

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана
Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження точності кінематичних ланцюгів подач
фрезерних верстатів загального призначення

Виконав(ла):

студент(ка)

VI курсу, групи МВм-61

спеціальності

133 Галузуве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Дубина С.Я

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Кривий П.Д

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ярема І.Т

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Кобельник В.Р

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дичковський М.Г

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кобельник В.Р
(прізвище та ініціали)

(підпис)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Дубині Сергію Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження точності кінематичних ланцюгів подач
фрезерних верстатів загального призначення

Керівник роботи Кривий Петр Дмитрович, к.т.н., доцент, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 25 » вересень 2020 року № 4/7-679

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Існуючі методи дослідження точності кінематичних ланцюгів
подач. Кінематичні схеми фрезерних верстатів. Ряди чисел подач. Існуючі геометричні та
математичні моделі шорсткості.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналітичний розділ: Огляд аналізу стану питання точності подач, інформаційно-патентний
пошук. Дослідно-проектна частина: математичні та геометричні моделі шорсткості.

Науково-дослідна частина: Спосіб вимірювання шорсткості, імовірнісний підхід до визначення
параметра Rz. Імовірнісно-статистичний метод оцінювання точності кінематичних
Ланцюгів подач, торцева фреза удосконаленої конструкції. Заходи з охорони праці
та безпеки в НС.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Титульний аркуш – 1 арк. ф.А1; Кінематична схема вертикально-фрезерного верстата
мод. 676П і компоновки – 1 арк. ф.А1; Кінематична схема горизонтально-фрезерного
верстата мод. 6Р82 – 1 арк. ф.А1; Випадкові значення подач та характеристики їх
розсіювання – 4 арк. ф.А1; Загальні висновки – 1 арк. ф.А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охор. праці і безпека	к.т.н., доц. Окіпний І.Б.		
в надзв. ситуаціях	ст. викл. Клепчик В.М.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Ярема І.Т.		

7. Дата видачі завдання 09 вересня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Аналіз проблематики роботи та інформаційно-патентний пошук</i>	<i>25.09.2020 р.</i>	
	<i>Геометричні та математичні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої традиційною фрезою</i>	<i>10.10.2020 р.</i>	
	<i>Геометричні та математичні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої удосконаленою фрезою</i>	<i>25.10.2020 р.</i>	
	<i>Спосіб вимірювання шорсткості плоскої поверхні сформованої чистовим та напівчистовим фрезерування</i>	<i>30.10.2020 р.</i>	
	<i>Імовірнісний підхід до визначення параметра шорсткості Rz</i>	<i>10.11. 2020 р.</i>	
	<i>Імовірнісно-статистичний метод дослідження точності кінематичних ланцюгів</i>	<i>20.11. 2020 р.</i>	
	<i>Тоцева фреза удосконаленої конструкції</i>	<i>30.11. 2020 р.</i>	
	<i>Розроблення заходів безпеки з охорони праці</i>	<i>05.12. 2020 р.</i>	
	<i>Оформлення пояснювальної посилки</i>	<i>10.12.2020 р.</i>	
	<i>Оформлення графічного матеріалу</i>	<i>14.12.2020 р.</i>	

Студент

_____ (підпис)

Дубина С.Я
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кривий П.Д
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дубина С.Я. «Дослідження точності кінематичних ланцюгів подач фрезерних верстатів загального призначення» 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2020 р.

Dubyna S.Y. "Investigation of the accuracy of kinematic feed chains of general purpose milling machines". 133 - industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2020.

Магістерська дипломна робота складається з 8 аркушів графічного матеріалу формату А1 і розрахунково-пояснювальної записки на 77 сторінках та додатків на 20 сторінках.

Виконанню кваліфікаційної роботи магістра передувало вивчення завдання, здійснення огляду аналізу методів визначення точності кінематичних ланцюгів різних типів металорізальних верстатів а також аналізу впливу цієї точності на такий показник якості плоскої поверхні сформованої торцевим фрезеруванням, як шорсткість за параметром Rz.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблені геометричні і математичні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої торцевим фрезеруванням, запропоновані імовірнісно-статистичні методи оцінювання точності кінематичних ланцюгів подач, приведені експериментальні дослідження.

Описано заходи з охорони праці і безпеки життє діяльності при експлуатації фрезерних верстатів.

Подано загальні висновки за результатами виконання дипломної роботи.

Мета роботи: Імовірнісно-статистичний метод оцінювання точності кінематичних ланцюгів подач фрезерних верстатів.

Об'єкт дослідження – процес дослідження точності кінематичних ланцюгів фрезерних верстатів у імовірнісному аспекті.

Предмет дослідження – значення точності подач на 1 оберт фрези як випадкових величин характеристик їх розсіювання: математичного сподівання, дисперсії і коефіцієнта варіації.

Для виконання поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Здійснити огляд та аналіз проблематики точності кінематичних ланцюгів подач вертикально фрезерних верстатів загального призначення.
2. Здійснити інформаційно-патентний пошук.
3. Розробити геометричні та математичні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої на вертикально фрезерному верстаті.
4. Розробити метод визначення стаатистичних характеристик шорсткості за параметром R_z з врахуванням стохастичності подач на 1 зуб фрези.
5. Розробити новий спосіб вимірювання шорсткості плоских поверхонь сформованих напівчистовим і чистовим фрезеруванням.
6. Запропонувати нову конструкцію торцевої фрези створену на базі розроблених геометрично-математичних моделях шорсткості.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	10
1.1. Огляд та аналіз проблематики точності кінематичних ланцюгів подач вертикально фрезерних верстатів загального призначення	10
1.2. Інформаційно-патентний пошук.....	13
1.3. Висновки по розділу 1, постановка мети та задач дослідження.....	19
2. ГЕОМЕТРИЧНІ І МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ШОРСТКОСТІ ПЛОСКОЇ ПОВЕРХНІ СФОРМОВАНОЇ НА ВЕРТИКАЛЬНО–ФРЕЗЕРНОМУ ВЕРСТАТІ.....	21
2.1. Геометрична і математична моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої гострозаточеними зубами фрез	21
2.2. Геометричні і математичні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованою радіусними скругленнями вершинами зубів фрез.....	25
2.3. Геометричні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої гострозаточеною торцевою фрезою ($r=0$) удосконаленої конструкції	27
2.4. Висновки по розділу 2.....	33
3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	47
3.1. Спосіб вимірювання шорсткості плоских поверхонь сформованих напівчистовим і чистовим торцевим фрезеруванням.....	34
3.2. Імовірісно підхід до визначення параметра шорсткості R_z для плоскої поверхні сформованою торцевою фрезою із скругленими вершинами радіусом $r=0,5d$	42
3.3. Імовірісно-статистичний метод дослідження точності кінематичних ланцюгів на прикладі широкоуніверсального вертикального верстата моделі 676П	50
3.4. Торцева фреза удосконаленої конструкції.....	62
3.5. Висновки за результатами наукового дослідження.....	64
4. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	73
4.1. Заходи безпеки, які необхідні для обслуговування верстату.....	65
4.2. Перевірочний розрахунок муфти електроприводу верстату.....	67
4.3. Висновки по розділу 4.....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
БІБЛІОГРАФІЯ.....	72
ДОДАТКИ.....	77

ВСТУП

Одним із прогресивних методів формоутворення плоских поверхонь деталей машин є торцеве фрезерування, яке здійснюється на фрезерних верстатах різного типу: широко-універсальних, інструментальних, вертикально і горизонтально-консольних фрезерних, поздовжньо-фрезерних, тощо. Торцеве фрезерування широко застосовується у різних типах виробництва: індивідуальному, серійному та масовому. За даними [19] трудомісткість фрезерних робіт у загальній трудомісній механічній обробці складає 20-25% у серійному виробництві і 40-45% у масовому виробництві. Чистове (тонке) торцеве фрезерування, особливо з використанням яє різальних елементів пластинок із кубічного нітриду бору, забезпечує якість не нижче ніж шліфування при більшій продуктивності і головне більш екологічно чисте. Процес різання при торцевому фрезеруванні, зокрема при фрезерування пазів, має свої особливості, одними з яких є ті що процес врізання здійснюється (теоретично) із нульової або з деякої мінімальної товщині зрізаного шару, при цьому, якщо лезо зуба фрези має певне скруглення і по мірі його затуплення при зношуванні процес врізання зуба фрези в метал ускладнюється, на певному проміжку його контакту з оброблюваною поверхнею має місце проковзування і не зрізання стружки, що призводить до формування поверхневого зміцненого шару підвищеної твердості. Наступний зуб фрези врізається в тіло заготовки, контактує з цим зміцненим шаром і інтенсивність зношування зростає. Унікальною особливістю процесу різання при торцевому фрезеруванні є його періодичність контакту зуба фрези з поверхнею різання що призводить до циклічних теплових ударів і появи термічних мікротріщин, а також при збільшенні швидкості різання до критичної $V_{кр} \geq 400$ об/хв спостерігається різке зменшення коефіцієнта усадки стружки і поява високочастотних вібрацій.

Однією із проблем підвищення ефективності і якості процесу різання при торцевому фрезеруванні плоских поверхонь деталей машин за такими показниками якості як параметри шорсткості; величина нерівностей за 10-а точками R_z і середнє арифметичне відхилення профілю R_a , є з одного боку

створення нових методів вимірювання точності кінематичних ланцюгів подач фрезерних верстатів і статистичного її оцінювання з другого боку діагностика відповідних зубчастих зачеплень на точність. Удосконалення конструкції торцевих фрез на базі геометричних і математичних моделей шорсткості з врахуванням стохастичності подач S_z на один зуб фрези і подання цього елемента S_z режиму різання тобто S_z з нормальним законом розподілу вимірювання параметрів. Вирішення цієї проблеми надасть можливість поєднати одночасно чорнове і чистове фрезерування шляхом створення спеціальних торцевих фрез конструктивні елементи яких встановлюються в залежності від величини подач на зуб для чорнових і чистих різців, що забезпечить підвищену продуктивність при заданій шорсткості і безперечно є актуальною задачею.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше отримані залежності математичних моделей шорсткості при різних конструкціях торцевих фрез.
2. Вперше запропонована методика аналітичного визначення параметра шорсткості виходячи із стохастичного характеру подач.
3. Вперше запропонована методика оцінювання точності подач як випадкових величин при різних кінематичних ланцюгів за критерієм Фішера, а саме за признаком суттєвої відмінності між дисперсіями.

Практичне значення отриманих у роботі результатів:

1. Використання отриманих геометрично-конструктивних параметрів, різальних елементів торцевих фрез забезпечує підвищення якості поверхні за параметром шорсткості R_z і надає можливість поєднати чистову і чорнову обробку, що призводить до підвищення продуктивності.
2. Запропонована конструкція торцевої фрези, яка забезпечує комбіноване фрезерування.

Апробація досліджень

Результати досліджень за тематикою роботи представлені на IX Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року і опубліковані за посиланням:

https://tntu.edu.ua/storage/pages/00000828/book%201_2020.pdf

XVIII Міжнародній науково-технічній конференції «Важке машинобудування проблеми та перспективи розвитку», “, 22-24 грудня 2020 року і опубліковані за посиланням:

Важке машинобудування проблеми та перспективи розвитку: матеріали Вісімнадцятої міжнародної науково-технічної конференції (м.Краматорськ, 22–24 грудня 2020 року) / редкол.: В. С. Гузенко, В. В. Хорошайло та ін.. Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія, 2020. 180 с

Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури (27 найменувань), додатків (20 арк. А4).

Загальний обсяг текстової частини 77 – сторінок; 23 – рисунки; 12 – таблиці; формули – 50

Ключові слова: шорсткість, фреза, дисперсія, кінематичний ланцюг, точність, критерій Фішера.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Огляд та аналіз проблематики точності кінематичних ланцюгів подач вертикально фрезерних верстатів загального призначення

Якість продукції, у тому числі вертикально фрезерних верстатів, це сокупність властивостей продукції, що зумовлюють її придатність задовільняти певні потреби відповідно до свого призначення.

Стосовно вертикально-фрезерних верстатів загального призначення то такі властивості і їх кількість виражена визначально певними показниками якості, як наприклад: точність кінематичних ланцюгів подач; точність радіального і торцевого биття шпинделя, прямолінійність напрямних стола і станини; відхилення від перпендикулярності і паралельності напрямних тощо.

Вимоги, які регламентовані відповідними стандартами до металорізальних верстатів, мають за мету забезпечити відповідну якість обробленої поверхні і високу продуктивність.

Перша проблема вирішується зокрема результатами наукової школи під керівництвом д.т.н. проф. Мельничук П.П. [1], яка ставить за мету підвищення якості торцевих фрез.

Друга проблема – підвищення продуктивності обробки із збереженням заданої шорсткості поверхонь, вирішується методом наукового обґрунтування та технологічного забезпечення об'єднання чорнової та чистової обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом [2].

Аналіз літературних джерел, пов'язаних із вирішенням проблеми суміщення чорнових і чистових операцій [3], виявив незначну кількість підходів до вирішення цієї актуальної проблеми в машинобудуванні.

Так, у роботі [4] пропонується особливу увагу приділити інструменту, тобто його конструктивному виконанню. У разі, якщо суміщення чорнових і чистових операцій здійснюється за рахунок цілих частин одного різального інструмента, які одна за одною (свердло-зенкер, зенкер-протяжка тощо) беруть участь у різанні, завершуючи процес обробки за один повний цикл, то його названо послідовним. Якщо чорнові та чистові різальні елементи інструмента

беруть участь у роботі почергово, здійснюючи при цьому певний цикл, що обов'язково повторюється весь час до повного завершення операції, то таке суміщення названо паралельним.

На думку авторів роботи [2], суміщенням чорнової обробки з чистовою можна вважати виключно їх виконання на незмінних режимах (частота обертання шпинделя, незмінність відносного зміщення інструмента і заготовки за один оберт шпинделя) і обов'язково одночасно. Термін «послідовно» виключає суміщення. У разі послідовного виконання обробки можливо говорити лише про часткове суміщення допоміжних рухів

За даними [2] і роботи [3]

$$R_z = R_{zp} + \Delta H_{\hat{a}}, \quad (1.1)$$

де R_z - розрахункова висота нерівностей (детермінована складова); нерівностей від розрахункової (випадкова складова); ΔH – відхилення фактичної висоти

$$\Delta H = \Delta H_{\text{ід}} + \Delta H_{\text{іє}} + \Delta H_{\text{н}} + \Delta H_{\text{н0}} + \Delta H_{\text{сє}} + \Delta H_{\hat{a}}, \quad (1.2)$$

де ΔH – пружне відновлення матеріалу після зрізу шару металу або його деформування; – складова, що відображає зміну висоти нерівностей у результаті пластичної деформації в зоні стружкоутворення (вспучування); ΔH_c - створення мікронерівностей сходженням стружки; ΔH_0 - відхилення, пов'язане з тертям задньої поверхні різця по обробленій поверхні; – відхилення від зміни первинного контуру кромки різця внаслідок її зношування; $\Delta H_{\hat{a}}$ - відхилення, пов'язане з вібраціями різця й оброблюваної заготовки.

Для повноти розгляду питання, згідно з роботою А.Г. Суслова [5], слід додати ще випадкові вириви оброблюваного матеріалу.

За дослідженнями, проведеними в Житомирському державному технологічному університеті, що стосуються чистової обробки лезовим інструментом, яка здійснюється на невеликих подачах ($S_{об} = 0,01 \div 0,05$ мм/об.), значний вплив на утворення шорсткості та хвилястості обробленої поверхні має нерівномірність руху робочих органів верстатів та обертів шпинделя. Стрибкоподібний рух призводить до значного відхилення розрахункової (геометричної) складової шорсткості поверхні від фактичної.

Враховуючи наведене, залежність (2) прийме вигляд:

$$\Delta H = \Delta H_{\text{т0}} + \Delta H_{\text{тє}} + \Delta H_{\text{н}} + \Delta H_{\text{0}} + \Delta H_{\text{сє}} + \Delta H_{\text{а}} + \Delta H_{\text{аєє}} + \Delta H_{\text{S}}, \quad (1.3)$$

де $\Delta H_{\text{аєє}}$ – створення мікронерівностей виривами обрблюваного матеріалу;
 ΔH_{S} - зміна розрахункової величини шорсткості через нерівномірність подачі і обертів шпинделя.

Також необхідно мати на увазі те, що під час обробки заготовок із різноманітних матеріалів інструментом, оснащеним різним інструментальним матеріалом, складові залежності (1.3) можуть мати від'ємне значення, тобто покращувати шорсткість оброблених поверхонь (тощо).

В роботі [6] визначено основні принципи поділу оброблення деталей на чорнові і чистові операції.

1. Зняття на чорнових операціях основної частини припуску супроводжується значною кількістю виділення тепла, та нагріванням заготовки.

2. При знятті значних припусків і ливарних кірок здійснюється видалення найбільш напружених поверхневих шарів вихідних заготовок, що призводить до перерозподілу внутрішніх напружень та може викликати значні деформації заготовки після її обробки. Чистова операція дозволяє ліквідувати (або мінімізувати) цю похибку та отримати точні деталі.

3. Після, чорнової обробки формується невеликий і стабільний припуск на чистові переходи.

4. Значні поля допусків на розміри заготовок, нестабільність їх твердості, податливості ВПД, пружні деформації її елементів призводить до нестабільності сил різання, які впливають як на точність обробленої поверхні та на її шорсткість.

5. Виконання чистової обробки на спеціально закріпленому більш точному обладнанні інструментом з надтвердих матеріалів з мінімальними припусками забезпечує виготовлення деталей високої точності та якості оброблених поверхонь [6].

Одним із найважливіших задач у розв'язанні проблеми забезпечення якості плоских поверхонь торцевим фрезеруванням є розроблення нових методів визначення точнісних характеристик кінематичних ланцюгів подачі.

1.2. Інформаційно-патентний пошук

1.2.1. Аналіз літературних джерел присвячених процесу фрезерування плоских поверхонь

Дослідженню процесу торцевого фрезерування присвячена велика кількість наукових праць як українських так і закордонних вчених. У багатьох роботах [1,2] вивчається вплив геометричних параметрів зубів торцевих фрез на силові характеристики та якісні показники процесу різання. Наприклад, у роботах [1,2] виведені залежності впливу елементів режиму різання та геометричних параметрів зубів фрези на сили різання при фрезеруванні, а в роботах [7] приведені дослідження силових характеристик при фрезеруванні для загартованих сталей та важкооброблюваних матеріалів із забезпеченням відповідних якісних показників обробки. При цьому використовують як натурні експериментальні дослідження, так і комп'ютерне моделювання з використанням сучасного програмного забезпечення, визначаючи навантаження на елементи фрези методом кінцевих елементів [2]. У деяких працях [1,2] подані методики досліджень та оптимізація процесу торцевого фрезерування, зокрема проведено моделювання навантаження різальних елементів фрези із спіральноступінчастим їх розміщенням [1,2] або різних форм різальних елементів, зокрема круглої [1,2] та квадратної [1,2]. Інший напрям дослідження торцевого фрезерування – оптимізація процесу на основі дослідження впливу геометричних параметрів фрез та елементів режимів різання на шорсткість оброблених поверхонь, які висвітлені у працях [8]. В роботі [7] наведено геометричну модель прогнозування шорсткості поверхні при торцевому фрезеруванні з квадратними пластинами при різних значеннях елементів режиму різання. Дослідження [2] присвячені оптимізації елементів режиму різання для мінімізації шорсткості поверхні при фрезеруванні. У роботі [2] висвітлено вплив кінематики процесу торцевого фрезерування на якісні параметри оброблюваної поверхні. На основі отриманих результатів автори [2] надають рекомендації до вибору раціональних значень конструкторсько-технологічних параметрів

торцевих фрез для їх ефективної роботи, на основі яких здійснюється розробка їх нових конструкцій. В цьому напрямку також спрямовані дослідження і провідних фірм-виробників торцевих фрез, наприклад, фірми Walter.

Разом з тим в проаналізованих доступних літературних джерелах, присвячених конструюванню торцевих фрез, не висвітлено таке питання, як визначення кутового положення зубів фрези в залежності від форм профілю мікронерівностей. В даній роботі здійснена спроба заповнити існуючу пргалину і розв'язати цю задачу.

1.2.2. Аналіз деяких показників якості поверхні сформованої торцевим фрезеруванням і методів їх вимірювання

В загальному якість оброблюваної поверхні різання оцінюється рядом одиночних показників якості, а саме: точністю геометричних розмірів; геометричної форми; шорсткістю обробленої поверхні; фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу та фізико-механічними властивостями поверхневого шару деталі. Одним із найважливіших показників є шорсткість поверхні (Surface roughness) – яка являє собою сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділеними, наприклад, з допомогою базової довжини.

Шорсткість поверхні регламентована, як національними стандартами ДСТУ 2409-94 ДСТУ 2413-94 (Україна); ГОСТ 26142-82 (Російська федерація); ANSI B46-1-1962 (США); JIS B0601-1976 (Японія); BS 1134-1961 (Великобританія); Charmilles-VDI-3400 (ФРН); так і міжнародний ISO 4287-1997; ISO 4288-1996; ISO 5436-1-2000 та ін. На даний час у світі використовується більше 100 параметрів шорсткості поверхні.

Одним із основних і найбільш розповсюджених параметрів шорсткості є: R_a – середнє арифметичне відхилення профіля і R_z – висота профіля за десятьма точками. Відзначаючи цілий ряд переваг параметра R_a , як наприклад, найбільш часто використовуваний для контролю стабільності технологічного процесу,

статично стабільний, оптимальний для нерівностей з випадковим, характером профіля, наприклад шліфованих поверхонь, він має певні недоліки.

Необхідно відзначити, що цілий ряд вчених: Білік Ш. М., Рижов І. В., Суслов А. Г., Шнейдер Ю. Г. та ін. піддають різкій критиці існуючі параметри шорсткості, особливо параметра R_a , який найбільше використовують, R_a не наголошуючи на тому, що він не висвітлює фізичної суті профілю і при чому однозначно не впливає на експлуатаційні властивості робочих поверхонь деталей машин.

Так наприклад у роботі [9] показано, що при одному і тому ж значенні R_a , шорсткість HRC, однакових режимах досліджень зносостійкість поверхонь різна (рис.1.1). Окрім цього в цій же роботі подані профілограми поверхонь (рис.1.2) отриманих різними видами обробки: хонінгуванням, шліфуванням, вигладжуванням, поліруванням і притиранням, з однаковими значеннями R_a , але з різною структурою, що безперечно призведе до різної інтенсивності зношування.

