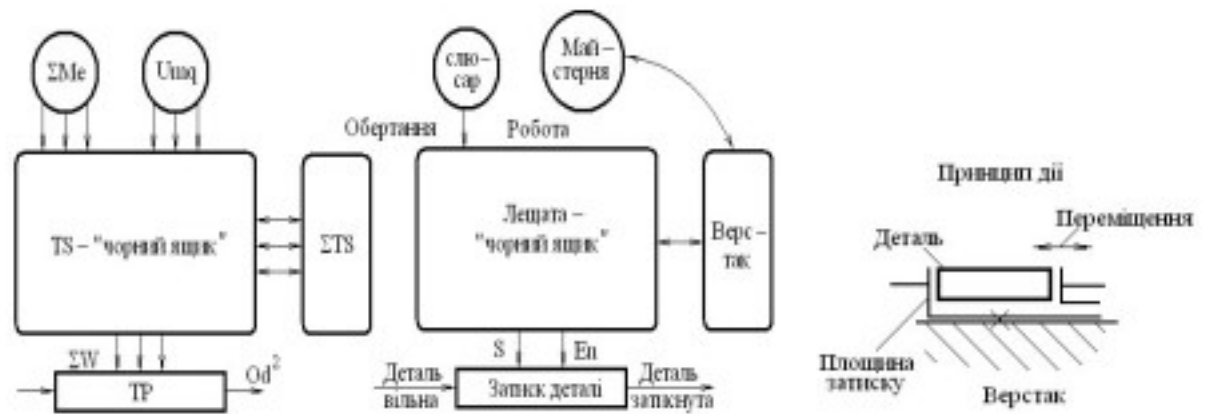
Рисунок 3.1 – Загальна ієрархічна структура опису об'єктів техніки

При створенні ЗП треба виявити наступні ключові характеристики призначення, принцип дії та структура.

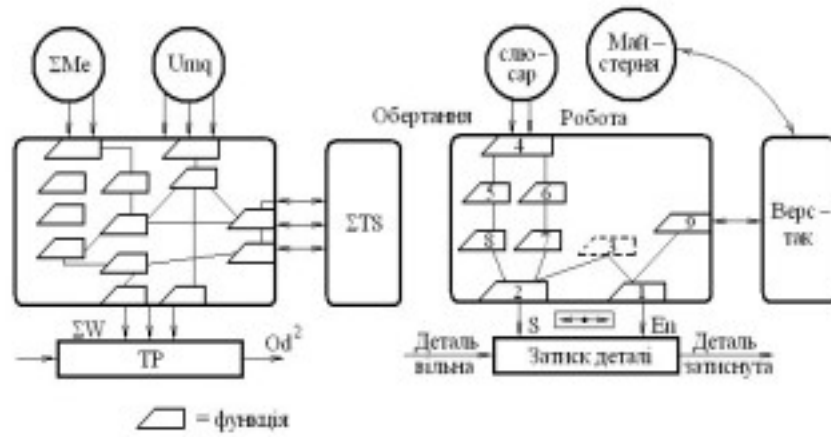
Призначення ЗП є виконання певного впливу в роботі технологічного обладнання (верстата).

Розглянемо детальніше структуру ЗП на різних рівнях абстрагування на прикладі слюсарних лещат (рис. 3.2) [41].

На початковому рівні абстрагування слюсарні лещата представляються у вигляді технічної системи, що представляє собою «чорний ящик» (рис. 3.2, а).

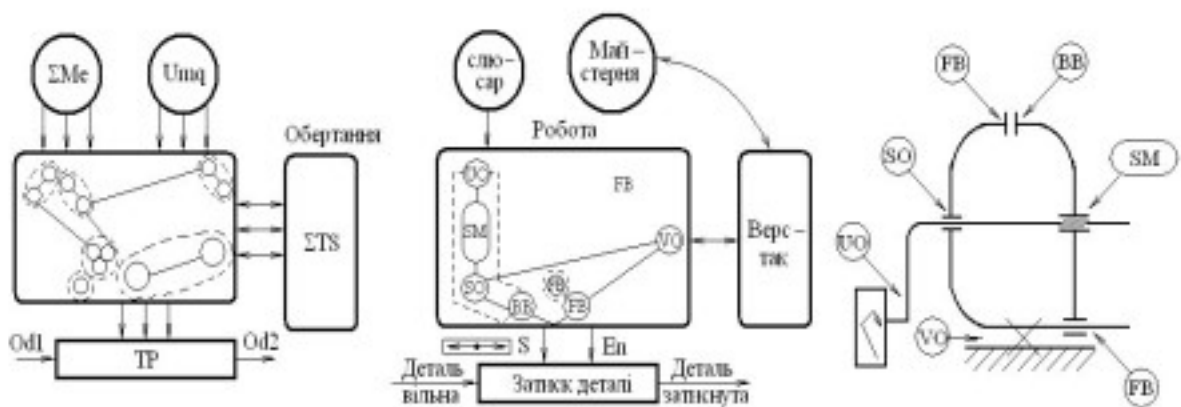


а)



