

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

На правах рукопису

УДК 621.9

КРУПА ВОЛОДИМИР ВАСИЛЬОВИЧ

МЕТАЛОРІЗАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ З АСИМЕТРИЧНИМ РОЗМІЩЕННЯМ ЛЕЗ
ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ЦИЛІНДРІВ

05.03.01 процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник
Кривий Петро Дмитрович
кандидат технічних наук, доцент

Тернопіль – 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ.....	14
1.1 Особливості процесу оброблення глибоких отворів металорізальними інструментами.....	14
1.2 Аналіз існуючих напрямів досліджень в галузі оброблення глибоких отворів.....	16
1.3 Схеми роботи багатолезових металорізальних інструментів при обробленні глибоких отворів.....	19
1.4 Огляд і аналіз інструментального забезпечення для оброблення глибоких отворів.....	20
1.4.1 Багатолезові металорізальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою поділу припуску.....	21
1.4.2 Багатолезові металорізальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою поділу подачі.....	25
1.4.3 Багатолезові металорізальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою одночасного поділу припуску та подачі.....	30
1.4.4 Огляд і аналіз конструкцій плаваючих пластин.....	33
1.5 Аналіз існуючих залежностей для визначення розрахункових висотних параметрів шорсткості.....	35
1.6 Аналіз факторів, що впливають на розсіювання подач універсальних верстатів.....	41
1.7 Аналіз існуючих методів оцінювання шорсткості глибоких отворів....	42
1.8 Аналіз існуючих методів дослідження сил різання БМІ для оброблення глибоких отворів.....	44
1.9 Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження	45
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИСОТНИХ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ,	

СФОРМОВАНОЇ ОБТОЧУВАННЯМ, РОЗТОЧУВАННЯМ ЧИ ЗЕНКЕРУВАННЯМ.....	48
2.1 Розроблення уточнених геометрично-математичних моделей висоти мікронерівностей обробленої поверхні.....	48
2.2 Дослідження точності подач на універсальних токарних верстатах.....	60
2.3 Ймовірно-математичні моделі висотних параметрів шорсткості обробленої поверхні точінням чи розточуванням.....	63
2.4 Висновки по розділу.....	74
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ЦИЛІНДРІВ.....	75
3.1. Класифікація БМІ для оброблення глибоких отворів.....	
3.2 Теоретичне обґрунтування деяких технологічних та конструкторських параметрів трирізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів.....	75
3.2.1 Основні передумови проектування трирізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів циліндрів	75
3.2.2 Визначення деяких технологічних елементів режиму розточування отворів трирізцевими розточувальними головками та їх конструкторських параметрів.....	79
3.3 Чотирирізцеві розточувальні головки, для комбінованого розточування глибоких отворів.....	82
3.3.1 Основні передумови проектування чотирирізцевих розточувальних головок (ЧРРГ).....	82
3.3.2 ЧРРГ з корегованим головним кутом в плані на ТЧР та $r=0$ (за першим варіантом конструкторського виконання).....	83
3.3.2.1 Теоретичне обґрунтування деяких конструкторських параметрів ЧРРГ, виконаної за першим варіантом	83
3.3.2.2 Оптимізація кутів в плані чистових різців ЧРРГ, виконаної за	

першим варіантом, з умови забезпечення максимальної продуктивності	87
3.3.3 ЧРРГ з корегованим допоміжним кутом в плані на ТЧР та $r=0$ (за другим варіантом конструкторського виконання).....	90
3.3.3.1 Теоретичне обґрунтування деяких конструкторських параметрів ЧРРГ, виконаної за другим варіантом	90
3.3.3.2 Оптимізація кутів в плані чистових різців ЧРРГ, виконаної за другим варіантом з умови забезпечення максимальної продуктивності.....	92
3.3.4 ЧРРГ з коригованим головним кутом в плані на ТЧР та $r \neq 0$ (за першим варіантом конструкторського виконання).....	95
3.3.5 ЧРРГ з коригованим допоміжним кутом в плані на ТЧР і $r \neq 0$ (за другим варіантом конструкторського виконання).....	99
3.3.6 Визначення кутових положень та глибин різання на чорновому та чистових різцях ЧРРГ.....	101
3.3.7 Конструкція ЧРРГ для комбінованого розточування глибоких отворів	103
3.3.8. Порівняння запропонованих ЧРРГ з асиметричним розміщенням лез з БМІ із симетричним розміщенням різців.....	105
3.4 Чотиризубі зенкери з попарно-асиметричним розміщенням зубів для оброблення глибоких отворів	107
3.4.1 Конструктивні особливості чотиризубих зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням зубців за першим варіантом їх конструкторського виконання.....	107
3.4.2 Конструктивні особливості чотиризубих зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням зубів за другим варіантом їх конструкторського виконання.....	109
3.4.3 Конструкція чотиризубого зенкера з попарно-асиметричним розміщенням зубів для оброблення глибоких отворів.....	111
3.5 Висновки по розділу.....	116
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	117

4.1 Програма експериментальних досліджень силових характеристик процесу оброблення та якісних показників обробленої поверхні.....	117
4.2 Методика проведення експериментальних досліджень силових характеристик процесу розточування та зенкерування тонкостінних циліндрів з глибокими отворами.....	118
4.2.1 Експериментальні лабораторні дослідження силових параметрів процесу зенкерування отворів зенкерами з асиметричним розміщенням лез на основі теорії планування експерименту.....	118
4.2.2 Проведення експерименту в лабораторних умовах з використанням методу найменших квадратів.....	122
4.3 Експериментальне обладнання для дослідження силових характеристик процесу оброблення глибоких отворів багатолезовими різальними інструментами.....	124
4.3.1 Спеціальний патрон для закріплення тонкостінних заготовок циліндрів з глибокими отворами.....	124
4.3.1.1 Технічні умови розроблення конструкції спеціального патрона....	124
4.3.1.2 Конструкція спеціального патрону.....	128
4.3.2 Спеціальний динамометричний пристрій для оброблення глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті.....	134
4.3.3 Установка для проведення виробничих випробувань	134
4.4 Методика визначення впливу подачі на тангенціальну силу різання при розточуванні та зенкеруванні з використанням теорії малої вибірки та його реалізація.....	137
4.4.1 Методика визначення впливу подачі на тангенціальну силу різання при розточуванні та зенкеруванні.....	137
4.4.2 Реалізація методики на прикладі дослідження впливу подачі на тангенціальну силу різання при зенкеруванні отвору $\varnothing 16$ мм	142
4.4.2.1 Оцінювання грубих похибок (наявності аномальних значень) експериментальних даних.....	143
4.4.2.2 Перевірка гіпотези про нормальність розподілу значень	

тангенціальної сили різання P_z при зенкеруванні за критерієм узгодження розподілу W	143
4.4.2.3 Визначення характеристик розсіювання випадкових нормально розподілених величин P_{zsi}	146
4.4.2.4 Оцінювання істотності впливу подачі на вибіркові середні значення тангенціальної складової сили різання P_{zsi} при зенкеруванні отвору $\emptyset 16$ мм.....	148
4.4.2.5 Перевірка істотності впливу подачі на дисперсії розсіювання величини тангенціальної сили P_{zsi}	151
4.5 Висновки по розділу.....	153
РОЗДІЛ 5. ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ АНАЛІЗ. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОЗРОБОК.....	154
5.1 Проведення експериментальних випробувань в умовах виробництва.....	154
5.1.1 Випробування розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів циліндрів.....	154
5.1.2 Випробування спеціальних зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням лез	156
5.2 Опрацювання та аналіз результатів експериментальних досліджень на основі теорії планування експерименту.....	157
5.3 Опрацювання результатів експерименту з використанням методу найменших квадратів.....	164
5.4 Порівняння результатів експериментальних досліджень.....	167
5.5 Оцінка шорсткості оброблених поверхонь.....	170
5.6 Економічна ефективність використання запропонованих інструментів.....	176
5.6.1 Економічний ефект від використання спеціального зенкера з попарно-асиметричним розміщенням лез	177
5.6.1.1 Визначення економічного ефекту від використання спеціального	

зенкера з попарно-асиметричним розміщенням лез за рахунок збільшення продуктивності оброблення.....	177
5.6.1.2 Визначення економічного ефекту від використання спеціального зенкера з попарно-асиметричним розміщенням лез за рахунок підвищення довговічності.....	179
5.6.2 Визначення економічного ефекту від використання чотирирізцевої розточувальної головки з поділом пропуску і подачі.....	180
5.7 Висновки по розділу.....	183
ВИСНОВКИ.....	184
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	186
ДОДАТКИ.....	208

ВСТУП

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток машинобудування на основі науково-технологічного прогресу, організація нових галузей виробництва, машин і обладнання різного технологічного призначення забезпечує швидке розширення номенклатури деталей з глибокими отворами.

На даний час деталі з глибокими отворами (гребні гвинти, ротори і вали турбін та електрогенераторів, гільзи, циліндри і плунжери двигунів внутрішнього згорання та гідросистем, шпинделі верстатів, корпуси амортизаторів, підсилюючих механізмів повороту і управління автомобілів, кокілі для відцентрового литва та ін.) обробляються на підприємствах всіх основних галузей промисловості. Трудомісткість виготовлення глибоких отворів у таких деталях в деяких машинах складає 14-20% від трудомісткості всієї механічної обробки.

Існуючі технологічні процеси оброблення глибоких отворів розділяють на два класи: перший, коли заготовка є суцільним циліндром, і другий, коли заготовка – пустотілий циліндр. Одним із прогресивних технологічних процесів оброблення глибоких отворів з використанням заготовок у вигляді пустотілих циліндрів є процес, в якому використовують багатолезові металорізальні інструменти (БМІ) – зенкери, або розточувальні головки, які працюють за схемою «на розтяг». При цьому можна забезпечити високу продуктивність оброблення і низьку точність та якість обробленої поверхні або високу точність та якість при низькій продуктивності.

Розроблення конструкцій БМІ на основі нових принципів проектування, які полягають у спеціальному асиметричному розміщенні різальних лез, що дозволяє збільшити продуктивність оброблення при забезпеченні необхідних показників точності та якості оброблюваних поверхонь глибоких отворів є, безперечно, актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя і є складовою частиною плану його науково-дослідної роботи, сформованого на виконання «Державної програми розвитку машинобудування на 2006-2011 р.р.».

затвердженої постановою Кабінету Міністрів України №516 від 18.04.2006 р., невід'ємною частиною держбюджетної науково-дослідної роботи на тему: "Наукові основи конструкторсько-технологічного забезпечення підвищення якісних характеристик приводних роликів ланцюгів бурових установок газонафтодобувного обладнання» (номер державної реєстрації 0110U002264), а також частиною науково-дослідної роботи на тему: "Підвищення ефективності формування якісних показників робочих поверхонь деталей машин" (номер державної реєстрації 0115U002454).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесу оброблення глибоких отворів циліндрів шляхом обґрунтування нових конструкцій багатолезових металорізальних інструментів з асиметричним розміщенням лез.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих проблем, методів, а також конструкцій багатолезових інструментів для розточування та зенкерування глибоких отворів циліндрів.

2. Проаналізувати вплив геометричних та конструкторських параметрів різальних елементів і подачі на висоту нерівностей профілю обробленої поверхні при точінні, розточуванні та зенкеруванні.

3. Висунути і перевірити гіпотезу про стохастичність подач токарних верстатів різних кінематичних ланцюгів та підтвердити її експериментальними дослідженнями.

4. Запропонувати методику оцінки впливу стохастичності подач на параметр висоти нерівностей профілю за десятьма точками R_z при точінні, розточуванні та зенкеруванні.

5. Розробити методики проектування і сконструювати на їх основі багаторізцеві розточувальні головки та зенкери з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів.

6. На основі розроблених методик і технологічного спорядження провести експериментальні дослідження силових характеристик процесу оброблення глибоких отворів пустотілих циліндрів сконструйованими БМІ.

7. Здійснити в ймовірнісному аспекті оцінювання шорсткості поверхонь глибоких отворів циліндрів, оброблених запропонованими БМІ.

8. Розробити методика визначення економічної ефективності від використання у виробництві запропонованих технічних рішень.

Об'єкт дослідження – процес оброблення циліндричних поверхонь глибоких отворів циліндрів БМІ з асиметричним розміщенням лез.

Предмет дослідження – конструктивні та геометричні параметри інструментів з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів, силові характеристики процесу різання та якісні показники оброблених поверхонь.

Методи дослідження. Основою роботи є системний підхід до вивчення та аналізу взаємозв'язку між режимами оброблення, висотними параметрами шорсткості оброблюваних поверхонь та конструкторськими параметрами БМІ для оброблення глибоких отворів. В основу теоретичних досліджень покладено підходи і принципи фундаментальних положень технології машинобудування, теорії різання, теоретичних основ проектування металорізальних інструментів, теорії ймовірностей та математичної статистики, які базуються на математичному описі формування шорсткості обробленої поверхні БМІ. Результати експериментальних досліджень одержано з використанням сучасного стандартного та спеціально розробленого оснащення. Обробку отриманих результатів здійснювали з використанням прикладного програмного забезпечення

Наукова новизна одержаних результатів

1. Запропоновано геометрично-математичні моделі з технічними обмеженнями, які уточнюють вплив подачі, кутів у плані різців та радіусів їх вершин на висоту нерівностей профілю обробленої поверхні за десятьма точками.

2. Вперше експериментально підтверджено стохастичність подач на універсальних токарно-гвинторізних верстатах, встановлено нормальність закону їх розподілу і на цій основі, з урахуванням геометрично-математичних моделей розроблено ймовірнісно-математичні моделі, використання яких дало можливість отримати залежності для визначення характеристик розподілу висот нерівностей профілю за десятьма точками.

3. Вперше на основі розроблених геометрично-математичних та ймовірнісно-математичних моделей запропоновано принципи конструктивної побудови

інструментів з асиметричним розміщенням лез, а саме: три- та чотирирізцевих розточувальних головок і чотиризубих зенкерів, характерною особливістю яких є спеціальне розміщення різальних лез із корегованими значеннями кутів у плані.

4. Вперше на основі отриманих залежностей для визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточувальних головок та спеціальних зенкерів з асиметричним розміщенням лез сформовано оптимізаційні моделі, що встановлюють взаємозв'язок між головним та допоміжним кутами в плані різців інструментів з умови забезпечення максимальної продуктивності оброблення і заданої шорсткості оброблених поверхонь;

5. Вперше отримано емпіричні залежності впливу глибини різання та подачі на осьову силу та крутний момент при обробленні глибоких отворів циліндрів БМІ з асиметричним розміщенням лез.

Практичне значення одержаних результатів

1. Запропонована методика дослідження розсіювання подач на універсальних токарних верстатах може бути використана для аналогічних досліджень стохастичності подач інших типів верстатів як на виробництві чи при виконанні науково-дослідних робіт, так і у навчальному процесі.

2. Розроблена методика проектування БМІ з асиметричним розміщенням лез (багаторізцевих розточувальних головок, які працюють за схемою одночасного поділу припуску та подачі, і спеціальних зенкерів, що працюють за схемою поділу подачі) для оброблення глибоких отворів.

3. Розроблено конструкції чотирирізцевих розточувальних головок і спеціальних зенкерів та рекомендації щодо призначення режимів різання при роботі цими інструментами, використання яких дозволяє підвищити продуктивність та якість оброблених поверхонь.

4. Запропоновано конструкцію спеціального пристрою для оброблення глибоких отворів циліндрів із закріпленням заготовки по торцях та забезпеченням в оправі інструменту нормальних напружень розтягу, що дозволяє зменшити огранку та відхилення від прямолінійності осі оброблених отворів.

5. Подано конструкцію спеціального патрону для базування і закріплення

тонкостінних циліндрів з глибокими отворами.

6. Вироблено практичні рекомендації щодо розрахунку економічної ефективності процесу оброблення глибоких отворів циліндрів запропонованими інструментами.

Конструкції розточувальної головки та спеціальних зенкерів впроваджені на ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат» для оброблення корпусів гідропідсилювачів рульових колонок автомобілів марки «КРАЗ».

Викладені матеріали використовуються у навчальному процесі кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя при вивченні курсів «Теорія різання», «Різальні інструменти та інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва», «Фізичні основи різання».

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи автор отримав особисто. Роботи [85, 86] є одноосібними. Особистий внесок дисертанта у роботах, виконаних у співавторстві полягає у розробленні та аналізі математичних моделей і отриманні аналітичних залежностей [27, 73, 74, 216], а також методик проектування [78, 86], конструкцій металорізальних інструментів [69, 75, 79, 140 – 142, 145] та технологічного спорядження [80, 82] для оброблення глибоких отворів, узагальненні отриманих наукових та експериментальних результатів дослідження. Формулювання мети, постановка задач досліджень та аналіз результатів отримані разом з керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати досліджень, подані у дисертації, автор оприлюднив на Міжнародних науково-практичних конференціях: «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (Тернопіль, 2010), «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2010), «Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудування та транспорту» (Севастополь, 2011), «Десятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків» (Львів, 2011), «Проблеми сучасних технологій виготовлення та надійності передач з гнучким зв'язком» (Тернопіль, 2011), «Современные проблемы создания и производства механических передач» (Москва, 2012); Всеукраїнських: «Машинобудування України очима молодих. Прогресивні ідеї – наука –

виробництво» (Житомир, 2011; Київ, 2012, Суми, 2014), «Прогресивні технології у машинобудуванні» (Львів-Карпати, 2015), Регіональних: XIV наукова конференція ТНТУ ім. І. Пулюя «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2010, 2011), «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті» (Тернопіль, 2011), 10-та відкрита наукова конференція Інституту прикладної математики та фундаментальних наук (Львів, 2012). Дисертація у повному обсязі доповідалась на міжкафедральному семінарі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження відображені у 18 наукових працях (2 одноосібні), в тому числі у 7-ми наукових статтях у фахових виданнях, одна з яких опублікована в журналі, що входить до міжнародної наукометричної бази даних SciVerse Scopus, у 7-ми тезах в збірниках матеріалів конференцій, та 4-ох патентах на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, загальним обсягом 185 сторінок, з яких на 21 розміщені рисунки і таблиці, що займають всю площу сторінки, списку використаних джерел із 219 найменувань, розміщених на 22 сторінках, 8 додатків, поданих на 69 сторінках, офіційних документів про впровадження результатів дослідження. Робота містить 34 таблиці, 199 формул та 78 рисунків. Основний текст викладено на 164 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ

1.1. Особливості процесу оброблення глибоких отворів металорізальними інструментами

Глибоким вважається отвір у якого відношення довжини l до діаметру D від трьох [48] до десяти і більше [20, 47].

Ускладнення оброблення таких отворів виникають із збільшенням їх глибини. Так, наприклад, починаючи з глибини $(3..5) D$, оброблення таких отворів осьовими різальними інструментами, зокрема спіральними свердлами, є малоефективною, а іноді й неможливою задачею [116, 117]. Це пояснюється малою жорсткістю інструменту, ускладненням підведення МОТС в зону різання і відведення стружки. Мала жорсткість консольно закріпленого осьового різального інструменту призводить до відхилення від прямолінійності осей оброблених отворів, а також до виникнення вібрацій, що зменшує стійкість інструменту, точність оброблення та якість поверхні [198].

Глибокі отвори за 6-8 квалітетами точності в суцільному матеріалі обробляють за типовими технологічними маршрутами [116, 117, 123], які можна поділити на дві групи.

До першої групи відносять технологічні маршрути, в яких заготовками служать суцільні циліндри. Такі технологічні маршрути включають операції глибокого свердління і чорнового розточування або зенкерування та операції чистового оброблення [118, 123].

До другої групи технологічних маршрутів відносять маршрути, в яких заготовками виступають пустотілі циліндри [116, 117, 177, 189]. У цьому випадку операція глибокого свердління відсутня, а всі інші операції є незмінними.

Операції чорнового розточування та зенкерування, що забезпечують точність оброблення за 9-11 квалітетами, рекомендують використовувати, виходячи з таких

умов: якщо діаметр отвору $D < 30$ мм, то використовують операцію зенкерування суцільними зенкерами; при $30 < D < 80$ мм операцію зенкерування виконують зенкерами зі вставними зубцями; а якщо $D > 80$ мм, то використовують операцію розточування [60, 116]. Ці операції є найскладнішими і їх основне призначення – забезпечення вимог щодо положення осі отвору та її прямолінійності.

Операції глибокого свердління і чорнового розточування чи зенкерування мають ряд особливостей, які ускладнюють процес оброблення, а саме:

- примусове відведення стружки із зони різання потоком МОТС або іншим способом: порушення безперервного відведення стружки призводить до ускладнення або припинення процесу різання;

- використання за напрямну базу обробленої поверхні отвору: при неправильному способі базування можливі виникнення дефектів отвору, посилення вібрацій, підвищене зношування інструменту [205-207];

- мала жорсткість технологічної оброблюваної системи (ТОС), що є перешкодою до підвищення продуктивності.

Основним призначенням фінішних операцій (чистове розточування, протягування, хонінгування, поверхнєве пластичне деформування тощо) є забезпечення необхідної точності діаметральних розмірів за 6-8 квалітетами, форми отвору і заданої шорсткості Ra 0,16-1,6 мкм.

До дефектів, що з'являються при обробленні глибоких отворів відносять [30, 111, 112, 189]: відхилення від прямолінійності осі отвору; огранку, або спіральність [201, 219]; хвилястість профілю поздовжнього перерізу; надири; подряпини; підвищену шорсткість. Основними причинами, що спричиняють дефекти [116, 117, 201, 219], є копіювання різальним інструментом похибок взаємного розташування осі отвору, деформація оправи інструменту, похибки взаємного розміщення осі обертання інструменту та заготовки при їх встановленні чи закріпленні, поперечні коливання інструменту, зміна вильоту інструменту, похибки, спричинені настроюванням технологічної оброблюваної системи, тощо.

Найефективнішим способом, що дозволяє звести до мінімуму дефекти, які зумовлені різальним інструментом, є базування робочої частини інструменту на

поверхні оброблюваного отвору [116, 117]. Для цього в інструментах використовують таке розміщення різальних лез, при якому спеціально створюється радіальна складова сила різання, яка скерована до центру отвору і притискає напрямні елементи інструменту до його поверхні. Осьові інструменти, що працюють за даним принципом відносяться до інструментів із визначеним базуванням. Базування цих інструментів супроводжується дією ефектів самоскерування і самовстановлення.

Для зменшення негативного впливу особливостей процесу оброблення глибоких отворів необхідно застосовувати і синтезувати спеціальні методи оброблення, багатолезові металорізальні інструменти (БМІ) та спеціальні пристрої.

1.2. Аналіз існуючих напрямів досліджень в галузі оброблення глибоких отворів

Основними напрямками досліджень процесу оброблення глибоких отворів є:

1. Розроблення нових технологічних процесів виготовлення деталей з глибокими отворами та оцінка їх якісних показників.

Даному напрямку присвячено роботи Картавова С.А. [57] Мінкова М. А. [113], Лещенко М. І. [93], Туктанова А.Г. [191], Чеканова В. Є. [196], Bloch F. [20], Vierman D. [201]. В них подано особливості виготовлення типових деталей з глибокими отворами, методи отримання заготовок, а також режими оброблення. Розкрито технологічні процеси виготовлення складнопрофільних поверхонь глибоких отворів, а також висвітлено методи вимірювання їх якісних показників.

2. Дослідження процесу свердління глибоких отворів та розроблення конструкції свердел.

Даний напрям висвітлено в працях роботах Мельниченка О. А., [106] Маршуби В. П. [106, 107], Паціори А.П. [147], Пермякова О. А. [149], Равської Н. С. [109], Родіна П. Р. [109, 169], Кірсанова С.В. [60], Коженікова Д. В. [63], Кацева П. Г. [59], Кононенко С. Г. [65], Лещенко М. І. [93], Перескопова А. І. [148], Троїцького Н. Д. [190], Уткіна Н. Ф. [3, 116], Чернічкіна А. М. [197], Блоха Ф. [20], Іваса Т. [48], Stockert R. [211-213], Weber U. [211, 213], Pflieger F. [205-207], Weinert C.

[219], Shmidt H. [209]. В роботах розроблено конструкції свердел для оброблення глибоких отворів, проведено обґрунтування їх конструкторсько-технологічних параметрів, подано оптимальні режими оброблення, запропоновано методи дослідження процесу свердління глибоких отворів та напрями розроблення нових конструкцій свердел.

3. Розроблення конструкцій інструментів з адаптивним зв'язком для оброблення глибоких отворів.

Даний напрям висвітлено у працях Луціва І. В. [97-100], Нагорняка С. Г. [97]. В роботах подано принципи конструювання інструментів з адаптивним зв'язком, їх види, а також оптимальні режими експлуатації.

4. Дослідження прецизійного оброблення глибоких отворів.

Даному напрямку присвячені дослідження Оборського Г. О. [115], Джугуряна Т.Г. [40], Окубо Т. [119] Джугуряна Т. Г. [4-8, 17, 18, 39, 40, 144, 170], Лінчевського П. А. [94, 95, 144], Савуляка В.І. [171], Гречішнікова В. А.[50], Кірсанова С.В. [50], Мещерякова [172], Лазарева Д. Е. [91, 92], Схіртладзе А. Г. [50], Уткіна Н. Ф. [3, 116], Pflighar F. [206]. В роботах висвітлено питання моделювання і забезпечення надійності прецизійної обробки, зокрема тонкого розточування глибоких отворів, процесу забезпечення якісних показників оброблюваних отворів, розроблення конструкцій розточувальних головок для тонкого розточування.

5. Розроблення конструкцій розточувальних інструментів для оброблення глибоких отворів.

Даний напрям висвітлений в роботах Джугуряна Т. Г. [9-14, 17, 18, 39, 144], Лінчевського П. А. [144], Карпуся В. Е. [52, 55], Гречішнікова В. А.[117, 174], Кірсанова С.В. [60, 117, 174], Схіртладзе А. Г. [117], Streicher P. [214], Puttman F.-J. [127], James R. [125], Chin-Chiu Chen [126], Stadelmann R. [128]. У працях подано різноманітні конструкції розточувальних інструментів, які розробляють з умови підвищення ефективності роботи та забезпечення заданих якісних показників оброблюваних отворів, а також подані схеми роботи та умови експлуатації БМІ.

6. Дослідження дії МОТС при обробленні глибоких отворів на характеристики процесу різання та експлуатаційні властивості інструментів.

Даному напрямку присвячені праці Пермякова О. А. [150], Малиновського Г. Т. [104]. В роботах розглянуто вплив МОТС різного складу на силові характеристики процесу різання для різноманітних матеріалів, а також утворення плівки на напрямних інструменту та її вплив на якісні показники оброблюваних поверхонь

7. Дослідження механізмів приводів верстатів та спеціального устаткування для оброблення глибоких отворів

Даний напрям висвітлений в працях Карпуся В. Е. [56], Пестунова В. М. [151], Губергріца Л. І. [34], Шендерова І. Б. [198]. В роботах показано особливості компоновок верстатів для оброблення глибоких отворів, специфіку їх використання, а також подані конструкції пристосувань для оброблення глибоких отворів на універсальному обладнанні.

8. Дослідження вібрацій, що виникають в процесі оброблення глибоких отворів.

Даному напрямку присвячено праці Подураєва В. Н. [153, 154], Ступницького В. В. [182]. В роботах проведено аналіз причин виникнення коливань, в тому числі й автоколивань, при свердлінні та розточуванні глибоких отворів, запропоновано шляхи боротьби з ними.

За кордоном створено асоціацію «Boring and Trepanning Association (BTA), яка об'єднує фірми більш, ніж 10 країн (США, Японія, Німеччина, Швеція, Нова Зеландія та ін.) і володіє монополією в області розроблення, виготовлення та освоєння спеціального обладнання, пристосувань і технології для оброблення глибоких отворів. BTA випускає каталоги, що включають, поряд із загальними видами запропонованого обладнання та інструменту, дані про їх технологічні можливості. В останнє десятиліття розвиток дослідження глибоких отворів у цих країнах зосередився в окремих великих фірмах, зокрема Acrow [217] (Нова Зеландія); Fette-Kieninger [204], Guhring [167], Kaiser [128, 160] (Німеччина); Mircona [202], Sandvik Coromant [166], Seco tools ab [162] (Швеція); Nikken [161] (Японія); Pinzbohr [164] (Іспанія); SAU [163] (Італія) і Swiss [210] (Швейцарія). В каталогах, випущених цими фірмами, подають різноманітні конструкції й технологічні можливості інструментів, зокрема, для обробки глибоких отворів, а також режими різання для кожного оброблюваного матеріалу.

Аналіз напрямів дослідження показує, що питанню розроблення конструкцій розточувальних головок для оброблення глибоких отворів присвячена значна кількість наукових праць, а також на цьому питанні зосереджені й великі фірми-виробники інструментів. З точки зору підвищення ефективності виготовлення деталей з глибокими отворами із заготовок у вигляді пустотілих циліндрів цей напрям має найкращі перспективи. Тому здійснимо детальніший аналіз досліджень в даному напрямі.

1.3. Схеми роботи багатолезових металорізальних інструментів при обробленні глибоких отворів

За нормальними напруженнями, що виникають у корпусі інструмента та в оправі розрізняють дві основні схеми оброблення глибоких отворів: глибоке оброблення на стиск (рис 1.1, а) і глибоке оброблення на розтяг (рис 1.1, б) [116, 117, 198].

За 1-ою схемою (рис 1.1, а) оброблення починають з торця Б заготовки 5, що розміщений ближче до каретки 4. При цьому осьова складова сили різання P_x створює в оправі 3 нормальні напруження стиску і оправа, крім кручення, як стержень працює на стійкість.

За 2-ою схемою (рис 1.1, б) оброблення починається з протилежного торця А заготовки 5. Осьова складова сили різання P_x створює в оправі 3 нормальні напруження розтягу.

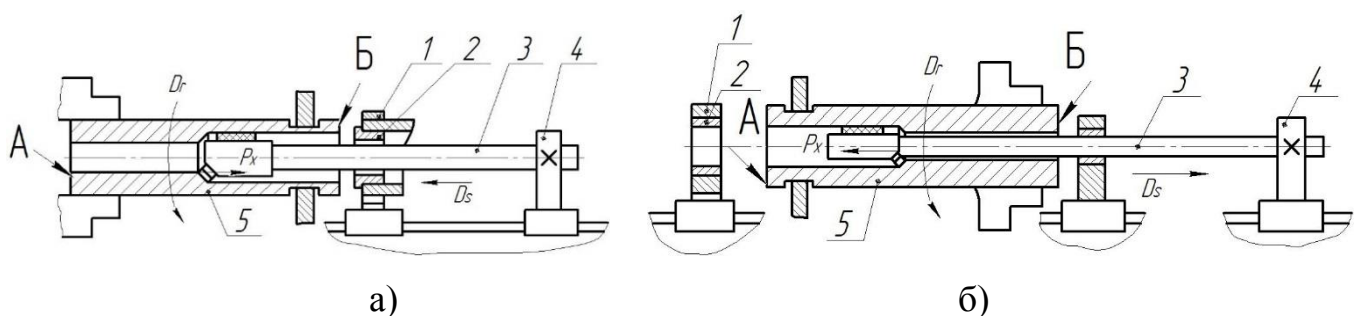


Рис. 1.1. Схеми оброблення глибоких отворів циліндрів: а) оброблення «на стиск»; б) оброблення «на розтяг».

Обидві схеми використовують як при чорновому, так і при чистовому розточуванні чи зенкеруванні. Для координації і направлення інструменту

(рис. 1.1, а, б) зазвичай використовують кондукторну втулку 2, яку встановлюють у напрямній стійці 1. У випадку оброблення за 1-ою схемою (рис 1.1 а) кондукторна втулка 2 є частиною маслоприймача, стружкоприймача або прямого пристрою спеціальної конструкції, які розміщені у напрямній стійці 1. В обох схемах інструмент своїми напрямними елементами базується у кондукторній втулці 2. Кінцеві результати за точністю розміщення осі оброблюваного отвору при чорновому обробленні «на розтяг» отримують кращі, ніж при обробленні «на стиск», оскільки при цій схемі оправа працює в більш сприятливих умовах і, як наслідок цього, похибки зменшуються [116, 198].

При чорновому обробленні «на розтяг» відхилення від прямолінійності осі отвору суттєво менші, ніж при обробленні «на стиск». Однак на практиці оброблення «на розтяг» викликає певні ускладнення, які полягають у неможливості встановити направляючий пристрій з кондукторною втулкою біля торця А заготовки.

Таким чином, з урахуванням вищевикладеного в подальших дослідженнях будемо розробляти інструменти для схеми роботи «на розтяг».

1.4. Огляд і аналіз інструментального забезпечення для оброблення глибоких отворів

Аналіз літературних джерел [3-19, 33, 46, 50, 55, 60, 63, 65, 68, 92, 95, 97, 106, 109, 114, 116-119, 124-139, 143, 144, 146, 169, 174, 183, 192, 198], а також спеціальних каталогів фірм – виробників інструментального оснащення, таких як: Acrow [217]; Fette-Kieninger [204], Guhring [167], Kaiser [128, 160]; Mircona [202], Sandvik Coromant [166], Seco tools ab [162]; Nikken [161]; Pinzbohr [164]; SAU [163] і Swiss [210] показав наявність великої кількості різноманітних інженерних рішень проблеми інструментального забезпечення розточування та зенкерування глибоких отворів БМІ.

Проаналізувавши існуючі конструктивні рішення багатолезових металорізальних інструментів, можна поділити їх за методом оброблення на 3 основних класи.

До першого класу віднесемо багатолезові інструменти, які працюють за схемою

поділу припуску на оброблення (рис. 1.2, а), до другого – ті, які працюють за схемою поділу подачі (рис. 1.2, б) і до третього – ті, що працюють за схемою одночасного поділу припуску і подачі (рис. 1.2, в).

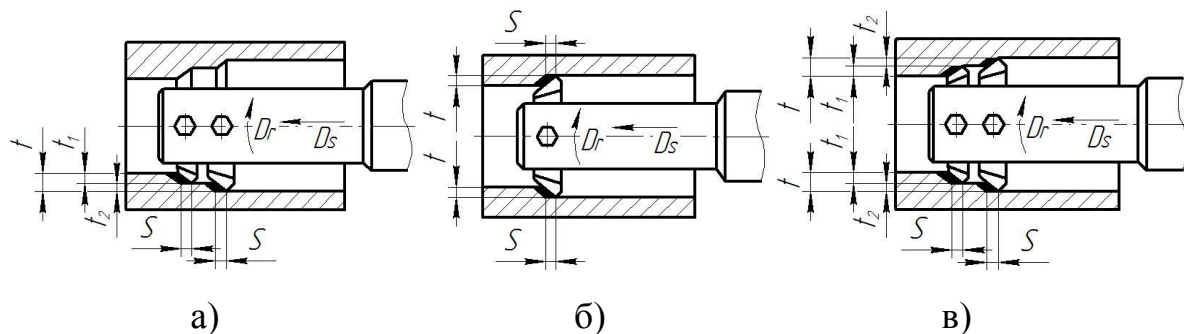


Рис. 1.2. Схематичне подання багатолезових різальних інструментів, що відносяться до першого а), другого б) і третього в) класів

1.4.1. Багатолезові металорізальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою поділу припуску

Представники багатолезових металорізальних інструментів, принцип роботи яких відноситься до першого класу, описані в [116, 117] та каталогах розточувальних інструментів фірм Acrow [217], Guhring [167], Kaiser [160]; Mircona [202], Sandvik Coromant [166], Seco tools ab [162]; Nikken [161]; Pinzbohr [164]; SAU [163] і Swiss [210]. В інструментах даного класу використовують ступінчасте розміщення різців, і за призначенням їх можуть використовувати для чорнового, чистового або комбінованого оброблення.

Особливістю цих інструментів є те, що їх різальні леза розміщені в радіальному напрямку таким чином, що кожне лезо зрізає лише частину припуску, яка знімається за один робочий хід. Леза у цих інструментах віддалені від осі на різну відстань. Глибина різання на кожному із різальних елементів може бути однаковою або різною. Для нормальної роботи цих інструментів суттєве значення має не тільки розподіл припуску, але й правильне розміщення лез вздовж осі.

Різальні елементи у цих інструментах можуть мати різне розміщення: з одного боку від корпусу (інструменти одностороннього різання); симетрично по колу; асиметрично по колу.

Одним із представників інструментів одностороннього різання є дворізцева

розточувальна головка з визначеним базуванням [116] (рис. 1.3.). Вона має різальні елементи у вигляді змінних призматичних різців 5 з напайними пластинками твердого сплаву, що встановлені в пазах корпусу 1 головки. Налаштування різців на задані діаметри виконують гвинтами 6, а закріплення – гвинтами 2. Напрямні елементи виконані у вигляді трьох жорстких нерухомих напрямних 4 і однієї незалежної рухомої у радіальному напрямі напрямної 3. Напрямні закріплюють на корпусі головки гвинтами. Головка має хвостовик із зовнішніми посадочними поверхнями Б під оправу (на рис. не показано). МОТС до леза підводиться через отвір В. Спереду в корпус запресована втулка з отвором А для встановлення вимірювального приладу, використовуваного при налаштуванні різців на необхідний діаметр.

Ще одним представником даного класу є трирізцева розточувальна головка (рис. 1.4) фірми Kaiser [128, 160], яка складається із сталевго корпусу 1, з одного боку якого якого розміщені різальні елементи 2, 5, 6. Вони мають різний радіальний виліт один відносно іншого та зміщені вздовж осі. Різальний елемент 2 складається безпосередньо з корпусу 4 із механічно закріпленою на ньому твердосплавною пластиною 3 і розміщений під кутом до осі інструменту з можливістю кутового регулювання. Цей різальний елемент 2 призначений для знімання кірки, що утворена на внутрішній циліндричній поверхні заготовки.

Різальний елемент 5 встановлений з можливістю осьового переміщення вздовж периферії корпусу і призначений для зняття основного припуску. Різальний елемент 4 встановлений без можливості регулювання і здійснює кінцеве оброблення.

Різновидом багатолезових металорізальних інструментів, що відносяться до першого класу, є розточувальні головки, що працюють за схемами ступінчастого та повнопрофільного розточування (рис.1.5 а,б). В них різці розміщені рівномірно по колу, але зміщені як в радіальному, так і в осьовому напрямках. БМІ такого класу випускають фірми Acrow, Guhring, Kaiser, Mircona, Sandvik Coromant, Nikken, Pinzbohr, SAU, Swiss. Одним із прикладів такої конструкції інструментів є розточувальна головка фірми Nikken (рис. 1.6.). Вона складається з корпусу 1, що має хвостовик 2 та робочу частину 3. В корпусі 1 виконаний центральний отвір 4 та радіальні отвори 5 для підведення МОТС в зону різання.

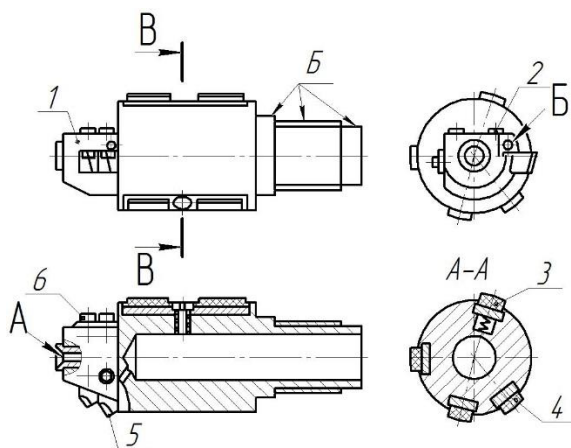


Рис. 1.3. Дворіцева розточувальна головка одностороннього різання з поділом ширини зрізаного шару, внутрішнім підведенням МОТС і визначеним базуванням

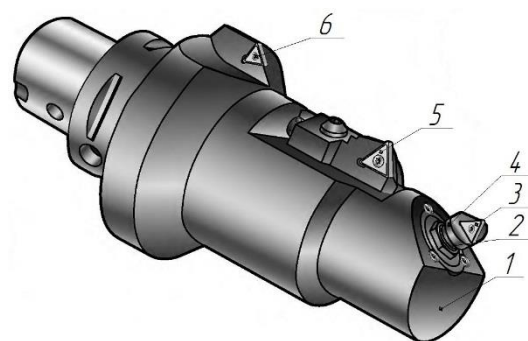


Рис. 1.4. Триріцева розточувальна головка одностороннього різання фірми Kaiser

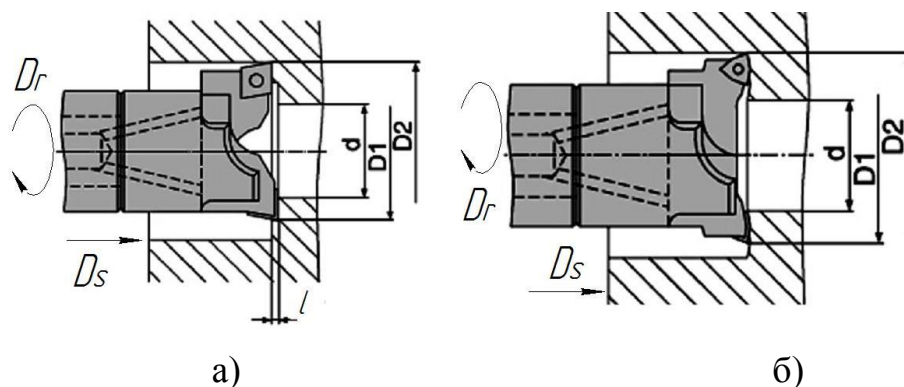


Рис. 1.5. Схеми ступінчастого а) та повнопрофільного б) розточування глибоких отворів

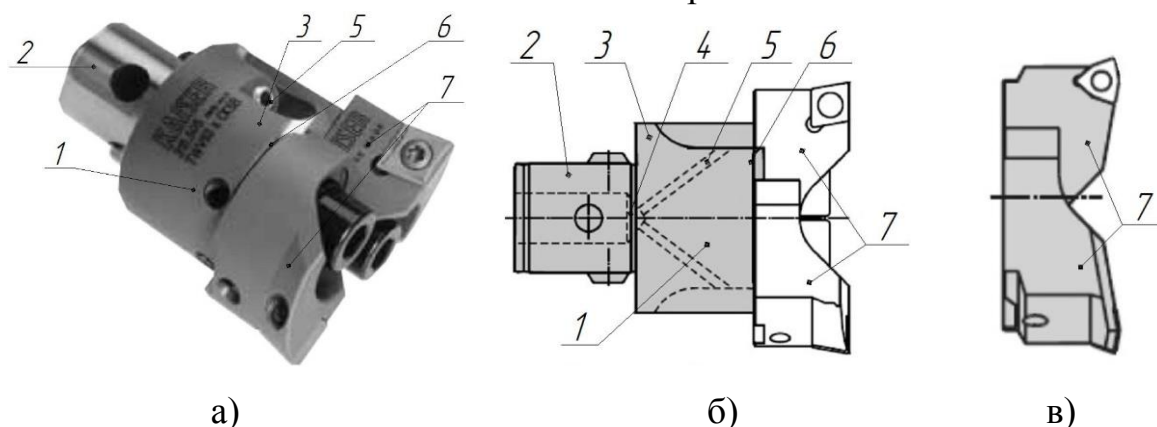


Рис. 1.6. Розточувальна головка фірми Kaiser для ступінчастого та повнопрофільного розточування: а) головний вигляд; б) конструктивна схема із змінними розточними блоками для ступінчастого розточування; в) розточний блок для повнопрофільного розточування

У робочій частині 3 корпусу 1 виконані напрямні пази 6, в які встановлюють розточні блоки 7 із твёрдосплавними пластинками. Вершини пластин різновіддалені від осі, що забезпечує поділ припуску, а також зміщені одна відносно одної в осьовому напрямку. У розточувальну головку можна встановлювати розточні блоки як для ступеневого (рис. 1.7, б), так і для повнопрофільного розточування (рис. 1.7, в). До недоліків можна віднести складність виготовлення, відсутність напрямних елементів, що при обробленні глибоких отворів буде призводити до значного відведення реальної осі отвору від теоретичної.

Типовими представниками інструментів з поділом припуску та асиметричним по колу розміщенням лез (рис. 1.7) є розточувальна головка, описана в [46], яка призначена для оброблення отворів діаметром не менше 30 мм та точністю 6-9 квалітету. Особливістю конструкції є те, що в корпусі 1, який з'єднаний з оправкою 2 виконані симетрично чотири канавки, що утворюють чотири пера, на двох із яких механічно закріплені багатогранні змінні пластини 3, 4, а на двох інших у поздовжні пази встановлені рухомі напрямні 5, 6. Ці пластини зміщені одна відносно одної в осьовому і радіальному напрямку, забезпечуючи при цьому поділ припуску.

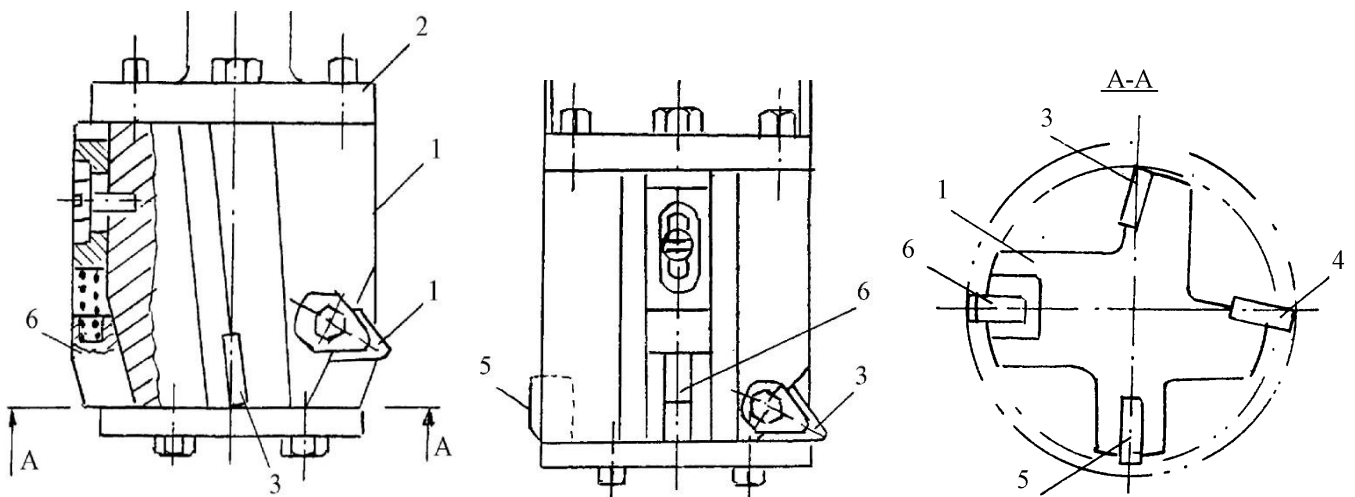


Рис. 1.7. Розточувальна головка, що працює з поділом припуску та асиметричним розміщенням лез

Недоліком даної конструкції є незабезпечення строгої співвісності осі головки та осі оброблюваного отвору внаслідок налаштування на розмір за допомогою напрямної, що може спричинити додаткові вібрації, а також спотворення профілю обробленого отвору.

Таким чином, на основі здійсненого огляду і аналізу відомих конструкцій багатолезових металорізальних інструментів, які працюють за методом поділу припуску, можна зробити висновок, що існуючі конструкції забезпечують зняття максимального об'єму зрізаного шару за один прохід і можуть ефективно використовуватись для чорнового оброблення з забезпеченням точності за 11-14 квалітетами.

1.4.2. Багатолезові металорізальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою поділу подачі

Особливістю класу інструментів, що працюють за схемою поділу подачі є те, що їх леза розміщені так, що кожне із них зрізає шар на всій його ширині, а подача за один оберт є сумою подач, здійснених різальними елементами. В цих інструментах вершини всіх різальних лез рівновіддалені від осі. Загальна подача може ділитись між лезами як рівномірно, так і нерівномірно.

При рівномірному поділі подачі леза, як правило, розміщені по колу рівномірно і знаходяться у своєму теоретичному положенні. Схема рівномірного поділу подачі показана на рис. 1.8, а.

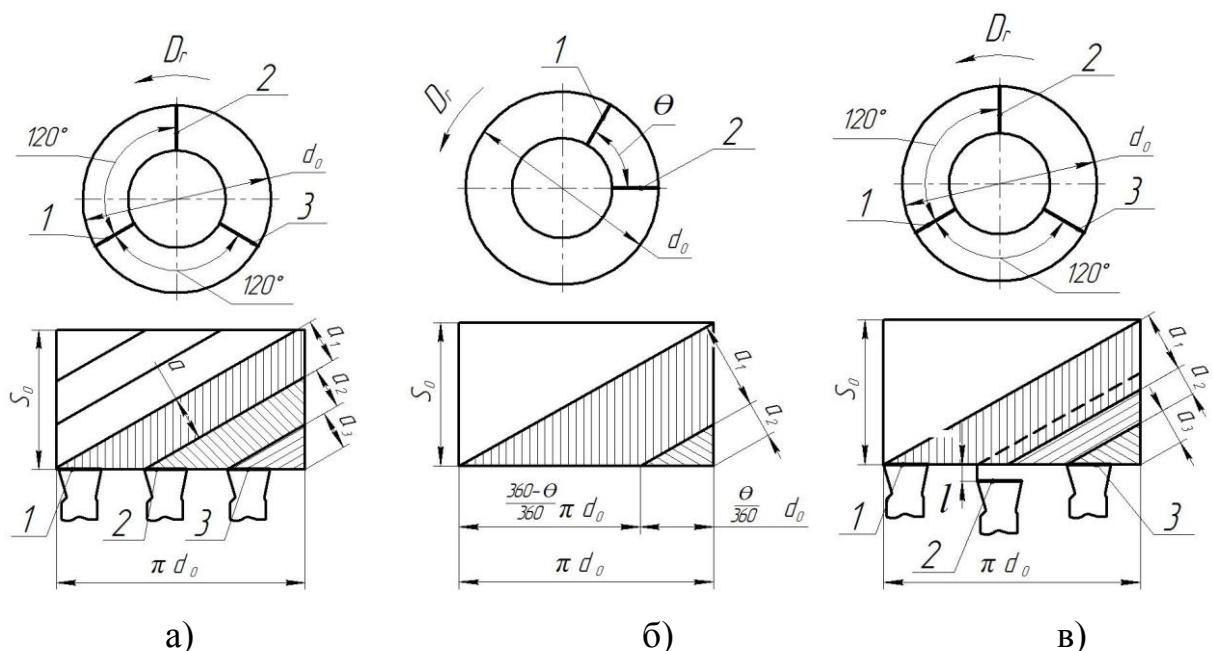


Рис. 1.8. Варіанти схем поділу подачі між лезами в багатолезових металорізальних інструментах: а) рівномірного поділу подачі; б), в) нерівномірного поділу подачі за рахунок відповідно кутового та осьового зміщення лез (з асиметричним розміщенням лез)

При загальній подачі на один оберт інструменту s , кількості лез $n=3$ і головному куті в плані $\varphi=90^\circ$, товщина шару, що зрізається одним лезом рівна $s/3$. На практиці можуть виникати похибки в кутовому і осьовому розміщенні лез, внаслідок яких в дійсності ніколи не буде абсолютного рівномірного ділення товщини зрізаючого шару. При нерівномірному поділі товщини зрізуваного шару необхідний її розподіл між різальними лезами може бути досягнуто двома шляхами: за рахунок їх кутового розміщення (рис. 1.8, б), або за рахунок їх осьового зміщення (рис. 1.8, в). У першому випадку товщина зрізуваного шару розподіляється пропорційно до кутового кроку між лезами. У другому випадку при рівномірному розміщенні по колу різальних лез товщина шару, що зрізається кожним лезом, розподіляється відповідно до схеми (рис. 1.9, в). Наприклад, при кількості лез $n=3$ і $\varphi=90^\circ$ лезо 1 зрізає шар $a_1=s/3+l$, лезо 2 зрізає шар $a_2=s/3-l$, а лезо 3 – $a_3=s/3$.

Типова конструкція розточувальної головки з рівномірним розташуванням різальних елементів описана в [174] (рис. 1.9). В корпусі 1 головки по периферії та на торці зроблені пази з рифленнями, в яких за допомогою клинів 3 закріплені ножі 3, 4 із твердосплавними пластинами. Головка має вісім ножів: чотири із них розміщені по периферії з короткими пластинами і чотири розміщені по торці з довгими пластинами (рис. 1.9). Забезпечення необхідних діаметральних розмірів здійснюють переточуванням.

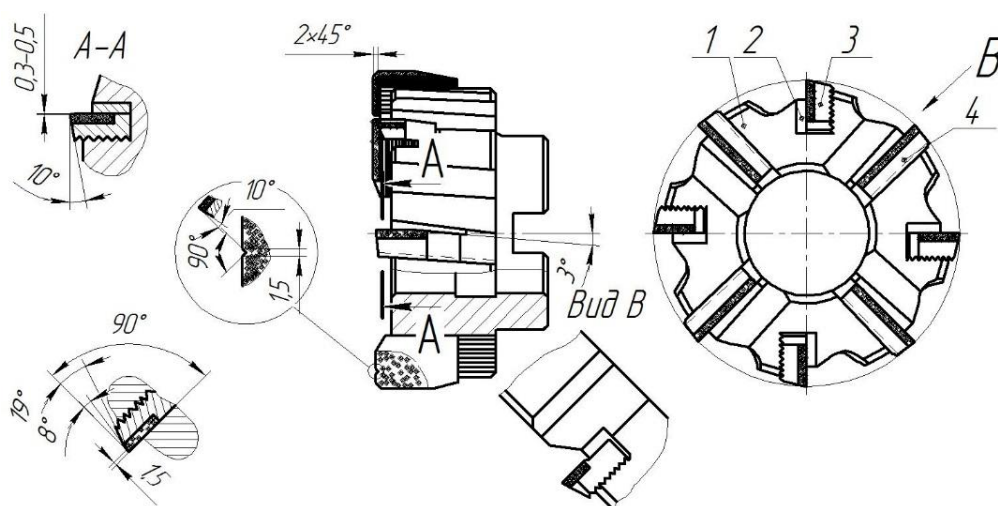


Рис. 1.9. Розточувальна головка для оброблення глибоких отворів з рівномірним поділом подачі

Основним недоліком даної конструкції є складність виготовлення, а також неможливість самоцентрування в оброблюваному отворі через теоретичну відсутність радіальної складової сили різання у зв'язку із величиною головного кута в плані на зубцях $\varphi = 90^0$.

Представниками цього класу багатолезових металорізальних інструментів є спеціальні зенкери, описані, зокрема, в [131, 139]. Ці спеціальні зенкери складаються із корпусів 1 (рис. 1.10, 1.11), хвостовиків 2 і робочих частин 3 із твердосплавними різальними елементами 4. Хвостовики 2 з різевими кінцями 5 і центруючими поясками 6 служать для співвісного їх з'єднання з оправою. Для підведення МОТС в зону різання до кожного із різальних елементів 4 в корпусах 1 виконані центральні отвори 9 з вікнами 10. Конструктивними відмінностями цих зенкерів є те, що у зенкері, поданому у [131], (рис. 1.10) в передній напрямній 7 втоплені кульки 8 із пружним елементом, діаметр описаного кола навколо виступаючих частин кульок більший, ніж діаметр оброблюваного отвору, а у зенкері [139] напрямні 7 виконані з поліуретану марки СКУ-7Л згідно з ТУ 84-404-78. Окрім цього у зенкері, описаному у [131] (рис. 1.11), для направлення і центрування інструменту під час його роботи на різальних елементах 4 виконані напрямні фаски 11, 12 довжиною $s=2-5$ мм і шириною $f=0,6-2$ мм, а в інструменті, поданому у [139] (рис. 1.12), для направлення і центрування його під час його роботи на різальних елементах 4 виконані напрямні фаски 11 довжиною $p=12-20$ мм і шириною $0,1-0,8$ мм.

Недоліками вищеописаних зенкерів є недостатня їх стійкість і збільшення діаметральних розмірів в процесі оброблення, що можуть виходити за межі допуску встановленого розміру через те, що напрямні фаски на допоміжних різальних кромках, значно збільшують площу контакту різальної частини інструменту з оброблюваною поверхнею, сприяючи при цьому виникненню значних сил тертя і підвищення температури в зоні оброблення. Іншим недоліком є підвищена інтенсивність зношування напрямних елементів внаслідок їх контактування з оброблюваною поверхнею. Окрім цього використання таких зенкерів вимагає попереднього оброблення внутрішньої поверхні заготовки перед операцією зенкерування.

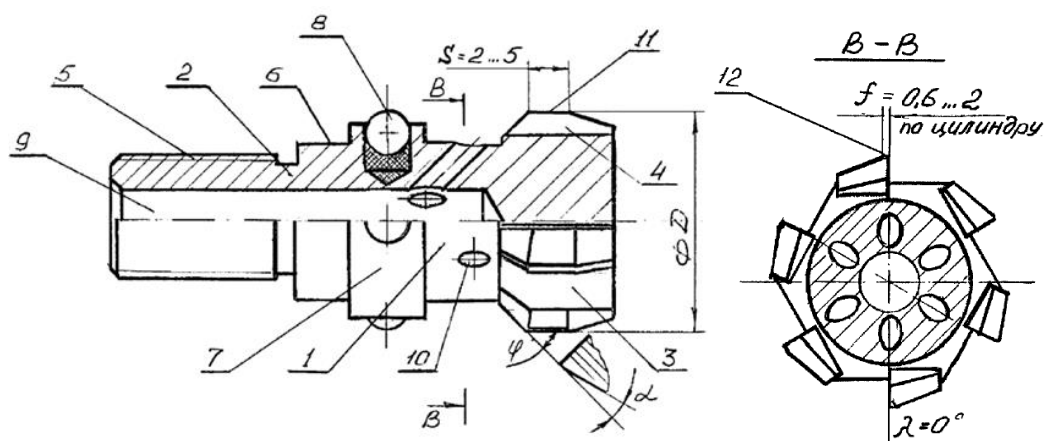


Рис. 1.10. Спеціальний зенкер для оброблення глибоких отворів циліндрів [131]

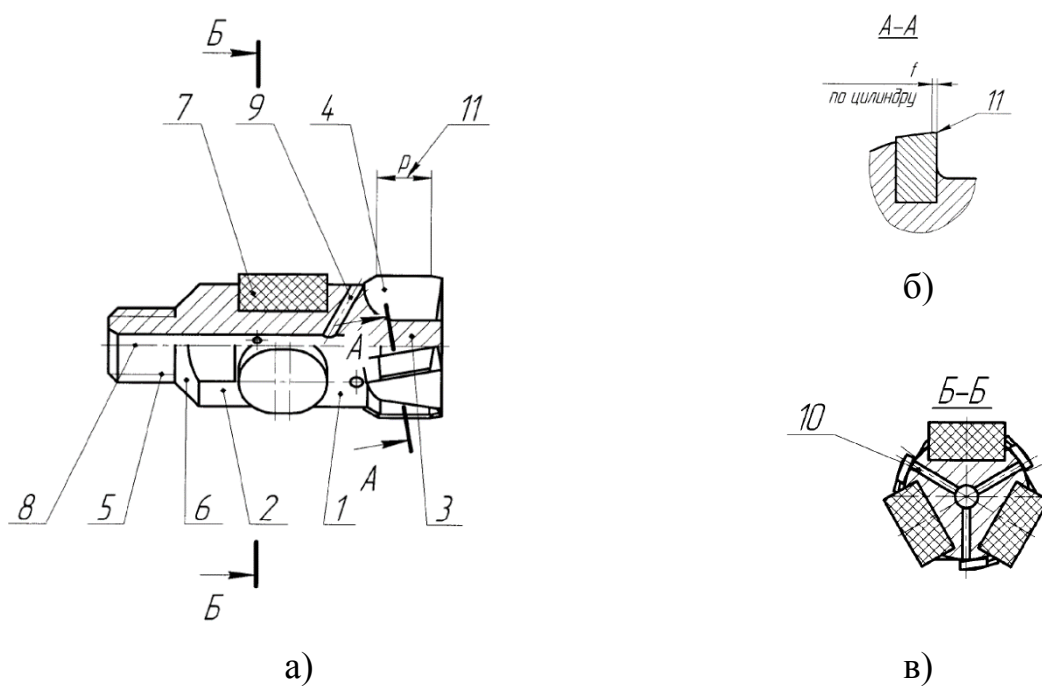


Рис. 1.11. Спеціальний зенкер для оброблення глибоких отворів циліндрів [139]

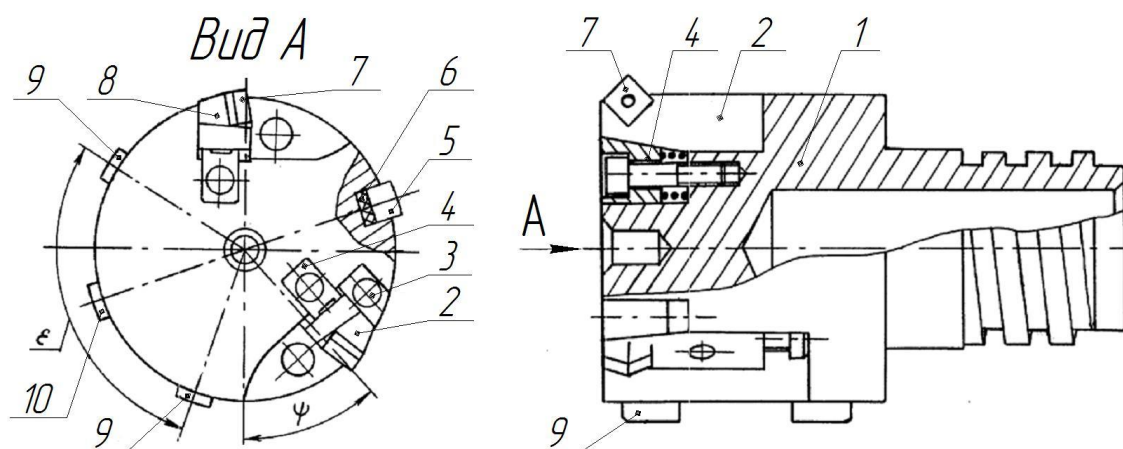


Рис. 1.12. Розточувальна головка з підвищеною вібростійкістю для оброблення глибоких отворів

Необхідно відзначити, що багатолезові металорізальні інструменти із симетричним розміщенням лез мають недостатню вібростійкість [155, 188], оскільки частоти, що виникають під час оброблення кожним лезом, можуть накладатися, утворюючи резонанс. Частково цей недолік усувається при обробленні інструментами з асиметричним розміщенням лез [108, 188].

До представників багатолезових металорізальних інструментів з асиметричним розміщенням лез можна віднести розточувальну головку з підвищеною вібростійкістю (рис. 1.12), подану в [130]. Розточувальна головка складається з корпусу 1, в поздовжніх пазах якого встановлені із зсувом по колу різцеві блоки 2, 8 з клиновими механізмами 4, що дозволяють регулювати радіальне положення різальних кромek. Різцевий блок 2 має, крім того, можливість регулювання в осьовому і кутовому напрямках. Регулювання кутового положення різцевого блоку 2 здійснюють за допомогою клина 3, що взаємодіє з опорною поверхнею різцевого блоку і пружиною. Різцеві блоки 2, 3 оснащені багатограними непереточуваними пластинами 7 з механічним кріпленням.

У поздовжніх пазах корпусу 1 встановлені також нерухомі напрямні 9 і пружні напрямні, що складаються з твёрдосплавних пластин 5, 10, які спираються на пружні демпфуючі прокладки 6, причому нерухомі напрямні встановлені з боку найбільшого центрального кута між різцевими блоками 2 і 8. Осьове зміщення різців визначають за формулою: $\chi = \psi \cdot s / 360$, де ψ – кутове зміщення одного різця відносно іншого в площині, перпендикулярній до осі головки.

До недоліків даної конструкції можна віднести: ускладнене забезпечення точності обробленого отвору, яке буде залежати від точності виготовлення пластин та точності їх встановлення в різцевому блоці; несиметричне розміщення різців, що спричинює утворення на оброблюваній поверхні мікронерівностей різної висоти і не забезпечує зрівноваження радіальних складових сил різання, що може призводити в процесі роботи до відхилення осі розточуваного отвору від прямолінійності, незважаючи на використання напрямних.

Ще одним багатолезовим металорізальним інструментом з асиметричним розміщенням лез, що відноситься до цього класу, є борштанга, подана в [55, 124].

Корпус 1 з'єднаний із повзуном 2 борштанги (рис. 1.13) за допомогою «ластівкового хвоста». У корпус і повзун встановлені відповідно чорновий 6 і чистовий 4 різці. Для налаштування різців на розмір передбачені гвинти 8 і 3. Різці фіксують гвинтами 7 і 5. Для точної установки різців один відносно іншого в осьовому напрямку передбачено регулювальне кільце 9, яке має ступінчасту торцеву поверхню. Кожна ступінь кільця зміщена відносно попередньої на певну величину. Повзун фіксується у корпусі гвинтом 12.

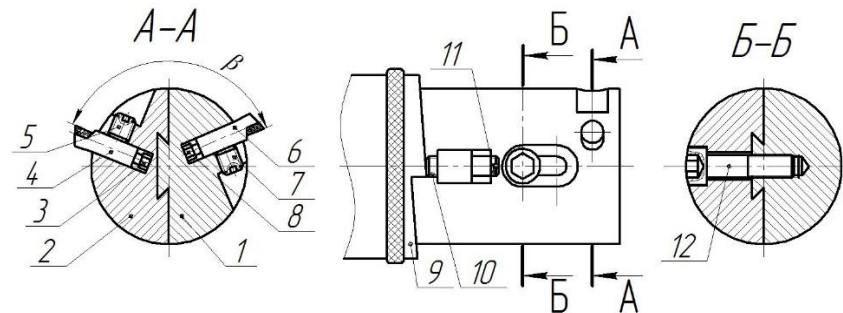


Рис. 1.13. Борштанга з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів

Особливостями конструкції даної дворізцевої борштанги, в якій різці виставлені на один розмір і зміщені один відносно одного на величину, яка дорівнює половині подачі, є те, що другий різець зрізає мікронерівності, які залишаються після проходу першого. Оскільки глибина різання на другому різці складає всього 0,03...0,07 мм, то внаслідок пружних деформацій, а також незначного зношування другого різця процес різання ним може не здійснюватись. Оскільки глибини різання у двох різців різні, будуть різними і радіальні складові сили різання, що може призводити до відхилення осі інструменту від осі отвору.

В результаті аналізу конструкцій БМІ з асиметричним розміщенням лез, що працюють за схемою поділу подачі, виявлено їх переваги в плані підвищеної вібростійкості, порівняно з інструментами із симетричним розміщенням лез. Проте існуючі конструкції не забезпечують принципу зрівноваження радіальних складових сил різання шляхом корегування значень кутів в плані різальних елементів.

1.4.3. Багатолезові металорізальні інструменти для оброблення глибоких отворів за схемою одночасного поділу припуску та подачі

Особливістю багатолезових різальних інструментів, що працюють за схемою

одночасного поділу припуску та подачі є те, що леза розділені на групи і в межах кожної групи працюють за схемою поділу подачі, а між групами цих різальних лез забезпечується поділ припуску.

Типовим представником БМІ третього класу, які в процесі роботи забезпечують одночасний поділ припуску та подачі і використовуються для комбінованого розточування глибоких отворів є розточувальна головка [19] (рис. 1.14). Інструмент складається з корпусу 1 з хвостовиком 15 і пазом 9, що виконаний перпендикулярно до поздовжньої осі корпусу 1 і напрямних 2, що контактують в процесі різання з обробленою поверхнею заготовкою 7. В пазу 10 з можливістю радіального переміщення встановлений дворізцевий розточувальний блок 5, що виконує знімання шару металу за принципом поділу подачі різцями 4 і 10. На забірній частині 8 корпусу 1 розміщений чорновий різець 6. Корпус 1 виконаний з порожниною 14, в якій через шарнір 12 на важіль встановлено інерційне тіло 13. Інший кінець важеля 3 через кулісу 11 з'єднаний з розточним блоком 5

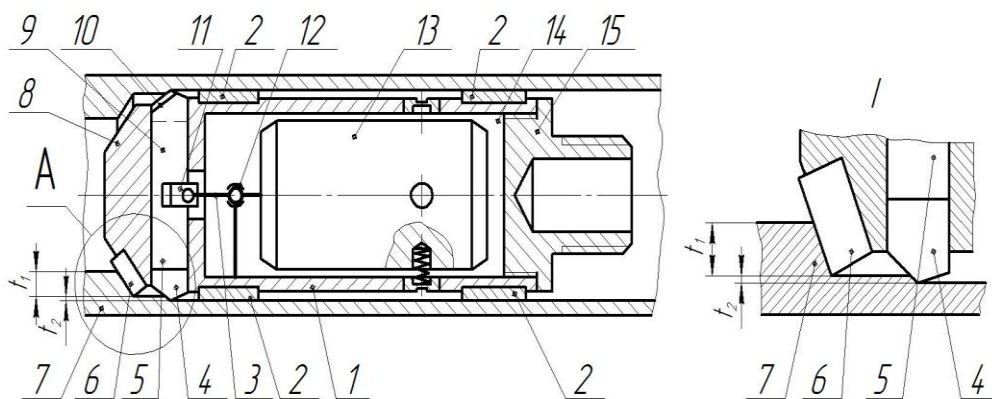


Рис. 1.14. Розточувальна головка для комбінованого розточування глибоких отворів

Недоліком даного інструменту є незрівноваженість радіальних складових сил різання, які виникають на різальних елементах, і тому основне навантаження від радіальних складових сил різання сприймають напрямні.