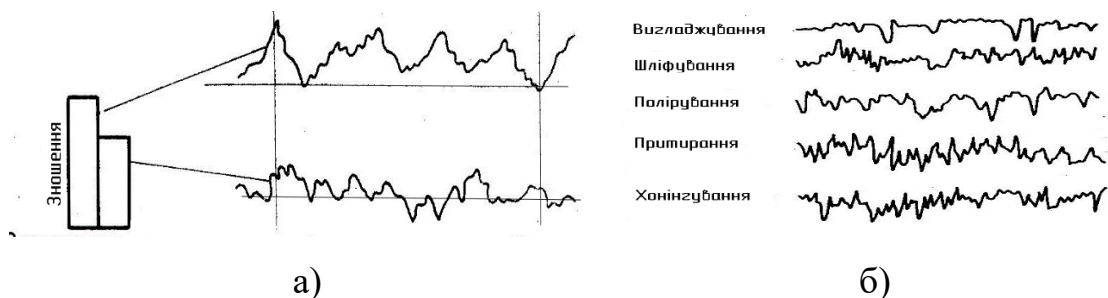


Рисунок 1.1 Залежність зношування від типу профіля а) і зміна структури профіля від виду обробки при $R_a = const$ б)

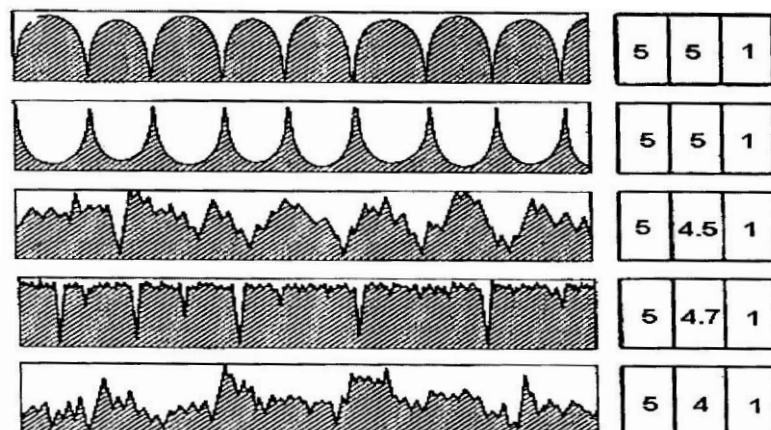


Рисунок 1.2 Різні профілі однакового значення R_a .

Найбільш наглядно це продемонстровано в роботі [10] (рис.1) [Табл.1]. Проаналізовані літературні джерела [10]. ГОСТ 27964-87 присвячені вимірюванню шорсткості за параметрами і при цьому встановлено те, що у них не вказана кількість вимірювань достатня для забезпечення достовірності.

Із вище перелічених показників якості на даний час найбільш складним у нормуванні, вимірюванні і метрологічному забезпеченні є шорсткість поверхні.

Саме шорсткість поверхні визначає багато функціональних властивостей поверхні:

1. Якість спряжень (посадки);
2. Зносостійкість;
3. Контактна міцність;
4. Світловідбиваючу здатність;
5. Теплопередачу;
6. Утримання рідин;
7. Адгезію і т.д

Вимоги до поверхонь деталей машин встановлюють з метою забезпечення необхідних функціональних властивостей поверхні.

Така інформація необхідна як конструкторам так і технологам і вирішується шляхом вибору певних параметрів і призначення їх числових значень.

Так як одні із парших параметрів шорсткості поверхні R_a – середнє значення відхилення профіля і R_z – висота нерівності за 10-ма точками [11] не отримали всі функціональні вимоги до деталі, то почався процес введення нових параметрів. На даний час більшість параметрів шорсткості поверхні, які входять у міжнародні, національні і корпоративні стандарти, відображають велику кількість особливостей поверхні і мають застосування у виробництві.

Американський стандарт ASME і міжнародний ISO рекомендують використовувати при вимірюванні R_a п'ять відсічок кроку і тільки в особливих умовах коли довжина вимірювання обмежена допускають 1-4 відсічка кроку. В роботі [12] для підвищення достовірності результатів рекомендовано

вимірювання здійснювати декілька разів і визначати середнє значення яке приймати за дійсне.

Основним недоліком при існуючих методах вимірюванні параметрів шорсткості R_a і R_z є те, що ці величини є випадкові і тому при дослідженні цих параметрів повинен використовуватись імовірнісний підхід при визначені значень цих параметрів.

1.2.3. Аналіз деяких методів дослідження точності кінематичних ланцюгів подач металорізальних верстатів, способів фрезерування і основних особливостей конструкції торцевих і циліндричних фрез.

Одним із важливіших параметрів процесу фрезерування в плані забезпечення заданої точності обробленої поверхні за параметрами шорсткості R_a або R_z . є подача на зуб фрези, стабільність велечини якої досягається точністю кінематичних ланцюгів подач. Велечини подачі на один зуб фрези, тобто велечина переміщення заготовки відносно фрези, що обертається, за час її повороту на один кутовий крок $\theta = \frac{2\pi}{Z_{\text{фр}}}$, рад. (під $Z_{\text{фр}}$ – кількість зубів фрези) формується в результаті зачеплень багатьох пар зубчастих коліс і передачею гвинт-гайка. Кожний із цих елементів кінематичного ланцюга, виготовлений з відповідними похибками, що регламентується певними стандартами (степеннями точності для зубчастих коліс і класами точності для різьбових з'єднань). В результаті подача на зуб фрези як сума цих похибок буде випадковою велечиною, і її оцінювання необхідно здійснювати на основі теорії імовірностей і математичної статистики.

1.2.3.1 Аналіз деяких методів дослідження точності кінематичних ланцюгів подач металорізальних верстатів, способів фрезерування і основних особливостей конструкції торцевих і циліндричних фрез.

На даний час питанню дослідження точності кінематичних ланцюгів подач приділена недостатня увага. Одним із перших досліджень точності кінематичних ланцюгів подач присвячена наукова робота Кобельника В.Р [13,14].

Дослідження точності подач здійснювалось на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Н118. При цьому використали сферометр (точність вимірювання 1 мкм), який встановлювали на столі верстата. Включали досліджувану механічну подачу і відповідну частоту обертання шпинделя.

З електродвигуна головного руху знімали кришку і провертали крильчатку на певну кількість обертів, вибираючи при цьому зазори у зачепленні. Після того провертали крильчатку настільки, щоб шпиндель здійснив один оберт, а піноль перемістилась вниз на певну величину, яку фіксували як подачу на 1 оберт шпинделя. Повторяючи такі прийоми отримували статистику значень подач, яку піддавали статистичному обробленню. Змінивши подачу і частоту обертання шпинделя отримували вибірку значень для іншої подачі.

В результаті встановлено, що із збільшенням паспортних значень подач, дисперсія розсіювання зростає. За критерієм Фішера – F, оцінювали суттєвість відмінності дисперсій.

В роботах [13, 14] спільним недоліком цих наукових досліджень є те, що вимірювання значень подач здійснювали на невеликому проміжку переміщень $L_{\Pi} = n \cdot S$, мм/об., і при цьому не враховано точність передачі шестерня-рейка. В результаті отримані характеристики розсіювання подач: математичні сподівання $M(S)$ та дисперсії $D(S)$. Аналіз отриманих даних показав, що із збільшенням паспортних значень статичних подач – дисперсія їх розсіювання зростає. В роботі [15] запропоновано новий метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольно-фрезерних верстатів, у яких головний рух D_r кінематично зв'язаний з рухом подач D_s . В роботі [15] не

вказано як узгодити переміщення стола із частотою обертання фрез і не подано результатів апробації цього метода.

1.3. Висновки по розділу 1, постановка мети та задач дослідження

На основі аналізу поданого у роботі можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що точність кінематичних ланцюгів подач фрезерних верстатів, зокрема вертикально-фрезерних в науковій літературі висвітлена недостатньо.

2. При подачі паспортних значень подач фрезерних верстатів, подачі подають виходячи із детерміністських представлень, як постійні величини, не врахувавши що, значення подач формуються на основі кінематичних ланцюгів, елементи яких є випадковими величинами.

3. Здійснений аналіз параметрів шорсткості за стандартами різних країн: Україна, США і Німечина, Російська Федерація та доступних літературних джерел показав, що існуючі параметри шорсткості зокрема R_z і R_a мають суттєві недоліки, які не дають можливості їх використання для пояснення процесів контактування поверхонь.

4. Подані геометричні і математичні моделі шорсткості не враховують стохастичності подач як одного із головних елементів режиму різання, що формує шорсткість.

5. Недостатньо висвітлено конструкції торцевих фрез, які б могли б забезпечити комбіновані чорнові і чистові процеси фрезерування та підвищити продуктивність.

Мета роботи: Імовірно-статистичний метод оцінювання точності кінематичних ланцюгів подач фрезерних верстатів.

Для виконання поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

7. Здійснити огляд та аналіз проблематики точності кінематичних ланцюгів подач вертикально фрезерних верстатів загального призначення.

8. Здійснити інформаційно-патентний пошук.

9. Розробити геометричні та математичні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої на вертикально фрезерному верстаті.

10. Розробити метод визначення статистичних характеристик шорсткості за параметром R_z з врахуванням стохастичності подач на 1 зуб фрези.
11. Розробити новий спосіб вимірювання шорсткості плоских поверхонь сформованих напівчистовим і чистовим фрезеруванням.
12. Запропонувати нову конструкцію торцевої фрези створену на базі розроблених геометрично-математичних моделях шорсткості.

2. ГЕОМЕТРИЧНІ І МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ШОРСТКОСТІ ПЛОСКОЇ ПОВЕРХНІ СФОРМОВАНОЇ НА ВЕРТИКАЛЬНО – ФРЕЗЕРНОМУ ВЕРСТАТІ

2.1. Геометрична і математична моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої гострозаточеними зубами фрез

Згідно існуючої класифікації, за кінематичними признаками, процес фрезерування торцевими і циліндричними фрезами відноситься до III класу, який реалізується одним обертовим головним D_r рухом інструменту і одним допоміжним поступальним прямолінійним рухом перпендикулярним до нормалі траєкторії руху вершини зубів фрези.

Враховуючи, що при чистовій обробці хвилинна подача $S \text{ мм/хв} \leq 80 - 100 \text{ мм/хв}$, а швидкість різання $V = 200 \text{ мм/хв}$, швидкість подачі складає $V = (0,004 - 0,005)$, тобто малу величину третього ряду у геометричних моделях траєкторію руху вершини зуба фрези, представимо, як коло відповідного радіусу.

При постійних значеннях $D_r = \text{const}$ і $D_s = \text{const}$ товщина зрізаного шару по головному кутові фрези (як торцевої так і циліндричної) змінюється в принципі від 0 до $S_z - \sin \varphi$ (тут, S_z - подача на зуб фрези, тобто переміщенню заготовки за час її повороту на кутовий крок, φ - головний кут в плані зуба фрези).

Висотні параметри шорсткості при торцевому фрезеруванні є аналогічним, як при струганні, тобто коли діаметр фрези $D_{fp} \rightarrow \infty$, а обертовий рух D_r внаслідок збільшення D_{fp} і зменшенню кривизни траєкторії вершини зуба фрези і прямування її до траєкторії – прямолінійності.

Завдячуючи реалізації в процесі фрезерування двох рухів D_r і D_s , причому подача $S - z$ величина випадкова, а також наявності торцевого і радіального биття вершин зубів торцевої фрези, пружних і пластичних деформацій в зоні формування обробленої поверхні, а також систематичність геометричних параметрів торцевої фрези : головного і допоміжного в плані кутів, відповідно

φ і φ' , фізично – механічних характеристик оброблюваного металу, оброблена поверхня формується певного профілю і рельєфу з певними випадковими характеристиками шорсткості : середнім арифметичним відхиленням профілю R_a і висотою нерівностей профілю за десятьма точками R_z [16]

На основі вище викладеного, враховуючи, незначний вплив інших факторів, окрім S мм/об, φ_{\max} і φ_{\min} запропонована геометрична модель шорсткості плоскої поверхні сформованої торцевою гострозаточеною фрезою ($V = 0$), де V – радіус при вершині зуба фрези, яка подана на рисунку 2.1.

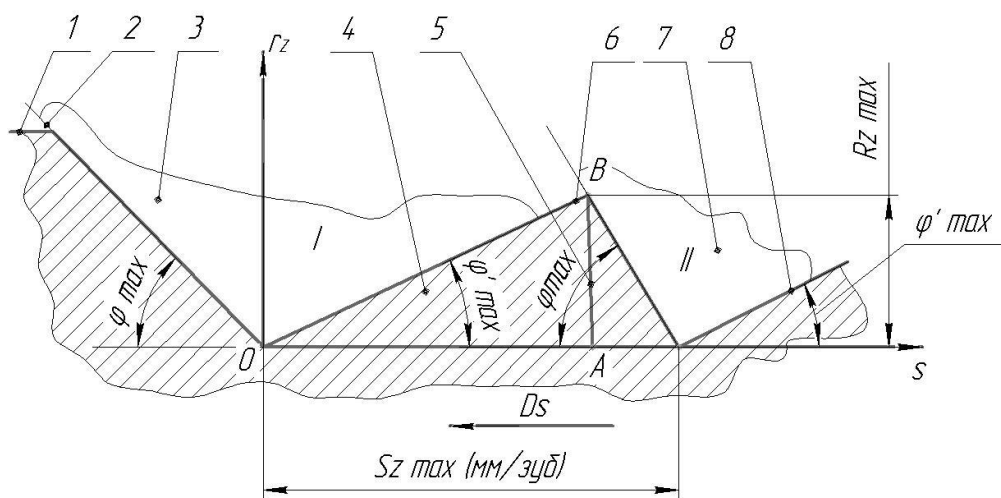


Рис. 2.1 Схематичне зображення фрагмента шорсткості геометричною моделлю при торцевому фрезеруванні за параметрами Rz_{\max} , φ_{\max} і φ'_{\max}

На рис. 2.1 зображено: 1 – оброблювана плоска поверхня деталі; 2 і 6 – відповідно головні різальні кромки першого I (попереднього) і другого (наступного) зубів торцевої фрези; 3 і 7 – відповідно передні поверхні попереднього та наступного зубів торцевої фрези; 4 і 8 – відповідно допоміжні різальні кромки I і II зубів торцевої фрези; 5 – максимальна висота мікронерівності Rz_{\max} .

Висота АВ профілю (рис. 2.1) схематично зображає масимальну висоту нерівності $H_{\max} \approx Rz_{\max}$.

Знайдемо велечину АВ, розв'язавши систему рівнянь які описують прямі ОВ і ВС і визначивши ординату В, отримаємо велечину $AB = Rz_{\max}$.

Рівняння прямої ОВ буде мати вигляд:

$$r_z = \tan \varphi'_{max} \cdot s \quad (2.1)$$

де: s – біжуча координата $0 \leq s \leq S_{z\ max}$

$$S_{z\ max} = \bar{S}_z + 3\sigma(S_z) \quad (2.2)$$

де: \bar{S}_z – середнє значення подачі на 1 зуб;

$3\sigma(S_z)$ – середнє квадратичне відхилення велечин s .

Рівняння прямої ВС записується наступним виглядом:

$$r_z = -\tan \varphi_{max} \cdot (s - S_{z\ max}) \quad (2.3)$$

тоді

$$\begin{cases} r_z = \tan \varphi'_{max} \cdot s \\ r_z = -\tan \varphi_{max} \cdot (s - S_{z\ max}) \end{cases} \quad (2.4)$$

Розв'язавши систему рівнянь (7), отримаємо

$$\tan \varphi'_{max} \cdot s = -\tan \varphi_{max} \cdot s + \tan \varphi_{max} \cdot S_{z\ max}$$

звідки

$$s = \frac{\tan \varphi_{max} \cdot S_{z\ max}}{\tan \varphi'_{max} + \tan \varphi_{max}} \quad (2.5)$$

Ординату точки В тобто $R_{z\ B} = r_{z\ max}$ отримаємо підставивши у рівняння (2.3) значення s (2.5).

$$R_{z\ B} = R_{z\ max} = \frac{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \cdot S_{z\ max}}{\tan \varphi'_{max} + \tan \varphi_{max}} \quad (2.6)$$

Врахувавши, що $\varphi'_{max} = \bar{\varphi}' + 3\sigma(\varphi')$, а $\varphi_{max} = \bar{\varphi} + 3\sigma(\varphi)$, $\bar{\varphi}'$ і $\bar{\varphi}$ – відповідно середні значення допоміжного кута в алані і головного кута в плані, а $3\sigma(\varphi')$ і $3\sigma(\varphi)$ – відповідно середні квадратичні відхилення допоміжного і головного кутів різця в плані. Підставивши значення φ'_{max} і φ_{max} у (2.6) отримаємо

$$R_{z\ max} = \frac{\tan[\bar{\varphi}' + 3\sigma(\varphi')] \cdot \tan[\bar{\varphi} + 3\sigma(\varphi)] \cdot S_{z\ max}}{\tan \tan[\bar{\varphi}' + 3\sigma(\varphi')] + \tan[\bar{\varphi} + 3\sigma(\varphi)]} \quad (2.7)$$

$$r_z = \tan \varphi'_{max} \cdot s \quad 0 \leq s \leq \frac{\tan \varphi_{max} \cdot S_{z\ max}}{\tan \varphi'_{max} + \tan \varphi_{max}}$$

$$r_z = \tan \varphi_{max} \cdot s \quad \frac{\tan \varphi_{max} \cdot S_z}{\tan \varphi'_{max} + \tan \varphi_{max}} \leq s \leq S_{z\ max}$$

Використавши (6) для фіксованих значень $\bar{\varphi}'_i = 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ; 25^\circ$, та $\bar{\varphi}_i = 35^\circ; 45^\circ; 55^\circ; 60^\circ$ і відповідно середньоквадратичних відхилень $\sigma(\varphi')$ при коефіцієнті варіації $K_v = 0,15 - \sigma(\varphi') = 1,5; 2,25; 3,0; 3,75$, та $\sigma(\varphi) = 5,25; 6,75; 8,25; 9,0$, визначили значення $\varphi'_{i \max}$; $\varphi_{i \max}$; $\tan \varphi_{i \max}$ та $R_{z \max}$, які подані у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 Максимальні розрахункові значення параметра шорсткості $R_{z i \max}$ в залежності від максимального головного кута в плані $\varphi_{i \max}$ при заданих максимальних значеннях допоміжного кута в плані $\varphi'_{i \max}$

Математичне значення допоміжного кута в плані $\varphi'_{i \max}$	Значення $\varphi_{i \max}$			
	50°16'	65°48'	79°46'	87°27'
	Значення $\tan \varphi_{i \max}$			
	1,2031	2,2251	5,5392	22,4541
Значення параметра $R_{z \max}$, МКМ				
14°30'	3,7	3,9	4,2	4,3
21°45'	5,1	5,7	6,3	6,7
29°00'	6,5	7,5	8,5	9,2
36°15'	7,8	9,3	11,0	12,1

На рисунку 2.2 подані графіки залежності $R_{z i \max} = \psi(\varphi_{i \max})$ при фіксованих значеннях $\varphi'_{i \max}$.

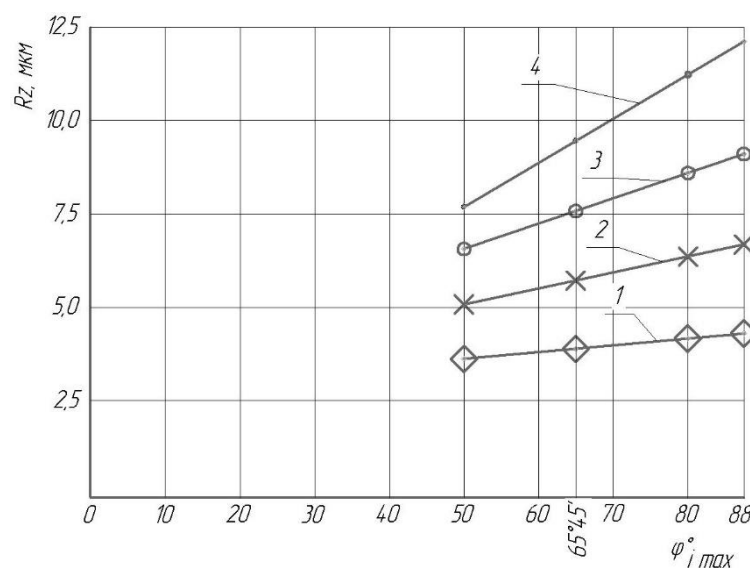


Рис. 2.2 Графіки залежностей $R_{z \max}$ від $\varphi_{i \max}$, при фіксованих значеннях $\varphi'_{i \max}$: $\varphi'_{1 \max} = 14^\circ 30'$; $\varphi'_{2 \max} = 21^\circ 45'$; $\varphi'_{3 \max} = 29^\circ 00'$; $\varphi'_{4 \max} = 36^\circ 15'$

Залежності $R_{z i \max} = \psi(\varphi'_{i \max})$ на проміжку $14^{\circ}30' \leq \varphi'_{\max} \leq 36^{\circ}15'$ описуються наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} R_{z 1 \max} &= 0,096 \cdot \varphi_{\max} + 3,7 \\ R_{z 2 \max} &= 0,205 \cdot \varphi_{\max} + 5,1 \\ R_{z 3 \max} &= 0,328 \cdot \varphi_{\max} + 6,5 \\ R_{z 4 \max} &= 0,589 \cdot \varphi_{\max} + 7,8 \end{aligned} \right\} 50^{\circ}16' \leq \varphi_{\max} \leq 87^{\circ}27' \quad (2.8)$$

Аналіз системи (7) рівнянь показує, що на проміжку зміни максимального допоміжного кута в плані φ'_{\max} $14^{\circ}30' \leq \varphi'_{\max} \leq 36^{\circ}15'$ залежність $R_{z i \max} = \psi(\varphi_{i \max})$ можна прийняти як прямопропорційна з різною інтенсивністю приросту по мірі зростання величини $\varphi'_{i \max}$.

2.2. Геометричні і математичні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованою радіусними скругленнями вершинами зубів фрези

При використанні торцевих фрез з радіусними r скругленнями скругленнями вершинами зубів фрези формується шорскість поверхні, яка у нормальному перетині подається профілем із спряжень дуг кіл і нахмлених прямих та певними кутами, які є проєкціями допоміжної і головної різальних кромок.

Схематичне зображення геометричної моделі шорсткості сформованої торцевою фрезою із радіусними варшинами подано на рисунку 2.3.

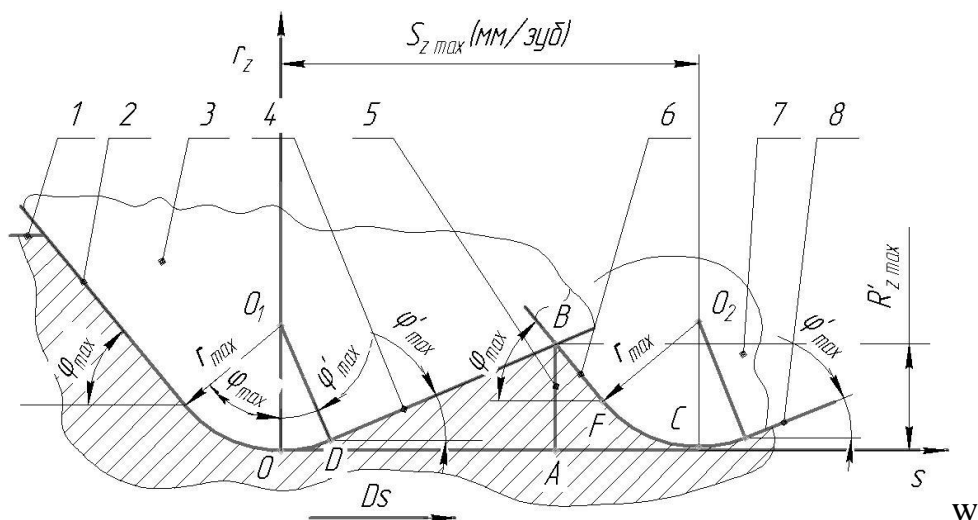


Рис. 2.3 Схематичне зображення геометричної моделі шорсткості за параметром $R_{z \max}$ сформованої торцевою фрезою з рівнорозміщеними по колу зубами з вершинами радіусом $r_{\max} < S_z$ в системі координат $so r_z$.

На рисунку 2.3 зображено: 1 – оброблювана плоска поверхня; 2 і 6 – відповідно положення головних різальних кромки першого 3 і другого 7 (наступного) зубів фрези після повороту її на один кутовий крок ; 4 і 8 – відповідно положення при переміщенні заготовки на величину подачі на 1 зуб допоміжних різальних кромки першого 3 і другого 7 зубів фрези; 5 – максимальна висота мікронерівності профіля $R_{z\ max}$, сформована радіусними зубами торцевої фрези.