б) *Абстрактна структура*

*Конкретна структура*



в) *Абстрактна схема*

○ — орган  
 ○ — підструктура

*Конкретна схема*

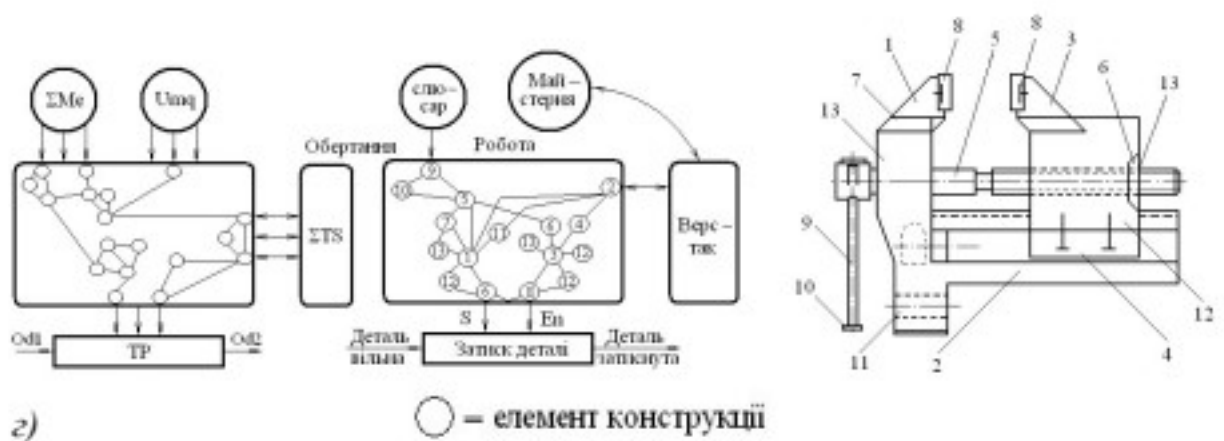


Рисунок 3.2 – Моделі лещат на різних рівнях абстрагування

Відношення між функціями в слюсарних лещатах можуть бути представлені у формі текстового опису як: обертальний момент передається до входної ручки (функція 4, табл. 3.1), лещатами (функція 2), в лещатах.

Таблиця 3.1. - Функціональний опис слюсарних лещат

№ п/п рис. 2.2 б	Залежність	Виконавча ланка (на мал. 2.2 б)
1	Забезпечити упор як нерухому поверхню	FB
2	Забезпечити упор як рухому поверхню	BB
3	Привести переміщувану затискну поверхню до стаціонарної (взаємодія функцій 1 і 2)	BB ↔ FB
4	Внести заготовку	UO
5	Трансформувати обертовий рух гвинта у поступовий рух функціональних поверхонь	SM
6	Створити силу	SM
7	Фіксувати деталь	SO
8	Закріпити приводну ручку лещат	SM
9	Перевірити надійність затиску	VO

Органоструктура – це абстрактна модель ЗП, яка складається з технічних засобів (виконавчі ланки) та зв'язків які втілюють способи дії певного виду (рис. 3.2 в).

Розглянуто морфологічну матрицю створення кінематичних з'єднань ЗП (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2. - Морфологічна таблиця кінематичних з'єднань ЗП виду лещат

1. Джерело енергії	2. Кількість входів	3. Кількість ланцюгів	4. Тип (вид) з'єднання	5. Місце складання рухів	
1.1 Людина	2.1. Один	3.1. Один	4.1. Послідовно	5.1. На вході	
1.2. Електричний струм	2.2 Два	3.2 Два	4.2. Паралельно	5.2. На виході	
	2.3. Більше двох (кілька)	3.3. Більше двох (кілька)	4.3. Паралельно	5.3. На вході і виході	
				- послідовно	
					5.4. Немає

У цифровому виді табл. 3.2 може бути сформована як морфологічна матриця структур ЗП:

$$M_{стр} = \begin{pmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 \\ & 2.3 & 3.3 & 4.3 & 5.3 \\ & & & & 5.4 \end{pmatrix}, \quad (3.1)$$

Сумарне число варіантів структур ЗП (можливих і неможливих) складає:

$$N_{стр} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (3.2)$$

де  $K_i$  - кількість різних варіантів  $i$  - ознаки;  $n$  - кількість характеристик, що описують ЗП, як технічну систему. Згідно формули (3.2)

$$N_{стр} = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4 = 216$$

Морфологічні таблиці (табл. 3.2) дозволяє синтезувати певну множину структур і схем ЗП. Для цього необхідно взяти по одній альтернативі з кожної колонки (або стовпчика матриці (3.1)) і отримати сполучення. Всі варіанти отриманих сполучень треба критично аналізувати з метою вибору кращого (або кількох кращих) по заданому критерію (кількісному або якісному).

3.2. Функціонально-вартісний аналіз при конструюванні затискних пристроїв

Якщо на етапі структурно - схемного синтезу ЗП по якісним критеріям вибираються кілька кращих варіантів, то на етапі конструювання треба вибрати щонайменше один або два варіанти.

В цьому випадку прогресивним методом комплексної оцінки конструкції як із технічної, так і з економічної точок зору є аналіз функціональний-вартісний (ФВА) [32]. Він дозволяє знайти варіант, що забезпечує оптимальне сполучення техніко – економічних параметрів об'єкта.

Такий вид аналізу здійснюється з метою одержання високих кінцевих народногосподарських результатів, прискорення реалізації науково – технічних досягнень, раціонального використання ресурсів, посилення режиму економії й усунення втрат у народному господарстві.

ФВА являє собою інженерну програму зниження витрат на виготовлення й експлуатацію об'єкта, наприклад оснастки. Принципи ФВА поширюються як на сферу розробок і основного виробництва виробів, так і на сфери, що забезпечують (допоміжні) виробництва, у тому числі на проектування і виготовлення верстатних пристосувань, що входять у систему станок – пристрій – інструменти [30].