Ще одним представником багатолезових металорізальних інструментів, що забезпечують поділ припуску та подачі, є розточувальна головка (рис. 1.15), що подана в [116, 118]

Основна ідея, покладена в основу конструкції комбінованої розточувальної

головки, полягає в тому, щоб за один прохід розточити начисто отвір, використавши переваги жорстко закріплених різців 5 і властивості плаваючої пластини 3.

Особливостями конструкції даного інструменту є те, що у його корпусі виконані один або два прямокутні пази, у які встановлені плаваючі пластини, а напрямні шпонки по відношенню до різальних кромek різців повернені на 45° .

Гвинт 6 з торця головки закриває вихід рідини в осьовому напрямку. Різці 5, жорстко закріплені гвинтами 2 в різцетримачі 1 розточної головки, забезпечують в процесі роботи зняття за один прохід значного припуску металу, в той час як плаваючі пластини 3 забезпечують високу чистоту обробленої поверхні отвору і високу точність діаметральних розмірів по всій довжині розточуваного отвору.

Як показала практика експлуатації БМІ з плаваючою пластиною на «Дрогобицькому заводі автокранів» внаслідок неоднакового зношування діаметрально протилежно розміщених лез плаваючої пластини на обробленій поверхні спостерігаються риси, надирі, непостійність параметрів шорсткості по довжині отвору. Окрім цього загально відомо [189], що використання плаваючих пластин не виправляє відхилення від прямолінійності осі оброблюваного отвору.

Застосування комбінованих розточувальних головок при чистовому розточуванні дало можливість виконувати операцію чистового розточування глибокого отвору за один прохід замість раніше використовуваних двох-трьох проходів. Це зниження числа проходів дозволило підвищити продуктивність операції чистового розточування глибоких отворів на 70-80% [118, 175].

При оцінюванні переваг комбінованих розточувальних головок необхідно врахувати, що оптимальні режими різання при експлуатації жорстко закріплених різців не відповідають оптимальним режимам різання при експлуатації плаваючого інструменту з широким різальним лезом. Плаваючі пластини вимагають застосування низьких швидкостей різання і великих подач порівняно із швидкостями різання і подачами, які встановлені для жорстко закріплених різців. У зв'язку з цим протиріччям економічний ефект від зменшення кількості проходів при використанні комбінованих розточувальних головок з плаваючими пластинами буде дещо знижений за рахунок зменшення основного часу від швидкості різання.

1.4.4. Огляд і аналіз конструкцій плаваючих пластин

Плаваючі пластини для забезпечення постійності компенсації необхідних розмірів після зношування і переточування різальних лез виготовляють складеними і регульованими по діаметру [197].

На рис. 1.16, а показана конструкція складеної плаваючої пластини для розточування отворів діаметром 50-100 мм. Пластина складається з двох частин 1 і 3 з рифленнями, з'єднаними двома гвинтами 2. При зношуванні різальних кромки пластини частини 1 і 3 розсуваються на величину, яка дорівнює кроку рифлення, скріплюють гвинтами 1 знову заточують на необхідний розмір.

Шліфування пластини для забезпечення розмірів H і B та остаточне загострювання різальних граней здійснюють у зібраному стані.

Особливості конструкцій плаваючих пластин полягають в наступному. Різальна кромка плаваючої пластини ділиться на три основних ділянки x_1 , x_2 і x_3 . Процес різання в основному здійснюється ділянками x_1 і x_2 забірної частини пластини, ділянка x_3 є калібрувальною і забезпечує чистоту поверхні, зрізуючи залишені гребінці після проходу забірної частини пластини. Перед забірною частиною на пластині зрізається фаска під кутом 45° , що збільшує міцність різальної кромки x_1 . Для отримання дрібнішої стружки на ділянці різальної кромки x_1 пластини прорізають стружкороздільні канавки. На калібруючій ділянці x_3 пластини задня грань має стрічку шириною 0,16-0,25 мм, а на забірній частині пластини – стрічку шириною 0,03-0,05 мм. Форма і взаємне розташування канавок на двох ножах пластини показані на рис. 1.16, а.

При розточуванні отворів діаметром 60-100 мм на деяких заводах застосовують конструкцію плаваючої пластини, показаної на рис. 1.16, б. Порівнюючи конструкції обох пластин, слід зазначити, що пластина (рис. 1.16, б) дозволяє здійснювати тонше регулювання на заданий розмір при розведенні ножів для переточування, що забезпечує більшу кількість переточувань, і більшу надійність в роботі.

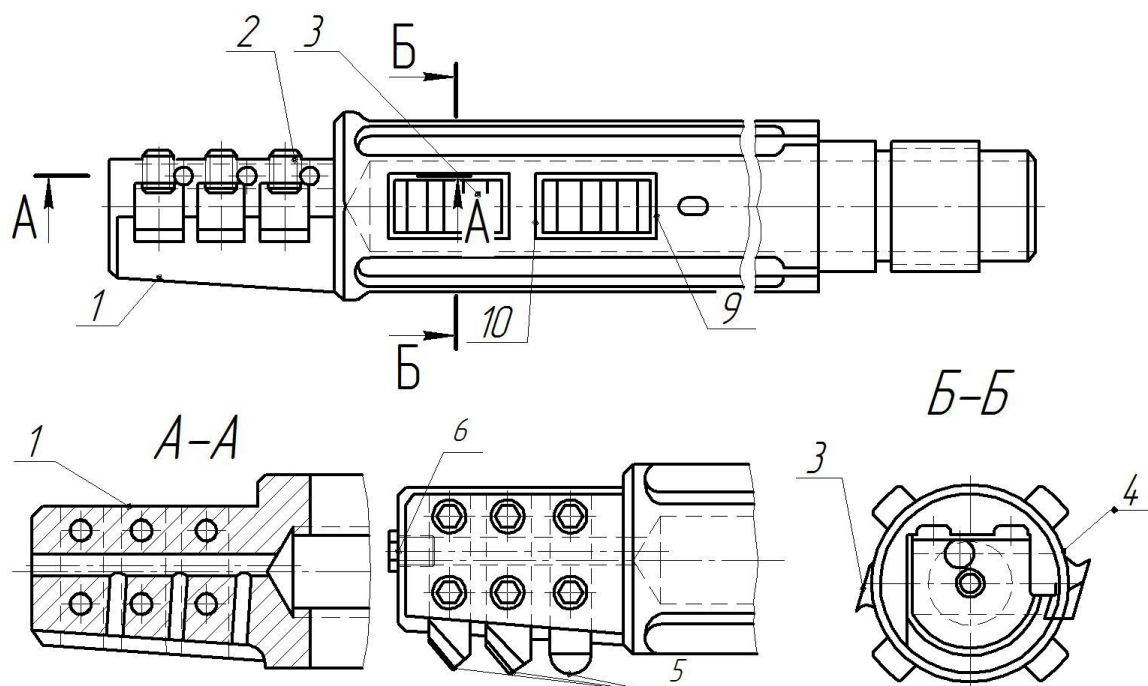


Рис.1.15. Комбінована розточувальна головка

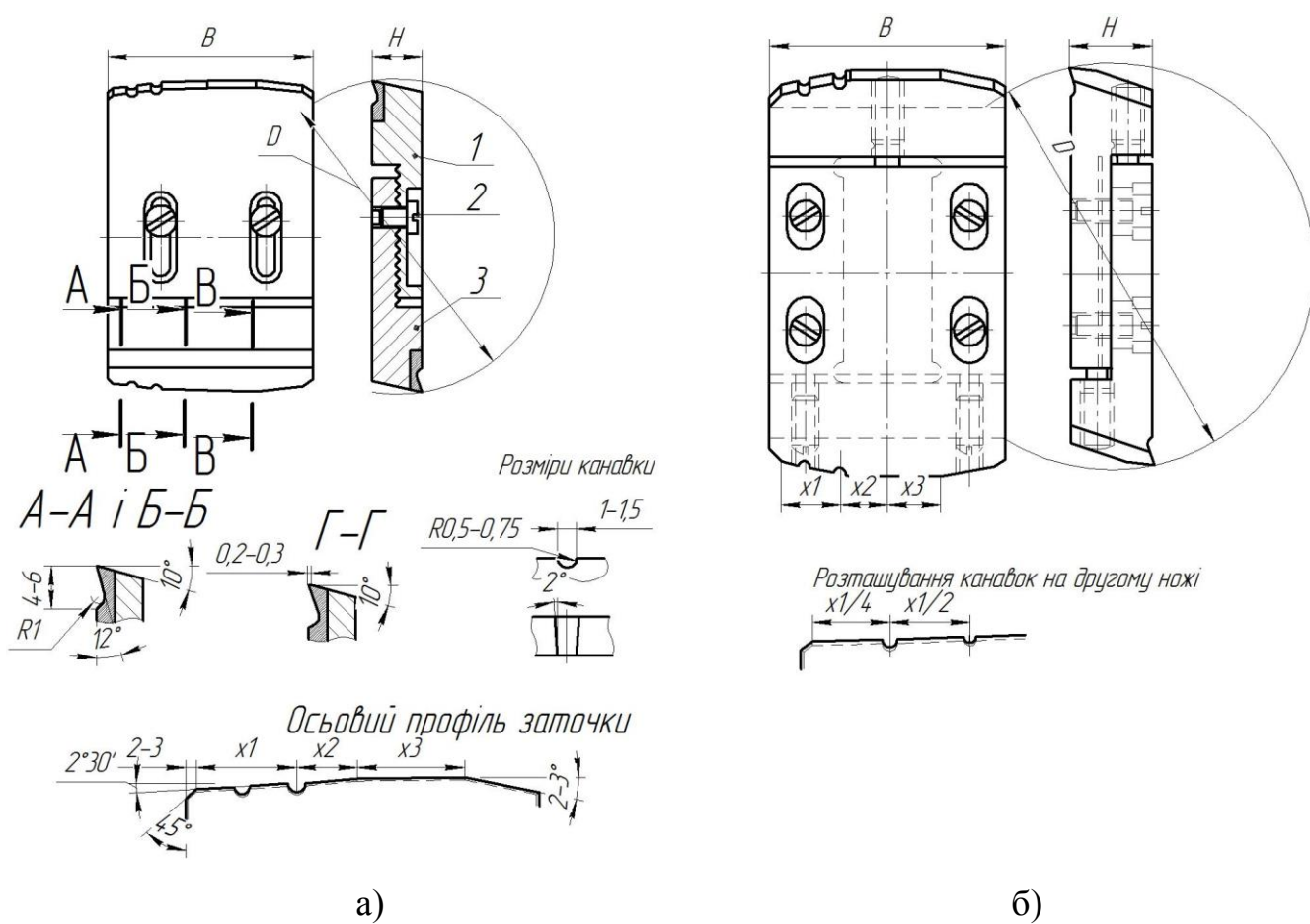


Рис. 1.16. Конструкції плаваючих пластин для розточування глибоких отворів з рифленнями а) та точним регулюванням розміру б)

1.5. Аналіз існуючих залежностей для визначення розрахункових висотних параметрів шорсткості

Процес формування шорсткості оброблюваної поверхні обточуванням, розточуванням чи зенкеруванням з точки зору кінематики й геометричних та конструкторських параметрів інструменту має однакові закономірності. Шорсткість поверхні рекомендують розділяти на розрахункові (наприклад Ra_p , Rz_p) та дійсні (Ra , Rz) нерівності профілю.

Під розрахунковими (геометричними) параметрами шорсткості розуміють такі, в яких висоту і форму можна визначити аналітично за таких припущень: вважається, що оброблюваний матеріал і система верстат-притосування-інструмент-деталь (ВПД) є абсолютно жорсткими, а леза інструменту є геометричними лініями. Також слід зазначити, що при існуючих методах розрахунку геометричних мікронерівностей, утворених точінням, розточуванням чи зенкеруванням, приймають, що кут підйому гвинтової лінії ($\eta = \arctg(s/\pi D)$, тут s – подача, D – діаметр оброблюваної поверхні) – траєкторії руху вершини різця не впливає на значення Ra_p чи Rz_p , так як похибка кроку при цьому є величиною малості третього порядку.

Дійсні мікронерівності – це ті, які виникли на обробленій поверхні після проходу різального інструменту Їх визначають на основі експериментальних даних за емпіричними формулами [21, 83, 200].

В залежності від форми головної й допоміжної різальних кромки (ГРК і ДРК відповідно) та кутів у плані різців в [1] подані геометричні моделі шорсткості оброблюваної поверхні, які схематично показані на рис. 1.17.

При визначенні розрахункових параметрів шорсткості прийнято визначати висоту нерівностей профілю (відстань між лінією впадин і лінією виступів), що рівноцінне значенню параметра $H = R_{\max} \approx Rz_p$. Розрахункове значення параметру $Ra_p \approx 0,25 \cdot Rz_p$ [1].

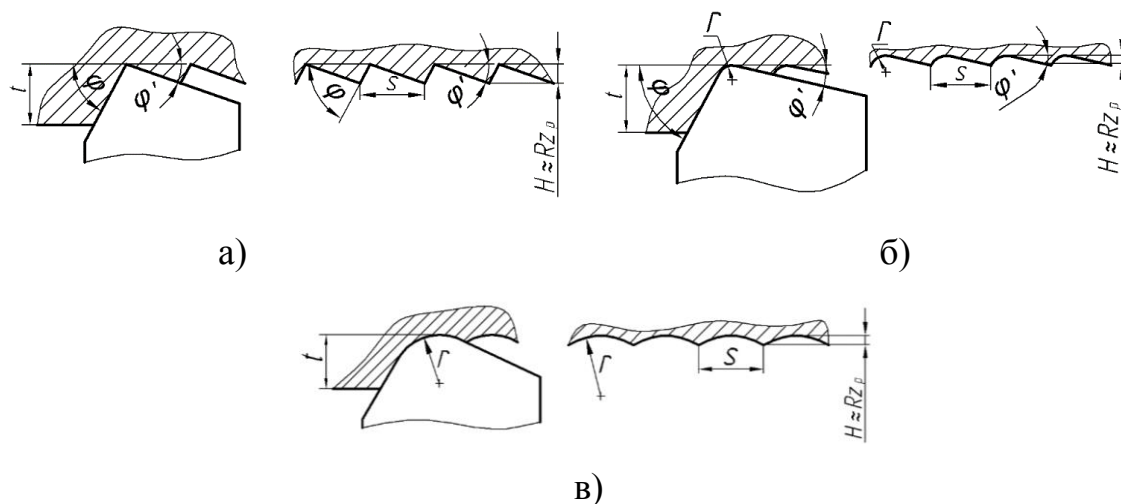


Рис. 1.17. Геометричні моделі шорсткості обробленої поверхні токарними та розточними різцями при різних формах їх різальних кромки і значеннях кутів у плані (за Армареґо И. Дж, Браун Р. Х. [1]) для випадків: а) радіус при вершині різця $r = 0$; б) $r \neq 0$ і профіль утворюється радіусною ділянкою (РД) ГРК та прямолінійною ділянкою (ПД) ДРК і РД ДРК; в) $r \neq 0$ і профіль утворюється РД ГРК і РД ДРК

При обробленні токарними, розточувальними різцями або зенкерами з радіусом при вершині $r=0$ (рис. 1.17,а) розрахункову висоту нерівностей профілю за десятьма точками (Rz_p) визначають із залежності [1]:

$$H \approx Rz_p = s / (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi'), \quad (1.1)$$

де φ , φ' – відповідно головний і допоміжний кути в плані.

Аршинов В. А. і Алексєєв Г. А. [2], Бобров В. Ф [21], Суслов [184, 185] та Філоненко С. Н. [193] для визначення величини Rz_p для випадку, проілюстрованого рис. 1.17 а, запропонували формулу

$$H \approx Rz_p = s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi' / \sin(\varphi + \varphi'). \quad (1.2)$$

Для варіанту, проілюстрованого рис. 1.17 а, у різних джерелах наводять ще й інші формули. Наприклад, Вульф А. М [28], Кривоухов В. А. [83] запропонували залежність:

$$H \approx Rz_p = s \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi' / (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi'), \quad (1.3)$$

а Ящеріцин П. І. в роботі [200] подає таку формулу:

$$H \approx Rz_p = s \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi') / (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi'). \quad (1.4)$$

При обробленні різцем з радіусом при вершині $r \neq 0$ (рис. 1.17, б), коли різання забезпечується одночасно ПД ГРК і РД ГРК та РД ДРК, величину Rz_p у [1] пропонують визначати за залежністю:

$$H \approx Rz_p = (1 - \cos \varphi') \cdot r + s \cdot \sin \varphi' \cdot \cos \varphi' - \sqrt{2s \cdot r \cdot \sin^3 \varphi' - s^2 \cdot \sin^4 \varphi'}. \quad (1.5)$$

У випадку чистової обробки, яку здійснюють при малих глибинах різання і малих подачах при участі тільки РД ГРК і РД ДРК (рис. 1.17, в) і за дотримання умови $s \leq 2r \cdot \sin \varphi'$, величину Rz_p пропонують [1] визначати за формулою

$$H \approx Rz_p = r - 1/2 \sqrt{4 \cdot r^2 - s^2} \approx s^2 / 8r. \quad (1.6)$$

Для цього ж випадку (рис. 1.17 б, в) в залежності від співвідношення між величинами s та φ , φ' і r величину Rz_p визначають за формулами, запропонованими А. І. Ісаєвим [51]:

$$\begin{aligned} H \approx Rz_p &= \frac{\sin \varphi \cdot \sin \varphi'}{\sin(\varphi + \varphi')} \times \left[s - r \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) \right] && \text{при } \begin{cases} \varphi < \arcsin s / 2r \\ \varphi' < \arcsin s / 2r, \end{cases} \\ H \approx Rz_p &= r(1 - \cos \varphi') + s \cdot \sin \varphi' \cdot \cos \varphi' - \\ &- \sin \varphi' \sqrt{s \sin \varphi' (2r - s \sin \varphi')} && \text{при } \begin{cases} \varphi > \arcsin s / 2r \\ \varphi' < \arcsin s / 2r, \end{cases} \\ H \approx Rz_p &= r(1 - \cos \varphi) + s \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi - \\ &- \sin \varphi \sqrt{s \sin \varphi (2r - s \sin \varphi)} && \text{при } \begin{cases} \varphi < \arcsin s / 2r \\ \varphi' > \arcsin s / 2r, \end{cases} \\ H \approx Rz_p &= r - \sqrt{4 \cdot r^2 - s^2} / 2 && \text{при } \begin{cases} \varphi > \arcsin s / 2r \\ \varphi' > \arcsin s / 2r. \end{cases} \end{aligned} \quad (1.7)$$

В роботах [193, 200] подано формулу для визначення величини Rz_p при умові, коли $s < r$

$$H \approx Rz_p = s^2 / 2r, \quad (1.8)$$

а в роботах [2, 28, 102], за умови, коли $s < 2r$, пропонуються інші залежності:

$$H \approx Rz_p = r - \sqrt{r^2 - s^2 / 4} \quad \text{або} \quad H \approx Rz_p = s^2 / 8r. \quad (1.9)$$

Вульф А. М. [28] запропонував формулу для визначення висоти нерівностей профілю при малому значенні r :

$$H \approx Rz_p = r - (r/\sin \varphi - s/2) \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (1.10)$$

Аналіз формул (1.1–1.3) показує, що вони дають однаковий результат і при здійсненні перетворень їх можна привести до одного вигляду, наприклад (1.1). Аналіз формули (1.4) показує, що її використання можливе лише за умови $\operatorname{tg} \varphi > \operatorname{tg} \varphi'$. Для здійснення аналізу значень величини Rz_p , отриманих за формулами (1.1–1.4) в табл. 1.1, як приклад, подані результати розрахунків.

Аналіз поданих в таблиці результатів показує, що величина Rz_p , визначена за формулами (1.1–1.3), в деяких випадках у десятки разів відрізняється від цієї ж величини, визначеної за формулою (1.4) при одних і тих же геометричних параметрах різця. Тому для наочного аналізу існуючих залежностей на рис. 1.18 подані графіки $Rz_p = f(\varphi)$ при різних φ' (рис. 1.18, а) і $Rz_p = \psi(\varphi')$ (рис. 1.18, б).

Таблиця 1.1.

Значення параметра Rz_p , отримані за формулами (1.1–1.4), при різних значеннях φ та φ' , подачі $s=0,05$ мм/об і $r=0$

№	Формула	Значення Rz_p , мкм									Джерело
		$\varphi'=5^0$			$\varphi'=15^0$			$\varphi'=30^0$			
		$\varphi=45$	$\varphi=60$	$\varphi=75$	$\varphi=45$	$\varphi=60$	$\varphi=75$	$\varphi=45$	$\varphi=60$	$\varphi=75$	
1	(1.1–1.3)	4	4,1	4,3	11	12	13	18	22	25	[1], [2], [22], [199], [102], [155], [193]
2	(1.4)	42	45	48	29	37	43	13	25	36	[200]

Із графіків (рис. 1.2) випливає, що величина Rz_p , визначена за формулами (1.1–1.3), збільшується із збільшенням значень кутів φ та φ' , а величина Rz_p , визначена за формулою (1.4), збільшується із збільшенням кута φ та зменшується із збільшенням кута φ' .

Аналіз поданих графіків дає право констатувати те, що залежність (1.4) суперечить залежностям (1.1-1.3) і має фізичний зміст лише за умови $\varphi > \varphi'$.

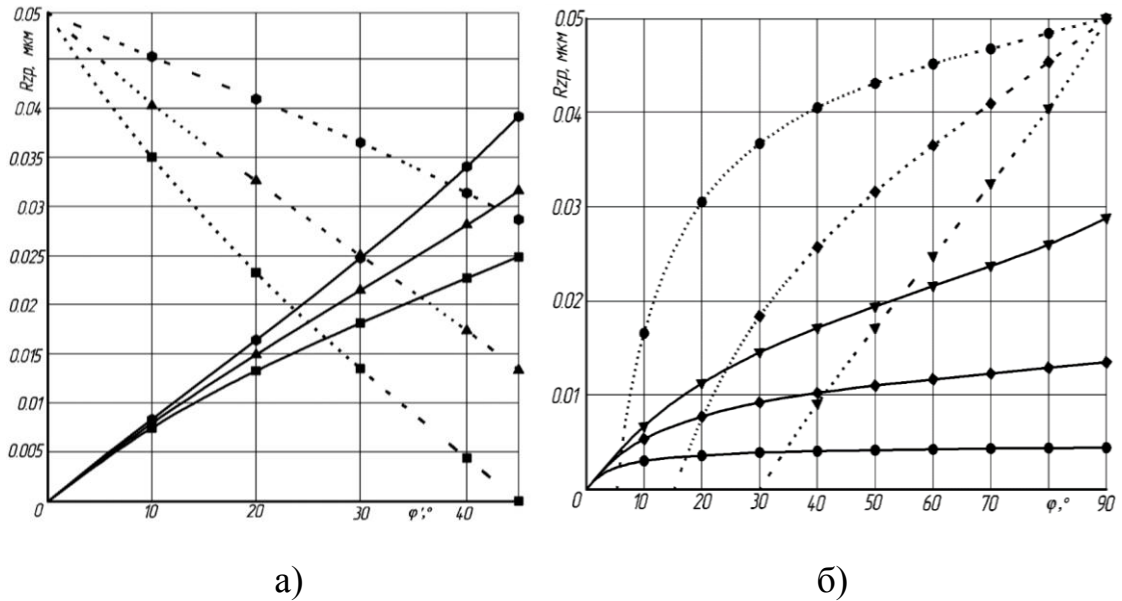


Рис. 1.18. Графіки залежностей Rz_p від кутів в плані різця при $s = 0.05$ мм/об і $r = 0$:
 — - за формулами (1.1-1.3); · · · - за формулою (1.4): а) залежність $Rz_p = \psi(\varphi')$ при
 різних φ : ■■■ - $\varphi = 45^0$; ▲▲▲ - $\varphi = 60^0$; ●●● - $\varphi = 75^0$; б) залежність $Rz_p = f(\varphi)$
 при різних φ' : ●●● - $\varphi' = 5^0$; ◆◆◆ - $\varphi' = 15^0$; ▼▼▼ - $\varphi' = 30^0$

Аналогічним чином проаналізуємо формули (1.5-1.13) для різця з радіусом заокруглення при вершині, тобто коли $r \neq 0$. Розрахункові значення Rz_p , отримані за цими формулами, подані в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Значення параметру Rz_p , отримані за різними формулами, при різних значеннях подачі та при постійних кутах в плані $\varphi = 60^0$, $\varphi' = 15^0$ з радіусом заокруглення при вершині різця $r \neq 0$.

№	формула	Значення Rz_p при різних подачах, мкм									Джерело
		$s=0.05$			$s=0.2$			$s=0.4$			
		r=0.1	r=0.5	r=1	r=0.1	r=0.5	r=1	r=0.1	r=0.5	r=1	
1	(1.5),(1.6)	2,177	0,625	0,312	11	7,86	4,97	32	21	16	[1]
2	(1.7)	2,177	0,625	0,312	13	7,86	4,97	28	21	16	[51]
3	(1.8)	13	2,5	1,25	-	40	20	-	160	80	[193],[200]
4	(1.9),(1.10)	3,175	0,625	0,312	-	10	5,01	-	42	20	[2], [28]

Аналіз даних, поданих в табл. 1.2, показує, що отримані значення Rz_p , визначені за формулою (1.8), у 5 разів більші, ніж ті, що визначені за всіма іншими формулами (1.5-1.7, 1.9, 1.10). Очевидно, що формулу (1.8) можна використовувати лише для приблизних розрахунків. Для більшої наочності побудовані графіки залежностей величини Rz_p від радіуса заокруглення при вершині різця для різних значень подачі та при постійних головному $\varphi = 60^\circ$ та допоміжному $\varphi' = 15^\circ$ кутах в плані (рис. 1.19).

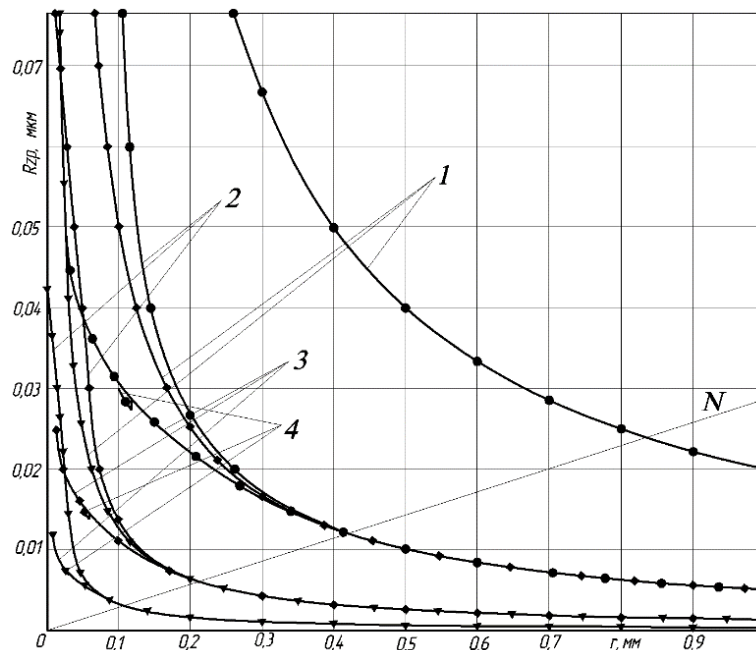


Рис. 1.19. Графіки залежностей Rz_p від радіуса заокруглення при вершині різця та

$\varphi = 60^\circ$ і $\varphi' = 15^\circ$ при: $\bullet-\bullet-\bullet$ - $s = 0,2 \text{ мм/об}$; $\blacklozenge-\blacklozenge-\blacklozenge$ - $s = 0,1 \text{ мм/об}$; $\blacktriangledown-\blacktriangledown-\blacktriangledown$ -

$s = 0,05 \text{ мм/об}$, визначені за формулами: 1 – (1.8); 2 – (1.5), (1.6); 3 – (1.9), (1.10); 4 – (1.7).

Аналіз графіків, поданих на рис. 1.19, показує, що практично всі вони накладаються один на одного праворуч від умовної лінії ON , тому що у всіх джерелах наведені різні формули, які можна звести до однієї залежності для конкретного випадку. Це свідчить про те, що праворуч від даної лінії утворюється профіль, який показаний на рис. 1.17, в. При цьому подані залежності, наведені в різних джерелах, не дають однозначної відповіді на запитання: при яких значеннях s , φ , φ' , r та їх співвідношеннях буде утворюватися даний профіль. Графіки, побудовані за формулою (1.8), «зсунуті» вгору над всіма іншими на певну величину. Наприклад, графік, побудований за цією формулою при $s=0,1 \text{ мм/об}$, праворуч лінії ON

накладається на графіки, побудовані за іншими формулами при $s=0,2$ мм/об. Ліворуч від лінії ON спостерігається неоднозначність отриманих значень величини R_{zp} і при підрахунках отримано певні розбіжності. На графіках, побудованих за формулами А. І. Ісаєва [51], спостерігаються розриви при певних значеннях кутів φ та φ' .

Із вищевикладеного можна зробити висновок, що існуючі залежності для визначення розрахункової висоти мікронерівностей обробленої поверхні (1.1-1.10) мають суперечності як в плані отриманих результатів, так і в плані одержання того чи іншого профілю.

Аналіз залежностей 1.1-1.10 показує, що однією із основних складових, які впливають на висоту нерівностей профілю обробленої поверхні, є величина подачі, при якій здійснюється процес оброблення.

1.6. Аналіз факторів, що впливають на розсіювання подач універсальних верстатів

Точність подачі на універсальному верстаті залежить від певної кількості факторів:

1. Довжини кінематичного ланцюга, що спричиняє накопичену кінематичну похибку.

2. Точність виготовлення та взаємного розміщення валів.

3. Точність виготовлення зубчастих коліс, що згідно з ГОСТ 1643-81 регламентується:

- нормами кінетичної точності: визначають величину похибки передаточного відношення – повної похибки кута повтору зубчатого колеса за один його оберт;

- нормами плавності роботи: визначають величину циклічної похибки передатного відношення – складових повної похибки кута повороту колеса;

- нормами контакту зубців, що визначають повноту прилягання робочих поверхонь зубців;

- нормами бічного зазору, що регламентують гарантований (найменший) бічний зазор між неробочими (при одному напрямі обертання) поверхнями зубців.

4. Виникненням вібрацій в процесі обертання елементів кінематичного ланцюга.
5. Спрацювання елементів кінематичного ланцюга в процесі експлуатації.
6. Силowymi та температурними деформаціями елементів кінематичного ланцюга.

Враховуючи те, що кінематичний ланцюг окремої подачі середнього токарного верстату, як правило, складається більше, ніж із десяти передач і з'єднань, кожен елемент яких має свої норми кінематичної точності і точності спряжень, можна висунути гіпотезу про те, що подача на верстаті буде мати певне розсіювання на кожному кінематичному ланцюгу.

1.7. Аналіз існуючих методів оцінювання шорсткості глибоких отворів

Оцінка шорсткості поверхонь на даний час здійснюється двома способами – якісним та кількісним [43, 157, 187]. Якісний спосіб базується на порівнянні обробленої поверхні із зразком еталону або еталонною деталлю. Порівняння здійснюється візуально або при контактуванні з поверхнями, які порівнюються [43]. При оцінюванні шорсткості застосовують лупи і порівняльні мікроскопи. Якісну оцінку, зазвичай, проводять в цехових умовах, використовуючи для цього особливі еталони, виготовлені з того ж матеріалу і оброблені тими ж способами, що й поверхні, які оцінюються.

В даний час у світовій практиці не вироблений єдиний підхід до кількісного оцінювання шорсткості поверхонь. Так, навіть в таких країнах як США, Англія, ФРН, Японія кількість параметрів шорсткості значно відрізняються [96, 187]. Однак існують шість параметрів (середньоарифметичне відхилення профілю – R_a , середня висота нерівностей профілю за десятьма точками – R_z , найбільша висота профілю – R_{max} , середній крок місцевих відхилень профілю – S , середній крок нерівностей профілю – S_m , відносна опорна довжина профілю – t_p), які характеризують висоту нерівностей профілю, а також лінійні показники цих нерівностей. Ці параметри (в тому числі й за діючими ДСТУ [24, 120]) використовують для практичного нормування в більшості країн світу. Проте діючі стандарти не встановлюють

кількості параметрів, які слід використовувати при оцінюванні шорсткості тієї чи іншої поверхні, а також кількості вимірювань однієї обробленої поверхні.

Методи дослідження шорсткості поверхні можна розділити [43, 53, 58, 157] на локальні (при яких досліджують кожен параметр шорсткості: висоти окремих нерівностей, їх форму, взаємне розташування на малих ділянках поверхні) та інтегральні (досліджують середні значення певних параметрів на відносно великих площах), які можна визначити як контактним (профілографи, профілометри), так і безконтактним (інтерферометри, мікроскопи) способами.

Досвід використання існуючих методів оцінки шорсткості показав, що вони не завжди відповідають вимогам практики з таких причин [96, 187, 195]:

- велика кількість критеріїв, що само по собі ускладнює оцінку шорсткості;
- застосовувані критерії не визначають однозначно і достатньо повно вплив мікрогеометрії поверхні на експлуатаційні властивості;
- критерії не враховують стохастичності процесу формування шорсткості і подають їх як детерміновані величини.

Найповніше уявлення про мікро- та макрогеометрію поверхні дають методи оцінювання шорсткості на основі топографії поверхні. Зокрема в роботі [157] розроблені теоретичні та методичні основи розрахунку параметрів шорсткості й хвилястості із застосуванням тривимірного аналізу. Використання топографії поверхні дає повне уявлення про всі види нерівностей, що дозволяє значно розширити можливості оцінки за кожним параметром.

Проте застосування топографії поверхні для оцінки шорсткості поверхонь глибоких отворів є обмеженим через високу вартість і складність самих вимірювань.

Один із методів, який можна було б застосувати для оцінки шорсткості в глибоких отворах, описаний в [58], вимірювання за яким проводять одночасно у двох напрямках – паралельно та перпендикулярно до напрямку обробки (автори здійснювали фрезерування площини), використовуючи при цьому різні прилади. При цьому за оцінку приймають значення R_a за 6-ма вимірюваннями.

В роботі [54] запропонований метод оцінки шорсткості на основі методів статистичної динаміки. Вихідні дані розглядають як нестационарні статистичні часові

послідовності випадкових процесів. Цей метод дозволяє описати поверхню за допомогою математичних залежностей і комплексно оцінити її характеристики.

В роботі [49] запропоновано методику оцінки шорсткості за параметром Ra , що базується на теорії малої вибірки за методом ітерацій. Суть її полягає в наступному: на кожній із отриманих деталей знімали по 6-10 профілограм з рівномірно розміщених по колу трас. Для кожної із цих n профілограм визначали середні арифметичні відхилення профілю $Ra_1, Ra_2 \dots Ra_{n-1}, Ra_n$. Отримані значення Ra і приймали, як випадкові величини з нормальним законом розподілу [203] та з використанням теорії малої вибірки за методом ітерацій знаходять середні значення, дисперсії розсіювання розглядуваного параметру.

Враховуючи специфіку вимірювань шорсткості в глибоких отворах, складність здійснення великої кількості замірів, а також неможливість використання топографії поверхні і з урахуванням необхідності отримання високої достовірності результатів для оцінки шорсткості оброблених поверхонь використаємо методику, запропоновану в [49].

1.8. Аналіз існуючих методів дослідження сил різання БМІ для оброблення глибоких отворів

Силкові характеристики процесу різання є одними із найголовніших критеріїв, які характеризують процес різання в плані його економічної ефективності та забезпечення якісних параметрів обробленої поверхні.

Аналіз існуючих літературних джерел [21, 28, 62, 122, 178, 181] показує, що для визначення силових характеристик процесу різання існують аналітичні і емпіричні залежності.

За останні десятиліття опубліковано значну кількість наукових праць [2, 21, 32, 59, 61, 62, 122, 168, 178, 181, 193], присвячених аналітичному дослідженню основ механічного різання металів. При цьому розроблено декілька математичних моделей для оцінки процесу різання. Як видно з аналізу літературних джерел пояснення природи утворення зони деформацій при визначенні P_z в процесі різання металів

дуже суперечливі. Такі дослідники як Піспанен, Мерчант, Кобаяші, Томеен прийняли модель утворення зони деформацій і визначення при цьому P_z з однією площею зсуву [1]. Інші дослідники, такі як Пальмер і Окслі, Окудшіма, Хітомі і Зорев подають свої аналітичні дослідження на моделі із розвинутою зоною деформації [1, 168]. Отримані аналітичні залежності для визначення сил різання [1, 21, 59, 168, 176, 181, 193] не завжди забезпечують задовільне кількісне узгодження із експериментом. В роботах Воронцова А. Л. [25, 26] запропонована теорія визначення P_z , яка враховує величину швидкості деформацій, явище зміцнення, вплив температури, що виникає в процесі різання.

Для практичних розрахунків аналітичними залежностями користуватись складно, а іноді не виправдано. Тому найчастіше використовують емпіричні залежності сил різання та крутного моменту від режимів різання при точінні, розточуванні, зенкеруванні, запропоновані в [175, 179]. Взавши до уваги рекомендації [179, 192], в яких запропоновано для багатолезових інструментів додавати складові сили різання визначені для одного різального елемента, використаємо залежності [175, 179] для зрівноважування радіальних складових сил різання розточувальних головок.

Із врахуванням розсіювання подач (п.п 1.6) виникає необхідність в удосконаленому методі визначення впливу подачі на силові характеристики процесу розточування.

Існуючі емпіричні залежності, що враховують вплив елементів режиму різання на осьову силу та крутний момент при зенкеруванні не враховують конструктивних особливостей зенкерів з асиметричним розміщенням лез.

1.9. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження

1. З точки зору забезпечення необхідної якості обробленої поверхні (точності розмірів, шорсткості) ефективнішим є використання БМІ, що працюють за схемою поділу подачі, або комбіновані БМІ, що працюють за схемою одночасного поділу припуску і подачі.

2. БМІ для оброблення глибоких отворів з асиметричним розміщенням лез мають підвищену вібростійкість та забезпечують нижчу шорсткість оброблюваної поверхні.

3. В існуючих конструкціях металорізальних інструментів з асиметричним розміщенням лез, що працюють за схемами поділу подачі або одночасного поділу припуску і подачі зрівноваження радіальних складових сил різання здійснюється лише за допомогою напрямних елементів, встановлених у корпусі, що спричиняє нерівномірність їхнього навантаження та зношування, і, як наслідок, погіршення якісних показників оброблюваних поверхонь.

4. Особливістю конструкції зенкерів є використання близьких до нуля значень допоміжних кутів в плані з напрямними фасками на допоміжних різальних лезах чистових різців в інструментах, що працюють за схемами поділу подачі, або одночасного поділу припуску і подачі поряд із низькою шорсткістю, що спричиняє їх нагрівання, і, як наслідок, збільшення діаметральних розмірів в процесі оброблення, що можуть виходити за межі допуску встановленого розміру.

5. Здійснений аналіз відомих конструкцій БМІ з асиметричним розміщенням лез показав, що їх геометричні та конструктивні параметри з точки зору забезпечення відповідної якості оброблюваної поверхні при максимальній продуктивності обґрунтовані недостатньо.

6. Існуючі залежності для визначення розрахункової висоти мікронерівностей обробленої поверхні мають суперечності як в плані отриманих результатів, так і в плані одержання того чи іншого профілю.

З урахуванням проведеного аналізу поставлено мету і задачі дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу оброблення глибоких отворів циліндрів шляхом обґрунтування нових конструкцій багатолезових металорізальних інструментів з асиметричним розміщенням лез.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. На основі аналіз існуючих проблем, методів, а також конструкцій багатолезових інструментів для розточування та зенкерування глибоких отворів циліндрів та запропонувати їх класифікацію.

2. Проаналізувати вплив геометричних та конструкторських параметрів різальних елементів і подачі на висоту нерівностей профілю обробленої поверхні при точінні, розточуванні та зенкеруванні.

3. Висунути і перевірити гіпотезу про стохастичність подач токарних верстатів різних кінематичних ланцюгів та підтвердити її експериментальними дослідженнями.

4. Запропонувати методику оцінки впливу стохастичності подач на параметр висоти нерівностей профілю за десятьма точками Rz при точінні, розточуванні та зенкеруванні.

5. Розробити методику проектування і сконструювати на їх основі багаторізцеві розточувальні головки та зенкери з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів із зрівноваженими радіальними складовими силами різання.

5.1. Розробити методику проектування три- та чотирирізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів на основі теоретичного обґрунтування забезпечення заданої висоти нерівностей профілю, провести оптимізацію геометричних параметрів їх різців та здійснити зрівноваження радіальних складових сил різання шляхом регулювання глибини різання на чорновому та чистових різцях. На основі методики запропонувати їх конструкції.

5.2. Розробити методику проектування та конструкції спеціальних зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням зубців та корегованими кутами в плані.

6. На основі розроблених методик і технологічного спорядження провести експериментальні дослідження силових характеристик процесу оброблення глибоких отворів пустотілих циліндрів сконструйованими БМІ.

7. Здійснити в ймовірнісному аспекті оцінювання шорсткості поверхонь глибоких отворів циліндрів, оброблених запропонованими БМІ.

8. Розробити методику визначення економічної ефективності від використання у виробництві запропонованих технічних рішень.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИСОТНИХ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ, СФОРМОВАНОЇ ОБТОЧУВАННЯМ, РОЗТОЧУВАННЯМ ЧИ ЗЕНКЕРУВАННЯМ

2.1. Розроблення уточнених геометрично-математичних моделей висоти мікронерівностей обробленої поверхні

На основі аналізу встановлено, що формування шорсткості циліндричної поверхні при точінні, розточуванні чи зенкеруванні здійснюється в результаті різних комбінацій контакту прямолінійної ПД та радіусної РД ділянок головної різальної кромки ГРК з поверхнею різання, а також РД і ПД допоміжної різальної кромки з обробленою поверхнею ОП заготовки.

На основі поставленого завдання в залежності від значень головного φ та допоміжного φ' кутів в плані та їх співвідношень, подачі s і радіуса вершини різця r нами запропоновані п'ять геометрично-математичних моделей (табл. 2.1), які уточнюють вплив цих параметрів на висоту нерівностей профілю і реалізуються при умовах $\varphi > 0$, $\varphi' > 0$, $s > 0$ та різних значеннях r [72, 73].

Таблиця 2.1.

Варіанти геометричних моделей формування нерівностей профілю при комбінації контактів ділянок ГРК і ДРК з поверхнею головного руху (ПГР) і обробленою поверхнею (ОП)

Варіанти	Поверхні заготовки: ПГР і ОП	Ділянки ГРК і ДРК та значення r			
		ПД ГРК	РД ГРК	РД ДРК	ПД ДРК
1	2	3	4	5	6
$r = 0$					
I	ПГР	+	-	-	-
	ОП	-	-	-	+

Продовж. табл. 2.1

1	2	3	4	5	6
$r \neq 0$					
II	ПГР	+	+	-	-
	ОП	-	-	+	+
III	ПГР	-	+	-	-
	ОП	-	-	+	+
IV	ПГР	+	+	-	-
	ОП	-	-	+	-
V	ПГР	-	+	-	-
	ОП	-	-	+	-

+ контакт присутній; - контакт відсутній

Уточнені геометричні моделі формування шорсткості циліндричної поверхні подані на рис. 2.1.

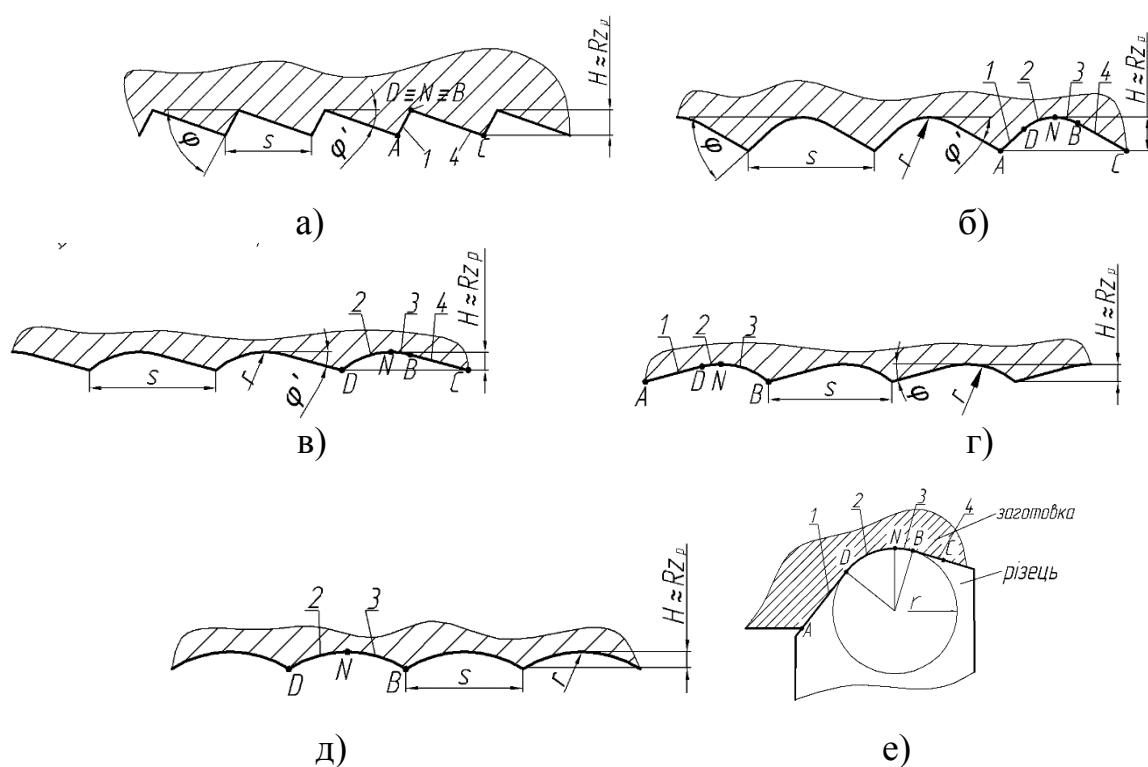


Рис. 2.1. Варіанти уточнених геометричних моделей шорсткості обробленої поверхні точінням, розточуванням чи зенкеруванням (а-д); схема контакту ГРК і ДРК з ПГР і ОП відповідно (е).

Розглянемо I варіант формування нерівностей профілю, при обробці циліндричної поверхні, схема якого подана на рис. 2.1а і 2.2.

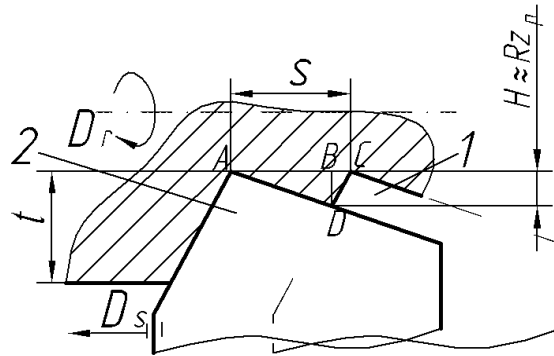


Рис. 2.2. Схема формування шорсткості обробленої поверхні за I варіантом
1 – положення різця до початку оберту; 2 – положення різця після закінчення оберту (для всіх наступних схем)

Висоту мікронерівностей $BD = H \approx Rz_p$ (рис. 2.2) визначимо із $\triangle ABC$ і $\triangle BCD$, використавши теорему синусів:

$$H \approx Rz_p = \frac{s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi'}{\sin(\varphi + \varphi')} = \frac{s}{\text{ctg} \varphi + \text{ctg} \varphi'} \quad (2.1)$$

Слід зазначити, що ця формула співпадає із відомими формулами [1], [2], [22], [102], [193].

Розглянемо II варіант формування нерівностей профілю, схема якого зображена на рис. 2.1б і 2.3.

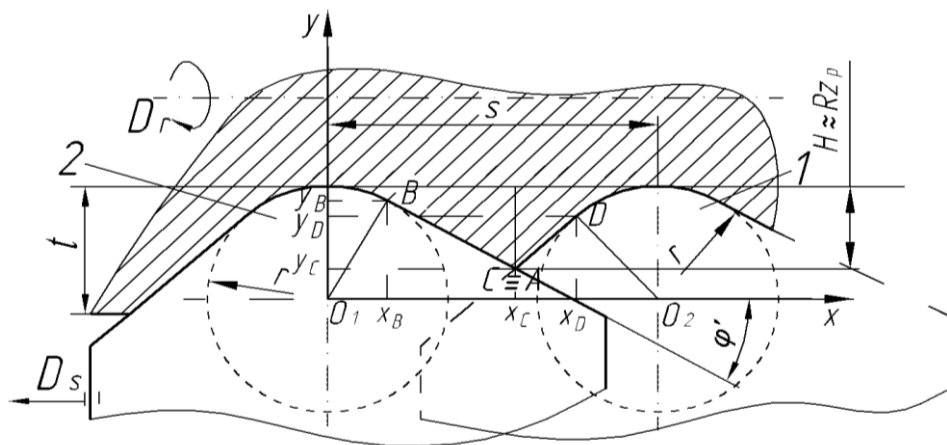


Рис. 2.3. Схема геометричної моделі формування нерівностей профілю за II варіантом

Величину параметра шорсткості Rz_p визначимо, як відстань від точки C до прямої, яка зображає траєкторію руху вершини різця (лінію впадин профілю). Точка C є точкою перетину ПД ГРК і ПД ДРК, координати якої знаходимо як координату точки перетину прямих BC і CD .

Розмістивши початок координат в точці O_1 , вісь x направимо вправо, а вісь y – вгору. Запишемо рівняння прямої BC у вигляді $y = k_1x + b_1$, де $k_1 = -tg\varphi'$. Величину b_1 знайдемо, підставивши у рівняння прямої координати точки B : $X_B = r \cdot \sin \varphi'$; $Y_B = r \cdot \cos \varphi'$. Розв'язавши рівняння $r \cdot \cos \varphi' = -tg\varphi' \cdot r \cdot \sin \varphi' + b_1$, отримаємо: $b_1 = r / \cos \varphi'$.

Тоді рівняння прямої BC набуде вигляду:

$$y = -tg\varphi' \cdot x + r / \cos \varphi'.$$

Аналогічно записавши рівняння прямої DC і подавши його у вигляді $y = k_2x + b_2$ та визначивши координати точки D : $X_D = s - r \sin \varphi$; $Y_D = r \cos \varphi$, отримаємо: $y = tg\varphi \cdot x + r / \cos \varphi - s \cdot tg\varphi$. Для знаходження координат точки перетину $C \equiv A$ розв'яжемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} y = -tg\varphi' \cdot x + r / \cos \varphi' & / tg\varphi' \\ y = tg\varphi \cdot x + r / \cos \varphi - s \cdot tg\varphi & / tg\varphi \end{cases}$$

$$y / tg\varphi' + y / tg\varphi = r / \cos \varphi \cdot tg\varphi + r \cos \varphi \cdot tg\varphi - s$$

Виконавши певні перетворення та спростивши, отримаємо координату y точки C :

$$y_C = \frac{r \cdot (\sin \varphi + \sin \varphi') / \cos \varphi \cdot \cos \varphi' - s \cdot tg\varphi \cdot tg\varphi'}{tg\varphi + tg\varphi'}.$$

Відстань від точки C до прямої $y = r$, а відповідно і Rz_p визначимо за формулою:

$$H \approx Rz_p = r - \frac{r \cdot (\sin \varphi + \sin \varphi') / \cos \varphi \cdot \cos \varphi' - s \cdot tg\varphi \cdot tg\varphi'}{tg\varphi + tg\varphi'} \quad (2.2)$$

Формулу (2.2) можна використовувати при граничній умові, яка полягає у визначенні часткового випадку, який настане, коли перетин ГРК і ДРК відбудеться в точці дотику ПД і РД ГРК або ДРК, тобто $D \equiv C$.

Необхідно зазначити, що при зменшенні подачі до певного значення можемо отримати профіль, зображений на рис. 2.1 в, г. Для визначення меж використання

формули (2.2) скористаємось рис. 2.4. Очевидно, що гранична умова настане тоді, коли точки C і D співпадуть.

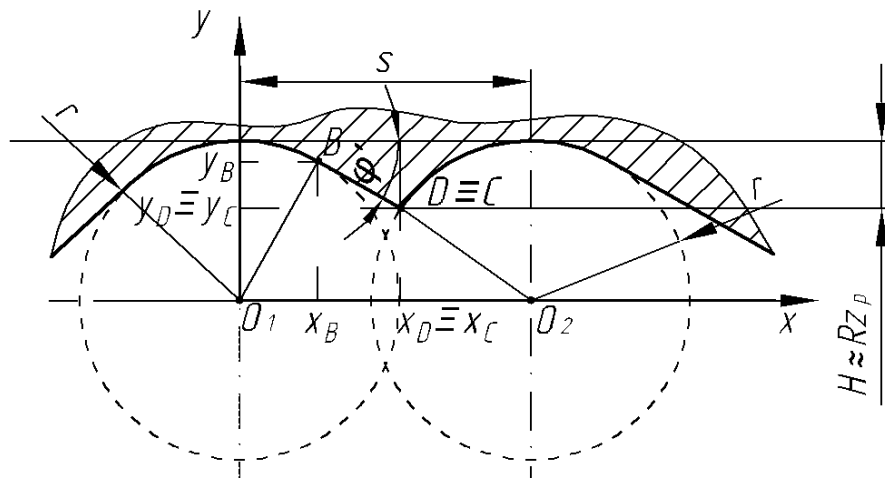


Рис. 2.4. Розрахункова схема для визначення граничної умови використання формули (2.2)

Для визначення граничної умови в рівняння прямої BC підставимо координати точки D (рис. 2.4). Відповідно отримуємо $r \cos \varphi = -tg \varphi' \cdot (s - r \sin \varphi) + r / \cos \varphi'$.

Розв'язавши отримане рівняння відносно s та виконавши певні перетворення будемо мати $s = r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot ctg \varphi' + 1 / \sin \varphi')$.

Отже залежністю (2.2) можна користуватись за умови:

$$s \geq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot ctg \varphi' + 1 / \sin \varphi').$$

Розглянемо III варіант формування нерівностей профілю, схема якого подана на рис. 2.5.

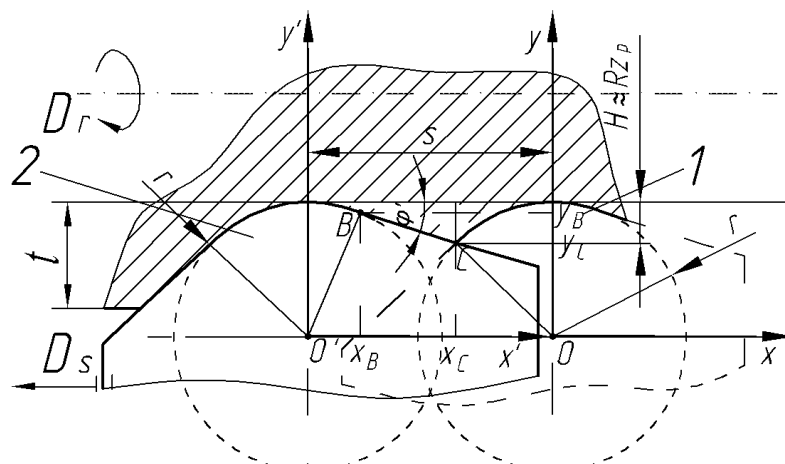


Рис. 2.5. Схема формування нерівностей профілю за III варіантом

Розмістимо початок координат в точці O (рис. 2.5). При цьому вісь x спрямуємо вправо, а y вгору. Висоту нерівності профілю визначимо як різницю між радіусом заокруглення вершини та координатою y точки перетину лінії допоміжної різальної кромки різця та частини кола головної різальної кромки. Тобто знайдемо координати точки перетину прямої BC з колом, рівняння якого запишеться у вигляді $x^2 + y^2 = r^2$

Координати точки B в системі координат xOy (рис. 2.5) визначимо із прямокутного трикутника ABO :

$$x_B = r \sin \varphi', \quad y_B = r \cos \varphi'.$$

Розглянемо нову систему координат $x'O'y'$, утворену із старої за допомогою паралельного перенесення осей координат за формулами:

$$x = x' + x_0, \quad y = y' + y_0,$$

де $(x_0; y_0)$ – координати нового початку O' (у старій системі координат).

У нашому випадку $O'(s; 0)$ і нові координати x', y' визначаються через старі x, y за формулами:

$$x' = x - s, \quad y' = y.$$

Рівняння прямої, яка проходить через точки B і C , у системі координат $x'O'y'$ запишемо у вигляді:

$$y' = kx' + b, \tag{2.3}$$

де $k = \operatorname{tg} \theta$ – кутовий коефіцієнт (θ – кут, який утворює ця пряма з додатнім напрямком осі $O'x'$).

Враховавши, що $\theta = 180^\circ - \varphi'$, знайдемо:

$$k = \operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg}(180^\circ - \varphi') = -\operatorname{tg} \varphi'.$$

Тоді рівняння прямої (2.3) набуде вигляду:

$$y' = -\operatorname{tg} \varphi' \cdot x' + b, \tag{2.4}$$

Координати точки B у системі координат $x'O'y'$ визначаються співвідношеннями:

$$x'_B = x_B - s, \quad y'_B = y_B$$

Враховавши вирази для x_B і y_B , отримаємо:

$$x'_B = r \sin \varphi' - s, \quad y'_B = r \cos \varphi'.$$

Підставивши значення x_B' і y_B' у рівняння прямої (2.4), знайдемо сталу b :

$$b = r \cos \varphi' + \operatorname{tg} \varphi' (r \sin \varphi' - s). \quad (2.5)$$

Рівняння кола у системі координат $x'O'y'$ (рис. 2.8) має вигляд:

$$x'^2 + y'^2 = r^2. \quad (2.6)$$

Знайдемо координати точки перетину C прямої (2.4) з колом (2.6), тобто розв'яжемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} y' = -\operatorname{tg} \varphi' \cdot x' + b \\ x'^2 + y'^2 = r^2 \end{cases}. \quad (2.7)$$

Підставимо значення y' із першого рівняння у друге рівняння системи (2.7) і отримаємо:

$$x'^2 + (b - \operatorname{tg} \varphi' \cdot x')^2 = r^2.$$

Далі виконуємо такі перетворення:

$$\begin{aligned} x'^2 + b^2 - 2b \operatorname{tg} \varphi' \cdot x' + \operatorname{tg}^2 \varphi' x'^2 - r^2 &= 0 \\ (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi') x'^2 - 2b \operatorname{tg} \varphi' \cdot x' + (b^2 - r^2) &= 0 \end{aligned}$$

Враховуючи що

$$\left[1 + \operatorname{tg}^2 \varphi' = \frac{1}{\cos^2 \varphi'} \right],$$

будемо мати

$$\frac{1}{\cos^2 \varphi'} x'^2 - 2b \operatorname{tg} \varphi' x' + (b^2 - r^2) = 0 \quad | \cdot \sin^2 \varphi' \quad (\cos \varphi' \neq 0)$$

$$x'^2 - 2b \sin \varphi' \cos \varphi' x' + \cos^2 \varphi' (b^2 - r^2) = 0$$

Розв'язок отриманого зведеного квадратного рівняння знайдемо, визначивши його корені 1 і 2, використавши формулу

$$x_{1,2} = -\frac{r}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{r}{2}\right)^2 - q}$$

$$x'_{1,2} = b \sin \varphi' \cos \varphi' \pm \sqrt{b^2 \sin^2 \varphi' \cos^2 \varphi' - \cos^2 \varphi' (b^2 - r^2)}.$$

Перетворивши підкореневий вираз:

$$\begin{aligned} b^2 \sin^2 \varphi' \cos^2 \varphi' - \cos^2 \varphi' (b^2 - r^2) &= \\ = b^2 \sin^2 \varphi' \cos^2 \varphi' - b^2 \cos^2 \varphi' - r^2 \cos^2 \varphi' &= \\ = \cos^2 \varphi' [b^2 (\sin^2 \varphi' - 1) + r^2] &= \cos^2 \varphi' (r^2 - b^2 \cos^2 \varphi') \end{aligned}$$

і врахувавши, що $\sin^2\varphi' - 1 = -\cos^2\varphi'$ будемо мати:

$$x'_{1,2} = b\sin\varphi'\cos\varphi' \pm \cos\varphi'\sqrt{r^2 - b^2\cos^2\varphi'}. \quad (2.8)$$

Виразимо $b\sin\varphi'\cos\varphi'$ через r і s із врахуванням виразу (2.5) для b :

$$\begin{aligned} b\sin\varphi'\cos\varphi' &= [r\cos\varphi' + \operatorname{tg}\varphi'(r\sin\varphi' - s)]\sin\varphi'\cos\varphi' = \\ &= r\sin\varphi'\cos^2\varphi' + \sin^2\varphi'(r\sin\varphi' - s) = r\sin\varphi'(\cos^2\varphi' + \sin^2\varphi') - \\ &\quad - s\sin^2\varphi' = r\sin\varphi' - s\sin^2\varphi' = \sin\varphi'(r - s\sin\varphi') \end{aligned}$$

(враховуючи перетворення $\cos\varphi' \cdot \operatorname{tg}\varphi' = \cos\varphi' \cdot \frac{\sin\varphi'}{\cos\varphi'} = \sin\varphi'$).

Отже,

$$b \cdot \sin\varphi'\cos\varphi' = \sin\varphi'(r - s\sin\varphi'). \quad (2.9)$$

Виразимо $r^2 - b^2\cos^2\varphi'$ через r і s із врахуванням виразу (2.5) для b :

$$\begin{aligned} r^2 - b^2\cos^2\varphi' &= r^2 - \cos^2\varphi'[r\cos\varphi' + \operatorname{tg}\varphi'(r\sin\varphi' - s)]^2 = \\ &= r^2 - \cos^2\varphi'[r^2\cos^2\varphi' + 2r\cos\varphi'\operatorname{tg}\varphi'(r\sin\varphi' - s) + \operatorname{tg}^2\varphi'(r\sin\varphi')^2] = \\ &= r^2 - \cos^2\varphi'[r^2\cos^2\varphi' + 2r^2\sin^2\varphi' - 2r\sin\varphi' + \operatorname{tg}^2\varphi'(r\sin\varphi')^2] = \\ &= r^2 - \cos^2\varphi'[(r^2\cos^2\varphi' + r^2\sin^2\varphi') + (r^2\sin^2\varphi' - 2r\sin\varphi' + s^2) - \\ &\quad - s^2 + \operatorname{tg}^2\varphi'(r\sin\varphi' - s)^2] = r^2 - \cos^2\varphi'[r^2(\cos^2\varphi' + \sin^2\varphi') + \\ &\quad + (r\sin\varphi')^2 - s^2 + \operatorname{tg}^2\varphi'(r\sin\varphi' - s)^2] = r^2 - \cos^2\varphi'[r^2 + \\ &\quad + (1 + \operatorname{tg}^2\varphi')(r\sin\varphi' - s)^2 - s^2] = \\ &= r^2 - \cos^2\varphi' \left[r^2 - \frac{1}{\cos^2\varphi'}(r\sin\varphi' - s)^2 - s^2 \right] = \\ &= r^2 - r^2\cos^2\varphi' - (r\sin\varphi' - s)^2 + s^2\cos^2\varphi' = \\ &= r^2(1 - \cos^2\varphi') - (r^2\sin^2\varphi' - 2r\sin\varphi' + s^2) + s^2\cos^2\varphi' = \\ &= r^2\sin^2\varphi' - r^2\sin^2\varphi' + 2r\sin\varphi' - s^2 + s^2\cos^2\varphi' = \\ &= 2r\sin\varphi' + s^2(\cos^2\varphi' - 1) = 2r \cdot s \cdot \sin\varphi' - s^2\sin^2\varphi' = \\ &= s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi') \end{aligned}$$

Отже,

$$r^2 - b^2\cos^2\varphi' = s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi'). \quad (2.10)$$

Формула (2.8), з врахуванням (2.9) і (2.10) набуде вигляду

$$x'_{1,2} = \sin\varphi'(r - s\sin\varphi') \pm \cos\varphi'\sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')}. \quad (2.11)$$

Розв'язок $y'_{1,2}$ знайдемо із першого рівняння системи (2.14), підставивши в нього

формули (2.5) і (2.11):

$$\begin{aligned}
 y_{1,2}^1 &= -\operatorname{tg}\varphi^1 \left[\sin\varphi'(r - s\sin\varphi') \pm \cos\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} \right] + \\
 &+ r\cos\varphi' + \operatorname{tg}\varphi'(r\sin\varphi' - s) = -\operatorname{tg}\varphi' \cdot \sin\varphi' r + \operatorname{stg}\varphi' \sin^2\varphi' \mp \\
 &\mp \sin\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} + r\cos\varphi' + \operatorname{tg}\varphi' r\sin\varphi' - \operatorname{stg}\varphi' = \\
 &= r\cos\varphi' + \operatorname{stg}\varphi'(\sin^2\varphi' - 1) \mp \sin\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} = \\
 &= r\cos\varphi' - \operatorname{stg}\varphi' \cos^2\varphi' \mp \sin\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} = \\
 &= r\cos\varphi' - s\sin\varphi' \cos\varphi' \mp \sin\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} = \\
 &= \cos\varphi'(r - s\sin\varphi') \mp \sin\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')}
 \end{aligned}$$

В кінцевому результаті будемо мати:

$$\begin{aligned}
 x'_{1,2} &= \sin\varphi'(r - s\sin\varphi') \pm \cos\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')}, \\
 y'_{1,2} &= \cos\varphi'(r - s\sin\varphi') \mp \sin\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')}.
 \end{aligned}$$

Таким чином отримали дві пари розв'язків системи рівнянь (2.14): (x'_1, y'_1) і (x'_2, y'_2) – координати точки С, що є логічним, адже пряма ВС перетинає коло з центром О в двох точках.

Згідно з умовою та змістом задачі для визначення висоти нерівностей профілю нас цікавить не сама координата y' , а значення $r - y'$. Тому для знаходження величини $H \approx Rz_p$ підходить розв'язок, який дає більше значення y' . Отже вираз

$$H \approx Rz_p = r - \cos\varphi'(r - s\sin\varphi') - \sin\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} \quad (2.12)$$

і буде визначати розрахункову висоту нерівностей профілю за III варіантом

Координати т. С у системі координат xOy знаходимо за формулами:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x'_1 + s, \quad y_1 = y'_1; \\
 x_2 &= x'_2 + s, \quad y_2 = y'_2.
 \end{aligned}$$

Здійснимо перевірку.

$$\begin{aligned}
 x_{1,2}^2 + y_{1,2}^2 &= \sin^2\varphi'(r - s\sin\varphi')^2 \pm 2\sin\varphi'(r - s\sin\varphi')\cos\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} + \\
 &+ \cos^2\varphi' \cdot s\sin\varphi'^2(2r - s\sin\varphi') + \cos^2\varphi'(r - s\sin\varphi')^2 \pm \\
 &\pm 2\cos\varphi'(r - s\sin\varphi')\sin\varphi' \sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} + \sin^2\varphi' \cdot s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi') =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (r - s\sin\varphi')^2(\sin^2\varphi' + \cos^2\varphi') + s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')(\cos^2\varphi' + \sin^2\varphi') \\
&= (r - s\sin\varphi')^2 + s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi') = r^2 - 2rss\sin\varphi' + \\
&\quad + s^2\sin^2\varphi' + 2rss\sin\varphi' - s^2\sin^2\varphi' = r^2.
\end{aligned}$$

Отже отримали, що

$$x'_{1,2}{}^2 + y'_{1,2}{}^2 = r^2.$$

Таким чином знайдені координати точки C задовольняють рівняння кола (або те, що точка C лежить на колі).