Профіль мікронерівностей поверхні сформованої токоюфрезою подається як спряження дуги OD радіусом r_{max} з прямою DB, що відображає допоміжну різальну кромку і спряження дуги CF радіусом r_{max} з прямою FB, що відображає головну різальну кромку з перетином цих прямих DB і FB у точці B, ордината якої є максимальна висота мікронерівності, тобто $AB = R_{z\ max}$.

ODBFC математичну модель профіля мікронерівностей можна подати системою рівнянь, які згідно із рис. 2.3 будуть описувати: дугу OD; пряму DB; пряму BF і дугу FC.

Рівняння дуги OD (рис. 2.3) у системі координат $r_z OS$ буде мати вигляд:

$$s^2 + r_z^2 - 2r_z \cdot r_{max} \quad 0 \leq s \leq r_{max} \sin \varphi'_{max}$$

Кординати точки D будуть:

$$\text{абсциса } s_D = r_{max} \cdot \sin \varphi'_{max};$$

$$\text{ордината } r_{zD} = r_{max}(1 - \sin \varphi'_{max}).$$

Рівняння прямої BD. При відомому її кутовому коефіцієнтові $K_{DB} = \tan \varphi'_{max}$, яка проходить через точку D буде мати вигляд:

$$r_z = r_{max} + r_{max} \cdot \sin \varphi'_{max} (1 - \sin \varphi'_{max}) - \tan \varphi'_{max} \cdot s = 0 \quad (2.9)$$

Рівняння дуги CF аналогічно попередньому подано у вигляді:

$$s^2 - 2sS_z + S_z^2 + r_z^2 - 2r_z \cdot r_{max} = 0; \quad S_z - r_{max} \cdot \sin \varphi_{max} < s \leq S_z \quad (2.10)$$

Визначимо координату точки F:

$$\text{абсцису } s_F = S_z - r_{max} \cdot \sin \varphi_{max};$$

$$\text{ордината } r_{zF} = r_{max}(1 - \cos \varphi_{max}).$$

Врахувавши, що пряма BF має кутовий коефіцієнт $K_{BF} = -\tan \varphi_{max}$ і знаючи координати точки F, отримаємо рівняння прямої BF, як прямої, що проходить через відому точку з певним кутовим коефіцієнтом.

$$r_z - r_{max}(1 - \cos \varphi_{max}) + \tan \varphi_{max} (s - S_z + r_{max} \cdot \sin \varphi_{max}) = 0 \quad (2.11)$$

Розв'язавши систему рівнянь, що описують прямі DB і BF:

$$\begin{cases} r_z - r_{max} + r_{max} \cdot \sin \varphi'_{max} (1 + \tan \varphi'_{max}) - \tan \varphi'_{max} \cdot s = 0 & (2.12) \\ r_z - r_{max}(1 - \cos \varphi_{max}) + \tan \varphi_{max} (s - S_z + r_{max} \cdot \sin \varphi_{max}) = 0 & (2.13) \end{cases}$$

Отримаємо координати точки В:

абсцису точки В:

$$s_B = \frac{r_{max}(1 - \cos \varphi_{max}) + \tan \varphi_{max}(S_z + r_{max} \cdot \sin \varphi_{max}) + \tan \varphi'_{max} r_{max}}{\tan \varphi'_{max} + \tan \varphi_{max}} + \frac{\sin \varphi'_{max} + r \cdot (1 - \cos \varphi'_{max})}{\tan \varphi'_{max} + \tan \varphi_{max}}; \quad (2.14)$$

ординату точки В, r_{zB} , яка буде дорівнювати максимальному значенню R_{zmax} :

$$R_{zmax} = r_{max}(1 - \cos \varphi'_{max}) - \tan \varphi'_{max} r_{max} \cdot \sin \varphi'_{max} + \frac{\tan \varphi'_{max} [r_{max}(1 - \cos \varphi_{max}) + \tan \varphi_{max} \cdot S_z - \tan \varphi_{max} \cdot r_{max} \cdot \sin \varphi_{max}]}{\tan \varphi'_{max} + \tan \varphi_{max}} + \frac{\tan \varphi'_{max} r_{max} \cdot \sin \varphi'_{max} - r_{max}(1 - \cos \varphi'_{max})}{\tan \varphi'_{max} + \tan \varphi_{max}} \quad (2.15)$$

Таким чином математична модель профіля шорсткості поверхні поверхні за параметром R_z , сформованої торцевою фрезою із заокругленими вершинами радіусом r_{max} зубів фрези буде мати вигляд:

$$\begin{cases} s^2 - r_z^2 - 2r_z \cdot r_{max} = 0 & 0 \leq s \leq r_{max} \sin \varphi'_{max} \\ r_z = r_{max}(1 - \cos \varphi'_{max}) + \tan \varphi'_{max} (s - r_{max} \cdot \sin \varphi_{max}) & r_{max} \sin \varphi'_{max} \leq s \leq s_B \\ r_z = r_{max}(1 - \cos \varphi_{max}) - \tan \varphi_{max} (s - S_z + r_{max} \cdot \sin \varphi_{max}) & s_B \leq s \leq S_z - r_{max} \cdot \sin \varphi_{max} \\ (s - S_z)^2 - 2r_z \cdot r_{max} + r_{max} = 0 & S_z - r_{max} \cdot \sin \varphi_{max} \leq s \leq S_z \end{cases} \quad (2.16)$$

2.3. Геометричні моделі шорсткості плоскої поверхні сформованої гострозаточеною торцевою фрезою ($r=0$) удосконаленої конструкції

Аналіз геометричної моделі шорсткості плоскої поверхні, сформованої торцевою гострозаточеною фрезою ($r=0$) традиційної конструкції (з рівномірно розміщеними по колу зубами фрези) виявив можливість зменшити величину

параметра R_z шляхом удосконалення конструкції торцевої фрези. Суть модернізації фрези аолягає в тому, щоб між двома рівномірно розміщеними зубами торцевої фрези розмістити ще один зуб з певними відкоригованими геометричними параметрами і яка ілюструється на рисунку 2.4.

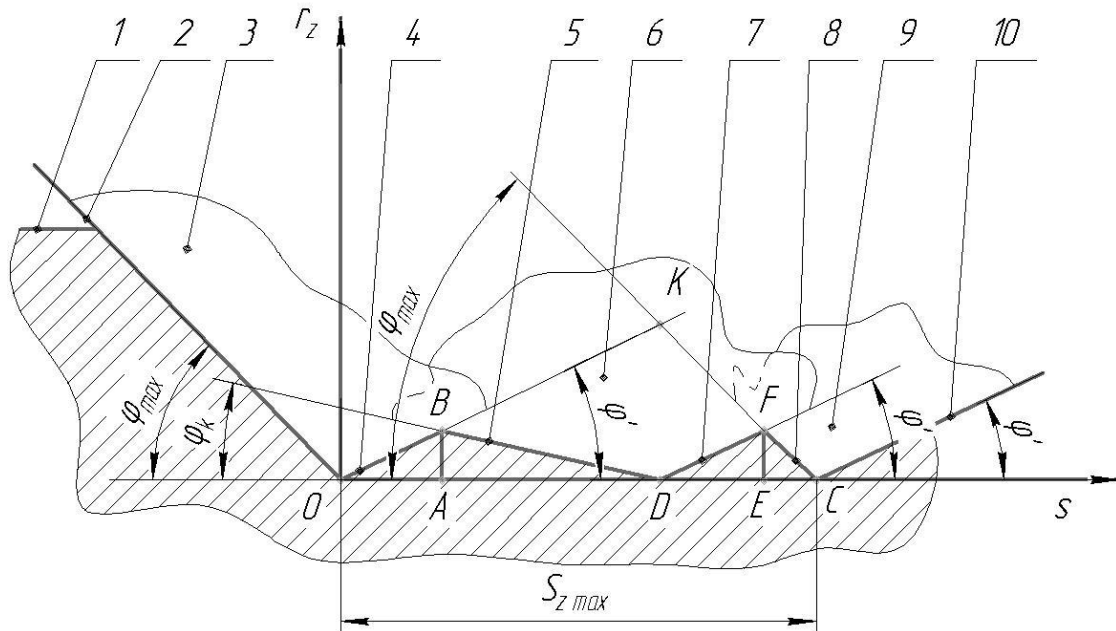


Рис. 2.4 Схематичне зображення фрагмента шорсткості плоскої поверхні геометричною моделлю сформованою торцевою фрезою удосконаленої конструкції

На рисунку 2.4 зображено: 1 – оброблена плоска поверхня; 2 і 8 – відповідно головні різальні кромки першого 3 і другого 9 рівномірно розміщених по колу зубів фрези; 4 і 10 – допоміжні різальні кромки першого 3 і другого 9 зубів фрези; 5 і 7 – відповідно головна і допоміжна різальні кромки проміжного чистового різця 6. Відривки $AB=EF$ ілюструють максимальну величину шорсткості $R_{z\ max}$.

Геометрична модель шорсткості плоскої поверхні ілюструється геометричною фігурою $OBDFCEDA$. Для реалізації цієї моделі необхідно модернізувати торцеву фрезу, а саме визначити положення вершин проміжного чистового різця (зуба), а також визначити скориктовану величину головного кута в плані φ_k проміжного різця 6.

Математична модель шорсткості схематично зображеної на рисунку 6 у вигляді ломаної кривої лінії з 2-3 вершинами і виражається системою рівнянь прямих ліній OB ; BD ; DF ; і FC у системі координат sor_z . Окрім цього для кожного рівняння певної прямої встановлюють обмеження подачі на зуб S_z . За функцією мети приймемо мінімальне значення параметра $r_z \min$, тобто ординату однієї або декількох точок найменш віддалених від осі os .

У нашому випадку (рис. 2.4) це буде ордината точки $F - r_z F$. Шляхом корекції головного кута в плані φ_k на проміжному різці (зубі фрези) 6 забезпечуємо величину ординати в точці $B - r_z B$ рівну величині $r_z F$.

Використавши рисунок 2.4 запишемо рівняння прямої лінії OB :

$$r_{z OB} = \tan \varphi'_{max} \cdot s \quad (2.18)$$

де: $\tan \varphi'_{max}$ - кутовий коефіцієнт прямої OB ;
 φ'_{max} - максимальний допоміжний кут різця (зуба фрези) в плані;
 s - біжуче значення подачі на зуб фрези.

$$\varphi'_{max} = \varphi' + 3\sigma(\varphi') \quad (2.19)$$

де: φ' - середнє значення допоміжного кута в плані;
 $\sigma(\varphi')$ - середнє квадратичне відхилення кута φ' .

Рівняння прямої лінії FC , при відомих координатах точки $C (S_z, 0)$ і кутового коефіцієнта $K_{FC} = -\tan \varphi_{max}$, де φ_{max} - максимальне значення головного кута в плані і кута $\varphi - \varphi_{max} = \bar{\varphi} + 3\sigma(\varphi)$, тут $\sigma(\varphi)$ - середнє квадратичне відхилення головного кута в плані. Запишеться у вигляді:

$$r_{z FC} = -\tan \varphi_{max} (s - S_{z max}) \quad (2.20)$$

Врахувавши, що DK ордината точки K , а з вищевикладеного:

$$DK = r_{z K} = \frac{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \cdot S_{z max}}{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max}} \quad (2.21)$$

Знайдемо величину

$$OD = r_{z K} \cdot \cot \varphi'_{max} = \frac{\tan \varphi_{max} \cdot S_{z max}}{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max}} \quad (2.22)$$

Визначемо абсцису точки

$$D - s_O = S_{z max} - OD$$

Координати точки D будуть: абсциса s_D дорівнюватиме абсцисі точки B ;

ордината $r_{zD} = 0$. Абсцису точки К (рис. 2.4) визначемо, врахувавши те, що

$$DK = R_{zB} = \frac{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \cdot S_{zmax}}{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max}} \cdot \tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \quad (2.23)$$

тоді

$$OD = DK \cdot \cot \varphi'_{max} = \frac{\tan \varphi_{max} \cdot S_{zmax}}{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max}} \quad (2.24)$$

Отримаємо рівняння прямої DF:

$$r_{zDF} = \tan \varphi'_{max} \left(s - \frac{\tan \varphi_{max} \cdot S_{zmax}}{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max}} \right) \quad (2.25)$$

Рівняння прямої BD запишемо як рівняння прямої, що проходить через задані точки: В і D. Необхідно відзначити, що ордината точки В рівна ординаті точки F, тобто $r_{zB} = r_{zF}$. Ординату r_{zB} визначемо розв'язавши систему рівнянь прямих: FC і DF:

$$\begin{cases} -\tan \varphi_{max} (s - S_{zmax}) \\ r_{zDF} = \tan \varphi'_{max} \left(s - \frac{\tan \varphi_{max} \cdot S_{zmax}}{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max}} \right) \end{cases}$$

і визначивши абсцису точки F – s_F , яка дорівнює абсцисі точки E – s_F

$$\begin{aligned} & s(\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max}) = \\ & = \frac{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \cdot S_{zmax} + \tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \cdot S_{zmax} + \tan^2 \varphi_{max} \cdot S_{zmax}}{\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max}} \\ & s_F = s_E = \frac{2 \tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \cdot S_{zmax} + \tan^2 \varphi_{max} \cdot S_{zmax}}{(\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max})^2} \quad (2.26) \end{aligned}$$

Знайдемо із ΔFEC ординату точки F, тобто r_{zF} , яка дорівнює ординаті точки В, тобто $r_{zF} = r_{zB}$.

$$\frac{EF}{OC - OE} = \tan \varphi_{max}$$

$$\begin{aligned} AB = r_{zB} = EF = r_{zF} = \\ = \left[S_{zmax} - \frac{2 \tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \cdot S_{zmax} + \tan^2 \varphi_{max} \cdot S_{zmax}}{(\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max})^2} \right] \tan \varphi_{max} \quad (2.27) \end{aligned}$$

З ΔOAB (рис. 2.4) визначемо абсцису точки В – AO .

$$\frac{AO}{AB} = \cot \varphi_{max}; \quad AO = AB \cdot \cot \varphi_{max}$$

Абсциса точки В

$$s_B = \left[S_{z \max} - \frac{2 \tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max} \cdot S_{z \max} + \tan^2 \varphi_{\max} \cdot S_{z \max}}{(\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max})^2} \right] \quad (2.28)$$

Рівняння прямої ОВ матиме вигляд

$$r_{zOB} = \tan \varphi'_{\max} \cdot \left[s - \left[S_{z \max} - \frac{2 \tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max} \cdot S_{z \max} + \tan^2 \varphi_{\max} \cdot S_{z \max}}{(\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max})^2} \right] \right] \quad (2.29)$$

Рівняння прямої ВD при відомих координатах точки В (r_{zB} ; s_B) можемо записати, як рівняння прямої що проходить через задану точку і з певним кутовим коефіцієнтом $K = -\tan \varphi_K$, тут φ_K – головний кут в плані проміжного різця. Значення К виражається із залежності $\tan \varphi_K = \frac{r_{zB}}{AD} = \frac{r_{zB}}{OD - AO}$.

Взявши до уваги, що

$$DK = r_{zB} = \frac{\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max} \cdot S_{z \max}}{\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max}}$$

і $\angle BOA = \varphi'$, визначемо довжину сторони $OD \triangle OKB$.

$$\frac{OD}{DK} = \cot \varphi'_{\max},$$

звідки

$$OD = \frac{\tan \varphi_{\max} \cdot \cos \varphi'_{\max} \cdot S_{z \max}}{\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max}}. \quad (2.30)$$

Врахувавши вищеподане, отримаємо:

$$AD = \frac{\tan \varphi_{\max} \cdot \cos \varphi'_{\max} \cdot S_{z \max}}{\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max}} - \left[S_{z \max} - \frac{2 \tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max} \cdot S_{z \max} + \tan^2 \varphi_{\max} \cdot S_{z \max}}{(\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max})^2} \right] \quad (2.31)$$

Тоді кутовий коефіцієнт прямої ВD буде дорівнювати:

$$K_{BD} = \tan \varphi_K = \frac{\left[S_{z \max} - \frac{2 \tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max} \cdot S_{z \max} + \tan^2 \varphi_{\max} \cdot S_{z \max}}{(\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max})^2} \right] \cdot \tan \varphi_{\max}}{\frac{\tan \varphi_{\max} \cdot \cos \varphi'_{\max} \cdot S_{z \max}}{\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max}} - \left[S_{z \max} - \frac{2 \tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max} \cdot S_{z \max} + \tan^2 \varphi_{\max} \cdot S_{z \max}}{(\tan \varphi'_{\max} \cdot \tan \varphi_{\max})^2} \right]} \quad (2.33)$$

Рівняння прямої ВD опишеться залежністю такого вигляду:

$$r_{zBD} - r_{zB} = K_{BD} (s - s_b)$$

Введемо позначення:

$$2 \tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} \cdot S_{z max} = C_1;$$

$$\tan^2 \varphi_{max} \cdot S_{z max} = C_2;$$

$$\tan \varphi_{max} \cdot \cos \varphi'_{max} \cdot S_{z max} = C_3;$$

$$\tan \varphi'_{max} \cdot \tan \varphi_{max} = C_4$$

З врахуванням позначень залежність (2.33) набуде вигляду:

$$\tan \varphi_K = = \frac{\left[S_{z max} - \frac{C_1 + C_2}{C_4} \right] \cdot \tan \varphi_{max}}{\frac{C_3}{C_4} - \left[S_{z max} - \frac{C_1 + C_2}{C_4} \right]}$$

З врахуванням позначень залежність (2.33), що описує кутовий коефіцієнт прямої BD набуде вигляду:

$$K_{BD} = \tan \varphi_K = = \frac{\left[S_{z max} - \frac{C_1 + C_2}{C_4} \right] \cdot \tan \varphi_{max}}{\frac{C_3 \cdot S_{z max}}{C_4} - \left[S_{z max} - \frac{C_1 \cdot C_2}{C_4} \right]} \quad (2.34)$$

Маючи рівняння прямих AB; BD; DF; FC (рис. 6) шорсткості і певні обмеження за елементом різання подачею подану математичну модель такого профілю у наступному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{z OB} = \tan \varphi'_{max} \cdot s \\ r_z = \tan \varphi'_{max} \left[s - \left[S_{z max} - \frac{C_1 + C_2}{C_4} \right] \right] \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq s \leq \frac{\left[S_{z max} - \frac{2C_1 + C_2}{C_4} \right] \cdot \tan \varphi_{max}}{\frac{C_3}{C_4} - \left[S_{z max} - \frac{C_1 + C_2}{C_4} \right]} \\ 0 \leq s \leq \frac{\left[S_{z max} - \frac{2C_1 + C_2}{C_4} \right] \cdot \tan \varphi_{max}}{\frac{C_3}{C_4} - \left[S_{z max} - \frac{2C_1 + C_2}{C_4} \right]} \end{array} \right.$$

2.4 Висновки по розділу 2

1. Вперше на вертикально-фрезерному верстаті отримано аналітичні залежності які описують профіль шорсткості плоскої поверхні сформованої гострозаточеними зубами торцевих фрез.
2. Отримані залежності $R_{zi\max} = \psi(\varphi'_{i\max})$, на основі яких побудовані графіки, які у певних границях $14^{\circ}30' \leq \varphi'_{\max} \leq 36^{\circ}15'$ можна подавати як лінійні.
3. Вперше отримані аналітичні залежності у певних границях зміни подачі, які описують профіль шорсткості плоскої поверхні сформованої радіусними скругленнями вершин зубів традиційної торцевої фрези.
4. Запропоновані геометричні і математичні моделі шорсткості поверхні сформованої гострозаточеною торцевою фрезою удосконаленої конструкції, для випадку коли, допоміжний кут в плані зуба фрези - φ'_{\max} .

3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Спосіб вимірювання шорсткості плоских поверхонь сформованих напівчистовим і чистовим торцевим фрезеруванням

Передбачувана (ний) корисна модель (винахід) відноситься до машинобудування для визначення якісних показників плоских поверхонь, сформованих напівчистовим і чистовим торцевим симетричним і асиметричним фрезеруванням зокрема для встановлення достовірних даних таких стандартизованих параметрів шорсткості як середнє арифметичне відхилення профілю Ra і висоти нерівностей профіля за десятьма точками Rz .

Відомий безконтактний оптичний метод вимірювання шорсткості при якому використовують подвійний мікроскоп, наприклад МИС-11, у якого світловий потік (пучок) проходить через вузьку щілину і направляється у об'єктив, який утворює на досліджуваній поверхні контрольованої деталі, щілину, яка являє собою вузьку світлову стрічку і під впливом мікронерівності поверхні ця світлова стрічка викривляється у відповідності із формою цих мікронерівностей і утворює світловий переріз профілю поверхні, який проектується у фокусну площину окуляра і величину шорсткості визначають візуально з використанням або мікрометра, або фотоелектричним методом [17].

Недоліком безконтактного оптичного метода є невелике поле зазору, яке не в стані охопити встановлену базову довжину і тому шорсткість вимірюють на ділянці, довжина якої менша ніж базова довжина, що призводить до зниження достовірності отриманих результатів.

Відомий контактний спосіб вимірювання шорсткості плоских поверхонь, при якому використовуються спеціальні щупові прилади, наприклад, профілометри, профілографи, або профілометри-профілографи, і здійснюють ощупування дослідної поверхні алмазною голкою, якій надають прямолінійне переміщення і при цьому голка і якір, що встановлені на опорі, отримують коливання відносно подвійного Ш-подібного сердечника з двома котушками перетворювача, що призводить до зміни індуктивності і вихідної напруги у

мостовій системі і цю змінну напругу подають на блок керування і обліково-розв'язуючий блок та на записуючий пристрій або на цифровий монітор [16].

Недоліком відомого контактного способу є те, що не вказано в якому напрямку по відношенню до профілю мікронерівностей вимірюють параметр шорсткості R_a , або отримують профілограми шорсткості для визначення параметра R_z а також не вказана необхідна кількість вимірювань для отримання достовірних результатів.

Найближчим за технічною новизною і суттю до заявленого є відоме технічне рішення, вимірювання шорсткості плоскої поверхні при якому величину шорсткості за параметрами R_a і R_z , вимірюють контактним методом у нормальному до номінальної досліджуваної поверхні, перерізі даного елемента деталі, шляхом надання алмазній голці вимірювального приладу переміщення із заданою швидкістю V у такому напрямі, при якому ця шорсткість має найбільше значення, як правило, поперек слідів обробки і для підвищення достовірності отриманих результатів, такі вимірювання здійснюють неоднократно і за остаточний результат приймають середнє значення [16].

Недоліком відомого найближчого за технічною новизною і суттю до заявленого є те, що однозначно не вказано напрямку вимірювань, адже вимірювання поперек слідів, це не завжди найбільше значення параметрів шорсткості R_a і R_z , а також і те, що при цьому не враховано стохастичності значень параметрів R_z і R_a і тому їх середні значення не можуть бути ґрунтовними оцінками шорсткості, так як окремі максимальні значення параметрів $R_{a\max}$ і $R_{z\max}$ можуть значно перевищувати визначені середні значення.

В основу передбачуваної корисної моделі (винаходу) поставлена задача удосконалення найбільш близького за технічною новизною і суттю технічне рішення і підвищення достовірності результатів при вимірюванні параметрів шорсткості R_a і R_z .