На відміну від традиційних методів зниження собівартості оснастки,

орієнтованих в основному на окремі елементи, ФВА націлений на облік функціонування об'єкта в цілому при визначенні його оптимальної вартості і якості. Досвід використання цього методу за кордоном показує, що ефект, одержуваний від застосування ФВА, приблизно в 10 разів (а іноді й у 30 разів) перевищує витрати, зв'язані з його проведенням, при цьому може бути забезпечене значне зниження собівартості.

Аналізу за допомогою ФВА піддають універсальну і уніфіковану оснастку, а також ті складні конструкції пристосувань, що представляють системи з приводами різних типів для умов масового виробництва, елементи яких можуть повторюватися.

Задача ФВА – виявити причини зайвих витрат і ліквідувати їх, можливості, шляхом пошуку кращих варіантів, а також запобігти прийняттю неефективних технічних рішень. Для цього об'єкт проектування розглядається не у своїй конкретній формі, а як сукупність функцій. Кожна з них оцінюється з точки зору можливих принципів та методів виконання шляхом застосування набору спеціальних прийомів. Оцінювання варіантів створення технічного об'єкта робиться за критерієм інтегральної якості виходячи зі ступеня і якості виконання функцій, а також витрат, зв'язаних з їх реалізацією.

Для верстатних пристосувань найбільше ефективно використовувати ФВА для забезпечення техніко-економічного оптимуму при проектуванні складної оснастки і її масового використання, уніфікації пристосувань і розробки оптимального комплексу оснастки (із мінімальною вартістю при отриманні заданих вимог до якості), визначення найбільше доцільних сфер застосування спроектованої оснастки. При проведенні ФВА розрізняють три форми аналізу при розробці ЗП: творчу, коригувальну та інверсну.

Перша форма ФВА (творча) призначена для пошуку ідей і варіантів рішень, що забезпечують ліквідацію шкідливих і марних функцій (суміщення корисних) і здешевлення об'єкта.

Друга форма ФВА (коригувальна) призначена для відпрацювання раніше створених конструкцій у тому числі на технологічність. метою дій, які виконуються відповідно до цієї методики – привабити зацікавленість технологів та конструкторів до таких функціональних частин об'єкта, у яких є диспропорції між значимістю виконуваних функцій і витратами на їх здійснення. Необхідно забезпечити ефективний пошук варіантів, що підвищують (що зберігають) ступінь корисності об'єкта при зменшенні витрат на його виробництво й експлуатацію.

Третя форма ФВА – інверсна застосовується для систематизації процесу пошуку сфер застосування вже спроектованих об'єктів і забезпечує вибір найбільше ефективною (із технічних і економічних позицій) виробничої системи, у якій передбачається використання об'єкта.

Вартісний аналіз дає можливість оптимізації пристосування, зробити її функціонально більш доцільною. Використання ФВА при проектуванні оснастки забезпечує комплексне рішення технічних і економічних питань та дозволяє підвищити ефективність виробництва.

### 3.3. Структурно-схемний синтез лещат методом морфологічного аналізу

Лещата можна представити у вигляді технічної системи (ТС), до загальної структури якої входять пружні, допоміжні елементи, затискні елементи і передаточно-підсилювальні ланки. Всі вищевказані структурні елементи зв'язані між собою за допомогою кінематичних фрикційних, пружних і інших зв'язків.

Порядок передачі затискних зусиль від одного елемента до іншого може бути різним, що значно впливає на конструкцію лещат, методику розрахунку його характеристик і коефіцієнти підсилення затискного механізму лещат. Зусилля різання варіюють сили фіксації призматичної деталі в залежності від співвідношення жорсткостей рухомої і нерухомої губок. Все вищевказане викликає необхідність розгляду структурних схем лещат.

Процес затиску деталі в лещатах проходить у два етапи:

1. Вибірка зазорів (попередній затиск).
2. Остаточний затиск.

Ці два етапи можуть бути сполучені (для випадків, коли затискний момент, що крутить, один, тобто технічна система патрона одноходова) і роздільні (коли технічна система двоходова).

Для синтезу схем машинних лещат обрані наступні основні ознаки: 1. Привід; 2. Передавальна підсилювальна ланка; 3. Стационарна губка; 4. Вид з'єднання стационарної губки з корпусом. Для кожної ознаки запропоновані альтернативи в морфологічній таблиці (табл.3.3).

Таблиця. 3.3. - Морфологічна матриця схем машинних лещат

1.Привід лещат	2. Передавально-підсилююча ланка	3.Нерухома губка	4.Вид зв'язку нерухомої губки з корпусом
1.1. Ручний	2.1. Гвинтова	3.1. Суцільна	4.1. Жорсткий
1.2. Електромеханічний	2.2. Важільна	жорстка	4.2. З тарічастими пружинами
1.3. Гідралічний	2.3. Ексцентрикова	3.2. Цільна	4.3. З циліндричними пружинами
1.4. Пневматичний	2.4. Зубчаста	пружна	4.4. З розрізними пружинами
1.5. Гідромеханічний	2.5. Комбінована	3.3. Складена	4.5. З самовстановленням
		3.4. З сипучим середовищем	
		3.5. З рідинним середовищем	

По табл. 3.3 складаємо морфологічну матрицю:

$$M_{\alpha} = \begin{vmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 \\ 1.3 & 2.3 & 3.3 & 4.3 \\ 1.4 & 2.4 & 3.4 & 4.4 \\ 1.5 & 2.5 & 3.5 & 4.5 \end{vmatrix}, \quad (3.3)$$

Складена морфологічна матриця дозволяє синтезувати множину схем структур лещат, яку можна представити у виді сполучень альтернатив для кожної ознаки.