Доведемо, що точка C належить також і прямій (2.4):

$$\begin{aligned}
y'_{1,2} &= -\operatorname{tg}\varphi' \cdot x'_{1,2} + b \Rightarrow y'_{1,2} + \operatorname{tg}\varphi' \cdot x'_{1,2} - b = 0 \\
&\cos\varphi'(r - s\sin\varphi') \mp \sin\varphi'\sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} + \\
&+ \operatorname{tg}\varphi' \left[\sin\varphi'(r - s\sin\varphi') \pm \cos\varphi'\sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} \right] - \\
&- r\cos\varphi' - \operatorname{tg}\varphi'(r\sin\varphi' - s) = r\cos\varphi' - s\cos\varphi'\sin\varphi' \mp \\
&\mp \sin\varphi'\sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} + \operatorname{tg}\varphi'\sin\varphi'(r - s\sin\varphi') \pm \\
&\pm \sin\varphi'\sqrt{s\sin\varphi'(2r - s\sin\varphi')} - r\cos\varphi' - \operatorname{tg}\varphi'(r\sin\varphi' - s) = \\
&= -s\cos\varphi'\sin\varphi' + r\operatorname{tg}\varphi'\sin\varphi' - s\operatorname{tg}\varphi'\sin^2\varphi' - r\operatorname{tg}\varphi'\sin\varphi' + \\
&\quad + s\operatorname{tg}\varphi' = -s\cos\varphi'\sin\varphi' + s\operatorname{tg}\varphi'(1 - \sin^2\varphi') = \\
&= -s\cos\varphi'\sin\varphi' + s\operatorname{tg}\varphi'\cos^2\varphi' = -s\cos\varphi'\sin\varphi' + s\sin\varphi'\cos\varphi' = 0
\end{aligned}$$

З отриманого виходить, що точка C належить прямій (2.4).

Розглянемо IV варіант формування шорсткості, схема якого подана на рис. 2.6.

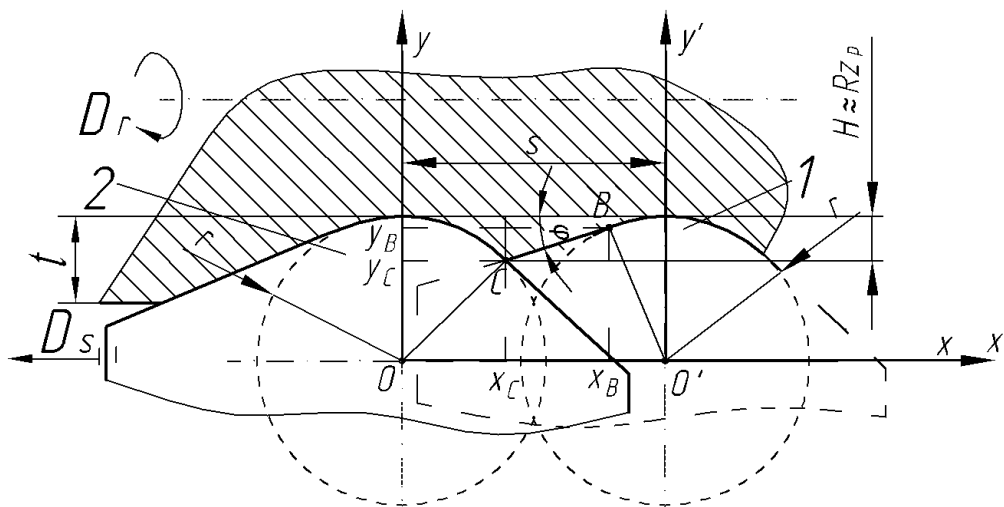


Рис. 2.6. Схема формування мікронерівностей профілю за IV варіантом

Виконавши розрахунки аналогічно до III варіанту геометричної моделі, отримаємо формулу висоти мікронерівностей для IV варіанту, коли $\varphi' > \varphi$:

$$H \approx Rz_p = r - \cos\varphi(r - s\sin\varphi) - \sin\varphi\sqrt{s\sin\varphi(2r - s\sin\varphi)} \quad (2.13)$$

Розглянемо V варіант геометричної моделі формування шорсткості, схема якої подана на рис. 2.7. При цьому виконується умова: $s < 2r \cdot \sin\varphi'$

У цьому випадку висоту мікронерівностей визначимо як відстань від точки B перетину двох кіл: $x^2 + y^2 = r^2$ та $(x-s)^2 + y^2 = r^2$ до прямої $y=r$:

$$H \approx Rz_p = r - \sqrt{r^2 - s^2/4} \quad (2.14)$$

Отримана формула повністю співпадає з залежностями, які наведені в джерелах [1, 28, 51, 102].

Отримані залежності для варіантів I-V геометричних моделей та умови при яких вони справедливі, подані в табл. 2.2.

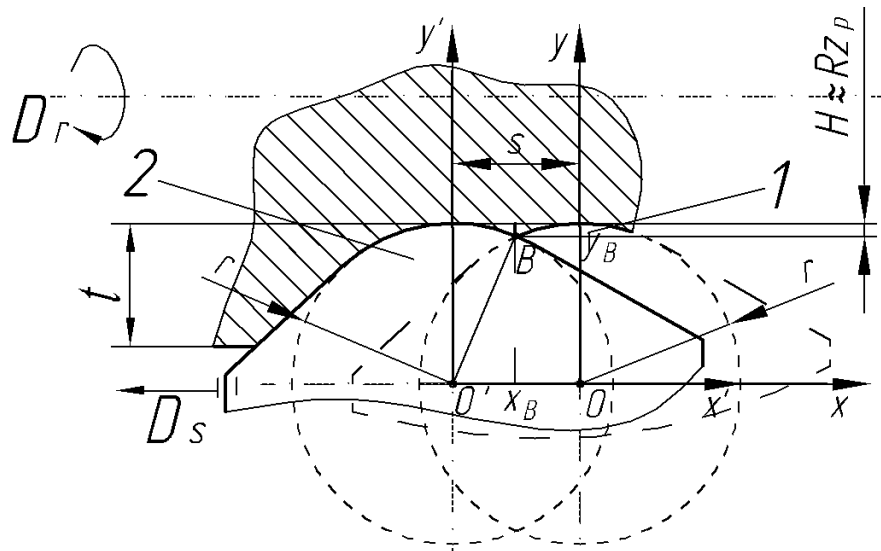


Рис. 2.7. Схема формування шорсткості за V варіантом

На практиці, щоб уникнути громіздких розрахунків для визначення висоти мікронерівностей, а також форми утвореного профілю легше користуватись графіками. Такі графіки залежностей висоти мікронерівностей від радіуса заокруглення при вершині різця при різних подачах та висоти мікронерівностей від величини подачі при різних значеннях радіуса заокруглення при вершині різця за

отриманими вище формулами для п'яти геометрично-математичних моделей, а також з дотриманням умов їх існування, подані на рис. 2.8.

Таблиця 2.2

Залежності для визначення висоти нерівностей профілю та умови їх використання для уточнених геометрично-математичних моделей I-V

№	Формула	Джерело, де зустрічаєт. елемент моделі	Умова, при виконанні якої справедлива формула
I	$H \approx Rz_p = \frac{s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi'}{\sin(\varphi + \varphi')} = \frac{s}{ctg \varphi + ctg \varphi'}$	[1], [2], [22], [102], [155], [200]	$r=0$ $s_{\min} \leq s \leq s_{\max}$
II	$H \approx Rz_p = r - \frac{r \cdot (\sin \varphi + \sin \varphi')}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi'} - \frac{s \cdot tg \varphi \cdot tg \varphi'}{tg \varphi + tg \varphi'}$		$r \neq 0$ і $s \geq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot ctg \varphi' + 1/\sin \varphi')$
III	$H \approx Rz_p = r - \cos \varphi' (r - s \sin \varphi') - \sin \varphi' \sqrt{s \sin \varphi' (2r - s \sin \varphi')}$	[1]	$r \neq 0, s \geq 2r \cdot \sin \varphi',$ $s \leq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot ctg \varphi' + 1/\sin \varphi'); \varphi > \varphi'$
IV	$H \approx Rz_p = r - \cos \varphi (r - s \sin \varphi) - \sin \varphi \sqrt{s \sin \varphi (2r - s \sin \varphi)}$		$r \neq 0, s \geq 2r \cdot \sin \varphi',$ $s \leq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot ctg \varphi' + 1/\sin \varphi'); \varphi < \varphi'$
V	$H \approx Rz_p = r - \sqrt{r^2 - s^2/4}$	[1], [28], [51], [102]	$r \neq 0, s \leq 2r \cdot \sin \varphi'$

Таким чином за поданими графіками можна визначати висоту мікронерівностей профілю для різців з $\varphi = 60^0$ та $\varphi' = 15^0$ при різних значеннях подач та радіусів при вершині різця, а також для різних геометричних моделей профілю: I – утворення мікронерівностей за V варіантом; II – утворення мікронерівностей за III або IV варіантами; III – утворення мікронерівностей за II варіантом.

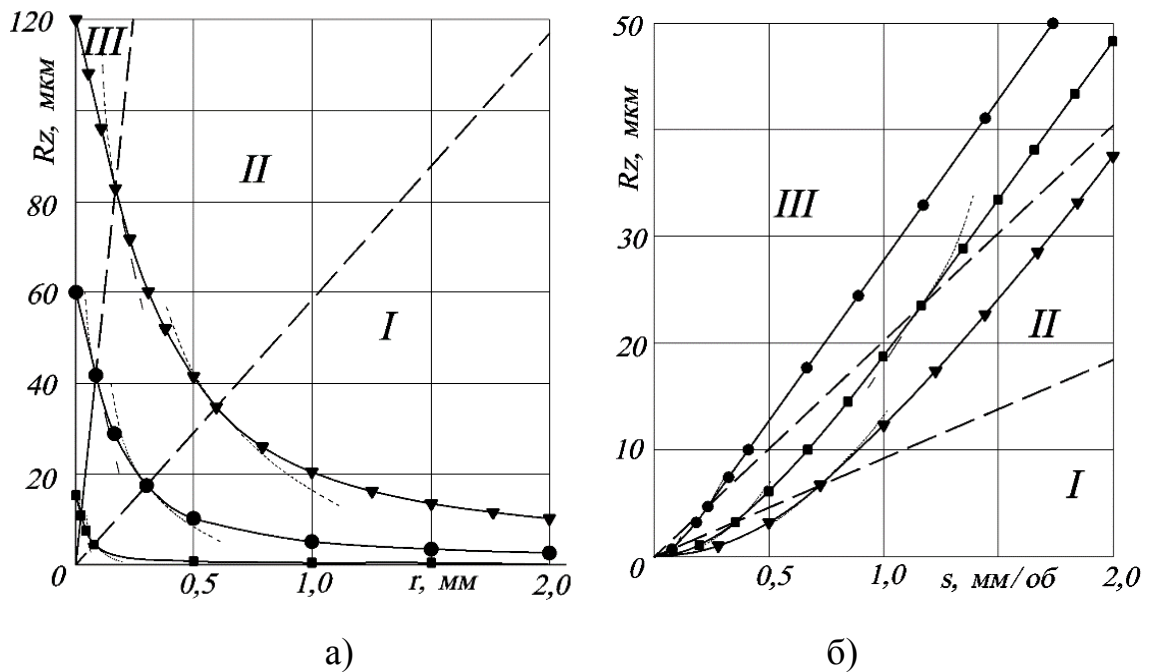


Рис. 2.8. Графіки залежностей висоти мікронерівностей обробленої поверхні при $\varphi = 60^0$; $\varphi' = 15^0$ від: а) радіуса при вершині різця при різних значеннях подачі: \blacksquare - при $s = 0,05$ мм/об; \bullet - при $s = 0,2$ мм/об; \blacktriangledown - при $s = 0,4$ мм/об.; б) величини подачі при різних значеннях радіуса заокруглення при вершині різця $\varphi = 60^0$; $\varphi' = 15^0$: \bullet - при $r = 0,1$ мм/об; \blacksquare - при $r = 0,5$ мм/об; \blacktriangledown - при $r = 1$ мм/об.

2.2. Дослідження точності подач на універсальних токарних верстатах

Розсіювання подач досліджено на універсальних токарно-гвинторізних верстатах моделей 1K62, 16K20, 16Б16КП, 16Б04П [27, 74]. В подальшому подано результати досліджень розподілу подач токарно-гвинторізного верстату моделі 16K20. Результати вимірювань подачі та розрахунки, подані в додатку А. Методика визначення значень подач пояснюється рис. 2.9 і суть її полягає у наступному. На кожному кінематичному ланцюгу, що забезпечує паспортні значення подач: $s_1 = 0.05$ мм/об; $s_2 = 0.06$ мм/об; $s_3 = 0.075$ мм/об; $s_4 = 0.09$ мм/об; $s_5 = 0.1$ мм/об; $s_6 = 0.125$ мм/об; $s_7 = 0.15$ мм/об; $s_8 = 0.175$ мм/об; $s_9 = 0.2$ мм/об, здійснювали 120 вимірювань реальних переміщень супорта за 1 оберт шпинделя. Для цього

встановлювали на верстаті задану подачу. За допомогою вантажу 8 (рис. 2.9) масою 30 кг, який підвішували на тросі 6 і через блок 7 закріплювали до супорта верстату, створювали силу P_x , щоб ліквідувати можливі зазори в зачепленнях елементів кінематичних ланцюгів і, прокручуючи патрон 1 на один оберт, за допомогою індикатора 4 годинникового типу з ціною поділки 1 мкм., який встановлювали на штативі й за допомогою магніту прикріплювали до напрямних верстату, визначали переміщення супорта, яке приймали рівним значенню подачі s_i .

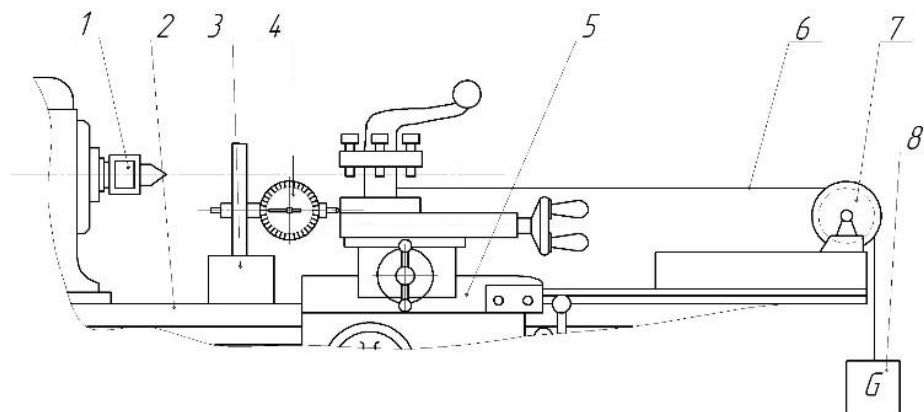


Рис. 2.9. Схема вимірювання подачі на верстаті: 1 – патрон, 2 – станина, 3 – штатив з магнітом, 4 – індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, 5 – супорт, 6 – трос, 7 – блок, 8 – вантаж

Таким чином отримували статистичні ряди значень випадкової величини подачі s_i . На першому етапі визначали відповідні середні значення \bar{s}_{i0} ($i=1-9$) та дисперсії $D(s_{i0})$ розсіювання в отриманих статистичних рядах. За критерієм Греббса [64] визначали значення подач, які значно відрізнялись від інших, і виключали їх зі статистичних рядів. Поетапно визначали середні значення, прийнявши їх приблизно рівними математичним сподіванням, тобто $\bar{s}_i \approx M(s_i)$; дисперсії розсіювання $D(s_i)$; середньоквадратичні відхилення $\sigma(s_i)$, а також поля розсіювання $\bar{s}_i \pm 3\sigma(s_i)$ для всіх статистичних рядів подач. За критерієм Пірсона (χ^2) [64] підтвердили узгодженість гіпотези про розподіл кожної із досліджуваних подач за нормальним законом. За критеріями Стюдента t_k та Фішера F перевіряли істотність їх відмінностей за середніми значеннями та дисперсіями відповідно. Отримані дані подані у табл. 2.3.

В загальному випадку густина розподілу для кожної із подач s_i з дисперсією

Продовж. табл. 2.3

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Істотн. відм. за критерія ми	t_k	+		+		+		+		
			+		+		+		+	
	F	+		+		-		+		
			+		+		-		+	

+ відмінність істотна; - відмінність неістотна

Прийнявши $a = \bar{s} - k\sqrt{D(s)}$ та $b = \bar{s} + k\sqrt{D(s)}$, отримаємо: $c = 1/\Phi(k/\sqrt{2})$.

Враховавши дані табл. 2.5 і те, що величина k знаходиться в інтервалі $2 \leq k \leq 3$, встановимо нерівність $1,0027 \leq c \leq 1,048$ [45]. Враховуючи отриману нерівність, в подальшому будемо вважати закон розподілу подачі нормальним (а не урізаним ліворуч нормальним) і щільність ймовірностей цього розподілу (2.14) запишемо у вигляді

$$f(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s)}} \cdot e^{-\frac{(s-\bar{s})^2}{2D(s)}}. \quad (2.16)$$

2.3. Ймовірісно-математичні моделі висотних параметрів шорсткості обробленої поверхні точінням чи розточуванням

З урахуванням стохастичності подач геометрично-математичні моделі трансформуються в імовірісно-математичні моделі висоти нерівностей профілю [27, 74, 87, 88].

Величину висоти нерівностей профілю H для запропонованих моделей $H \approx Rz_p$ в загальному випадку подамо залежністю

$$H = \varphi(s). \quad (2.17)$$

Враховавши (2.15), визначили густини розподілу висоти нерівностей профілю для її різних геометрично-математичних моделей, описаних в [73]. Функції розподілу величини H визначали за методикою, описаною в [23], яка в загальному випадку

виражається залежністю

$$g(H) = f(\psi(H)) \cdot |\psi'(H)|, \quad (2.18)$$

де $\psi(H)$ – обернена функція по відношенню до $f(s)$, для певної математичної моделі; $\psi'(H)$ – похідна функції $\psi(H)$.

Математичне сподівання $M(H)$ висоти мікронерівностей H , що приблизно дорівнює середньому значенню \bar{H} , дисперсія $D(H)$ та середньоквадратичне відхилення $\sigma(H)$, визначали за формулами, відповідно [23]:

$$M(H) \approx \bar{H} = \int_{\alpha_i}^{\beta_i} H \cdot g(H) dH, \quad (2.19)$$

$$D(H) = \int_{\alpha_i}^{\beta_i} (H - \bar{H})^2 g(H) dH, \quad (2.20)$$

$$\sigma(H) = \sqrt{D(H)}, \quad (2.21)$$

де $\alpha = H_{i\min}$; $\beta = H_{i\max}$.

Для першої моделі, коли радіус при вершині різця прийнятий $r = 0$ [73] висоту нерівностей профілю H_I визначимо за формулою (2.15), яку запишемо у вигляді:

$$H_I = ks, \quad (2.22)$$

де $k = 1/(\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')$.

Функція $\psi(H)$ набуде вигляду $\psi(H_I) = H_I/k$. Відповідно $\psi'(H_I) = 1/k$. Підставивши отримане в (2.18), отримаємо функцію густини розподілу висоти мікронерівностей для першої моделі:

$$g(H_I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s)} \cdot k} \cdot e^{-\frac{(H_I/k - \bar{s})^2}{2D(s)}}. \quad (2.23)$$

Взявши до уваги те, що величина H_I , як і s , підкоряється усіченому нормальному закону розподілу, математичне сподівання $M(H_I) \approx \bar{H}_I$ та дисперсію розсіювання $D(H_I)$ запишемо у вигляді:

$$\bar{H}_I = k \cdot \bar{s}_i \text{ та } D(H_I) = k^2 \cdot D(s_i).$$

Отримана функція (2.23) набуде вигляду:

$$g(H_I) = \frac{c_1}{\sqrt{2\pi D(H_I)}} \cdot e^{-\frac{(H_I - \bar{H}_I)}{2D(H_I)}}, \quad (2.24)$$

$$\text{де } c_1 = 1/2 \cdot \left\{ \Phi\left(\frac{\beta_1 - \bar{H}_I}{\sqrt{2D(H_I)}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha_1 - \bar{H}_I}{\sqrt{2D(H_I)}}\right) \right\}.$$

Для другої геометрично-математичної моделі висоту нерівностей профілю визначимо за формулою (2.2), яку представимо у вигляді:

$$H_{II} = q \cdot s + d, \quad (2.25)$$

$$\text{де } q = \text{tg}\varphi \cdot \text{tg}\varphi' / (\text{tg}\varphi + \text{tg}\varphi'), \quad d = r - (r \cdot (\sin\varphi + \sin\varphi') / \cos\varphi \cdot \cos\varphi') / (\text{tg}\varphi + \text{tg}\varphi').$$

Функція $\psi(H_{II})$ набуде вигляду:

$$\psi(H_{II}) = H(h_{II} - d) / q.$$

Відповідно $\psi'(H_{II}) = 1/q$. Підставивши отримане в (2.18), будемо мати функцію густини розподілу висоти мікронерівностей для другої моделі

$$g(H_{II}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s) \cdot q}} \cdot e^{-\frac{((H_{II} - d)/q - \bar{s})^2}{2D(s)}}. \quad (2.40)$$

Використавши (2.19) та (2.20), математичне сподівання висоти нерівностей профілю за II варіантом геометрично-математичної моделі $M(H_{II})$ та дисперсію розсіювання $D(H_{II})$ запишемо у вигляді:

$$M(H_{II}) \approx \bar{H}_{II} = \int_{\alpha_2}^{\beta_2} H_{II} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s) \cdot q}} \cdot e^{-\frac{((H_{II} - d)/q - \bar{s})^2}{2D(s)}} dH_{II}, \quad (2.27)$$

$$D(H_{II}) = \int_{\alpha_2}^{\beta_2} (H_{II} - \bar{H}_{II})^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s) \cdot q}} \cdot e^{-\frac{((H_{II} - d)/q - \bar{s})^2}{2D(s)}} dH_{II}. \quad (2.28)$$

Використавши (2.25) і (2.26), подамо рівняння (2.24) у вигляді усіченого нормального закону розподілу:

$$g(H_{II}) = \frac{c_2}{\sqrt{2\pi D(H_{II})}} \cdot e^{-\frac{(H_{II} - \bar{H}_{II})^2}{2D(H_{II})}}, \quad (2.29)$$

$$\text{де } c_2 = 1/2 \cdot \left\{ \Phi \left(\frac{\beta - \overline{H_{II}}}{\sqrt{2D(H_{II})}} \right) - \Phi \left(\frac{\alpha - \overline{H_{II}}}{\sqrt{2D(H_{II})}} \right) \right\}.$$

Для третьої геометрично-математичної моделі висоту нерівностей профілю визначимо за формулою (2.12). Обернена функція $\psi(H_{III})$ набуде вигляду:

$$\psi(H_{III}) = r \cdot \sin \varphi' + \frac{H_{III} - r(1 - \cos \varphi')}{\operatorname{tg} \varphi'} + \sqrt{2rH_{III} - H_{III}^2} \quad (2.30)$$

Похідна оберненої функції $\psi'(H_{III})$:

$$\psi'(H_{III}) = \frac{\cos \varphi'}{\sin \varphi'} + \frac{r - H_{III}}{\sqrt{2rH_{III} - H_{III}^2}} \quad (2.31)$$

Підставивши (2.30) і (2.31) в (2.18) функцію густини розподілу шорсткості за параметром висоти мікронерівностей для геометрично-математичної моделі за III варіантом подамо залежністю

$$g(H_{III}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{\cos \varphi'}{\sin \varphi'} + \frac{r - H_{III}}{\sqrt{2rh_{III} - H_{III}^2}} \right| \times e^{-\frac{\left(r \cdot \sin \varphi' + \frac{H_{III} - r(1 - \cos \varphi')}{\operatorname{tg} \varphi'} + \sqrt{2rH_{III} - H_{III}^2} - \bar{s} \right)^2}{2D(s)}} \quad (2.32)$$

За критерієм Колмогорова [64] встановлювали можливість заміни отриманої кривої – кривою нормального розподілу з параметрами $\overline{H_{III}}$ та $D(H_{III})$, які записали у вигляді:

$$\overline{H_{III}} = \int_{\alpha_3}^{\beta_3} \frac{H_{III}}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{\cos \varphi'}{\sin \varphi'} + \frac{r - H_{III}}{\sqrt{2rH_{III} - H_{III}^2}} \right| \times \frac{\left(r \cdot \sin \varphi' + \frac{H_{III} - r(1 - \cos \varphi')}{\operatorname{tg} \varphi'} + \sqrt{2rH_{III} - H_{III}^2} - \bar{s} \right)^2}{2D(s)} dH_{III}, \quad (2.33)$$

$$D(H_{III}) = \int_{\alpha_3}^{\beta_3} \frac{\left(H_{III} - \overline{H_{III}} \right)^2}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{\cos \varphi'}{\sin \varphi'} + \frac{r - H_{III}}{\sqrt{2rH_{III} - H_{III}^2}} \right| \times \frac{\left(r \cdot \sin \varphi' + \frac{H_{III} - r(1 - \cos \varphi')}{\operatorname{tg} \varphi'} + \sqrt{2rH_{III} - H_{III}^2} - \bar{s} \right)^2}{2D(s)} dH_{III} \quad (2.34)$$

Для цього визначали максимальне значення модуля різниці між статистичною функцією розподілу $G^*(H)$ і відповідною теоретичною функцією $G(H)$

$\lambda = \max |G^*(H) - G(H)| \cdot \sqrt{n}$ і $P(\lambda) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2\lambda^2}$ або, як у нашому випадку, між теоретичною функцією (2.32) і функцією нормального розподілу (рис. 2.10).

Враховуючи, що $P(\lambda) \geq 0.05$, можна стверджувати, що отриману теоретичну функцію можна замінити кривою усіченого нормального розподілу, яка запишеться у вигляді

$$g(H_{III}) = \frac{c_3}{\sqrt{2\pi D(H_{III})}} \cdot e^{-\frac{(H_{III} - \overline{H_{III}})^2}{2D(H_{III})}}, \quad (2.49)$$

$$\text{де } c_3 = 1/2 \cdot \left\{ \Phi\left(\frac{\beta_3 - \overline{H_{III}}}{\sqrt{2D(H_{III})}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha_3 - \overline{H_{III}}}{\sqrt{2D(H_{III})}}\right) \right\}.$$

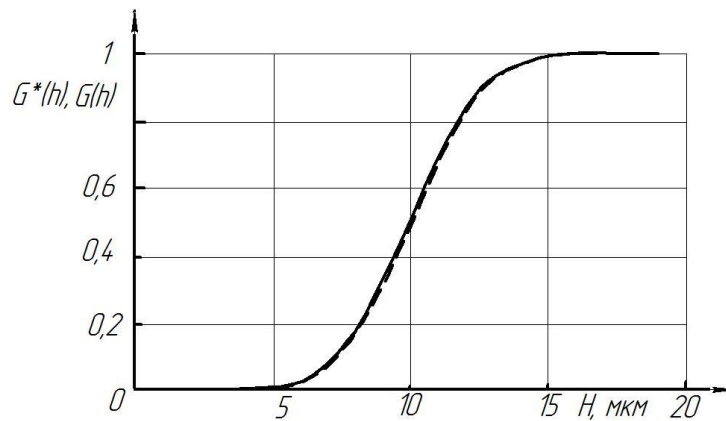


Рис. 2.10. Криві розподілу за III варіантом геометрично-математичної моделі:

----- теоретична; ————— функція нормального розподілу

Для четвертої геометрично-математичної моделі висота мікронерівностей визначимо за формулою (2.13). Обернена функція $\psi(H_{IV})$ набуде вигляду:

$$\psi(H_{IV}) = r \cdot \sin \varphi + \frac{H_{IV} - r(1 - \cos \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi} + \sqrt{2rH_{IV} - H_{IV}^2}. \quad (2.36)$$

Похідна оберненої функції $\psi'(H_{IV})$:

$$\psi'(H_{IV}) = \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} + \frac{r - H_{IV}}{\sqrt{2rH_{IV} - H_{IV}^2}}. \quad (2.37)$$

Підставивши (2.36), (2.37) в (2.18), отримаємо функцію густини розподілу для четвертої геометрично-математичної моделі:

$$g(H_{IV}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} + \frac{r - H_{IV}}{\sqrt{2rH_{IV} - H_{IV}^2}} \right| \times e^{-\frac{\left(r \cdot \sin \varphi + \frac{H_{IV} - r(1 - \cos \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi} + \sqrt{2rH_{IV} - H_{IV}^2 - \bar{s}} \right)^2}{2D(s)}} \quad (2.38)$$

Аналогічно побудувавши криву розподілу та використавши критерій Колмогорова встановили, що з достатньою точністю її можна замінити кривою розподілу Гауса з параметрами $\overline{H_{IV}}$ та $D(H_{IV})$, які запишемо у вигляді:

$$\overline{H_{IV}} = \int_{\alpha_4}^{\beta_4} \frac{H_{IV}}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} + \frac{r - H_{IV}}{\sqrt{2rH_{IV} - H_{IV}^2}} \right| \times e^{-\frac{\left(r \cdot \sin \varphi + \frac{H_{IV} - r(1 - \cos \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi} + \sqrt{2rH_{IV} - H_{IV}^2 - \bar{s}} \right)^2}{2D(s)}} dH_{IV}, \quad (2.39)$$

$$D(H_{IV}) = \int_{\alpha_4}^{\beta_4} \frac{\left(H_{IV} - \overline{H_{IV}} \right)^2}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} + \frac{r - H_{IV}}{\sqrt{2rH_{IV} - H_{IV}^2}} \right| \times e^{-\frac{\left(r \cdot \sin \varphi + \frac{H_{IV} - r(1 - \cos \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi} + \sqrt{2rH_{IV} - H_{IV}^2 - \bar{s}} \right)^2}{2D(s)}} dH_{IV}. \quad (2.40)$$

Подамо рівність (2.38) у вигляді усіченого нормального закону розподілу:

$$g(H_{IV}) = \frac{c_4}{\sqrt{2\pi D(H_{IV})}} \cdot e^{-\frac{(H_i - \overline{H_{IV}})^2}{2D(H_{IV})}}, \quad (2.41)$$

$$\text{де } c_4 = 1/2 \cdot \left\{ \Phi \left(\frac{\beta_4 - \overline{H_{IV}}}{\sqrt{2D(H_{IV})}} \right) - \Phi \left(\frac{\alpha_4 - \overline{H_{IV}}}{\sqrt{2D(H_{IV})}} \right) \right\}.$$

Для п'ятої геометрично-математичної моделі висоту нерівностей профілю визначимо за формулою (2.12). Функції $\psi(H_V)$ та $\psi'(H_V)$ набудуть вигляду відповідно:

$$\psi(H_V) = 2\sqrt{2H_V r - H_V^2} \quad (2.42)$$

$$\psi'(H_V) = \frac{r - H_V}{2\sqrt{2H_V r - H_V^2}} \quad (2.43)$$

Підставивши отримане в (2.18), отримаємо функцію густини розподілу випадкової величини H для п'ятої геометрично-математичної моделі:

$$g(H_V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{r - H_V}{2\sqrt{H_V^2 - 2H_V r}} \right| \cdot e^{-\frac{(2\sqrt{2H_V r - H_V^2} - \bar{s})^2}{2D(s)}}. \quad (2.44)$$

Як і для III та IV варіантів геометрично-математичних моделей шорсткості за критерієм Колмогорова встановили, що з достатньою точністю її можна замінити кривою розподілу Гауса з параметрами $\overline{H_V}$ та $D(H_V)$, які визначимо за формулами:

$$\overline{H_V} = \int_{\alpha_5}^{\beta_5} \frac{H_V}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{r - H_V}{2\sqrt{2H_V r - H_V^2}} \right| \cdot e^{-\frac{(2\sqrt{2H_V r - H_V^2} - \bar{s})^2}{2D(s)}} dH_V \quad (2.45)$$

$$D(H_V) = \int_{\alpha_5}^{\beta_5} \frac{(H_V - \overline{H_V})^2}{\sqrt{2\pi D(s)}} \left| \frac{r - H_V}{2\sqrt{2H_V r - H_V^2}} \right| \cdot e^{-\frac{(2\sqrt{2H_V r - H_V^2} - \bar{s})^2}{2D(s)}} dH_V \quad (2.46)$$

Подамо рівність (2.44) у вигляді усіченого нормального закону розподілу:

$$g(H_V) = \frac{c_5}{\sqrt{2\pi D(H_V)}} \cdot e^{-\frac{(H_V - \overline{H_V})^2}{2D(H_V)}}, \quad (2.47)$$

$$\text{де } c_5 = 1/2 \cdot \left\{ \Phi\left(\frac{\beta_5 - \overline{h_V}}{\sqrt{2D(h_V)}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha_5 - \overline{h_V}}{\sqrt{2D(h_V)}}\right) \right\}.$$

Врахувавши, що межі інтегрування $\alpha_j = \overline{H_j} - k_j \sqrt{D(H_j)}$ та $\beta_j = \overline{H_j} + k_j \sqrt{D(H_j)}$ (де j – номер моделі), а $2 \leq k_j \leq 3$, усіченістю нормального закону розподілу для кожної із моделей можна знехтувати. Функцію густин розподілу величин H_j в загальному вигляді запишемо залежністю

$$g(H_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(H_j)}} \cdot e^{-\frac{(H_j - \overline{H_j})^2}{2D(H_j)}}. \quad (2.48)$$

Криві густин розподілу для різних моделей нерівностей профілю зображені на рис. 2.11 а-д.

За статистичну оцінку впливу стохастичності подачі на шорсткість обробленої поверхні точінням, розточуванням або зенкеруванням для випадкової величини H – висоти нерівностей профілю – запропоновано прийняти квантиль рівня 0,95 — H_{\max} .

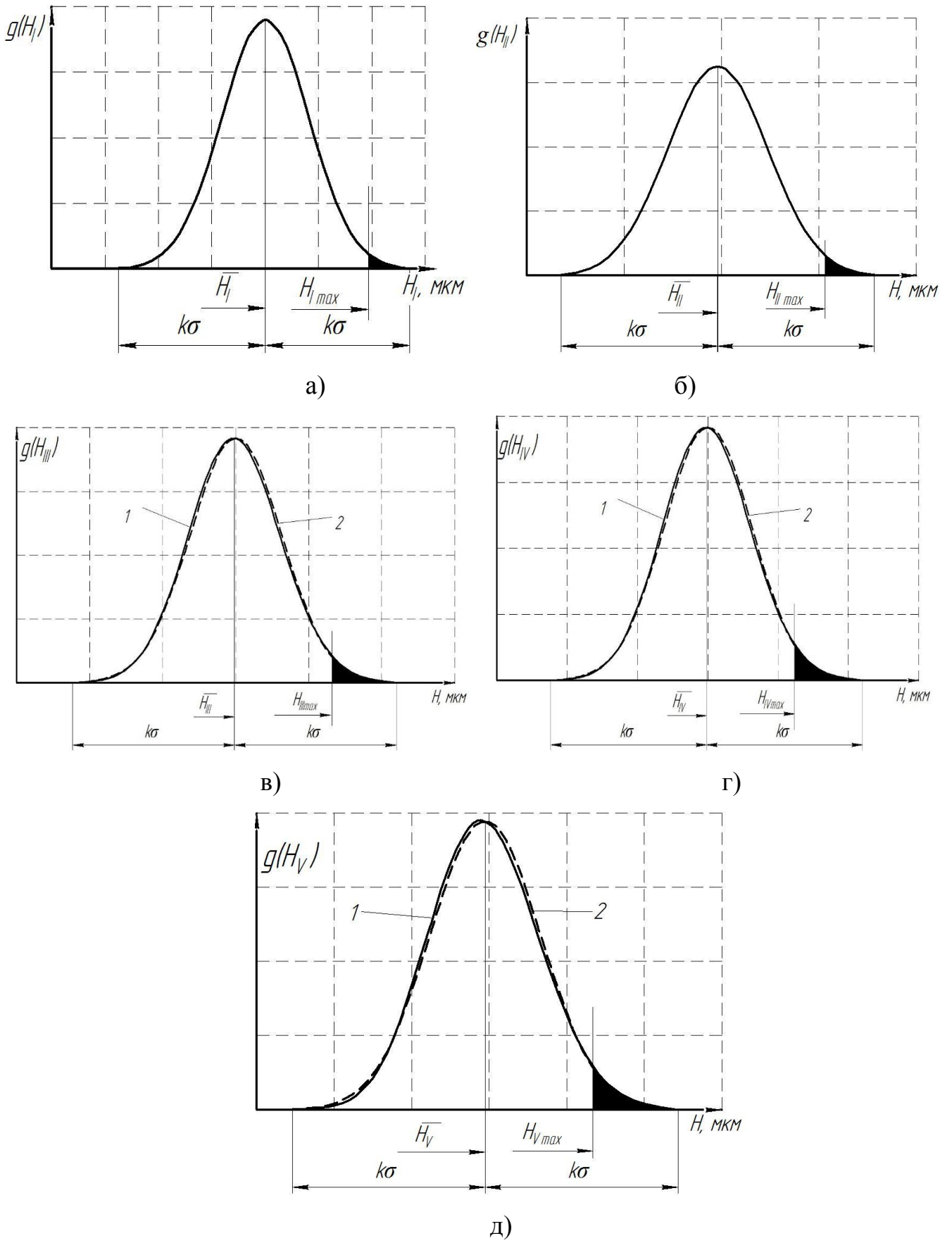


Рис. 2.11. Криві густин розподілу для I-V геометрично-математичних моделей висоти мікронерівностей: - - - - теоретична, ————— крива нормального розподілу.

У нашому випадку для нормального розподілу

$$G(H_{\max}) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \Phi \left(\frac{H_{\max} - \bar{H}}{\sqrt{2D(H)}} \right) \right\}, \text{ або } G(h_{\max}) = G_0(U_p),$$

де $U_p = H_{\max} - \bar{H} / \sqrt{D(H)}$.

Тоді квантиль нормального розподілу H_{\max} визначимо за формулою

$$H_{\max} = \bar{H}_j + U_p \cdot \sigma_{H_j}. \quad (2.47)$$

Враховуючи, що інтеграли (2.27), (2.28), (2.33), (2.34), (2.38), (2.39), (2.45), (2.46), відповідно II-V моделей, в явному вигляді не беруться – математичне сподівання $M(H_j) = \bar{H}_j$ і дисперсію розсіювання $D(H_j)$ знаходили чисельним методом.

Отримані значення висот нерівностей профілю розглянутих геометрично-математичних моделей для різця з геометричними параметрами різця $\varphi = 45^\circ$; $\varphi' = 20^\circ$ та $r = 100 \text{ мкм}$ (для моделей II-V), а також дисперсії розсіювань подані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

Характеристики розсіювань висот нерівностей профілю та суттєвість їх відмінностей

Характеристики розсіювань випадкової величини H	Паспортні значення подач, мкм/об								
	50	60	75	90	100	125	150	175	200
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{s}_i, \text{ мкм/об}$	46,28	59,75	70,58	81,50	94,88	119,93	144,10	167,50	193,9
I варіант геометрично-математичної моделі									
$\bar{h}_I, \text{ мкм}$	12,34	15,94	18,83	21,75	25,31	32,00	38,45	44,70	51,70
$D(h_I), \text{ мкм}^2$	0,60	1,43	0,83	1,51	1,99	2,07	2,46	3,71	4,33
$\sigma(h_I), \text{ мкм}$	0,78	1,20	0,91	1,23	1,41	1,44	1,57	1,93	2,08
K_{var}	0,063	0,075	0,048	0,057	0,056	0,045	0,041	0,043	0,040
$h_{\max}, \text{ мкм}$	13,63	17,92	20,33	23,77	27,49	34,37	41,04	47,87	55,16

Продовж. табл. 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h_{\max} / \bar{h}, \%$	110,5	112,4	108,0	109,3	108,6	107,4	106,7	107,1	106,8
Відмін. значень за критер.	Стюдента, $t_k (h_j)$	+		+		+		+	
			+		+		+		+
	Фішера, F $D(h_j)$	+		+		-		+	
			+		+		-		+
II-V варіант геометрично-математичної моделі									
Варіант геом.-мат. моделі	V	V	III (IV*)	III (IV*)	III (IV*)	III (IV*)	III (IV*)	II	II
$\bar{h}_j, \text{мкм}$	2,80	4,77	6,44	8,55	11,32	16,97	22,88	28,94	35,98
$D(h_j), \text{мкм}^2$	0,13	0,55	0,40	0,84	1,27	1,62	2,20	3,71	4,33
$\sigma(h_j), \text{мкм}$	0,36	0,74	0,63	0,92	1,13	1,27	1,48	1,93	2,08
K_{var}	0,129	0,155	0,097	0,108	0,099	0,075	0,065	0,067	0,058
$h_{j\max}, \text{мкм}$	3,36	5,59	7,48	10,06	13,18	19,06	25,32	32,10	39,40
$h_{j\max} / \bar{h}_j, \%$	120,0	117,2	116,1	117,7	116,4	112,3	107,7	110,9	109,5
Відм. знач. за крит.	Стюдента, $t_k (h_j)$	+		+		+		+	
			+		+		+		+
	Фішера, F $D(h_j)$	+		+		+		+	
			+		+		+		+

+ відмінність суттєва; - відмінність несуттєва;

* - при заданих геометричних параметрах інструменту IV геометрична модель не існує (вона існуватиме при параметрах $\varphi' > \varphi$).

Із даних табл. 2.6 бачимо, що для першої моделі, прогнозуючи отриману висоту нерівностей профілю за традиційним методом (за середніми значеннями) отримали на 6,8-12,4% нижчі показники, ніж з урахуванням стохастичності подач. Для II-V геометрично-математичних моделей отримали висоту нерівностей профілю на 7,7-

20 % нижчу.

Оцінка шорсткості за запропонованою методикою дасть можливість на стадії проектування технологічного процесу, використавши H_{\max} , встановити оптимальне значення подачі, яка з певною достовірністю забезпечить задані висотні параметри шорсткості.

Для наочності з наявною ймовірністю 95% встановлення взаємозалежності між величинами H_{\max} , $D(s)$, $M(s)$ при значеннях $\varphi = 60^\circ$, $\varphi' = 15^\circ$ та $r = 0$ в пакеті Matlab побудовано поверхню відгуку, зображену на рис. 2.12.

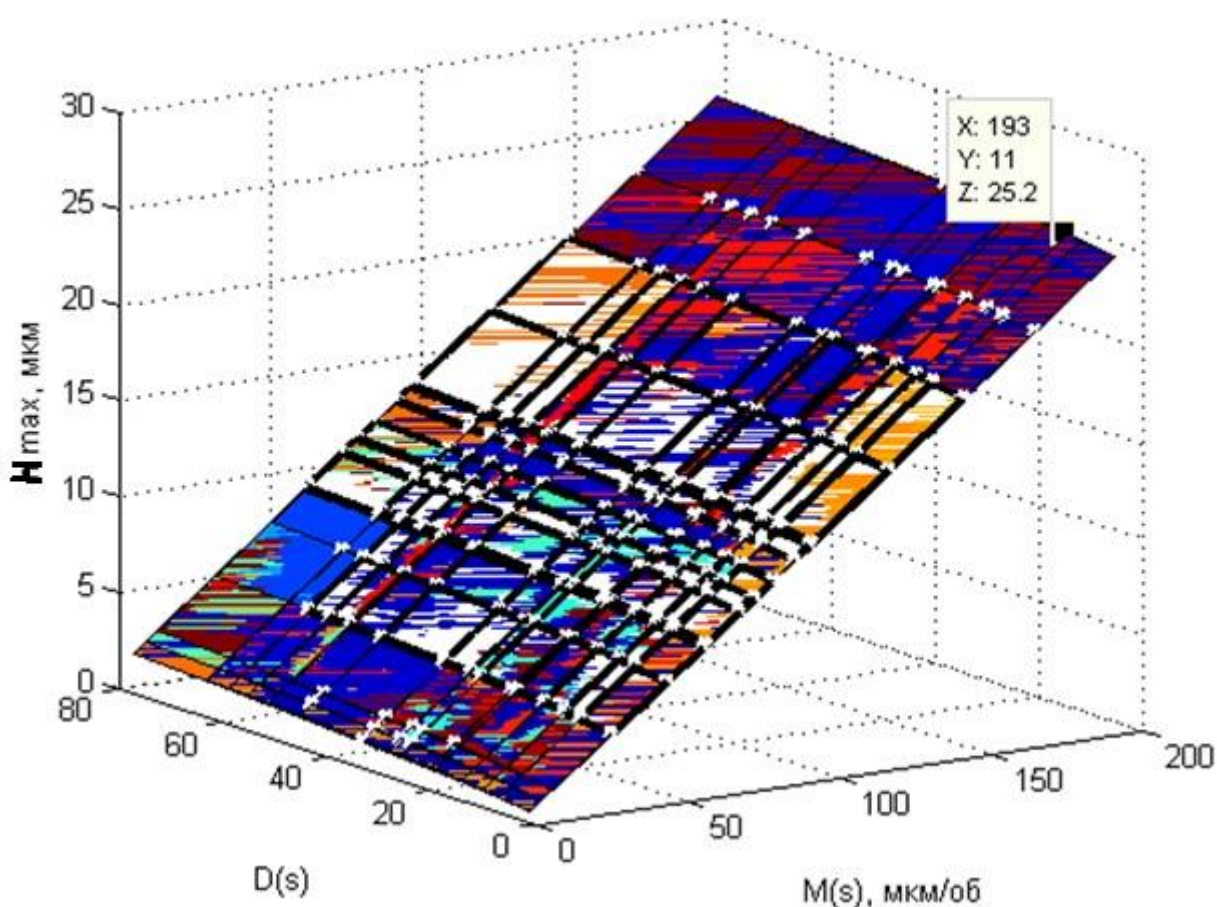


Рис. 2.12. Поверхня відгуку залежностей величини h_{\max} від $D(s)$ та $M(s)$ при значеннях $\varphi = 60^\circ$, $\varphi' = 15^\circ$ та $r = 0$

Перевагою побудованої поверхні відгуку (рис. 2.12) є те, що вона дозволяє визначати значення величини H_{\max} при різних значеннях розсіювання подач на будь-якому верстаті. Таким чином з'явилася можливість, маючи характеристики розсіювання подач верстату, отримувати значення H_{\max} не виконуючи громіздких

математичних розрахунків

2.5. Висновки по розділу

1. Розроблено п'ять геометрично-математичних моделей, які уточнюють вплив головного та допоміжного кутів в плані, а також радіуса вершин різців на висоту нерівностей профілю, які дають можливість визначати кількісні параметри висоти нерівностей профілю циліндричних поверхонь, сформованих точінням, розточуванням чи зенкеруванням.

2. Отримано математичні залежності технологічних обмежень, які показують за яких умов існуватиме та чи інша геометрично-математична модель.

3. Доведено, що подача на токарних верстатах є випадковою величиною з нормальним законом розподілу.

4. На основі геометрично-математичних моделей та стохастичності подач розроблено ймовірісно-математичні моделі висоти нерівностей профілю. Для кожної із моделей отримано функції густин розподілу, а також залежності для визначення середнього значення та дисперсії розсіювання параметру висоти нерівностей профілю.

5. За критерієм Колмогорова доведено, що з достатньою точністю геометрично-математичні моделі висоти нерівностей профілю обробленої поверхні можна представити функцією з нормальним законом розподілу.

6. Запропоновано методику оцінки впливу стохастичності подач на висоту мікронерівностей обробленої поверхні, використовуючи квантиль випадкової величини H_{\max} , що забезпечує значення функції розподілу, яка дорівнює 0,95. Для застосування розробленої методики на практиці побудовано поверхню відгуку взаємозалежності між величинами H_{\max} , $D(s)$, $M(s)$

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ ЦИЛІНДРІВ

3.1. Класифікація БМІ для оброблення глибоких отворів

На основі здійсненого аналізу конструкцій БМІ для розточування та зенкерування глибоких отворів запропоновано їх класифікацію [75] за певними ознаками (рис. 3.1), а також виявлено що перспективним напрямом є розроблення конструкцій БМІ з асиметричним розміщенням лез, що працюють за методом поділу подачі, або за методом поділу припуску та подачі.

Згідно поставлених задач дослідження необхідно здійснити теоретичне обґрунтування технологічних та конструкторських параметрів інструментального забезпечення з асиметричним розміщенням різальних елементів, зокрема три- та чотирирізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів та чотириризових зенкерів і на цій основі розробити їх конструкції.

3.2. Теоретичне обґрунтування деяких технологічних та конструкторських параметрів трирізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів

3.2.1. Основні передумови проектування трирізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів циліндрів

Основна передумова проектування трирізцевої розточувальної головки (ТРГ), яка реалізує процес оброблення з одночасним поділом припуску та подачі [78], виходячи із забезпечення заданого якісного параметра оброблюваної поверхні – висоти нерівностей профілю – R_z , полягає у визначенні певного кутового розміщення різців, їх кутів у плані, враховуючи значення подач на кожному із різців.

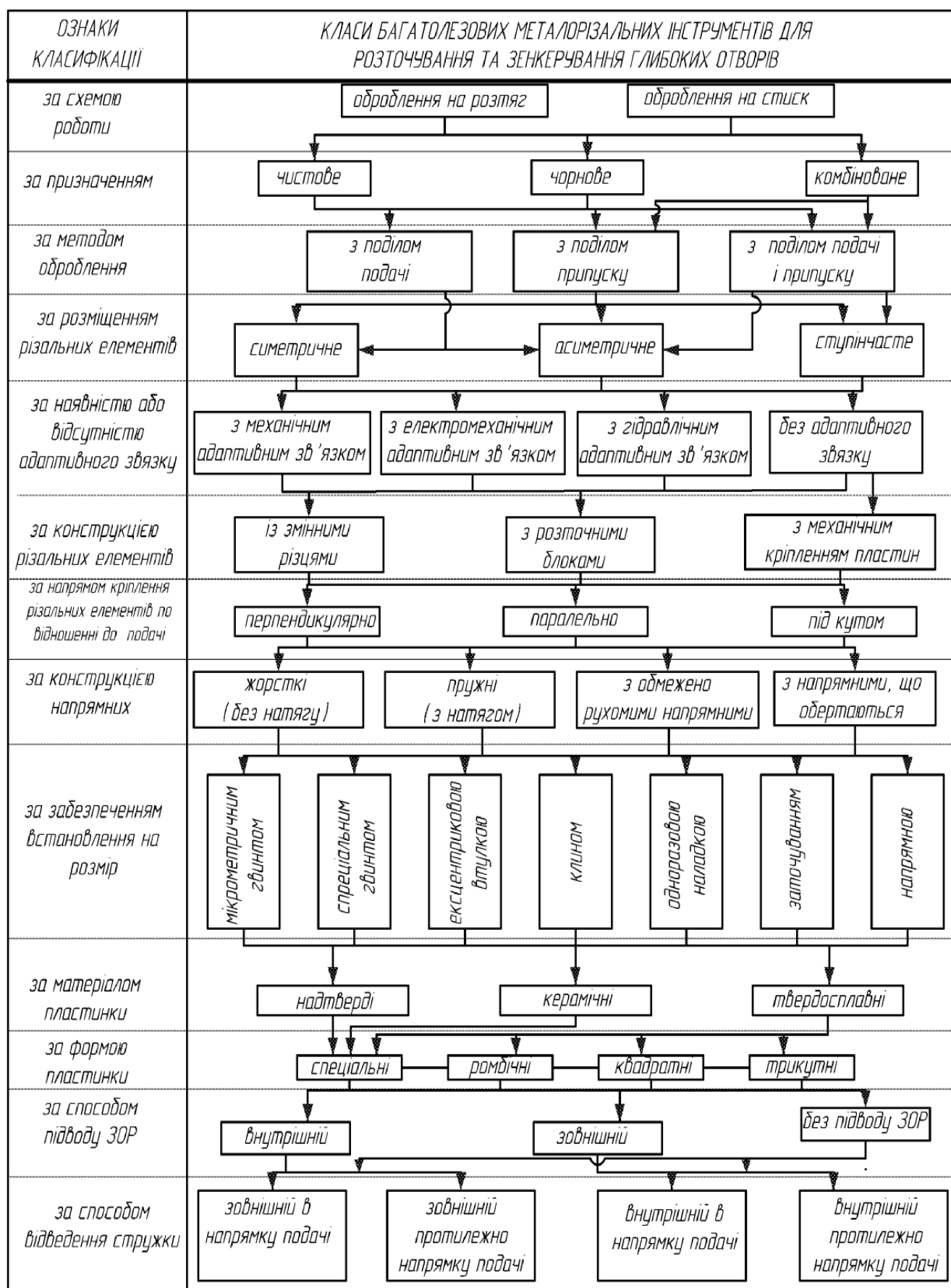


Рис. 3.1. Класифікація БМІ для розточування та зенкерування глибоких творів

Аналіз залежностей для визначення висоти нерівностей профілю (табл. 2.2) показує, що зменшення $H \approx Rz_p$ (рис. 3.1, а) можна досягнути двома шляхами: перший – зменшенням подачі s ; другий – зменшенням значень кутів φ і φ' . Необхідно врахувати, якщо $\varphi=0$, то в цьому випадку процес різання неможливий, а при $\varphi = 90^\circ$ теоретично відсутня складова сили різання P_y , що негативно впливає на самоцентрування розточувальної головки в отворі і, як наслідок, на параметри точності обробленої поверхні.

Однією із передумов при проектуванні трирізцевої розточувальної головки є те, щоб конструкція забезпечувала її центрування в отворі, а зменшення висоти нерівностей профілю $H \approx Rz_p$ здійснювалось би завдяки поділу припуску та подачі шляхом спеціального кутового розміщення різців головки по колу та забезпечення відповідного радіального вильоту різців.

Для забезпечення поділу припуску на оброблення використовують один чорновий різець, який зрізає основний припуск, та два чистові різці, що здійснюють чистове оброблення і забезпечують задані якісні показники оброблюваної поверхні, зокрема Rz_p .

Іншою передумовою проектування трирізцевих розточувальних головок є те, що зниження $H \approx Rz_p$ досягається не тільки зменшенням s , а й встановленням декількох симетрично розміщених по колу різців розточної головки. Тоді висота нерівностей профілю буде: $H_1 \approx Rz_1 = s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi' / 2 \sin(\varphi + \varphi')$ (рис. 3.2, б).

Схематично формування висоти нерівностей профілю при роботі розточувальної головки з поділом товщини зрізаного шару подано на рис. 3.2, в. Поділ подачі, а значить і кутове розміщення другого чистового різця розточувальної головки відносно кутового положення першого, здійснюється таким чином, щоб вершина цього різця встановлювалась в точці B профілю (рис. 3.2, в), тобто в точці максимальної висоти нерівностей, створеної попереднім різцем.

При цьому поперечний переріз профілю нерівностей схематично зображений $\triangle ADC$ (рис. 3.2 а) трансформується у профіль з поперечним перерізом зображеним двома трикутниками: $\triangle AD_2B$ і $\triangle BD_3C$.

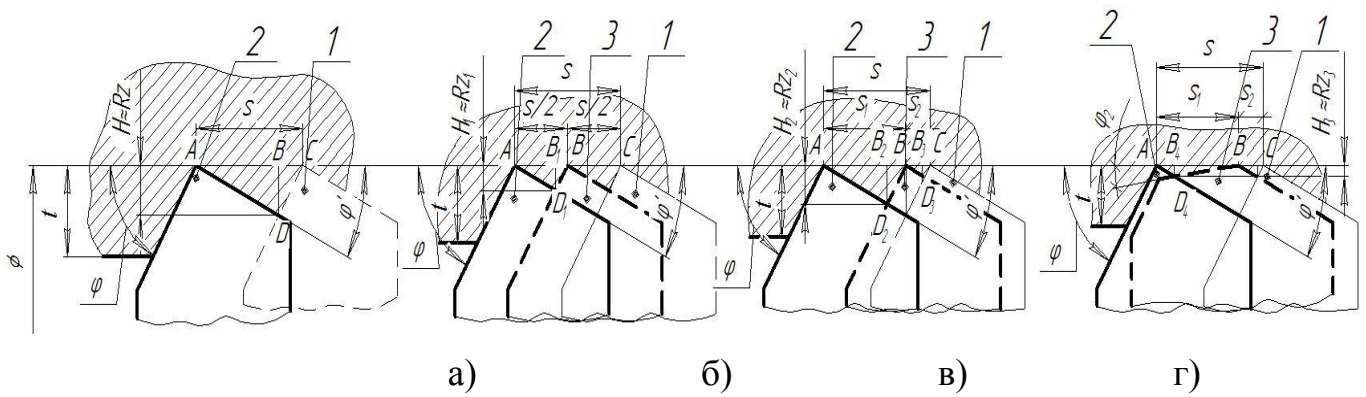


Рис. 3.2. Теоретичний профіль оброблюваної циліндричної поверхні: а) одним різцем; б) дворізевою розточувальною головкою із симетричним розміщенням різців; в) дворізевою розточувальною головкою і асиметричним розміщенням різців; г) з поділом товщини зрізуваного шару, асиметричним розміщенням різців та зміною головного кута в плані другого різця: 1, 2 – положення 1-го чистового різця в момент початку та закінчення оберту відповідно; 3 – положення 2-го чистового різця в момент початку оберту.

Так як $B_2D_2 > B_3D_3$, то висота нерівностей профілю буде визначатися величиною B_2D_2 . Розглянувши $\triangle AD_2B$ і $\triangle AD_2B_2$, отримаємо

$$B_2D_2 = H_2 \approx Rz_2 = s \cdot \sin^2 \varphi_2 \cdot \cos \varphi'_1 \cdot \sin \varphi'_1 / \sin^2(\varphi_2 + \varphi'_1), \quad (3.1)$$

де φ_2 – значення головного кута в плані на другому чистовому різці (ДЧР); φ'_1 – значення допоміжного кута в плані на першому чистовому різці (ПЧР), а розглянувши $\triangle BD_3B_3$ і $\triangle CD_3B_3$, знайдемо:

$$B_3D_3 = H_3 \approx Rz_3 = s \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin^2 \varphi'_2 / \sin^2(\varphi_1 + \varphi'_2), \quad (3.2)$$

де φ_1 – значення головного кута в плані на ПЧР; φ'_2 – значення допоміжного кута в пані на ДЧР.

Із рис. 3.2, в очевидно, що $B_2D_2 > B_1D_1 > B_3D_3$, а отже $Rz_3 < Rz_1 < Rz_2$. Для забезпечення однакової висоти нерівностей профілю оброблюваної поверхні як першим, так і другим чистовими різцями, тобто збереження умови $Rz_2 = Rz_3 < Rz_1$ і $B_2D_2 = B_4D_4 = B_3D_3$ (рис. 3.2, б, в, г), необхідно скорегувати значення головного кута в плані φ_2 на другому чистовому різці розточувальної головки (рис. 3.2, г).

3.2.2. Визначення технологічних та конструкторських параметрів трирізцевих розточувальних головок для розточування глибоких отворів

До технологічних параметрів процесу розточування, які забезпечуються трирізцевою розточувальною головкою віднесемо: величину подачі на оберт; розподіл величини подачі на кожному із різців; глибину різання на чорновому та чистових різцях [78]. До конструкторських параметрів відносяться: радіус вершин різців r ; головний та допоміжний кути в плані на кожному з різців (в тому числі і корегований головний кут в плані на другому чистовому різці), а також центральні кути, що визначають розміщення різців у поперечному перерізі інструменту.

З $\triangle AD_4B$ (рис. 3.2, в) використавши теорему косинусів отримаємо $D_4B = AD_4^2 + s_1^2 - 2 \cdot AD_4 \cdot s_1 \cdot \cos \varphi'$. Врахувавши, що $AD_4 = H_3 / \sin \varphi_1'$ та визначивши подачу на першому чистовому різці

$$s_1 = s \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2' / \sin(\varphi_1 + \varphi_2'), \quad (3.3)$$

отримаємо значення головного кута в плані φ_2 на другому чистовому різці

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{H_3}{\sqrt{\frac{H_3^2}{\sin^2 \varphi_2'} + s^2 \cdot \frac{\sin^2 \varphi_1}{\sin^2(\varphi_1 + \varphi_2')} - \frac{2H_3 \cdot s \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2'}{\sin \varphi_2' \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2')}}}. \quad (3.4)$$

Підставивши (3.1) в (3.4) і спростивши одержимо:

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{\cos \varphi_1 \cdot \sin^2 \varphi_2'}{\sqrt{\cos^2 \varphi_1 \cdot \sin^2 \varphi_2' + \cos^2 \varphi_2' \cdot \sin^2(\varphi_1 + \varphi_2') - \sin 2\varphi_2' \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2' \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2')}}}. \quad (3.5)$$

Графіки залежності кута φ_2 від його допоміжного кута в плані у цьому різці φ_2' при різних значеннях кута φ_1 на першому різці подані на рис. 3.3.

Аналіз графіків показує, що при збільшенні φ_2' кут φ_2 збільшується, а при збільшенні головного кута в плані першого чистового різця φ_1 зменшується.

Враховуючи вищевикладене, а також залежність (3.5) для нашого випадку можна рекомендувати наступний діапазон значень головного кута в плані на першому різці: $\varphi_1 = 40 \dots 55^\circ$.

Для забезпечення технологічності і спрощення заточки по допоміжній задній поверхні згідно з рекомендаціями [154] необхідне виконання умови $20 \leq \varphi_1' = \varphi_2' < 45^\circ$.

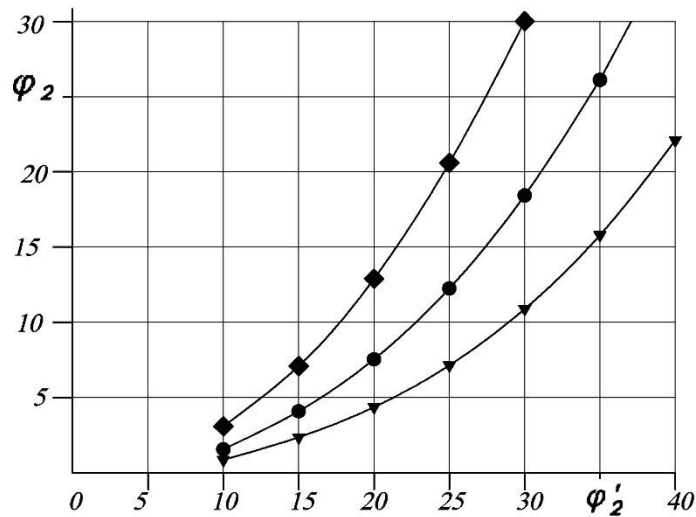


Рис. 3.3. Графіки залежності головного кута в плані другого чистового різця φ_2 від його допоміжного кута φ'_2 при різних значеннях головного кута в плані φ_1 першого чистового різця при: $\varphi_1=30^\circ$ \blacklozenge — \blacklozenge — \blacklozenge ; $\varphi_1=45^\circ$ \bullet — \bullet — \bullet ; $\varphi_1=60^\circ$ \blacktriangledown — \blacktriangledown — \blacktriangledown .

Задана необхідна величина $H \approx Rz_p$ внаслідок корегування значення головного кута в плані другого чистового різця забезпечиться при виконанні умови

$$B_4 D_4 = H_4 \approx Rz_4 = s \cdot \sin \varphi_2 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi'_1 \cdot \sin \varphi'_1 / \sin(\varphi_2 + \varphi'_1) \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi'_1). \quad (3.6)$$

Використавши [67, 156] і рис. 3.2,в, виразимо значення подач на першому та другому чистових різцях трирізцевої розточувальної головки через висоту нерівностей профілю H :

$$s_1 = H \cdot \sin(\varphi_2 + \varphi'_1) / \sin \varphi'_1 \cdot \sin \varphi_2, \quad (3.7)$$

$$s_2 = H \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi'_2) / \sin \varphi'_2 \cdot \sin \varphi_1. \quad (3.8)$$

Тоді значення центральних кутів, що забезпечують певне кутове розміщення першого і другого чистових різців θ_1 і θ_2 (рис. 3.4), відповідно, будуть дорівнювати

$$\theta_1 = \frac{360 \cdot s_1}{s}, \quad (3.9)$$

$$\theta_2 = 360^\circ - \theta_1. \quad (3.10)$$

Розглянемо варіант, при якому кут θ_1 знаходиться в інтервалі $0 < \theta_1 < 3\pi/2$. Для конструювання такої головки необхідно визначити положення чорнового різця, яке буде визначатись центральним кутом $\psi_0 = 90^\circ + \alpha_x$, і його радіальний виліт, який забезпечить глибину різання $-t_l$. Це дасть можливість отримати радіальну складову

силу P_{y3} , яка зрівноважить радіальну рівнодійну P_{yc} від чистових різців, тобто забезпечить виконання умови:

$$\bar{P}_{yc} = \bar{P}_{y3}, \text{ або } \bar{P}_{yc} = \bar{P}_{y1} + \bar{P}_{y2} \quad (3.11)$$

В цьому випадку оправка на якій буде монтуватись розточна головка буде працювати на кручення від моментів, які створюють складові P_{z1}, P_{z2}, P_{z3} , і на розтяг від складових сил різання P_{x1}, P_{x2}, P_{x3} .

Визначаємо кутове положення чорнового різця по відношенню до першого чистового, тобто кут $\psi_0 = \pi/2 + \alpha_x$.

З $\triangle ABO$ і $\triangle ACO$ (рис. 3.4а) отримаємо

$$AC = P_{y1} - P_{y2} \cos \theta_2; \quad AB = P_{y2} \cos \theta_2; \quad OA = P_{y2} \sin \theta_2.$$

Розглянувши $\triangle ACO$, будемо мати

$$\alpha_x = \arctg[(1 - \cos \theta_2) / \sin \theta_2]. \quad (3.12)$$

Для визначення радіального вильоту чорнового різця відносно чистових різців (глибини різання) скористаємось наступними міркуваннями.

З $\triangle ACO$ (рис. 3.4,а) визначимо сумарну силу P_{yc} за формулою

$$P_{yc} = \sqrt{P_{y1}^2 + P_{y2}^2 - 2P_{y1}P_{y2} \cos \varphi_0}. \quad (3.13)$$

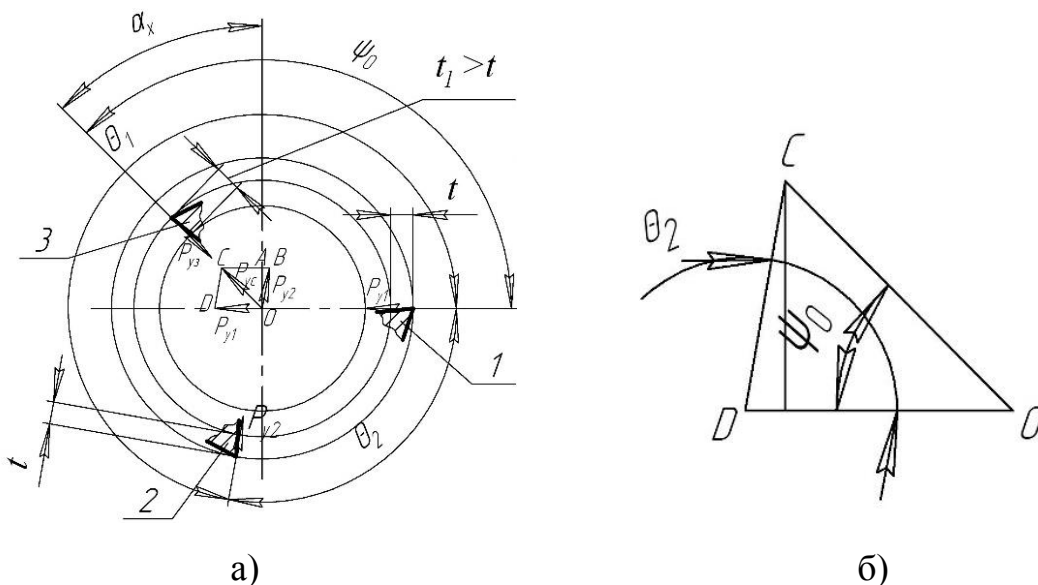


Рис. 3.4. Схема кутового розміщення різців, складових та зрівноважуючої сил трирізцевої розточувальної головки: а) загальний вигляд; б) фрагмент схеми; 1, 2 – чистові різці розточувальної головки, що забезпечують поділ подачі; 3 – зрівноважувальний (чорновий) різець, що забезпечує поділ припуску.