Поставлена задача вирішується тим, що величину шорсткості за параметрами R_a і R_z плоскої поверхні сформованої напівчистовим і чистовим торцевим симетричним і асиметричним фрезеруванням вимірюють контактним

методом у нормальному до номінальної досліджуваної поверхні, перерізі даного елемента деталі, шляхом надання алмазній голці вимірювального приладу переміщення із заданою швидкістю V у такому напрямі, при якому ця шорсткість має найбільші значення як правило, поперек слідів обробки і для підвищення достовірності отриманих результатів такі вимірювання здійснюють неоднократно і за остаточний результат приймають середнє значення, причому вимірювання здійснюють по спільній, для всіх траєкторій руху вершин зубів торцевої фрези, нормалі на кожній із 10-и базових довжин $l_1, l_2, l_3, \dots, l_{10}$ і отримують при цьому статистичні ряди значень параметрів шорсткості R_{ai} або R_{zi} , le $i = 1, 2, 3 \dots 9, 10$, і значення цих приймають як випадкові величини, і за методом ітерацій, із теорії малих вибірок, визначають математичні сподівання $M(R_a)$ або $M(R_z)$ та дисперсії $D(R_a)$ або $D(R_z)$ а за критерієм Греббса перевіряють на однорідність вибірки, тобто відсутність значень, які різко виділяються, і за критерієм W перевіряють значення R_{ai} та R_{zi} на відповідність нормальному закону розподілу і за остаточний результат приймають максимальні значення R_{amax} , R_{zmax} , які визначають за формулами $R_{amax} = M(R_a) + 3\sqrt{D(R_a)}$, $R_{zmax} = M(R_z) + 3\sqrt{D(R_z)}$.

Сутність корисної моделі (винаходу) пояснюється кресленнями, на яких зображено: на. рисунку. 3.1 – схема вимірювання контактним способом шорсткості плоскої поверхні сформованої напівчистовим і чистовим торцевим симетричним і асиметричним фрезеруванням: на рисунку 3.2 – вид А на рисунку 3.1.

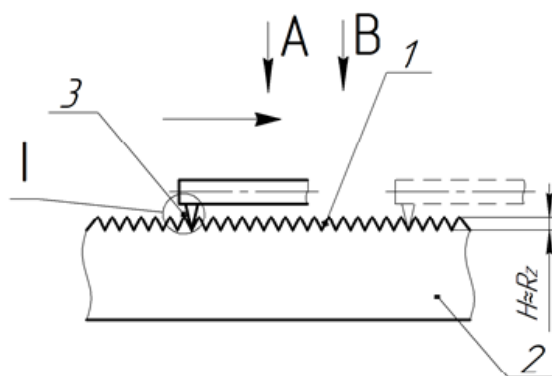


Рис. 3.1 – схема вимірювання контактним способом шорсткості плоскої поверхні

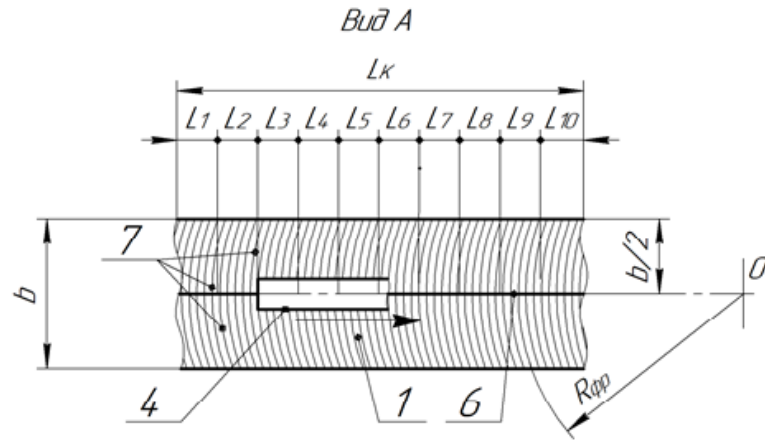


Рис. 3.2 вид А на рисунку 3.1.

На рисунку 3.3 – схема вимірювання шорсткості із збільшеним фрагментом профіля досліджуваної поверхні.

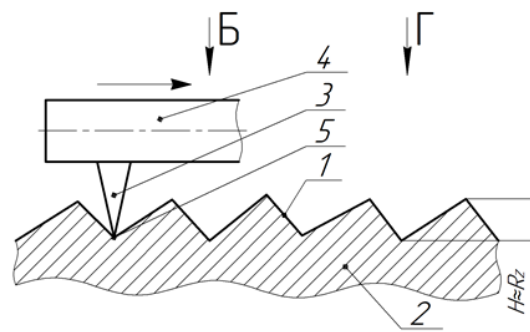


Рис. 3.3 Схема вимірювання шорсткості

На рисунку 3.4 вид Б рисунка 3.3 для шорсткості сформованої симетричним торцевим фрезеруванням.

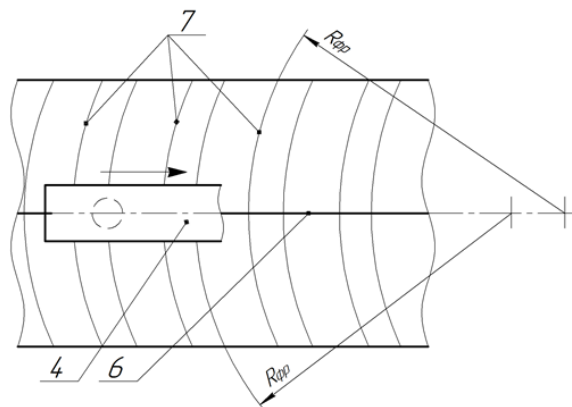


Рис. 3.4 Вид Б на рисунку 3.3

На рисунку 3.5 – вид В на рисунку 3.1 для шорсткості сформованої асиметричним торцевим фрезеруванням.

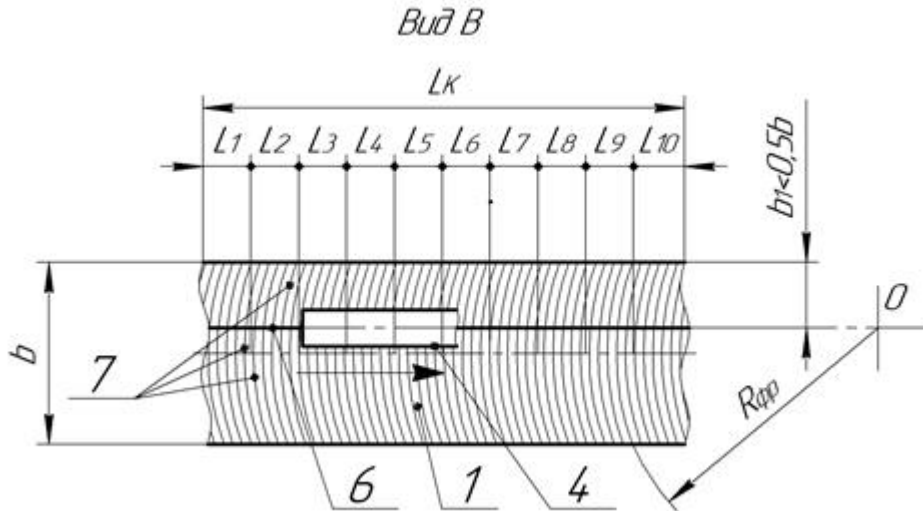


Рис. 3.5 Вид В на рисунку 3.1

На рисунку 3.6 – вид Г на рисунку 3.3 для шорсткості сформованої асиметричним торцевим фрезеруванням із збільшеним фрагментом профіля досліджуваної поверхні.

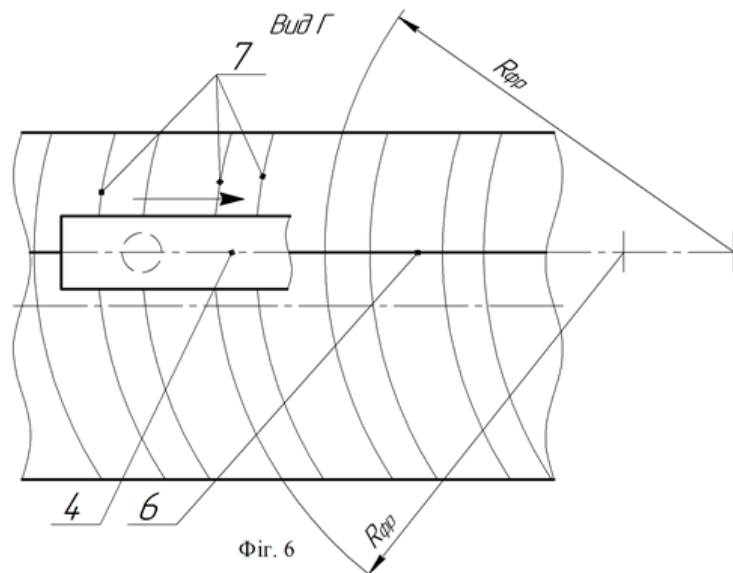


Рис. 3.6 Вид Г на рисунку 3.3

Спосіб реалізується наступним чином. До досліджуваної поверхні 1 (рис. 3.1 і рис. 3.3) деталі 2 підводять, забезпечуючи постійний контакт, алмазну голку 3, закріплену на штокові 4 профілометра-профілографа (на рис. не показано) так, щоб її вершина 5 (рис. 3.3) співпадала із спільною нормаллю 6, до траєкторій 7 (рис. 3.4, рис. 3.6) руху вершин зубів торцевої фрези (на рис. не показано).

Включають горизонтальне переміщення штока 4 (рис. 3.1, рис 3.6) і надають алмазній голці 3 (рис. 3.1, рис 3.3) вимірювального прилада (на рис. не показано) переміщення із заданою швидкістю V у такому напрямі, при якому ця шорсткість має найбільші значення, тобто вимірювання здійснюють по спільній нормалі 6 (рис. 3.2, рис 3.4, рис. 3.5, рис 3.6) для всіх траєкторій 7 (рис. 3.2, рис 3.4, рис. 3.5, рис 3.6) руху вершин зубів торцевої фрези (на рис. не показано). Такі вимірювання здійснюють на кожній із десяти базових довжин $l_1, l_2, l_3, \dots, l_{10}$ (рис. 3.2, рис 3.5) і визначають по 10 значень параметрів шорсткості а саме: середніх відхилень профіля – R_{ai} або висоти профіля за 10-ма точками – R_{zi} ($i = 1, 2, 3 \dots 9, 10$). Отримані значення цих параметрів R_{ai} та R_{zi} приймають як випадкові величини.

Використовують метод ітерацій [18] і визначають математичні сподівання $M(R_a)$ або $M(R_z)$ та дисперсії $D(R_a)$ або $D(R_z)$.

За критерієм Греббса перевіряють однорідність значень у вибірках, тобто наявність значень у вибірках, тобто наявність значень, які різко виділяються. У випадку появи таких значень, які різко виділяються. У випадку появи таких значень їх вилучають із вибірки і здійснюють додаткові вимірювання, забезпечуючи 10 значень у вибірці.

За критерієм W [20] перевіряють випадкові величини R_{ai} та R_{zi} на відповідність їх нормальному закону розподілу.

За остаточний результат приймають максимальні значення R_{amax} , R_{zmax} , які визначають за формулами $R_{amax} = M(R_a) + 3\sqrt{D(R_a)}$, $R_{zmax} = M(R_z) + 3\sqrt{D(R_z)}$.

Конкретний приклад використання запропонованого способу. Апробація способу відбулась в лабораторії «Технічні вимірювання» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Як об'єкт дослідження використали плоску сформовану торцевим симетричним фрезеруванням поверхню стандартизованого дослідного зразка шорсткості.

За паспортом дослідного зразка шорсткості параметр $Ra = 0.8$ мкм. Відповідно до процедури реалізації запропонованого способу, на плоскій поверхні зразка по спільній нормалі до траєкторій, утворених вершинами різців торцевої фрези, використавши профілометр визначили 10 значення

R_{ai} ($i = 1, 2, 3 \dots 9, 10$) і отримали статистичний ряд значень R_{ai} (мкм):

0,71; 0,68; 0,73; 0,76; 0,70; 0,81; 0,73; 0,78; 0,74; 0,77.

Використавши метод ітерації [18], визначили: математичне сподівання $M(R_a) = 0,741$ мкм, дисперсію $D(R_a) = 1,109 \times 10^{-3}(\text{мкм})^2$, а також середнє квадратичне відхилення $\sigma(R_a) = 0,0375$ (мкм).

За критерієм Греббса перевірили однорідність значень R_{ai} у виборці, тобто наявність значень, які різко відділяються. Для цього визначали розрахункові значення критерія t_k за формулами:

$$t_{k1} = \frac{|R_{a_{min}} - M(R_a)|}{\sigma}; t_{k2} = \frac{R_{a_{max}} - M(R_a)}{\sigma} \quad (3.1)$$

де $R_{a_{min}}$ і $R_{a_{max}}$ – відповідно мінімальне і максимальне значення параметра Ra у малій вибірці обсягом 10 значень.

У нашому випадку

$$t_{k1} = \frac{|0,68 - 0,741|}{0,0375} = 1,627; t_{k2} = \frac{0,810 - 0,741}{0,0375} = 1,840$$

Так як табличне значення значення параметра t'_k для вибірки обсягом 10 дорівнює $t'_k = 2,44$ (Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей машин. Київ: Технічне, 1976р с. 200) а визначені значення $t_{k1} = 1,672$ і $t_{k2} = 1,840$ менші t_k , то всі значення у статистичному ряду залишаємо.

Перевіряли гіпотезу про нормальність розподілу значень R_{ai} за критерієм W [20]

Критерій W визначають в залежності від прийнятого рівня імовірності за формулою

$$W = \frac{b^2}{S^2} \quad (3.2)$$

Коефіцієнт b визначали за нижчеподаною формулою

$$b = a_1(R_{a10} - R_{a1}) + a_2(R_{a9} - R_{a2}) + a_3(R_{a8} - R_{a3}) + a_4(R_{a7} - R_{a4}) + a_5(R_{a6} - R_{a5}) \quad (3.3)$$

тут, a_1, a_2, a_3, a_4 і a_5 коефіцієнти які визначають за таблицями з вищесказаної літератури.

Для цього створили варіаційні ряди значень R_{ai} та $(R_{ai})^2$ і визначили $\sum_{i=1}^{10} R_{ai}$, та $(\sum_{i=1}^{10} R_{ai})^2$, а також параметр S^2 за формулою

$$S^2 = \sum_{i=1}^{10} R_{ai}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{10} R_{ai})^2}{n} \quad (3.4)$$

В нашому випадку варіаційні ряди значень R_{ai} та $(R_{ai})^2$ подані у таблиці

Таблиця 3.1 Варіаційні ряди значень R_{ai} та R_{ai}^2 та відповідні суми

№	R_i , мкм	R_i^2 , мкм ²	№	R_i	R_i^2 мкм ²
1	0,68	0,4624	6	0,74	0,5478
2	0,70	0,4900	7	0,76	0,5776
3	0,71	0,5041	8	0,77	0,5929
4	0,73	0,5325	9	0,78	0,6084
5	0,73	0,5325	10	0,81	0,6561
$\sum_{i=1}^{10} R_{ai}; \sum_{i=1}^{10} R_{ai}^2$	3,55	2,5215	$\sum_{i=1}^{10} R_{ai}; \sum_{i=1}^{10} R_{ai}^2$	3,86	2,9848

Значення загальних сум параметрів R_{ai} та $(R_{ai})^2$ будуть

$$\sum_{i=1}^{10} R_{ai} = 3,55 + 3,86 = 7,41 \text{ (мкм)}; \left(\sum_{i=1}^{10} R_{ai} \right)^2 = 7,41^2 = 54,9081 \text{ (мкм}^2\text{)}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_{ai})^2}{n} = \frac{54,9081}{10} = 5,49081 \text{ (мкм}^2\text{)}$$

$$\sum_{i=1}^{10} R_{ai}^2 = 2,5215 + 2,9848 = 5,5063 \text{ (мкм}^2\text{)}$$

Тоді параметр S^2 буде дорівнювати

$$S^2 = 5,5063 - 5,4908 = 0,0155(\text{мкм}^2)$$

Визначають значення коефіцієнта b

$$b = 0,5739(0,81 - 0,68) + 0,3291(0,78 - 0,70) + 0,2141(0,77 - 0,71) + \\ + 0,1224(0,76 - 0,73) + 0,0399(0,74 - 0,73) = 0,1228 \text{ (мкм)}$$

Критерій W визначають за формулою

$$W = \frac{b^2}{S^2} = \frac{0,0151}{0,0155} = 0,974 \quad (3.5)$$

Так як визначене значення критерія $W = 0,974$ більше табличного значення $W_T = 0,938$, то із імовірністю 50% можемо стверджувати, що випадкова величина R_a - підпорядковується нормальному закону розподілу.

За істинне значення параметра шорсткості R_a , приймають його максимальне значення - $R_{a_{max}}$. Так як випадкова величина R_a підпорядкована нормальному закону розподілу, то

$$R_{a_{max}} = M(R_a) + 3\sqrt{D(R_a)} \quad (3.6)$$

У нашому випадку

$$R_{a_{max}} = 0,741 + 3\sqrt{1,409 \times 10^{-3}} = 0,854 \text{ (мкм)}$$

Якщо ж прийняти за істинне значення як рекомендовано, середнє значення то при $R_{a_{max}} = 0,854$ мкм, відносна похибка δ , як показують розрахунки складе 15,2%, що більше від допустимої $\delta_d = 10\%$ [21].

Таким чином, запропонований спосіб забезпечує більшу достовірність результатів, що сприятиме обґрунтованій оцінці якісних поверхонь сформованих торцевим фрезеруванням.

3.2 Імовірно підхід до визначення параметра шорсткості R_z для плоскої поверхні сформованою торцевою фрезою із скругленими вершинами радіусом $r=0,5d$

Параметр шорсткості R_z поверхні, сформованої напівчистовим та чистовим торцевим фрезеруванням, визначається за формулою [22].

$$R_z = \frac{s^2}{4d} \quad (3.7)$$

де s – подача; d – діаметр скругленої вершини різця фрези.

Приймається, що параметр шорсткості R_z та подача s є випадковими величинами. Тоді, позначивши їх відповідно через Y і X , матимемо

$$Y = \frac{X^2}{4d} \quad (3.8)$$

Знайдемо щільність розподілу випадкової величини Y за умови, що випадкова величина X розподілена за нормальним законом, тобто щільність її розподілу $f(x)$ визначається за формулою

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.9)$$

де a – математичне сподівання; σ – середнє квадратичне відхилення (або стандартний відхил).

Оскільки функція $y = \frac{x^2}{4d}$ є диференційованою і строго зростаючою, то для знаходження щільності розподілу $g(y)$ випадкової величини Y можна застосувати формулу [3.10, 3.11]

$$g(y) = f[\psi(y)] \cdot |\psi'(y)|, \quad (3.10)$$

де $x = \psi(y)$ – обернена функція функції $y = \frac{x^2}{4d}$.

Обернена функція $\psi(y)$ функції $y = \frac{x^2}{4d}$ визначається за формулою

$$\psi(y) = \pm 2\sqrt{d \cdot y}, \quad y > 0$$

а її похідна

$$\psi'(y) = \pm 2 \frac{1}{2\sqrt{d \cdot y}} \cdot d = \pm \sqrt{\frac{d}{y}}.$$

Тоді

$$|\psi'(y)| = \sqrt{\frac{d}{y}}. \quad (3.11)$$

Знайдемо $f[\psi(y)]$. За умовою $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$, тому

$$f[\psi(y)] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left(e^{-\frac{(2\sqrt{d}\cdot y-a)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(2\sqrt{d}\cdot y+a)^2}{2\sigma^2}} \right). \quad (3.12)$$

Підставивши формули (3.11), (3.12) у формулу (3.10), отримаємо шукану щільність розподілу випадкової величини Y

$$g(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \sqrt{\frac{d}{y}} \cdot \left(e^{-\frac{(2\sqrt{d}\cdot y-a)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(2\sqrt{d}\cdot y+a)^2}{2\sigma^2}} \right). \quad (3.13)$$

Математичне сподівання $M(y)$, дисперсія $D(y)$ випадкової величини Y визначаються відповідно за формулами:

$$M(y) = \int_{y_1}^{y_2} y g(y) dy, \quad D(y) = \int_{y_1}^{y_2} y^2 g(y) dy - [M(y)]^2,$$

де $g(y)$ – визначається за формулою (3.13); y_1, y_2 – межі зміни випадкової величини Y .