Для одержання схем лещат необхідно взяти по одній альтернативі з кожного стовпчика матриці. Утворені в такий спосіб схеми підлягають всебічному розбору і критиці.

Після заповнення морфологічної матриці приступають до синтезу аналогів. Кількість аналогів може обчислюватись астрономічними числами, тому кожна з «п» характеристик володіє певним числом  $K_i$  різних варіантів (альтернатив). Набір варіантів морфологічної таблиці дає можливість виявити повну кількість варіантів. Згідно (3.2) якщо кожна з «п» характеристик має однакову кількість альтернатив ( $K_1=K_2=\dots=K_n=\text{const}$ ) то повна кількість рішень:

$$N = K^n, \quad (3.4)$$

$$N=5*5*5*5=625$$

За морфологічними таблицею (табл.3.3) і матрицею (3.3) можна скласти множину рішень кінематичних зв'язків в лещатах, які згодом можуть стати реальною конструкцією. Деякі з можливих схем нераціональні або не мають змісту, інші повторюють реально існуючі конструкції, але є і принципово нові рішення (табл.3.4)

Вибрано 5 основних варіантів комбінації (X1-X5), реалізація яких приведена в табл.3.4 (підкреслені альтернативи, які відрізняються від першого варіанту):

X1=1.1-2.1-3.1-4.1 (аналог)

X2=1.1-2.1-3.1-4.2

X3=1.1-2.1-3.1-4.4

X4=1.1-2.1-3.2-4.1

X5=1.1-2.1-3.3-4.1

Таблиця.3.3.- Альтернативні варіанти кінематичної схеми лещат

№ п/п	Назва	Кінематична схема лещат	Морфологічна формула
1	Лещата з ручним приводом		1.1-2.1-3.1-4.1
2	Лещата, в яких в точках з'єднання стаціонарної губки з корпусом розміщені пружні елементи у формі тарілчатих пружин		1.1-2.1-3.1- <u>4.2</u>

3	Лещата, в яких в місцях з'єднання нерухомої губка з основою розміщені пружні елементи у формі розрізних втулок		1.1-2.1-3.1-4.4
4	Лещата, в яких в точках з'єднання стаціонарної губки з основою містяться протилежні надрізи, що формують шарніри.		1.1-2.1-3.2-4.1
5	Лещата, в яких стаціонарна губка зроблена у виді двохопорної випуклої пластинки		1.1-2.1-3.3-4.1

### 3.4. Аналіз отриманих рішень

Схема №1 представляє конструкцію звичайних лещат з ручним приводом, з суцільною нерухомою губкою, яка зв'язана з корпусом; дана конструкція широко використовується в промисловості.

Схема №2 представляє конструкцію лещат з ручним приводом, в яких затиск виконується за допомогою гвинтової передачі, містить рухому і

нерухому губки, в точках з'єднання нерухомої губки з основою розташовані пружинні елементи у виді тарілчатих пружин.

Схема №3 представляє конструкцію лещат з ручним приводом, в яких затиск виконується за допомогою гвинтової передачі, містить рухому і нерухому губки, в точках з'єднання стаціонарної губки з основою розташовано пружні елементи у виді пружинних розрізних втулок.

Схема №4 представляє конструкцію лещат з ручним приводом, в яких затиск виконується за допомогою гвинтової передачі, містить рухому і нерухому губки, стаціонарна губка в місцях з'єднання з основою має зустрічні насічки, що формують пружні шарніри.

Схема №5 представляє конструкцію лещат з ручним приводом, в яких затиск виконується при допомозі гвинтової передачі, містить рухому і нерухому губки, стаціонарна губка виконана у формі двохопорної випуклої пластинки з порожнинами між її поверхнею та корпусом.

## 4. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

### 4.1. Особливості конструктивного виконання лещат

Дана конструкція представляє собою машинні лещата, в яких попередній підвід губки та розтиск, а також затиск деталі здійснюється вручну, через гвинтову передачу, та має два затискних елемента, як і більшість лещат, у вигляді рухомої і нерухомої губок (див. рис. 4.1).

Виявлено, що зусилля різання трансформують силу затиску гранної деталі залежно до відношення жорсткостей рухомої і нерухомої губок. Тому в запропонованих лещатах представлені пропозиції по стабілізації сили затиску незалежно від спрямування дії зусиль різання.

Лещата функціонують слідуєчим чином.

Деталь встановлюється на базових поверхнях лещат, потім робітник за допомогою рукоятки обертає гвинт відносно стаціонарної гайки, що жорстко зафіксована у рухливій частині із затискною губкою (пересувна губка, при цьому вибираються попередні зазори, далі робітник остаточно затискає оброблювальну деталь, обертаючи рукоятку лещат.

При розтиску деталі робітник обертає рукоятку лещат у зворотному напрямку і тим відтискає оброблювальну деталь, відводячи рухому губку на відстань зручну для виймання обробленої і встановлення нової деталі.

Модернізовані лещата можуть бути використані для закріплення заготовок на фрезерних, свердлильних та інших верстатах, в тому числі верстатах ЧПК.