Для зрівноваження сумарної сили P_{yc} від двох чистових різців і виконання умови (3.13) визначимо глибину різання на чорновому різці головки – t_1 який працює з подачею s , мм/об. На основі [175] запишемо значення радіальних складових сил, що діють на чорновому різці та двох чистових відповідно $P_{yc} = 10C_5 t_1^{x_2} s^{y_2} HB^{n_2} K_\varphi$, $P_{y1} = 10C_5 t^{x_2} s_1^{y_2} HB^{n_2} K_{\varphi_1}$, $P_{y2} = 10C_5 t^{x_2} s_2^{y_2} HB^{n_2} K_{\varphi_2}$, (де C_5 – коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваної заготовки; t_1 і t – відповідно глибини різання на чорновому і чистових різцях; HB – твердість оброблюваного матеріалу за Брінелем; x_2 , y_2 , n_2 – показники степенів, які характеризують вплив t , s і HB на P_y ; K_φ , K_{φ_1} і K_{φ_2} – приведений поправочний коефіцієнт на головний кут в плані відповідно для чорнового, першого та другого чистових різців). Використавши (3.13), взявши до уваги (3.11) і розв’язавши відносно t_1 , після спрощень, отримаємо

$$t_1 = \frac{z}{2} \cdot \left(\frac{\sqrt{s_1^{2y_2} K_{\varphi_1}^2 + s_2^{2y_2} K_{\varphi_2}^2 - 2s_1^{y_2} s_2^{y_2} K_{\varphi_1} K_{\varphi_2} \cos \varphi_0}}{s^{y_2} K_\varphi} \right)^{\frac{1}{x_2}}. \quad (3.14)$$

Так як величина припуску z відома, то глибине різання для чистових різців визначимо за формулою

$$t = p - t_1 \leq 0,5 \text{ мм} \quad (3.15)$$

Якщо умова (3.15) не виконується, то необхідно змінити геометричні параметри різальної частини чорнового та (або) чистових різців.

3.3. Чотирирізцеві розточувальні головки для комбінованого розточування глибоких отворів

3.3.1. Основні передумови проектування чотирирізцевих розточувальних головок (ЧРРГ)

Основні передумови проектування ЧРРГ [71, 75, 76] шляхом визначення певних технологічно-конструкторських параметрів (ТКП) ЧРРГ, що забезпечують одночасний поділ припуску та подачі з різцями, в яких $r=0$, здійснимо, виходячи з необхідності забезпечення заданого якісного параметра оброблюваної поверхні –

висоти нерівностей профілю за десятьма точками $H \approx Rz_p$. При конструюванні ЧРРГ передбачається враховувати лише висоту нерівностей профілю, утворену геометрією робочої частини інструментів з урахуванням кінематики різання і при припущенні, що на величину H інші фактори не впливають. Передумовами при визначенні ТКП для ЧРРГ є:

- використання одного чорнового та трьох чистових різців;
- кожний із чистових різців, починаючи з другого, розміщений в такому кутовому положенні, що його вершина суміщена з максимальною величиною H , створеною проходом попереднього різця;
- положення чорнового різця визначається з умови забезпечення зрівноваження всіх діючих радіальних складових сил різання;
- значення головного φ та допоміжного φ' кутів в плані на чистових різцях приймаємо однаковими $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$ та $\varphi'_1 = \varphi'_2 = \varphi'_3 = \varphi'$;
- нерівномірне розташування чистових різців з однаковими кутами в плані, в свою чергу, забезпечуватиме неоднакову висоту нерівностей профілю. Для усунення даного недоліку запропоновано два методи, які будуть визначати варіанти конструкторського виконання ЧРРГ: перший передбачає коректування φ на третьому чистовому різці (ТЧР) і отримання φ_{3K} , другий – коректування φ' на ТЧР і отримання φ'_{3K} .

Для розв'язання поставлених завдань скористаємось загальною схемою формування шорсткості запропонованими ЧРРГ, яка подана на рис. 3.5 а,б.

3.3.2. ЧРРГ з корегованим головним кутом в плані на ТЧР та $r=0$ (за першим варіантом конструкторського виконання)

3.3.2.1. Теоретичне обґрунтування деяких конструкторських параметрів ЧРРГ, виконаної за першим варіантом

Розглянемо схему формування шорсткості поверхні за I варіантом конструкторського виконання ЧРРГ (рис. 3.5, в), а також її розгортку (рис. 3.5, г) [75, 76, 85, 86]

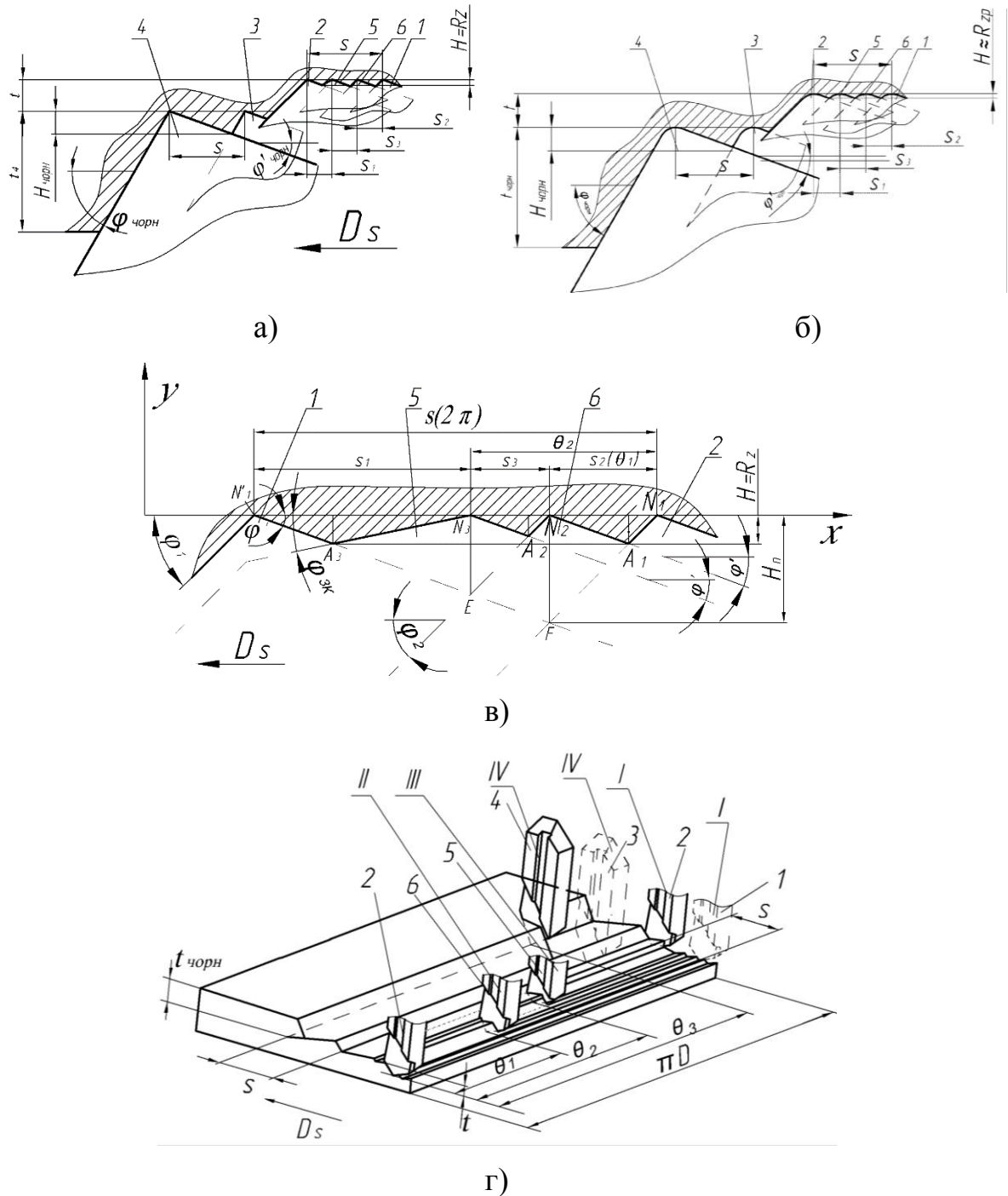


Рис. 3.5. Загальна схема формування шорсткості обробленої поверхні ЧРРГ при одночасному поділі припуску та подачі різцями з $r=0$ (а) та та з $r \neq 0$ (б) і схема формування шорсткості обробленої поверхні ЧРРГ за I варіантом її конструкторського виконання: в) формування шорсткості поверхні чистовими різцями; г) розгортка; 1 і 2 – положення I чистового різця у момент початку здійснення оберту і у момент закінчення оберту відповідно; 3, 4 – положення чорнового різця у момент початку здійснення оберту і у момент закінчення оберту відповідно; 5 - положення III чистового різця зміщеного відносно I на кут θ_2 ; 6 – положення II чистового різця зміщеного відносно I на кут θ_1 .

Для визначення таких технологічних параметрів як значення подач на кожному із чистових різців введемо систему координат yOx . Вісь Ox , на якій розміщені вершини всіх чистових різців, направимо вправо – у напрямку, протилежному до напрямку подачі, а вісь Oy направимо вгору. Виберемо довільну точку N_1 на осі Ox і розмістимо в ній вершину ПЧР – 4 у момент початку оберту. З т. N_1 проведемо промені під кутами φ та φ' до осі Ox . Вони відобразять положення ГРК і ДРК ПЧР у момент початку оберту. Задавшись величиною $H \approx Rz_p$ і використавши [1, 2, 22, 199] також (2.1) величину подачі на ДЧР визначимо із залежності

$$s_2 = H \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi'). \quad (3.16)$$

Отриману подачу на осі Ox схематично зобразимо відрізком N_1N_2 . Точка N_2 відповідає вершині ДЧР – 3 у момент закінчення оберту. Аналогічною побудовою отримаємо положення ГРК і ДРК ДЧР. Провівши з N_2 пряму, що перпендикулярна осі Ox до перетину з ГРК ПЧР в момент початку оберту отримаємо точку F і відрізок N_2F . З точки F , провівши лінію під кутом φ' до перетину з віссю Ox , отримаємо положення ПЧР в момент закінчення оберту – 1, а відповідно і значення подачі на оберт (s , мм/об), яка дорівнює довжині відрізка $N'_1N_1 = N_1N_2 + N_2N'_1$ (рис. 3.5). Враховуючи, що $N_1N_2 = s_2$, а $N_2N'_1 = N_2F \cdot \operatorname{ctg}\varphi'$ (з $\Delta N'_1N_2F$), а $N_2F = s_2 \cdot \operatorname{tg}\varphi$ (з ΔN_1N_2F), підставивши значення подачі s_2 з (3.16) і виконавши перетворення отримаємо

$$s = H \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')^2. \quad (3.17)$$

Опустивши з точки E , утвореної перетином ГРК ДЧР і ДРК ПЧР в момент закінчення оберту, перпендикуляр на вісь Ox , отримаємо положення вершини ТЧР – 2, зображену точкою N_3 . Провівши пряму через точки N_3 та A_3 (точка перетину прямої паралельної осі Ox , що проходить через A_1 , з ДРК ПЧР в момент закінчення оберту) отримаємо положення ГРК ТЧР, кут φ_{3K} , а також відрізки N'_1N_3 і N'_3N_2 , довжини яких відповідають значенню подач на ПЧР і ТЧР, відповідно s_1 і s_3 .

Подачу на ПЧР – s_1 можна визначити, розглянувши подібні трикутники $\Delta N'_1N_2F$ та $\Delta N'_1N_3E$. Визначивши з $\Delta N'_1N_2E$, висоту $N_3E = (s - s_2) / (\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi')$, склавши пропорцію $N'_1N_2 / N'_1N_3 = N_2F / N_3E$ і підставивши в неї значення сторін, виражені

через s , s_2 та кути в плані отримаємо

$$(s - s_2) / s_1 = s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi / (s - s_2 / (\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \varphi')).$$

Спростивши дане рівняння та підставивши значення s_2 з (3.16), будемо мати

$$s_1 = H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\operatorname{ctg} \varphi')^2. \quad (3.18)$$

Подачу на ТЧР – s_3 визначимо із залежності $s_3 = s - (s_1 + s_2)$, підставивши в яку (3.16), (3.17) та (3.18), знайдемо

$$s_3 = H \cdot \operatorname{ctg} \varphi'. \quad (3.19)$$

Розглянувши $\Delta N'_1 N_3 A_3$, знайдемо кореговане значення φ_{3K} на ТЧР

$$\varphi_{3K} = \operatorname{arccctg} \frac{s_1 - H \cdot \operatorname{ctg} \varphi'}{H} = \operatorname{arccctg} ((\operatorname{ctg} \varphi')^2 \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{ctg} \varphi') = \operatorname{arccctg} (\operatorname{ctg} \varphi' \operatorname{tg} \varphi - 1). \quad (3.20)$$

Аналіз впливу φ та φ' на подачу (3.17) здійснимо, використавши графіки залежностей s від головного та допоміжного кутів в плані (рис. 3.6).

Аналіз графіків, поданих на рис. 3.6, а, показує, що із збільшенням φ зростає загальна величина подачі ЧРРГ при запропонованому розташуванні різців і $H \approx R_{z_p} = \operatorname{const}$. Із зростанням допоміжного кута в плані φ' (рис. 3б) значення величини s зменшується. Звідси робимо висновок, що для збільшення подачі, при поданому розміщенні різців і збереженні умови $H \approx R_z = \operatorname{const}$ доцільно на різцях збільшувати φ та зменшувати φ' .

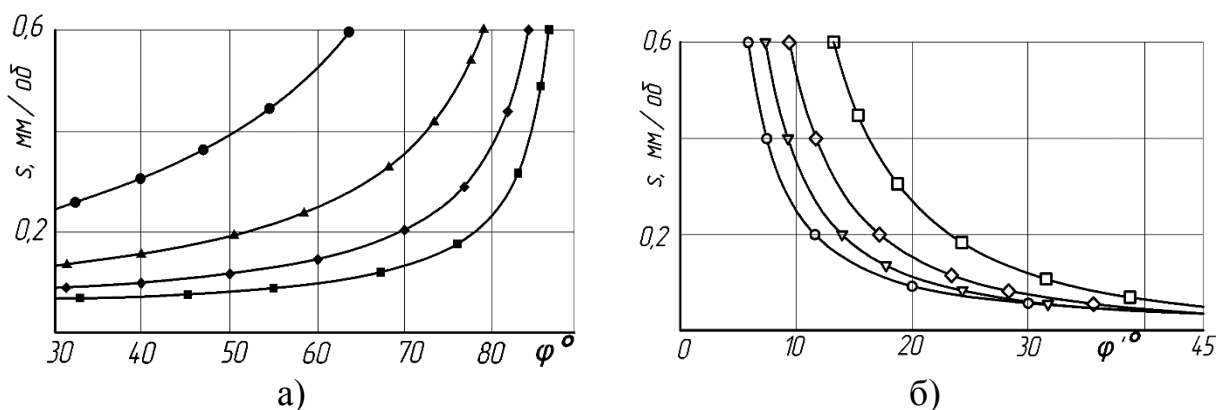


Рис. 3.6. Графіки залежностей s ЧРГ від φ та φ' при $H = \operatorname{const}$: а) $s = f(\varphi)$ при різних значеннях φ' : ●—●—●—●— $\varphi' = 10^\circ$; ▲—▲—▲—▲— $\varphi' = 15^\circ$; ◆—◆—◆—◆— $\varphi' = 20^\circ$; ■—■—■—■— $\varphi' = 25^\circ$; б) $s = \psi(\varphi')$ при різних значеннях φ : ○—○—○—○— $\varphi = 30^\circ$; ▽—▽—▽—▽— $\varphi = 45^\circ$; ◇—◇—◇—◇— $\varphi = 60^\circ$; □—□—□—□— $\varphi = 75^\circ$.

Цікавим є графічне зображення залежностей впливу головного та допоміжного кутів в плані I і II чистових різців на значення скорегованого головного кута в плані φ_{3K} ТЧР при $H \approx Rz_p = const$, які подані на рис. 3.7.

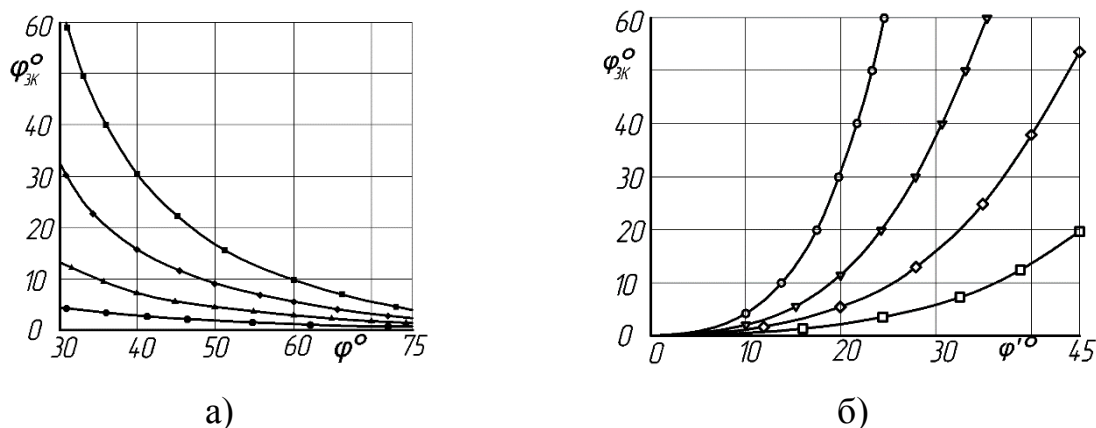


Рис. 3.7. Графіки залежностей скорегованого головного кута в плані ТЧР від значень φ та φ' : а) $\varphi_{3K} = \zeta(\varphi)$ при різних φ' : $\bullet-\bullet-\bullet$ - $\varphi' = 10^{\circ}$; $\blacktriangle-\blacktriangle-\blacktriangle$ - $\varphi' = 15^{\circ}$; $\blacklozenge-\blacklozenge-\blacklozenge$ - $\varphi' = 20^{\circ}$; $\blacksquare-\blacksquare-\blacksquare$ - $\varphi' = 25^{\circ}$; б) $\varphi_{3K} = \zeta(\varphi')$ при різних φ : $\circ-\circ-\circ$ - $\varphi = 30^{\circ}$; $\nabla-\nabla-\nabla$ - $\varphi = 45^{\circ}$; $\diamond-\diamond-\diamond$ - $\varphi = 60^{\circ}$; $\square-\square-\square$ - $\varphi = 75^{\circ}$.

Аналіз графіків (рис. 3.7) показує, що із збільшенням φ φ_{3K} зменшується, і із збільшенням φ' φ_{3K} зростає. В цьому випадку характер впливу φ та φ' на φ_{3K} протилежний до їхнього впливу на подачу.

3.3.2.2. Оптимізація кутів в плані чистових різців ЧРРГ, виконаної за першим варіантом, з умови забезпечення максимальної продуктивності

Враховуючи характер впливу φ та φ' на φ_{3K} , встановлено, що має місце технічне протиріччя, розв'язок якого, враховуючи деякі обмеження, здійснимо шляхом оптимізації геометричних параметрів ПЧР та ДЧР [85]. Певні технічні обмеження визначаються з наступного:

I. Враховуючи те, що значення головного кута в плані має свої межі і не може бути меншим від якогось мінімального φ_{3min} , повинна виконуватись нерівність $\varphi_{3min} \leq \varphi_{3K}$. Тоді перше обмеження виразимо залежностями:

$$\varphi_{3min} \leq \text{arctg} \left((\text{ctg} \varphi')^2 \text{tg} \varphi - \text{ctg} \varphi' \right) \text{ або } \varphi \leq \text{arctg} \frac{\text{ctg} \varphi_{3min} + \text{ctg} \varphi'}{(\text{ctg} \varphi')^2}.$$

II. Так як значення φ_{3K} завжди менше від φ ($\varphi_{3K} \leq \varphi$) і підставивши замість φ_{3K} його значення з (3.20), будемо мати $\text{arctg}((\text{ctg}\varphi')^2 \text{tg}\varphi - \text{ctg}\varphi') \leq \varphi$. Розв'язавши дану нерівність відносно φ , отримаємо друге обмеження: $\varphi \geq \text{arctg} 2/\text{ctg}\varphi'(\sqrt{5}-1)$.

III. Взавши до уваги те, що три чистові різці при такому розміщенні повинні забезпечувати шорсткість оброблення не нижчу від тієї, яку забезпечує чотирирізцева розточувальна головка з симетричним розміщенням різців то подача s_2 на другому чистовому різці $s_2/s \leq 1/4$. Підставивши в дану нерівність (3.16) і (3.17) та спростивши, отримаємо третє обмеження $\varphi \leq \text{arctg}(3 \cdot \text{tg}\varphi')$.

IV. Виходячи із конструкторських особливостей головок, зокрема габаритів, розміщення і можливості закріплення різців необхідно, щоб виконувалась умова $s_{\min}/s \geq 1/n$, де n – максимальна конструктивно можлива кількість рівномірно розміщених різців на розточній головці для даних габаритів. Підставивши в попередню нерівність s_3 замість s_{\min} (як мінімальна подача з трьох) і значення s з (3.17) та розв'язавши відносно φ , отримаємо четверте обмеження: $\varphi \leq \text{arctg}\left(\text{ctg}\varphi' \left(n - 2 + \sqrt{n^2 - 2n}\right)/2\right)$.

Очевидні наступні обмеження:

$$\text{V. } \varphi_{\min} \leq \varphi;$$

$$\text{VI. } \varphi \leq \varphi_{\max};$$

$$\text{VII. } \varphi'_{\min} \leq \varphi';$$

$$\text{VIII. } \varphi' \leq \varphi'_{\max}.$$

Задавшись функцією мети, яка виражається в тому, що продуктивність оброблення при забезпеченні заданої величини висоти нерівностей H повинна бути максимальною, тобто $s \rightarrow \max$, отримаємо систему рівнянь, яка є математичною моделлю геометричних параметрів (кутів в плані) різців розточувальної головки.

Розв'язок отриманої системи проілюструємо графічно (рис. 3.8). В системі координат $\varphi O \varphi'$ зображені обмеження, графіки яких позначені відповідними римськими цифрами.

$$\left. \begin{aligned}
 \varphi &\leq \arctg \left(\frac{\operatorname{ctg} \varphi_{3\min} + \operatorname{ctg} \varphi'}{(\operatorname{ctg} \varphi')^2} \right) \\
 \varphi &\geq \arctg \left(2 / \operatorname{ctg} \varphi' (\sqrt{5} - 1) \right) \\
 \varphi &\leq \arctg (3 \cdot \operatorname{tg} \varphi') \\
 \varphi &\leq \arctg \left(\operatorname{ctg} \varphi' (n - 2 + \sqrt{n^2 - 2n}) / 2 \right) \\
 \varphi &\geq \varphi_{\min} \\
 \varphi &\leq \varphi_{\max} \\
 \varphi' &\geq \varphi'_{\min} \\
 \varphi' &\leq \varphi'_{\max}
 \end{aligned} \right\} H \approx Rz = \text{const}; s \rightarrow \max$$

Аналіз поданих графіків (рис. 3.8) показав, що множина оптимальних значень $\varphi = \varphi_{\text{opt}}$ та $\varphi' = \varphi'_{\text{opt}}$, які можна використовувати при проектуванні вищеописаних розточувальних головок лежить всередині квазіопуклого багатокутника $ABCDE$ (заштрихована область).

Врахувавши функцію мети $s \rightarrow \max$, при забезпеченні заданого значення H і виходячи з рис. 3.7, а, б та задавшись, наприклад, $\varphi'_1 \leq \varphi'_{\text{opt}} \leq \varphi'_{\max}$, значення φ_{opt} необхідно вибирати на лінії ABC , яка обмежує оптимальні значення кутів в плані.

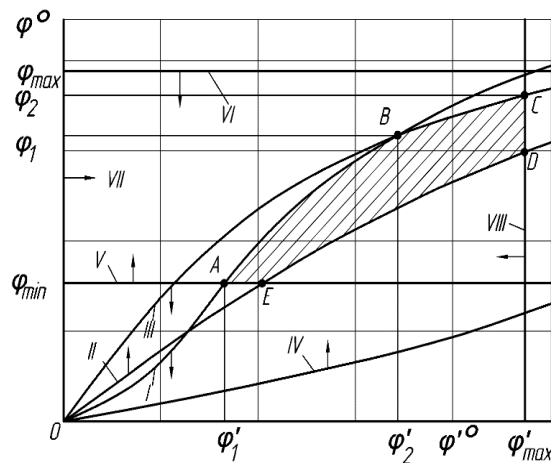


Рис. 3.8. Графічна ілюстрація обмежень пошуку оптимальних значень φ та φ' для I варіанту конструктивного виконання БРГ

Рівняння лінії ABC буде визначається системою

$$\varphi_{\text{opt}} = \begin{cases} \arctg \frac{\operatorname{ctg} \varphi_{3\min} + \operatorname{ctg} \varphi'_{\text{opt}}}{(\operatorname{ctg} \varphi'_{\text{opt}})^2} & \text{при } \varphi'_1 \leq \varphi'_{\text{opt}} \leq \varphi'_2 \\ \arctg (3 \cdot \operatorname{tg} \varphi'_{\text{opt}}) & \text{при } \varphi'_2 \leq \varphi'_{\text{opt}} \leq \varphi'_{\max} \end{cases} \quad (3.21)$$

Значення φ'_1 та φ'_2 знайдемо як абсиси координат точок А і В, які утворюються внаслідок перетину ліній відповідно I і V та I і III обмежень. Тоді отримаємо

$$\varphi'_1 = \operatorname{arccctg} \frac{\operatorname{ctg} \varphi_{\min} \left(1 + \sqrt{1 + 4 \operatorname{ctg} \varphi_{3\min}} \right)}{2} \quad \text{та} \quad \varphi'_2 = \operatorname{arccctg} \frac{\operatorname{ctg} \varphi_{3\min}}{2}.$$

Проілюструємо за допомогою графіків залежностей величини подачі s від H за (3.17), при різних значеннях φ'_{opt} та $\varphi_{\text{opt}} = \psi(\varphi'_{\text{opt}})$, визначення максимальної подачі на оберт ЧРРГ.

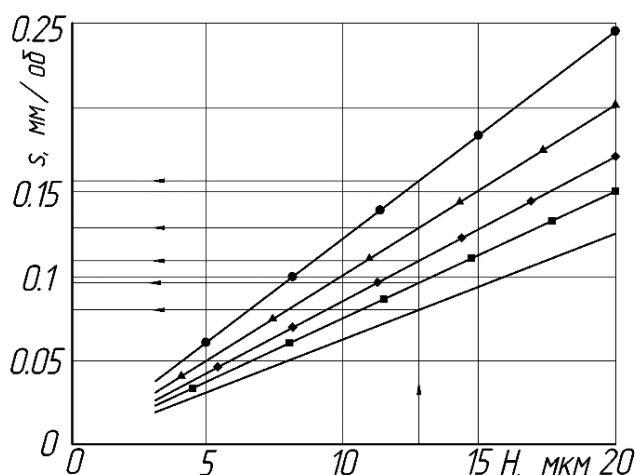


Рис. 3.9. Графіки залежностей $s = \psi(H)$ при оптимізованих значеннях $\varphi_{\text{opt}} = \psi(\varphi'_{\text{opt}})$ та різних значеннях φ'_{opt} : $\bullet\text{---}\bullet\text{---}\bullet$ - $\varphi'_{\text{opt}} = 20^\circ$; $\blacktriangle\text{---}\blacktriangle\text{---}\blacktriangle$ - $\varphi'_{\text{opt}} = 25^\circ$; $\blacklozenge\text{---}\blacklozenge\text{---}\blacklozenge$ - $\varphi'_{\text{opt}} = 30^\circ$; $\blacksquare\text{---}\blacksquare\text{---}\blacksquare$ - $\varphi'_{\text{opt}} = 35^\circ$; --- - $\varphi'_{\text{opt}} = 40^\circ$

Практична цінність поданих графіків (рис. 3.9) полягає в тому, що оптимізувавши значення φ'_{opt} та φ_{opt} за залежністю (3.21), можна призначати подачу на оберт, яка б забезпечувала задану висоту нерівностей профілю оброблюваної поверхні при максимальній продуктивності.

3.3.3. ЧРРГ з корегованим допоміжним кутом в плані на ТЧР та $r=0$ (за другим варіантом конструкторського виконання)

3.3.3.1. Теоретичне обґрунтування деяких конструкторських параметрів ЧРРГ, виконаної за другим варіантом

Розглянемо схему розміщення чистових різців та формування шорсткості поверхні за II варіантом конструкторського виконання ЧРРГ (рис. 3.10).

Для визначення такого технологічного параметру як величина подачі на

кожному із чистових різців введемо систему координат yOx . Принцип розміщення ПЧР до початку оберту та після закінчення оберту (1 та 4 відповідно) і ДЧР після закінчення оберту 3 аналогічний до принципу їх розміщення за першим варіантом конструкторського виконання ЧРРГ (п. п. 3.2.2.1).

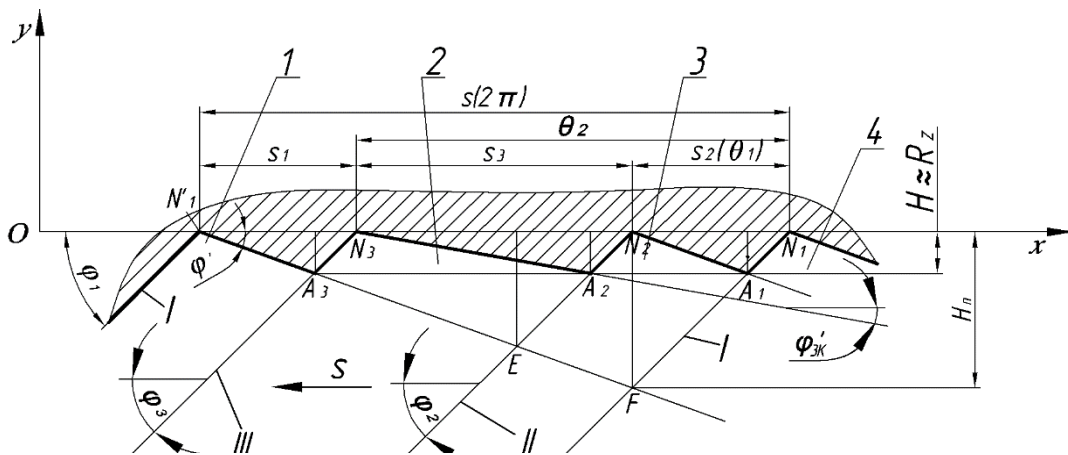


Рис. 3.10. Схема нерівностей профілю, сформованих чистовими різцями, розміщеними за II варіантом конструкторського виконання ЧРРГ: 1 – положення I-го чистового різця у момент початку здійснення оберту; 2 – положення II-го різця, зміщеного відносно I-го на кут θ_1 ; 3 - положення III-го чистового різця, зміщеного відносно I-го на кут θ_2 ; 4 – положення I-го різця у момент закінчення оберту

ТЧР встановлюємо так, щоб висота нерівностей, утворених в результаті контактів ГРК ТЧР та ДРК ПЧР дорівнювала $H \approx R_{z_p} = const$, а шляхом корегування значення допоміжного кута в плані на ТЧР ϕ'_{3K} добиваємось, щоб висота нерівностей, утворених в результаті контактів ГРК ДЧР та ДРК ТЧР теж дорівнювала заданій $H \approx R_{z_p} = const$. В цьому випадку s_2 та s визначають за формулами (3.16) та (3.17) відповідно, $s_1 = s_2$, а $s_3 = s - (s_1 + s_2)$ або

$$s_3 = H \cdot (tg\phi \cdot ctg\phi'^2 - ctg\phi). \quad (3.22)$$

Кореговане значення ϕ'_{3K} визначимо за формулою $\phi'_{3K} = arcctg((s_3 - H \cdot ctg\phi_2)/H)$ або

$$\phi'_{3K} = arcctg(tg\phi \cdot ctg\phi'^2 - 2ctg\phi). \quad (3.23)$$

Враховуючи, що в цьому випадку s визначається так само як і в ЧРРГ за I варіантом

конструкторського виконання, то характер впливу φ та φ' на s буде таким самим.

Графічні залежності впливу головного та допоміжного кутів в плані на величину скорегованого допоміжного кута на ТЧР φ'_{3K} подані на рис. 3.11.

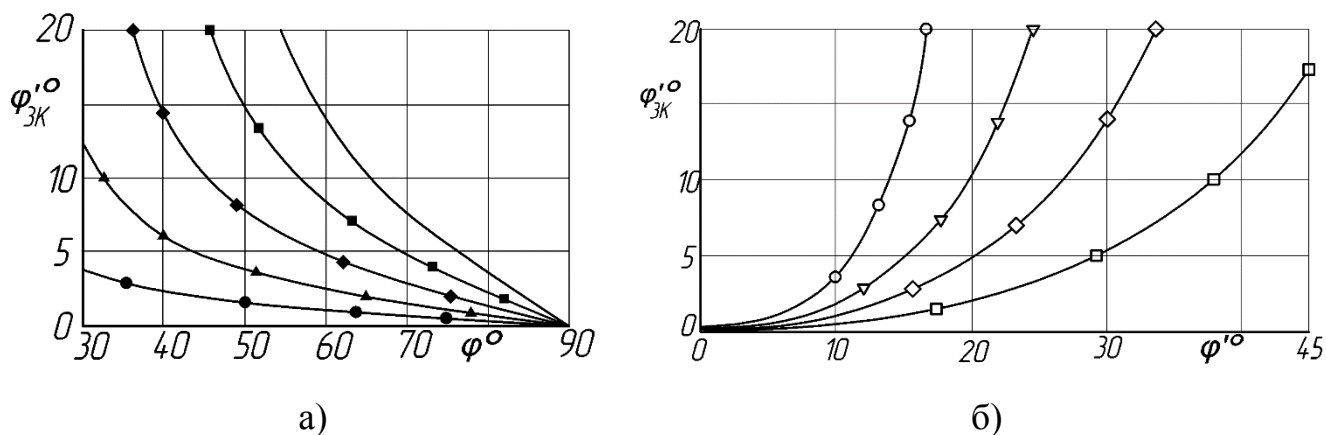


Рис. 3.11. Графіки залежностей скорегованого допоміжного кута в плані ТЧР φ'_{3K} від значень головного та допоміжного кутів в плані на ПЧР да ДЧР: $\varphi'_{3K} = \rho(\varphi)$ при різних φ' : $\bullet\text{---}\bullet\text{---}\bullet$ – $\varphi' = 10^\circ$; $\blacktriangle\text{---}\blacktriangle\text{---}\blacktriangle$ – $\varphi' = 15^\circ$; $\blacklozenge\text{---}\blacklozenge\text{---}\blacklozenge$ – $\varphi' = 20^\circ$; $\blacksquare\text{---}\blacksquare\text{---}\blacksquare$ – $\varphi' = 25^\circ$ ——— – $\varphi' = 30^\circ$; б) $\varphi'_{3K} = \sigma(\varphi)$ при різних φ : $\circ\text{---}\circ\text{---}\circ$ – $\varphi = 30^\circ$; $\nabla\text{---}\nabla\text{---}\nabla$ – $\varphi = 45^\circ$; $\diamond\text{---}\diamond\text{---}\diamond$ – $\varphi = 60^\circ$; $\square\text{---}\square\text{---}\square$ – $\varphi = 75^\circ$.

З вищенаведених графіків випливає, що із збільшенням φ значення корегованого допоміжного кута ТЧР φ'_{3K} зменшується, а із збільшенням φ' – збільшується.

3.3.3.2. Оптимізація кутів в плані чистових різців ЧРРГ, виконаної за другим варіантом з умови забезпечення максимальної продуктивності

Характер впливу φ та φ' на φ'_{3K} , а також φ та φ' на подачу s призводить до виникнення технічного протиріччя [85]. Розв'язок такої задачі, враховуючи певні обмеження, здійснимо шляхом оптимізації геометричних параметрів чистових різців. Технічні обмеження визначаються з таких міркувань:

I. Допоміжний корегований кут в плані на ТЧР – φ'_{3K} повинен бути більшим від допустимого мінімального значення, тобто $\varphi'_{3K} > \varphi'_{\min}$

II. Допоміжний корегований кут в плані φ'_{3K} не може бути більшим, ніж φ' ,

тобто $\varphi' \geq \text{arcctg}(tg\varphi \cdot ctg\varphi'^2 - 2ctg\varphi)$. Виразивши φ через φ' , отримаємо:
 $\varphi \geq \text{arcctg}(ctg\varphi'/2)$.

III. Так як три чистові різці при такому розміщенні повинні забезпечувати висоту нерівностей профілю H не вищу від висоти нерівностей профілю у випадку використання чотирирізцевої головки з симетричним розміщенням, то подачу s_2 на ДЧР визначимо із нерівності $s_2/s \leq 1/4$. Підставивши в цю нерівність замість s_2 і s їх значення з (3.16) і (3.17) відповідно, та розв'язавши відносно φ , отримаємо третє обмеження: $\varphi \leq \text{arctg}(3 \cdot tg\varphi')$.

IV. Враховуючи конструкторські особливості головок, зокрема габарити та можливість закріплення різця необхідно виконати умову, щоб $s_{\min}/s \geq 1/n$, де n – кількість різців розточувальної головки. Підставивши замість s_{\min} значення s_2 з (3.16), а замість s значення з (3.17) та розв'язавши відносно φ отримаємо четверте технічне обмеження: $\varphi \leq \text{arctg}((n-1) \cdot tg\varphi')$

Інші обмеження аналогічні обмеженням, які мають місце при конструктивному виконанні ЧРРГ за I варіантом (п.п. 3.2.2.2).

Задавши функцією мети, яка виражається в тому, що продуктивність оброблення при забезпеченні заданої величини H повинна бути максимальною, тобто $s \rightarrow \max$, отримаємо систему рівнянь, яка являє собою математичну модель геометричних параметрів (кутів в плані) різців головки

$$\left. \begin{array}{l} \varphi'_{3K} > \varphi'_{\min} \\ \varphi \geq \text{arcctg}(ctg\varphi'/2) \\ \varphi \leq \text{arctg}(3 \cdot tg\varphi') \\ \varphi \leq \text{arctg}((n-1) \cdot tg\varphi') \\ \varphi \geq \varphi_{\min} \\ \varphi \leq \varphi_{\max} \\ \varphi' \geq \varphi'_{\min} \\ \varphi' \leq \varphi'_{\max} \end{array} \right\} H \approx Rz = \text{const}; s \rightarrow \max.$$

Розв'язок отриманої системи проілюстровано графічно (рис. 3.12). В системі координат $\varphi O \varphi'$ зображені обмеження, графіки яких позначені відповідними

римськими цифрами.

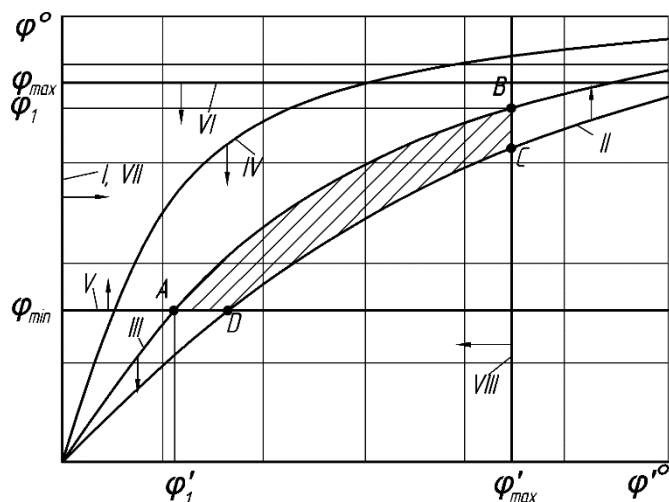


Рис. 3.12. Графічна ілюстрація обмежень пошуку оптимальних значень φ та φ' для II варіанту конструктивного виконання БРГ

Із графіків (рис. 3.12) бачимо, що множина значень φ та φ' , які можна використовувати при проектуванні ЧРРГ даного типу, лежить всередині квазіопуклого багатокутника $ABCD$ (заштрихована область).

Врахувавши функцію мети $s \rightarrow \max$, при забезпеченні заданого значення висоти нерівностей профілю, задавшись, наприклад, $\varphi'_1 \leq \varphi'_{opt} \leq \varphi'_{max}$ — значення φ_{opt} необхідно вибирати на лінії AB , яка обмежує значення кутів, що задовольняють умови всіх обмежень.

Рівняння лінії AB подамо у вигляді:

$$\varphi_{opt} = \arctg(3 \cdot \tg \varphi'_{opt}) \text{ при } \varphi'_1 \leq \varphi'_{opt} \leq \varphi'_{max}. \quad (3.24)$$

Значення φ'_1 знайдемо як абсцису координат точки A , які утворюються внаслідок перетину ліній III та V обмежень. Отримаємо $\varphi'_1 = \arctg(\tg \varphi_{min}/3)$.

Графіки залежностей величини подачі s від H за залежністю (3.17), при різних значеннях φ'_{opt} та $\varphi_{opt} = \rho(\varphi'_{opt})$ подані на рис. 3.13.

Практична цінність поданих графіків (рис. 3.13) полягає в тому, що визначивши значення φ'_{opt} та φ_{opt} за залежністю (3.24) та рис. 3.13, можна призначати подачу на оберт, яка б забезпечувала задану теоретичну висоту нерівностей профілю.

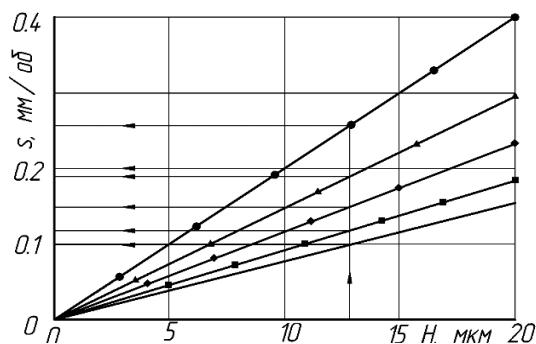


Рис. 3.13. Графіки залежностей $s = \psi(H)$ при оптимізованих значеннях $\varphi_{opt} = \rho(\varphi'_{opt})$ та різних φ'_{opt} : $\bullet-\bullet-\bullet$ - $\varphi'_{opt} = 15^\circ$; $\blacktriangle-\blacktriangle-\blacktriangle$ - $\varphi'_{opt} = 20^\circ$; $\blacklozenge-\blacklozenge-\blacklozenge$ - $\varphi'_{opt} = 25^\circ$; $\blacksquare-\blacksquare-\blacksquare$ - $\varphi'_{opt} = 30^\circ$; — - $\varphi'_{opt} = 35^\circ$

3.3.4. ЧРРГ з корегованим головним кутом в плані на ТЧР та $r \neq 0$ (за першим варіантом конструкторського виконання)

На основі схеми розміщення чистових різців для випадку коли, $r \neq 0$ та розрахунковий профіль поверхні, сформований за I варіантом конструкторського виконання БРГ, яка подана на рис. 3.14, визначимо значення корегованого головного кута в плані φ_{3K} на ТЧР [77].

Спочатку знайдемо значення подач на чистових різцях. Для цього введемо систему координат yOx . Вісь Oy спрямуємо вертикально вгору, а вісь Ox – вправо, у напрямку протилежному до напрямку подачі. Вершини всіх чистових різців розмістимо на осі Ox .

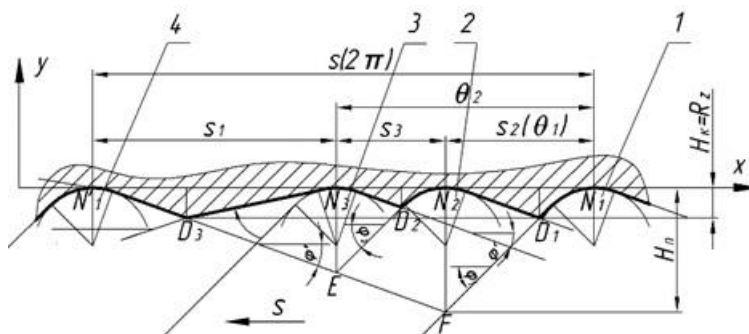


Рис. 3.14. Схема нерівностей профілю, сформованих чистовими різцями, розміщеними за I варіантом конструкторського виконання ЧРРГ при $r \neq 0$: 1, 4 – положення ПЧР у момент початку здійснення оберту та у момент закінчення оберту відповідно; 2 – положення ДЧР зміщеного відносно I-го на кут θ_1 ; 3 – положення ТЧР зміщеного відносно I-го на кут θ_2

Виберемо на осі Ox довільну точку N_1 і розмістимо в ній вершину ПЧР у момент початку здійснення оберту. Задавшись величиною $H \approx Rz_p$ і скориставшись геометрично-математичними моделями (табл. 2.4), величину подачі на ДЧР s_2 визначимо в залежності від значень величин φ , φ' , r , заданого H і їх комбінацій.

Використавши рис. 3.15 та залежності з табл. 2.4, знайдемо подачу на s_2 на ДЧР. При умові, що $H > r - r \cdot \cos \varphi$ (рис 3.15а)

$$s_2 = r(\sin \varphi + \sin \varphi') + \frac{H + r \cos \varphi - r}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{H + r \cos \varphi' - r}{\operatorname{tg} \varphi'}, \quad (3.25)$$

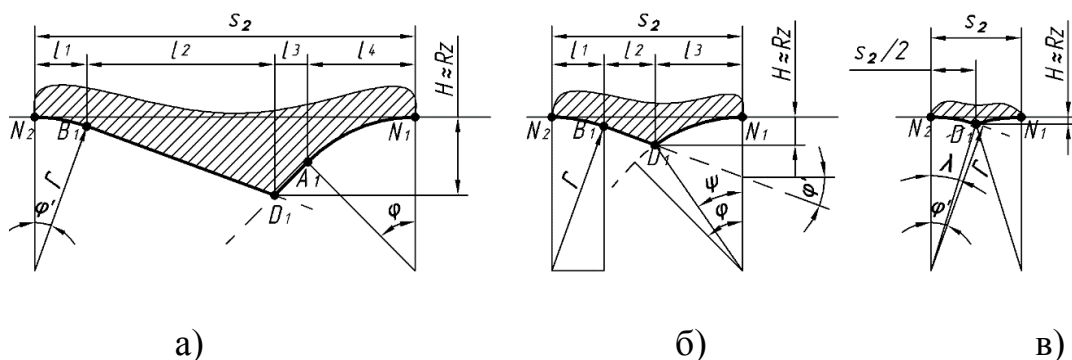


Рис. 3.15. Варіанти схем профілю обробленої поверхні для визначення подачі на ДЧР s_2 , які утворюються в результаті контактів: а) РД і ПД ГРК ПЧР з поверхнею головного руху (ПГР) та ПД і РД ДРК ДЧР з обробленою поверхнею (ОП); б) РД ГРК ПЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ДЧР з ОП; в) РД ГРК ПЧР з ПГР та РД ДРК ДЧР з ОП а при значенні $r - r \cdot \cos \varphi' < H < r - r \cdot \cos \varphi$, (рис. 3.15 б)

$$s_2 = r \cdot \sin \varphi' + \frac{H - r + r \cos \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'} + r \cdot \sqrt{1 - ((r - H)/r)^2}. \quad (3.26)$$

У випадку коли при $H < r - r \cdot \cos \varphi'$ (рис. 4, в) значення подачі на ДЧР знайдемо із формули:

$$s_2 = 2r \sqrt{1 - ((r - H)/r)^2}. \quad (3.27)$$

Встановивши ДЧР зліва від ПЧР на величину подачі s_2 і вважаючи, що вершина цього різця знаходиться в точці максимальної величини нерівностей профілю, утвореного проходом ПЧР, та провівши відрізок, перпендикулярний до напрямку подачі з вершини ДЧР до перетину з ГРК ПЧР (відрізок N_2F), розмістимо ПЧР після здійснення оберту таким чином, щоб його ДРК проходила через точку F (точка

перетину ГРК і ДРК ПЧР до і після здійснення оберту), а вершина цього різця дотикалась до осі Ox . Таким чином, встановивши у це положення ПЧР в момент закінчення оберту заготовки або інструменту, визначимо подачу на оберт s (рис. 3.16).

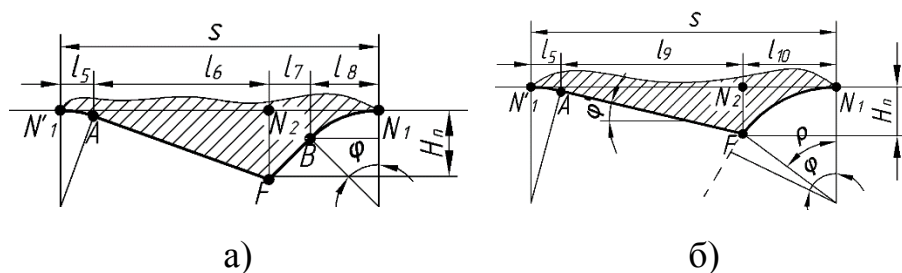


Рис. 3.16. Фрагменти схеми з рис. 3.14 для визначення подачі на оберт s при різних варіантах профілю утвореного в результаті контактів: а) РД і ПД ГРК ПЧР до початку здійснення оберту з ПГР та ПД і РД ДРК ПЧР після здійснення оберту з ОП; б) РД ГРК ПЧР до початку здійснення оберту з ПГР та ПД і РД ДРК ПЧР після здійснення оберту з ОП

Для цього знайдемо величину $N_2F = H_n$ (рис. 3.16). Якщо знайдена за (3.25), (3.26) чи (3.27) величина $s_2 > r \cdot \sin \varphi$, то $H_n = s_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi - r(1 - \cos \varphi) / \cos \varphi$ (рис. 3.16, а), то значення s визначиться за формулою

$$s = r(\sin \varphi + \sin \varphi') + \frac{H_n + r \cos \varphi - r}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{H_n + r \cos \varphi' - r}{\operatorname{tg} \varphi'}. \quad (3.28)$$

У випадку, коли $s_2 < r \cdot \sin \varphi$ то $H_n = r - r \sqrt{(1 - s_2/r)^2}$ (рис. 3.16, б), величину s визначимо із залежності

$$s = r \cdot \sin \varphi' + \frac{H_n - r + r \cos \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi'} + r \cdot \sqrt{1 - ((r - H_n)/r)^2}. \quad (3.29)$$

ГРК ДЧР і ДРК ПЧР перетинаються в точці Е (рис. 3.14), з якої, опустивши перпендикуляр, на вісь Ox , отримаємо положення вершини ТЧР (точку N_3), а відповідно і положення ДРК ТЧР.

Для визначення величини подач s_1 і s_3 знаходимо за табл. 2.2 величину H_C в залежності від утворених профілів (рис. 3.17):

- за умови $2r \sin \varphi' \leq s - s_2 \leq r(\sin \varphi - \cos \varphi \operatorname{ctg} \varphi' + 1/\sin \varphi')$ використаємо залежність (2.23)

$$H_c = r - \cos\varphi'(r - s \cdot \sin\varphi') - \sin\varphi' \sqrt{s \cdot \sin\varphi'(2r - s \cdot \sin\varphi')}, \quad (3.30)$$

і величину s_3 визначимо за формулою:

$$s_3 = r \cdot \sin\left(\arccos\left(\frac{r - H_c}{r}\right)\right). \quad (3.31)$$

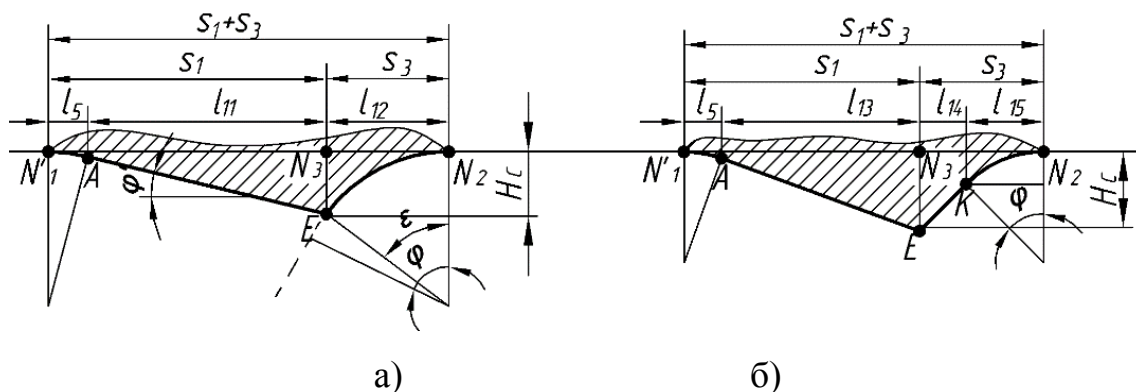


Рис. 3.17. Фрагмент схеми з рис. 3.14. для визначення подач на ПЧР та ТЧР s_1 та s_3 відповідно для різних варіантів профілю, утвореного в результаті контактів: а) РД ГРК ДЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ПЧР після здійснення оберту з ОП; б) РД і ПД ГРК ДЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ПЧР після здійснення оберту з ОП.

- при $s - s_2 \geq r(\sin\varphi - \cos\varphi \cdot \operatorname{ctg}\varphi' + 1/\sin\varphi')$ (рис. 3.17, б) максимальне значення висоти профілю H_c буде

$$H_c = r - \frac{r \cdot (\sin\varphi + \sin\varphi') / \cos\varphi \cdot \cos\varphi' - (s - s_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\varphi'}{\operatorname{tg}\varphi + \operatorname{tg}\varphi'} \quad (3.32)$$

і s_3 визначиться за формулою:

$$s_3 = \frac{H_c - r + r \cdot \cos\varphi}{\operatorname{tg}\varphi} + r \cdot \sin\varphi. \quad (3.33)$$

Перетин прямої, проведеної з точки D_1 паралельно до осі Ox із слідом ДРК ПЧР, після закінчення оберту (рис. 3.14), дає нам точку D_3 , з якої, провівши дотичну до радіусної частини ГРК ТЧР, знайдемо положення ГРК ТЧР. Таким чином ілюструється забезпечена задана величина нерівностей профілю $H \approx R_{z_p} = \operatorname{const}$ після проходження ПЧР, ДЧР і ТЧР. Для визначення кута φ_{3K} скористаємось рис. 3.18.

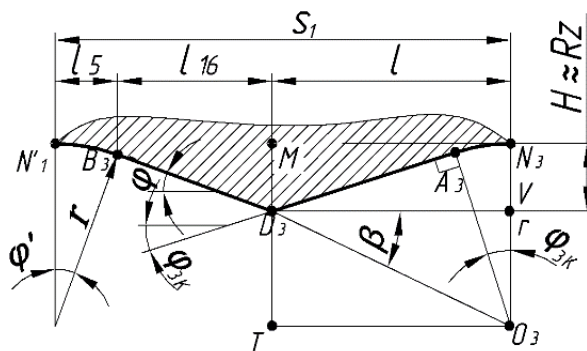


Рис. 3.18. Розрахункова схема для визначення скорегованого значення головного кута в плані на ТЧР φ_{3K}

Знайшовши величину l (рис. 3.18)

$$l = s_1 - (l_5 + l_{16}) = s_1 - r \cdot \sin \varphi' + (H - r + r \cdot \sin \varphi') / \operatorname{tg} \varphi', \quad (3.34)$$

визначивши кут β

$$\beta = \operatorname{arctg}(r - H) / l, \quad (3.35)$$

і розглянувши $\Delta D_3 O_3 V$, з якого $D_3 O_3 = l / \cos \beta$, а також врахувавши, що $D_3 O_3$ є гіпотенузою в $\Delta D_3 O_3 A_3$, визначимо $\angle A_3 D_3 O_3$

$$\angle A_3 D_3 O_3 = \arcsin A_3 O_3 / D_3 O_3 = \arcsin r \cos \beta / l.$$

Оскільки $\varphi_{3K} = \angle A_3 D_3 O_3 - \beta$, то

$$\varphi_{3K} = \arcsin \frac{r \cdot \operatorname{tg} \varphi' \cdot 1 / \sqrt{1 + \beta^2}}{s_1 - 2r \sin \varphi' - H + r} - \beta \quad (3.36)$$

Таким чином отримано залежності для визначення значення корегованого кута в плані та третьому чистовому різці з умови забезпечення $H \approx Rz_p = \operatorname{const}$.

3.3.5. ЧРРГ з корегованим допоміжним кутом в плані на ТЧР і $r \neq 0$ (за другим варіантом конструкторського виконання)

Розглянемо схему розміщення чистових різців для випадку, коли $r \neq 0$ та розрахунковий профіль поверхні, утворений проходом ЧРРГ, виконаної за II варіантом її конструкторського виконання (рис. 3.19) [77].

Для визначення такого технологічного параметру як значення подачі на кожному із чистових різцях введемо систему координат uOx . Вісь Oy спрямуємо вертикально вгору, а вісь Ox – вправо в напрямку, протилежному напрямку подачі.

Вершини всіх чистових різців розмістимо на осі Ox . Положення ПЧР та ДЧР прийнемо такі, як і при I варіанті. В цьому випадку величини подач s_2 і s визначатимемо за формулами (3.25), (3.26), (3.27) і (3.28), (3.29) відповідно.

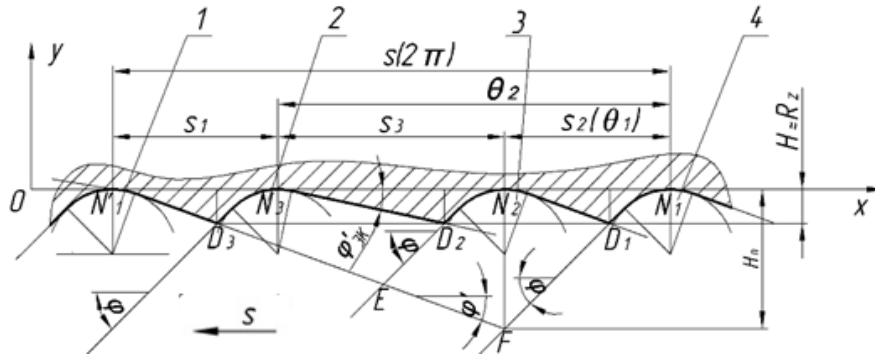


Рис. 3.19. Схема нерівностей профілю, сформованих чистовими різцями, розміщеними за II варіантом конструкторського виконання ЧРРГ при $r \neq 0$: 1, 4 – положення ПЧР у момент початку здійснення оберту та у момент закінчення оберту відповідно; 2 – положення ДЧР зміщеного відносно ПЧР на кут θ_1 ; 3 – положення ТЧР зміщеного відносно ПЧР на кут θ_2

ТЧР встановлюємо таким чином (рис. 3.19), щоб його вершина N_3 лежала на осі Ox , а висота нерівностей профілю, утворених контактуванням його ГРК та ДРК ПЧР після здійснення оберту, дорівнювала заданій $H \approx R_{z_p} = const$. Шляхом корегування значення допоміжного кута в плані на ТЧР ϕ'_{3K} добиваємось, щоб висота нерівностей, утворених в результаті контактів ГРК ДЧР та ДРК ТЧР, теж дорівнювала заданій $H \approx R_{z_p} = const$. В цьому випадку подачі будуть: $s_1 = s_2$; $s_3 = s - s_2 - s_1$.

Для визначення величини корегованого допоміжного кута в плані на ТЧР скористаємось рис. 3.20.

Кут β знайдемо за формулою (3.35). Визначивши з ΔD_3O_3V $D_3O_3 = l / \cos \beta$, знайдемо $\angle A_3D_3O_3$: $\sin \angle A_3D_3O_3 = A_3O_3 / D_3O_3 = r \cos \beta / a$

Оскільки $\angle A_3D_3V = \phi_{3K} = \angle A_3D_3O_3 - \beta$, то кореговане значення допоміжного кута в плані та ТЧР буде

$$\phi'_{3K} = \arcsin(r \cos \beta / a) - \beta, \quad (3.37)$$

тут $a = s_3 - (a_1 + a_2)$ при $s_3 \geq r(\sin \phi - \cos \phi \cdot \text{ctg} \phi' + 1 / \sin \phi')$ і $a = s_3 - a_3$ при

$s_3 \leq r(\sin \varphi - \cos \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi' + 1/\sin \varphi')$, де $a_1 = r \cdot \sin \varphi'$, $a_2 = (H - r + r \cdot \sin \varphi')/\operatorname{tg} \varphi'$ (рис. 3.20), $a_3 = r \cdot \sin(\arccos(r - H)/r)$.

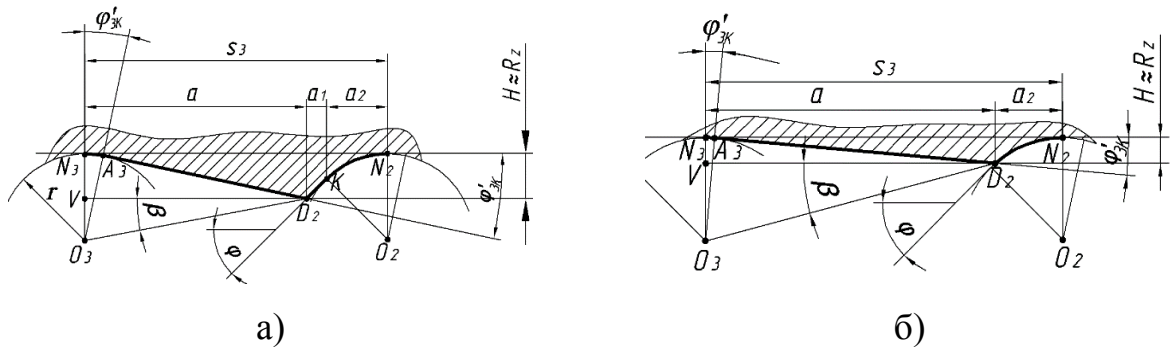


Рис. 3.20. Розрахункові схеми для визначення корегованого значення допоміжного кута в плані на ТЧР φ'_{3K} при різних варіантах профілю, утвореного в результаті контактів: а) РД і ПД ГРК ДЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ТЧР з ОП; б) РД ГРК ДЧР з ПГР та ПД і РД ДРК ТЧР з ОП

3.3.6. Визначення кутових положень та глибин різання на чорновому й чистових різцях ЧРРГ

Знаючи значення подач на кожному із різців ЧРРГ, виконаних як за першим, так і за другим варіантами, скориставшись рис. 3.21, визначимо такі конструкторські параметри головок як центральні кути розміщення різців [75, 77].

Значення кутів θ_1 і θ_2 , які забезпечують відповідно кутове зміщення ДЧР і ТЧР відносно ПЧР, визначимо за формулами

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2 / s \quad (3.38)$$

$$\theta_2 = 2\pi \cdot (s_2 + s_3) / s \quad (3.39)$$

Для визначення кутового розміщення чорнового різця відносно ПЧР, а також глибин різання на чорновому та чистових різцях з умови зрівноваження складових сил різання скористаємось схемами (рис. 3.21 а,б) та методикою описаною в [13].

Кутове положення чорнового різця відносно ПЧР визначимо за формулою:

$$\theta_3 = \pi + \arcsin \frac{\eta \cdot \sin \left(\arcsin \left(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}{\sqrt{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos \left(\arcsin \left(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta} \right) + \theta_1 \right)}}, \quad (3.40)$$

де $\eta = s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_2}^2 + s_3^{2y} \cdot K_{\varphi_3}^2 + 2s_2^y s_3^y K_{\varphi_2} K_{\varphi_3} \cdot \cos \theta_2$

Знайдемо глибини різання на чорновому та чистових різцях з умови зрівноваження радіальних складових сил різання $\bar{P}_{зр} = \bar{P}_{у чорн}$, де $P_{у чорн} = C \cdot t_{чорн}^x \cdot s^y \cdot V_4^n \cdot K_{\varphi_4}$, де $t_{чорн}$ – глибина різання на чорновому різці, V_4 – швидкість різання на чорновому різці [154].

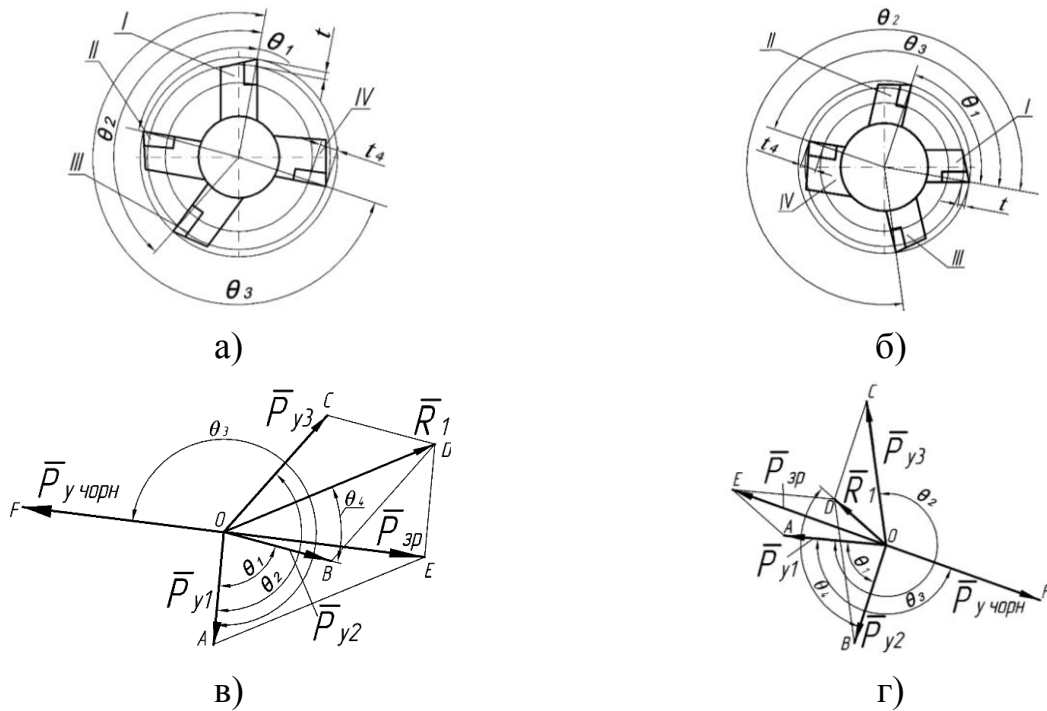


Рис. 3.21. Схеми розміщення чорнових та чистових різців за I (а) і II (б) варіантами конструкторського виконання ЧРРГ та розрахункові схеми для визначення кутових положень різців за I (в) та другим (г) варіантами відповідно: I, II, III і IV – відповідно ПЧР, ДЧР, ТЧР і чорновий різець.

Врахувавши, що $V_4 \approx V$, де V – швидкість різання на чистових різцях, а $t_{чорн} = z - t_{чист}$, де z – припуск на оброблення, отримаємо величину глибини різання на чистових різцях:

$$t_{чист} = \frac{z}{2} \left(\frac{s^y \cdot K_{\varphi_4}}{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)} \right)^{1/x} \quad (3.41)$$

Визначення конструкторських і технологічних параметрів дає змогу здійснити проектування ЧРРГ для конкретних умов оброблення при відповідних заданих

вихідних даних.

3.3.7. Конструкція ЧРРГ для комбінованого розточування глибоких отворів

На рис. 3.22 подана конструкція розточувальної головки (Додаток Б), спроектованої на основі вищенаведених залежностей за I варіантом її конструкторського виконання [75, 76, 141]. Запропонована ЧРРГ призначена для оброблення глибоких отворів із забезпеченням точності 7-9 квалітетів та шорсткості обробленої поверхні $Ra \leq 1.6 \mu\text{м}$.