3.2.1. Приклад розрахунку характеристик розсіювання шорсткості $Rz=y$ для конкретних даних

Приклад 1. Значення інтервалу подач $S_{1.1} = S_{min} = 0,12$ мм/об; $S_{1.2} = S_{max} = 0,26$ мм/об, діаметр скруглення вершин різця зуба фрези $d_1 = 0,2$ мм, середнє значення подачі $a_1 = 0,19$ мм/об, $\sigma(a_1) = 0,029$

$$g_1(y) := \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \sqrt{\frac{d_1}{y}} \cdot \left[e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_1} \cdot y - a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} + e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_1} \cdot y + a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right]$$

$$y_1 := \frac{S_1^2}{4 \cdot d_1} \quad y_2 := \frac{S_2^2}{4 \cdot d_1}$$

$$M(y) := \int_{y_1}^{y_2} y \cdot g_1(y) dy \rightarrow 0.00045663532088676839251$$

$$D(y) := \int_{y_1}^{y_2} y^2 \cdot g_1(y) dy - (M(y))^2 \rightarrow 1.21906963157980542142629e-8$$

$$S_{\text{min}} := \int_{y_1}^{y_2} g_1(y) dy \rightarrow 0.99766139662831017562$$

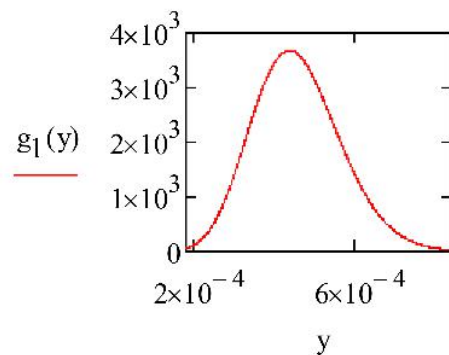


Рис. 3.7 Крива розподілу щільності $g_1(R_{1z}) = g(y_1)$ при $0,02 \leq Rz \leq 0,08$ мм

Приклад 2. Значення інтервалу подач $S_{2.1} = S_{min} = 0,12$ мм/об; $S_{2.2} = S_{max} = 0,26$ мм/об, діаметр скруглення вершин різця зуба фрези $d_2 = 0,4$ мм, середнє значення подачі $a_2 = 0,19$ мм/об, $\sigma(a_2) = 0,029$

$$g_2(y) := \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \sqrt{\frac{d_2}{y}} \cdot \left[e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_2} \cdot y - a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} + e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_2} \cdot y + a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right]$$

$$y_{1\text{min}} := \frac{S_1^2}{4 \cdot d_2} \quad y_{2\text{min}} := \frac{S_2^2}{4 \cdot d_2}$$

$$M(y) := \int_{y_1}^{y_2} y \cdot g_2(y) dy \rightarrow 0.00030442354725784559501$$

$$D(y) := \int_{y_1}^{y_2} y^2 \cdot g_2(y) dy - (M(y))^2 \rightarrow 5.41808725146580187097625e-9$$

$$\underline{S} := \int_{y_1}^{y_2} g_2(y) dy \rightarrow 0.99766139662831017561$$

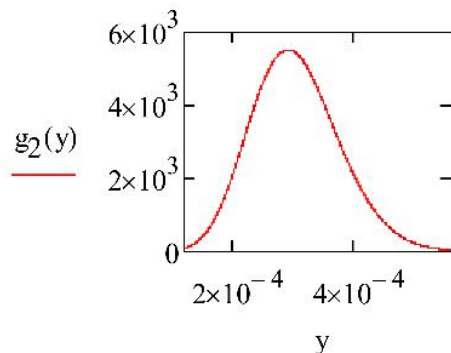


Рис. 3.8 Крива розподілу щільності $g_2(R_z) = g_2(y)$ при $0,01 \leq R_z \leq 0,04$ мм

Приклад 3. Значення інтервалу подач $S_{3.1} = S_{min} = 0,12$ мм/об; $S_{3.2} = S_{max} = 0,26$ мм/об, діаметр скруглення вершин різця зуба фрези $d_3 = 0,6$ мм, середнє значення подачі $a_3 = 0,19$ мм/об, $\sigma(a_3) = 0,029$

$$g_3(y) := \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \sqrt{\frac{d_3}{y}} \cdot \left[e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_3} \cdot y - a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} + e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_3} \cdot y + a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right]$$

$$\underline{y}_1 := \frac{S_1^2}{4 \cdot d_3} \quad \underline{y}_2 := \frac{S_2^2}{4 \cdot d_3}$$

$$\underline{M}(y) := \int_{y_1}^{y_2} y \cdot g_3(y) dy \rightarrow 0.00022831766044338419626$$

$$\underline{D}(y) := \int_{y_1}^{y_2} y^2 \cdot g_3(y) dy - (\underline{M}(y))^2 \rightarrow 3.04767407894951355128255e-9$$

$$\underline{S} := \int_{y_1}^{y_2} g_3(y) dy \rightarrow 0.99766139662831017562$$

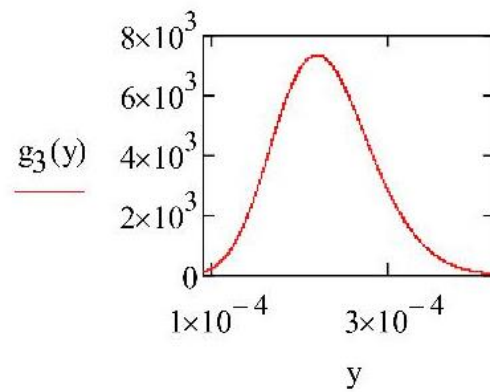


Рис. 3.9 Крива розподілу щільності $g_3(R_z) = g_3(y)$ при $0 \leq R_z = y \leq 0,02875$

мм

Приклад 4. Значення інтервалу подач $S_{4.1} = S_{min} = 0,12$ мм/об; $S_{4.2} = S_{max} = 0,26$ мм/об, діаметр скруглення вершин різця зуба фрези $d_4 = 0,8$ мм, середнє значення подачі $a_4 = 0,19$ мм/об, $\sigma(a_4) = 0,029$

$$g_4(y) := \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \sqrt{\frac{d_4}{y}} \cdot \left[e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_4} \cdot y - a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} + e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_4} \cdot y + a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right]$$

$$y_{1.} := \frac{S_1^2}{4 \cdot d_4} \quad y_{2.} := \frac{S_2^2}{4 \cdot d_4}$$

$$M(y) := \int_{y_1}^{y_2} y \cdot g_4(y) dy \rightarrow 0.00018265412835470735701$$

$$D(y) := \int_{y_1}^{y_2} y^2 \cdot g_4(y) dy - (M(y))^2 \rightarrow 1.95051141052768867249022e-9$$

$$S := \int_{y_1}^{y_2} g_4(y) dy \rightarrow 0.99766139662831017562$$

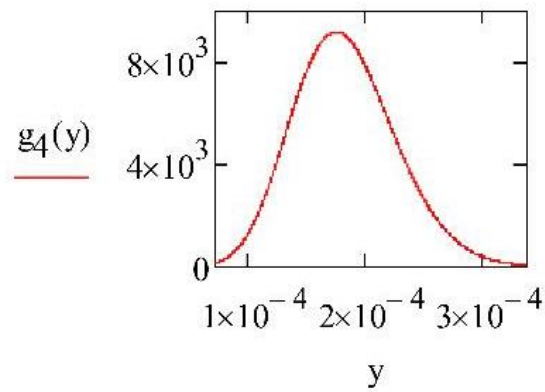


Рис. 3.10 Крива розподілу щільності $g_4(R_z) = g_4(y)$ при $0 \leq R_z = y \leq 0,01$ мм

Приклад 5. Значення інтервалу подач $S_{5.1} = S_{min} = 0,12$ мм/об; $S_{5.2} = S_{max} = 0,26$ мм/об, діаметр скруглення вершин різця зуба фрези $d_5 = 0,8$ мм, середнє значення подачі $a_5 = 0,19$ мм/об, $\sigma(a_5) = 0,029$

$$g_5(y) := \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \sqrt{\frac{d_4}{y}} \cdot \left[e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_5 \cdot y} - a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} + e^{-\frac{(2 \cdot \sqrt{d_5 \cdot y} + a)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \right]$$

$$y_1 := \frac{S_1^2}{4 \cdot d_5} \quad y_2 := \frac{S_2^2}{4 \cdot d_5}$$

$$M(y) := \int_{y_1}^{y_2} y \cdot g_5(y) dy \rightarrow 0.00013894970322405165652$$

$$D(y) := \int_{y_1}^{y_2} y^2 \cdot g_5(y) dy - (M(y))^2 \rightarrow 3.07926433279290075157683e-9$$

$$S := \int_{y_1}^{y_2} g_5(y) dy \rightarrow 0.91073608614238993043$$

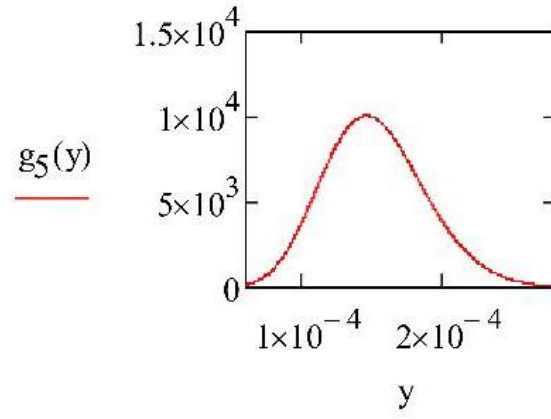


Рис. 3.11 Крива розподілу щільності $g_5(R_z) = g_5(y)$ при $0,00375 \leq R_z = y \leq 0,0168$

мм

3.3. Імовірно-статистичний метод дослідження точності кінематичних ланцюгів на прикладі широкоуніверсального вертикального верстата моделі 676

3.3.1. Метод дослідження точності подачі на один зуб фрези

Для пояснення суті методу дослідження точності подач верстата моделі 676 скористаємось його кінематичною схемою поданою на рисунку 3.12.

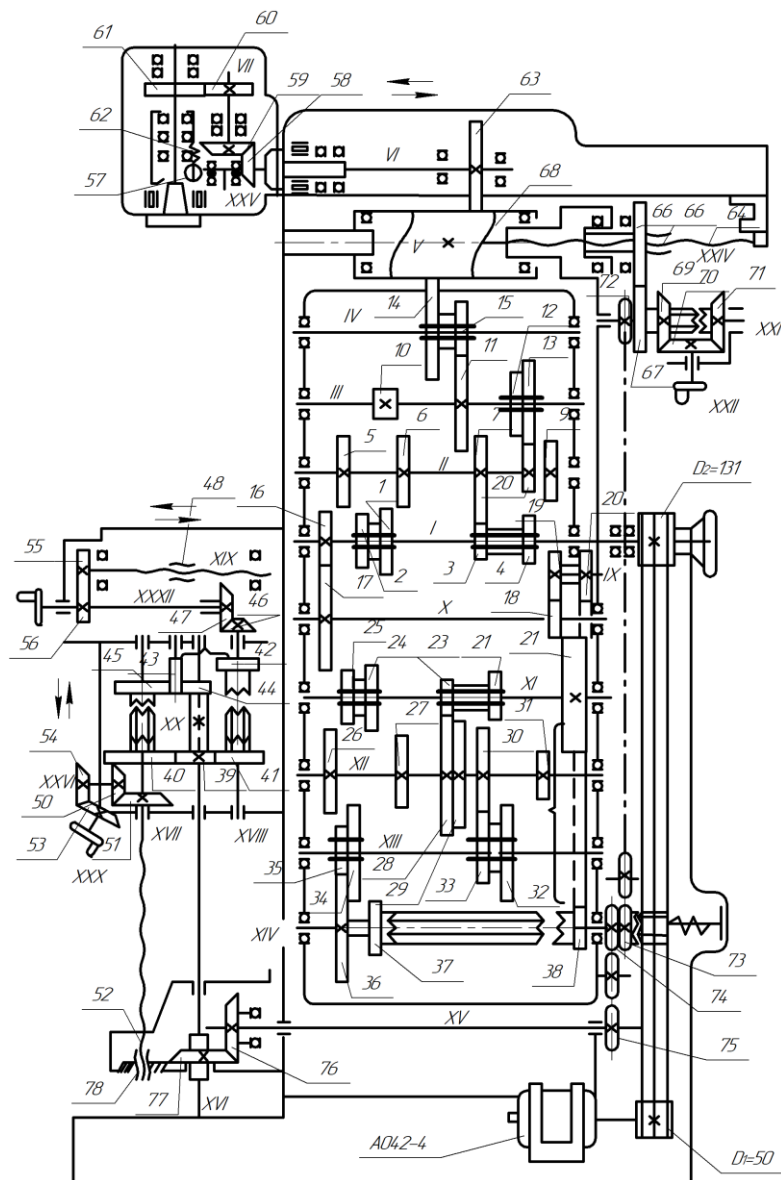


Рис. 3.12 Кінематична схема фрезерного інструментального широкоуніверсального верстата 676П

Такий елемент режиму різання при торцевому фрезеруванні як подача на 1 зуб фрези, тобто переміщення стола верстата із заготовкою за час повороту фрези на один кутовий крок має найбільший вплив на формування такого параметра шорсткості як R_z – висота нерівностей за 5-ма виступами і 5-ма впадинами.

Суть методу у наступному (див. рис. 3.13). Хід стола 8 верстата розбивали на 10 проміжків (I,II...X). На шпинделі 4 верстата встановлювали градусну шкалу 5. Заготовку закріплювали на столі 8, який здійснює позовжній рух по станині 7 верстата. Розміщений в станині 7 верстата кінематичний ланцюг: електродвигун – 1, коробка швидкостей – 2, коробка подач – 10 і передачу гвинт-гайка 9. Встановлювали, наприклад, частоту обертання шпинделя $n_{\text{шп}} = 400$ об/хв і хвилину передачу переміщення стола $S_{\text{хв}} = 40$ мм/хв. Приймавши, наприклад, що кількість зубів фрези $z=6$, визначали розрахункове значення подачі на 1 зуб фрези. $S_p = \frac{S_{\text{хв}}}{n_{\text{шп}} \cdot z_{\text{ф}}} = \frac{40}{400 \cdot 6} = 0,016$ мм/зуб.

Після такого налагодження повертали шпиндель 4 певну кількість обертів, при цьому стіл, після вибору зазорів у кінематичному ланцюгу, почав переміщуватись, що фіксувалось індикатором.

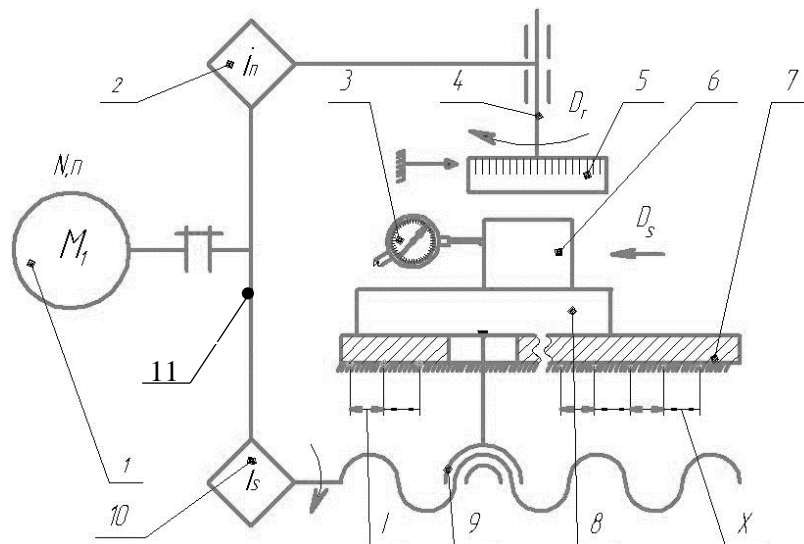


Рис. 3.13 Схема вимірювання величини подачі на зуб фрези:

1-електродвигун; 2-коробка швидкостей; 3-індикатор з мікронною шкалою; 4-шпиндель; 5-градусна шкала шпинделя; 6-заготовка; 7-станина верстата; 8-стіл; 9-передача гвинт-гайка; 10-коробка подач; I-X-проміжки вимірювань.

В подальшому вимірювали значення подач на 1 зуб фрези. Повертали вал 11 і через коробку швидкостей 2 повертали шпиндель на кут $\varphi_{\text{шп}} = 360^\circ/Z_{\text{фр}}$ (у наступному випадку 60°) орієнтуючи його на градусній шкалі 5 і при цьому стіл переміщували на I проміжку на величину S (мм/зуб), що фіксувалось індикатором 3 з точністю 1 мкм.

Повторивши ці прийоми аналогічно попередньому отримали 10 значень S_i (мм/зуб), тут $i = 1, 2, 3 \dots 10$, які записали у таблицю 3.2. Перемістивши стіл на наступний проміжок, наприклад III і встановивши паспорту подачу $S = 0,085$ (мм/зуб) отримали 10 значень подач. В подальшому здійснювали аналогічно такі вимірювання на VII і X проміжку, отримали значення S_i (мм/зуб), тут i – номер проміжків, які занесено у таблицю 3.2.

Табл. 3.2 Значення подач на зуб і їх характеристики розсіювання

№		Паспортне значення подач на зуб фрези, S мм/зуб:			
		0,017	0,085	0,105	0,131
Значення подач мм/зуб	1	0.011	0,081	0,102	0.132
	2	0.014	0,080	0,105	0.130
	3	0.013	0,079	0,103	0.118
	4	0.013	0,079	0,102	0.128
	5	0.015	0,076	0,100	0.125
	6	0.016	0,086	0,103	0.120
	7	0.015	0,079	0,100	0.127
	8	0.015	0,078	0,100	0.130
	9	0.017	0,080	0,102	0.127
	10	0.018	0,074	0,103	0.123
Характеристики розсіювання	$M(S)$, мм	147×10^{-4}	792×10^{-4}	102×10^{-3}	126×10^{-3}
	$D(S_z)$, мм	$3,8 \times 10^{-7}$	$8,96 \times 10^{-7}$	$2,4 \times 10^{-6}$	18×10^{-6}
	σ , мм	207×10^{-5}	299×10^{-5}	155×10^{-4}	351×10^{-4}
	K_v	0.14	0.037	0.15	0.27
Суттєва (+) та несуттєва відмінність (-)		(-)			
		(+))			
		(+))			

Використавши метод ітерацій [18], знаходимо математичні сподівання $M(S)$ та дисперсії $D(S)$, а також середнє квадратичне відхилення σ та коефіцієнт варіації K_v .

Аналіз суттєвості відмінностей між дисперсіями за критерієм Фішера $F = \frac{D_2(S)}{D_1(S)}$, тут $D_2(S) > D_1(S)$ показав, що це відношення до мінімальної дисперсії $D_{min}(S_z) = 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ (мм/зуб)}^2$ при встановленій паспортній подачі $S_{\Pi} = 0,085 \text{ мм/зуб}$ відрізняється не суттєво. А дисперсії розсіювання $D(S_{\Pi} = 0,105)$ та $D(S_{\Pi} = 0,131)$ відрізняються суттєво.

Це може свідчити про те, елементи кінематичних ланцюгів (шестерні, зубчасті колеса) для паспортних подач ($S_{\Pi} = 0,105$) та ($S_{\Pi} = 0,131$) мм/зуб потребують корекції степенів і норм точності.

3.3.2. Метод дослідження точності подач на 1 оберт шпинделя на фрезерному верстаті моделі 676П.

На рисунку 3.14 представлено схематично метод вимірювання випадковості подач на 1 оберт шпинделя верстата 676П за методикою описаною в пункті 3.3.1.

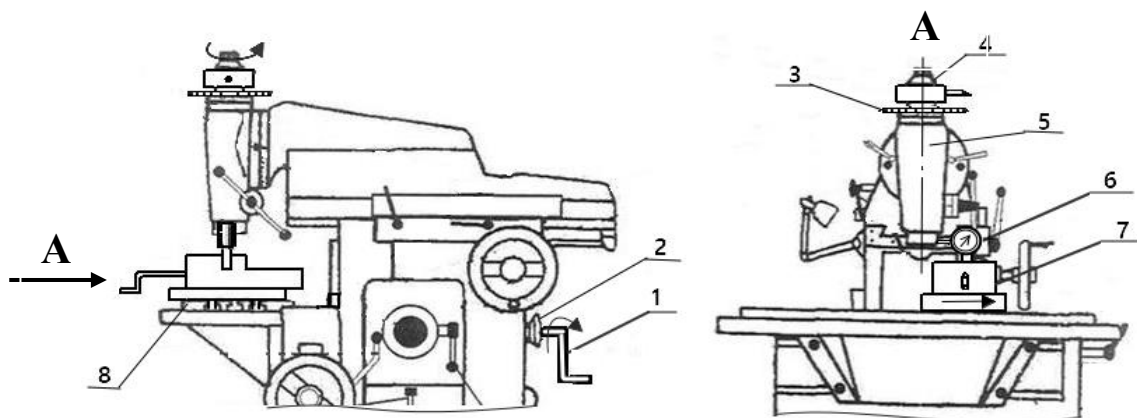


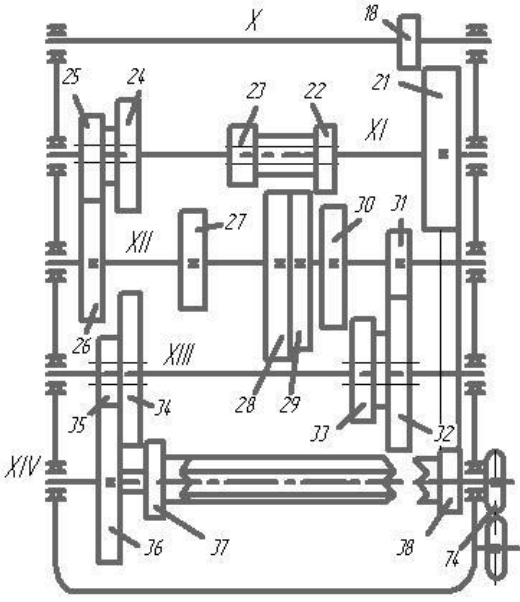
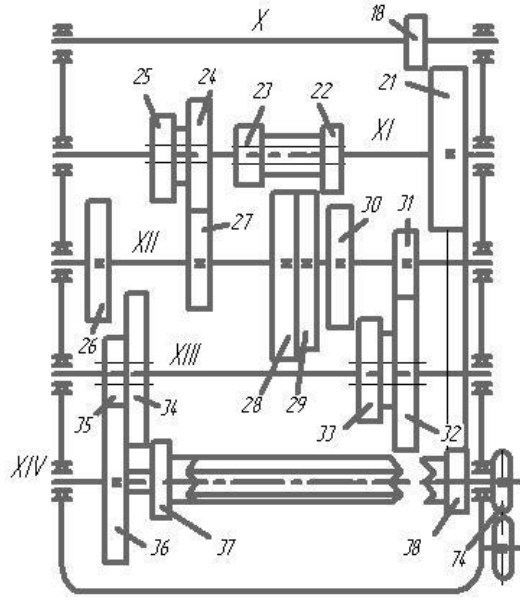
Рис. 3.14 Схема вимірювання величини подачі на 1 оберт шпинделя верстата 676П.

Провівши вимірювання аналогічно методиці пункту 3.3.1 отримали значення подач при різних паспортних значеннях верстату 676П таблиця 3.3.