#### 4.2. Розрахунок сил затиску при фрезеруванні заготовки

Розрахунок сил затиску проведемо по максимальній діючій силі різання. Умови: чорнове торцеве фрезерування, заготовка сталь 40Х ( $\sigma_B = 1000$  МПа).

Вид фрези і її типорозмір: фреза – торцева, діаметром 126 мм, число зубців  $z=8$ .  $D_{\text{фр}} = (1,25 \div 1,5)B = 1,5 \cdot 80 \approx 125$  мм. Фреза 01.2.0234.000-01 с 3-х гранями твердосплавними пластинами [34, 35].

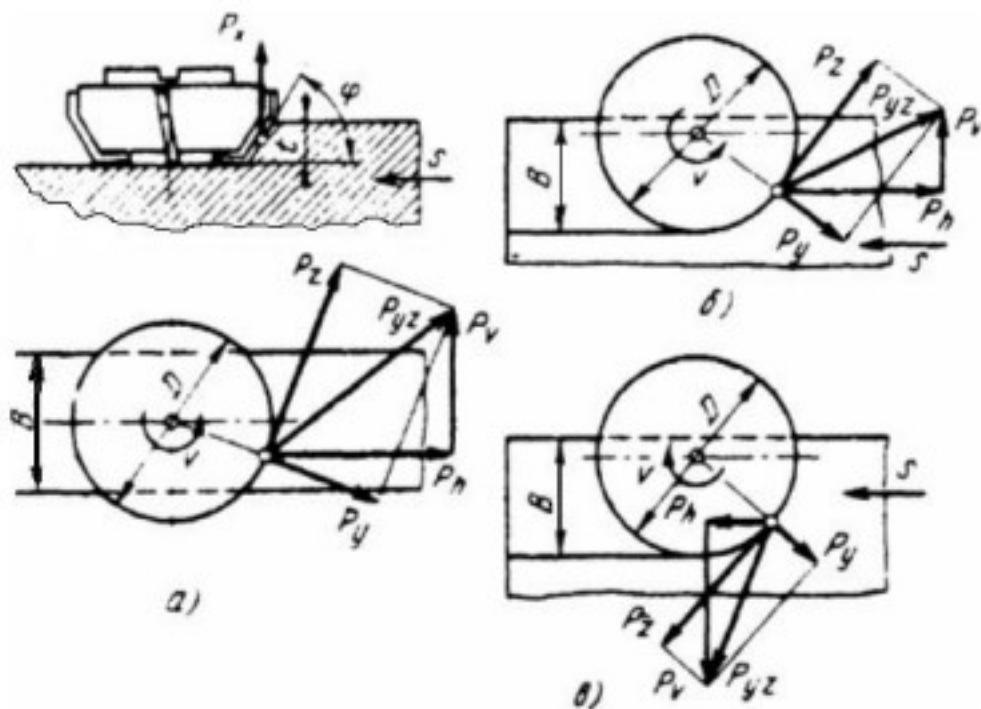


Рисунок 4.1 – Складові сил різання для торцевого фрезерування: а – симетричному, б - несиметричному зустрічному; в - несиметричному побіжному

Екстремальні режими обробки. Глибина фрезерування  $t=5$  мм, подача на один зуб фрези  $S_z = 0,2$  мм, частота обертів фрези визначимо по швидкості різання з формули:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \quad (4.1)$$

де

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot Z_p} \cdot k_v, \quad (4.2)$$

де  $T=180$  хв. – період стійкості фрези,

$$k_v = k_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{N_v} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv}, \quad (4.3)$$

$k_r=1$  – коефіцієнт матеріалу інструмента (для твердого сплаву);

$k_{nv}=1$  – коефіцієнт враховуючий вид інструмента;

$N_v=1$  – показник ступеня,

$$k_v = 1 \cdot \left(\frac{750}{1000}\right)^1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,75,$$

По [35] визначимо коефіцієнти і показники ступеня у формулі визначення швидкості різання:

$$C_v=332, q=0,2, x=0,1, y=0,4, u=0,2, p=0, m=0,2,$$

$$v = \frac{332 \cdot 200^{0,2}}{240^{0,2} \cdot 5^{0,1} \cdot 0,2^{0,4} \cdot 80^{0,2} \cdot 8} \cdot 0,75 = 160,2 \text{ мм / хв.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 160,2}{\pi \cdot 125} = 408 \text{ об / хв.}$$

По технічних характеристиках вертикально-фрезерного консольного верстата 6Р13Б приймаємо  $n=400$  об/хв. [29].

Силу різання визначимо по формулі:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q n^w}, \quad (4.4)$$

де коефіцієнти у формулі для різання по [35]:

$$C_p=825, x=0,1, y=0,75, u=1,1, q=1,3, w=0,2,$$

$B=80$  мм – ширина фрезерування.

Тоді:

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 5^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 80^{1,1} \cdot 8}{125^{1,3} \cdot 400^{0,2}} = 6980 \text{ Н},$$

Тоді  $P_h = P_y = 0,4P_z = 2792$  Н,

$P_v = 0,8P_z = 5585$  Н,

$P_x = 0,5P_z = 3480$  Н.