Розточувальна головка складається з корпусу 5 (рис. 3.22, а,б,в), на одному з кінців якого знаходиться хвостовик 3, в якому виконаний центральний отвір 2. На хвостовику 3 виконана різь 1 та конусна частина 4, що використовуються для співвісного з'єднання розточувальної головки з пустотілою оправкою. Допускається конусну частину замінити циліндричною. На правому торці корпусу виконані радіальні пази 6, в які встановлюються три чистові різці відповідно 7, 12 і 15 та один чорновий різець 9. Різці притискаються гвинтами 11 до диска 10, який жорстко з'єднаний з корпусом 1 гвинтами 13 та штифтами 14. Радіальний виліт різців регулюється за допомогою гвинтів 8, які своїми конічними кінцевими поверхнями спряжені з торцевими скосами різців. На кожному з різців 7, 12, 15, 9 виконані пази для підводу МОТС в зону різання. Допоміжні кути в плані на чистових різцях 7, 12, 15, а також головні кути в плані на першому 7 та другому 12 чистових різцях однакові і рівні φ' і φ відповідно, а головний кут в плані на третьому чистовому різці 9 корегований і визначається за формуло (3.20).

Центральні кути між вершиною першого 7 та вершиною другого 12 θ_1 і вершиною першого 7 та вершиною третього 15 θ_2 чистових різців у площині перпендикулярній до поздовжньої осі головки, визначаються за формулами (3.38) та (3.39) відповідно.

Положення чорнового різця 9 визначається положенням результуючої сили від радіальних складових сил різання, утворених чистовими різцями 7, 12, 15. Центральний кут між вершиною першого чистового різця 7 та вершиною чорнового різця 9 θ_3 , в площині перпендикулярній до поздовжньої осі інструменту, для обох варіантів конструкторського виконання ЧРРГ визначається за формулою (3.40).

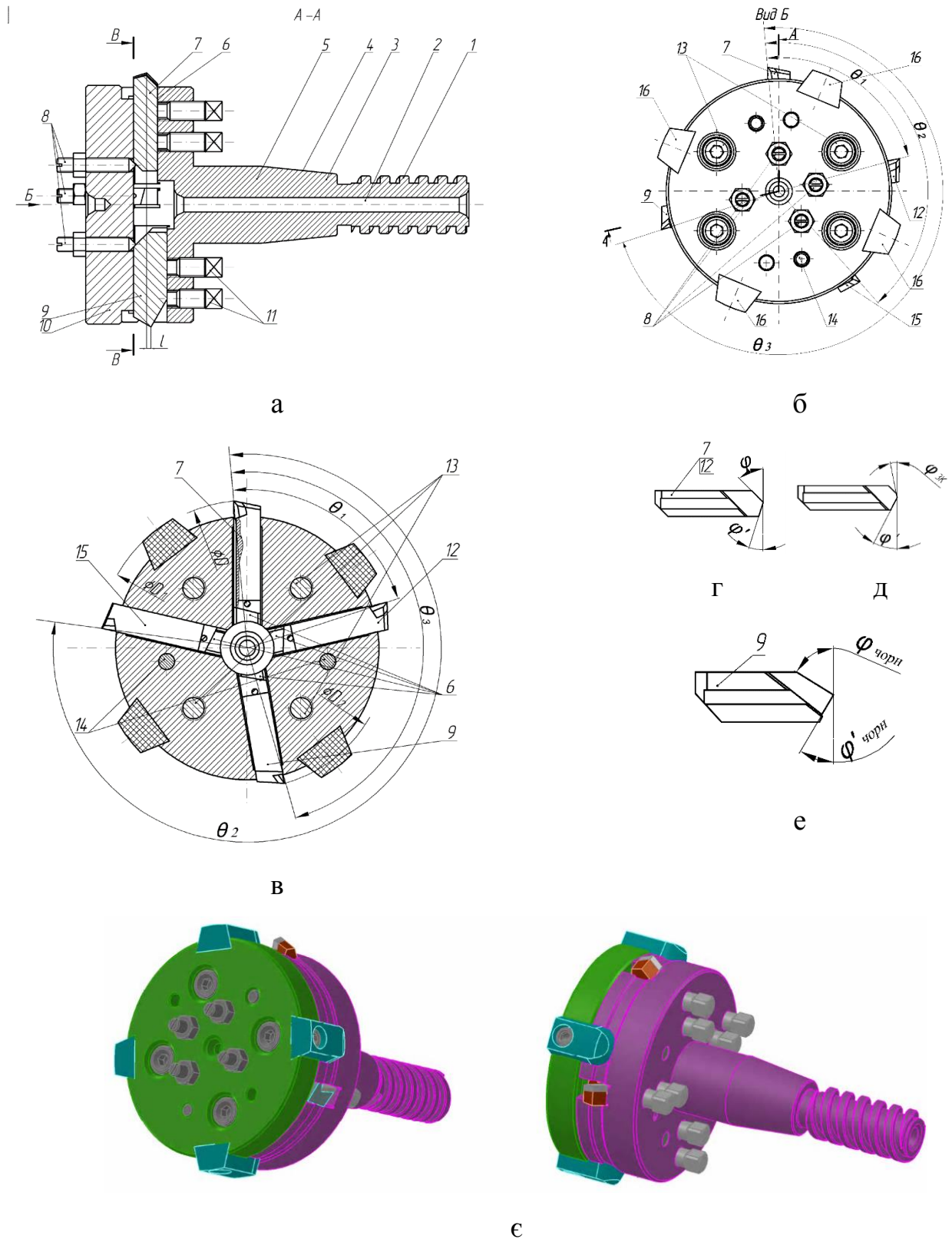


Рис. 3.22. Конструкція розточної головки для комбінованого розточування глибоких отворів за I варіантом її конструкторського виконання: а) головний вигляд; б) вид по стрілці Б; в) переріз В-В; г), д), е) проекції в плані відповідно першого та другого г), третього д) чистових і чорнового е) різців; е) – 3D модель

Вершина чорнового різця 9 зміщена відносно вершин чистових різців 7, 12, 15, що знаходяться в одній площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструменту, в напрямку подачі на величину l , а його радіальний виліт менший від радіального вильоту чистових різців 7, 12, 15, що виставлені на однаковий діаметр D , на величину $t_{чист}$ ($D_2 = D - 2t_{чист}$, рис. 3.22, в), яка визначається з умови зрівноваження радіальних складових сил різання на чистових 7, 12, 15 та чорновому 9 різцях за формулою (3.41).

На периферії корпусу та диска виконані чотири симетрично розміщені пази типу «ластівчин хвіст», в які встановлені напрямні елементи 16, виконані із поліуретану. Для фіксування інструменту в отворі та зменшення впливу різноманітних коливань на якість оброблення діаметр описаного кола по напрямних (D_1) більший діаметра описаного кола навколо вершин чистових різців (діаметра оброблюваного отвору D) на величину $D_1 - D = 1-2$ мм. Направні зміщені в напрямку протилежному до напрямку подачі відносно вершин різальних елементів на певну величину і на них виконані забірні фаски для плавного їх входу в оброблений отвір.

3.3.8. Порівняння запропонованих ЧРГГ з асиметричним розміщенням лез з БМІ із симетричним розміщенням різців

Для порівняння продуктивності та якості оброблення запропонованих ЧРГГ [75] із конструкціями БМІ з симетричним по колу розміщенням різців скористаємось рис. 3.23.

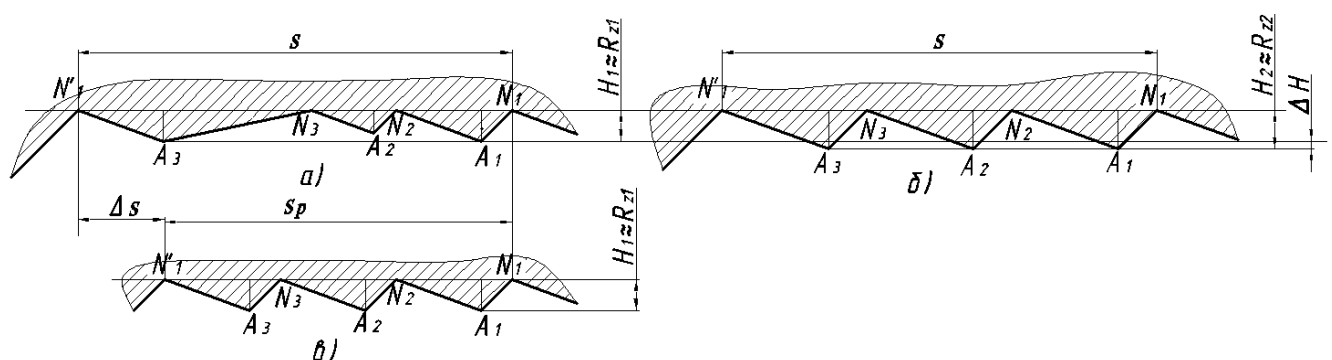


Рис. 3.23. Розрахункові профілі обробленої поверхні: а) запропованою розточувальною головкою з подачею s та висотою нерівностей профілю H_1 ; б) традиційними БМІ з рівномірним розміщенням різців подачею s з висотою нерівностей профілю H_2 ; в) традиційними БМІ з рівномірним розміщенням різців з забезпеченням висоти нерівностей H_1 та зменшеною подачею $s_p < s$.

Для схеми (рис. 3.23а) висота нерівності профілю H_1 визначиться з формули (2.19), а для схеми з трьома рівномірно-розміщеними по колу різальним елементами (рис. 3.23,б) висота мікронерівностей визначиться за формулою: $H_2 = \frac{s}{3(ctg\varphi + ctg\varphi')}$.

Для порівняння отриманих значень використаємо систему:

$$\begin{cases} H_1 = \frac{s}{tg\varphi \cdot (ctg\varphi + ctg\varphi')^2} \\ H_2 = \frac{s}{3(ctg\varphi + ctg\varphi')} \end{cases} \quad (3.42)$$

З системи (3.42) отримаємо:

$$H_1 = \frac{3H_2(ctg\varphi + ctg\varphi')}{tg\varphi \cdot (ctg\varphi + ctg\varphi')^2} \quad (3.43)$$

Спростивши (3.43) будемо мати:

$$H_1 = \frac{3H_2}{1 + tg\varphi \cdot ctg\varphi'} \quad (3.44)$$

При кутах в плані різців $\varphi = 45^\circ$, $\varphi' = 20^\circ$ отримаємо:

$$H_1 = 0,8H_2$$

Розглянемо варіант з забезпеченням однакової висоти мікронерівностей з запропонованим розміщенням різців (рис. 3.23а), подача для якого визначається за формулою (2.19) та традиційним, з рівномірним розміщенням по колу (рис. 3.23, в), подача для якого визначиться за формулою: $s_p = 3H_1(ctg\varphi + ctg\varphi')$. Розглянувши систему

$$\begin{cases} s_p = 3H_1(ctg\varphi + ctg\varphi') \\ s = H_1 \cdot tg\varphi \cdot (ctg\varphi + ctg\varphi')^2 \end{cases} \quad (3.45)$$

Поділивши в (3.45) перше рівняння на друге та визначивши s отримаємо:

$$s = s_p \cdot (1 + tg\varphi \cdot ctg\varphi')/3 \quad (3.46)$$

При кутах в плані різців $\varphi = 45^\circ$, $\varphi' = 20^\circ$ будемо мати: $s = 1.25s_p$

3.4. Чотиризубі зенкери з попарно-асиметричним розміщенням зубів для оброблення глибоких отворів

Основним завданням при проектуванні чотиризубих зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням зубів, які б забезпечували високі вимоги до точності і шорсткості оброблених поверхонь, є визначення величин подач на зубець s_{zi} і на оберт s заготовки чи багатолезового металорізального інструменту та значень центральних кутів θ_i , які визначають кутові положення зубців зенкера, а також величини корегування головного (за першим варіантом конструкторського виконання) або допоміжного (за другим варіантом конструкторського виконання) кутів в плані на певних зубцях [69, 70].

3.4.1. Конструктивні особливості чотиризубих зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням зубців за першим варіантом їх конструкторського виконання

Однією з особливостей конструкцій зубів зенкерів для оброблення глибоких отворів [116, 117] (рис. 3.24) є наявність на ГРК додаткової фаски величиною m під кутом φ_0 , яка разом з ДРК формує шорсткість обробленої поверхні. Тому для корегування головних кутів в плані на зубцях з метою зменшення висоти нерівностей профілю достатньо корегувати лише кут в плані додаткової фаски φ_0 .

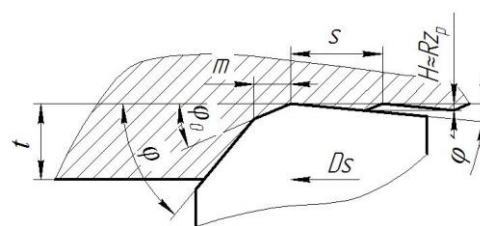


Рис. 3.24. Варіант заточування зуба зенкера з додатковою фаскою на ГРК

Для розв'язання поставленого завдання введемо систему координат uOx . Вісь x спрямуємо вправо – у напрямку протилежному до напрямку подачі, вісь u – вгору (рис. 3.25).

Виберемо на осі x довільну точку N'_1 , яка умовно зображатиме вершину першого зубця інструменту. Провівши промінь з N'_1 під кутом φ_0 (рекомендованим

кутом в плані додаткової фаски на ГРК в традиційних зенкерах) до осі Ox , отримаємо положення ГРК першого зубця в момент початку здійснення оберту. Другий зубець змістимо відносно першого на кут $\theta_{12} = \theta_{\min}$. Прийнемо, що $\theta_{\min} = 30 \dots 60^\circ$. Тоді, прийнявши, що допоміжний кут в плані φ' на всіх різцях однаковий, а також задавшись величиною нерівностей профілю обробленої поверхні $H \approx Rz_p = const$ та прийнявши значення головного кута в плані на першому зубці $\varphi_{01} = \varphi_0$, з $\Delta N_2 N'_1 B_1$ отримаємо значення подачі на другому зубці: $s_2 = H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi_0 + \operatorname{ctg} \varphi'_2)$.

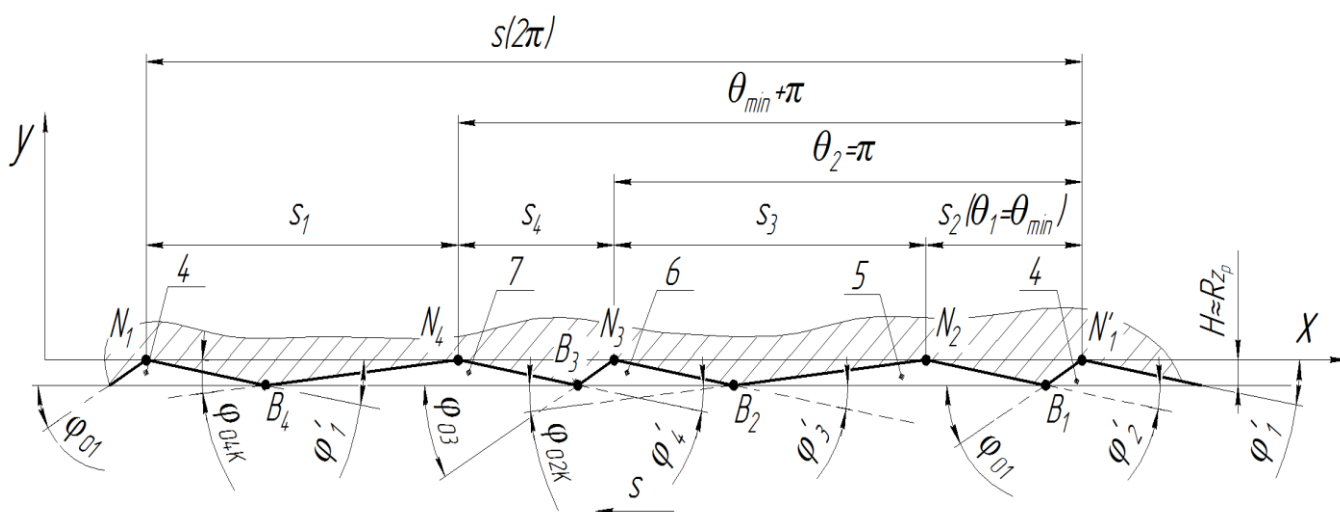


Рис. 3.25. Розрахунковий профіль обробленої поверхні зенкером з попарно-асиметричним розміщенням зубів за першим варіантом (з корегованими головними кутами в плані на допоміжних фасках зубців)

Вершину третього зубця відносно вершини першого зубця, а також вершину четвертого зубця відносно другого для зрівноваження радіальних складових сил різання змістимо на кут π . Враховуючи, що подача s_2 на другому зубці забезпечується таким конструкторським параметром, як його кутове розміщення відносно першого зубця $\theta_{12} = \theta_{\min}$, то подача на третьому зубці, використавши співвідношення $s_2 / s_3 = \theta_{\min} / (\pi - \theta_{\min})$, знайдемо із залежності

$$s_3 = \frac{s_2 \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} = \frac{H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi_0 + \operatorname{ctg} \varphi'_2) \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}}$$

Величина цієї подачі на рис. 3.25 умовно зображена відрізком $N_2 N_3$. Подача на четвертому зубці $s_4 = s_2$. Загальну подачу інструменту знайдемо, використавши

співвідношення $s_2 / s = \theta_{\min} / 2\pi$ за формулою

$$s = \frac{s_2 \cdot 2\pi}{\theta_{\min}} = \frac{H \cdot (\operatorname{ctg} \varphi_0 + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot 2\pi}{\theta_{\min}}.$$

Для забезпечення умови $H \approx Rz_p = \text{const}$ приймаємо значення головних кутів в плані додаткової фаски на першому і третьому зубцях $\varphi_{01} = \varphi_{03} = \varphi_0$. Кореговані значення головних кутів в плані (на додаткових фасках) на другому та четвертому зубцях, значення яких визначиться з $\Delta N_3 N_2 B_2$ (рис. 3.25) за формулою: $\varphi_{02K} = \varphi_{04K} = \operatorname{arcctg}(s_3 / H - \operatorname{ctg} \varphi')$. Підставивши замість s_3 отримане раніше значення та спростивши отримаємо:

$$\varphi_{02K} = \varphi_{04K} = \operatorname{arcctg} \left(\frac{(\operatorname{ctg} \varphi_0 + \operatorname{ctg} \varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} - \operatorname{ctg} \varphi' \right). \quad (3.47)$$

Таким чином, отримані залежності дають можливість сконструювати багатолезовий металорізальний інструмент нового типу – зенкер, який би забезпечив в порівнянні з традиційними підвищену якість обробленої поверхні при підвищеній продуктивності.

3.4.2. Конструктивні особливості чотиризубих зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням зубів за другим варіантом їх конструкторського виконання

Для визначення таких конструкторських елементів зенкерів як центральні кути розміщення зубів у площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструменту, величини допоміжних кутів в плані та подачі на кожному зубці зенкера, а також подачі на оберт інструменту (заготовки) в залежності від параметра висоти нерівностей профілю, скористаємось рис. 3.26. [79]

Скористаємось системою координат yOx аналогічно до попереднього випадку (п.п. 3.4.1). Виберемо на осі Ox довільну точку N'_1 , яка буде зображати вершину першого зубця зенкера та провівши промінь з N'_1 під кутом φ_0 до осі Ox , отримаємо положення головної різальної кромки першого зубця в момент початку здійснення оберту. Вершину другого зубця змістимо по колу відносно першого на кут $\theta_{12} = \theta_{\min}$, де $\theta_{\min} = 30 \dots 60^\circ$. Тоді, прийнявши, що головний кут в плані φ_0 на всіх різцях

однаковий, а також задавшись величиною висоти нерівностей обробленої поверхні $H \approx Rz_p = const$ та прийнявши значення допоміжного кута в плані на другому зубці $\varphi'_2 = 5...10^\circ$, отримаємо значення подачі з $\Delta N_2 N_1' B_1$: $s_2 = H \cdot (ctg \varphi + ctg \varphi'_2)$.

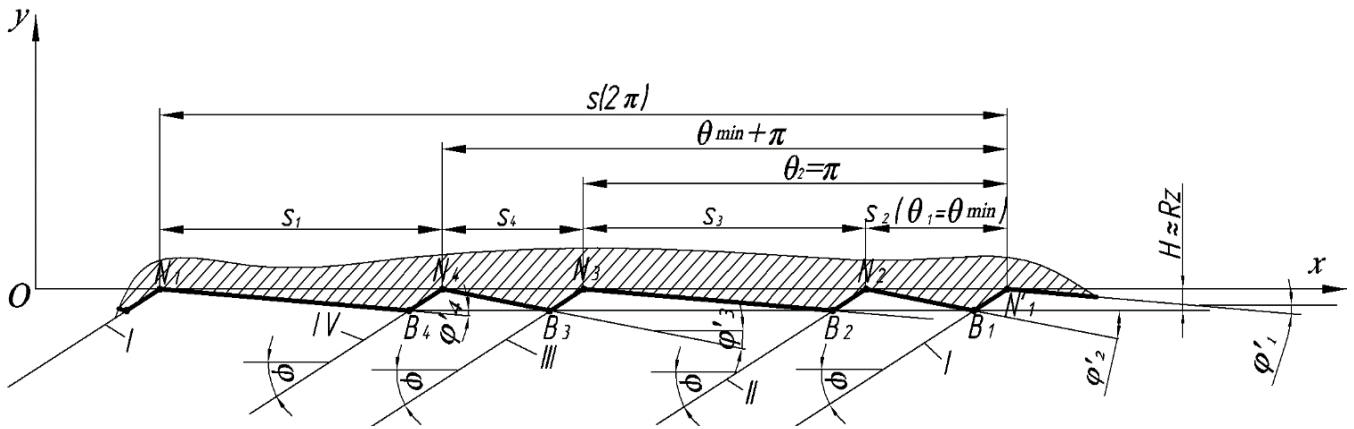


Рис. 3.26. Розрахунковий профіль обробленої поверхні зенкером з попарно-асиметричним розміщенням зубів за другим варіантом (з корегованими головними кутами в плані на допоміжних фасках зубців)

Вершину третього зубця відносно вершини першого зубця, а також вершину четвертого зубця відносно другого для зрівноваження радіальних складових сил різання змістимо на кут π . Враховуючи, що подача s_2 на другому зубці забезпечується таким конструкторським параметром, як центральний кут $\theta_{12} = \theta_{\min}$ подачу на третьому зубці, врахувавши співвідношення $s_2 / s_3 = \theta_{\min} / (\pi - \theta_{\min})$, визначимо із залежності

$$s_3 = \frac{s_2 \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} = \frac{H \cdot (ctg \varphi_0 + ctg \varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}}$$

Умовно подача s_3 на рис. 3.26 зображена відрізком $N_2 N_3$. Подача на четвертому зубці зенкера буде $s_4 = s_2$.

Загальну подачу інструменту знайдемо із співвідношення $s_2 / s = \theta_{\min} / 2\pi$:

$$s = \frac{s_2 \cdot 2\pi}{\theta_{\min}} = \frac{H \cdot (ctg \varphi_0 + ctg \varphi') \cdot 2\pi}{\theta_{\min}}$$

Для забезпечення умови $H \approx Rz_p = const$ прийнемо значення допоміжного кута в плані на четвертому і другому зубцях зенкера $\varphi'_4 = \varphi'_2 = \varphi' = 5...10^\circ$, а величини допоміжних кутів в плані на першому та третьому зубцях визначимо з $\Delta N_3 N_2 B_2$

(рис. 3.26) за формулою: $\varphi'_3 = \varphi'_1 = \text{arcctg}(s_3 / H - \text{ctg} \varphi_0)$. Підставивши замість s_3 його отримане вище значення та спростивши, отримаємо величину корегованих допоміжних кутів в плані на першому і третьому зубах

$$\varphi'_{3K} = \varphi'_{1K} = \varphi'_K = \text{arcctg} \left(\frac{(\text{ctg} \varphi_0 + \text{ctg} \varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} - \text{ctg} \varphi_0 \right) \quad (3.48)$$

3.4.3. Конструкція чотиризубого зенкера з попарно-асиметричним розміщенням зубів для оброблення глибоких отворів

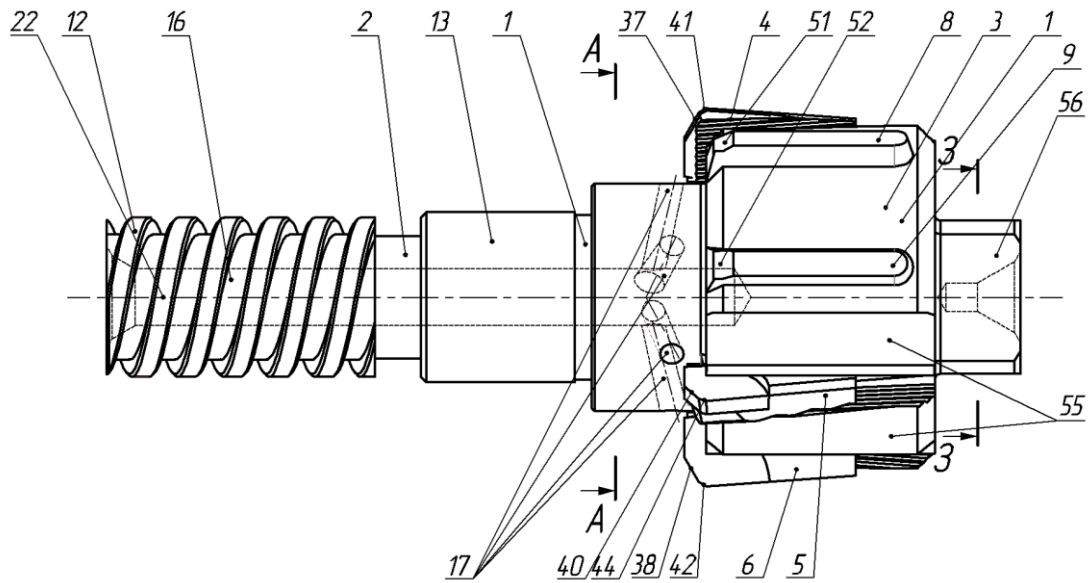
Зенкер [70, 140, 142, 143, 145] складається з корпусу 1 (рис. 3.27), на якому виконані хвостовик 2 і робоча частина 3 з чотирма різальними 4, 5, 6, 7 та чотирма напрямними 8, 9, 10, 11 елементами.

Хвостовик 2, на якому виконана двозахідна різь 12 та циліндрична поверхня 13, служать для співвісного з'єднання інструмента з оправкою. Діаметр описаного кола по напрямних 14 (рис.3.27, б) більший, ніж діаметр оброблюваного отвору 15. Для підведення МОТС в зону різання у хвостовику 2 виконаний центральний отвір 16 з каналами 17, що подають ЗОР до кожного з різальних елементів 4, 5, 6, 7.

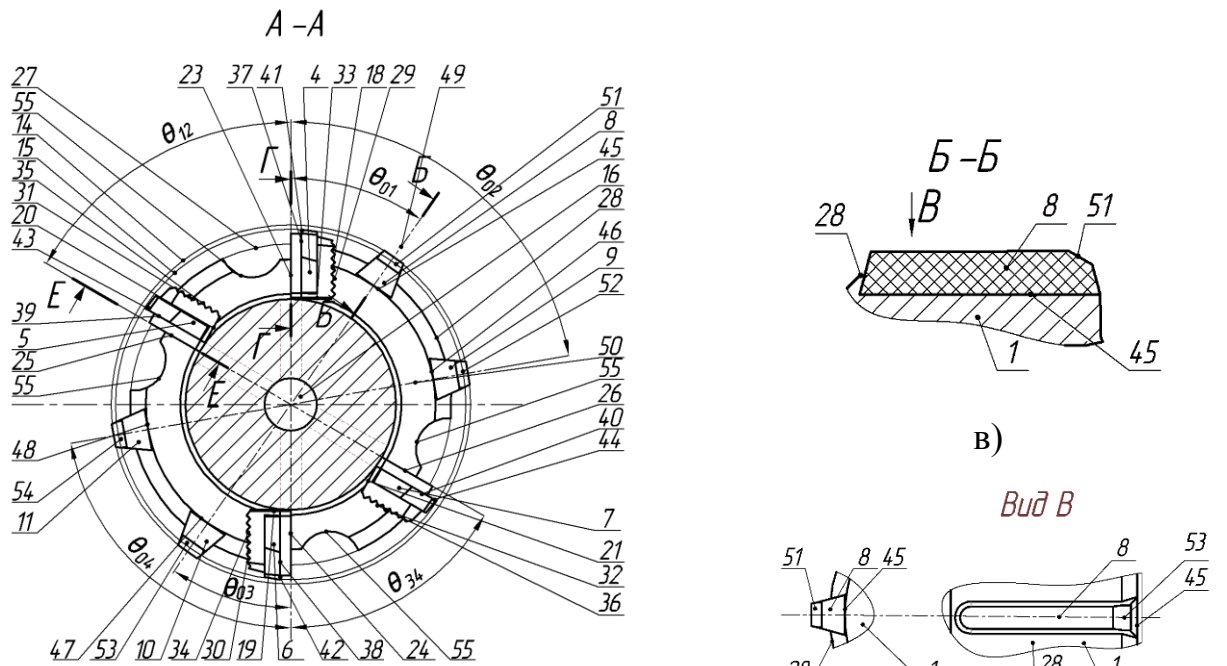
В робочій частині 3 корпусу 1 виконані чотири однакові клиноподібні пази, що попарно діаметрально протилежно розміщені, перший 18 по відношенні до третього 19 і другий 20 по відношенні до четвертого 21, які паралельні до поздовжньої осі 22 інструменту. Сліди перших плоских бічних поверхонь 23, 24, 25, 26 відповідних клиноподібних пазів 18, 19, 20, 21 в площині перпендикулярній до поздовжньої осі 22 інструменту, є нормалями до кола 27, утвореного перерізом цієї ж площиною зовнішньої циліндричної поверхні 28 робочої частини корпусу. На других бічних поверхнях 29, 30, 31, 32 клиноподібних пазів 18, 19, 20, 21, які розміщені під кутом ω , який є меншим від кута тертя, по відношенню до відповідних перших плоских бокових поверхонь 23, 24, 25, 26 клиноподібних пазів 18, 19, 20, 21, виконані рифлення 33, 34, 35, 36 (рис. 3.25, г, д, е, є, ж), що нахилені під кутом η до поздовжньої осі 22 інструменту.

Для визначення кута підйому рифлень скористаємось розрахунковими схемами на рис. 3.28, а, б та наступними міркуваннями: після зношування різального елемента в радіальному напрямку на величину h_r та перезагострювання на величину Δ його

перешліфують по передній поверхні на величину $a_{\min} = 0.1 \dots 0.2 \text{ мм}$.

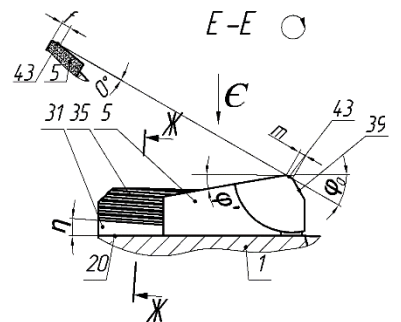
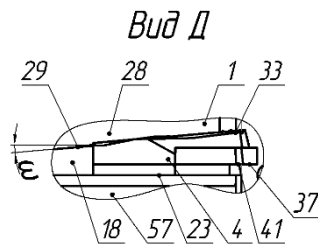
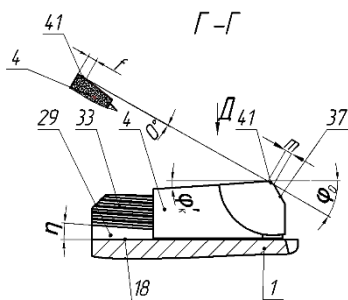


a)



б)

г)



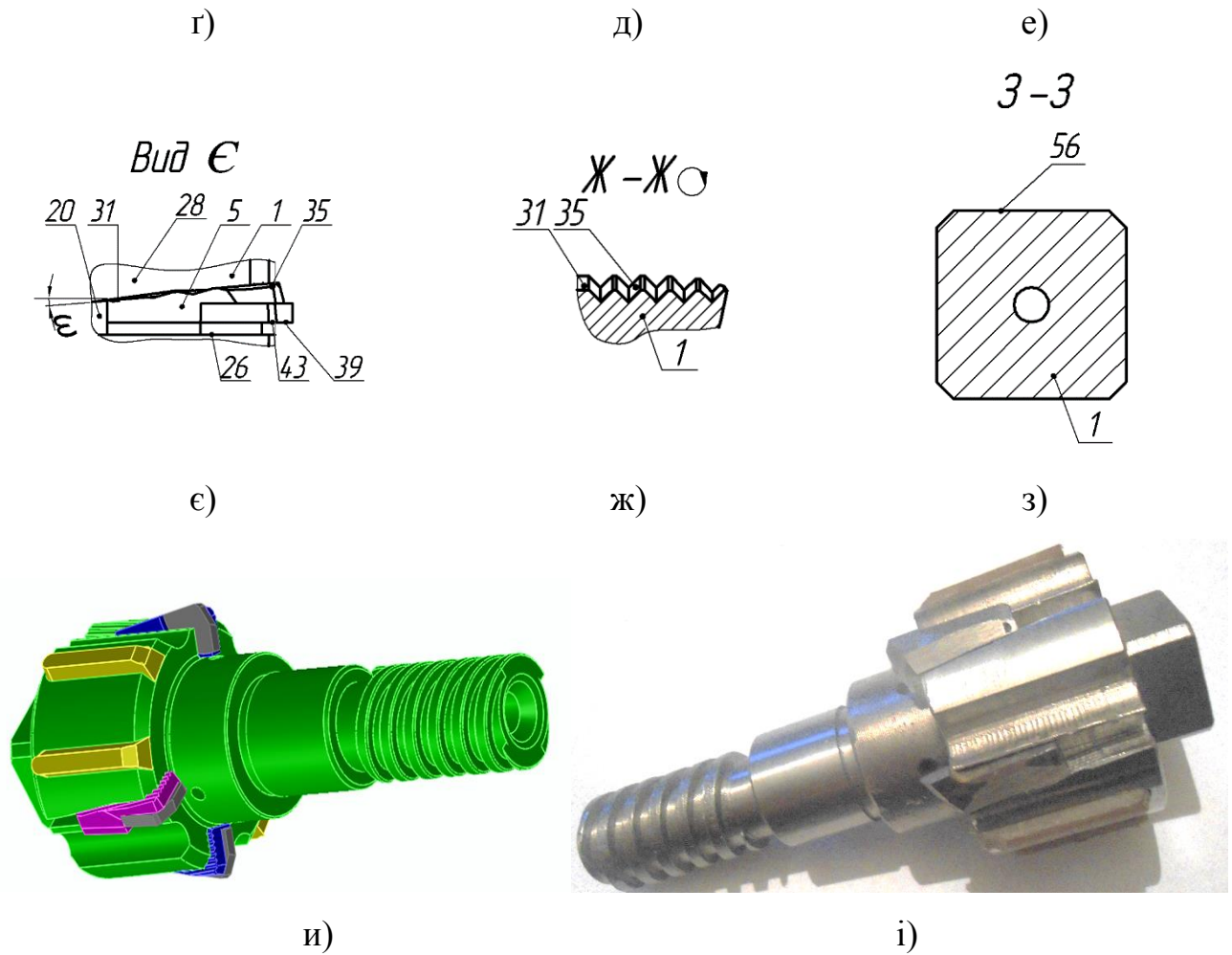


Рис. 3.27. Конструкція зенкера з попарно-асиметричним розміщенням різальних елементів для оброблення глибоких отворів циліндрів: а) головний вигляд; б) розріз в площині перпендикулярній до осі; в), г) вигляд напямної; г), д), е), е) вигляд різальних елементів; ж) вигляд рифлень; з) вигляд лисок під ключ; и) 3-D модель; і) фотографія

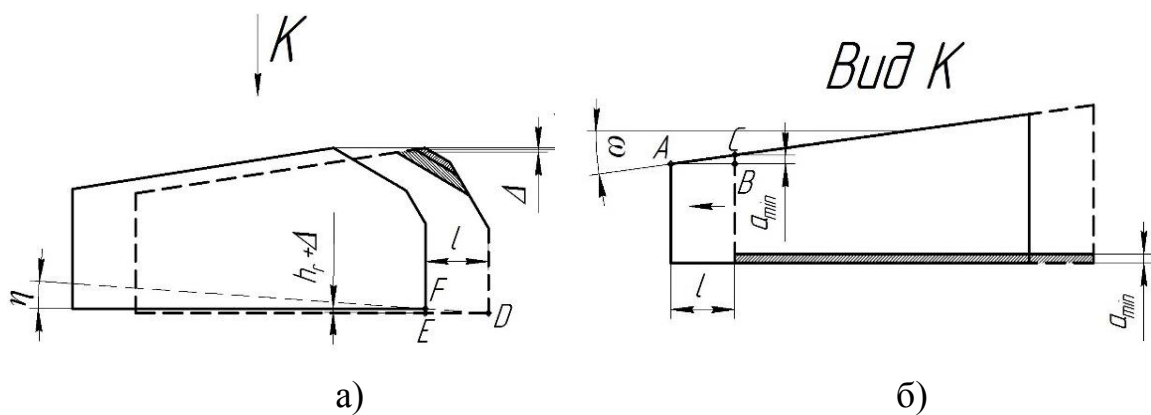


Рис. 3.28. Розрахункова схема для визначення кута підйому рифлень

Таким чином при повторному встановленні різальних елементів 4 в пази 13 вони перемістяться в осьовому напрямку на величину l , яку визначимо, розглянувши ΔABC ,

$$l = a_{\min} \cdot \operatorname{tg} \omega,$$

При цьому необхідно, щоб при переміщенні в осьовому напрямку на цю величину радіальне переміщення компенсувало величини зношування та переагострювання. Врахувавши вищевикладене і розглянувши ΔDEF отримаємо

$$\eta = \operatorname{arctg}((\Delta + h_r) / a_{\min} \cdot \operatorname{tg} \omega).$$

Центральні кути між першою плоскою бічною поверхнею 23 першого клиноподібного паза 18 і першою плоскою поверхнею 25 другого клиноподібного паза 20, а також кут між першою плоскою поверхнею 24 третього клиноподібного паза 19 і першою плоскою поверхнею 26 четвертого клиноподібного паза 21 в площині перпендикулярній до поздовжньої осі 22 інструменту однакові і рівні $\theta_{12} = \theta_{34} = \theta_{\min} = 30 - 60^\circ$ (рис. 3.25, б).

За першим варіантом конструктивного виконання інструменту [84] в клиноподібні пази 18, 19, 20, 21 відповідно встановлені різальні елементи 4, 6, 5, 7, з однаковими допоміжними кутами в плані $\varphi'_1 = \varphi'_2 = \varphi'_3 = \varphi'_4 = \varphi' = 5 - 10^\circ$, на допоміжних задніх поверхнях яких виконані нульові фаски шириною $f=0,1-0,8$ мм для підвищення розмірної стійкості інструменту [103]. На головних різальних кромках 37, 38 різальних елементів 4, 6, встановлених відповідно в першому 18 і третьому 19 клиноподібних пазах виконані фаски під кутом $\varphi_{01} = \varphi_{03} = \varphi_0 = 20 - 45^\circ$ до поздовжньої осі 22 інструменту, а на головних різальних кромках 39, 40 різальних елементів 5,7, які встановлені в другому 20 і четвертому 21 клиноподібних пазах виконані фаски під кутом до поздовжньої осі 22 інструменту, величина якого визначається за формулою (3.42).

За другим варіантом конструктивного виконання [84] інструменту в клиноподібні пази 18, 19, 20, 21 відповідно встановлені різальні елементи 4, 6, 5, 7, на головних різальних кромках 37, 38, 39, 40 яких виконані фаски 41, 42, 43, 44 довжиною $m=1,5-2$ мм та шириною $f=0,1-0,8$ мм [103] під кутом $\varphi_0 = 30^\circ$ до

поздовжньої осі 22 інструменту. В другий 20 і четвертий 21 клиноподібні пази відповідно встановлені другий 5 і четвертий 7 різальні елементи з допоміжними кутами в плані $\varphi'_2 = \varphi'_4 = \varphi' = 5-10^\circ$, а в перший 18 і третій 19 клиноподібні пази встановлені відповідно перший 4 і третій 6 різальні елементи з корегованими допоміжними кутами в плані, які визначаються за формулою (3.43).

В робочій частині 3 корпусу 1 виконані чотири попарно діаметрально протилежно розміщені однакові паралельні до поздовжньої осі 22 інструменту пази 45 до нього йому (відповідно першого і третього) визначено в площині перпендикулярній до поздовжньої осі 22 інструменту (рис. 3.25 б) центральними кутами, які утворені їх віссю 49 та боковими плоскими поверхнями 23 і 25 відповідно першого 18 та третього 20 пазів, значення яких визначають за формулою

$$\theta_{01} = \theta_{03} = 2\pi \frac{(1,5\dots2)b + B}{r_{en}},$$

де b – максимальна ширина паза типу «ластівчин хвіст»;

B – максимальна ширина клиноподібного паза;

r_{en} – радіус впадин пазів типу «ластівчин хвіст».

Положення другого 46 та четвертого 48 пазів визначають в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі 22 інструменту, центральними кутами, утвореними їх віссю 50 і бічними плоскими поверхнями відповідно 23 і 25 першого та третього пазів, значення яких визначається за формулою:

$$\theta_{02} = \theta_{04} = \pi - \theta_{\min} - 2\pi \frac{(3\dots3,5)b}{r_{en}}.$$

В ці пази встановлюють пружні напрямні елементи 8, 9, 10 і 11 які зміщені в напрямку, протилежному до напрямку подачі, відносно вершин різальних елементів на певну величину і на яких виконані забірні фаски 51, 52, 53, 54 для плавного їх входу в оброблений отвір (рис. 3.27, в, г). На робочій частині 3 корпусу 1 паралельно до поздовжньої осі 22 перед кожним з різальних елементів 4, 5, 6, 7 по відношенню до напрямку обертання виконані стружкові канавки 55 (рис. 3.27, а, б) для направленою відведення стружки із зони оброблення. В правій частині корпусу 1 виконані лиски 56 під ключ для закріплення та зняття інструмента з оправки (рис. 3.27, з).

3.5. Висновки по розділу

1. Обґрунтовано технологічні (подача на оберт, подача на чистових різцях та глибини різання на чорновому та чистових різцях) та конструкторські (значення кутів у плані різців та їх кутове розміщення в поперечному перерізі інструменту) параметри трирізцевих розточувальних головок для оброблення глибоких отворів, що реалізують в процесі оброблення поділ припуску та подачі.

2. Запропонована методика проектування чотирирізцевих розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів з одним чорновим та трьома чистовими різцями з асиметричним розміщенням лез

3. В залежності від розміщення чистових різців ЧРРГ запропоновано два варіанти конструкторського виконання ЧРРГ відповідно з корегованим головним та допоміжним кутом в плані на третьому чистовому різці.

4. Для запропонованих варіантів конструкторського виконання ЧРРГ проведена оптимізація кутів в плані чистових різців з умови забезпечення максимальної продуктивності. Отримано комбінації кутів в плані для забезпечення максимальної подачі при обробленні запропонованими ЧРРГ.

5. Запропоновано варіант конструкції ЧРРГ з асиметричним розміщенням лез для комбінованого розточування глибоких отворів, в процесі роботи якої в корпусі виникають напруження розтягу.

6. При однакових геометричних параметрах різців та їх кількості запропоновані ЧРРГ за умови однакової висоти нерівностей профілю забезпечують на 25% вищу продуктивність, а при однаковій продуктивності – на 20 % нижчу висоту нерівностей в порівнянні з традиційними розточувальними головками із рівномірним по колу розміщенням різців.

7. Подана методика проектування спеціальних зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням зубців для обробки глибоких отворів циліндрів та запропоновано два варіанти їх конструкторського виконання

8. Запропонована конструкція зенкера з попарно-асиметричним розміщенням зубців для оброблення глибоких отворів, в процесі роботи якого в корпусі виникають напруження розтягу.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Програма експериментальних досліджень силових характеристик процесу оброблення та якісних показників обробленої поверхні

Відповідно до мети дисертаційної роботи та поставлених задач, а також проведеного теоретичного аналізу, програма експериментальних досліджень включає такі етапи.

1. Здійснення виробничих випробувань на роботоздатність розроблених інструментів.

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

3. Розробити конструкції спеціального обладнання для проведення лабораторних випробувань, зокрема спеціального динамометричного пристрою та патрону для закріплення заготовок.

4. Проведення лабораторних досліджень для визначення впливу елементів режиму різання, зокрема глибини різання та подачі, на осьову силу та крутний момент для запропонованих розточувальних головок та спеціальних зенкерів.

5. Оброблення отриманих результатів та встановлення емпіричних залежностей осьової сили та крутного моменту від подачі та глибини різання запропонованими БМІ.

6. Проведення порівняльного аналізу отриманих осьової сили та крутного моменту при оброблення запропонованими БМІ з аналогічними силовими характеристиками, отриманими при використанні традиційних інструментів.

7. Запропонувати методику визначення впливу подачі та тангенціальну силу різання при розточуванні та зенкеруванні з урахуванням теорії малої вибірки.

8. Здійснення оцінки шорсткості оброблених поверхонь та порівняння отриманих дослідні зразки із зразками оброблених поверхонь, отриманих

традиційними інструментами.

9. Розроблення методики визначення економічної ефективності оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь глибоких отворів циліндрів при використанні запропонованих технічних рішень.

4.2. Методика проведення експериментальних досліджень силових характеристик процесу розточування та зенкерування тонкостінних циліндрів з глибокими отворами

4.2.1. Експериментальні лабораторні дослідження силових параметрів процесу зенкерування отворів зенкерами з асиметричним розміщенням лез на основі теорії планування експерименту

Метою лабораторних досліджень було:

- встановлення залежностей осьової сили різання та крутного моменту від зміни подачі та глибини різання;
- оцінювання шорсткості обробленої поверхні при обробленні запропонованими інструментами.

Прийнято, що факторами, які головним чином впливають на осьову силу та крутний момент, є глибина різання та подача. Інші фактори, такі як швидкість різання, діаметр оброблення прийняті постійними [81].

Таким чином в результаті досліджень необхідно встановити залежність осьової сили та крутного моменту від s і t .

$$P_o = f(t, s) \quad (4.1)$$

$$M = \psi(t, s) \quad (4.2)$$

В якості границь зміни факторів s і t прийняли такі їх значення: $t = 0.5 - 2$ мм; $s = 0.2 - 0.4$ мм/об. Відомо [178, 179], що осьову силу різання та крутний момент можна описати степеневою залежністю. При стабілізації інших факторів P_o та M можна записати так:

$$P_o = C_p \cdot t^{x_p} \cdot s^{y_p} \quad (4.3)$$

$$M = C_M \cdot D \cdot t^{x_M} \cdot s^{y_M} \quad (4.4)$$

де C_p і C_M – постійні коефіцієнти; D – діаметр оброблення, мм; x_p , x_M – показники степені, що характеризують вплив глибини різання на величини P_o та M відповідно; y_p , y_M – показники степені, що характеризують вплив подачі на величини P_o та M відповідно.

Ці залежності нелінійні за факторами, тому, логарифмуючи, зводимо їх до лінійного вигляду:

$$\lg P_o = \lg C_p + x_p \cdot \lg t + y_p \cdot \lg s \quad (4.5)$$

$$\lg M = \lg(C_M \cdot D) + x_M \cdot \lg t + y_M \cdot \lg s \quad (4.6)$$

Введемо позначення:

$$y = \lg P_o; \quad a_0 = \lg C_p; \quad a_1 = x_p; \quad a_2 = y_p; \quad z = \lg M; \quad b_0 = \lg(C_M \cdot D); \quad b_1 = x_M; \quad b_2 = y_M; \\ t = \tilde{x}_1; \quad s = \tilde{x}_2.$$

Отримаємо

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_{12} \cdot x_1 x_2, \quad (4.7)$$

$$z = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + a_{12} \cdot x_1 x_2. \quad (4.8)$$

Рівняння (4.21) та (4.22) є постульованими емпіричними моделями залежностей осьової сили різання та крутного моменту від глибини різання та подачі.

Перетворимо незалежні змінні x_i в безрозмірні кодовані змінні за формулою [152]

$$x_i = \frac{2(\lg x_i^e - \lg x_i^g)}{\lg x_i^e - \lg x_i^h} + 1, \quad (4.9)$$

де x_i - кодоване значення i -го фактора; x_i - натуральне значення i -го фактора; x_i^e - натуральне значення верхнього рівня i -го фактора; x_i^h - натуральне значення нижнього рівня i -го фактора.

Результати зводимо в табл. 4.1

Використавши (4.14) і табл. 4.2, отримаємо:

$$x_1 = \frac{2(\lg x_1 - 0,301)}{0,301 - (-0,301)} + 1 = 3,322 \lg x_1, \quad (4.10)$$

$$x_2 = \frac{2(\lg x_2 - (-0,398))}{-0,398 - (-0,699)} + 1 = 6,6445 \lg x_2 + 3,6445. \quad (4.11)$$

Таблиця 4.1

Рівні зміни факторів

Рівні факторів	t, мм		s, мм/об	
	\tilde{x}_1	$\lg \tilde{x}_1$	\tilde{x}_2	$\lg \tilde{x}_2$
Верхній +1	2	0,301	0,2	-0,699
Нижній -1	0,5	-0,301	0,4	-0,398

Матриця планування експерименту набуде вигляду (табл. 4.2)

Таблиця 4.2

Матриця планування експерименту

№ дослідю	x_0	x_1	x_1	$x_1 x_2$	y, z
1	+	+	+	+	y_1, z_1
2	+	-	+	-	y_2, z_2
3	+	+	-	-	y_3, z_3
4	+	-	-	+	y_4, z_4

Коефіцієнти рівняння регресії 4.7 та 4.8 отримаємо за формулами, відповідно

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{N}; \quad b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N z_j}{N}; \quad a_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{N};$$

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} z_j}{N}; \quad a_{il} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} y_j}{N}; \quad b_{il} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} z_j}{N} \quad (4.12)$$

При побудові моделі необхідно забезпечити хорошу відтворюваність результатів дослідів. Тому вибираємо число повторних дослідів $r = 2$ [152]. Вибір визначається трудоемністю проведення експериментів та оброблення отриманих результатів. Для цього були розроблені заготовки, які зображені на рис. 4.1.

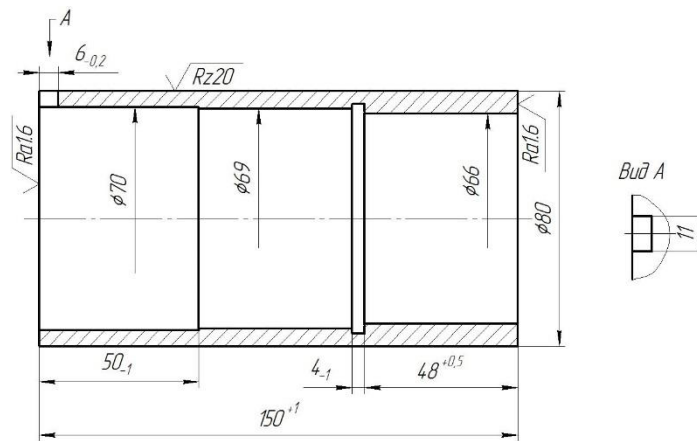


Рис. 4.1. Заготовка для проведення повнофакторного експерименту

Дисперсію відтворюваності дослідів визначали із залежностей відповідно [152]:

$$S^2(y) = \frac{\sum_{v=1}^N \sum_{j=1}^r (y_{vj} - \hat{y}_v)^2}{N(r-1)} \quad (4.13)$$

$$S^2(z) = \frac{\sum_{v=1}^N \sum_{j=1}^r (z_{vj} - \hat{z}_v)^2}{N(r-1)} \quad (4.14)$$

Перевірку однорідності дисперсій здійснювали за критерієм Кохрена [152]

$$G = \frac{S_{v\max}^2}{S_v^2} \quad (4.15)$$

Якщо отримане значення менше від табличного (критичного), то гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Для перевірки значущості коефіцієнтів регресії визначали їх дисперсії за формулами [152]:

$$S(a_i) = \sqrt{\frac{S^2(y)}{Nr}} \quad \text{та} \quad S(b_i) = \sqrt{\frac{S^2(z)}{Nr}}, \quad (4.16)$$

і знаходили половину довжини довірчого інтервалу:

$$\Delta a_i = t_{кр} \cdot S(a_i) \quad \text{та} \quad \Delta b_i = t_{кр} \cdot S(b_i),$$

де $t_{кр}$ – критичне значення критерію Стюдента.

Коефіцієнт вважається значимим, якщо виконується умова:

$$|a_i| \geq \Delta a_i \quad \text{та} \quad |b_i| \geq \Delta b_i. \quad (4.17)$$

Інші коефіцієнти відкидаються

Перевірку адекватності моделі здійснювали за критерієм Фішера, який визначали за формулами:

$$F = \frac{S_{ad}^2(P)}{S^2(y)} \text{ та } F = \frac{S_{ad}^2(M)}{S^2(z)}, \quad (4.18)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності, що визначається за формулами:

$$S_{ad}^2(P) = \frac{r}{N-m} \sum_{v=1}^4 (\bar{y}_v - \hat{y}_v)^2, \quad (4.19)$$

$$S_{ad}^2(M) = \frac{r}{N-m} \sum_{v=1}^4 (\bar{z}_v - \hat{z}_v)^2, \quad (4.20)$$

де m – число членів апроксимуючого полінома.

Якщо виконується умова $F < F_{кр}$, то модель можна вважати адекватною.

Для оцінювання вкладу коефіцієнтів регресії в рівняння моделі використаємо коефіцієнт кореляції, який отримаємо за залежностями:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_v (\bar{y}_v - y_v)^2}{\sum_v (\bar{y}_v - \bar{y})^2}} \quad (4.21)$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_v (\bar{z}_v - \hat{z}_v)^2}{\sum_v (\bar{z}_v - \bar{z})^2}} \quad (4.22)$$

4.2.2. Проведення експерименту в лабораторних умовах з використанням методу найменших квадратів

Для оцінювання впливу подачі та глибини різання на осьову силу та крутний момент, а також на шорсткість обробленої поверхні були розроблені спеціальні заготовки (рис.4.2).

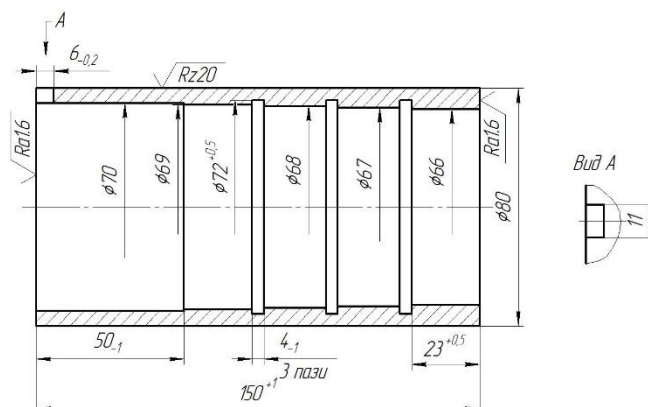


Рисунок.4.2. Заготовка для дослідження впливу глибини різання та подачі на осьову силу та крутний момент при обробленні

Глибина різання при цьому становить $t=0,5; 1; 1,5; 2$ мм, а подача $s=0,2; 0,3; 0,35; 0,4$ мм/об.

З урахуванням розроблених заготовок матриця планування експерименту [152] набуде вигляду (табл. 4.3):

Таблиця 4.3.

Значення глибини різання та подачі для кожного з дослідів

№ заготовки	t	s	P_o, M
1	2	3	4
1	0,5	0,2	y_{11}, z_{11}
	1	0,2	y_{21}, z_{21}
	1,5	0,2	y_{31}, z_{31}
	2	0,2	y_{41}, z_{41}
2	0,5	0,3	y_{11}, z_{11}
	1	0,3	y_{21}, z_{21}
	1,5	0,3	y_{31}, z_{31}
	2	0,3	y_{41}, z_{41}
3	0,5	0,35	y_{11}, z_{11}
	1	0,35	y_{21}, z_{21}
	1,5	0,35	y_{31}, z_{31}
	2	0,35	y_{41}, z_{41}
4	0,5	0,4	y_{11}, z_{11}
	1	0,4	y_{21}, z_{21}
	1,5	0,4	y_{31}, z_{31}
	2	0,4	y_{41}, z_{41}

Отримані залежності (4.7) та (4.8) набудуть вигляду:

$$y = a_1 + b_1 \cdot x_1 + c_1 \cdot x_2, \quad (4.23)$$

$$z = a_2 + b_2 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2. \quad (4.24)$$

Коефіцієнти a_1 , b_1 , c_1 , а також a_2 , b_2 і c_2 визначали методом найменших квадратів із системи рівнянь:

$$\begin{cases} na + b \sum_{j=1}^n x_{1j} + c \sum_{j=1}^n x_{2j} = \sum_{j=1}^n y_j \\ a \sum_{j=1}^n x_{1j} + b \sum_{j=1}^n x_{1j}^2 + c \sum_{j=1}^n x_{1j} \cdot x_{2j} = \sum_{j=1}^n y_j \cdot x_{1j} \\ a \sum_{j=1}^n x_{2j} + b \sum_{j=1}^n x_{1j} \cdot x_{2j} + c \sum_{j=1}^n x_{2j}^2 = \sum_{j=1}^n y_j \cdot x_{2j} \end{cases} \quad (4.25)$$

Відповідно

$$C_p = 10^{a_1}; C_M = 10^{a_2}; x_p = b_1; x_M = b_2; y_p = c_1; y_M = c_2. \quad (4.26)$$

Визначали середньоквадратичні відхилення реальних значень від теоретичних за обома моделями.

4.3. Експериментальне обладнання для дослідження силових характеристик процесу оброблення глибоких отворів багатолезовими різальними інструментами

4.3.1. Спеціальний патрон для закріплення тонкостінних заготовок циліндрів з глибокими отворами

4.3.1.1. Технічні умови розроблення конструкції спеціального патрона

Запропоновано нову конструкцію спеціального трикулачкового патрона [78, 80] для закріплення заготовок діаметром $d=60-120$ мм., довжиною до 600 мм., яка базується на технологічному маршруті обробки тонкостінних циліндрів, та на принципі збереження постійності та сумісності баз. При цьому повинні виконуватися певні умови: циліндричні поверхні заготовки, які є технологічними базами, не повинні сприймати затискних зусиль при закріпленні заготовки; параметри базуючих поверхонь патрона (кулачків) повинні бути розраховані так, щоб при базуванні забезпечувалась максимальна площа їх контакту із зовнішньою циліндричною поверхнею заготовки; затиск заготовки (труби) необхідно здійснювати по її торцях; циліндричні базуючі поверхні кулачків повинні бути створені їх розточуванням в

затиснутому стані.

Окрім цього необхідно врахувати технічні обмеження, що виступають певними передумовами, а саме: сила затиску повинна обмежуватися міцністю на зминання торцевих поверхонь заготовки, які сприймають затискні зусилля; сила затиску не повинна перевищувати критичну силу Ейлера, тобто циліндр (стержень) не повинен втрачати стійкості, а отже й елементи режиму різання та сила різання повинні бути розраховані з врахуванням, вищеподаних обмежень. Запропоновано, що перша операція механічної обробки – фрезерна (фрезерування торців), а друга – токарна (обточування зовнішньої циліндричної поверхні). При цьому базування заготовки-труби здійснюється по внутрішній циліндричній поверхні в центрах (передній підпружинено-плаваючий), а за рахунок торцевих з рифленням поверхонь здійснюється затиск і передача крутного моменту.

Для реалізації поставлених передумов [78] необхідно визначити радіус розточування кулачків патрона (рис.4.3.).

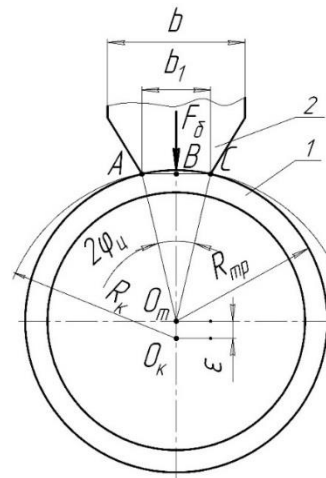


Рис. 4.3. Розрахункова схема для визначення радіуса кулачка R_k , який створюється розточуванням: 1 – заготовка (труба); 2 – кулачок трикулачкового патрона.

Із розрахункової схеми (рис. 4.3), використавши $\Delta O_m AB$, визначимо кут контакту $2\varphi_u$ труби 1 з циліндричною поверхнею кулачка 2, знаючи R_{mp} і b_1 :

$$2\varphi_u = 2\arcsin(b_1 / 2R_{mp}). \quad (4.27)$$

З іншого боку, задавшись силою F_{δ} , яка забезпечує тільки базування заготовки,

а не її затиск, і використавши [186], запишемо значення $2\varphi_u$ з умови контактної жорсткості:

$$2\varphi_u = \operatorname{arctg} 2\sqrt{(v_1 + v_2) \cdot F_3 / \varepsilon}, \quad (4.28)$$

де $v_1 = (1 - \mu^2) / \pi \cdot E$, $v_2 = (1 - \mu_1^2) / \pi \cdot E_1$.

У випадку, коли кулачки і труба виготовлені з одного матеріалу, рівняння (4.28) набуде вигляду:

$$2\varphi_u = 2\operatorname{arctg} 2\sqrt{2(1 - \mu^2)F_6 / \pi E \varepsilon}. \quad (4.29)$$

Необхідно відзначити, що зусилля F_6 не передбачає закріплення (затиску) заготовки в патроні, при якому виникло б спотворення початкової форми і внаслідок технологічної спадковості не забезпечилась би задана точність відхилень від круглості. Існуючі залежності [89, 188] розрахунку зусиль затиску заготовки в трикулачковому патроні з умов недопущення її прокручування в кулачках, чи зсуву її вздовж осі в процесі обробки не можуть використовуватись для визначення F_6 .

При обробленні високоточних циліндрів повинна здійснюватись оцінка похибок, які можуть виникнути внаслідок дії зусилля F_6 . Враховуючи те, що кулачки розточені за певним радіусом, можемо прийняти [37], що зусилля базування відповідає рівномірно-розподіленому радіальному навантаженню з інтенсивністю $q_0 = 3F_6 / 2\pi R_k$. Задавшись величиною зміни форми циліндричної оболонки (радіальним переміщенням – W) за напівбезмоментною теорією циліндричних оболонок Власова [37] визначили значення F_6 , яке буде одним із вихідних даних для розрахунку конструктивних параметрів трикулачкового патрона.

Визначивши F_6 та врахувавши, що $\arcsin b_1 / 2R_{mp} = \operatorname{arctg} b_1 / 2R_{mp} \sqrt{1 - b_1^2 / R_{mp}^2}$ і прирівнявши (4.27) та (4.29), отримаємо рівняння, з якого визначимо радіус кулачків:

$$R_k = \frac{32F_6(R_{mp}^2 - b_1^2)(1 - \mu) + b_1^2 \pi E R_{mp}}{b_1^2 \pi E} \quad (4.30)$$

Схеми розточування кулачків радіусом R_k , а також закріплення заготовки в патроні показані на рис. 4.4. Для реалізації цієї схеми необхідно, щоб кулачки мали довжину $L_k = (1,5 - 3,0) \cdot R_{mp}$ і в середній частині кулачків була б виточка шириною $L_6 = 1/3 L_k$. В

цю виточку встановлюють товстостінне кільце, внутрішній діаметр якого $d_{ек} > R_{мп}$. Затискають в патроні кільце зусиллям $F_{зк}$ і в такому стані здійснюють розточування кулачків, забезпечивши радіус R_k .

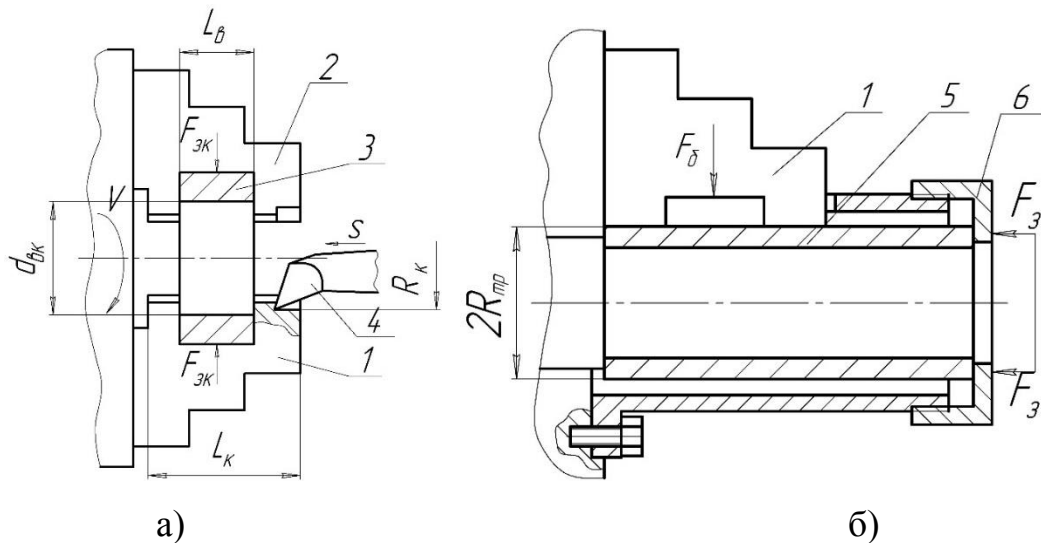


Рис. 4.4. Схеми розточування кулачків а) і закріплення заготовки в патроні б): 1,2 – кулачки; 3 – товстостінна втулка; 4 – розточувальний різець; 5 – оброблювана заготовка; 6 – затискна гайка.

В процесі різання виникає момент $M = 10P_z D/2$, $H \cdot мм$. Використавши [175], визначимо силу P_z , а врахувавши, що інструмент має n різальних елементів, отримаємо значення моменту різання:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = M_1 + M_2 + \dots + M_n$$

Крутний момент при різанні можна визначити за такою залежністю [179]

$$M = P_z \cdot D/2 = C \cdot t^{X_1} \cdot s^{Y_1} \cdot HB^{n_1} \cdot K_{np} \cdot D/2.$$

Наприклад, для розточувальної головки з одним чорновим і трьома чистовими різцями сумарний крутний момент визначимо з залежності

$$\begin{aligned} M &= C_4 \cdot t^{X_1} \cdot s^{Y_1} \cdot HB^{n_1} \cdot K_{np} \cdot D/2 + C_4 \cdot t_1^{X_1} \cdot s_1^{Y_1} \cdot HB^{n_1} \cdot K_{1np} \cdot D/2 + \\ &+ C_4 \cdot t_1^{X_1} \cdot s_2^{Y_1} \cdot HB^{n_1} \cdot K_{2np} \cdot D/2 + C_4 \cdot t_1^{X_1} \cdot s_3^{Y_1} \cdot HB^{n_1} \cdot K_{3np} \cdot D/2 = \\ &= C_4 \cdot HB^{n_1} \cdot D/2 \left(t^{X_1} \cdot s^{Y_1} \cdot K_{np} + t_1^{X_1} \left(s_1^{Y_1} \cdot K_{1np} + s_2^{Y_1} \cdot K_{2np} + s_3^{Y_1} \cdot K_{3np} \right) \right), \end{aligned}$$

який повинен, з одного боку, урівноважуватись моментом тертя, що виникає від сили

затиску F_3 , яка дорівнює

$$F_3 \geq \frac{C_4 \cdot HB^n \cdot D/2 \left(t^{X_1} \cdot s^{Y_1} \cdot K_{np} + t_1^{X_1} \left(s_1^{Y_1} \cdot K_{1np} + s_2^{Y_1} \cdot K_{2np} + s_3^{Y_1} \cdot K_{3np} \right) \right)}{2fD_{cp} K_3}, \quad (4.31)$$

а з другого боку – повинна витримуватись умова збереження стійкості тонкостінного циліндра при незащемлених торцях, яка виражається залежностями [153]:

- для недовгих циліндрів

$$F_3 < P_{кр} = \frac{\pi E \delta}{\sqrt{3(1-\mu^2)}}; \quad (4.32)$$

- для довгих циліндрів, коли довжина $l > (10...15)\sqrt{R\delta}$:

$$F_3 < P_{кр} = \frac{\pi ER^3 \delta}{(\mu l)^2}. \quad (4.33)$$

Для практичних розрахунків за формулами (4.32) та (4.33) потрібно визначити $P_{кр}$ і прийняти менше значення. Необхідно також врахувати умову міцності на зминання [113]:

$$\sigma = \frac{4F_3}{\pi(D_m^2 - d^2)} \leq [\sigma]_{зм}. \quad (4.34)$$

4.3.1.2. Конструкція спеціального патрону

Конструкція спеціального патрону (Додаток В) [80] розроблена на основі трикулачкового патрону за ГОСТ 12593 (DIN 55027), що складається корпусу 1 (рис. 4.5), який за допомогою гвинтів 21 жорстко з'єднаний з фланцем 19. В корпусі 1 встановлений спіральний диск 16, на одному торці якого нарізаний конічний зубчастий вінець 17, а на другому – архімедова спіраль 15. Спіральний диск 16 зубами 17 контактує з трьома конічними шестернями 18, які в осьовому напрямку зафіксовані штопорами 20 і за допомогою яких здійснюється його прокручування. Архімедова спіраль 15 диска 16 контактує з трьома кулачками 7, на торцях яких розміщені її елементи, і забезпечує їх рівномірне переміщення від та до центру в процесі повертання спірального диска 15.