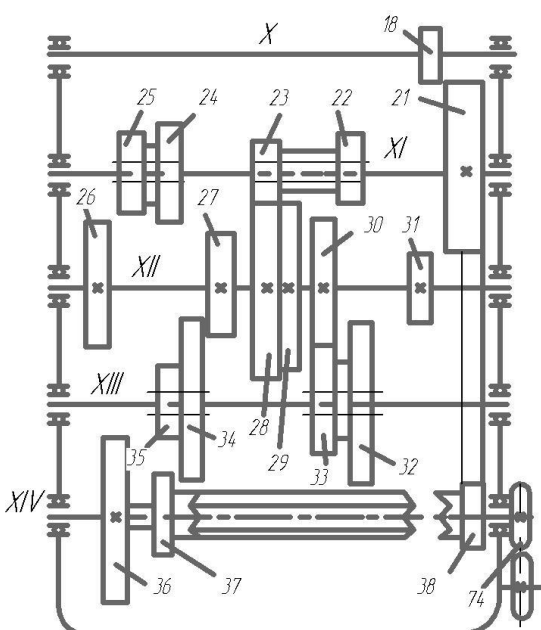
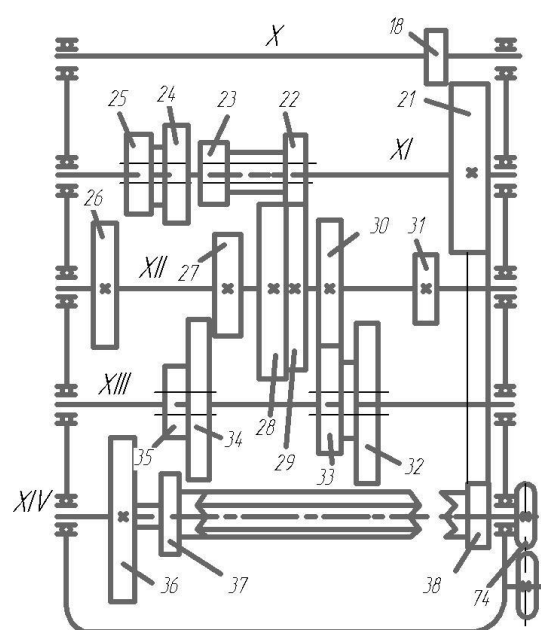
Таблиця 3.3 Характеристики розсіювання подач відповідно до їх кінематичних ланцюгів

Значення подач S_i мм/об при частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=400$ об/хв і поздовжніх подачах $S_{i,\text{поз}}$ мм/хв	
$S_1=12,5$ мм/хв	$S_2=16$ мм/хв
$S_1=12,5/400 = 0,031$ мм/об	$S_2=16/400 = 0,040$ мм/об
Експериментальне значення подач S_{ij} мм/об	
$S_{1.1}=0,031$; $S_{1.2}=0,032$; $S_{1.3}=0,033$; $S_{1.4}=0,032$; $S_{1.5}=0,032$; $S_{1.6}=0,030$; $S_{1.7}=0,032$; $S_{1.8}=0,031$; $S_{1.9}=0,032$; $S_{1.10}=0,033$	$S_{2.1}=0,041$; $S_{2.2}=0,040$; $S_{2.3}=0,042$; $S_{2.4}=0,041$; $S_{2.5}=0,038$; $S_{2.6}=0,040$; $S_{2.7}=0,039$; $S_{2.8}=0,041$; $S_{2.9}=0,041$; $S_{2.10}=0,040$
Характеристики розсіювання математичні сподівання $M(S_{i,j})$ мм – чисельник, дисперсія $D(S_{i,j})$ мм - знаменник	
$\frac{M(S_{1j})}{D(S_{1j})} = \frac{31,8 \cdot 10^{-3}}{7,6 \cdot 10^{-7}}$	$\frac{M(S_{2j})}{D(S_{2j})} = \frac{40,3 \cdot 10^{-3}}{1,21 \cdot 10^{-6}}$
(+)	
Перевірка на суттєву (+), несуттєву (-) відмінність отриманих результатів за критерієм Фішера	
Коефіцієнт варіації K_v	
$2,391 \cdot 10^{-5}$	$3,002 \cdot 10^{-5}$
Постійна поздовжніх подач	
$K = n_d \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{z_{18}}{z_{21}} \cdot (\text{змінна}) \cdot \frac{z_{74}}{z_{75}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{39}}{z_{41}} \cdot \frac{z_{46}}{z_{47}} \cdot \frac{z_{56}}{z_{55}} \cdot t_{49}$	
$K \cdot \frac{z_{23}}{z_{28}} \cdot \frac{z_{31}}{z_{32}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$	$K \cdot \frac{z_{22}}{z_{29}} \cdot \frac{z_{31}}{z_{32}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$

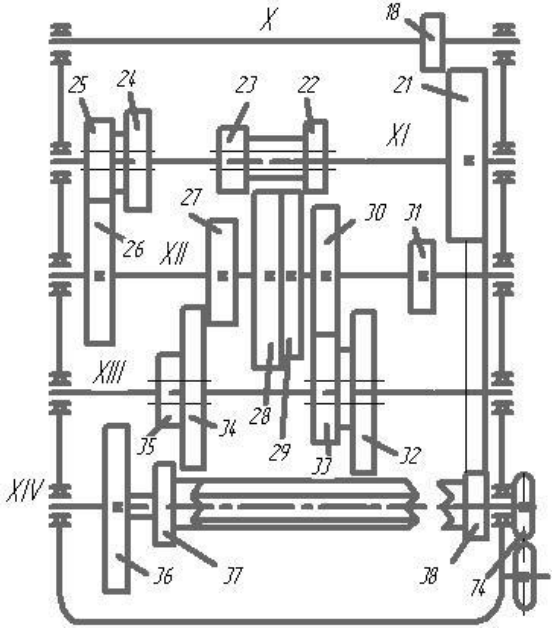
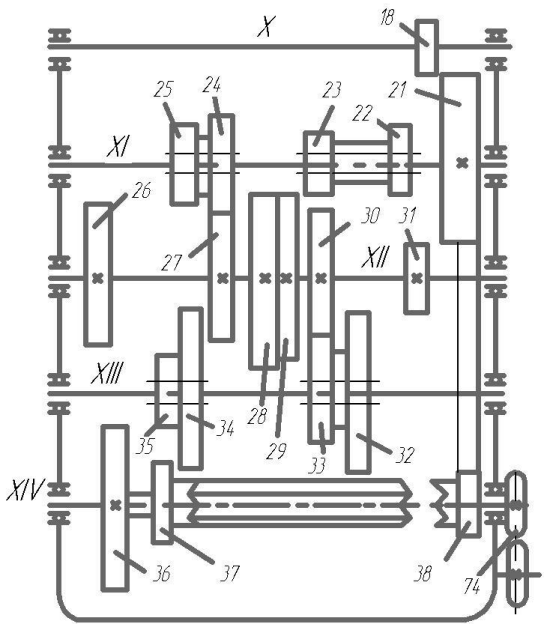
Таблиця 3.4 Характеристики розсіювання подач відповідно до їх кінематичних ланцюгів

Значення подач S_i мм/об при частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=400$ об/хв і поздовжніх подачах $S_{i,\text{поз}}$ мм/хв	
$S_3=20$ мм/хв	$S_4=25$ мм/хв
$S_3=20/400 = 0,050$ мм/об	$S_4=25/400 = 0,062$ мм/об
Експериментальне значення подач S_{ij} мм/об	
$S_{3.1}=0,049$; $S_{3.2}=0,053$; $S_{3.3}=0,049$; $S_{3.4}=0,047$; $S_{3.5}=0,051$; $S_{3.6}=0,052$; $S_{3.7}=0,051$; $S_{3.8}=0,048$; $S_{3.9}=0,049$; $S_{3.10}=0,051$	$S_{4.1}=0,060$; $S_{4.2}=0,059$; $S_{4.3}=0,063$; $S_{4.4}=0,059$; $S_{4.5}=0,061$; $S_{4.6}=0,062$; $S_{4.7}=0,060$; $S_{4.8}=0,056$; $S_{4.9}=0,059$; $S_{4.10}=0,064$
Характеристики розсіювання математичні сподівання $M(S_{i,j})$ мм – чисельник, дисперсія $D(S_{i,j})$ мм - знаменник	
$\frac{M(S_{3j})}{D(S_{3j})} = \frac{50,2 \cdot 10^{-3}}{3,96 \cdot 10^{-6}}$	$\frac{M(S_{4j})}{D(S_{4j})} = \frac{60,3 \cdot 10^{-3}}{4,81 \cdot 10^{-6}}$
(-)	
Перевірка на суттєву (+), несуттєву (-) відмінність отриманих результатів за критерієм Фішера	
Коефіцієнт варіації K_v	
$7,888 \cdot 10^{-5}$	$7,877 \cdot 10^{-5}$
Постійна поздовжніх подач	
$K = n_d \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{z_{18}}{z_{21}} \cdot (\text{змінна}) \cdot \frac{z_{74}}{z_{75}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{39}}{z_{41}} \cdot \frac{z_{46}}{z_{47}} \cdot \frac{z_{56}}{z_{55}} \cdot t_{49}$	
$K \cdot \frac{z_{25}}{z_{26}} \cdot \frac{z_{31}}{z_{32}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$	$K \cdot \frac{z_{24}}{z_{27}} \cdot \frac{z_{31}}{z_{32}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$
	

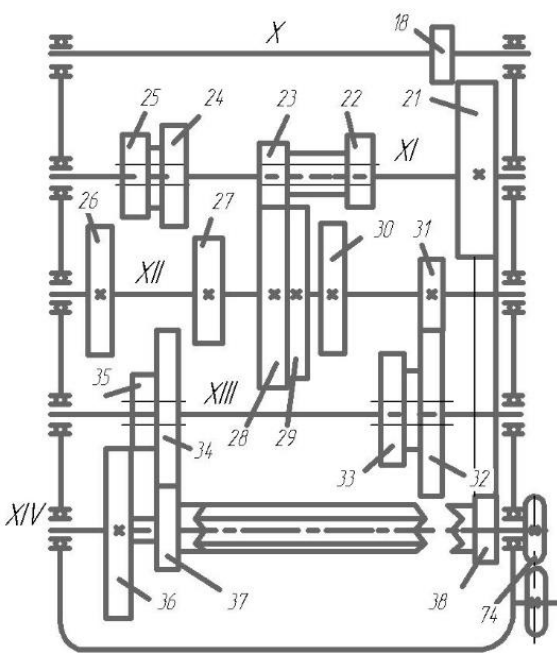
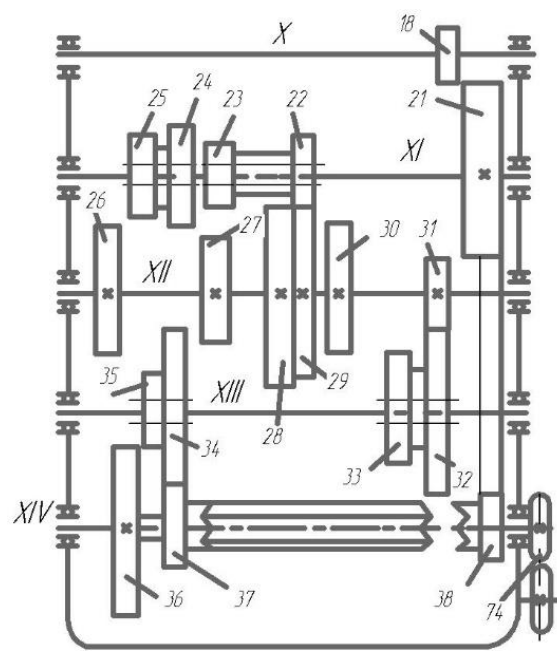
Таблиця 3.5 Характеристики розсіювання подач відповідно до їх кінематичних ланцюгів

Значення подач S_i мм/об при частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=400$ об/хв і поздовжніх подачах $S_{i,\text{поз}}$ мм/хв	
$S_5=31,5$ мм/хв	$S_6=40$ мм/хв
$S_5=31,5/400=0,079$ мм/об	$S_6=40/400=0,100$ мм/об
Експериментальне значення подач S_{ij} мм/об	
$S_{5.1}=0,079$; $S_{5.2}=0,076$; $S_{5.3}=0,078$; $S_{5.4}=0,079$; $S_{5.5}=0,077$; $S_{5.6}=0,079$; $S_{5.7}=0,081$; $S_{5.8}=0,072$; $S_{5.9}=0,076$; $S_{5.10}=0,080$	$S_{6.1}=0,096$; $S_{6.2}=0,104$; $S_{6.3}=0,098$; $S_{6.4}=0,103$; $S_{6.5}=0,105$; $S_{6.6}=0,099$; $S_{6.7}=0,101$; $S_{6.8}=0,098$; $S_{6.9}=0,102$; $S_{6.10}=0,099$
Характеристики розсіювання математичні сподівання $M(S_{i,j})$ мм – чисельник, дисперсія $D(S_{i,j})$ мм – знаменник	
$\frac{M(S_{5j})}{D(S_{5j})} = \frac{77,7 \cdot 10^{-3}}{6,01 \cdot 10^{-6}}$	$\frac{M(S_{6j})}{D(S_{6j})} = \frac{100,5 \cdot 10^{-3}}{7,85 \cdot 10^{-6}}$
(-)	
Перевірка на суттєву (+), несуттєву (-) відмінність отриманих результатів за критерієм Фішера	
Коефіцієнт варіації K_v	
$7,735 \cdot 10^{-5}$	$7,811 \cdot 10^{-5}$
Постійна поздовжніх подач	
$K = n_d \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{z_{18}}{z_{21}} \cdot (\text{змінна}) \cdot \frac{z_{74}}{z_{75}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{39}}{z_{41}} \cdot \frac{z_{46}}{z_{47}} \cdot \frac{z_{56}}{z_{55}} \cdot t_{49}$	
$K \cdot \frac{z_{23}}{z_{28}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$	$K \cdot \frac{z_{22}}{z_{29}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$
	

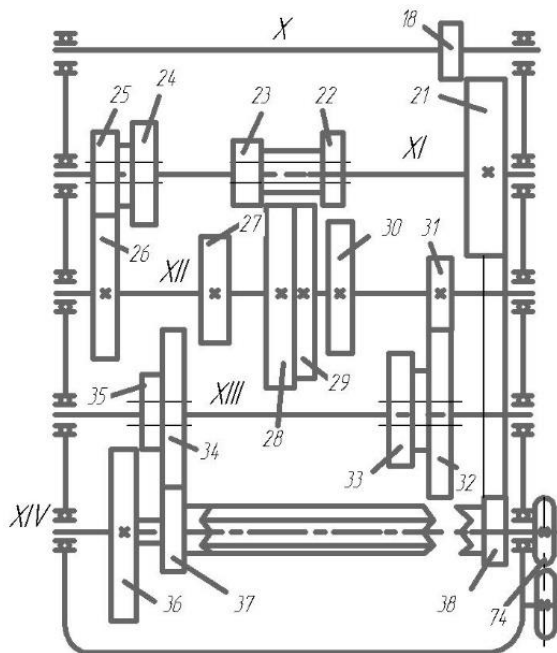
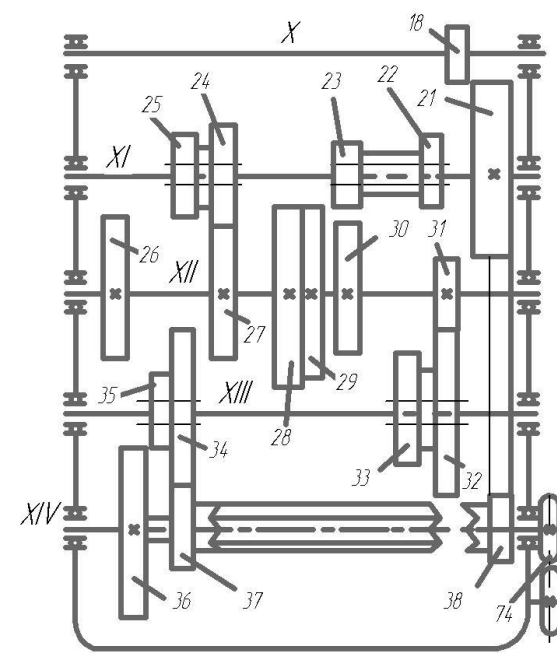
Таблиця 3.6 Характеристики розсіювання подач відповідно до їх кінематичних ланцюгів

Значення подач S_i мм/об при частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=400$ об/хв і поздовжніх подачах $S_{i,\text{поз}}$ мм/хв	
$S_7=50$ мм/хв	$S_8=63$ мм/хв
$S_7=20/400 = 0,125$ мм/об	$S_8=63/400 = 0,157$ мм/об
Експериментальне значення подач S_{ij} мм/об	
$S_{7.1}=0,126$; $S_{7.2}=0,124$; $S_{7.3}=0,119$; $S_{7.4}=0,126$; $S_{7.5}=0,125$; $S_{7.6}=0,129$; $S_{7.7}=0,124$; $S_{7.8}=0,127$; $S_{7.9}=0,121$; $S_{7.10}=0,125$	$S_{8.1}=0,159$; $S_{8.2}=0,148$; $S_{8.3}=0,154$; $S_{8.4}=0,145$; $S_{8.5}=0,145$; $S_{8.6}=0,148$; $S_{8.7}=0,152$; $S_{8.8}=0,150$; $S_{8.9}=0,158$; $S_{8.10}=0,155$
Характеристики розсіювання математичні сподівання $M(S_{i,j})$ мм – чисельник, дисперсія $D(S_{i,j})$ мм - знаменник	
$\frac{M(S_{7j})}{D(S_{7j})} = \frac{124,5 \cdot 10^{-3}}{7,45 \cdot 10^{-6}}$	$\frac{M(S_{8j})}{D(S_{8j})} = \frac{151,4 \cdot 10^{-3}}{23 \cdot 10^{-6}}$
(-)	
Перевірка на суттєву (+), несуттєву (-) відмінність отриманих результатів за критерієм Фішера	
Коефіцієнт варіації K_v	
$5,984 \cdot 10^{-5}$	$1,519 \cdot 10^{-4}$
Постійна поздовжніх подач	
$K = n_d \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{z_{18}}{z_{21}} \cdot (\text{змінна}) \cdot \frac{z_{74}}{z_{75}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{39}}{z_{41}} \cdot \frac{z_{46}}{z_{47}} \cdot \frac{z_{56}}{z_{55}} \cdot t_{49}$	
$K \cdot \frac{z_{25}}{z_{26}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$	$K \cdot \frac{z_{24}}{z_{27}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$
	

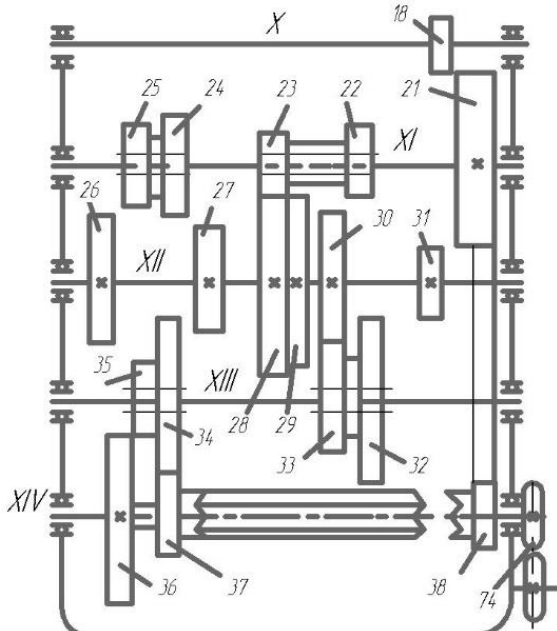
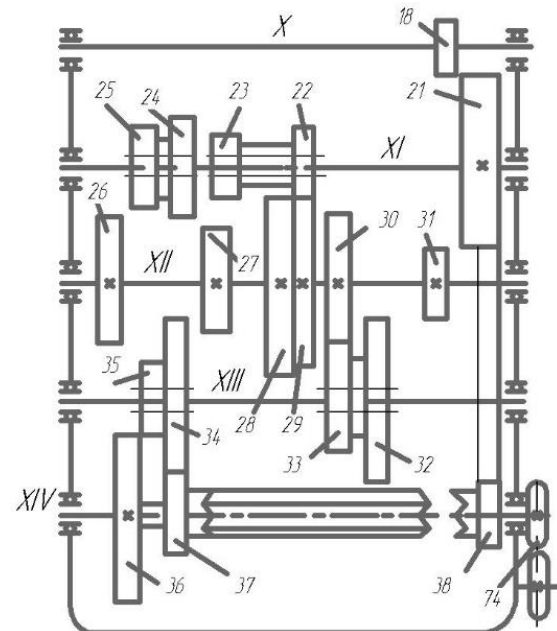
Таблиця 3.7 Характеристики розсіювання подач відповідно до їх кінематичних ланцюгів

Значення подач S_i мм/об при частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=400$ об/хв і поздовжніх подачах $S_{i,\text{поз}}$ мм/хв	
$S_9=80$ мм/хв	$S_{10}=100$ мм/хв
$S_9=80/400 = 0,200$ мм/об	$S_{10}=100/400 = 0,250$ мм/об
Експериментальне значення подач S_{ij} мм/об	
$S_{9,1}=0,196$; $S_{9,2}=0,194$; $S_{9,3}=0,196$; $S_{9,4}=0,201$; $S_{9,5}=0,197$; $S_{9,6}=0,194$; $S_{9,7}=0,194$; $S_{9,8}=0,191$; $S_{9,9}=0,198$; $S_{9,10}=0,194$	$S_{10,1}=0,245$; $S_{10,2}=0,242$; $S_{10,3}=0,245$; $S_{10,4}=0,245$; $S_{10,5}=0,245$; $S_{10,6}=0,248$; $S_{10,7}=0,250$; $S_{10,8}=0,251$; $S_{10,9}=0,252$; $S_{10,10}=0,249$
Характеристики розсіювання математичні сподівання $M(S_{i,j})$ мм – чисельник, дисперсія $D(S_{i,j})$ мм - знаменник	
$\frac{M(S_{9j})}{D(S_{9j})} = \frac{195,5 \cdot 10^{-3}}{6,85 \cdot 10^{-6}}$	$\frac{M(S_{10j})}{D(S_{10j})} = \frac{247,2 \cdot 10^{-3}}{9,56 \cdot 10^{-6}}$
(-)	
Перевірка на суттєву (+), несуттєву (-) відмінність отриманих результатів за критерієм Фішера	
Коефіцієнт варіації K_v	
$3,504 \cdot 10^{-5}$	$3,867 \cdot 10^{-5}$
Постійна поздовжніх подач	
$K = n_d \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{z_{18}}{z_{21}} \cdot (\text{змінна}) \cdot \frac{z_{74}}{z_{75}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{39}}{z_{41}} \cdot \frac{z_{46}}{z_{47}} \cdot \frac{z_{56}}{z_{55}} \cdot t_{49}$	
$K \cdot \frac{z_{23}}{z_{28}} \cdot \frac{z_{31}}{z_{32}} \cdot \frac{z_{34}}{z_{37}}$	$K \cdot \frac{z_{22}}{z_{29}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$
	

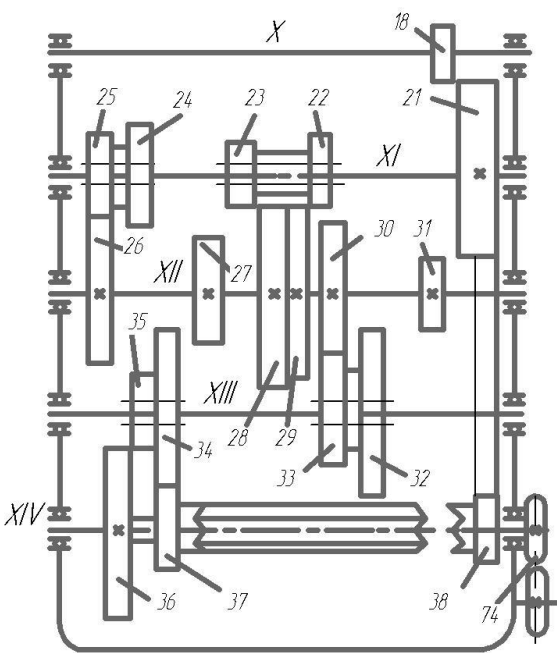
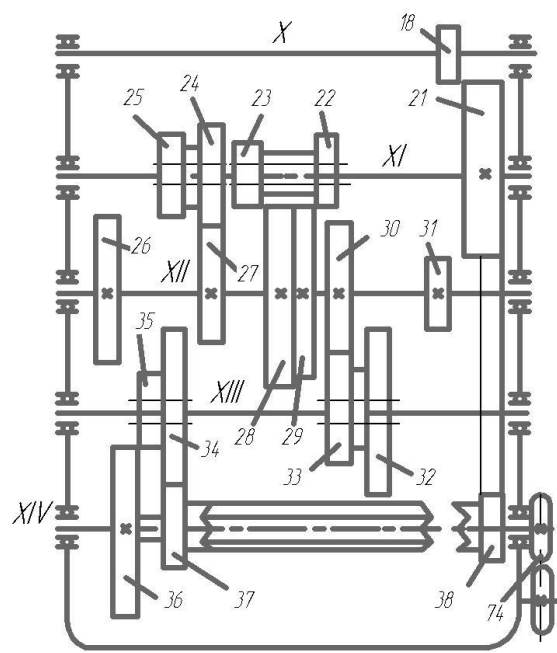
Таблиця 3.8 Характеристики розсіювання подач відповідно до їх кінематичних ланцюгів

Значення подач S_i мм/об при частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=400$ об/хв і поздовжніх подачах $S_{i,\text{поз}}$ мм/хв	
$S_{11}=125$ мм/хв	$S_{12}=160$ мм/хв
$S_{11}=125/400 = 0,312$ мм/об	$S_{12}=160/400 = 0,400$ мм/об
Експериментальне значення подач S_{ij} мм/об	
$S_{11.1}=0,308$; $S_{11.2}=0,312$; $S_{11.3}=0,305$; $S_{11.4}=0,311$; $S_{11.5}=0,317$; $S_{11.6}=0,300$; $S_{11.7}=0,302$; $S_{11.8}=0,308$; $S_{11.9}=0,303$; $S_{11.10}=0,310$	$S_{12.1}=0,377$; $S_{12.2}=0,382$; $S_{12.3}=0,379$; $S_{12.4}=0,388$; $S_{12.5}=0,379$; $S_{12.6}=0,383$; $S_{12.7}=0,390$; $S_{12.8}=0,385$; $S_{12.9}=0,381$; $S_{12.10}=0,383$
Характеристики розсіювання математичні сподівання $M(S_{i,j})$ мм – чисельник, дисперсія $D(S_{i,j})$ мм - знаменник	
$\frac{M(S_{11j})}{D(S_{11j})} = \frac{307,6 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 10^{-6}}$	$\frac{M(S_{12j})}{D(S_{12j})} = \frac{382,7 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-6}}$
(-)	
Перевірка на суттєву (+), несуттєву (-) відмінність отриманих результатів за критерієм Фішера	
Коефіцієнт варіації K_v	
$7,802 \cdot 10^{-5}$	$3,524 \cdot 10^{-5}$
Постійна поздовжніх подач	
$K = n_d \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{z_{18}}{z_{21}} \cdot (\text{змінна}) \cdot \frac{z_{74}}{z_{75}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{39}}{z_{41}} \cdot \frac{z_{46}}{z_{47}} \cdot \frac{z_{56}}{z_{55}} \cdot t_{49}$	
$K \cdot \frac{z_{25}}{z_{26}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$	$K \cdot \frac{z_{24}}{z_{27}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{35}}{z_{36}}$
	