Відповідно до ГОСТ 12.2.029-88 потрібна сила затиску [5]:

$$T_p = k \frac{P_h + 0,5 \cdot P_v (f_1 - f_2)}{f_1 + f_2}, \quad (4.5)$$

де  $k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$  - коефіцієнти запасів;

$k_0 = 1,5$  – коефіцієнти гарантованих запасів;

$k_1 = 1,2$  – коефіцієнт враховуючий випадкові збільшення різання;

$k_2 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує затушення інструменту;

$k_3 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання для

торцевого фрезерування;

$k_4 = 1,3$  – коефіцієнт сталості сил затиску;

$k_5 = 1$  – коефіцієнт враховуючий ергономіку;

$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,3 = 3,4$ ;

$f_1 = 0,7, f_2 = 0,4$  – коефіцієнти тертя відповідно між заготовкою і

губками та заготовкою та напрямними.

$$T_p = 3,4 \frac{2792 + 0,5 \cdot 5585(0,7 - 0,4)}{0,7 + 0,4} = 11866 \text{ Н},$$

Лещата повинні забезпечувати силу затиску  $T=12000$  Н.

### 4.3. Розрахунок пружних елементів

#### 4.3.1. Розрахунок тарілчастих пружин

Тарілчасті пружини складаються з кільцевих конічних оболонки, які нагадують тарілку без дна. Відношення діаметрів тарілок  $D/d$  вибирають рівним 2...3, кут підйому твірної конуса 2...6°. Згідно з ГОСТ 3057-82 тарілчасті пружини виконують з зовнішнім діаметром 28...300 мм, товщиною  $f=0.6...9$  мм для робочих навантажень до  $52 \cdot 10^4$  Н. Пружна осадка тарілки допускається в межах до  $0.8f$ , де  $f$  - висота внутрішнього конуса. Таким чином тарілчасті пружини, маючи великі габарити по осі, мають значні переваги по відношенню до інших пружин для більших навантажень при високій необхідній жорсткості, що й визначає їх область застосування.

Наближена залежність між осьовою силою  $P$  і осадкою  $\delta$  елемента пружини має наступний вигляд:

$$S = \frac{4Et\delta}{(1-\mu^2)D^2A} \cdot [(h-\delta)(h-\frac{\delta}{2}) + t^2] \quad (4.6)$$

де  $E, \mu$  – відповідно модуль пружності та коеф. Пуассона речовини пружини;  $s$  - товщина листа;  $A$  - коефіцієнт, який береться з графіка [13].

Найбільші напруження стиску на внутрішній кромці пружини:

$$\sigma_{\max} = \frac{4E\delta}{KD^2} (hK_0 - \delta K_1 + 1) \quad (4.7)$$

де  $K, K_0, K_1$  – беруть по графіку [13].

Допустимі напруження при розрахунку по цій формулі вибирають досить високими, що досягаються при статичному навантаженні для сталі 1600...2100 Мпа. Побудуємо графіки залежності  $(S, \delta)$ .



Рисунок 4.2 – Графік залежності деформації пакету тарілчастих пружин від осадки  $\delta$  елемента пружини

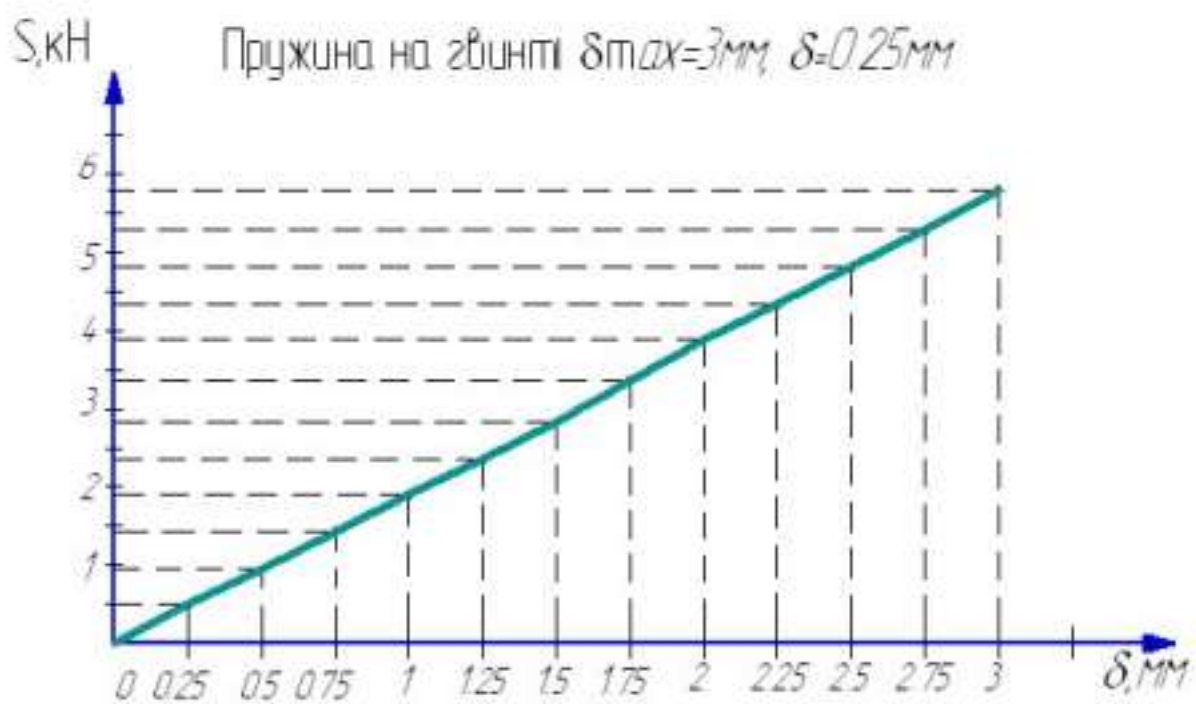


Рисунок 4.3 – Графік залежності деформації пружини на гвинті

#### 4.3.2. Розрахунок гвинта

Найбільша похибка переміщення внаслідок деформації кручення і розтягу (стиску) гвинта [20]:

$$\Delta = \frac{Ql}{EF} + \frac{Mkl}{GIp} \cdot \frac{t}{2\pi} \quad (4.8)$$

де  $E, G$ - модулі пружності 1 і 2 роду;

$F, I_p$  - площа поперечного розрізу та полярний інерції перерізу гвинта;

$l, t$ - довжина переміщення і шаг гвинта.