Для забезпечення затиску по торцях заготовки на правому торці корпусу 1 встановлений фланець 8, який за допомогою гвинтів 3 жорстко з ним з'єднаний. Базування фланця 8 в корпусі 1 здійснено з допомогою кільцевої спеціальної виточки 2.

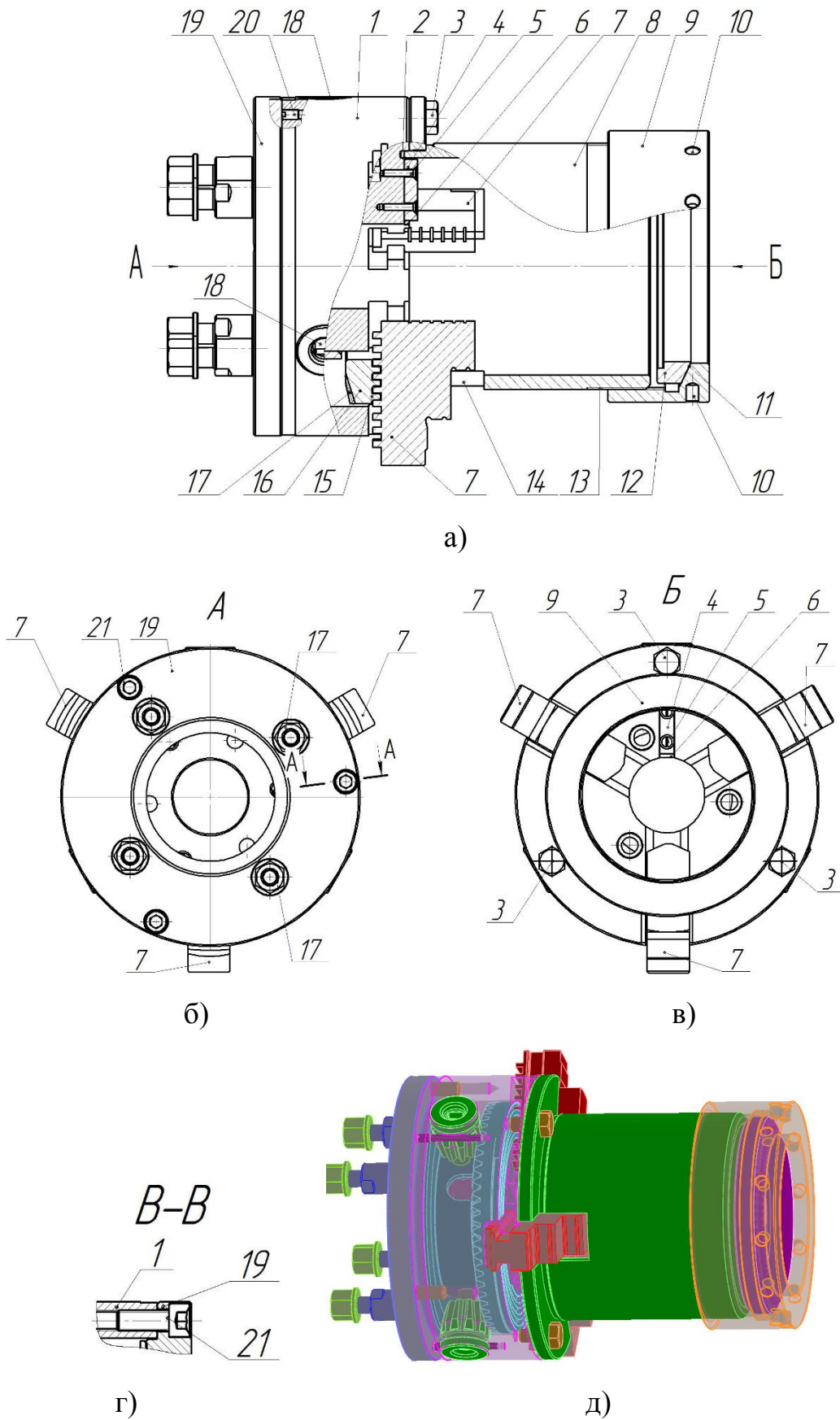


Рис. 4.5. Конструкція спеціального трикулачкового патрону для закріплення тонкостінних заготовок циліндрів з глибокими отворами: а) головний вигляд; б) вигляд А; в) вигляд Б; г) розріз В-В; д) 3-D модель

У фланці на лівому його торці виконані радіальні пази 14 для забезпечення вільного ходу кулачків 7 патрону. На правій частині фланця 8 на його зовнішній циліндричній поверхні виконана різь 13, на якій встановлена спеціальна затискна гайка 9. На зовнішній поверхні гайки по периферії розміщені отвори 10 для встановлення ключа при її закручуванні на фланець та для затиску заготовки. Внутрішня торцева поверхня 11 гайки 9 виконана сферичною і знаходиться в постійному контакті з проміжною втулкою 12. Для запобігання можливого прокручування заготовки на торці корпусу 1 виконаний радіальний паз 6, в якому за допомогою гвинтів 5 зафіксована шпонка 4.

Робота патрона забезпечується таким чином. Спочатку розточують кулачки, забезпечуючи радіус розточування, який визначено за залежністю (4.1). Заготовку, яку встановили на оправку пристрою, заводять в патрон і базують за допомогою кулачків, приклавши зусилля F_6 . Потім прокручуванням гайки створюють зусилля затиску. Проміжна втулка з сферичною поверхнею призначена для забезпечення рівномірного зусилля по всій площі контакту втулки із заготовкою навіть у випадку, коли торець заготовки має певне відхилення від перпендикулярності відносно його осі.

4.3.2. Спеціальний динамометричний пристрій для оброблення глибоких отворів циліндрів на токарному верстаті

Пристрій (рис. 4.6) складається (додаток Г) [82] з корпусу 32, в якому встановлена ексцентрикова втулка 34. Корпус виконаний зварним і складається з передньої плити 31 з центральним отвором 25, нижньої плити 29, що розміщена перпендикулярно до неї і служить основою для базування пристрою на поперечному супорті токарного верстата, двох великих 18 та двох малих 19 косинців і задньої плити 29.

Великі косинці 18 забезпечують жорсткість з'єднання передньої 31 та нижньої 29 плит. На одному з великих косинців 18 паралельно до нижньої плити 29 корпусу 32 виконана сходинка 17, в якій паралельно до її довшої сторони виконаний паз 27, із встановленою в ньому тензометричною пластиною 24 для вимірювання крутного моменту. Задня плита 22 знаходиться в нижній задній частині нижньої плити 29 і призначена для кріплення пристрою до поперечного супорта верстата за допомогою

гвинтів 20, що встановлені в її різьбові отвори 21. Жорсткість фіксування задньої плити 22 до нижньої плити 29 забезпечується малими косинцями 19.

Ексцентрична втулка 34 виконана триступеневою. Її базування в корпусі 32 здійснене з допомогою зовнішньої циліндричної поверхні 35 першої ступені 8 і торцевої поверхні 9 другої ступені 10 найбільшого діаметру. Торцевою поверхнею 9 другої ступені за допомогою гвинтів 30 ексцентрична втулка 34 притискається до передньої плити 31 корпуса 32. Вісь 36 зовнішньої циліндричної поверхні 35 першої ступені 8 та вісь центрального отвору 37 ексцентричної втулки 34 виконані зі зміщенням одна відносно одної. На циліндричній поверхні 11 найбільшої ступені 10 втулки 34 виконані отвори 12 для забезпечення її прокручування відносно осі 36 при налаштуванні пристрою. Центральний отвір ексцентрикової втулки 34 виконаний двоступеневим. В ступені 6 меншого діаметра встановлена оправка 4. На торцеву поверхню 13, розміщену між ступенями меншого діаметра та більшого діаметра центрального отвору 37, встановлена тензометрична пластина 14 для вимірювання осьової сили.

Оправка 4 виконана у вигляді валу, з лівого боку якого розміщений центральний отвір 3, в якому в порядку зліва направо знаходиться циліндрична поверхня 1, що використовується для базування, двозахідна різь 2 з прямокутним профілем для загвинчування інструменту та отвір 5 для підводу ЗОР. У місці закінчення отвору 5 для підводу ЗОР на оправці 4 виконаний радіальний отвір 39 із різзю, з'єднаною зі штуцером 38. В правій частині оправки 4 на певній відстані від краю, виконаний наскрізний радіальний отвір 28, в якому розміщена тензометрична пластина 14. До нього від правого краю оправки 4 виконаний осьовий отвір 16 з різзю, в який встановлений осьовий гвинт 23. Осьовий гвинт 23 призначений для передачі осьового зусилля з оправки 4 на тензопластину 14. На зовнішній циліндричній частині оправки виконана базова циліндрична поверхня 33, що використовується для базування оправки 4 у ексцентричній втулці 34. На кінці правої частини оправки 4 встановлена спеціальна втулка 26, яка через шпонку 15, що знаходиться в пазу 25 у правій частині оправки 4, передає крутний момент. Спеціальна втулка 26 жорстко з'єднана з важелем 40, на кінці якого розміщений спеціальний гвинт 41, що знаходиться в контакті з тензометричною пластиною 24.

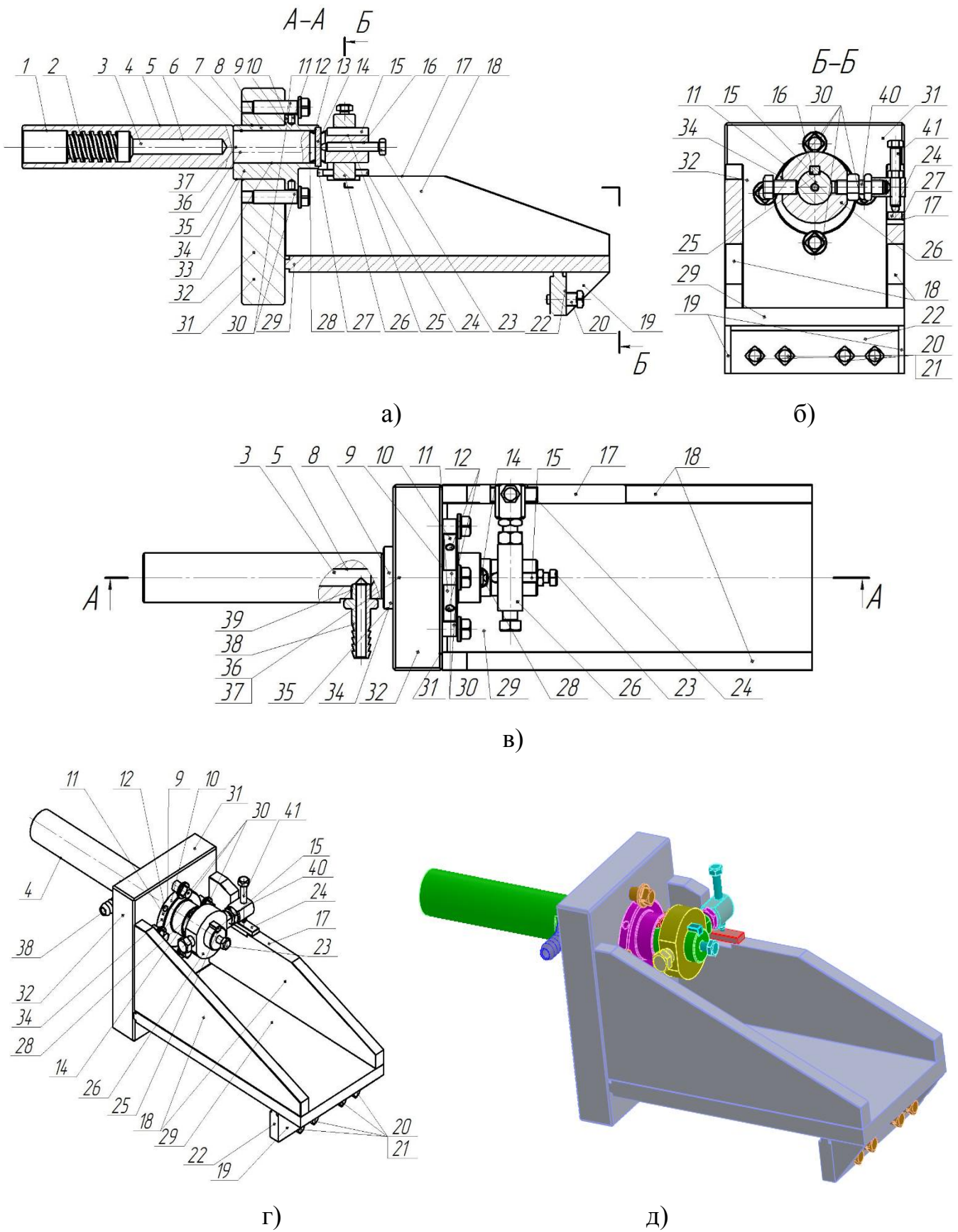


Рис. 4.6. Спеціальний пристрій для оброблення циліндрів з глибокими отворами на токарному верстаті: а) головний вигляд – розріз по А-А; б) вигляд зверху; в) розріз по Б-Б; г) аксонометрія; д) 3-D модель

Пристрій працює таким чином. Перед початком роботи до тензометричних пластин приклеюють тензометричні резистори. Їх підключають у «півміст» і через тензостанцію з'єднують з комп'ютером. Далі за допомогою спеціального пристосування з використанням динамометра їх тарують, визначаючи залежності прикладеного зусилля від величини прогину. Для визначення моменту отримані значення сили перемножують на відстань від осі оправки до пластини.

Пристрій фіксують на поперечному супорті токарно-гвинторізного верстата за допомогою гвинтів 20. В патрон верстата встановлюють контрольну заготовку, яка зображена на рис. 4.7 .

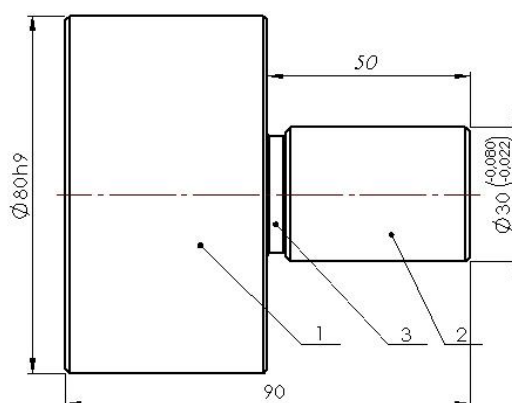


Рис. 4.7. Контрольна заготовка для налаштування пристрою

Контрольна заготовка складається із двох зовнішніх циліндричних поверхонь 1 і 2 відповідно більшого та меншого діаметрів. Більший діаметр відповідає теоретичному зовнішньому діаметру заготовки, яка закріплюватимемо в патроні, і, відповідно, радіусу розточених кулачків, а менший – діаметру базової внутрішньої циліндричної поверхні 1 оправки 4 пристрою. Між зовнішніми циліндричними поверхнями 1 і 2 розміщена виточка 3 для забезпечення виходу шліфувального круга при виготовленні заготовки.

Оправку 4 виймають з ексцентрикової втулки 34, знявши перед тим втулку 33 і важіль 25, та встановлюють на контрольну заготовку. З допомогою прокручування ексцентрикової втулки 34 та рукоятки поперечного супорта добиваються, щоб базова циліндрична поверхня 23 оправки 4 зайшла у центральний отвір ексцентрикової втулки 34, яку притискають до передньої плити 31 корпусу 32 гвинтами 30,

встановлюють в неї оправку 4 і втулку 33 з важелем 25. Осьовим 16 та спеціальним 40 гвинтами створюють невелике початкове навантаження на тензометричні балки.

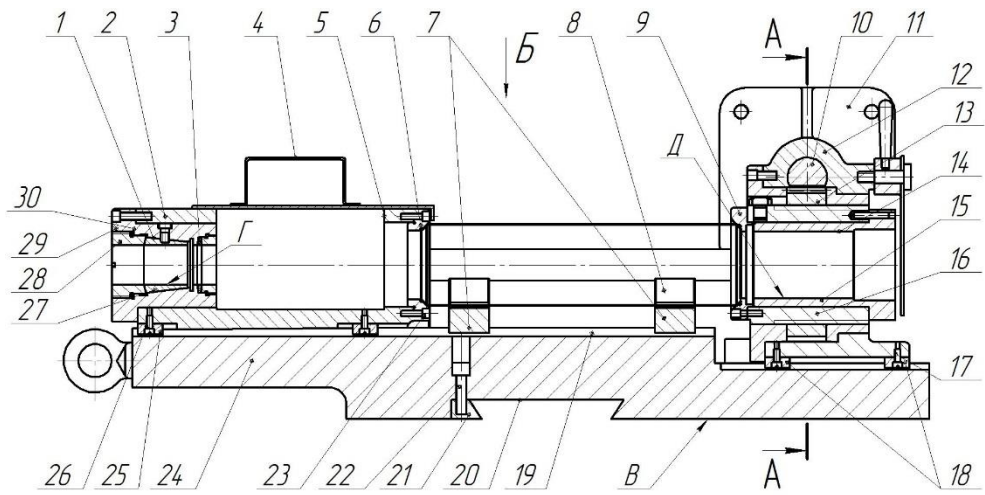
На оправку встановлюють заготовку, після чого закручують інструмент. Заготовку разом з інструментом заводять у патрон, де заготовку фіксують. Включають підведення МОТС, яка через штуцер, центральні отвори в оправці та інструменті, а також радіальні отвори в інструменті поступає в зону різання. Далі вмикають оберти шпинделя верстату (для запропонованих інструментів ліві) і подачу супорта (зліва направо). Після закінчення оброблення готову деталь знімають з патрона, а інструмент – з пристосування. На оправку встановлюють нову заготовку, закручують інструмент і процес починають спочатку.

4.3.3. Установа для проведення виробничих випробувань

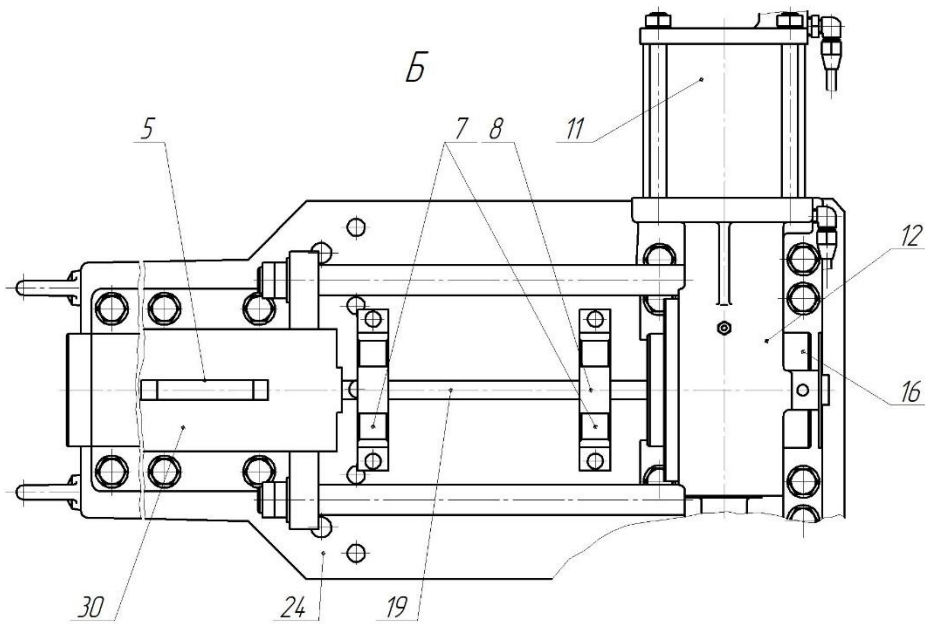
Установа (рис. 4.8) складається з плити 24 та розміщених на ній механізму базування заготовки 8, механізму базування інструменту 1 та механізму затиску 12.

В нижній частині плити 24 виконаний паз 20 для з'єднання типу «ластівчин хвіст» для з'єднання пристосування з поздовжнім супортом (на рис. не показано). Установку встановлено на поздовжньому супорті. Для базування використовується нижня площину В плити 24. Регулювання зазору в з'єднанні типу «ластівчин хвіст» здійснюється з допомогою клину 6 та гвинтів 7. На верхній плоскій поверхні плити 24 виконані Т-подібні пази 19 для встановлення інших механізмів.

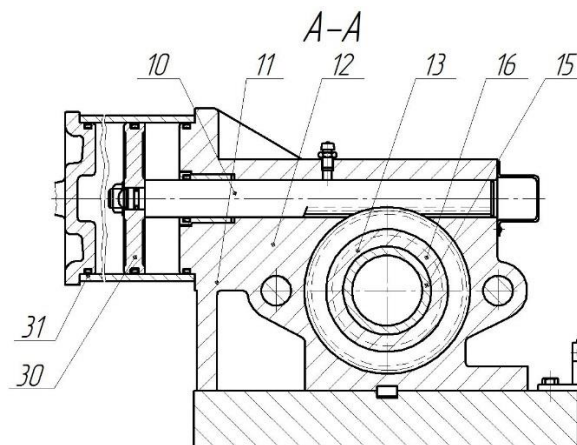
Механізм базування заготовки 8 виконаний у вигляді двох призм 7, які жорстко прикріплені до плити 24 з допомогою гвинтів. У лівій частині плити з боку шпинделя розміщений блок 30, що виконує функцію опори для заготовки та базування оправки інструменту в процесі оброблення. Блок 30 жорстко встановлений на плиті 24 і зафіксований гвинтами 26 та спеціальними шпонками 25. Основною частиною блока є корпус 8, що є деталлю типу втулки з вирізаним зверху вікном 5. Вікно 5 служить для змащування оправки з інструментом.



а)



б)



в)

Рис. 4.8. Установка для проведения производных испытаний инструментов с асимметричным размещением лез

З правого боку корпусу 8 в спеціальний виступ встановлена спеціальна втулка 6 з конічною внутрішньою торцевою поверхнею, що безпосередньо контактує із заготовкою. В іншому варіанті на торці втулки втулці передбачені рифлення. Зовнішня циліндрична поверхня спеціальної втулки 6 виконана ступеневою. Базування її в корпусі 8 здійснене з допомогою зовнішньої циліндричної поверхні меншого діаметра а фіксування – гвинтами 23.

З іншого боку корпусу 8 встановлений механізм базування оправки 14 інструменту. Основою механізму є фланець 29, що жорстко з'єднаний з корпусом 8 і базується в ньому за допомогою своєї зовнішньої циліндричної поверхні. У фланець 29 встановлена спеціальна конічна втулка 27, яка жорстко з'єднана з ним за допомогою гайки 28. Внутрішня поверхня втулки використовується як базова опорна поверхня для оправки інструменту. У внутрішній виточці фланця 29 розміщений гумовий ущільнювач 3 для запобігання потрапляння на контактуючі поверхні оправки і втулки пилу та інших речовин. Вікно 5 корпусу 8 закрито захисним кожухом 4.

У правій частині плити 24 встановлений механізм затиску 12. Він прикріплений до плити 24, як і механізм базування 8, за допомогою спеціальних шпонок 18, що встановлені в Т-подібні пази, і гвинтів 17. Механізм затиску складається з корпусу 11 коробчастої форми, в якому встановлена піноль 16, до лівого кінця якого зафіксована змінна втулка 9. На зовнішній циліндричній поверхні пінолі 16 нарізана різь, яка спряжена з гайкою 13. На зовнішній циліндричній поверхні гайки нарізаний зубчастий вінець, який контактує із рейкою штока 10, що зв'язаний з поршнем 33 пневматичної системи 31. У внутрішню поверхню пінолі 26 встановлена базуюча втулка 15, що служить для базування інструменту перед початком оброблення.

Пристрій працює таким чином. Перед початком роботи оправку без інструменту пропускають через корпус 8 механізму базування інструменту. Заготовку встановлюють на призми 7 і закріплюють. Поршень 33 переміщають разом зі штоком 10 вправо, при цьому гайка 13 обертається і піноль 16 переміщається, затискаючи заготовку по торцях втулками 6 і 9. Оправку пропускають крізь заготовку та напрямну втулку і загвинчують інструмент. Ручним переміщенням супорта вправо

забезпечується базування напрямних інструменту і поверхні Д. Включають оберти шпинделя і подачу. Після закінчення оброблення інструмент відкручують, встановлюють нову заготовку і процес повторюють.

4.4. Методика визначення впливу подачі на тангенціальну силу різання при розточуванні та зенкеруванні з використанням теорії малої вибірки та його реалізація

4.4.1. Методика визначення впливу подачі на тангенціальну силу різання при розточуванні та зенкеруванні

З урахуванням проведеного аналізу існуючих емпіричних залежностей впливу глибини різання та подачі на P_z для конкретного випадку при заданій $s_1 = \text{const}$ отримали залежність

$$P_{z_{s_i}} = K_{s_i} \cdot t, \quad (4.35)$$

де $K_{s_i} = C_4 \cdot s_i^{y_p} \cdot HB^n \cdot K_n \cdot K_\varphi \cdot K_r \cdot K_\gamma \cdot K_h = \text{const}$

Графічно залежності $P_{z_{s_i}} = f(t)$ подані на рис. 4.9, а. При цьому вважаємо, що $t_{\max} = 1 \text{ мм}$.

З рисунка 4.9, а випливає, що кутові коефіцієнти нахилу променів, які ілюструють залежності P_{z_i} від t залежать від величини подач, тобто: $\text{tg}\alpha_1 = K_{s_1} = P_{z_{s_1}}$; $\text{tg}\alpha_2 = K_{s_2} = P_{z_{s_2}}$; $\text{tg}\alpha_3 = K_{s_3} = P_{z_{s_3}}$; $\text{tg}\alpha_4 = K_{s_4} = P_{z_{s_4}}$; $\text{tg}\alpha_5 = K_{s_5} = P_{z_{s_5}}$; $\text{tg}\alpha_6 = K_{s_6} = P_{z_{s_6}}$.

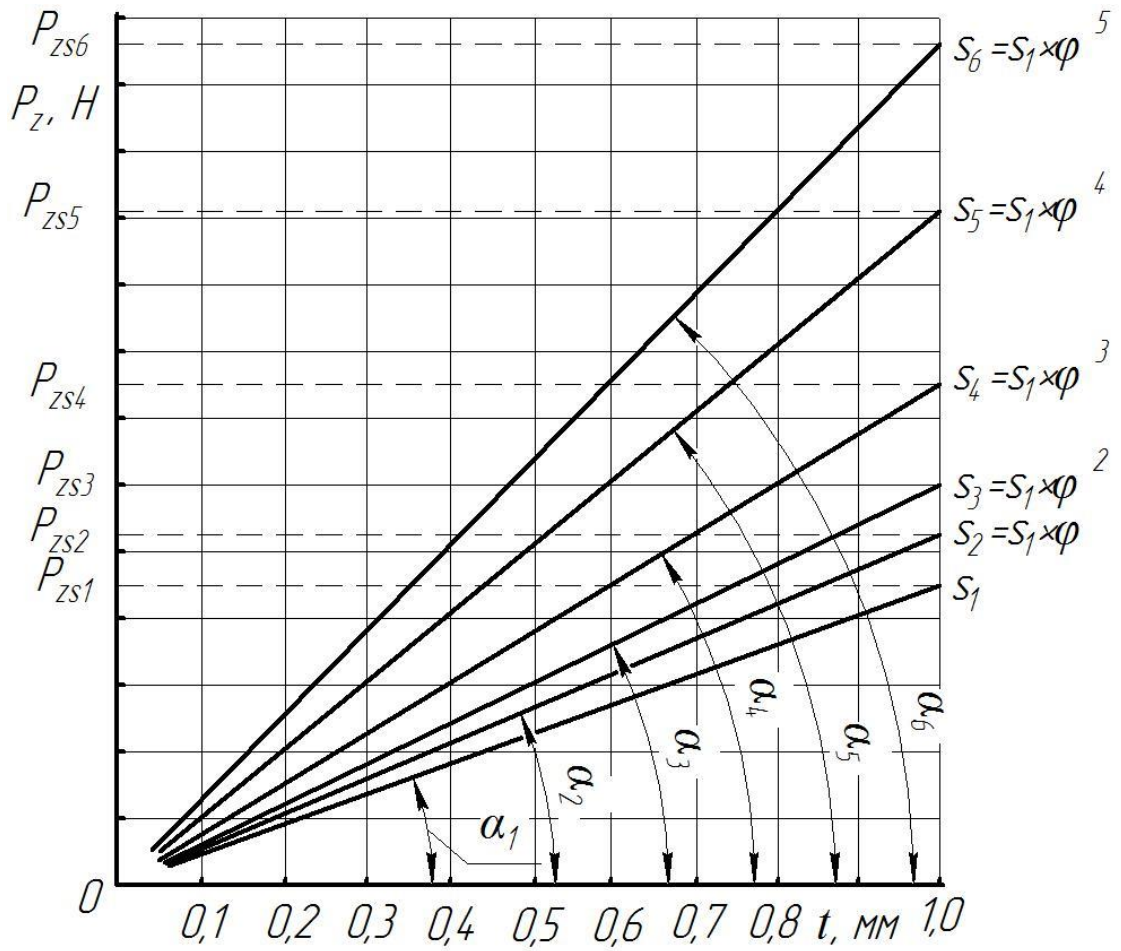
Взявши до уваги, що ряди подач токарних і свердлильних верстатів можна подати геометричними прогресіями, для конкретного випадку в загальному можна записати:

$$K_{s_i} = C_k (s_1 \cdot \varphi^{i-1})^{y_p}. \quad (4.36)$$

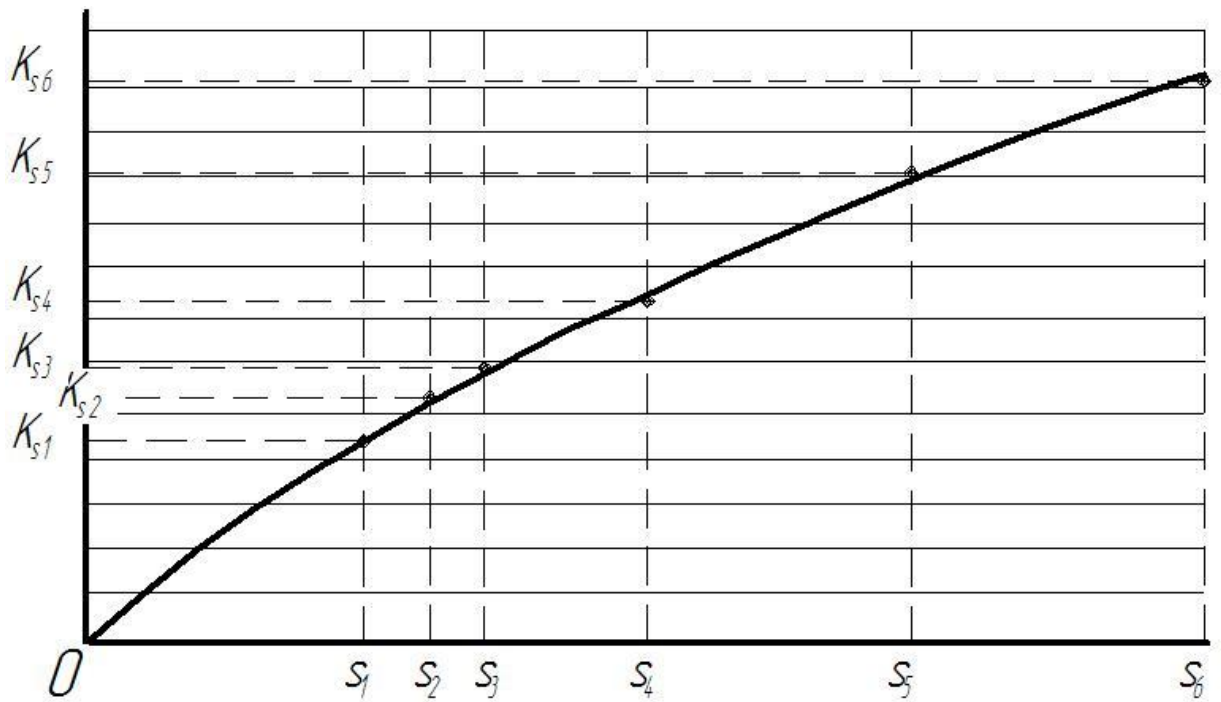
Залежність (4.36) графічно подана на рис. 4.9, б

Прологарифмувавши і обробивши отримані дані згідно з [21, 59], отримаємо залежність величини K від s у такому вигляді:

$$K_{s_i} = C_k \cdot s^{y_k} \quad (4.37)$$



а)



б)

Рис. 4.9. Графіки залежностей $P_{zs_i} = K_i \cdot t$, $K_i = \text{const}$ (а) та K_{s_i} від s

Тоді, врахувавши (4.37), залежність (4.35) набуде вигляду

$$P_{zsi} = C_k \cdot s^{y_k} \cdot t \quad (4.38)$$

Для реалізації цього методу використаємо установку, зображену на рис. 4.10. Установка складається з вертикально-свердлильного верстата 1, двокомпонентного динамометра 2 (рис. 4.11), тензометричної станції 3, зенкера 4, з параметрами: діаметр зенкера $D=16$ мм, головний кут в плані $\varphi = 30^\circ$, передній кут $\gamma = 10^\circ$, кількість зубів $n=3$, матеріал – Р6М5, заготовки у вигляді пустотілого циліндра з діаметром отвору 14 мм.

На рис. 4.11 подана конструктивна схема двокомпонентного динамометра для визначення осьової сили та крутного моменту при зенкеруванні. Динамометр складається з корпусу 1, виконаного у вигляді пустотілого циліндра із двома розміщеними на його торцях фланцями. В корпусі 1 вільно, з можливістю осьового переміщення встановлений шток 2, який своїм нижнім торцем опертий на кульку 2, що контактує з пружною горизонтальною балкою 4, до нижньої поверхні якої приклеєний тензорезистор 5. Корпус 1 жорстко кріпиться до основи 6. Посередині висоти корпусу 1 в його стінці виконаний наскрізний отвір, через який із зазором пропущений спеціальний важіль 7, що одним своїм різевим кінцем спряжений з різевим отвором, виконаним у штоці. На вільному кінці важеля 7 виконаний різевий отвір, вісь якого перпендикулярна до поздовжньої осі важеля. У цей різевий отвір встановлений гвинт 8 з контргайкою 9. Вільний кінець гвинта 8 контактує з вертикальною пружною тензобалкою 10, яка встановлена в пазах, виконаних у фланцях корпусу 1. На вільній поверхні вертикальної тензобалки 10 симетрично відносно осі гвинта 8 приклеєний тензорезистор 11.

Реалізація запропонованого методу здійснюється в такій послідовності. Вибирають один або декілька класів відповідних сплавів, наприклад, конструкційні якісні і леговані конструкційні сталі. З кожного із 2 класів вибирають по п'ять представників, наприклад, сталі марок: 20; 40; 60; 70; 65Г і 45Г2; 30ХГТ; 30ХМ; 40Х; 40Г2.

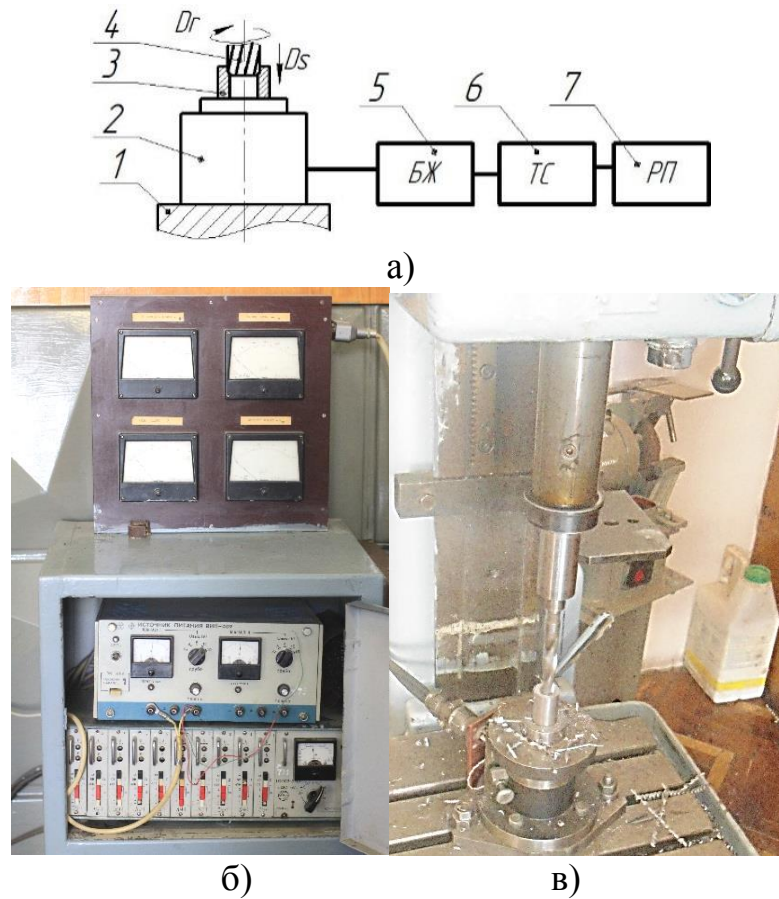


Рис. 4.10. Експериментальна установка а) для визначення P_o та $M_{кр}$ при свердлінні, розсвердлюванні, зенкеруванні тощо на базі вертикально-свердильного верстата: 1 – стіл вертикально-свердильного верстата; 2 – двокomпонентний свердильний динамометр; 3 – оброблювана заготовка; 4 – спіральне свердло; 5 – блок живлення; 6 – тензостанція; 7 – реєструючий пристрій; б) тензометрична станція «Топаз 10»; в) фрагмент зони оброблення із свердильним верстатом, зенкером та динамометром

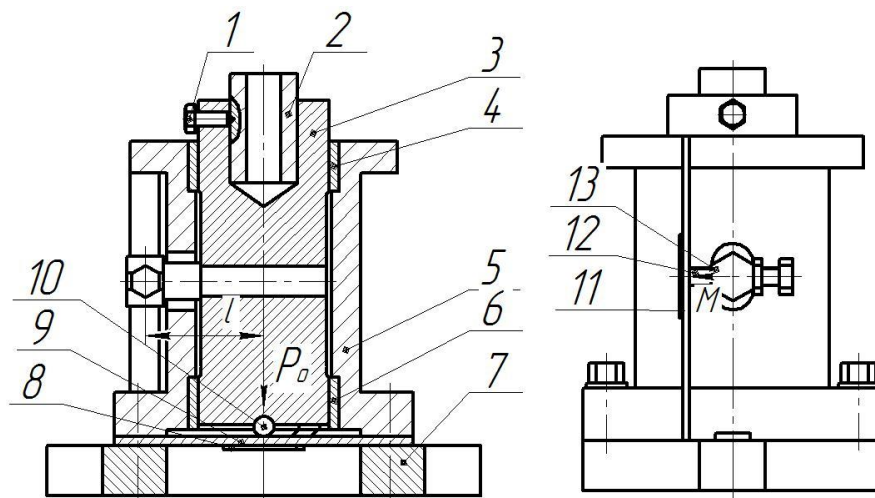


Рис. 4.11. Динамометр для вимірювання осової сили та крутного моменту при свердлінні, зенкеруванні, розсвердлюванні тощо

Вибирають інструмент тризубий зенкер із швидкорізальної сталі певного діаметру і геометричними параметрами, що відповідають діючим стандартам. Виготовляють заготовки із кожної з вибраних сталей у вигляді ступінчастих циліндрів з отвором діаметр якого дорівнює $d_{ot} = d_{zk} - 2$, мм., забезпечуючи при цьому глибину різання $t=1$ мм.

Використавши експериментальну установку здійснюють процес різання – зенкерування отвору кожної заготовки на кожній із встановлених на верстаті подач, а саме: $s_1 = s_{min}$; $s_2 = s_1 \cdot \varphi$; $s_3 = s_1 \cdot \varphi^2$; $s_4 = s_1 \cdot \varphi^3$; $s_5 = s_1 \cdot \varphi^4$ і $s_6 = s_1 \cdot \varphi^5$, (тут φ – знаменник геометричного ряду подач) і фіксують при цьому значення P_{zsi} , які заносять в табл. 4.4.

Грунтуючись на теоремі Ляпунова, значення сил $P_{zis_1}, P_{zis_2}, P_{zis_3}, P_{zis_4}, P_{zis_5}, P_{zis_6}$ прийmemo як випадкові величини, що підкоряються закону розподілу близькому до нормального [66].

Скориставшись [180, 216] і теорією малих вибірок [29], отримали залежності для визначення математичних сподівань, що приблизно дорівнюють середнім значенням, сил P_{zisi_j} , тобто $M(P_{zisi_j}) \approx \bar{P}_{zisi_j}$, та дисперсії їх розсіювання $D(P_{zisi_j})$

$$M(P_{zisi_j}) \approx \bar{P}_{zisi_j} = \frac{a+b}{2} \prod_{k=1}^{10} C_k + \sum_{k=1}^n \sum_{j=k}^n C_k \left\{ \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left(e^{-\frac{z_{1k}^2}{2}} - e^{-\frac{z_{2k}^2}{2}} \right) + t_k [\Phi(z_{2k}) - \Phi(z_{1k})] \right\}, \quad (4.39)$$

$$D(P_{zisi_j}) \approx \bar{P}_{zisi_j} = \frac{a+ab+b^2}{3} \prod_{k=1}^{10} C_k + \sum_{k=1}^n \sum_{j=k}^n C_k \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left[(\sigma \cdot z_{1k} + 2t_k) \cdot e^{-\frac{z_{1k}^2}{2}} - (\sigma \cdot z_{2k} + 2t_k) \cdot e^{-\frac{z_{2k}^2}{2}} \right] + (\sigma^2 + t_k^2) [\Phi(z_{2k}) - \Phi(z_{1k})] \left\} - M^2(P_{zisi_j}), \quad (4.40)$$

де $z_{1k} = \frac{a-P_k}{\sigma}$; $z_{2k} = \frac{b-P_k}{\sigma}$; $a = P_{kmin}$; $b = P_{kmax}$ (P_{kmin}, P_{kmax} – відповідно найбільше і найменше значення серед P_k ($k=1..n$) експериментальних даних випадкової величини P_z при певних значеннях подач s_q).

Таблиця 4.4

Таблиця значення $P_z(H)$ при зенкеруванні отвору $\varnothing 16$, глибиною різання $t=1$ мм і різними подачами для конструкційних якісних і легованих сталей

№ п/п	Марки сталей	Характеристики властивостей		Значення подач s , мм/об					
		НВ кг/мм ²	σ , МПа	$s_1=0.10$	$s_2=0.14$	$s_3=0.20$	$s_4=0.28$	$s_5=0.40$	$s_6=0.56$
1	20	156	400	P_{z1s_1}	P_{z1s_2}	P_{z1s_3}	P_{z1s_4}	P_{z1s_5}	P_{z1s_6}
2	40	156-197	580	P_{z2s_1}	P_{z2s_2}	P_{z2s_3}	P_{z2s_4}	P_{z2s_5}	P_{z2s_6}
3	60	229	690	P_{z3s_1}	P_{z3s_2}	P_{z3s_3}	P_{z3s_4}	P_{z3s_5}	P_{z3s_6}
4	70	269	730	P_{z4s_1}	P_{z4s_2}	P_{z4s_3}	P_{z4s_4}	P_{z4s_5}	P_{z4s_6}
5	65Г	240	750	P_{z5s_1}	P_{z5s_2}	P_{z5s_3}	P_{z5s_4}	P_{z5s_5}	P_{z5s_6}
6	45Г2	229	700	P_{z6s_1}	P_{z6s_2}	P_{z6s_3}	P_{z6s_4}	P_{z6s_5}	P_{z6s_6}
7	30Г	185	570	P_{z7s_1}	P_{z7s_2}	P_{z7s_3}	P_{z7s_4}	P_{z7s_5}	P_{z7s_6}
8	30ХМ	193	600	P_{z8s_1}	P_{z8s_2}	P_{z8s_3}	P_{z8s_4}	P_{z8s_5}	P_{z8s_6}
9	40Х	217	600	P_{z9s_1}	P_{z9s_2}	P_{z9s_3}	P_{z9s_4}	P_{z9s_5}	P_{z9s_6}
10	40Г2	217	670	P_{z10s_1}	P_{z10s_2}	P_{z10s_3}	P_{z10s_4}	P_{z10s_5}	P_{z10s_6}

Отримавши значення $M(P_{zi s_j})$ при певних s_j і подавши залежність $M(P_{zi s_j})$ від s_j у вигляді $M(P_{zi s_j}) = C_{P_{zi}} \cdot s^{y_{Pz}} \cdot t_p$, та припустивши, що $M(P_{zi s_j}) = f(s)$ неперервна, прологарифмуємо цю залежність і побудувавши графік в логарифмічній системі координат отримаємо значення $C_{P_{zi}}$ та y_{Pz} .

4.4.2. Реалізація методики на прикладі дослідження впливу подачі на тангенціальну силу різання при зенкеруванні отвору $\varnothing 16$ мм

Для знаходження якісних оцінок використаємо два методи: метод найменших квадратів і метод максимальної правдоподібності [194].

Критерієм порівняння оцінок при використанні методу найменших квадратів є мінімум суми квадратів відхилень результатів вимірювань величини, тобто

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{a})^2 = \min.$$

Використовуючи метод максимальної правдоподібності, за критерій оптимальності оцінок прийmemo функцію правдоподібності, яка є функцією густини розподілу всієї сукупності експериментальних даних. Шукані оцінки знаходять, виходячи з умови максимуму функції правдоподібності, що фактично відповідає максимуму функції ймовірності отримання саме тих результатів вимірювань, які були отримані в досліді. Візьmemo до уваги те, що у випадку, коли похибки підлягають нормальному закону розподілу, то оцінки, отримані цими методами, співпадають. Тому в подальшому будемо використовувати метод найменших квадратів.

4.4.2.1. Оцінювання грубих похибок (наявності аномальних значень) експериментальних даних

Здійснивши експериментальні дослідження впливу подачі s на тангенціальну складову сили різання P_z при зенкеруванні отвору $\emptyset 16$ мм. в конструкційних якісних і в конструкційних легованих сталях за методикою, поданою в п.п. 4.4., отримали експериментальні значення складової сили P_z , які подані у табл. 4.5.

Отримані статистичні ряди значень $P_{z s_i}$ перевіряли на однорідність, тобто наявність аномальних значень [90] методом "трьох арбітрів" за критеріями Греббса (t_k), Романовського (t_β), та Ірвіна (λ_{P_i}) [64]. Знайдені розрахункові й табличні значення критеріїв подані у табл. 4.6.

Аналіз отриманих даних показав, що у всіх статистичних рядах $P_{z s_i}$, які подані в табл. 4.5 аномальних значень (таких, які різко виділялись) немає.

4.4.2.2 Перевірка гіпотези про нормальність розподілу значень тангенціальної сили різання P_z при зенкеруванні за критерієм узгодження розподілу W

Методика перевірки за W критерієм [218] гіпотези про нормальність розподілу значень сил P_z , отриманих при зенкеруванні отвору діаметром 16 мм на відповідних подачах для 10-ти представників якісних та легованих сталей [105] полягає в наступному.

1. Використавши дані табл. 4.5, розмістимо значення $P_{z s_i}$, H , отримані при певних значеннях подач s_j при зенкеруванні отвору у сталях певних марок в порядку

Таблиця 4.5

Статистичні ряди експериментальних значень P_{Ze} , H , отриманих при зенкеруванні отвору $\varnothing 16$ з глибиною різання $t = 1$ мм і різними подачами s у конструкційних якісних і конструкційних легованих сталях

№ п/п	Марка сталі	Фізико-механічні характеристики сплавів, σ_B , МПа/НВ, МПа	Значення подач, s , мм/об					
			0,1	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56
1	45	650/2290	759	900	1175	1480	1885	2400
2	40	580/1970-2250	685	850	1035	1340	1715	2185
3	60	690/2290	855	1020	1315	1639	2095	2690
4	70	790/2680	895	1180	1510	1940	2465	3150
5	65Г	750/2725	860	1110	1380	1790	2250	2910
6	45Г2	700/2290	794	1000	1260	1615	2065	2630
7	30ХТ	570/1850-2290	780	970	1220	1580	2300	2560
8	40Х	600/2170	750	960	1195	1540	1970	2510
9	30ХМ	600/1930	690	865	1075	1405	1770	2260
10	40Г2	670/2170	760	955	1245	1560	1995	2540

Таблиця 4.6

Розрахункові й табличні значення критеріїв t_k , t_β та λ_{pi}

Критерії	Значення подач, s , мм/об					
	0,1	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56
1	2	3	4	5	6	7
	Значення критеріїв					
t_{ki}	1,93	1,82	1,57	1,77	1,72	1,82
t'_k табличне	2,43					
Оцінка	Так як $t_{ki} < t'_k$, то всі значення P_{Zi} в табл. 5.1. залишаються					
$t_{\beta i}$	1,58	1,87	1,57	1,78	1,72	1,83
t'_β	2,2					
Оцінка	Так як $t_{\beta i} < t'_\beta$, то всі значення P_{Zi} в табл. 5.1 залишаються					

Продовж. табл. 4.6

1	2	3	4	5	6	7
λ_{Pi}	0,76	1,06	1,31	1,29	1,02	1,33
$\lambda_{Pi} (0,95)$	1,40					
Оцінка	Так як $\lambda_{Pi} < \lambda_{Pi}, (0,95)$, то всі значення P_{Zi} (табл. 5.1) залишаються					

зростання у ранговий ряд (табл. 4.7).

2. Визначимо значення коефіцієнта S^2

$$S^2 = \sum_{i=1}^{10} P_{zi}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{10} P_{zi} \right)^2}{10}, \quad (4.41)$$

де $\overline{P_{zi}}$ – емпіричне середнє значення тангенціальної складової сили різання.

Таблиця 4.7

Рангові значення сил P_{zsj} , Н при відповідних подачах s_j для марок оброблюваних сталей

№ п/п (ранг)	Значення подач s , мм/об					
	0,1	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56
1.	685	850	1035	1340	1715	2185
2.	690	865	1075	1405	1770	2260
3.	750	900	1175	1480	1885	2400
4.	755	955	1195	1540	1970	2510
5.	760	960	1220	1560	1995	2540
6.	780	970	1245	1580	2015	2560
7.	794	1000	1260	1615	2095	2630
8.	855	1020	1315	1638	2250	2690
9.	860	1110	1380	1790	2300	2910
10.	895	1130	1510	1940	2465	3150

3. Прийmemo $k = n/2 = 10/2 = 5$ і визначаємо b :

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (x_{n-i+1} - x_i), \quad (4.42)$$

де a_{n-i+1} для $i=1 \dots k$ беруть із [218, табл. IX]

4. Використавши (4.41) та (4.42), визначаємо критерій W

$$W_p = \frac{b^2}{S^2} \quad (4.43)$$

5. Порівнюємо отримане за (4.43) значення W_p із табличним значенням цього критерію $W_{кр}$ [218, табл. X]. Вказана таблиця дає мінімальне значення $W_{кр}$, яке б отримали при ймовірностях 1, 2, 5, 10 і 50% при різних значеннях n , якщо би експериментальні дані дійсно підлягали нормальному закону розподілу.

Для вибірки обсягом $n=10$ та ймовірності 50% за [218, табл. X] $W_{кр} = 0,938$.

Розрахункові дані подані в табл. 4.8

Аналіз даних табл. 4.8 показує, що для всіх значень подач $W_p < W_{кр}$. Це дає право стверджувати, що гіпотеза нормального розподілу випадкових значень P_{zsi} , отриманих при різних значеннях подач, підтвердилась.

Таблиця 4.8

Розрахункові W_p і табличне $W_{кр}$ значення критерію W

Значення критерію	Значення подач s , мм/об					
	0,1	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56
W_p	0,943	0,944	0,973	0,953	0,967	0,953
$W_{кр}$	0,938					

4.4.2.3. Визначення характеристик розсіювання випадкових нормально розподілених величин P_{zsi}

На основі п.п. 5.2.3 визначимо характеристики розсіювання випадкових величин P_{zsi} (табл. 4.9).

Таблиця 4.9.

Вибіркові характеристики розсіювання випадкової величини P_z (Н), отриманих при обробленні експериментальних даних, поданих в табл. 5.1

Характеристики розсіювання випадкової величини P_z	Значення подач, s , мм/об					
	0,1	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56
Математичне сподівання, $M(P_z) \approx \bar{P}_z$ (Н)	751	950	1191	1545	1993	2515
Дисперсія розсіювання $D(P_z)$, Н ²	2470	4360	9840	12450	26000	32700
Середньоквадратичне відхилення, $\sigma(P_z)$,	49,7	66,0	99,2	115,6	161,2	180,8
Коефіцієнт варіації K_{var}	0,020	0,015	0,010	0,009	0,006	0,005
Максимальне значення, $P_{zmax} = \bar{P}_z + 3\sigma$ (Н)	900,1	1148,0	1488,6	1891,8	2426,6	3057,4

Враховувавши, що величина вибірок $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = n_5 = n_6 = 10$ для математичного сподівання, що приблизно дорівнює середньому значенню і дисперсії, відповідно $M(P_{zs_i}) = \bar{P}_{zs_i}$ і $D(P_{zs_i})$, скориставшись удосконаленим методом ітерацій за теорією малих вибірок [29] визначили шукані характеристики. Окрім цього визначили середнє квадратичне відхилення $\sigma(P_{zs_i})$, коефіцієнт кореляції K_{var} і максимальні значення тангенціальних складових сил різання $P_{zs_i \max}$.

Використавши методику п.п. 4.4 та обробивши дані методом найменших квадратів побудували графіки залежностей середнього \bar{P}_{zs_i} та максимального $P_{zs_i \max}$ значення тангенціальної складової сили від подачі в логарифмічних координатах (рис. 4.12, а). Перейшовши від логарифмічних до декартових координат (рис. 4.12, б), отримали залежності для їх визначення середнього значення \bar{P}_z від середнього значення подачі

$$\bar{P}_z = 3776 \cdot \bar{s}^{0.705} \cdot t. \quad (4.44)$$

Максимальне значення тангенціальної сили різання $P_{z \max}$ визначиться із залежності

$$P_{z \max} = 3776 \cdot (\bar{s} + 3\sigma(s))^{0.705} \cdot t. \quad (4.45)$$

4.4.2.4. Оцінювання істотності впливу подачі на вибіркові середні значення тангенціальної складової сили різання P_{zs_i} при зенкеруванні отвору $\emptyset 16$ мм

Визначення істотності впливу подачі на вибіркові середні значення тангенціальної сили різання \bar{P}_{zs_i} здійснювали за нульовою гіпотезою про неістотну відмінність між середніми значеннями \bar{P}_{zs_i} , $\bar{P}_{zs_{i+1}}$ за методом двох арбітрів – критерієм Стюдента t_k [64] та U -критерієм Вілкоксона [59]. Так як дослідження розподілу випадкових величин P_z було здійснювали за W -критерієм і на цій основі підтверджено, що розподіл випадкових величин нормальний, то використання критерію t_k не викликає сумніву і є виправданим.

Для кожної із вибірок $n_1=n_2<20$ критерій Стюдента t_k при $n_1 = n_2 = n = 10$ визначимо за формулою [64]

$$t_k = \frac{|\bar{P}_{zs_i} - \bar{P}_{zs_{i+1}}|}{\sqrt{D(P_{zs_i}) + D(P_{zs_{i+1}})}}. \quad (4.46)$$

Використавши дані про середні значення \bar{P}_{zs_i} та дисперсії $D(P_{zs_i})$ випадкових величин P_{zs_i} , отриманих при зенкеруванні отвору постійного діаметра при постійній швидкості різання, але різних подачах, поданих в табл. 4.9 та формулу (4.46), отримали значення t_{ks_i} , які подані у табл. 4.11

Методика використання U -критерію Вілкоксона [218] наступна. Маючи результати досліджень тангенціальної сили різання при зенкеруванні різних марок сталей на двох подачах s_i та s_{i+1} , відповідно, P_{zs_i} та $P_{zs_{i+1}}$ розмістили їх у порядку зростання (табл. 4.10).

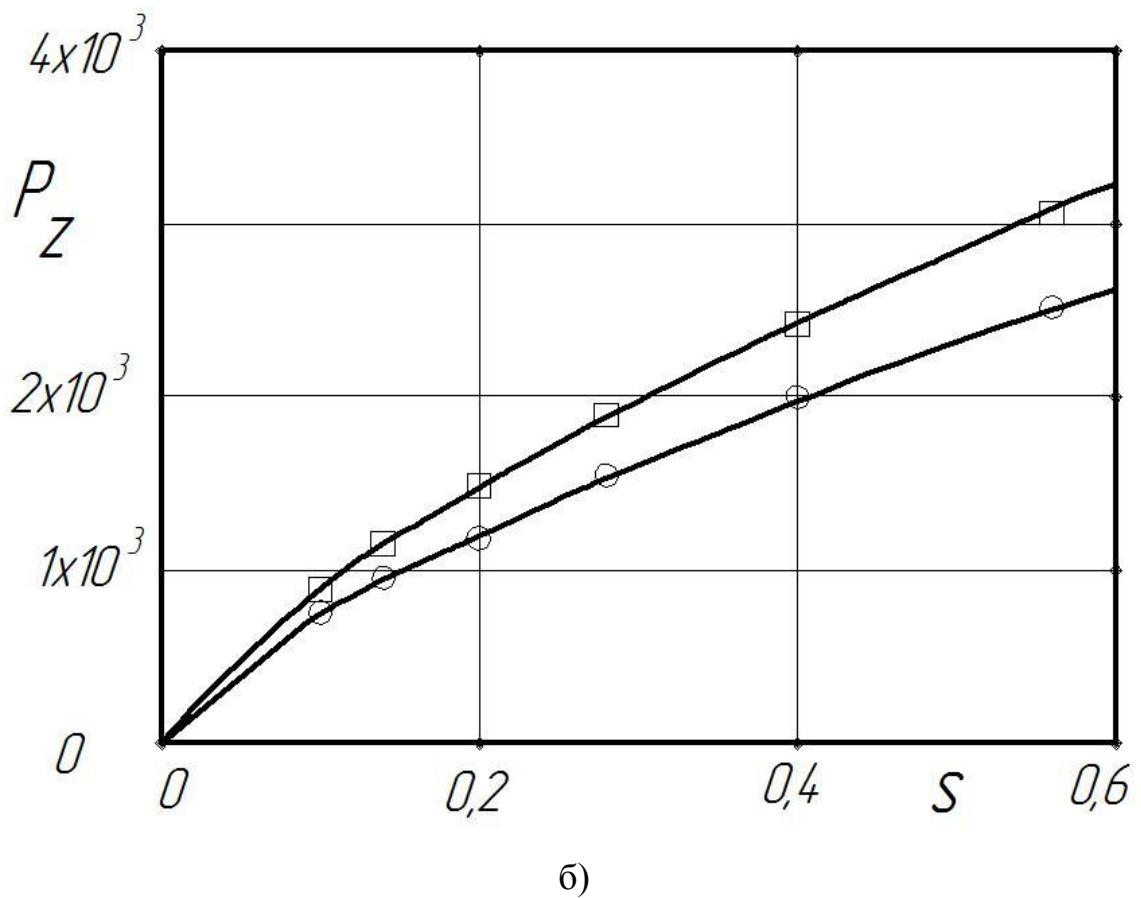
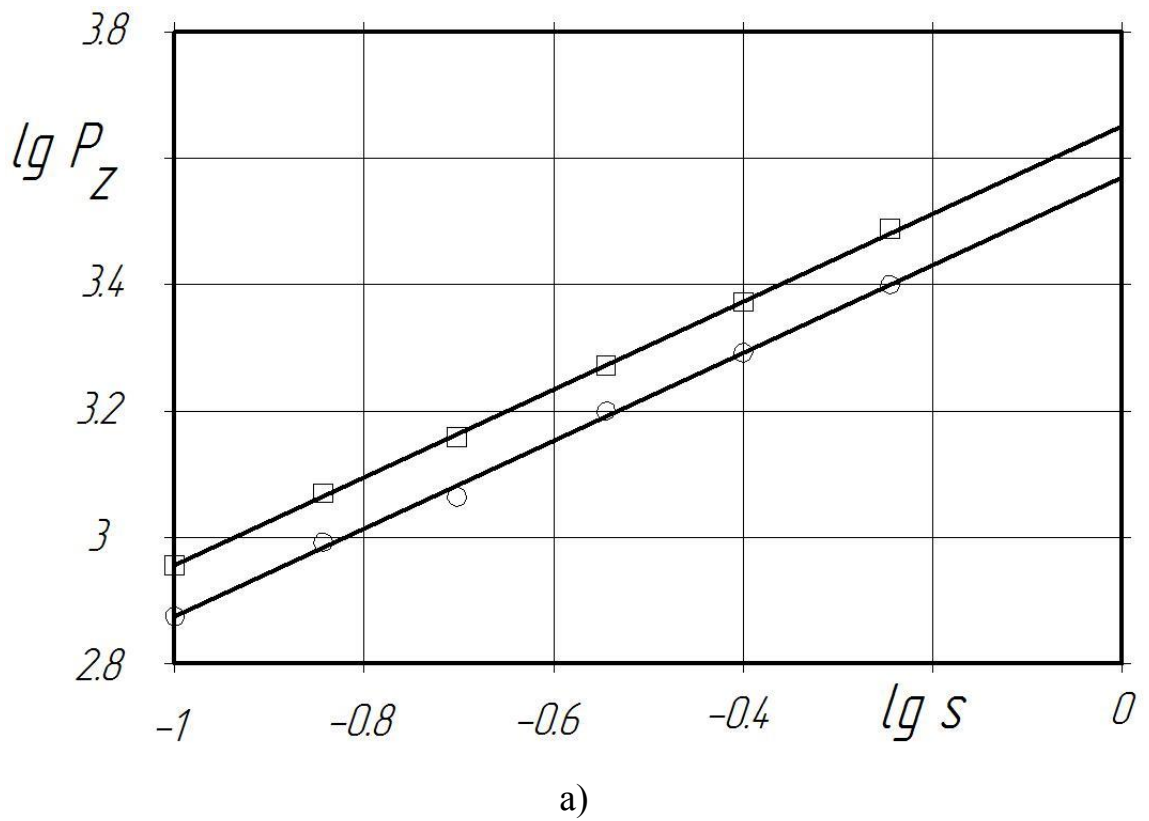


Рис. 4.12. Графіки залежностей \bar{P}_z та $P_{z \max}$ від значення подачі відповідно у логарифмічних а) і декартових б) координатах: \square — $P_{z \max}$; \circ — середньої \bar{P}_z

Таблиця 4.10

Рангові значення сил P_{zs_1} та P_{zs_2} при відповідних подачах $s_1 = 0,1$ мм/об та $s_2 = 0,14$ мм/об для визначення критерію Вілкоксона

Значення P_{zs_2} , Н	850	865	900	955	960	970	1000	1020	1110	1150
Ранг	9	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Значення P_{zs_1} , Н	685	690	750	755	760	780	794	855	860	895
Ранг	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11

Об'єднали обидві партії і позначили порядкові номери r_i , під якими зустрічаються значення тангенціальної сили різання із партій тангенціальних сил (табл. 4.10).

Для використання одностороннього U -критерію Вілкоксона необхідно підрахувати фактичне загальне число інверсій U у вищеподаній (табл. 4.10) послідовності. Значенню U -критерію відповідає загальне число інверсій – U_0 .

Використавши [59] число інверсій визначали за формулою

$$U_0 = \sum r_i - \frac{1}{2} n_1 (n_1 + 1), \quad (4.47)$$

де n_1 – кількість випробувань у партії ($n_1 = 10$)

За формулою (4.47) число інверсій буде дорівнювати

$$U = (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 9 + 10 + 12) - 1/2 \cdot 10(10 + 1) = 4$$

Використавши [218, табл. X], знаходимо, що ймовірність події $U < 1$ для $U = 4$ і $n_1 = n_2 = 10$ дорівнює 0,01, тобто менше 0,05. Ця ймовірність визначена із припущення, що значення P_{zs_i} і $P_{zs_{i+1}}$ незалежні і підпорядковані однакового неперервному розподілу – нормальному.

Таким чином нульова гіпотеза відкидається, тобто відхилення між $\bar{P}_{zs_1=0.1} = 751$ Н і $\bar{P}_{zs_2=0.14} = 950$ Н істотне і збільшення подачі з 0,1 мм/об до 0,14 мм/об суттєво впливає на \bar{P}_z .

Здійснвши аналогічно такі обчислення і для інших пар значень P_{zs_i} , знаходили значення критерію Стюдента та U -критерію для інших співвідношень $\overline{P_z}$, отриманих при інших значеннях s (табл. 4.11)

Таблиця 4.11

Розрахункові і табличні значення критерію Стюдента і U -критерію для значень P_{zs_i} , поданих в табл. 5.1

Критерії		Значення подач s , мм/об					
		0,1	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56
Стюдента	Розрахункове, t_k	7,28		7,11		3,99	
			6,07		6,25		
	$P(t_k)$	0,001					
U-критерій	U	4		7		5	
			0		6		
	$P(U)$	0,001		0,02		0,01	
			0,00		0,02		
	β	0,05					

Аналіз даних табл. 5.7 показує, що як за критерієм Стюдента, так і за U -критерієм Вілкоксона нульова гіпотеза про рівність середніх тангенціальних сил різання, отриманих при суміжних значеннях подач, відкидається.

Таким чином встановлено, що при зенкеруванні збільшення подачі на величину знаменника геометричної прогресії (в нашому випадку $\varphi=1,41$) істотно впливає на середнє значення тангенціальних сил при зенкеруванні.

4.4.2.5. Перевірка істотності впливу подачі на дисперсії розсіювання величини тангенціальної сили P_{zs_i}

Об'єктивна оцінка технологічної ефективності збільшення подачі при зенкеруванні на тангенціальну силу різання полягає в окремих перевірках істотності відмінностей між середньоквадратичними відхиленнями ($\sigma_i(P_z)$, $\sigma_{i+1}(P_z)$) і середніми

арифметичними відхиленнями $(\bar{P}_{zs_i}, \bar{P}_{zs_{i+1}})$ при одній подачі s_i і при змінній подачі s_{i+1} (тут i – порядковий номер подач, $i=1, 2, 3 \dots$).

Визначення істотності відмінностей між двома дисперсіями $D(P_{zs_{i+1}})$ та $D(P_{zs_i})$ здійснимо за критерієм Фішера F

$$F = \frac{D(P_{zs_{i+1}})}{D(P_{zs_i})}, \quad (4.48)$$

де $D(P_{zs_{i+1}}) > D(P_{zs_i})$, $s_{i+1} > s_i$, $s_{i+1} = s_i \cdot \varphi$.

Скориставшись даними табл. 4.9 і [64, табл. 53], а також порівнявши отримане значення F з табличним значенням F_T для рівня значущості 0,05 при значеннях $k_1 = n_1 - 1$ і $k_2 = n_2 - 1$ (у нашому випадку $n_1 = n_2 = 10$) і отримавши, що $F > F_T$, стверджуємо, що відмінність між дисперсіями $D(P_{zs_{i+1}})$ та $D(P_{zs_i})$ істотна.

Отримані значення F і F_T подані в табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Значення критеріїв Фішера для визначення істотності впливу s на P_z за дисперсіями

Критерії Фішера при $k_1 = k_2 = n_1 = n_2 = 10$	Значення подач s , мм/об					
	0,1	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56
	Дисперсії $D(P_z)$ розсіювання P_z, H^2					
	2450	4360	9840	12450	26000	32700
Розрахунковий F	1.765		1.347		1.257	
	2.257			2.088		
	3.984					
	5.02					
	10.256					
	13.239					
Табличний F_T	3,24					

Аналіз отриманих даних, поданих у табл. 4.12 показав, що збільшення подачі в загальному призводить до збільшення дисперсії $D(P_z)$. У випадку, коли подача зростає на величину знаменника геометричної прогресії ряду подач, відсутній істотний вплив подачі на дисперсії $D(P_{zs_{i+1}})$ та $D(P_{zs_i})$. Починаючи з подачі $s_3 = 0,2$ мм/об., дисперсії розсіювання величини (P_z) : $D(P_{zs_3})$, $D(P_{zs_4})$, $D(P_{zs_5})$, $D(P_{zs_6})$ істотно відрізняються від дисперсії розсіювання, отриманої при подачі $s_1=0,1$ мм/об.