Таблиця 3.9 Характеристики розсіювання подач відповідно до їх кінематичних ланцюгів

Значення подач S_i мм/об при частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=400$ об/хв і поздовжніх подачах $S_{i,\text{поз}}$ мм/хв	
$S_{13}=200$ мм/хв	$S_{14}=250$ мм/хв
$S_{13}=200/400 = 0,500$ мм/об	$S_{14}=250/400 = 0,625$ мм/об
Експериментальне значення подач S_{ij} мм/об	
$S_{13.1}=0,475$; $S_{13.2}=0,475$; $S_{13.3}=0,486$; $S_{13.4}=0,482$; $S_{13.5}=0,484$; $S_{13.6}=0,479$; $S_{13.7}=0,485$; $S_{13.8}=0,489$; $S_{13.9}=0,476$; $S_{13.10}=0,466$	$S_{14.1}=0,616$; $S_{14.2}=0,613$; $S_{14.3}=0,618$; $S_{14.4}=0,608$; $S_{14.5}=0,610$; $S_{14.6}=0,610$; $S_{14.7}=0,611$; $S_{14.8}=0,624$; $S_{14.9}=0,622$; $S_{14.10}=0,614$
Характеристики розсіювання математичні сподівання $M(S_{i,j})$ мм – чисельник, дисперсія $D(S_{i,j})$ мм - знаменник	
$\frac{M(S_{13j})}{D(S_{13j})} = \frac{479,7 \cdot 10^{-3}}{42 \cdot 10^{-6}}$	$\frac{M(S_{14j})}{D(S_{14j})} = \frac{614,6 \cdot 10^{-3}}{26 \cdot 10^{-6}}$
(-)	
Перевірка на суттєву (+), несуттєву (-) відмінність отриманих результатів за критерієм Фішера	
Коефіцієнт варіації K_v	
$1,001 \cdot 10^{-4}$	$4,23 \cdot 10^{-5}$
Постійна поздовжніх подач	
$K = n_d \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{z_{18}}{z_{21}} \cdot (\text{змінна}) \cdot \frac{z_{74}}{z_{75}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{39}}{z_{41}} \cdot \frac{z_{46}}{z_{47}} \cdot \frac{z_{56}}{z_{55}} \cdot t_{49}$	
$K \cdot \frac{z_{23}}{z_{28}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{34}}{z_{37}}$	$K \cdot \frac{z_{22}}{z_{29}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{34}}{z_{37}}$
	

Таблиця 3.10 Характеристики розсіювання подач відповідно до їх кінематичних ланцюгів

Значення подач S_i мм/об при частоті обертання шпинделя $n_{\text{шп}}=400$ об/хв і поздовжніх подачах $S_{i,\text{поз}}$ мм/хв	
$S_{15}=315$ мм/хв	$S_{16}=400$ мм/хв
$S_{15}=315/400 = 0,787$ мм/об	$S_{16}=400/400 = 1$ мм/об
Експериментальне значення подач S_{ij} мм/об	
$S_{15.1}=0,750; S_{15.2}=0,756; S_{15.3}=0,755;$ $S_{15.4}=0,755; S_{15.5}=0,762; S_{15.6}=0,778;$ $S_{15.7}=0,767; S_{15.8}=0,749; S_{15.9}=0,759;$ $S_{15.10}=0,769$	$S_{16.1}=0,937; S_{16.2}=0,952; S_{16.3}=0,945;$ $S_{16.4}=0,925; S_{16.5}=0,947; S_{16.6}=0,952;$ $S_{16.7}=0,945; S_{16.8}=0,949; S_{16.9}=0,946;$ $S_{16.10}=0,928$
Характеристики розсіювання математичні сподівання $M(S_{i,j})$ мм – чисельник, дисперсія $D(S_{i,j})$ мм - знаменник	
$\frac{M(S_{15j})}{D(S_{15j})} = \frac{760 \cdot 10^{-3}}{75 \cdot 10^{-6}}$	$\frac{M(S_{16j})}{D(S_{16j})} = \frac{942,6 \cdot 10^{-3}}{81 \cdot 10^{-6}}$
(-)	
Перевірка на суттєву (+), несуттєву (-) відмінність отриманих результатів за критерієм Фішера	
Коефіцієнт варіації K_v	
$9,868 \cdot 10^{-5}$	$8,593 \cdot 10^{-5}$
Постійна поздовжніх подач	
$K = n_d \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{z_{16}}{z_{17}} \cdot \frac{z_{18}}{z_{21}} \cdot (\text{змінна}) \cdot \frac{z_{74}}{z_{75}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{39}}{z_{41}} \cdot \frac{z_{46}}{z_{47}} \cdot \frac{z_{56}}{z_{55}} \cdot t_{49}$	
$K \cdot \frac{z_{25}}{z_{26}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{34}}{z_{37}}$	$K \cdot \frac{z_{24}}{z_{27}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{33}} \cdot \frac{z_{34}}{z_{37}}$
	

3.4. Торцева фреза удосконаленої конструкції

Запропоновано здійснити реалізацією комбінаційного торцевого фрезерування шляхом удосконалення конструкції торцевої фрези. Запропонована фреза (рис. 3.15), у якій між основними розміщеними рівномірно по колу у корпусі зубами з певними геометричними параметрами встановлені чистові зуби у певних кутових положеннях, які визначені формою або профілем мікронерівностей.

Величина центрального кута ψ зміщення вершини чистового зуба відносно вершини поперенього, по напрямку обертання фрези, чорнового зуба на основі геометричної моделі шорсткості (рис. 2.4) визначається за формулою

$$\psi = \frac{360^\circ \cdot \sin\varphi \cdot \cos\varphi'}{Z_{\text{фр.чр.}}}$$

де $Z_{\text{фр.чр.}}$ - кількість чорнових зубів торцевої фрези удосконаленої конструкції.

Значення зкорегованого головного в плані кута φ_k визначиться із формули:

$$\varphi_k = \arctg \frac{\sin(\varphi + \varphi') - \sin\varphi \cdot \cos\varphi'}{\sin(\varphi + \varphi')(1 - \text{tg}\varphi') + \sin\varphi \cdot \cos\varphi'}$$

Ці кутові положення вибрані так, що вершини чистових зубів розміщені у точках, які являють собою проекції висот нерівностей на їх основу. Окрім цього здійснена корекція кутів у плані чистових зубів, що у сукупності являє певний компроміс і розв'язок існуючого протиріччя. Разом з тим підкреслено, що дослідження точності кінематичних ланцюгів поздовжніх подач фрезерних верстатів за параметрами, які формують шорсткість і продуктивність процесу фрезерування у науковій літературі, відсутнє.

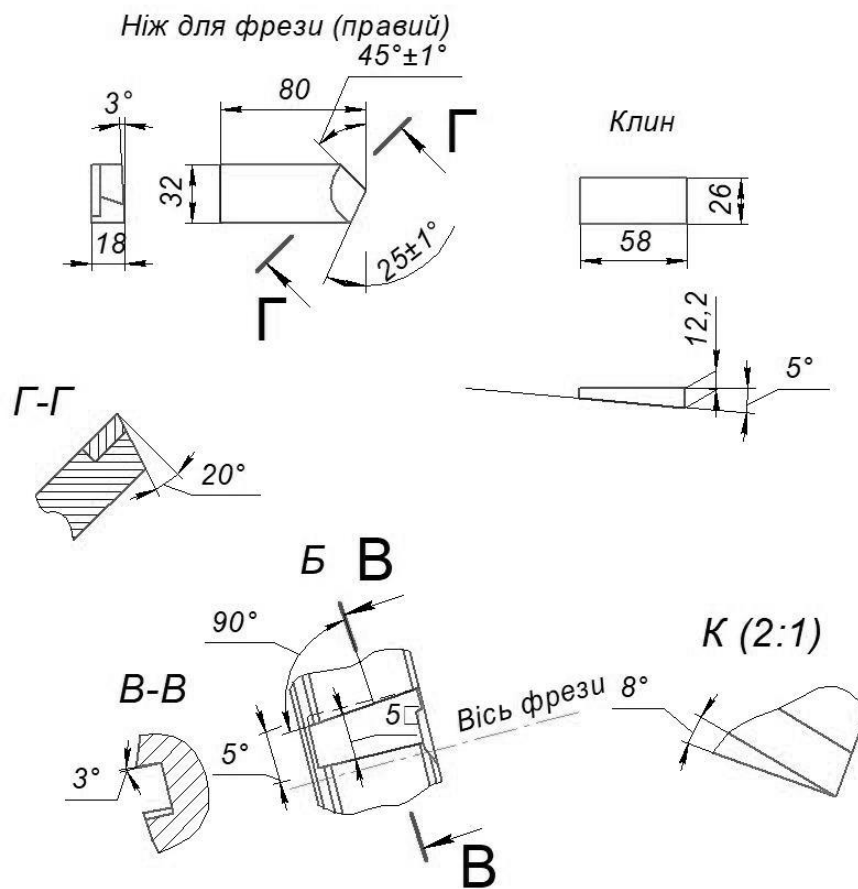
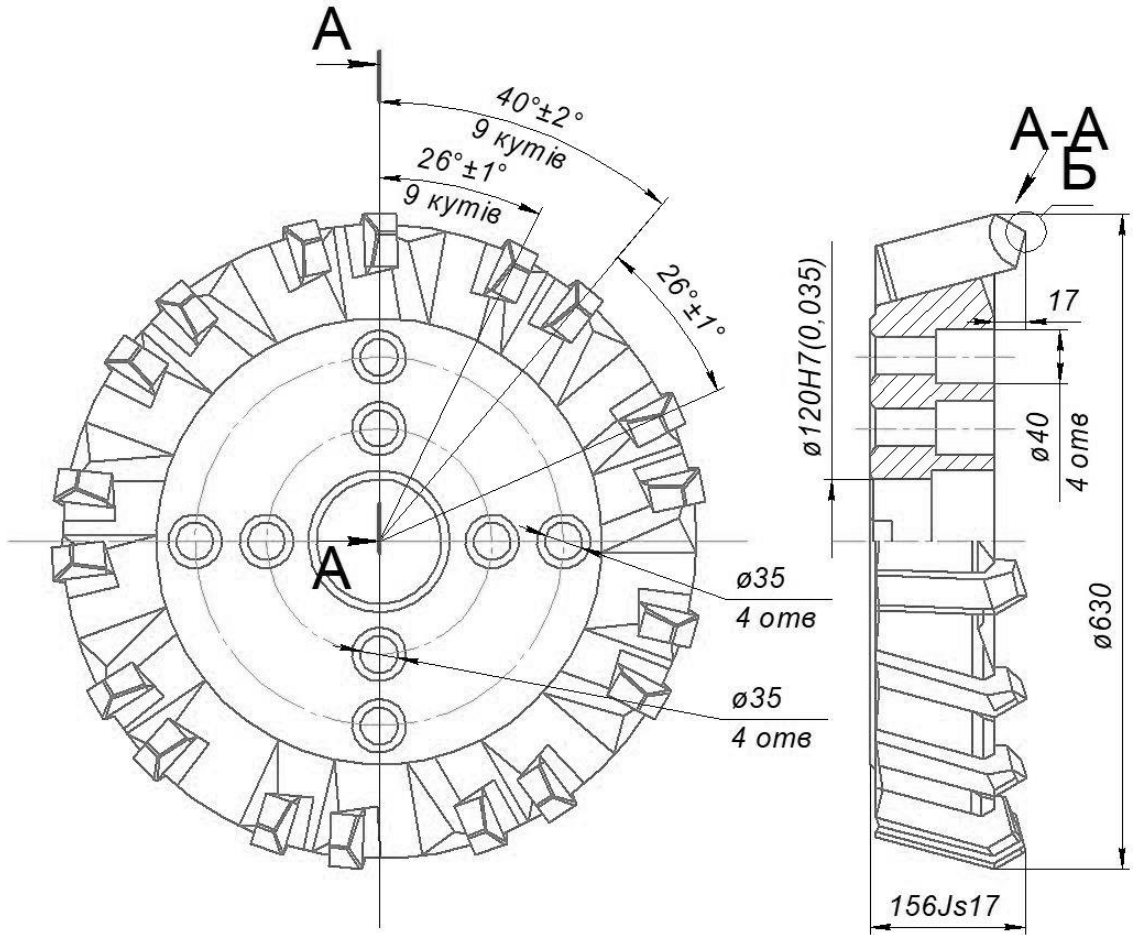


Рис. 3.15 Торцева фреза удосконаленої конструкції (М1:6)

3.4. Висновки за результатами наукового дослідження

1. Вперше запропонований новий спосіб вимірювання шорсткості плоских поверхонь сформованих напівчистовим і чистовим торцевим фрезеруванням на основі врахування стохастичного характеру параметра R_z . Здійснена апробація цього способу. Рекомендовано за істотне значення параметра R_{zi} приймати його практичне значення $R_{zi} = R_{zmax} = M(R_a) + 3\sqrt{D(R_a)}$, тут відповідно $M(R_a)$ і $D(R_a)$ – систематичне сподівання і дисперсія параметра R_{ai} .

2. Запропоновано новий метод дослідження впливу точності подач як випадкової величини на параметр шорсткості R_z . Подано залежності для визначення щільності розподілу величини R_z і її характеристик $M(R_z)$ і $D(R_z)$.

3. Розглянуто приклад розрахунку параметра R_z як випадкової величини при фіксованому значенні радіуса скруглення зуба фрези і стохастичної подачі S з нормальним законом розподілу.

4. Розроблений і апробований імовірісно-статистичний метод дослідження точності кінематичних ланцюгів подач на прикладі фрезерного верстата 676П.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

4.1 Заходи безпеки, які необхідні для обслуговування та безпечної механічної обробки на верстаті

У дипломному проекті розглянуті і розроблені питання підвищення безпеки обслуговування верстата-аналога і поліпшення умов праці на ньому. Верстат є фрезерний інструментальний широкоуніверсальний загального призначення. Робітник при обслуговуванні його виконує велику кількість маніпуляцій з органами керування та операцію завантаження заготовок і зняття готових деталей в основному вручну, за виключенням деталей вага яких перевищує зазначені в рекомендаціях стандарту хорони приці по переміщенню вантажу (деталей, заготовок) [23] за допомогою транспорно-підйомних механізмів.

Перелік вимог і заходів забезпечення безпеки і методика їх перевірки для верстатів з ручним керуванням при безпереривній швидкості подачі більше 2 м / хв і зі швидкістю прискореного переміщення, що перевищує 5 м / хв.

Вимога або міра забезпечення безпеки при механічній небезпеці. Методика перевірки: робоча зона повинна бути огорожена стаціонарною або рухомою огорожею з блокуванням. Огородження повинні відповідати ЄП 953. Примітка - У ЄП 294 вказані розміри, що забезпечують запобігання попаданню рук в небезпечні зони. Однак на практиці висота огорожень і вертикальних переміщень столу не завжди забезпечує повне дотримання вимог ЄП 294 Візуальний контроль і практичні випробування: верстат може працювати тільки при закритих заблокованих огорожах. Блокуючі пристрої повинні бути виконані відповідно до ЄП 1088. Відкриття заблокованих огорожень повинно призводити до припинення або затримки небезпечних рухів верстата. Категорія зупинки відповідно до ЄП 60204-1 (пункт 9.2.5.3), за винятком механізмів, що вимагають послідовного відключення, де повинна застосовуватися категорія зупинки 1, повинно бути додаткове захисне огороження (ЄП 1088, пункт 7.4), коли потрібно виконати відкриття заблокованої рухомої огорожі для

забезпечення доступу в небезпечну зону під час гальмування (тобто повільного зупинки).

Забезпечення налаштування верстата: Якщо необхідно здійснити механізоване переміщення на верстаті при відкритому огорожі (наприклад, для налаштування верстата), то ці переміщення повинні бути можливі тільки при виконанні наступних умов: а) руху подачі зі швидкістю менше 2 м / хв від пристрою управління в пкльсуючому режимі «пуск-стоп»; б) обертання шпинделя має включатися і підтримуватися одним з таких засобів: - пристроєм управління в імпульсному режимі «пуск-стоп»; - пристроєм управління пуском шпинделя разом з відмикаючим пристроєм. Швидкість шпинделя повинна бути обмежена до значення, при якому шпиндель після виключення повинен зупинитися за два оберти в режимі холостого ходу. Ця функція зниженої швидкості повинна відповідати [табл 5, 24]. Якщо передбачений конвеєр для стружки, то він повинен керуватись пристроєм управління в імпульсному режимі «пуск-стоп» або іншими відповідними захисними пристроями. При необхідності зробити виміри, щоб гарантувати, що передбачені швидкості і відстані не перевищено 1.2 [24].

Вибір діаметра фрези залежить, як правило, від ширини оброблюваної заготовки, а також від потужнісних характеристик верстата. При цьому важливим фактором, що визначає успішне виконання операції фрезерування, є взаємне розташування оброблюваної поверхні і фрези. Ширина фрезерування особливо сильно впливає на вибір діаметра фрези при обробці торцевими фрезами. В цьому випадку рекомендується вибирати діаметр фрези, що перевищує ширину фрезерування на 20-50%. Якщо обробка може бути проведена за кілька проходів, то ширина різання за кожен прохід повинна бути рівною $3/4$ діаметра фрези. При цьому формування стружки і навантаження на різальну кромку будуть оптимальними. [25]

Коли діаметр фрези значно перевищує ширину заготовки, то вісь фрези слід змістити з осі симетрії заготовки. Звичайно, близьке розташування осі фрези до осі заготовки дозволяє забезпечити найкоротший шлях зубів фрези в металі, надійне формування стружки на вході і сприятливу ситуацію щодо ударних

навантажень на пластину. Варіант коли вісь фрези розташована точно по осі симетрії заготовки, циклічна зміна сили різання при врізанні і вихід може привести до виникнення вібрацій, які приведуть до пошкодження пластини і зменшення шорсткості поверхні. [25]

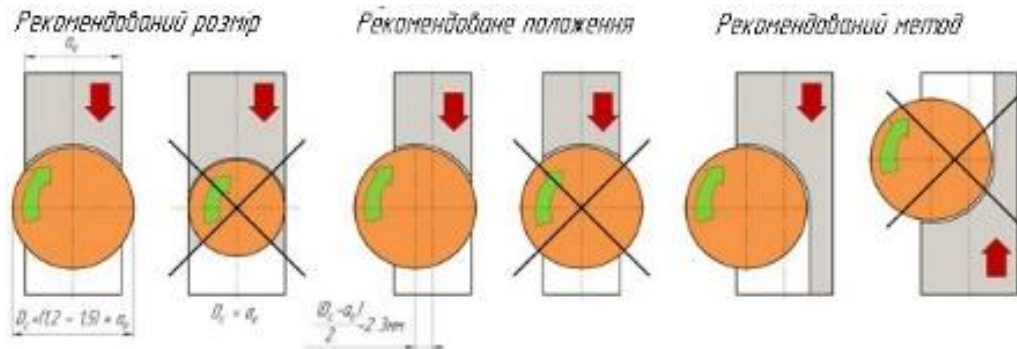


Рис. Варіанти розміщення фрези відносно заготовки

При торцевому фрезеруванні по рекомендується уникати фрезерування площин з перетином пазів і отворів, так як при цьому ріжучі кромки будуть працювати в незадовільних умовах переривчастого різання. Виконання операції виготовлення отворів та пазів після фрезерування. Якщо такий варіант неможливий, то при перетині фрезою отвори рекомендовано знижувати величину подачі на 50% від рекомендованої. При обробці великих площин необхідно не переривати контакт фрези із заготовкою, обходячи поверхню по периметру, а не за кілька паралельних проходів. Обробку кутів необхідно здійснювати по радіусу, що перевищує радіус фрези, щоб виключити можливість виникнення вібрацій, пов'язаних з різким збільшенням кута охоплення фрези.

4.2 Перевірочний розрахунок муфти електроприводу верстату

Для передачі крутного моменту з вихідного вала двигуна на привідний вал коробки швидкостей застосовується пружна компенсуюча муфта зі сталевими стержнями. Пружними елементами даної муфти є сталеві циліндричні стержні, які аксіально розташовані по осі розміщення. Стержні встановлені в отвори напівмуфт по посадці H8 / h9. Монтаж і демонтаж муфти можна виконувати без

осьового зсуву з'єднаних вузлів. Стрижні виготовляють з рессорно-пружинних сталей, напівмуфти - з вуглецевих конструкційних сталей. Для розрахунку крутного моменту T_k , який навантажує муфту в приводі, використовується рівняння [26, с. 299].

$$T_k = K \cdot T_h, \quad (4.1)$$

де: T_h – номінальний діючий момент. За паспортними даними верстата 676П, встановлений електродвигун А1004S (3 кВт, 1430 об.). $T_h = 49,99$ Нм;

K – коефіцієнт режиму роботи, $K=1,5$ при середньому режимі роботи.

$$T_k = 1,5 \cdot 49,99 = 74,98 \approx 75 \text{ Нм}$$

Вибираємо муфту по таблиці [27, с. 150] для моменту $T=75$ Нм (рис. 4.1).

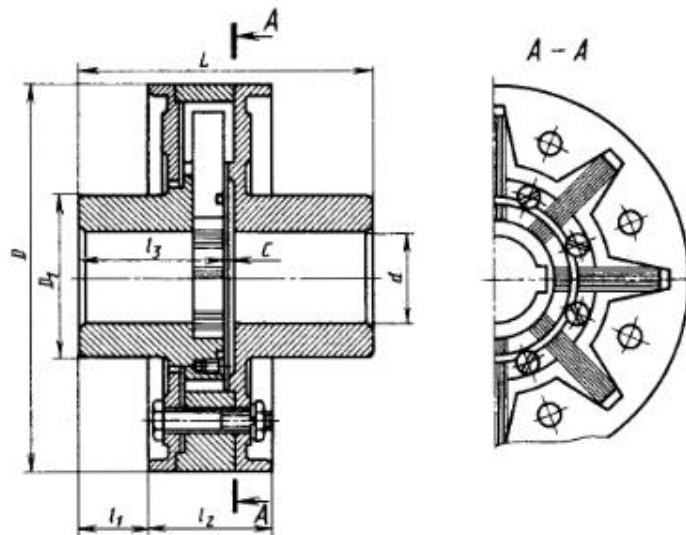


Рис.4.1 Переріз пружної муфти

Діаметр посадки отвору $d = 25$ мм; діаметр зовнішньої поверхні півмуфти $D = 120$ мм; діаметр зовнішньої циліндричної поверхні маточини $D_1 = 45$ мм; загальний габарит по довжині $L = 82$.