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}; \quad F = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad I_p = \frac{\pi d^3}{32};$$

$$t = 4 \text{ мм}; \quad l = 120 \text{ мм}.$$

$$\Delta = \frac{0,8 \cdot 10^3 \cdot 0,12}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}} + \frac{3,72 \cdot 0,12 \cdot 32}{8 \cdot 10^4 \cdot 3,14 \cdot 0,018 \cdot 10^3} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 0,183 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

#### 4.4. Розрахунок міцності окремих елементів лещат

##### 4.4.1. Вибір підшипників

Основне навантаження, яке діє на підшипники, це сила затиску деталі  $T=12000 \text{ Н}$ , яке діє в осьовому напрямку, тому працює кульковий упорний підшипник, радіальний підшипник не працює через тарілчасту пружину, яка зміщує вал в осьовому напрямку. Тому працює лише упорний підшипник.

Розрахуємо довговічність підшипників [9, 10].

Довговічність підшипників – розрахунковий строк служби, який вимірюється кількістю обертів, під час якого не менше 90% з обраної групи підшипників за однакових мов повинні відпрацювати без появи ознак втоми

метала. Перевіримо кульковий упорний підшипник серії 8206 на динамічну вантажопідйомність  $C_a$ .

По таблицям динамічна вантажопідйомність підшипника дорівнює  $C_a=23000\text{H}$ , що менше діючого на нього навантаження  $T=12000\text{H}$ .

Розрахуємо еквівалентне динамічне навантаження  $P$ ,  $H$ . Для кулькових упорних підшипників [15]:

$$P_a = F_a K_G K_T \quad (4.9)$$

$K_G$  - коефіцієнт безпеки; характер навантаження на підшипник: легкі товчки, короткочасні перевантаження до 125% нормального (розрахункового) навантаження,  $K_G=1,1$ .

$K_T$  - температурний коефіцієнт,  $K_T=1,05$ ;

Тоді:

$$P = 12000 \cdot 1,1 \cdot 1,05 = 14520 \text{ H}.$$

Розрахуємо довговічність підшипника у годинах[33]:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left( \frac{C}{P} \right)^3, \quad (4.10)$$

де  $n$  – кількість обертів, об/хв.

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 2000} \left( \frac{23000}{14520} \right)^3 = 7560 \text{ годин.}$$

Строк служби підшипника задовольняє вимогам.

#### 4.4.2. Розрахунок на міцність найбільш навантажених деталей

Розрахуємо на зріз та зминання штифт 32 та визначимо їх необхідну кількість [22].

На штифт діє тангенціальна складова від сили затиску  $F_t$ . Яка намагається зрізати та зім'яти штифт.

Розрахуємо її:

$$F_t = Q \cdot \operatorname{tg}(\lambda_{\text{шп}} + \rho_{\text{шп}}) = 12000 \cdot \operatorname{tg}(3,6 + 0,05) = 640 \text{ Н}.$$

При зрізі у перерізі штифта діють дотичні напруги:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{F}{A_{\text{ш}} \cdot i \cdot k} \leq [\tau_{\text{ш}}], \quad (4.11)$$

де  $F$  - сила зрізу;

$A_{\text{ш}}$  - площа зрізу;

$i$  - кількість тіл, які працюють на зріз;

$k$  - кількість площ зрізу.

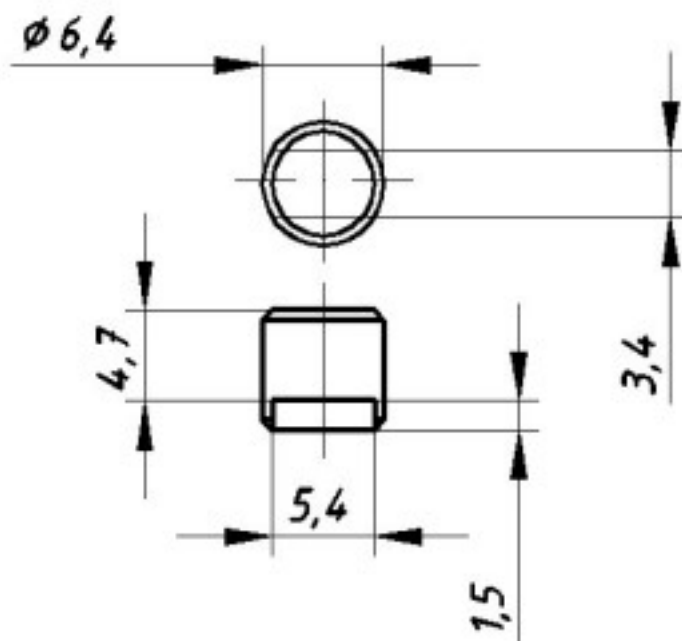


Рисунок 4.4 – Геометричні характеристики штифта

Розрахуємо кількість штифтів:

$$i = \frac{F}{[\tau_{зр}] \cdot A_{зр} \cdot k} = \frac{640}{100 \cdot 10^6 \cdot 3,4 \cdot 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 1,3.$$

Приймаємо 2 штифта.