4.5. Висновки по розділу

1. Запропоновано програму експериментальних досліджень, що дозволить здійснити ефективне випробування розточувальних головок та зенкерів з асиметричним розміщенням лез.

2. Запропоновано методику досліджень впливу елементів режиму різання (глибини різання та подачі) на осьову силу та крутний момент при обробленні глибоких отворів циліндрів запропонованими інструментами

3. Подано обґрунтування параметрів та конструкцію патрона для затиску тонкостінних циліндрів

4. Подано конструкції спеціального динамометричного пристрою для вимірювання осьової сили та крутного моменту при обробленні глибоких отворів, а також конструкцію модернізованого пристрою для проведення заводських випробувань.

5. Запропоновано удосконалений метод визначення впливу подачі на тангенціальну силу при зенкеруванні з урахуванням матеріалу заготовки в імовірнісному аспекті з використанням теорії малої вибірки, а також подано його реалізацію

РОЗДІЛ 5

ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ РОЗРОБОК

5.1. Проведення експериментальних випробувань в умовах виробництва

В умовах реального виробництва експерименти проводились на ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат» (додаток Д) (рис. 5.1). Основні завдання заводських випробувань – це підтвердження роботоздатності запропонованих інструментів; визначення якісних параметрів оброблюваних деталей; встановлення періоду стійкості; визначення продуктивності оброблення; вироблення заходів для удосконалення конструкцій інструментів.

5.1.1. Випробування розточувальних головок для комбінованого розточування глибоких отворів циліндрів

Початкові умови випробувань

- заготовка – труба: внутрішній діаметр $D_6=105$ мм, зовнішній діаметр $D_3=145$ мм, довжина $l=400$ мм, матеріал – сталь 45 ГОСТ 1050-88, термічна обробка – нормалізація;

- обладнання – токарно-гвинторізний верстат моделі 1М63 зі спеціальним пристроєм (п.п. 4.3.3);

- МОТС – 5% розчин емульсолу "Mobil Cutwell -42";

- режими оброблення:

➤ подача s встановлювалась 0,3 мм/об; 0,4 мм/об та 0,5 мм/об; при подачі 0,5 мм/об шорсткість перевищувала Ra 1,6. Із врахуванням умови забезпечення максимальної продуктивності та необхідної якості прийняли остаточну подачу $s=0,4$ мм/об.;

➤ припуск на оброблення становив 2,5 мм; Глибина різання між різцями розподілилась наступним чином: на чорновому різці $t_{чорн} = 2,1$ мм., на чистових різцях $t_{чист} = 0,4$ мм. Частота обертання шпинделя – $n=315$ об/хв.;



а)



б)



в)

Рис. 5.1. Фотографії проведення виробничих випробувань інструменту: а) після встановлення інструменту (перед початком роботи); б) в процесі оброблення; в) після закінчення оброблення та зняття деталі

➤ Швидкість різання $V=108\text{м/хв.}$

- контроль – калібр пробка $\varnothing 110$ (ПР-НЕ $\varnothing 110\text{Н9}$), зразки шорсткості.

До втрати стійкості оброблено 35 заготовок. За критерій втрати стійкості вважали технологічний критерій, при якому заготовка переставала відповідати технічним умовам на виготовлення.

Точність оброблення відповідає 9 квалітету. Шорсткість не перевищує $Ra 1,6$.

Продуктивність обробки підвищується в середньому на 30-35%. Оброблені деталі повністю відповідають технічним умовам на виготовлення

5.1.2. Випробування спеціальних зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням лез

Початкові умови випробувань:

- заготовка – труба: внутрішній діаметр $D_6=63$ мм, зовнішній діаметр $D_3=85$ мм, довжина $l=400$ мм, матеріал сталь 45 ГОСТ 1050-88, термічна обробка – нормалізація;

- обладнання – токарно-гвинторізний верстат моделі 1М63 зі спеціальним пристроєм (п.п. 4.3.3) ;

- МОТС – 5% розчин емульсолу "Mobil Cutwell -42";

- режими обробки:

➤ подача s встановлювалась 0,3 мм/об; 0,35 мм/об та 0,4 мм/об; 0,5 при подачі 0,4 мм/об та більшій шорсткість перевищувала $Ra 1,6$. Із врахуванням умови забезпечення максимальної продуктивності та необхідної якості прийняли остаточну подачу $s=0,35$ мм/об;

➤ глибина різання становила $t=3,5$ мм, частота обертання шпинделя – $n=500$ об/хв.;

➤ швидкість різання $V=110\text{м/хв.}$

- контроль – калібр пробка $\varnothing 70$ (ПР-НЕ $\varnothing 70\text{Н8}$), зразки шорсткості

До втрати стійкості оброблено 32 заготовки. За критерій втрати стійкості вважався технологічний критерій, при якому заготовка переставала відповідати технічним умовам на виготовлення. Точність обробки відповідає 8 квалітету. Шорсткість не перевищує $Ra 1,6$.

Продуктивність обробки підвищується в середньому на 10-15%. Оброблені

деталі повністю відповідають технічним умовам на виготовлення

5.2. Опрацювання та аналіз результатів експериментальних досліджень на основі теорії планування експерименту

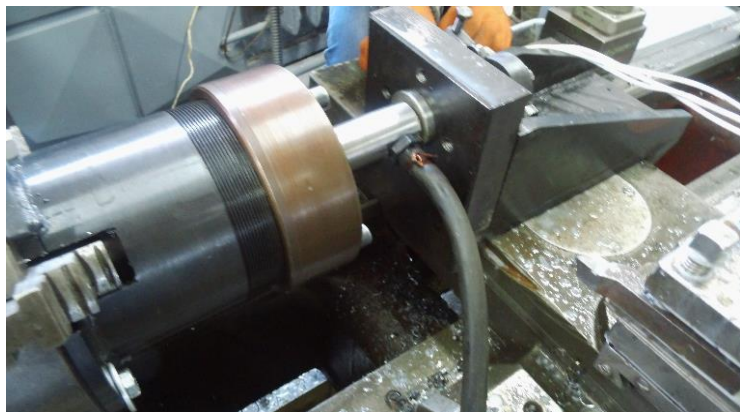
За отриманою матрицею експериментів та розробленим планом були проведені експерименти. Експериментальні дослідження виконувались на верстаті мод. 16К20. Спочатку на поперечний супорт встановлювали пристрій (п.п. 4.3.2), а також спеціальний патрон (п.п. 4.3.1) [80, 81]. Спеціальну заготовку (рис. 4.7) закріплювали в кулачках і за допомогою ексцентрикової втулки та рукоятки поперечного супорта добивались співвісності оправки пристосування з віссю обертання патрона. Далі проводили тарування тензометричних балок на осьову силу та крутний момент. Тензобалку на осьову силу навантажували задньою бабкою через динамометр, а тензобалку на крутний момент – через динамометричний ключ з плечем 0,135 м. Із врахуванням того, що тензометричні балки встановлені на двох опорах, отримані дані за допомогою методу найменших квадратів в пакеті MathCAD (використавши функцію Given-Find) апроксимували прямими вигляду $f_1 = c_1 + d_1 \cdot \mu$ та $f_2 = c_2 + d_2 \cdot \mu$, де μ - покази міліамперметра (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Результати тарування тензобалок

Осьова сила			Крутний момент				
Прикл. сила, Н	Покази міліамперметрів		Сила, Н	Сила на тензопл.	Покази		$M_{кр}$, дійсний
	Навант.	Розв.			Навант.	Розв.	
100	12	13	100	198,5	12	13	13.5
200	25	30	200	397,1	23	25	27
300	38	42	300	596	42	46	40.5
400	53	58	400	794	54	58	54
500	68	70	500	992	71	74	67.5
600	83	86	600	1191	77		81
700	100		Плече 0,135 м	плече 0,068м			
Отрим. функція	$f_1 = 36.26 + 6.689 \cdot \mu$		Отримана функція		$f_2 = 2.176 + 0.969 \cdot \mu$		

У патрон почергово встановлювали чотири заготовки (для забезпечення коефіцієнта повторюваності $r = 2$), базуючи їх в кулачках та затискаючи по торцях спеціальною гайкою. Включали МОТС (використовували 5% розчин емульсолу "Mobil Cutwell -42"), ліві оберти заготовки та подачу зліва направо. Сама конструкція заготовок забезпечує глибину різання 0,5 та 2 мм. Заготовки оброблялись з подачами 0,2 та 0,4 мм/об.



а)



б)



в)

Рис. 5.2. Фрагменти експериментальної установки: а) до початку оброблення; б) після процесу оброблення; в) тензостанція та реєструюча апаратура

Під час оброблення фіксували покази міліамперметрів, що реєстрували осьову силу та крутний момент, записуючи їх відхилення. Значення отриманих осьових сил різання та крутного моменту наведено в табл. 5.2 та 5.3 відповідно.

За формулами (4.12) знаходили значення коефіцієнтів регресії a_0 ; b_0 ; a_1 ; b_1 ; a_2 ; b_2 ; a_{12} ; b_{12} , наприклад, $b_{12} = (2.0334 - 1.4064 - 1.8407 + 1.1072)/4 = -0.0266$.

Інші значення коефіцієнтів регресії подано в табл. 5.4.

Таблиця 5.2

Значення осьових сил різання при двох повторюваних експериментах при кодованих факторах

№ досл	x_1		x_2		$\overline{P_{o1}}$	$\lg \overline{P_{o1}}$	$\overline{P_{o2}}$	$\lg \overline{P_{o2}}$	$\overline{P_o}$	$\lg \overline{P_o}$
	код	t, мм	код	s, мм/об						
1	+	2	+	0.4	1450,3	3,1615	1540,1	3,1875	1495,2	3,1747
2	-	0.5	+	0.4	315,2	2,4986	331,2	2,5201	323,2	2,5095
3	+	2	-	0.2	1023,3	3,01	1069,5	3,0292	1046,4	3,0197
4	-	0.5	-	0.2	248,2	2,3948	273,4	2,4368	260,8	2,4163

Таблиця 5.3.

Значення крутного моменту при двох повторюваних експериментах при кодованих факторах

№ досл	x_1		x_2		$\overline{M_1}$	$\lg \overline{M_1}$	$\overline{M_2}$	$\lg \overline{M_2}$	\overline{M}	$\lg \overline{M}$
	код	t, мм	код	s, мм/об						
1	+	2	+	0.4	105,30	2,0224	110,7	2,0441	108	2,0334
2	-	0.5	+	0.4	24,90	1,3963	26,0763	1,4162	25,49	1,4064
3	+	2	-	0.2	67,22	1,8275	71,379	1,8536	69,3	1,8407
4	-	0.5	-	0.2	12,35	1,0917	13,248	1,1222	12,8	1,1072

Таблиця 5.4

Значення коефіцієнтів регресії для визначення осьової сили та крутного моменту

a_0	a_1	a_2	a_{12}	b_0	b_1	b_2	b_{12}
2,7800	0,3172	0,0620	0,0155	1,5969	0,3401	0,1230	-0,0266

Підставивши визначені коефіцієнти в формули (4.7) та (4.8), отримали:

$$y = 2,78 + 0,3172 \cdot x_1 + 0,062 \cdot x_2 + 0,0155 \cdot x_1 x_2, \quad (5.1)$$

$$\hat{z} = 1,5969 + 0,3401 \cdot x_1 + 0,123 \cdot x_2 - 0,0266 \cdot x_1 x_2. \quad (5.2)$$

Дисперсію відтворюваності отримали за формулами (4.13) та (4.14). Розрахункові дані дисперсій повторюваності та відтворюваності для осьової сили та крутного моменту, а також отримані результати розрахунків критерію Кохрена зведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Розрахунок дисперсії відтворюваності та критерію Кохрена

№ дослідю	$(y_{vj} - \hat{y}_v)$	$(y_{vj} - \hat{y}_v)^2$	$(z_{vj} - \hat{z}_v)$	$(z_{vj} - \hat{z}_v)^2$
1	-0,0132	0,000175	-0,0110	0,000121
1	0,0128	0,000165	0,0107	0,000115
2	-0,0109	0,000118	-0,0101	0,000102
2	0,0106	0,000113	0,0099	0,000098
3	-0,0097	0,000094	-0,0132	0,000175
3	0,0095	0,000090	0,0128	0,000165
4	-0,0215	0,000462	-0,0155	0,000239
4	0,0205	0,000420	0,0149	0,000223
Дисперсія повторюваності S_v^2		0,001638		0,001238
Дисперсія відтворюваності		0,000409498		0,000739487
Значення критеріїв Кохрена				
Розрахунковий G		0,256336937		0,193387921
Критичний $G_{кр}$		0,907		

Враховуючи, що отримані значення критерію Кохрена $G < G_{кр}$, гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Для перевірки значущості коефіцієнтів $a_0; b_0; a_1; b_1; a_2; b_2; a_{12}; b_{12}$ визначали їх

дисперсії значущості, використавши залежності (4.16). Наприклад,

$$S(a_i) = \sqrt{0,000409498/8} = 0,00701,$$

знаходили критичні значення критерію Стьюдента, а також половини довжин довірчих інтервалів Δa_i , Δb_i (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

Коефіцієнт регресії	a_0	a_1	a_2	a_{12}	b_0	b_1	b_2	b_{12}
Значення	2,7800	0,3172	0,0620	0,0155	1,5969	0,3401	0,1230	- 0,0266
Дисперсія значущості	0,00701				0,009614			
Критичне значення критерію Стьюдента $t_{кр} = 2,78$								
$\Delta a_i, \Delta b_i$	0,0194878				0,02672			
Значиме (+) незначиме (-)	+	+	+	-	+	+	+	-

Таким чином отримали, що коефіцієнти $|a_{12}| < \Delta a_i$ та $|b_{12}| < \Delta b_i$. Тому в подальшому їх відкидаємо, як незначимі. В результаті в кодованих змінних моделі (5.1) та (5.2) будуть мати такий вигляд:

$$y = 2,78 + 0,3172 \cdot x_1 + 0,062 \cdot x_2, \quad (5.3)$$

$$\hat{z} = 1,5969 + 0,3401 \cdot x_1 + 0,123 \cdot x_2. \quad (5.4)$$

За (4.19) та (4.20) розраховуємо дисперсію адекватності. Результати подані в табл. 5.7. Так як в обох випадках $F < F_t$, то отримали підтвердження, що моделі адекватні.

Розрахунки коефіцієнтів кореляції здійснили за формулами (4.21) та (4.22). Отримані результати подані в табл. 5.8

Враховуючи отримані значення коефіцієнтів кореляції, які є близькими до одиниці, можна стверджувати, що отримані рівняння майже повністю описують результати експерименту.

Таблиця 5.7

Визначення дисперсії адекватності та критерію Фішера

№ досл.	\bar{y}_v	y_v	$\bar{y}_v - y_v$	$(\bar{y}_v - y_v)^2$	\bar{z}_v	z_v	$\bar{z}_v - z_v$	$(\bar{z}_v - z_v)^2$
1	3,1747	3,1592	0,015499	0,000240	2,0334	2,06	-0,02657	0,000706
2	2,5095	2,5248	-0,01532	0,000235	1,4064	1,3798	0,026570	0,000706
3	3,0197	3,0352	-0,01550	0,00024	1,8407	1,814	0,026733	0,000715
4	2,4163	2,4008	0,015508	0,00024	1,1072	1,1338	-0,02659	0,000707
Сума				0,000956				0,0028
Дисперсія адекватності				0,001912				0,005668
F				4,66914				7,66463
F_T								7,71

Таблиця 5.8

Визначення коефіцієнта кореляції

№	\bar{y}_v	$\bar{y}_v - \bar{y}$	$(\bar{y}_v - \bar{y})^2$	\bar{z}_v	$\bar{z}_v - \bar{z}$	$(\bar{z}_v - \bar{z})^2$
1	3,1747	0,3947	0,1558	2,0334	0,4365	0,1905
2	2,5095	-0,2706	0,0732	1,4064	-0,1906	0,0363
3	3,0197	0,2397	0,0574	1,8407	0,2438	0,0594
4	2,4163	-0,3637	0,1323	1,1072	-0,4897	0,2398
Сума			0,4187			0,5261
Коефіцієнт кореляції, R			0,9877			0,9846

Здійснимо перехід від кодованих величин до реальних, використавши залежності (4.10) та (4.11). Отримаємо:

$$y = 2,78 + 0,3172 \cdot 3,322 \lg t + 0,062 \cdot (6,64451 \cdot \lg s + 3,6445), \quad (5.5)$$

$$\hat{z} = 1,5969 + 0,3401 \cdot 3,322 \lg t + 0,123 \cdot (6,6445 \lg s + 3,6445). \quad (5.6)$$

Здійснивши перетворення виразів (5.5) та (5.6), будемо мати:

$$\lg P_o = 3,006 + 1,054 \lg t + 0,412 \cdot \lg s, \quad (5.7)$$

$$\lg M = 2,0452 + 1.129 \cdot \lg t + 0.817 \cdot \lg s. \quad (5.8)$$

Після потенціювання отримаємо залежності для визначення осьового зусилля та крутного моменту при зенкеруванні запропонованими зенкерами з попарно-асиметричним розміщенням лез:

$$P_o = 1014 \cdot t^{1.054} \cdot s^{0.412}, \quad (5.9)$$

$$M = 1.585 \cdot D \cdot t^{1.129} \cdot s^{0.817}. \quad (5.10)$$

З урахуванням стохастичності подач залежності (5.9) та (5.10) набудуть вигляду:

- для визначення середніх значень осьової сили та крутного моменту

$$\bar{P}_o = 1014 \cdot t^{1.054} \cdot \bar{s}^{0.412}, \quad (5.11)$$

$$\bar{M} = 1.585 \cdot D \cdot t^{1.129} \cdot \bar{s}^{0.817}; \quad (5.12)$$

- для визначення максимальних значень

$$P_{o_{\max}} = 1014 \cdot t^{1.054} \cdot (\bar{s} + 3\sigma(s))^{0.412}, \quad (5.13)$$

$$M_{\max} = 1.585 \cdot D \cdot t^{1.129} \cdot (\bar{s} + 3\sigma(s))^{0.817}. \quad (5.14)$$

Поверхні відгуку залежностей середніх значень осьової сили та крутного моменту від глибини різання та подачі побудовані на основі залежностей (5.11) та (5.12) зображені на рис. 5.3 а ,б.

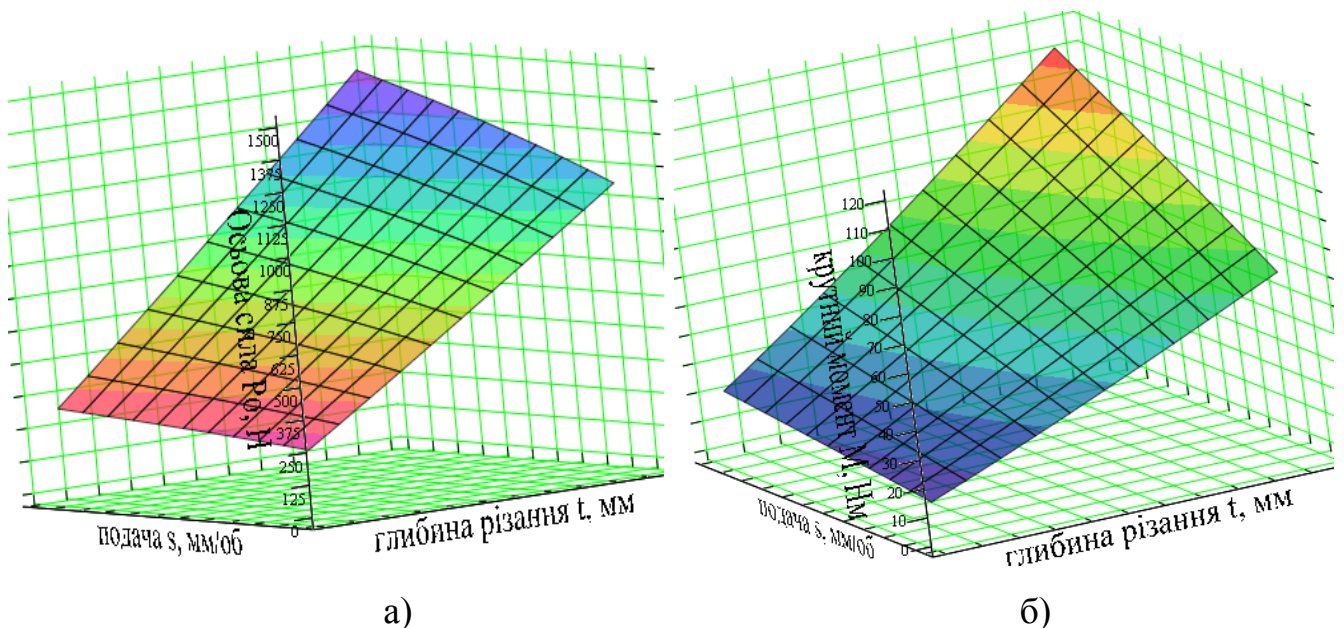


Рис. 5.3. Поверхні відгуку залежностей середніх значень осьової сили

$\bar{P}_o = 1014 \cdot t^{1.054} \cdot \bar{s}^{0.412}$ а) та крутного моменту $\bar{M} = 1.585 \cdot D \cdot t^{1.129} \cdot \bar{s}^{0.817}$ б) від глибини різання та подачі

5.3. Опрацювання результатів експерименту з використанням методу найменших квадратів

На експериментальній установці (рис. 5.2) обробляли заготовки, зображені на рис. 4.2. Фіксували при цьому на кожній із подач та глибин різання значення осьової сили та крутного моменту. Отримані дані подані в табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Значення осьової сили та крутного моменту при обробленні заготовки зенкером $\varnothing 70$ мм з попарно-асиметричним розміщенням лез

t, мм	s, мм/об	Результати вимірювань P_o		Результати вимірювань M	
		Дані міліамперметра, <i>мА</i>	Дійсне значення, $P_o, Н$	Дані міліамперметра, <i>мА</i>	Дійсне значення, $M, Нм$
0,5	0,2	32	250.3	12	13.804
1		76	544.6	35	36.091
1,5		112	785.4	42	42.874
2		154	1066.4	68	68.068
0,5	0,3	34	263.7	16	17.68
1		84	598.1	36	37.06
1,5		132	919.2	70	70.006
2		178	1226.9	92	91.324
0,5	0,35	44	330.6	28	29.308
1		88	624.9	54	54.502
1,5		139	966.0	70	70.006
2		184	1267.0	96	95.2
0,5	0,4	42	317.2	22	23.494
1		92	651.6	50	50.626
1,5		144	999.5	88	87.448
2		200	1488,1	100+	100+

Отримали матрицю планування і результати дослідів в кодованих величинах (табл. 5.10)

Таблиця 5.10

Матриця планування експерименту та результати дослідів в кодованих величинах

№ досліду	x_1	x_2	$\lg(P_0)$	$\lg(M)$
1	-0,301	-0,699	2,3985	1,1400
	0,000	-0,699	2,7361	1,5574
	0,176	-0,699	2,8951	1,6322
	0,301	-0,699	3,0279	1,8329
2	-0,301	-0,523	2,4211	1,2475
	0,000	-0,523	2,7768	1,5689
	0,176	-0,523	2,9634	1,8451
	0,301	-0,523	3,0888	1,9606
3	-0,301	-0,456	2,5193	1,4670
	0,000	-0,456	2,7958	1,7364
	0,176	-0,456	2,985	1,8451
	0,301	-0,456	3,1028	1,9786
4	-0,301	-0,398	2,5013	1,3710
	0,000	-0,398	2,814	1,7044
	0,176	-0,398	2,9998	1,9417
	0,301	-0,398	3,138	2,0492

Використавши метод найменших квадратів, з допомогою пакету MathCAD (функцію Given-Find) отримали значення коефіцієнтів a_1 , b_1 , c_1 , а також a_2 , b_2 і c_2 . Відповідно, використавши залежності (4.26), методом потенціювання отримували значення: C_p ; x_p ; y_p ; C_M ; x_M ; y_M ; $t = \tilde{x}_1$ (табл. 5.11).

Розрахунки коефіцієнтів регресії методом найменших квадратів

Коефіцієнт	a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2
Значення	2,952	1,045	0,337	2,045	1,073	0,794
Коефіцієнт	C_p	x_p	y_p	$C_M \cdot D$	x_M	y_M
Значення	895,4	1,045	0,337	110,917	1,073	0,794

З урахуванням даних табл. 5.19 отримали такі залежності для осьової сили та крутного моменту:

$$P_o = 895.4 \cdot t^{1.045} \cdot s^{0.337}, \quad (5.15)$$

$$M = 1.584 \cdot D \cdot t^{1.073} \cdot s^{0.794}. \quad (5.16)$$

Враховавши стохастичність подач, залежності (5.15) та (5.16) запишемо у вигляді:

- середні значення осьової сили та крутного моменту:

$$\bar{P}_o = 895.4 \cdot t^{1.045} \cdot \bar{s}^{0.337}, \quad (5.17)$$

$$\bar{M} = 1.584 \cdot D \cdot t^{1.073} \cdot \bar{s}^{0.794}. \quad (5.18)$$

- максимальні значення осьової сили та крутного моменту:

$$P_{o\max} = 895.4 \cdot t^{1.045} \cdot (\bar{s} + 3\sigma(s))^{0.337}, \quad (5.19)$$

$$M_{\max} = 1.584 \cdot D \cdot t^{1.073} \cdot (\bar{s} + 3\sigma(s))^{0.794}. \quad (5.20)$$

За отриманими залежностями 5.17 та 5.18 побудували поверхні відгуку, які показані на рис. 5.4

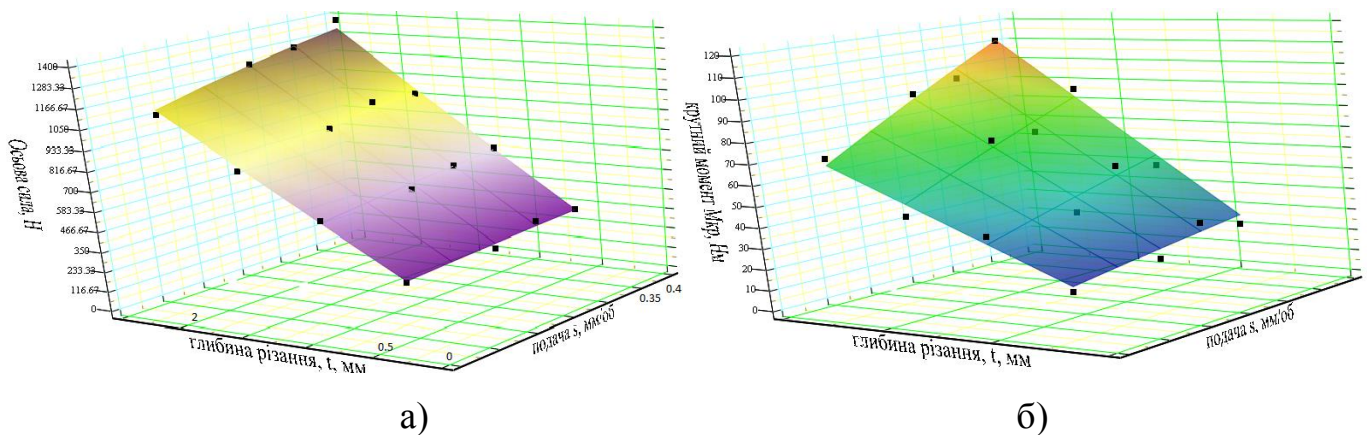


Рис. 5.4. Поверхні відгуку залежностей середніх значень: а) осьової сили; б) крутного моменту від глибини різання та подачі

5.4. Порівняння результатів експериментальних досліджень

Порівняємо результати, отримані за знайденими теоретичними залежностями з реально отриманими даними, а також виконаємо розрахунки осьової сили та крутного моменту при зенкеруванні за відомими формулами для традиційних інструментів [179] і порівняємо їх з отриманими даними (табл. 5.12 та 5.13). Відносні похибки для осьової сили та крутного моменту визначимо за формулами [64] відповідно

$$\delta_j = \frac{P_{oTi} - P_{oEi}}{P_{oEi}} \cdot 100\%,$$

$$\delta_j = \frac{M_{Ti} - M_{Ei}}{M_{Ei}} \cdot 100\%$$

де P_{oTi} – значення осьової сили, отримане за теоретичними залежностями;

P_{oEi} – експериментальне значення осьової сили;

M_{Ti} – значення крутного моменту, отримане за теоретичними залежностями;

M_{Ei} – експериментальне значення крутного моменту;

Для порівняння розрахункових даних осьової сили та крутного моменту за встановленими теоретичними залежностями (5.9) та (5.15) і (5.10) та (5.16) відповідно знаходили середньоквадратичні відхилення за формулами [64]:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{oTi} - P_{oEi})^2}$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_{Ti} - M_{Ei})^2}$$

Аналіз даних таблиці 5.12 показує, що розбіжність значення осьової сили, визначене за отриманими емпіричними залежностями, з результатами вимірювань знаходиться в межах 13%. Отримані результати вимірювань більші в середньому на 16,8%, ніж результати, отримані традиційними інструментами.

Таблиця 5.12

Результати порівняння розрахункових даних осьової сили за встановленими теоретичними залежностями (5.17) та (5.23), відомими формулами [179] з реально отриманими результатами

t	s	Результати вимірів	Значення за (5.17)	$\delta_1, \%$	Значення за (5.23)	$\delta_2, \%$	Значення за [179]	$\delta_3, \%$
0,5	0,2	250,3	251,64	0,53	252,28	0,79	203,59	-18,66
1	0,2	544,6	522,47	-4,06	520,55	-4,42	407,18	-25,23
1,5	0,2	785,4	801,06	1,99	795,21	1,25	610,77	-22,23
2	0,2	1066,4	1084,80	1,73	1074,09	0,72	814,36	-23,63
0,5	0,3	263,7	297,39	12,78	289,22	9,68	249,34	-5,44
1	0,3	598,1	617,46	3,24	596,77	-0,22	498,69	-16,62
1,5	0,3	919,2	946,70	2,99	911,64	-0,82	748,03	-18,62
2	0,3	1226,9	1282,03	4,49	1231,36	0,36	997,38	-18,71
0,5	0,35	330,6	316,89	-4,15	304,64	-7,85	269,32	-18,53
1	0,35	624,9	657,95	5,29	628,59	0,59	538,65	-13,80
1,5	0,35	966	1008,77	4,43	960,25	-0,60	807,97	-16,36
2	0,35	1267	1366,09	7,82	1297,01	2,37	1077,30	-14,97
0,5	0,4	317,2	334,81	5,55	318,67	0,46	287,92	-9,23
1	0,4	651,6	695,16	6,69	657,52	0,91	575,84	-11,63
1,5	0,4	999,5	1065,83	6,64	1004,45	0,49	863,76	-13,58
2	0,4	1488,1	1443,35	-3,01	1356,71	-8,83	1151,68	-22,61
Середньоквадратичне відхилення σ			10,44		8,93		Середня відносна похибка	$\bar{\delta}_3 = 16.8$

Таблиця 5.13

Результати порівняння розрахункових даних крутного моменту за встановленими теоретичними залежностями, відомими формулами [179] з реально отриманими результатами

t	s	Результати вимірів	Значення за (5.18)	Значення за (5.24)	$\delta_1, \%$	$\delta_2, \%$	Значення за [179]	$\delta_3, \%$
0,5	0,2	13,804	14,13	2,39	14,68	6,38	20,3	47,06
1	0,2	36,091	30,91	14,35	30,89	14,40	37,9	5,01
1,5	0,2	42,874	48,86	13,96	47,73	11,33	54,5	27,12
2	0,2	68,068	67,61	0,67	64,99	4,52	70,6	3,72
0,5	0,3	17,68	19,50	10,31	20,26	14,60	28	58,37
1	0,3	37,06	42,65	15,09	42,63	15,02	52,4	41,39
1,5	0,3	70,006	67,42	3,70	65,86	5,92	75,4	7,71
2	0,3	91,324	93,29	2,15	89,68	1,80	97,7	6,98
0,5	0,35	29,308	22,04	24,79	22,90	21,86	31,7	8,16
1	0,35	54,502	48,21	11,55	48,18	11,60	59,2	8,62
1,5	0,35	70,006	76,19	8,84	74,44	6,33	85,3	21,85
2	0,35	95,2	105,43	10,75	101,36	6,47	110,544	16,12
0,5	0,4	23,494	24,51	4,31	25,46	8,37	35,32	50,34
1	0,4	50,626	53,60	5,87	53,57	5,81	65,92	30,21
1,5	0,4	87,448	84,72	3,12	82,76	5,36	94,94	8,57
2	0,4	110	117,23	6,57	112,69	2,45	123	11,82
Середньоквадратичне відхилення			1,27	1,08	$\bar{\delta}_1 = 8,65$	$\bar{\delta}_2 = 8,89$	Середня відносна похибка	22,06

Аналіз даних таблиці 5.13 показує, що розбіжність значення крутного моменту, визначене за отриманими емпіричними залежностями із результатами вимірювань знаходиться в межах 9%. Отримані результати вимірювань крутного моменту менші, ніж результати, отримані традиційними інструментами. Середня відносна похибка становить 22,6%.

5.5. Оцінка шорсткості оброблених поверхонь

При оцінюванні параметра Ra [217] оброблених глибоких отворів запропонованими інструментами використано методику [49]. Суть її полягає в наступному: на кожній із отриманих деталей знімали по 6-10 профілограм з рівномірно розміщених по колу трас. Для кожної із цих n профілограм визначали середні арифметичні відхилення профілю $Ra_1, Ra_2 \dots Ra_{n-1}, Ra_n$. Отримані значення Ra і приймемо як випадкові величини з нормальним законом розподілу [203].

Використавши [208], удосконалений метод ітерацій [29], отримаємо залежності для визначення математичних сподівань $M(Ra)$ і дисперсій $D(Ra)$ розсіювання величин Ra :

$$M(Ra_{sq}) \approx \bar{R}_{as_q} = \frac{a_1 + b_1}{2} \prod_{k=1}^n C_{ak} + \sum_{k=1}^n \prod_{k=1}^n C_{ak} \left\{ \frac{\sigma_a}{\sqrt{2\pi}} \left(e^{-\frac{z_{1k}^2}{2}} - e^{-\frac{z_{2k}^2}{2}} \right) + r_k \left[\Phi(z_{2k}) - \Phi(z_{1k}) \right] \right\},$$

$$D(Ra_{sq}) = 3 \frac{a_1^2 + a_1 \cdot b_1 + b_1^2}{3} \prod_{k=1}^n C_{ak} + \sum_{i=1}^n C_k \left\{ \frac{\sigma_a}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{\sigma_a}{\sqrt{2\pi}} (\sigma_a \cdot z_{1k} + 2 \cdot r_k) e^{-\frac{z_{1k}^2}{2}} - (\sigma_a \cdot z_{2k} + 2 \cdot t_k) e^{-\frac{z_{2k}^2}{2}} \right] + (\sigma_a^2 + r_k^2) \right\} \times$$

$$\times \prod_{k=1}^n C_k + \sum_{i=1}^n C_{ak} \left\{ \frac{\sigma_a}{\sqrt{2\pi}} \left[-(\sigma_a \cdot z_{2k} + 2 \cdot t_k) e^{-\frac{z_{2k}^2}{2}} \right] + (\sigma_a^2 + r_2^2) \right\}.$$

Оцінювання впливу s на Ra здійснювали, використавши критерії Стюдента [64] t_k за формулою [64]

$$t_k = \frac{|M(Ra_1) - M(Ra_2)|}{\sqrt{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (5.21)$$

яка з врахуванням того, $n_1 = n_2 = 6$, набуде вигляду

$$t_k = \frac{|M(Ra_1) - M(Ra_2)|}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}} \sqrt{5}$$

і Фішера – F [64].

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}. \quad (5.22)$$

Для оцінювання шорсткості за запропонованою методикою розроблена програма в пакеті MathCAD (додаток Е), використання якої значно спрощує розрахунки.

Фотографії вимірювання параметру Ra зразка показано на рис. 5.5.



Рис. 5.5. Вимірювання параметру Ra на профілометрі мод. 283

Результати експериментальних досліджень подано в табл. 5.14

Таблиця 5.14

Вибіркові значення характеристик розсіювання величини Ra при певних подачах та глибинах різання

№	Значення Ra	t , мм	s , мм/об	$M(Ra)$	$D(Ra)$	$\sigma(Ra)$	$\bar{M}(Ra)$	$\bar{D}(Ra)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2,24; 1,96; 2,67 2,14; 2,45; 2,88	0,5	0,2	2,507	0,066	0,257	2,53025	0,109

Продовж. табл. 5.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	2,81; 2,12; 2,6; 2,29; 2,3; 3,07	1		2,588	0,094	0,307		
3	2,33; 3,13; 1,92; 2,7; 2,74; 2,23	1,5		2,487	0,126	0,355		
4	3,26; 2,37; 2,06; 2,92; 2,84; 1,97	2		2,539	0,15	0,387		
5	2,46; 1,81; 2,53; 1,87; 2,4; 2,37	0,5	0,3	2,288	0,036	0,190	2,317	0,07925
6	2,37; 2,05; 2,68; 1,9; 2,72; 2,32	1		2,318	0,069	0,263		
7	2,38; 2,7; 2,55; 2,0; 1,81; 2,63	1,5		2,309	0,088	0,297		
8	2,19; 2,25; 2,85; 2,4; 2,08; 3,4	2		2,353	0,124	0,352		
9	2,68; 2,85; 1,81; 2,29; 2,20; 1,97	0,5	0,35	2,156	0,055	0,232	2,03	0,09375
10	2,71; 2,23; 1,94; 1,98; 1,6; 1,49	1		1,771	0,095	0,285		
11	1,6; 1,42; 2,67; 2,28; 1,37; 1,83	1,5		1,886	0,111	0,333		
12	1,99; 1,56; 2,77; 1,51; 2,55; 1,88	2		2,065	0,129	0,359		
13	3,54; 2,63; 3,56; 2,94; 3,06; 3,2	0,5	0,4	3,132	0,04	0,200	3,0205	0,08025
14	3,23; 2,73; 3,78; 3,68; 3,17; 3,02	1		3,171	0,069	0,263		
15	2,32; 3,03; 3,53; 3,57; 2,63; 2,89	1,5		2,913	0,094	0,307		
16	3,19; 2,25; 2,85; 2,4; 2,68; 3,4	2		2,866	0,118	0,344		

За критеріями Стюдента t_k і Фішера F встановимо спочатку вплив глибини різання на параметр Ra , а потім – вплив подачі. Для визначення істотності відмінностей між середніми значеннями (за критерієм Стюдента) виберемо на кожній з подач максимальне і мінімальне значення параметра Ra . Для визначення істотності відмінностей за дисперсіями виберемо на кожній із подач максимальні дисперсії.

Наприклад при подачі $s=0,2$ мм/об найбільше математичне сподівання отримали при $t=1$ мм, тобто $M(Ra)_{\max} = 2,588$, а найменше – при $t=1,5$ мм, тобто $M(Ra)_{\min} = 2,487$. Отримаємо значення критерію Стюдента:

$$t_k = \frac{|2,588 - 2,487|}{\sqrt{0,094 + 0,126}} \sqrt{5} = 0,527$$

Використавши [64] та врахувавши, що $k = n_1 + n_2 - 2 = 10$, отримали значення $P(t_k)$: $P(t_k) = 0,628 > 0,05$. Як бачимо, відмінність неістотна. Перевірку за критерієм Фішера здійснимо також для максимальної і мінімальної дисперсій:

$$F = 0,15 / 0,066 = 2,273.$$

Табличне значення критерію Фішера для рівня значимості 0,05 $F_T = 5,05 > 2,273$. Відмінність неістотна. Інші результати розрахунків зведемо в табл. 5.15

Таблиця 5.15

Оцінка істотності впливу глибини різання на параметр Ra при різних подачах

Подача	0,2		0,3		0,35		0,4	
Значення Ra	M $(Ra)_{\max}$	M $(Ra)_{\min}$	M $(Ra)_{\max}$	M $(Ra)_{\min}$	M $(Ra)_{\max}$	M $(Ra)_{\min}$	M $(Ra)_{\max}$	M $(Ra)_{\min}$
	2,588	2,487	2,353	2,288	2,156	1,771	3,171	2,866
Дисперсія	0,094	0,126	0,124	0,036	0,055	0,095	0,069	0,118
t_k	0,527		0,398		2,19		1,727	
$P(t_k)$	0,628		0,698		0,052		0,102	
Істотність	-		-		-		-	
F	2,273		3,45		2,345		2,95	
F_T	5,05							
Істотне(+) неістотне (-)	-		-		-		-	

За даними таблиці можна зробити висновок, що глибина різання впливає не істотно як на середні значення параметру Ra , так і на дисперсію його розсіювання.

Аналогічним чином встановимо вплив подачі на Ra при постійній глибині різання, наприклад, $t=2$ мм. При подачі $s=0,2$ мм/об математичне сподівання $M(Ra) = 2,539$, дисперсія його розсіювання $D(Ra) = 0,15$, а при подачі $s=0,3$ мм/об $M(Ra) = 2,353$, $D(Ra) = 0,124$. Отримаємо значення критерію Стьюдента:

$$t_k = \frac{|2,539 - 2,353|}{\sqrt{0,15 + 0,124}} \sqrt{5} = 0,871.$$

Для $k=10$ значення $P(t_k)$ визначаємо за таблицями [64]: $P(t_k) = 0,389 > 0,05$.

Відмінність неістотна. Здійснимо перевірку за критерієм Фішера:

$$F = 0,15/0,124 = 1,21.$$

Табличне значення критерію Фішера для рівня значимості 0,05 $F_T = 5,05 > 1,21$.

Відмінність неістотна. Інші результати розрахунків зведемо в табл. 5.16.

Таблиця 5.16

Оцінка суттєвості впливу подачі на параметр Ra

Подача	0,2	0,3	0,35	0,4
$M(Ra)$	2,539	2,353	2,065	2,866
$D(Ra)$	0,15	0,124	0,129	0,118
$t_k (P(t_k))$	0,870 (0,389)		3,95 (0,03)	
	1,4 (0,141)			
Істотність	-		+	
	-			
F	1,21		1,09	
	1,04			
F_T	5,05			
Істотне(+) неістотне(-)	-		-	
	-			

Встановлено, що при збільшенні подачі величина Ra спочатку спадає і при певних значеннях s не змінюється, а потім – зростає. Характер зміни Ra при збільшенні подачі узгоджується з [108, 203, 208]. За допомогою критеріїв t_k і F встановлено, що зростання подачі від $s_1=0,02$ мм/об до $s_3=0,35$ мм/об істотно не

впливає на дисперсію розсіювання $D(Ra)$, а зростання подачі від $s_3=0,35$ мм/об до $s_4=0,4$ мм/об істотно впливає на параметр Ra .

Залежність між подачею та параметром шорсткості Ra подано на рис. 5.6

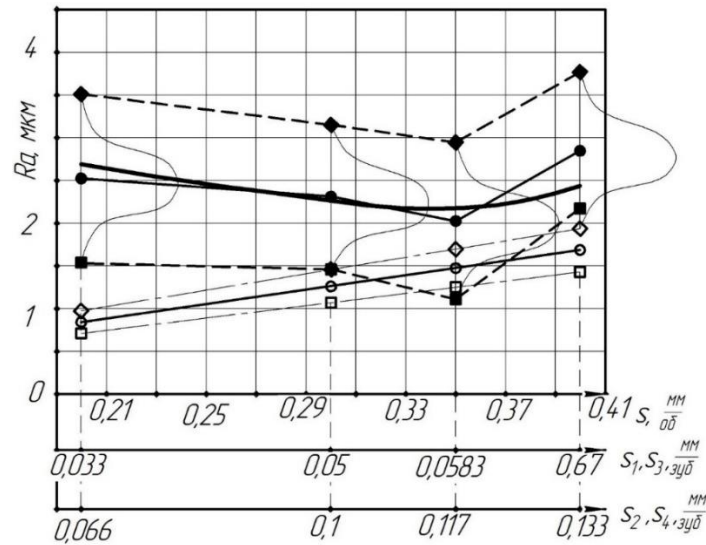


Рис. 5.6. Вплив подачі на параметр Ra : ●—●—●— - середнє експериментальне; ———— - апроксимоване середнє експериментальне; ◆—◆—◆— - максимальне експериментальне; ■—■—■—■— - мінімальне експериментальне; ○—○—○—○— - середнє розрахункове; ◇—◇—◇—◇— - мінімальне розрахункове; □—□—□—□— - максимальне розрахункове

Фотографії зразків оброблених при різних подачах запропонованими зенкерами, а також зразка, обробленого традиційним зенкером подано на рис. 5.7.

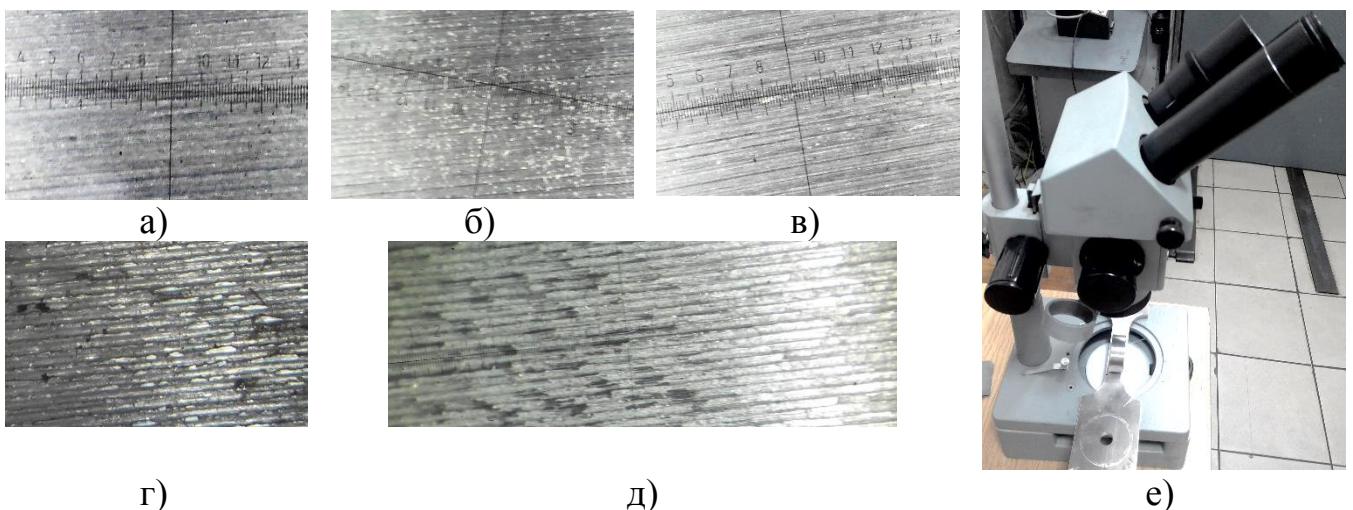


Рис. 5.7. Фотографії зразків оброблених поверхонь (збільшені під мікроскопом в 30 разів) при подачах: а) $s=0,2$ мм/об; б) $s=0,3$ мм/об; в) $s=0,35$ мм/об; г) $s=0,4$ мм/об; д) традиційним зенкером $s=0,3$ мм/об; е) мікроскоп з дослідним зразком

5.6. Економічна ефективність використання запропонованих інструментів

При використанні комбінованих розточувальних інструментів операції чорнового і чистового розточування виконують за один прохід, що забезпечує, підвищення продуктивності та зниження основного часу t_o , за рахунок зменшення кількості проходів. В нашому випадку, крім зменшення кількості проходів, отже і основного часу, за рахунок спеціального розміщення чистових різців досягається збільшення подачі, а відповідно і зменшення основного часу запропонованої розточувальної головки порівняно з подачею на чистовому проході у випадку використання традиційних інструментів.

Проведені теоретико-експериментальні дослідження використання розроблених багатолезових металорізальних інструментів дозволяють гіпотетично припустити, що економічний ефект від їх використання забезпечується за рахунок наступних факторів [110, 121, 158, 159, 165]:

- збільшення продуктивності оброблення за рахунок зменшення основного часу внаслідок здійснення процесу різання із збільшеними подачами при збереженні заданої шорсткості обробленої поверхні;

- економії електроенергії внаслідок виконання однієї і тієї же роботи за менший інтервал часу;

- економії коштів на інструментальне забезпечення за рахунок збільшення довговічності певних конструкцій зенкерів шляхом різкого збільшення кількості переточування.

При цьому приймемо припущення:

1. Збільшення подачі за рахунок удосконалення конструкції багатолезового металорізального інструменту не суттєво вплине на період стійкості інструменту.

2. Періоди стійкості для традиційних БМІ та запропонованих при одному і тому ж інструментальному матеріалі і тій же швидкості різання однакові.

3. Величина допустимого значення традиційних і запропонованих БМІ на їх задніх поверхнях однакова.

4. Геометричні параметри традиційних і запропонованих інструментів, крім

кутів у плані однакові.

5. Відхилення значень кутів у запропонованих БМІ, порівняно із значеннями кутів у традиційних, не суттєво впливає на період їх стійкості.

6. Потужності при використанні традиційних і запропонованих БМІ однакові.

5.6.1. Економічний ефект від використання спеціального зенкера з попарно-асиметричним розміщенням лез

5.6.1.1. Визначення економічного ефекту від використання спеціального зенкера з попарно-асиметричним розміщенням лез за рахунок збільшення продуктивності оброблення

Збільшення продуктивності оброблення при виконанні річної програми випуску циліндрів N_p забезпечується використанням спеціального зенкера, який при незмінній шорсткості поверхні працює із збільшеною подачею s_p порівняно із традиційною s_T ; тут подача в мм/об.

В цьому випадку економічний ефект забезпечується [159] зниженням трудомісткості через зменшення основного часу, заробітної плати та економії електроенергії.

Зменшення основного часу на одну операцію при обробленні внутрішньої циліндричної поверхні діаметром D_u розробленим зенкером по відношенню до основного часу, затраченого на цю операцію з використанням традиційного зенкера визначається за формулою:

$$\Delta t_0 = \frac{L_p}{n} \left(\frac{1}{s_T} - \frac{1}{s_p} \right), \quad (5.23)$$

де L_p – розрахункова довжина оброблення, що визначається за формулою [189]

$$L_p = l_{ep} + l_0 + l_{nep},$$

де l_{ep} , l_0 , l_{nep} – відповідно довжина врізання, довжина оброблюваної поверхні і шлях перебігу;

n – дійсна частота обертання шпинделя верстата, об/хв, $n \leq n_p = 1000V/\pi D_u$

V – швидкість різання, м/хв.

Зменшення загальної трудомісткості оброблення з урахуванням (5.23) річної програми N_p за основним часом буде, год

$$\Delta T = \frac{L_p}{60n} \left(\frac{1}{s_T} - \frac{1}{s_p} \right) \cdot N_p, \quad (5.24)$$

Використавши (5.32) економія заробітної плати складе

$$E_z = \frac{L_p \cdot C_1 \cdot K_p \cdot N_p}{60n} \cdot \left(\frac{1}{s_T} - \frac{1}{s_p} \right), \quad (5.25)$$

де C_1 – годинна тарифна ставка роботи першого розряду;

K_p – коефіцієнт розрядності роботи.

Економія електроенергії E_e за рахунок зменшення трудомісткості визначається за формулою, грн

$$E_e = N_{on} \cdot \Delta T_z \cdot C_e \quad (5.26)$$

N_{on} – потужність затрачувана на здійснення операції зенкерування, що визначається із залежності [175]

$$N_{on} = K_1 \cdot t^m \cdot s_p^n \cdot V / 6120 \cdot \eta, \quad (5.27)$$

де K_1 – коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу ,

m і n – показники степенів, що характеризують вплив t і s_p на N_{on} ;

C_e – вартість однієї кіловат-години для промислових підприємств;

η – коефіцієнт корисної дії верстата.

Із врахуванням (5.26), (5.27) отримаємо:

$$E_e = \frac{K_1 \cdot t^m \cdot s_p^n \cdot V \cdot L_p \cdot N_p \cdot C_e}{367200 \cdot n \cdot \eta} \cdot \left(\frac{1}{s_T} - \frac{1}{s_p} \right). \quad (5.28)$$

Загальна економія коштів від економії заробітної плати (5.25) і електроенергії (5.28) за рахунок збільшення продуктивності складе, грн

$$E_{зб.пр} = \left(\frac{L_p \cdot C_1 \cdot K_p \cdot N_p}{60n} + \frac{K_1 \cdot t^m \cdot s_p^n \cdot V \cdot L_p \cdot N_p \cdot C_e}{367200 \cdot n \cdot \eta} \right) \cdot \left(\frac{1}{s_T} - \frac{1}{s_p} \right). \quad (5.29)$$

5.6.1.2. Визначення економічного ефекту від використання спеціального зенкера з попарно-асиметричним розміщенням лез за рахунок підвищення довговічності

Конструкційною особливістю розроблених зенкерів [140, 142] є те, що їх загострення для відновлення різальної здатності здійснюється у площині паралельній головній різальній кромці.

Традиційні зенкери загострюють по циліндричних поверхнях, вісь яких практично паралельна до напрямку подачі. На рис.5.7 подані спрощені схеми загострення.

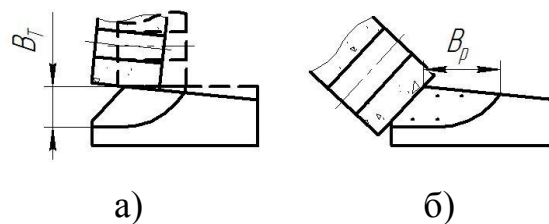


Рис. 5.7. Спрощені схеми загострення зенкерів: а) традиційна; б) рекомендована

Із поданих на рис. 5.7 даних, випливає, що внаслідок конструктивних особливостей зенкерів величина $B_T < B_p$. Це означає, що кількість перезагострень у запропонованого зенкера буде значно більша, ніж у традиційного.

Якщо припустити, що допустима величина зношування по головних задніх поверхнях традиційного і запропонованого зенкерів однакова $h_{3,3} = h_{3,p}$, їх геометричні параметри α , γ та періоди стійкості T однакові, а також взяти до уваги, що кількість перезагострень в загальних умовах визначається за формулою [21]

$$i = \frac{2B \cdot \cos^2 \alpha}{3h_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha + \gamma)}, \quad (5.30)$$

то можемо визначити довговічності цих зенкерів. Довговічність традиційного зенкера з урахуванням (5.30) буде дорівнювати

$$D_T = \frac{2B_T \cdot \cos^2 \alpha \cdot T}{3h_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha + \gamma)}, \quad (5.31)$$

а запропонованого зенкера визначається із залежності

$$D_3 = 2B_3 \cdot \cos^2 \alpha \cdot T / 3h_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha + \gamma). \quad (5.32)$$

Із врахуванням (5.31) та (5.32) необхідна кількість традиційних $N_{3.m}$ та запропонованих $N_{3.3}$ зенкерів на річну програму буде визначатись із формул відповідно

$$N_{3.m} = \frac{3L_p \cdot N_u \cdot h_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{3B_T \cdot n \cdot s_T \cdot T \cdot \cos^2 \gamma} \quad (5.33)$$

$$N_{3.3} = \frac{3L_p \cdot N_p \cdot h_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{3B_T \cdot n \cdot s_p \cdot T \cdot \cos^2 \gamma} \quad (5.34)$$

Позначивши у (5.33) та (5.34) $\frac{3L_p \cdot N_p \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{2T \cdot \cos^2 \gamma} = C_1$, знайдемо різницю

кількості спеціальних і традиційних зенкерів

$$\Delta N_3 = C_1 \cdot \left(\frac{1}{B_T \cdot s_T} - \frac{1}{B_3 \cdot s_p} \right) \quad (5.35)$$

Економія від підвищення довговічності запропонованих зенкерів з урахуванням (5.35) від зменшення їх кількості виразимо залежністю:

$$E_{3.g} = C_{3.T} \cdot C_1 \cdot \left(\frac{1}{B_T \cdot s_T} - \frac{1}{B_3 \cdot s_p} \right), \quad (5.36)$$

де $C_{3.m}$ – вартість традиційного зенкера.

Використавши (5.39) та (5.36) визначимо остаточний економічний ефект від запровадження спеціального зенкера

$$E_{36.np} + E_e + E_{3.g} = \left(C_{3.T} \cdot C_1 + \left(\frac{L_p \cdot C_1 \cdot K_p \cdot N_p}{60n} + \frac{K_1 \cdot t^m \cdot s_p^n \cdot V \cdot L_p \cdot N_p \cdot C_e}{367200 \cdot n \cdot \eta} \right) \right) \times \left(\frac{1}{B_T \cdot s_T} - \frac{1}{B_3 \cdot s_p} \right). \quad (5.37)$$

Розрахунок економічної ефективності проведено в додатку Ж. Річний економічний ефект від використання зенкера на ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат» склав 29340 грн.

5.6.2. Визначення економічного ефекту від використання чотирирізцевої розточувальної головки з поділом пропуску і подачі

Запропонована чотирирізцева розточувальна головка в конструктивно-

технологічному відношенні відрізняється від традиційних головок тим, що, по-перше, одночасно здійснюють оброблення, як чорновим так і чистовими різцями, а, по друге, за рахунок спеціального розміщення чистових різців забезпечується збільшена подача при заданій шорсткості.

Таким чином економічний ефект при використанні запропонованої головки складається із трьох складових: економії електроенергії; зменшення потрібної кількості розточувальних головок; збільшення продуктивності праці.

Зменшення основного часу на операцію на виріб довжиною l з частотою обертання шпинделя n традиційними інструментами при чорновій подачі $s_{\text{чорн}} \approx 3s_{\text{чист}}$ буде, хв

$$t_{\text{ос.1}} = l/ns_{\text{чорн}} + l/ns_{\text{чист}} = l/3ns_{\text{чист}} + l/ns_{\text{чист}} = 4l/3ns_{\text{чист}} = 1,33 \cdot l/ns_{\text{чист}}, \quad (5.38)$$

а запропованою розточувальною головкою, в якій $s = 1.25s_{\text{чист}}$ (при кутах в плані різців $\varphi = 45^\circ$, $\varphi' = 20^\circ$)

$$t_{\text{ос.2}} = l/n \cdot 1.25s_{\text{чист}} = 0,8l/ns_{\text{чист}} \quad (5.39)$$

Зменшення основного часу, хв

$$\Delta t_{\text{ос}} = t_{\text{ос.1}} - t_{\text{ос.2}} = 1,33 \cdot l/ns_{\text{чист}} - 0,8l/ns_{\text{чист}} = 0,53 \cdot l/ns_{\text{чист}} \quad (5.40)$$

Економічний ефект процесу розточування глибоких отворів циліндрів з використанням запропонованої розточувальної головки у випадку коли капітальні затрати практично незмінні визначається за формулою

$$E = E_{\text{ел}} + E_{\text{інстр.}} + E_{\text{пр}}, \quad (5.41)$$

де $E_{\text{ел}}$, $E_{\text{св}}$, $E_{\text{пр}}$ – відповідно складові економічного ефекту від: економії електроенергії; зменшення потрібної кількості розточувальних головок; збільшення продуктивності праці.

Необхідна потужність для забезпечення процесу розточування $N_{\text{різ}} = P_Z \cdot V / 9750 \cdot \eta$, (кВт), де P_Z – тангенціальна складова сили різання, Н; V – швидкість різання, м/хв.; η – коефіцієнт корисної дії верстата.

Зменшення затрат потужності на обробку партії виробів $N_{\text{вир.}}$ визначиться за формулою

$$E_{\text{ел}} = P_Z \cdot V \cdot N_{\text{вир.}} \cdot \Delta t_{\text{ос}} / 9750 \cdot \eta. \quad (5.42)$$

Підставивши (5.30) в (5.42) отримали економічний ефект від економії електроенергії на потужності

$$E_{ел} = \frac{P_Z \cdot V}{9750 \cdot \eta} \cdot N_{вир} \cdot C_{ел} \cdot 0,53 \cdot l / 60 n s_{чист}, \quad (5.43)$$

де $C_{ел}$ – вартість однієї кіловат-години, грн.

Економічний ефект від зменшення кількості інструментів:

$$E_{інстр.} = \Delta t_{ос.} \cdot N_{вир} \cdot 4 \cdot C_{різ} / k \cdot T = 4 \cdot 0,53 \cdot l / n s_{чист} \cdot N_{вир} \cdot C_{різ} / k \cdot T \quad (5.44)$$

де T , $C_{різ}$ – відповідно період стійкості, та вартість виготовлення одного інструмента.

Економічний ефект від підвищення продуктивності визначиться за формулою

$$E_{пр} = \Delta t_{ос.} \cdot C_{хв} \cdot K_p, \quad (5.45)$$

де $C_{хв}$ – годинна тарифна ставка верстатника, грн.; K_p – коефіцієнт, що враховує розрядність роботи.

Підставивши (5.30) в (5.45) будемо мати

$$E_{пр} = 0,53 \cdot l \cdot C_{хв} \cdot K_p / 60 n s_{чист}$$

З врахуванням вище наведеного економічний ефект від використання комбінованої розточувальної головки буде

$$E = \frac{P_Z \cdot V}{9750 \cdot \eta} \cdot N_{вир} \cdot 0,53 \cdot l / 60 n s_{чист} \cdot C_{ел} + \frac{0,53 \cdot l / 60 n s_{чист}}{k \cdot T} \cdot N_{вир} \cdot C_{різ.} + 0,53 \cdot l \cdot C_{хв} \cdot K_p / 60 n s \quad (5.46)$$

Розрахунок економічної ефективності проведено в додатку Ж. Річний економічний ефект від використання розточувальної головки на ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат» склав 73690 грн.

5.7. Висновки по розділу

1. Внаслідок проведених заводських випробувань чотирирізцевих розточувальних головок встановлено, що період стійкості становить близько 120 хвилин і лімітується, в основному, стійкістю чорнового різця; параметр шорсткості, який отримується – $Ra=1,6$ мкм, оптимальна подача $s=0,35$ мм/об, точність

оброблених деталей відповідає 9 квалітету.

2. Внаслідок проведених заводських випробувань спеціальних зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням лез встановлено, що період стійкості становить близько 70 хвилин, параметр шорсткості, який отримується $Ra=1,6$ мкм, оптимальна подача $s=0,35$ мм/об, точність оброблених деталей відповідає 8 квалітету.

3. Отримано залежності впливу подачі на середнє та максимальнє значення тангенціальної сили різання з урахуванням матеріалу оброблення та стохастичності подач. Встановлено, що зростання подачі на знаменник геометричного ряду $\phi=1,41$ здійснює суттєвий вплив на тангенціальну силу.

4. На основі опрацювання результатів експериментальних досліджень за теорією планування експерименту та методом найменших квадратів отримано залежності, які враховують вплив подачі та глибини різання на середні та максимальні (з урахуванням стохастичності подач) значення осьової сили та крутного моменту при обробленні зенкерами з попарно-асиметричним розміщенням лез.

5. Встановлено, що при обробленні запропонованими зенкерами з попарно-асиметричним розміщенням лез отримується осьова сила в середньому на 15,2% вищою, а крутний момент – в середньому на 22,6% нижчим в порівнянні з використанням традиційних інструментів.

6. За параметром шорсткості обробленої поверхні Ra встановлено, що оброблення запропонованими зенкерами з попарно-асиметричним розміщенням лез найдоцільніше проводити з подачею $s=0.35$ мм/об, що на 17% є вищою, ніж при обробленні традиційними інструментами. Максимальна глибина різання лімітується лише міцністю елементів технологічної системи.

7. Запропоновано методику визначення економічної ефективності використання чотирирізцевих розточувальних головок та спеціальних зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням лез. При використанні розточувальних головок на ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат» продуктивність обробки підвищилась на 33%, річний економічний ефект склав 73690 грн. При використанні спеціальних зенкерів продуктивність обробки підвищилась на 17%, річний економічний ефект становив склав 29340 грн.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена науково-технічна задача розроблення прогресивних конструкцій БМІ з асиметричним розміщенням лез, що сприяє підвищенню ефективності розточування та зенкерування глибоких отворів циліндрів із забезпеченням заданої точності та шорсткості.

1. На основі аналізу схем роботи та конструкцій інструментів для розточування та зенкерування глибоких отворів запропоновано їх класифікацію, виявлено основні фактори, що впливають на забезпечення точності, шорсткості та продуктивності оброблення. Встановлено, що питання науково обґрунтованого підходу до конструювання БМІ з асиметричним розміщенням лез в залежності від необхідних якісних параметрів поверхонь деталей з умови забезпечення максимальної продуктивності в існуючих дослідженнях обґрунтовано недостатньо.

2. Розроблено уточнені геометрично-математичні моделі формування висоти нерівностей профілю і встановлено технологічні обмеження для їх використання, що дає можливість прогнозувати теоретичний профіль обробленої поверхні, а також визначати розрахункову висоту нерівностей профілю в залежності від значень головного та допоміжного кутів в плані, радіуса вершини різців та подачі.

3. На основі проведених за запропонованою методикою теоретичних та експериментальних досліджень доведено, що подачі на універсальних токарних верстатах є стохастичними величинами і підкоряються нормальному закону розподілу. Запропоновано залежності для визначення густини розподілу та характеристик розсіювання подачі, що дає можливість розглядати процеси і величини, на які впливає подача, як стохастичні.

4. На основі уточнених геометрично-математичних моделей з урахуванням стохастичності подач розроблено ймовірно-математичні моделі параметра висоти нерівностей профілю за десятьма точками. Запропоновано оцінювати висоту нерівностей профілю квантилем випадкової величини, для якого функція розподілу дорівнює 0,95, що дасть можливість на стадії проектування технологічного процесу встановлювати подачу, при якій з імовірністю 95 % параметр Rz_p буде не більший, ніж заданий.

5. Розроблено принципи конструктивного виконання та методики проектування три- та чотирирізцевих розточувальних головок з асиметричним розміщенням лез для комбінованого розточування глибоких отворів з використанням одного чорнового та двох або трьох чистових різців і спеціальних чотиририбних зенкерів з попарно-асиметричним розміщенням лез. Отримано залежності для визначення значень подач та глибин різання на кожному із різців з умови забезпечення зрівноваження радіальних складових сил різання, а також значень центральних кутів розміщення різців. Запропоновано модель оптимізації значень кутів в плані чистових різців розточувальної головки з умови забезпечення максимальної продуктивності, яка зростає більше, ніж на 30% в порівняно з використанням традиційних БМІ.

6. Отримані емпіричні формули для визначення середніх та максимальних (з урахуванням стохастичності подач) значень осьового зусилля та крутного моменту в залежності від глибини різання та подачі. Встановлено, що при обробленні запропонованими зенкерами з попарно-асиметричним розміщенням лез та корегованими кутами в плані отримують осьову силу в середньому на 15,2% більшу, а крутний момент в середньому на 22,6% менший у порівнянні з такими ж силовими характеристиками, визначеними для традиційних інструментів.

7. Встановлено, що за параметром шорсткості обробленої поверхні Ra , оброблення запропонованими зенкерами з попарно-асиметричним розміщенням лез поданих конструкцій найдоцільніше проводити з подачею $s=0,35$ мм/об, що на 17% вища, ніж рекомендована подача для оброблення глибоких отворів традиційними інструментами.