В теоретичних розрахунках додаткове навантаження пружних елементів, викликане радіальним зміщенням валу, враховується при визначення крутного моменту.

$$T = K_p T_k \quad (4.2)$$

де: $K_p=1,1$ – коефіцієнт який враховує додаткове навантаження.

$$T = 1,1 \cdot 49,99 = 54,98 \approx 55 \text{ Нм}$$

Розраховуємо геометричні характеристики.

$$D_0 = 18 \cdot \sqrt[3]{T} = 18 \cdot \sqrt[3]{49,99} = 65,88 \text{ мм} \quad (4.3)$$

приймаємо $D_0 = 70 \text{ мм}$.

$$S = \xi D_0 = 0,26 \cdot 70 = 18,2 \quad (4.4)$$

$$l_c = 2,4 \cdot S = 43,7 \text{ мм} \quad (4.5)$$

приймаємо $l_c = 45 \text{ мм}$.

Діаметр стержнів.

$$d_c = \frac{4[\sigma]_u D \xi^2 (3 - \psi^2)}{3E\varphi} \quad (4.6)$$

де: $[\sigma]_u$ - допустиме напруження згину матеріалу стержня – сталь 60С2ХА

$[\sigma]_u = 1260 \text{ МПа}$ [34 с. 307] ;

E – модуль пружності;

$\psi = 1$ - для муфт з постійною жорсткістю;

$\xi = 0,26$

$\varphi = 0,035 \text{ рад}$ – кут відносно повороту півмуфти.

$$d_c = \frac{4 \cdot 1260 \cdot 70 \cdot 0,26^2 \cdot (3 - 1^2)}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,035} = 2,16 \text{ мм}$$

приймається $d_c = 2,5 \text{ мм}$.

Число стержнів.

$$z = \frac{64 \cdot 10^3 \xi \psi T}{\pi [\sigma]_u d_c^3} = \frac{64 \cdot 10^3 \cdot 0,26 \cdot 1 \cdot 55}{3,14 \cdot 1260 \cdot 2,5^3} = 14,80 \quad (4.7)$$

Приймається $z = 15 \text{ шт}$.

Для зменшення зносу стержнів і їх гнізд в півмуфтах через масляний канал заповнюється пластичним мастилом.

4.3. Висновки до розділу 4

В рамках 4 розділу розроблені заходи безпеки при обслуговуванні фрезерного верстата загального призначення, а саме:

1. Ергономічне розташування зихисних екранів.

2. Використання імпульсних вимикачів для аварійного відключення верстата при відкриті захисту зони обробки деталі.
3. Встановлення захисних екранів для запобігання травмування фрезерувальника при виконанні робіт.
4. Застосування блокуючих та фіксуєчих пристроїв при аварійних ситуаціях.
5. Описані рекомендації щодо стабільного процесу фрезерування.
6. Рекомендовані методи безпечного технологічного процесу фрезерування плоских поверхонь.

Розраховано пружну муфту електроприводу, використовуючи відомі крутні моменти на виході електродвигуна. Муфта служить для компенсації навантажень які виникають в зачепленні двигуна та привідного вала коробки швидкостей та запобігання радіальних коливань та захисту від можливої поломки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу існуючих методів оцінювання точності кінематичних ланцюгів подач, запропоновано імовірісно-статистичний метод, який дозволяє оцінити та порівняти характеристики розсіювання подач і виявити ділянки кінематичних, на яких необхідна корекція норм точності зубчастих коліс.

2. Здійсненим оглядом і аналізом існуючого стану геометричних і математичних моделей профілів шорсткості плоских поверхонь сформованих торцевим фрезеруванням встановлено, що питання шорсткості висвітлено недостатньо.

3. Запропоновані нові підходи для створення геометричних і математичних моделей в основі яких покладено удосконалення конструкцій торцевих фрез і корекцію відповідних геометричних різальних параметрів, що призводить до зменшення параметра Rz на 40-45% по відношенню до його величини отриманої при використанні традиційних торцевих фрез.

4. Встановлено, що у випадку виконання торцевих фрез з несиметричним розміщенням зубів, з так званими чистовими зубами, їх положення визначається двома параметрами: подачею на зуб та скоректованим головним кутом в плані φ_k чистового різця. У цьому випадку шорсткість поверхні знаходиться у 2,2-2,4 разів.

5. Підтверджено, що на такий показник якості обробленої як шорсткість за параметром Rz, значний вплив має точність кінематичних ланцюгів подач, яку запропоновувати оцінювати дисперсією розсіювання подач.

6. Експериментально підтверджено, що точність подач має значне розсіювання і оцінювати його рекомендовано за критерієм Фішера F, що характеризує суттєву відмінність між дисперсіями.

7. Запропоновано за показник точності кінематичних ланцюгів подач прийняти суму їх математичних сподівань $M(S)$ та половину поля розсіювання тобто, $M_{max}(S) = M(S) + 3\sqrt{D(S)}$.

8. Отримані розрахункові значення параметра R_{zp} на основі імовірнісного підходу з врахування стохастичності подач, які підпорядковуються нормальному закону розподілу.

9. Використання нових конструкцій торцевих фрез з асиметричним розміщенням чистових зубів дозволить виключити із технологічного процесу операцію шліфування, вартість якої складе очікуваний економічний ефект.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Мельничук П. П. Теоретико-технологічне обґрунтування можливостей обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, замість шліфування / П. П. Мельничук, В. Ю. Лоев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2014. - № 3. - С. 164-172. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2014_3_32
2. Мельничук П. П. Схеми різання при обробці торцевими фрезами плоских поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів/ П. П. Мельничук, Л. Є. Глембоцька // Вісник Житомирського державного технічного університету. Технічні науки. - 2006. - № 3. - С. 3-10. – Режим доступу: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/97900/95365>
3. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.01 / П.П. Мельничук ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т", Житомир інженер.-технол. ін-т. — К., 2002. — С. 36.: рис. — укр.
4. Андреев В.Н. Конструкция и эксплуатация ступенчатых фрез с механическим креплением многогранных твердосплавных пластинок / В.Н. Андреев , С.С. Тамбовцев // Фрезы: Сборник докладов всесоюзного совещания по фрезам. – М.: ВНИИ, 1968. – С.69–74.
5. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. / Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П.- М.: Машиностроение, 1979. – С. 176.
6. Егоров М. Е. Технология машиностроения /М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1965. – С. 600.
7. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов:учебник. / В.Ф. Бобров. - М.: "Машиностроение", 1975. – С. 344.
8. Лось І. Г. Імовірно-статистичний метод визначення точності кінематичних ланцюгів подач фрезерного верстата 676Н / І. Г. Лось. Збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених і студентів (27-28 листопада 1919 р.) м Тернопіль – 2019. – с. 110-112.

9. Хусу А.П.Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход)/ А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов - М.: Наука, 1975. – С. 344.
10. Табенкин А.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / А.Н. Табенкин, С.Б. Тарасов, С.Н. Степанов // Под ред. канд. техн. наук Н.А. Табачниковой. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – С. 136.
11. ГОСТ 25142-82 – СССР. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – М.: изд. Стандартов СССР, 1982. – С. 49
12. Болдин Л.А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении. / Л.А. Болдин. - М.: "Машиностроение", 1984. – С. 372.
13. Кобельник В. Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль, 2013. – С. 210.
14. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль, - Тернопіль, 2015. – С. 185.
15. Кривий П.Д. Імовірно-статистичний метод оцінювання точності подач токарних, свердлильних і фрезерних верстатів загального призначення/ П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, І.Г. Лось, І.Р. Петречко, Н.М. Тимошенко.// Збірник тез доповідей XVI Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування очима молодих», , 25-26 листопада 2020 року. — С. : СДУ, 2020.
16. Вікторія. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / Вікторія. – Вісник ДДМА, 2019, №3 (47). – С. 199-206.
17. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. – 2-е изд. перераб. и доп. / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – С. 343.

18. Статистичне оцінювання міцності пресових з'єднань приводних ременевих ланцюгів закордонних фірм на основі теорії малих вибірок / [П. Кривий, Н. Тимошенко, В. Коломієць, Р. Чорний]. – Тернопіль: Вісник тернопільського національного технічного університету. – 2013. – 2(70). – С. 121-129.
19. Вплив випадковості подачі на висоту мікронерівностей поверхні при її точінні або розточуванні / П. Кривий, Н. Тимошенко, М. Шарик, В. Крупа // Львів : Машинознавство. – 2013. – №9-10 (195-196). – С. 76-83.
20. Хан Г. Стохастические модели в инженерных задачах. Пер. с англ. / Г. Хан, С. Шаперо. – Москва: Мир, 1969. – с. 395.
21. Грановський Г. И. Резание металлов. Учебник для машиностр. и приборостр. спец. / Г. И. Грановский, В.Г. Грановский – Москва: Высшая школа, 1985. – С. 304/
22. Армарего И. Д. Обработка металлов резанием. пер.с англ. В.А Пастухова / И. Д. Армарего, Р. Х. Браун. – Москва: Машиностроения, 1971. – С. 325.
23. Вантажно-розвантажувальні роботи вручну // Веб-сайт: Охорона праці та пожежна безпека <https://oppb.com.ua/articles/vantazhno-rozvantazhuvalni-roboty-vruchnu> (дата звернення: 10.12.2020).
24. Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки фрезерные (включая расточные) // Веб-сайт: РТС Tendr <https://www.rts-tender.ru/poisk/gost/en-13128-2006> (дата звернення: 10.12.2020).
25. Рекомендация по фрезерованию // Веб-сайт: Планета САМ <https://www.http://planetacam.ru/college/learn/2-5/> (дата звернення: 10.12.2020).
26. Дунаев П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – Ленин: Высшая школа, 2000.
27. Решетова Д. Н. Атлас по деталям машин т. 1,2 / Д. Н. Решетова. – Москва: Машиностроение, 1992.

Додатки

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
 Національна академія наук України
 Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
 Маріборський університет (Словенія)
 Технічний університет у Кошице (Словаччина)
 Вільнюський технічний університет ім. Гедімінаса (Литва)
 Шяуляйська державна колегія (Литва)
 Жешувський політехнічний університет ім. Лукасевича (Польща)
 Білоруський національний технічний університет (Республіка Білорусь)
 Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
 Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)
 Наукове товариство ім. Шевченка
 ГО «Асоціація випускників Тернопільського національного технічного університету імені
 Івана Пулюя»

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

Том I

ІХ Міжнародної науково-технічної
 конференції молодих учених та студентів
 25-26 листопада 2020 року



УКРАЇНА
 ТЕРНОПІЛЬ – 2020

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ternopil Ivan Puluj National Technical Universtiy (Ukraine)
The National Academy of Sciences of Ukraine
Pierre and Marie Curie University (The French Republic)
University of Maribor (The Republic of Slovenia)
Technical University of Košice (The Slovak Republic)
Vilnius Gediminas Technical University (The Republic of Lithuania)
Šiauliai State College (The Republic of Lithuania)
Belarusian National Technical University (Republic of Belarus)
Rzeszów University of Technology (Republic of Poland)
International Academy Mohammed VI of Civil Aviation (Morocco)
National University of Life and Environmental Sciences of Ukrainehas (Ukraine)
T. Shevchenko Scientific Society

CURRENT ISSUES IN MODERN TECHNOLOGIES

Book

of abstract

Volume I

**of the IX International scientific and technical
conference of young researchers and students**

25th-26th of November 2020



**UKRAINE
TERNOPIL – 2020**

УДК 621.9.06-529

П.Д. Кривий канд. техн. наук, доц., І.Г. Лось, С.Я. Дубина

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ІМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ЗБІЛЬШЕННЯ ПОДАЧ НА ТОЧНІСТЬ ЇХ КІНЕМАТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ НА ПРИКЛАДІ ФРЕЗЕРНОГО ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ШИРОКОУНІВЕРСАЛЬНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 676

P.D. Kryvyy, Ph.D., Assoc.Prof., I.G. Los, S.Y. Dubyna

PROBABILITY APPROACH IN THE STUDY OF THE INFLUENCE OF INCREASED FEEDS ON THE ACCURACY OF THEIR KINEMATIC CHAINS ON THE EXAMPLE OF MILLING MACHINE OF MODEL 676

Проаналізовано методи визначення точності кінематичних ланцюгів подач металорізальних верстатів в імовірнісному аспекті [2,3].

Відзначено, що у існуючих дослідженнях не висвітлено впливу збільшення подач на їх точнісні характеристики, а саме на дисперсію і не було визначено суттєвості відмінності між отриманими значеннями дисперсій $D_i(S_j)$. Під індексом $j=1,2,3,4$, будемо розуміти порядковий номер j -ої подачі, а саме: $j_1 = 0.017$ мм/зуб; $j_2 = 0.017$ мм/зуб; $j_3 = 0.105$ мм/зуб; $j_4 = 0.131$ мм/зуб. Схема вимірювання подач подана на рисунку 1.

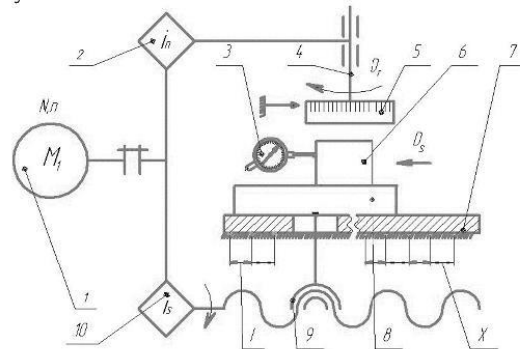


Рисунок 1. Схема вимірювання величини подачі на зуб фрези:

1-електродвигун; 2-коробка швидкостей; 3-індикатор з мікронною шкалою; 4-шпиндель; 5-градусна шкала шпинделя; 6-заготовка; 7-станина верстата; 8-стіл; 9-передача гвинт-гайка; 10-коробка подач; I-X-проміжки вимірювань.

Суть вимірювання у наступному. Спочатку встановлюємо паспортне значення подачі, наприклад, $S_{хв}=40$ мм/хв. Нехай з врахуванням діаметра фрези і допустимої швидкості різання, розрахункова частота обертання шпинделя $n_{шп}=420$ об/хв. За паспортом фрезерного верстата моделі 676, встановлюємо дійсну $n_{шп,д}=400$ об/хв. Врахувавши кількість зубів фрези $Z_{фр}=6$, визначаємо розрахункову подачу на 1 зуб фрези

$$S_z = \frac{S_{хв}}{n_{шп,д} \cdot Z_{фр}} = \frac{40}{400 \cdot 6} = 0,017 \text{ мм/зуб і відповідний кут повороту шпинделя } \varphi, \text{ вибираємо}$$

можливі зазори у зубчастих зачепленнях (на рис.1 не показано) і в зачепленні гвинт-гайка 9. Включивши частоту обертання шпинделя 4 і повздовжню подачу переміщення стола 8, здійснюємо поворот вала електродвигуна 1, при цьому фіксуємо на шкалі 5 поворот шпинделя на кут $\varphi = 60^\circ$ і за показами індикатора 3, визначаємо подачу на 1

*Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів.
Актуальні задачі сучасних технологій Тернопіль 25-26 листопада 2020.*

зуб фрези. Аналогічно здійснивши 10 таких прийомів при на кожному із (I-X) проміжків, отримуємо значення S_{zi} . Піддавши отримані значення статистичному обробленню [1,4] отримали характеристики розсіювання, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Значення подач та характеристики їх розсіювання.

№		Паспортне значення подач на зуб фрези, S мм/зуб:			
		0,017	0,085	0,105	0,131
Значення подач мм/зуб	1	0.011	0,081	0,102	0.132
	2	0.014	0,080	0,105	0.130
	3	0.013	0,079	0,103	0.118
	4	0.013	0,079	0,102	0.128
	5	0.015	0,076	0,100	0.125
	6	0.016	0,086	0,103	0.120
	7	0.015	0,079	0,100	0.127
	8	0.015	0,078	0,100	0.130
	9	0.017	0,080	0,102	0.127
	10	0.018	0,074	0,103	0.123
Характеристики розсіювання	M(S), мм	147×10^{-4}	792×10^{-4}	102×10^{-3}	126×10^{-3}
	D(S _z), мм	$3,8 \times 10^{-7}$	$8,96 \times 10^{-7}$	$2,4 \times 10^{-6}$	18×10^{-6}
	σ , мм	207×10^{-5}	299×10^{-5}	155×10^{-4}	351×10^{-4}
	K _v	0.14	0.037	0.15	0.27
Суттєва (+) та несуттєва відмінність (-)			(+)	(+)	(+)

Висновок. 1. Вперше встановлено, що із збільшенням подачі на зуб фрези дисперсії можуть суттєво відрізнятися.

2. Таким чином запропонований метод може бути використаний у діагностиці визначення норми точності певних зубчастих коліс коробки подач фрезерних верстатів.

Література

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 4-е изд., стереотип /Вентцель Е. С. – Москва: Наука, 1969. – 576 с. – (Физматгиз).
2. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління паскрізних отворів регулюванням подачі: дис.... канд. техн. наук, спец. 05.03.01/ Кобельник Володимир Романович – Тернопіль, 2013.-168с.
3. Лось І. Г. Імовірнісно-статистичний метод визначення точності кінематичних ланцюгів повздовжніх подач фрезерного верстата моделі 676 / І. Г. Лось // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 1. — С. 110–111. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).
4. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. 2-е изд., перераб. и доп. / П. Г. Кацев. – Москва: Машиностроение, 1974. – 231 с.

**ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ
СТАБІЛЬНОСТІ ТОЧНОСТІ КІНЕМАТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ
ПОДАЧ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ НА ПРИКЛАДІ ВЕРСТАТА
МОДЕЛІ 676**

Кривий П.Д., Лось І.Г., Дубина С.Я.
(ТНТУ ім.І.Пулюя, м.Тернопіль, Україна)

Проаналізовано існуючі методи вимірювання точності кінематичних ланцюгів подач з врахуванням їх стохастичності для токарних, свердлильних і фрезерних верстатів загального призначення [1,2].

Показано, що значення подач на 1 оберт фрези – S мм/об для всіх чисел ряду подач, досліджуваних на вищезгаданих верстатах, є величини випадкові з нормальним законом розподілу.

Виявлено, що на даний час, питання стабільності точності кінематичних ланцюгів для різних подач не висвітлено.

Тому дослідження стабільності точності кінематичних ланцюгів подач фрезерних верстатів є актуальною задачею. Її актуальність полягає у тому, що отримані результати можуть послужити основою для діагностики і корекції степенів точності зубчастих зачеплень змінної частини кінематичних ланцюгів, яка являє собою комплект зубчастих зачеплень відповідних шестерень і зубчастих коліс.

Використавши методику визначення значень подач і їх характеристик [1], на кожному із 16 однакових по довжині проміжків, рівномірно розміщених по ходу поздовжнього переміщення стола вимірювалось, при встановленій верстатній подачі на 1 об. шпинделя по 10 значень, на основі яких визначалось 16 значень дисперсій. Отриманні результати наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Значення паспортних подач S мм/об і відповідних їм дисперсій $D_i(S)$, (мм/об)².

Порядкові номери подач							
1 $\frac{1}{9}$	2 $\frac{2}{10}$	3 $\frac{3}{11}$	4 $\frac{4}{12}$	5 $\frac{5}{13}$	6 $\frac{6}{14}$	7 $\frac{7}{15}$	8 $\frac{8}{16}$
Паспортні значення подач - S мм/об при встановленій частоті обертання шпинделя $n = 400$ об/хв							
$\frac{0,031}{0,200}$	$\frac{0,040}{0,250}$	$\frac{0,050}{0,312}$	$\frac{0,062}{0,400}$	$\frac{0,079}{0,500}$	$\frac{0,100}{0,625}$	$\frac{0,125}{0,787}$	$\frac{0,157}{1,000}$
Значення дисперсій $D_i(S) \cdot 10^{-6}$ (мм/об) ²							
$\frac{7,60}{6,85}$	$\frac{1,21}{9,56}$	$\frac{3,96}{24,10}$	$\frac{4,81}{15,00}$	$\frac{6,01}{12,00}$	$\frac{7,85}{26,00}$	$\frac{7,45}{75,00}$	$\frac{23,00}{81,00}$

За критерієм Греббса - t_k [3] перевірялась однорідність вибірки $D_i(S)$, в результаті чого визначили, що всі значення у вибірці $D_i(S)$ залишаються рис. 1.

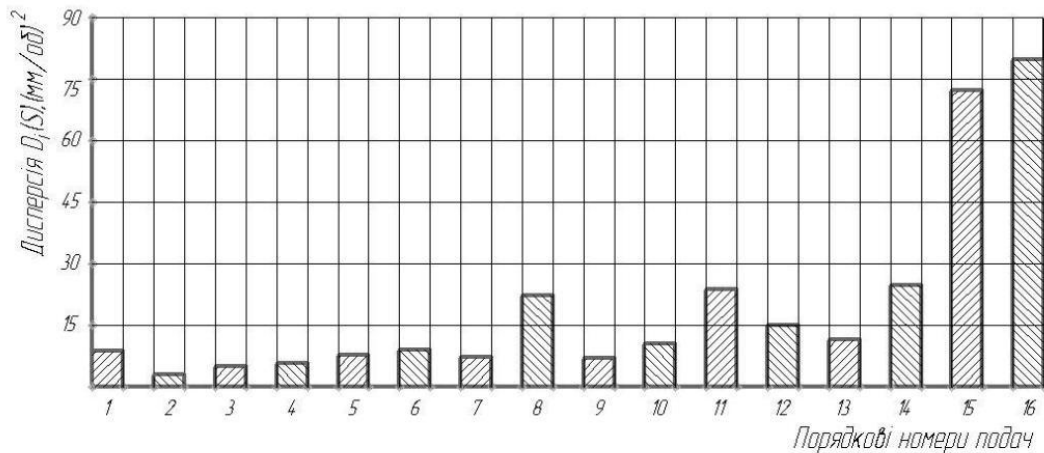


Рис. 1. Гістограма дисперсій розсіювання подач на один оберт фрези.

Суттєвість відмінностей дисперсій визначили за критерієм Фішера $F = \frac{D_{\delta}(S)}{D_M(S)}$, тут $D_{\delta}(S)$ і $D_M(S)$ – відповідно більша і менша із дисперсій. За критерій точності прийнято $D_{min}(S) = 1,21$ (мм/об)².

Встановлено, що суттєва відмінність по відношенню до $D_{min}(S)$ має місце для дисперсій: $D_8(S) = 23 \cdot 10^{-6}$ (мм/об)², $D_{11}(S) = 24,10 \cdot 10^{-6}$ (мм/об)², $D_{14}(S) = 26 \cdot 10^{-6}$ (мм/об)², $D_{15}(S) = 75 \cdot 10^{-6}$ (мм/об)², $D_{16}(S) = 81 \cdot 10^{-6}$ (мм/об)².

Висновок. Запропонований імовірісно-статистичний методі оцінювання стабільності точності подач кінематичних ланцюгів фрезерених верстатів дозволяє виявити такі змінні частини кінематичних ланцюгів подач, у яких відповідні типи зачеплень типу шестерня-зубчасте колесо вимагають корекції норм точності. Даний метод може бути використаний для діагностики точнісних параметрів у інших типах металорізальних верстатів.

Література. 1. Кривий П.Д. Імовірісно-статистичний метод оцінювання точності подач токарних, свердильних і фрезерних верстатів загального призначення/ П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, І.Г. Лось, І.Р. Петречко, Н.М. Тимошенко.// Збірник тез доповідей XVI Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування очима молодих», 25-26 листопада 2020 року. — С. : СДУ, 2020. **2.** Кривий П.Д. Імовірісний підхід при дослідженні впливу збільшення подач на точність їх кінематичних ланцюгів на прикладі фрезерного інструментального широкоуніверсального верстата моделі 676/ П.Д. Кривий , І.Г. Лось,С.Я. Дубина // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учсних та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 1. — С. 79–80. — (Сучасні технології в будівництві, машина- та приладобудуванні). **3.** Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я. Д. Колкер. – Київ: Техніка, 1976. – 200 с.