Тепер перевіримо кількість штифтів із розрахунку на зминання. При цьому виді навантажень в умовному перерізі діють нормальні сили, які намагаються зім'яти навантажене тіло [28]:

$$\sigma_{зм} = \frac{F}{\Sigma A_{зм \min} \cdot i} \leq [\sigma_{зм}], \quad (4.12)$$

де  $\Sigma A_{зм \min}$  - сумарна мінімальна площа зминання.

$$\Sigma A_{зм \min} = \Sigma \delta_{\min} \cdot b$$

де  $\Sigma \delta_{\min}$  - мінімальна сумарна товщина елементів, які зминаються з однієї сторони стержня;

$b$  - ширина площі зминання.

$$i = \frac{F}{[\sigma_{зм}] \cdot \Sigma A_{зм \min}} = \frac{640}{200 \cdot 10^6 \cdot 3,4 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 1,5.$$

Приймаємо остаточно 2 штифта.

Розрахуємо на зріз та зминання гвинт 33 та визначимо їх необхідну кількість.

На гвинт діє сила затиску оброблюваної деталі  $Q=12000$  Н. Яка намагається зрізати та зім'яти гвинт.

При зрізі у перерізі гвинта діють дотичні напруги [39]:

$$\tau_{зр} = \frac{F}{A_{зр} \cdot i \cdot k} \leq [\tau_{зр}], \quad (4.13)$$

де  $F$  - сила зрізу;

$A_{\text{зр}}$  - площа зрізу;

$i$  - кількість тіл, які працюють на зріз;

$k$  - кількість площ зрізу.

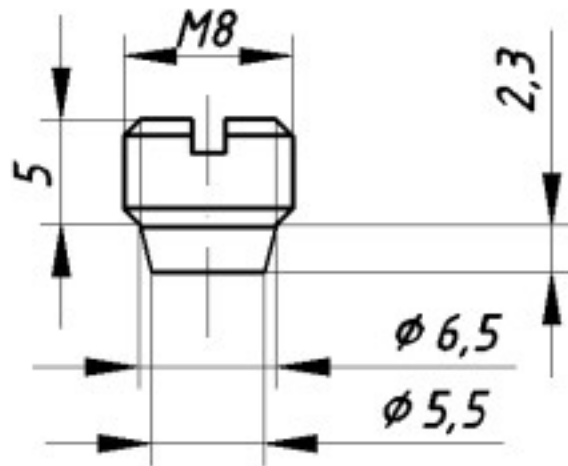


Рисунок 4.5 – Геометричні характеристики гвинта

Розрахуємо кількість гвинтів:

$$i = \frac{F}{[\tau_{\text{зр}}] \cdot A_{\text{зр}} \cdot k} = \frac{12000 \cdot 4}{100 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 6^2 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 3,6.$$

Приймаємо 4 гвинта.

Тепер перевіримо кількість гвинтів із розрахунку на зминання. При цьому виді навантажень в умовному перерізі діють нормальні сили, які намагаються зім'яти навантажене тіло [14]:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{F}{\Sigma A_{\text{зм min}} \cdot i} \leq [\sigma_{\text{зм}}], \quad (4.14)$$

де  $\Sigma A_{\text{зм min}}$  - сумарна мінімальна площа зминання.

$$\Sigma A_{\text{зм min}} = \Sigma \delta_{\text{min}} \cdot b \quad (4.15)$$

де  $\Sigma \delta_{\text{min}}$  - мінімальна сумарна товщина елементів, які зминаються з однієї сторони стержня;

$b$  - ширина площі зминання.

$$i = \frac{F}{[\sigma_{\text{зм}}] \cdot \Sigma A_{\text{зм min}}} = \frac{12000}{280 \cdot 10^6 \cdot 2,3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 3,7.$$

Приймаємо остаточно 4 гвинта.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених патентно-інформаційних досліджень сформовані напрямки розробки механічних лещат із кращими пружними та силовими характеристиками функціонування.

Забезпечення рівності жорсткостей в системі «лещата-деталь» можна досягнути декількома методами: а) приведення в дію двох рухомих губок від спільного приводу; б) задіювання двох рухомих губок від окремих приводів; в) забезпечення пружного зв'язку між стаціонарною губкою та корпусом, що можна здійснити з мінімальними витратами на модернізацію.

Грунтуючись на математичних моделях та їх графічному предствавленні отримано аналітичні залежності результуючої динамічної сили затиску, що враховують нерівність жорсткостей  $\alpha_c = \frac{C_2}{C_1}$ , співставлення вильоту губки  $l$ , зусиль різання  $P$  та вертикального розміру губок, результуючих сил тертя  $F_{TP}$  у направляючих рухомої губки. Запропоновано узагальнену аналітичну залежність для результуючої динамічної сили затискання.

Шляхом використання морфологічного підходу та способу морфологічного аналізу для відібраних головних ознаках та якісних показників працездатності дає змогу здійснювати структурно-схемний синтез машинних лещат для деталей призматичної форми. Даний метод дозволяє знайти технічні рішення з наявністю новизни на збільшеній множині варіантів.

Запропоновано підхід до проектування механічних лещат з покращеними пружними та силовими характеристиками, запропоновано рекомендації для проведення розрахунку їх елементів і проведення досліджень.