8. Результати роботи впроваджені на ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат». При використанні розточувальних головок збільшення продуктивності забезпечило річний економічний ефект в розмірі 73690 грн. При використанні спеціальних зенкерів отримано річний економічний ефект 29340 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Амарего И. Дж. А. Обработка металлов резанием / И. Дж. А. Амарего, Р. Х. Браун; пер. с англ. В. Л. Пастунова. – М. : Машиностроение, 1977. – 325 с.
2. Аршинов В. А. Резание металлов и режущий инструмент/ В. А. Аршинов, Г. А. Алексеев. – М. : Машиностроение, 1967. – 500 с.
3. А. с. 1053973 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / Н.Ф. Уткин, В. В. Григорьев, Н. С. Силин, М. Н. Коростелев (СССР). – №3317409/25-08; заявл. 15.07.81; опубл. 15.11.1983, Бюл. №42.
4. А. с. 1093410 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / Т. Г. Джугурян. – №3560724/25–08 ; заявл. 10.03.83 ; опубл. 23.05.84, Бюл. № 19.
5. А. с. 1103954 СССР, МКИ³ В 23 В 29/02. Расточная головка / Г. Д. Григорьян, Т. Г. Джугурян, В. А. Парфенов – №3522083/25–08 ; заявл. 17.12.82 ; опубл. 23.07.84, Бюл. № 27.
6. А. с. 1166904 СССР, МКИ³ В 23 В 29/02. Расточная головка / Т. Г. Джугурян. – №3702966/25–08 ; заявл. 21.02.84 ; опубл. 15.07.85, Бюл. № 26.
7. А. с. 1199472 СССР, МКИ³ В 23 В 29/02. Инструментальная головка / Т. Г. Джугурян, Г. М. Макаров, В. А. Парфенов і В. А. Фоменко. – №3728257/25–08 ; заявл. 18.04.84 ; опубл. 23.12.85, Бюл. № 47.
8. А. с. 1240509 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / Т. Г. Джугурян. – №3790750/25–08 ; заявл. 18.09.84 ; опубл. 30.06.86, Бюл. № 24.
9. А. с. 1366306 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / Т. Г. Джугурян. – №4065218/25–08 ; заявл. 04.03.86 ; опубл. 15.01.88, Бюл. № 2.
10. А. с. 1386376 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / Г. Д. Григорьян, Т. Г. Джугурян, Г. М. Бурбан. – №4116511/25–08 ; заявл. 10.06.86 ; опубл. 07.04.88, Бюл. № 13.
11. А. с. 1393536 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / Т. Г. Джугурян, Е. Н. Цветков, Е. И. Шведов. – №4190483/29–08 ; заявл. 19.11.86 ; опубл. 07.05.88, Бюл. № 17.
12. А. с. 1398999 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка /

Г. Д. Григорьян, Т. Г. Джугурян, С. А. Близнюк. – №4111939/25–08 ; заявл. 25.08.86 ; опубл. 30.05.88, Бюл. № 20.

13. А. с. 1421465 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / Т. Г. Джугурян, Б. А. Моргунь. – №4164000/25–08 ; заявл. 22.12.86 ; опубл. 07.09.88, Бюл. № 33.

14. А. с. 1472183 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / А. Л. Айрикян, Т. Г. Джугурян. – №4292346/25–08 ; заявл. 30.07.87 ; опубл. 15.04.89, Бюл. № 14.

15. А. с. 1484454 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка / Г. Д. Григорьян, С. А. Близнюк, Т. Г. Джугурян. – №4200464/25–08 ; заявл. 25.02.87 ; опубл. 07.06.89, Бюл. № 21.

16. А. с. 1565595 СССР, МКИ³ В 23 В 29/03. Многорезцовая расточная головка для обработки глубоких отверстий / В. В. Григорьев, К. В. Воскобой (СССР). – №4300551/31-08 ; заявл. 01.06.87; опубл. 23.05.1990, Бюл. № 49.

17. А. с. 1801707 В 23 В 29/03. Инструментальная головка / А. И. Гамерман, Т. Г. Джугурян, Б. А. Моргун, В. А. Парфенова, Э. М. Сирота. – №4841605/08 ; заявл. 25.06.90 ; опубл. 15.03.93, Бюл. № 10.

18. А. с. 1808500 В 23 В 29/03. Способ обработки отверстий / Т. Г. Джугурян, А. А. Оргиян, А. П. Пупин – №4951657/08 ; заявл. 05.04.91 ; опубл. 15.04.93, Бюл. № 14.

19. А. с. №1683876 МКИ³ В 23 В 29/03. Расточная головка для обработки глубоких отверстий / В. Ф. Гилян, (СССР). – №4437654/08; заявл. 08.06.88; опубл. 15.10.1991, Бюл. № 38.

20. Блох Ф. Техника сверления отверстий пушечными сверлами / Блох Ф. [пер. №37907/4 с французского]. – М. : Машиностроение, 1964. – 254 с.

21. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов: учебник / Бобров В. Ф. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.

22. Бобров В. Ф. Резание металлов самовращающимися резцами / В. Ф. Бобров, Д. Е. Иерусалимский – М. : Машиностроение, 1972. – 112 с.

23. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : И-во «Наука», 1969. – 576с.

24. Вимірювання параметрів шорсткості. Терміни та визначення. [Текст] :

ДСТУ 2409-94. – Чинний з 1995-01-01. – [Б. м. : б. и.]. – 19 с. – (Національний стандарт України)

25. Воронцов А. Л. Разработка новой теории резания. Состояние вопроса / А. Л. Воронцов, Н. М. Султан-Заде, А. Ю. Албагачиев // Вестник машиностроения. – 2008. – №2. – С. 56-66.

26. Воронцов А. Л. Разработка новой теории резания. Определение деформированного напряженного состояния обрабатываемой заготовки / А. Л. Воронцов, Н. М. Султан-Заде, А. Ю. Албагачиев // Вестник машиностроения. – 2008. – №5. – С. 61-69.

27. 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

28. Вульф А. М. Резание металлов / А. М. Вульф. – [изд. 2-е]. – Л. : Машиностроение, 1973. – 496 с.

29. Гаскаров Д. В. Малая выборка / Гаскаров Д. В., Шаповалов В. И. – М.: Статистика, 1978. – 248 с.

30. Горелова А. Ю. Методы повышения точности обработки глубоких отверстий / Горелова А. Ю., Плешаков А. А., Кристаль М. Г. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – № 7-2. – 2013. – С. 363-370.

31. Горелов В. М. Резание металлов / Горелов В. М. – М.: Машиностроение, 1966. – 208 с.

32. Грановский Г. И. Резание металлов: учебник для машиностроительных и приборостроительных спец. вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высшая школа, 1985. – 304 с.

33. Григорьев В. В. Расточная головка для обработки глубоких отверстий / В. В. Григорьев, А. М. Емельянов, Е. Я. Самсонов // Станки и инструмент. – 1980. – №9. – С. 22-23

34. Губергриц Л. И. Станки для сверления и растачивания глубоких отверстий / Губергриц Л. И., Дроздов Ф. М. // Станки и инструмент, 1989. – №4. – С. 2-4.

35. Гурин Ф. В. Технология автотракторостроения: учебник для вузов /

Ф. В. Гурин, В. Д. Клепиков, В. В. Рейн. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.:Машиностроение, 1981. – 295 с.

36. Гуськов А. М. Анализ возможных причин возникновения автоколебаний при глубоком сверлении / А. М. Гуськов // Изв. вузов. Машиностроение, 1974. – №10 – С. 145-149.

37. Дальский А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин / Дальский А. М. – М. : Машиностроение, 1975. – 223 с.

38. Джонсон У. Теория пластичности для инженеров / У. Джонсон, П. Меллор. – М. : Машиностроение, 1979. – 567 с.

39. Джугурян Т. Г. Рациональное распределение нагрузки на рабочие элементы двухлезвийного расточного инструмента одностороннего резания / Т. Г. Джугурян // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 1999. – Вып. 1(7). – С. 66-69.

40. Джугурян Т. Г. Технологічні основи керування точністю та якістю обробки при прецизійному розточуванні : Автореф. дис....д-ра техн. наук : 05.02.08 / Т. Г. Джугурян; Нац. тех. ун-т "Харк. політех. ін-т". – Х., 2001. – 36 с.

41. Долматовський Г. А. Справочник технолога по обработке металлов резанием / Г. А. Долматовський. – [изд. 5-е пер.]. – М.: Госнаучтехиздат, 1962. – 1236 с.

42. Допуски и посадки: справочник: в 2-х ч. / [В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В.А. и др.] ; под ред. В. Д. Мягкова. – [6-е изд., пер. и доп.]. – Л.: Машиностроение, 1982. – Ч. 1.–1982.– 543 с.

43. Дунин-Барковский И. В. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / И. В. Дунин-Барковский, А. Н. Карташова. – М.: Машиностроение, 1978. – 325с

44. Егоров С. В. Резание конструкционных материалов и режущий инструмент: лабораторный практикум [учебное пособие для втузов]. – [изд. 2-е перераб.] / С. В. Егоров, А. Г. Червяков. – Л. : Высшая школа, 1975. – 188 с.

45. Екимов В. В. Вероятностные методы в строительной механике корабля / Екимов В. В. Из-во «Судностроение». – Ленинград, 1966. – 328с.

46. Железнов Г. С. Расточной инструмент / Г. С Железнов, Ю. А. Голоднова,

С. Г. Железнова // Станки и инструмент. – 2004. – №8. – С. 39-41.

47. Зусман А. Д. Обработка отверстий на сверлильных станках / Зусман А. Д. – М. : Машгиз, 1963. – 132с.

48. Иваса Т. Выбор параметров сверл и технологических режимов при глубоком сверлении / Иваса Т. [пер. №37906/4 с японского]. – М. : Машиностроение, 1964. – 236 с.

49. Ймовірнісний метод оцінювання впливу подачі на шорсткість поверхні, отриманої в процесі різання пластичних сплавів / [Грицай І. Є. , Кривий П. Д. , Дзюра В. О. , Яцюк В. А.] / Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції "Прогресивні технології у машинобудуванні" присвячена 170-річчю створення Національного університету "Львівська політехніка", 2-6 лютого 2015 : праці. – Львів : В-во НУ "Львівська політехніка", 2015. –С. 35-37.

50. Инструменты для обработки точных отверстий / [Кирсанов С. В. , Гречишников В. А. , Схиртладзе А. Г. , Кокарев В. И.]. – М. : Машиностроение, 2005. – 336с.

51. Исаев А. И. Микрогеометрия поверхности при токарной обработке / Исаев А. И. – М.; Л :АН СССР, 1950. – 107 с.

52. Інтенсифікація процесів механічної обробки : монографія / В. Є. Карпусь, В. О. Іванов, О. В. Котляр, Д. О. Міненко, М. С. Іванова; ред.: В. Є. Карпусь; Сум. держ. ун-т. – Суми, 2012. – 435 с.

53. Інформаційні та вимірювальні системи: теорія і практика: Посібник. / Г. І. Хімічева, О. М. Величко, О. В. Іванченко, М. А. Долгов, А. С. Зенкін. — Київ: Основа, 2006. – 286 с.

54. Каладзе В. А. Описание и оценка шероховатости изделий методами статистической динамики / В. А. Каладзе, В. Н. Шапошников // Ползуновский Вестник, 2010. – №2. – С. 72-77

55. Карпусь В. Е. Эффективное растачивание основных отверстий двухрезцовой оправкой / В. Е. Карпусь, Д. А. Миненко // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009. – Вып. 76. – С 63-66.

56. Карпусь В. Е. Технологическая оснастка для обработки отверстий на

станках с ЧПУ / Карпусь В. Е. , Миненко Д. А. // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2006. – Вып. 70. – С. 224-235.

57. Картавов С. А. Технология машиностроения (специальная часть) / Картавов С. А. – К.: Высшая школа, 1984. – 272 с.

58. Кастрюк О. В. Визначення шорсткості поверхні тонкостінних деталей алюмінієвого сплаву / О. В. Катрук, О. А. Плівак, С. В. Майданюк // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 129/2012. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012. – С. 100-106

59. Кацев П. Г. Статистические метод исследования режущего инструмента. – [изд. 2-е, перераб и доп.] / П. Г. Кацев. – М.: Машиностроение, 1974. – 231с.

60. Кирсанов С. В. Современные конструкции инструментов для сверления и растачивания глубоких отверстий / Кирсанов С. В. // Справочник. Инженерный журнал, 2005. – №2(95). – С. 46-53.

61. Клушин М. И. Резание металлов. Элементы теории пластического деформирования срезаемого слоя / М. И. Клушин. – [изд. второе перераб. и доп.] – М. : Машгиз, 1958. – 454 с.

62. Кобельник В. Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис..... канд. техн. наук, спец. 05.03.01 / Кобельник Володимир Романович – Тернопіль, 2013. – 168 с.

63. Кожевников Д. В. Современная технология и инструмент для обработки глубоких отверстий: обзор / Кожевников Д.В. – М. : НИИМАШ, 1981. – 60с.

64. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. / Я. Д. Колкер // Киев : Техника – 1979. – 200с.

65. Кононенко С. Г. Обработка глубоких отверстий / Кононенко С. Г. – М. : Машиностроение, 1964. – 41с.

66. Кордонский Х. Б. Приложение теории вероятностей в инженерном деле / Кордонский Х. Б. М.: Л.: Госиздат физико-математич. литературы, 1963. – 434 с.

67. Костюкович С. С. Точность обработки глубоких отверстий / С. С. Костюкович, Э. М. Дечко, В. И. Долгов. – Минск : Высшейш. шк., 1978. – 144 с.

68. Кочеровский Е. В. Расточная головка для тонкого растачивания отверстий / Е. В. Кочеровский, Г. М. Лихциер, В. А. Ухачев // Станки и инструмент. – 1984. – №9. – С. 15-16.

69. Кривий П. Конструкція спеціального зенкера для чистової обробки внутрішніх циліндричних поверхонь втулок і роликів ланцюгів / Петро Кривий, Володимир Крупа // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми сучасних технологій виготовлення та надійності передач з гнучким зв'язком», 19-21 грудня 2011 р. : тези допов. – Тернопіль: «Крок», 2011. – С. 53-55.

70. Кривий П. Д. Багатолезовий різальний інструмент для протяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Збірник матеріалів наукової конференції механіко-технологічного факультету «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті», 16 травня 2011 : тези допов. – Тернопіль : В-во ТНТУ. –2011. С. 99-100.

71. Кривий П. Д. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з одночасним поділом товщини та ширини зрізаного шару / Кривий П. Д. , Крупа В. В. , Горлій Є. І. // Матеріали доповідей XVI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 27-28 жовтня 2010 : тези допов. – Тернопіль : В-во ТНТУ. – 2010. – Том 2. – С. 30.

72. Кривий П. Д. Геометричне моделювання формування шорсткості поверхні при точінні та розточуванні / Кривий П. Д. , Крупа В. В. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» присвяченої 50-річчю заснування ТНТУ та 165-річчю з дня народження Івана Пулюя, 19 – 21 травня 2010 : праці. – Тернопіль : В-во ТНТУ. – 2010. – С. 172.

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

74. Кривий П. Д. Імовірно-статистичний підхід при дослідженні впливу точності подачі на шорсткість обробленої поверхні при точінні та розточуванні / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Матеріали міжнародного наук.-техн. конф. студентів.

аспірантів і молодих вчених «Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудування та транспорту» 16-18 травня 2011р. :тези допов. – Севастополь: Вид-во СевНТУ. – 2011. – С. 175-176.

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

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

77. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічні параметри багаторізцевих розточних головок з радіусними вершинами різців / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2011.– Вип. 33 – С. 92-99.

78. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів / Кривий П. Д. , Крупа В. В. , Продан В. І. // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 147-156. – (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

79. Кривий П. Д. Конструкція спеціального зенкера для обробки глибоких отворів тонкостінних циліндрів / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих. Прогресивні ідеї – наука – виробництво», 22-25 жовтня 2012р. : тези допов. – Київ : Вид-во «КПШ», 2012. – Том 1. – С. 66-68.

80. Кривий П. Д. Конструкція спеціального трикулачкового патрона для закріплення тонкостінних заготовок циліндрів з глибокими отворами / Кривий П. Д. , Крупа В. В. // Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих. Прогресивні ідеї – наука – виробництво», 27-31 жовтня 2014 р. : тези допов. – Суми : Вид-во «СумДУ». – С. 66-67.

81. Кривий П. Д. Підвищення ефективності процесу оброблення глибоких отворів циліндрів багатолезовим різальним інструментом / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції

"Прогресивні технології у машинобудуванні" присвячена 170-річчю створення Національного університету "Львівська політехніка", 2-6 лютого 2015 : праці. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. – С. 45-47.

82. Кривий П.Д. Пристрій для вимірювання силових характеристик процесу різання при обробленні внутрішніх циліндричних поверхонь / П.Д. Кривий, В.В. Крупа, В.О. Дзюра // Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 11-12 грудня 2013р. : тези допов. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ, 2013. – С. 102-103.

83. Кривоухов В. А. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки / В. А. Кривоухов, П. Г. Петруха. – М.: Машиностроение, 1967. – 654 с.

84. Кривий П. Д. Новые конструкции зенкеров для обработки цилиндрических поверхностей втулок и роликов приводных цепей повышенной прочности и точности / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Материали Международного научно-технического симпозиума «Современные проблемы создания и производства механических передач» (Россия, Москва 13-14 ноября 2012р.). – С. 123

85. Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторіцевих розточних головок з поділом припуску та подачі / Крупа В. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.105-117. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

86. Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторіцевих розточних головок з одночасним поділом припуску та подачі та радіусом при вершині різців $r=0$ / В. В. Крупа // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 21-22 грудня 2010 : тези допов. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ. – 2010. С.55.

87. Крупа В. В. Математичні моделі впливу стохастичності подач на шорсткість обробленої поверхні в імовірнісному аспекті / В. В. Крупа // Десятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові, 25-27 травня 2011 р. : праці. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, – 2011. – С. 234-236.

88. Крупа В. В. Статистична оцінка впливу стохастичності подач на сформовану за різними моделями шорсткість обробленої поверхні при точінні та розточуванні / В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко, А. А. Андрухів, І. Г. Михайлів // Збірник матеріалів 10-ї відкритої наукової конференції Інституту прикладної математики та фундаментальних наук, 17-18 травня 2012р. : тези допов. – Львів : В-во НУ «Львівська політехніка», 2012. – С. В49

89. Кулешова З. Г. Исследование погрешностей формы гильз прецизионных станков, возникающих вследствие деформаций, вызванных силами закрепления при механической обработке / З. Г. Кулешова // Изв. вузов. Машиностроение, 1969. – №11 – С. 185-190.

90. Куликовский К. Л. Методы и средства измерений: учебное пособие для вузов / Куликовский К. Л. , Купер В. Я. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448с.

91. Лазарев Д. Е. Повышение качества обработки поверхности и точности размеров при растачивании глубоких отверстий / Д. Е. Лазарев, Т. Г. Насад // Вестник СГТУ, 2011. – №3(58). – Вып. 2. – С76-79.

92. Лазарев Д. Е. Режущие инструменты для повышения качества и производительности механической обработки точных отверстий / Д. Е. Лазарев, Т. Г. Насад // Вестник СГТУ, 2011. – №3(58). – Вып. 2. – С. 80-83

93. Лещенко М. И. Технология и инструмент для обработки глубоких отверстий толстостенных цилиндров / Лещенко М. И. , Оганян А. А. – М. : ВНИИТЭМР, 1989. – 60 с.

94. Линчевский П.А. Тонкое растачивание в структуре технологических операций обработки точных отверстий [Текст] : автореф. дис... д-ра техн.наук: 05.02.08 / Линчевский Павел Адамович ; Одесский политехнический ун-т. - О., 1993. - 25 с.

95. Линчевский П. А. Математическое моделирование колебательных процессов при растачивании прерывистых поверхностей борштангами с упругими элементами / П. А. Линчевский, Б. О. Ткаченко, С. М. Онищенко // Пр. Одес. політехн. ун-ту. – 2007. – Вип. 1. – С. 41-45.

96. Лисовская В. В. Методы оценки шероховатости тонкопленочных покрытий

[Электронный ресурс] / В Лисовская, В. Г. Я. Беляев, С. Ю. Котов // Материалы конференции «Прикладные разработки науки и техники» – 2013, Przemysl, Польша. – Режим доступа :

http://www.rusnauka.com/32_PRNT_2013/Tecnic/8_146866.doc.htm.

97. Луцив И. В. Обработка отверстий большого диаметра инструментами с адаптивной кинематической связью/ Луцив И. В., Нагорняк С.Г. // Технология и организация производства. – Киев, 1987. – С. 27-29.

98. Луців І. В. Аналіз ресурсу і конструктивних особливостей свердел адаптивного типу для обробки глибоких отворів / І. В. Луців, І. І. Брошак // Процеси механчної обробки в машинобудуванні. – 2009. – Вип. 6. – С. 130-140

99. Луців І. В. Основи створення багатолезового оснащення з міжінструментальними зв'язками для обробки поверхонь обертання : дис. доктора техн. наук : 05.03.01 / Луців Ігор Володимирович. – К. : 2006. – 305 с.

100. Луців І. В. Проектування свердел адаптивного типу для оброблення глибоких отворів з допомогою ПЕОМ / Луців І., Брошак І. // Вісник ТДТУ. – 2001. – Т. 6. – № 1. – С. 45–51.

101. Луців І. В. Формування шорсткості і хвилястості поверхні при багатолезовій адаптивній обробці / І.В. Луців // Вісник ТДТУ. – 1999. – Том 4. – № 3. – С. 135-138.

102. Мазур М. П. Основы теории резания металлов: учебник [для высш. навч. закладів] / [М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залого, Ю. К. Новосолов, Ф. Я. Якубов]; під заг. ред. М. П. Мазура. – Львів: Новий Світ-2000, 2010. – 422 с.

103. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров. – М. : Машиностроение, 1976. – 278с.

104. Малиновский Г. Т. Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием: свойства и применение / Малиновский Г.Т. – М. : Химия, 1993. – 160с.

105. Марочник стали для машиностроения: общемашиностроительные типовые и руководящие материалы в области технологии и организации

производства / Государственный комитет по машиностроению при госплане СССР. – М.: Научно-исследовательский институт информации по машиностроению, 1968. – 596 с.

106. Маршуба В. П. Особенности обработки глубоких отверстий. Основные сведения : монография / В. П. Маршуба, А. А. Мельниченко; Укр. инж.-пед. акад. – Х., 2008. – 140 с.

107. Маршуба В. П. Підвищення ефективності процесу глибокого безвиводного свердлення ливарних алюмініїв стандартними свердлами на агрегатних верстатах : Автореф. дис... канд. техн. наук : 05.03.01 / В. П. Маршуба; Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2001. – 22 с.

108. Маталин А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / Маталин А. А. – К.: Техника, 1971. – 142 с.

109. Металорізальні інструменти / [П.Р. Родін, Ю.М. Бугай, Н.С. Равська, В.І. Солодкий]. – Київ, 1999. – Ч1. – 226 с.

110. Методика (основные положения) экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: "Экономика", 1977. – 45с.

111. Мещеряков Р. К. К расчету точности обработки глубоких отверстий / Мещеряков Р. К. , Ушаков А. И. // Изв. вузов. Машиностроение. – 1971. – №2. – С. 189-194.

112. Мещеряков Р. К. Радиальное биение поверхностей, полученных сверлением и рассверливанием деталей / Мещеряков Р. К. , Симанчук Л. И. , Киселев В. Л. // Изв. вузов. Машиностроение. – 1977. – №5. – С. 158-165.

113. Минков М. А. Технология изготовления глубоких и точных отверстий / Минков М. А. М. , Л.: Машиностроение, 1965. – 176 с.

114. Об особенностях растачивания отверстий большого диаметра многолезвовой головкой / [Боярский В. Г., Сихимбаев М. Р., Шеров К. Т., Макеев В. Ф.] // Международный журнал экспериментального образования, 2012. – №2. – С33-35.

115. Оборський Г. О. Наукові основи забезпечення параметричної надійності

та динамічної якості технологічних систем прецизійної обробки : Автореф. дис... д-ра техн. наук / Г. О. Оборський; Ін-т надтверд. матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України. – К., 2006. – 36 с.

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

117. Обработка глубоких отверстий в машиностроении. Справочник. [Кирсанов С. В., Гречишников В. А., Григорьев С. Н., Схиртладзе А. Г.]. – М. : Машиностроение. – 2010. – 344с.

118. Обработка глубоких отверстий. Справочник технолога / [под ред. А. Панова]. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.

119. Окубо Т. Прецизионная обработка глубоких отверстий по методу БТА / Окубо Т. // Кикай то когу, 1966. – т. 10. – №10. – С. 8-18.

120. Основні норми взаємозамінності.Шорсткість поверхні.Терміни та визначення. [Текст] : ДСТУ 2413-94. – Чинний з 1995-01-01. – [Б. м. : б. и.]. – 37 с. – (Національний стандарт України)

121. Основы технико-экономического анализа инженерных решений: учебное пособие / А. Э. Розенплентер, В. С. Сычев, С. П. Чернишев, И. С. Щур; под ред. А. Э. Розенплентера. – К.: Высшая школа, головное изд-во, 1989. – 126с.

122. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент / [Рубинштейн С. А., Левант Г. В., Орнис Н. М., Тарасевич Ю. С.] – М. : Машиностроение, 1968. – 392 с.

123. Отений Я. Н. Прогрессивные методы обработки глубоких отверстий / Я. Н. Отений, Н. Я. Смольников, Н. В. Ольштынский. – РПК «Политехник», Волгоград, 2003. – 178 с.

124. Пат. 13672, Україна, МПК³ (2005.01) В 23 В29/00. Борштанга / Карпусь В. Є., Міненко Д. О.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – №u200509425; заявл. 07.10.2005; опубл. 17.04.2006, Бюл. №4.2.

125. Пат. 0053877 США, МПК В 23 D43/06. Multi-tool boring head and process for boring / James E. Rowland, Vladimir Stepan ; заявник і патентовласник Siemens

Corporation – №20030053877A1 ; заявл. Sep.20,2001 ; опубл. Mar.20,2003.

126. Пат. 0193221 США, МПК В 23 В29/03. Boring head / Chin-Chiu CHEN.; заявник і патентовласник Chin-Chiu CHEN. – №20140193221A1 ; заявл. Jan.4,2013 ; опубл. Jul.10,2014.

127. Пат. 0211812 США, МПК³ Е 21 В7/26. Boring head method and boring head for a ground boring device / Franz-Josef Puttmann ; заявник і патентовласник Tracto-Technik GmbH – №20090211812A1 ; заявл. Jul.6,2005 ; опубл. Aug.27,2009.

128. Пат. 0222979 США, МПК³ В 23 В29/034. BORING HEAD / Rudolf Stadelmann, Gottlieb Abderhalden, Ralph Stadelmann ; заявник і патентовласник Heinz Kaiser AG. – №20110222979A1 ; заявл. Mar.15,2011 ; опубл. Sep.15,2011.

129. Пат. 2042477 РФ, МПК⁶ В 23 В29/38. Расточная головка / Украженко К. А. ; заявитель и патентообладатель Украженко К. А. – №93013401/08 ; заявл. 15.03.1993 ; опубл. 27.08.1995.

130. Пат. 2104827 РФ, МПК⁶ В 23 В29/03. Расточная головка / Самыкин В. Н., Волков А. Н., Бурмистров Е. В. ; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет. – №94025997/02; заявл. 12.07.1994 ; опубл. 20.02.1998.

131. Пат. 2138370 РФ, МПК⁶ В23В 35/00. Способ вытяжного растачивания внутреннего отверстия заготовки под прокат из циркония и сплавов на его основе и инструмент для осуществления способа / ОАО «Чепецкий механический завод».; заявитель и патентообладатель ОАО «Чепецкий механический завод». – №98114353/02 ; заявл. 28.07.1998 ; опубл. 27.09.1999.

132. Пат. 2175591 РФ, МПК⁷ В 23 В29/034. Расточная головка / Украженко К. А. , Маланов А. Г. ; заявитель и патентообладатель Ярославский государственный технический университет. – №2000106372/02 ; заявл. 14.03.2000 ; опубл. 10.11.2001.

133. Пат. 2190504 РФ, МПК⁷ В 23 В29/03. Регулируемая расточная головка / Клопов Н. В. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Завод им. В.А. Дегтярева». – №2000129541/02 ; заявл. 24.11.2000 ; опубл. 10.10.2002.

134. Пат. 2190505 РФ, МПК⁷ В 23 В29/03. Регулируемая расточная головка /

Клопов Н. В. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Завод им. В.А. Дегтярева». – №2000129542/02 ; заявл. 24.11.2000 ; опубл. 10.10.2002.

135. Пат. 2196027 РФ, МПК⁷ В 23 В29/03. Расточная головка / Смирнов Г. В., Смирнов В. Г., Чалков Н. А. ; заявитель и патентообладатель ОАО "Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение". – №2001106881/02 ; заявл. 13.03.2001 ; опубл. 10.01.2003.

136. Пат. 2235623 РФ, МПК⁷ В 23 В29/034. Расточная головка / Украженко К. А. , Козлов В. А. , Дегтярев Н. Ю. ; заявитель и патентообладатель Ярославский государственный технический университет. – №2003102479/02 ; заявл. 29.01.2003 ; опубл. 10.09.2004.

137. Пат. 2236328 РФ, МПК⁷ В 23 В29/034. Расточная головка / Украженко К. А. , Украженко О. К. ; заявитель и патентообладатель Ярославский государственный технический университет. – №2003102480/02 ; заявл. 29.01.2003 ; опубл. 20.09.2004.

138. Пат. 2349426 РФ, МПК В 23 В29/034. Расточная головка / Украженко К. А. , Украженко О. К. ; заявитель и патентообладатель Украженко К. А. , Украженко О. К. – №2007111659/02 ; заявл. 30.03.2007 ; опубл. 20.03.2009.

139. Пат. 2388579 РФ, МПК⁶ В 23 В51/10. Многолезвийный режущий инструмент для вытяжного растачивания внутреннего отверстия заготовки под прокат / Едигарев А. И. , Зайцев В. Л. , Ильенко И. В. и др. заявитель и патентообладатель ОАО «Чепецкий механический завод». – №2008118783/02; заявл. 12.05.2008; опубл. 20.11.2009.

140. Пат. 67542 Україна, МПК (2006.01) В 23В 51/10. Багатолезовий різальний інструмент для протяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / Кривий П. Д. , Крупа В. В. , Кушпіль В. С. ; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201109467; заявл. 28.07.2011; опубл. 27.02.2012, бюл. № 4/2012.

141. Пат. 72588 Україна, МПК (2006.01) В 23В 29/03. Розточувальна головка / Кривий П. Д., Крупа В. В.; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201200904; заявл. 30.01.12; опубл. 27.08.2012, бюл. № 16/2012

142. Пат. 73092 Україна, МПК (2006.01) В 23В 51/10. Багатолезовий різальний інструмент для витяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / Кривий П. Д., Крупа В. В.; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201202467; заявл. 01.03.2012; опубл. 10.09.2012, бюл. № 17/2012.

143. Пат. 80823 Україна, МПК В 23 В29/00. Шпиндельная расточная головка с микронной подачей / Чернов С. К., Федосов А. М.; заявитель и патентообладатель Государственное предприятие «НПК Газотурбостроения «Заря-Машпроект». – №20041109522/02 ; заявл. 22.11.2004 ; опубл. 12.11.2007.

144. Пат. 82488 Україна, МПК В 23 В29/00. Расточная головка / Буюкли И. М. , Джугурян Т. Г. , Йоргачов В. Д. , Линчевский П. А. ; заявитель и патентообладатель Буюкли И. М. , Джугурян Т. Г. , Йоргачов В. Д. , Линчевский П. А. – №a200501682/02 ; заявл. 23.02.2005 ; опубл. 25.04.2008.

145. Пат. 88484 Україна, МПК В 23 В51/10 (2006.01) Зенкер / Островський М. І. , Кушпіль В. С. , Кривий П. Д. , Крупа В. В. ; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201302671; заявл. 04.03.2013; опубл. 25.03.2014, бюл. № 6/2014

146. Пат. 94025997 РФ, МПК⁶ В 23 В29/03. Расточная головка / Самарский государственный аэрокосмический университет.; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет... – №94025997/08 ; заявл. 12.07.1994 ; опубл. 10.05.1996.

147. Паціора А. П. Підвищення ефективності обробки глибоких отворів великих діаметрів інструментом з визначеністю базування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / А. П. Паціора; Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2013. – 20 с.

148. Перескопов А. И. Изготовление сверлильных головок типа БГА / Перескопов А. И. // Машиностроитель, 1981. – №7. – С.28-29.

149. Пермяков А. А. Математическая модель силового взаимодействия инструмента и заготовки при обработке глубоких отверстий в условиях определённости базирования / Пермяков А. А. , Паціора А. П. // «Надёжность инструмента и оптимизация технологических систем». Сборник научных трудов. –

Краматорск, 2009. – Вып. №24 – с.272 – 276.

150. Пермяков А. А. Теоретические основы формирования гидродинамического эффекта на направляющих опорах инструмента для обработки глубоких отверстий [Текст] / Пермяков А. А., Пациора А. П. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Технологии в машиностроении №41 – Вестник НТУ "ХПИ", 2010. – С. 101-110.

151. Пестунов В. М. Оптимізація процесу обробки глибоких отворів / В. М. Пестунов, В. В. Свяцький, С. В. Придворова // Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету, 2012. – Вип. 25(1). – С. 200-210. (Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація)

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

153. Подураев В. Н. О влиянии разнообрабатываемости на точность обработки глубоких отверстий / В. Н. Подураев, А. А. Суворов, А. А. Барзов // Изв. вузов. Машиностроение. – 1976. – №1. – С. 141-144.

154. Подураев В. Н. О влиянии скорости резания на уводы при глубоком сверлении / В. Н. Подураев, А. А. Суворов, А. А. Барзов // Изв. вузов. Машиностроение, 1976. – №1. – С. 182-184.

155. Подураев В. Н. Обработка резанием с вибрациями / Подураев В. Н. М.: Машиностроение, 1970. – 350 с.

156. Поповская Е. В. Управление отводом стружки при глубоком сверлении / Е. В. Поповская, А. П. Черный // Станки и инструмент. – 1978. – №6. – С. 32-34.

157. Порошин В. В. Основы комплексного контроля топографии поверхности деталей: монография / В. В. Порошин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 196 с.

158. Постников В. И. Эффективность исследований и разработок в машиностроении: анализ и методы оценки / В. И. Постников, Ю. Н. Мымрин. – М.: Машиностроение, 1980. – 199с.

159. Права на об'єкти інтелектуальної власності та економічна ефективність їх використання. Інформаційні матеріали. – К.: В-во УкрІНТІ, держспоживстандарт

України, 1998. – 65с.

160. Расточной инструмент: каталог продукции / HEINZ KAISER LTD , 2010. – 74 с.

161. Расточной инструмент: каталог продукции / NIKKEN BORING SYSTEM, 2007. – 30 с.

162. Расточной инструмент: каталог продукции / Seco tools AB , 2005. – 89 с.

163. Расточной инструмент: каталог продукции / SAU S.p.A., 2011. – 61с.

164. Расточные системы: каталог продукции / PINZBOHR BORING SYSTEM, 2004. – 12 с.

165. Расчеты экономической эффективности новой техники. Справочник. [2-е изд., перераб и доп.]. – [под ред. К. М. Великанова]. – Л. : Машиностроение, 1990. – 448 с.

166. Режущий инструмент: каталог продукции / AB Sandvik Coromant, 2007. 1232 с.

167. Режущий инструмент: каталог продукции / Guhring, Inc., 2012, 1641 с.

168. Резание металлов / [Г. И. Грановський, П. П. Грудов, В. А. Кривоухов, и др.] – М.: Машгиз, 1954. – 474 с.

169. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты / П. Р. Родин. – К.: Вища школа, 1986. – 656 с.

170. Розточувальний інструмент одностороннього різання для обробки глибоких отворів / [Т. Г. Джугурян, О. А. Оргіян, М. В. Чаругін та ін.] // Міжвуз. зб. "Наукові нотатки". – Луцьк, 2002. – Вип. 11. – С. 138-143.

171. Савуляк В. І. Температурні похибки при розточуванні отворів / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2009. – № 6. – С. 83-85.

172. Светлицкий В. А. Расчет погрешностей обработки глубоких отверстий / Светлицкий В. А. , Мещеряков Р. К. , Ушаков А. И. // Изв. вузов. Машиностроение. – 1977. – №5. – С. 167-171.

173. Советский энциклопедический словарь / [ред. Прохоров А. М.]. – 4-е изд. испр. – М.: Советская энциклопедия, 1986. – 1600 с.

174. Справочник конструктора-инструментальщика / под общ. ред. В. А. Гречишникова, С. В. Кирсанова. – М. : Машиностроение, 2006. – 542 с.

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

176. Справочник по обработке резанием / [Ф. Н. Абрамов, В. В. Коваленко, В. С. Любимов, В. И. и др.]. – К. : Техника, 1983. – 239 с.

177. Справочник по технологии резания металлов : в 2 кн. / под ред. Г. Шпура, Т. Штеферле; пер. с нем. под ред Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1985. – кн. 2. – 668с.

178. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. Малова А. М – М. : Машиностроение, 1973. – Т1. – 695с.

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

180. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. Кована В. М. – М.: Госнаучтехиздат, 1959. – Т.1. – 1959. – 584 с.

181. Статистичне оцінювання міцності пресових з'єднань приводних роликів ланцюгів закордонних фірм на основі теорії малих вибірок / [П. Кривий, Н. Тимошенко, В. Коломієць, Р. Чорний] // Вісник ТНТУ. – 2013. – Том 70. – № 2. – С.121-129. – (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

182. Ступницький В. В. Шляхи зменшення автоколиваний інструмента під час розточування глибоких отворів / В. В. Ступницький, Я. М. Новіцький // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2006. – № 560. – С. 8-14.

183. Сурженко А. М. Удосконалювання збірних комбінованих зенкерів за рахунок припустимого зменшення вузлів кріплення ріжучих пластин : Автореф. дис... канд. техн. наук : 05.03.01 / А. М. Сурженко; Донец. держ. техн. ун-т. – Донецьк, 2000. – 18 с.

184. Суслов А. Г. Теоретическое описание параметров шероховатости поверхностей при механической обработке / А. Г. Суслов // Труды Второй

Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы фундаментальных наук»: в 7 т. / под ред. И. Б. Федорова, К. С. Колесникова, А. О. Карпова. М.: Технофера-Информ, 1994. – Т. 5. Симпозиум «Промышленные технологии в современной техносфере». – С 107-109.

185. Суслов А. Г. Техническое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / Суслов А. Г. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.

186. Сухарев И. П. Прочность шарнирных узлов машин: справочное пособие / И. П. Сухарев. – М.: Машиностроение, 1977. – 168 с.

187. Табенкин А. Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / А. Н. Табенкин, С. Б. Тарасов, С. Н. Степанов. под ред. А. Н. Табачниковой – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 136 с.

188. Таурит Г. Э. Безвибрационное многолезвийное резание / Г. Э. Таурит, Е. С. Пуховский, М. И. Лещенко. – К.: Техника, 1982. – 117 с.

189. Технология машиностроения / [Картавов С. А., Левченко А. М., Рудник С. С. и др]. – К.: Техніка, 1965. – 527 с.

190. Троицкий Н. Д. Глубокое сверление / Троицкий Н. Д. – Л.: Машиностроение, 1971. – 176 с.

191. Туктанов А. Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия. – М.: Машиностроение, 2007. – 375 с.

192. Филлипов Г. В. Режущий инструмент / Г. В. Филиппов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1981. – 392 с.

193. Филоненко С. Н. Резание металлов / Филоненко С. Н. – М.: Машгиз, 1963. – 212 с.

194. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах [пер. с англ.] / Г. Хан, С. Шапиро. М.: Мир, 1969. – 395с

195. Хусу А. П. Шероховатость поверхности (теоретико-вероятностный подход) / Хусу А. П., Виттенберг Ю. Р., Пальмов В. А. Главн. ред. физ.-мат. литературы изд-ва «Наука», 1975. – 344 с.

196. Чеканов В. Е. Измерение внутренней поверхности глубоких цилиндров / Чеканов В. Е. // Вестник машиностроения, 1989. – №10. – С. 51-52.

197. Черничкин С. А. Кольцевое свердление и обработка глубоких отверстий / Черничкин С. А. – М. : Машиностроение, 1964. – 240 с.
198. Шендеров И. Б. Модель формообразования отверстия при растачивании / И. Б. Шендеров // Вестник машиностроения. – 1998. – №3. – С.22-25.
199. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики : ГОСТ 2289-85. – [чинний від 23.04.85]. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 25с.
200. Ящерицын П. И. Основы резания металлов и режущий инструмент / Ящерицын П. И. Еременко М. Л. Жигалко Н. И. – Минск.: Вышэйшая школа, 1975. – 528 с.
201. Bierman D. Simulation of the BTA deep hole drilling process / Dirk Biermann, Alexei Sacharow, Klaus Wohlgemuth // Productoin Engeneering Res. Devel., 2009. – P. 339-346.
202. Boring Heads. Ausdrehköpfe. Borrhuvuden: produkte catalog / Microna AB, 2011 – 32 s.
203. Brammertz P. H. Die Eutstehung der Oberdlächen rauheit beim Feindrehen / Brammertz P. H. – “Industrie-Anzeigser”, 1961, 83, №2.
204. Finish-Bore Feinverstellkopf zum Ausspindeln. Finish-Bore Precision Adjustable Head for Boring: produkte catalog / Fette Kieninger, 2010. – 54 s.
205. Pflughar F. Aspekte zur konstruktiven Gestaltung von Tiefbohrwerkzeugen / Pflughar F. // Werkstattstechnik, 1997. – V.67. – №4. – S. 211-218.
206. Pflughar F. Bestimmung der Reibungszahl an der führunglosen einschneidiger Bohrwerkzeuge / Pflughar F. / Industrie – Anzeiger, 1975. – 97. – №94. – S. 1997-1998.
207. Pflughar F. Kräfte an Schneide und Führunglosen von Eintippen – Tiefbohrwerkzeugen / Pflughar F. // Werkzeugmaschine international, 1974. – №6. – S. 51-56.
208. Preger. M. Vorschläge dür die Ermittlung der Schleigleistung und dür eine ergänzende Kennzeichnung der Schleidscheiben. / Preger. M. – “Werstatt und Betriab”, 1964. – №9. – S. 97-99.
209. Schmidt H. Das Tiefbohren – ein hochproduktives Fertigungsverfahren/ Schmidt H. // Technica, 1962, – Bd. 11. – № 19 – S. 1405-1409.
210. Spindel-werkzeuge precision boring tools: producte catalog / Swiss Flex, 2010.

– 101 s.

211. Stockert R. Auslegung von einschneidigen Tiefbohrwerkzeugen mit zwei Einzelschneiden / Stockert R., Weber U. // VDI – Zeitschrift, 1978. – V. 120. – № 22. – S. 1057-1061.

212. Stockert R. Einfluß von Gewichts — und Fliehkräften auf die Auslegung von Tiefbohrwerkzeugen / Stockert R., Thai T. // Industrie – Anzeiger, 1978. – V. 100. – № 103-104. – S. 56-57.

213. Stockert R. Untersuchung der Energie – Verhältnisse beim Tiefbohren mit einschneidigen BTA – Vollbohrköpfen / Stockert R., Weber U. // Industrie – Anzeiger, 1977. – V. 99. – № 26. – S. 39-40

214. Streicher F. Tiefbohren der Metalle. Verfahrenstechnische und Konstruktive Probleme / Streicher F. Würzburg: Vogel-Verlag, 1975. 128 s.

215. Sturenburg O.M. Zum Mittenverlauf beim Tiefbohren, Ursachen, Messung und Verringerung der Mittenabweichung von Bohrungen in der Metallbearbeitung / Sturenburg O. M. – Diss. Stuttgart: Institut für Werkzeugmaschinen, 1983. – 113 s.

216. Technological heredity and accuracy of the cross section shapes of the hydro-cylinder cylindrical surfaces / [Petro D. Kryvyi, Volodymyr O. Dzyra, Nadiia M. Tymoshenko, Volodymyr V. Krupa] // Canadian journal science, education and culture. – 2014. – №2 (6). – p. 301-309

217. Tooling systems HSK: product catalogue / Acrow Machinery MFG. Co. LTD, 2007. – 40 p.

218. Van der Waerden B.L. Mathematische Statistik / Van der Waerden B. L. – Berlin : Springer-Verlag, 1957. – 436 s.

219. Varying bending eigenfrequencies in BTA deep hole drilling: mechanical modeling using statistical parameter estimation / [Klaus Weinert, Klaus Weihs, Olaver Webber, Nils Raabe // Productoin Engeneering Res. Devel., 2007. – P. 127-134.

Додаток А

Результати вимірювання значень подач на токарному верстаті 16К20
та характеристики їх розподілу

Таблиця А.1

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,05$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	40	6,28	39,38	8,46	2,91	2,16	3,00
2	40	6,28	39,38			2,16	
3	41	5,28	27,83			1,81	
4	41	5,28	27,83			1,81	
5	42	4,28	18,28			1,47	
6	42	4,28	18,28			1,47	
7	42	4,28	18,28			1,47	
8	42	4,28	18,28			1,47	
9	42	4,28	18,28			1,47	
10	42	4,28	18,28			1,47	
11	43	3,28	10,73			1,13	
12	43	3,28	10,73			1,13	
13	43	3,28	10,73			1,13	
14	43	3,28	10,73			1,13	
15	43	3,28	10,73			1,13	
16	43	3,28	10,73			1,13	
17	43	3,28	10,73			1,13	
18	43	3,28	10,73			1,13	
19	44	2,28	5,18			0,78	
20	44	2,28	5,18			0,78	
21	44	2,28	5,18			0,78	
22	44	2,28	5,18			0,78	
23	44	2,28	5,18			0,78	
24	44	2,28	5,18			0,78	
25	44	2,28	5,18			0,78	
26	44	2,28	5,18			0,78	
27	44	2,28	5,18			0,78	
28	44	2,28	5,18			0,78	
29	44	2,28	5,18			0,78	
30	44	2,28	5,18			0,78	
31	44	2,28	5,18			0,78	
32	44	2,28	5,18			0,78	
33	44	2,28	5,18			0,78	
34	44	2,28	5,18			0,78	
35	44	2,28	5,18			0,78	
36	44	2,28	5,18			0,78	
37	45	1,28	1,63			0,44	
38	45	1,28	1,63			0,44	
39	45	1,28	1,63			0,44	
40	45	1,28	1,63			0,44	

Продовж. табл. А.1

41	45	1,28	1,63			0,44	
42	45	1,28	1,63			0,44	
43	45	1,28	1,63			0,44	
44	45	1,28	1,63			0,44	
45	45	1,28	1,63			0,44	
46	45	1,28	1,63			0,44	
47	45	1,28	1,63			0,44	
48	45	1,28	1,63			0,44	
49	46	0,27	0,08			0,09	
50	46	0,27	0,08			0,09	
51	46	0,27	0,08			0,09	
52	46	0,27	0,08			0,09	
53	46	0,27	0,08			0,09	
54	46	0,27	0,08			0,09	
55	46	0,27	0,08			0,09	
56	46	0,27	0,08			0,09	
57	46	0,27	0,08			0,09	
58	46	0,27	0,08			0,09	
59	46	0,27	0,08			0,09	
60	46	0,27	0,08			0,09	
61	46	0,27	0,08			0,09	
62	46	0,27	0,08			0,09	
63	46	0,27	0,08			0,09	
64	46	0,27	0,08			0,09	
65	46	0,27	0,08			0,09	
66	46	0,27	0,08			0,09	
67	46	0,27	0,08			0,09	
68	46	0,27	0,08			0,09	
69	46,5	0,23	0,05			0,08	
70	46,5	0,23	0,05			0,08	
71	47	0,73	0,53			0,25	
72	47	0,73	0,53			0,25	
73	47	0,73	0,53			0,25	
74	47	0,73	0,53			0,25	
75	47	0,73	0,53			0,25	
76	47	0,73	0,53			0,25	
77	47	0,73	0,53			0,25	
78	47	0,73	0,53			0,25	
79	47	0,73	0,53			0,25	
80	47	0,73	0,53			0,25	
81	47	0,73	0,53			0,25	
82	47	0,73	0,53			0,25	
83	47	0,73	0,53			0,25	
84	47	0,73	0,53			0,25	
85	47	0,73	0,53			0,25	
86	47	0,73	0,53			0,25	
87	48	1,73	2,98			0,59	
88	48	1,73	2,98			0,59	
89	48	1,73	2,98			0,59	

Продовж. табл. А.1

90	48	1,73	2,98			0,59	
91	48	1,73	2,98			0,59	
92	48	1,73	2,98			0,59	
93	49	2,73	7,43			0,94	
94	49	2,73	7,43			0,94	
95	49	2,73	7,43			0,94	
96	49	2,73	7,43			0,94	
97	49	2,73	7,43			0,94	
98	49	2,73	7,43			0,94	
99	49	2,73	7,43			0,94	
100	49	2,73	7,43			0,94	
101	49	2,73	7,43			0,94	
102	49	2,73	7,43			0,94	
103	49	2,73	7,43			0,94	
104	49	2,73	7,43			0,94	
105	50	3,73	13,88			1,28	
106	50	3,73	13,88			1,28	
107	50	3,73	13,88			1,28	
108	50	3,73	13,88			1,28	
109	50	3,73	13,88			1,28	
110	50	3,73	13,88			1,28	
111	50	3,73	13,88			1,28	
112	50	3,73	13,88			1,28	
113	51	4,73	22,33			1,62	
114	51	4,73	22,33			1,62	
115	53	6,73	45,23			2,31	
116	53	6,73	45,23			2,31	
117	53	6,73	45,23			2,31	
118	53	6,73	45,23			2,31	
119	54	7,73	59,68			2,66	
120	54	7,73	59,68			2,66	
$\sum s_i$	5553	273,4	1015,425				
\bar{s}_i	46,275						
Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса							
\bar{s}_i	46,275	$D(s_i)$	8,461875	$\sigma(s_i)$		2,90893	

Таблиця А.2

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,06$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	51	8,75	76,56	20,15	4,49	1,95	3,00
2	51	8,75	76,56			1,95	
3	52	7,75	60,06			1,73	
4	52	7,75	60,06			1,73	
5	52	7,75	60,06			1,73	
6	52	7,75	60,06			1,73	

Продовж. табл. А.2

7	53	6,75	45,56			1,50	
8	53	6,75	45,56			1,50	
9	53	6,75	45,56			1,50	
10	53	6,75	45,56			1,50	
11	54	5,75	33,06			1,28	
12	54	5,75	33,06			1,28	
13	55	4,75	22,56			1,06	
14	55	4,75	22,56			1,06	
15	55	4,75	22,56			1,06	
16	55	4,75	22,56			1,06	
17	55	4,75	22,56			1,06	
18	55	4,75	22,56			1,06	
19	55	4,75	22,56			1,06	
20	55	4,75	22,56			1,06	
21	55	4,75	22,56			1,06	
22	55	4,75	22,56			1,06	
23	55	4,75	22,56			1,06	
24	55	4,75	22,56			1,06	
25	56	3,75	14,06			0,84	
26	56	3,75	14,06			0,84	
27	56	3,75	14,06			0,84	
28	56	3,75	14,06			0,84	
29	56	3,75	14,06			0,84	
30	56	3,75	14,06			0,84	
31	56	3,75	14,06			0,84	
32	56	3,75	14,06			0,84	
33	57	2,75	7,56			0,61	
34	57	2,75	7,56			0,61	
35	58	1,75	3,06			0,39	
36	58	1,75	3,06			0,39	
37	58	1,75	3,06			0,39	
38	58	1,75	3,06			0,39	
39	58	1,75	3,06			0,39	
40	58	1,75	3,06			0,39	
41	58	1,75	3,06			0,39	
42	58	1,75	3,06			0,39	
43	58	1,75	3,06			0,39	
44	58	1,75	3,06			0,39	
45	59	0,75	0,56			0,17	
46	59	0,75	0,56			0,17	
47	59	0,75	0,56			0,17	
48	59	0,75	0,56			0,17	
49	59	0,75	0,56			0,17	
50	59	0,75	0,56			0,17	
51	59	0,75	0,56			0,17	
52	59	0,75	0,56			0,17	
53	59	0,75	0,56			0,17	
54	59	0,75	0,56			0,17	
55	60	0,25	0,06			0,06	

Продовж. табл. А.2

56	60	0,25	0,06			0,06	
57	60	0,25	0,06			0,06	
58	60	0,25	0,06			0,06	
59	60	0,25	0,06			0,06	
60	60	0,25	0,06			0,06	
61	60	0,25	0,06			0,06	
62	60	0,25	0,06			0,06	
63	60	0,25	0,06			0,06	
64	60	0,25	0,06			0,06	
65	60	0,25	0,06			0,06	
66	60	0,25	0,06			0,06	
67	60	0,25	0,06			0,06	
68	60	0,25	0,06			0,06	
69	60	0,25	0,06			0,06	
70	60	0,25	0,06			0,06	
71	60	0,25	0,06			0,06	
72	60	0,25	0,06			0,06	
73	60	0,25	0,06			0,06	
74	60	0,25	0,06			0,06	
75	60	0,25	0,06			0,06	
76	60	0,25	0,06			0,06	
77	60	0,25	0,06			0,06	
78	60	0,25	0,06			0,06	
79	61	1,25	1,56			0,28	
80	61	1,25	1,56			0,28	
81	61	1,25	1,56			0,28	
82	61	1,25	1,56			0,28	
83	61	1,25	1,56			0,28	
84	61	1,25	1,56			0,28	
85	61	1,25	1,56			0,28	
86	61	1,25	1,56			0,28	
87	62	2,25	5,06			0,50	
88	62	2,25	5,06			0,50	
89	62	2,25	5,06			0,50	
90	62	2,25	5,06			0,50	
91	63	3,25	10,56			0,72	
92	63	3,25	10,56			0,72	
93	63	3,25	10,56			0,72	
94	63	3,25	10,56			0,72	
95	63	3,25	10,56			0,72	
96	63	3,25	10,56			0,72	
97	63	3,25	10,56			0,72	
98	63	3,25	10,56			0,72	
99	64	4,25	18,06			0,95	
100	64	4,25	18,06			0,95	
101	64	4,25	18,06			0,95	
102	64	4,25	18,06			0,95	
103	64	4,25	18,06			0,95	
104	64	4,25	18,06			0,95	

Продовж. табл. А.2

105	65	5,25	27,56			1,17	
106	65	5,25	27,56			1,17	
107	65	5,25	27,56			1,17	
108	65	5,25	27,56			1,17	
109	67	7,25	52,56			1,61	
110	67	7,25	52,56			1,61	
111	67	7,25	52,56			1,61	
112	67	7,25	52,56			1,61	
113	67	7,25	52,56			1,61	
114	67	7,25	52,56			1,61	
115	68	8,25	68,06			1,84	
116	68	8,25	68,06			1,84	
117	71	11,25	126,56			2,51	
118	71	11,25	126,56			2,51	
119	72	12,25	150,06			2,73	
120	72	12,25	150,06			2,73	
$\sum s_i$	7170,0	409,0	2418,5				
\bar{s}_i	59,75						
Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса							
\bar{s}_i	59,75	$D(s_i)$	20,15	$\sigma(s_i)$		4,49	

Таблиця А.3

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,075$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	62	8,58	73,67	11,64	3,41	2,52	3,00
2	62	8,58	73,67			2,52	
3	64	6,58	43,34			1,93	
4	64	6,58	43,34			1,93	
5	64	6,58	43,34			1,93	
6	64	6,58	43,34			1,93	
7	66	4,58	21,01			1,34	
8	66	4,58	21,01			1,34	
9	66	4,58	21,01			1,34	
10	66	4,58	21,01			1,34	
11	66	4,58	21,01			1,34	
12	66	4,58	21,01			1,34	
13	66	4,58	21,01			1,34	
14	66	4,58	21,01			1,34	
15	67	3,58	12,84			1,05	
16	67	3,58	12,84			1,05	
17	67	3,58	12,84			1,05	
18	67	3,58	12,84			1,05	
19	67	3,58	12,84			1,05	
20	67	3,58	12,84			1,05	
21	67	3,58	12,84			1,05	

Продовж. табл. А.3

22	67	3,58	12,84			1,05	
23	68	2,58	6,67			0,76	
24	68	2,58	6,67			0,76	
25	68	2,58	6,67			0,76	
26	68	2,58	6,67			0,76	
27	68	2,58	6,67			0,76	
28	68	2,58	6,67			0,76	
29	68	2,58	6,67			0,76	
30	68	2,58	6,67			0,76	
31	68	2,58	6,67			0,76	
32	68	2,58	6,67			0,76	
33	68	2,58	6,67			0,76	
34	68	2,58	6,67			0,76	
35	69	1,58	2,51			0,46	
36	69	1,58	2,51			0,46	
37	69	1,58	2,51			0,46	
38	69	1,58	2,51			0,46	
39	69	1,58	2,51			0,46	
40	69	1,58	2,51			0,46	
41	69	1,58	2,51			0,46	
42	69	1,58	2,51			0,46	
43	69	1,58	2,51			0,46	
44	69	1,58	2,51			0,46	
45	70	0,58	0,34			0,17	
46	70	0,58	0,34			0,17	
47	70	0,58	0,34			0,17	
48	70	0,58	0,34			0,17	
49	70	0,58	0,34			0,17	
50	70	0,58	0,34			0,17	
51	70	0,58	0,34			0,17	
52	70	0,58	0,34			0,17	
53	70	0,58	0,34			0,17	
54	70	0,58	0,34			0,17	
55	70	0,58	0,34			0,17	
56	70	0,58	0,34			0,17	
57	70	0,58	0,34			0,17	
58	70	0,58	0,34			0,17	
59	70	0,58	0,34			0,17	
60	70	0,58	0,34			0,17	
61	70	0,58	0,34			0,17	
62	70	0,58	0,34			0,17	
63	71	0,42	0,17			0,12	
64	71	0,42	0,17			0,12	
65	71	0,42	0,17			0,12	
66	71	0,42	0,17			0,12	
67	71	0,42	0,17			0,12	
68	71	0,42	0,17			0,12	
69	72	1,42	2,01			0,42	
70	72	1,42	2,01			0,42	

Продовж. табл. А.3

71	72	1,42	2,01			0,42	
72	72	1,42	2,01			0,42	
73	72	1,42	2,01			0,42	
74	72	1,42	2,01			0,42	
75	72	1,42	2,01			0,42	
76	72	1,42	2,01			0,42	
77	72	1,42	2,01			0,42	
78	72	1,42	2,01			0,42	
79	72	1,42	2,01			0,42	
80	72	1,42	2,01			0,42	
81	72	1,42	2,01			0,42	
82	72	1,42	2,01			0,42	
83	72	1,42	2,01			0,42	
84	72	1,42	2,01			0,42	
85	73	2,42	5,84			0,71	
86	73	2,42	5,84			0,71	
87	73	2,42	5,84			0,71	
88	73	2,42	5,84			0,71	
89	73	2,42	5,84			0,71	
90	73	2,42	5,84			0,71	
91	73	2,42	5,84			0,71	
92	73	2,42	5,84			0,71	
93	73	2,42	5,84			0,71	
94	73	2,42	5,84			0,71	
95	73	2,42	5,84			0,71	
96	73	2,42	5,84			0,71	
97	73	2,42	5,84			0,71	
98	73	2,42	5,84			0,71	
99	74	3,42	11,67			1,00	
100	74	3,42	11,67			1,00	
101	74	3,42	11,67			1,00	
102	74	3,42	11,67			1,00	
103	74	3,42	11,67			1,00	
104	74	3,42	11,67			1,00	
105	74	3,42	11,67			1,00	
106	74	3,42	11,67			1,00	
107	74	3,42	11,67			1,00	
108	74	3,42	11,67			1,00	
109	75	4,42	19,51			1,29	
110	75	4,42	19,51			1,29	
111	75	4,42	19,51			1,29	
112	75	4,42	19,51			1,29	
113	77	6,42	41,17			1,88	
114	77	6,42	41,17			1,88	
115	77	6,42	41,17			1,88	
116	77	6,42	41,17			1,88	
117	78	7,42	55,01			2,17	
118	78	7,42	55,01			2,17	
119	78	7,42	55,01			2,17	

Продовж. табл. А.3

120	78	7,42	55,01			2,17	
$\sum s_i$	8470,00	332,3333	1397,167				
\bar{s}_i	70,58						
Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса							
\bar{s}_i	70,58	$D(s_i)$	11,64	$\sigma(s_i)$			3,41

Таблиця А.4

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,09$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	71,00	10,50	110,25	21,18	4,60	2,28	3,00
2	71,00	10,50	110,25			2,28	
3	72,00	9,50	90,25			2,06	
4	72,00	9,50	90,25			2,06	
5	72,00	9,50	90,25			2,06	
6	72,00	9,50	90,25			2,06	
7	73,00	8,50	72,25			1,85	
8	73,00	8,50	72,25			1,85	
9	74,00	7,50	56,25			1,63	
10	74,00	7,50	56,25			1,63	
11	75,00	6,50	42,25			1,41	
12	75,00	6,50	42,25			1,41	
13	75,00	6,50	42,25			1,41	
14	75,00	6,50	42,25			1,41	
15	76,00	5,50	30,25			1,19	
16	76,00	5,50	30,25			1,19	
17	77,00	4,50	20,25			0,98	
18	77,00	4,50	20,25			0,98	
19	77,00	4,50	20,25			0,98	
20	77,00	4,50	20,25			0,98	
21	77,00	4,50	20,25			0,98	
22	77,00	4,50	20,25			0,98	
23	78,00	3,50	12,25			0,76	
24	78,00	3,50	12,25			0,76	
25	78,00	3,50	12,25			0,76	
26	78,00	3,50	12,25			0,76	
27	78,00	3,50	12,25			0,76	
28	78,00	3,50	12,25			0,76	
29	78,00	3,50	12,25			0,76	
30	78,00	3,50	12,25			0,76	
31	79,00	2,50	6,25			0,54	
32	79,00	2,50	6,25			0,54	
33	79,00	2,50	6,25			0,54	
34	79,00	2,50	6,25			0,54	
35	80,00	1,50	2,25			0,33	
36	80,00	1,50	2,25			0,33	

Продовж. табл. А.4

37	80,00	1,50	2,25			0,33	
38	80,00	1,50	2,25			0,33	
39	80,00	1,50	2,25			0,33	
40	80,00	1,50	2,25			0,33	
41	80,00	1,50	2,25			0,33	
42	80,00	1,50	2,25			0,33	
43	80,00	1,50	2,25			0,33	
44	80,00	1,50	2,25			0,33	
45	80,00	1,50	2,25			0,33	
46	80,00	1,50	2,25			0,33	
47	80,00	1,50	2,25			0,33	
48	80,00	1,50	2,25			0,33	
49	80,00	1,50	2,25			0,33	
50	80,00	1,50	2,25			0,33	
51	81,00	0,50	0,25			0,11	
52	81,00	0,50	0,25			0,11	
53	81,00	0,50	0,25			0,11	
54	81,00	0,50	0,25			0,11	
55	82,00	0,50	0,25			0,11	
56	82,00	0,50	0,25			0,11	
57	82,00	0,50	0,25			0,11	
58	82,00	0,50	0,25			0,11	
59	82,00	0,50	0,25			0,11	
60	82,00	0,50	0,25			0,11	
61	82,00	0,50	0,25			0,11	
62	82,00	0,50	0,25			0,11	
63	82,00	0,50	0,25			0,11	
64	82,00	0,50	0,25			0,11	
65	82,00	0,50	0,25			0,11	
66	82,00	0,50	0,25			0,11	
67	82,00	0,50	0,25			0,11	
68	82,00	0,50	0,25			0,11	
69	83,00	1,50	2,25			0,33	
70	83,00	1,50	2,25			0,33	
71	83,00	1,50	2,25			0,33	
72	83,00	1,50	2,25			0,33	
73	83,00	1,50	2,25			0,33	
74	83,00	1,50	2,25			0,33	
75	83,00	1,50	2,25			0,33	
76	83,00	1,50	2,25			0,33	
77	83,00	1,50	2,25			0,33	
78	83,00	1,50	2,25			0,33	
79	83,00	1,50	2,25			0,33	
80	83,00	1,50	2,25			0,33	
81	83,00	1,50	2,25			0,33	
82	83,00	1,50	2,25			0,33	
83	84,00	2,50	6,25			0,54	
84	84,00	2,50	6,25			0,54	
85	84,00	2,50	6,25			0,54	

Продовж. табл. А.4

86	84,00	2,50	6,25			0,54	
87	84,00	2,50	6,25			0,54	
88	84,00	2,50	6,25			0,54	
89	84,00	2,50	6,25			0,54	
90	84,00	2,50	6,25			0,54	
91	85,00	3,50	12,25			0,76	
92	85,00	3,50	12,25			0,76	
93	85,00	3,50	12,25			0,76	
94	85,00	3,50	12,25			0,76	
95	85,00	3,50	12,25			0,76	
96	85,00	3,50	12,25			0,76	
97	85,00	3,50	12,25			0,76	
98	85,00	3,50	12,25			0,76	
99	86,00	4,50	20,25			0,98	
100	86,00	4,50	20,25			0,98	
101	86,00	4,50	20,25			0,98	
102	86,00	4,50	20,25			0,98	
103	86,00	4,50	20,25			0,98	
104	86,00	4,50	20,25			0,98	
105	86,00	4,50	20,25			0,98	
106	86,00	4,50	20,25			0,98	
107	87,00	5,50	30,25			1,19	
108	87,00	5,50	30,25			1,19	
109	88,00	6,50	42,25			1,41	
110	88,00	6,50	42,25			1,41	
111	88,00	6,50	42,25			1,41	
112	88,00	6,50	42,25			1,41	
113	89,00	7,50	56,25			1,63	
114	89,00	7,50	56,25			1,63	
115	90,00	8,50	72,25			1,85	
116	90,00	8,50	72,25			1,85	
117	91,00	9,50	90,25			2,06	
118	91,00	9,50	90,25			2,06	
119	91,00	9,50	90,25			2,06	
120	91,00	9,50	90,25			2,06	
$\sum s_i$	9780	438,0	2542,0				
\bar{s}_i	81,5						
Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса							
\bar{s}_i	81,5	$D(s_i)$	11,64	$\sigma(s_i)$		3,41	

Таблиця А.5

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,1$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	81	13,88333	192,7469	27,80306	5,27286	2,632979	3
2	81	13,88333	192,7469			2,632979	

Продовж. табл. А.5

3	85	9,88333	97,68021			1,874377	
4	85	9,88333	97,68021			1,874377	
5	87	7,88333	62,14689			1,495077	
6	87	7,88333	62,14689			1,495077	
7	87	7,88333	62,14689			1,495077	
8	87	7,88333	62,14689			1,495077	
9	88	6,88333	47,38023			1,305426	
10	88	6,88333	47,38023			1,305426	
11	88	6,88333	47,38023			1,305426	
12	88	6,88333	47,38023			1,305426	
13	88	6,88333	47,38023			1,305426	
14	88	6,88333	47,38023			1,305426	
15	89	5,88333	34,61357			1,115776	
16	89	5,88333	34,61357			1,115776	
17	90	4,88333	23,84691			0,926125	
18	90	4,88333	23,84691			0,926125	
19	90	4,88333	23,84691			0,926125	
20	90	4,88333	23,84691			0,926125	
21	90	4,88333	23,84691			0,926125	
22	90	4,88333	23,84691			0,926125	
23	90	4,88333	23,84691			0,926125	
24	90	4,88333	23,84691			0,926125	
25	90	4,88333	23,84691			0,926125	
26	90	4,88333	23,84691			0,926125	
27	90	4,88333	23,84691			0,926125	
28	90	4,88333	23,84691			0,926125	
29	91	3,88333	15,08025			0,736475	
30	91	3,88333	15,08025			0,736475	
31	91	3,88333	15,08025			0,736475	
32	91	3,88333	15,08025			0,736475	
33	91	3,88333	15,08025			0,736475	
34	91	3,88333	15,08025			0,736475	
35	92	2,88333	8,313592			0,546825	
36	92	2,88333	8,313592			0,546825	
37	92	2,88333	8,313592			0,546825	
38	92	2,88333	8,313592			0,546825	
39	93	1,88333	3,546932			0,357174	
40	93	1,88333	3,546932			0,357174	
41	93	1,88333	3,546932			0,357174	
42	93	1,88333	3,546932			0,357174	
43	93	1,88333	3,546932			0,357174	
44	93	1,88333	3,546932			0,357174	
45	93	1,88333	3,546932			0,357174	
46	93	1,88333	3,546932			0,357174	
47	93	1,88333	3,546932			0,357174	
48	93	1,88333	3,546932			0,357174	
49	93	1,88333	3,546932			0,357174	
50	93	1,88333	3,546932			0,357174	
51	94	0,88333	0,780272			0,167524	

Продовж. табл. А.5

52	94	0,88333	0,780272			0,167524	
53	94	0,88333	0,780272			0,167524	
54	94	0,88333	0,780272			0,167524	
55	94	0,88333	0,780272			0,167524	
56	94	0,88333	0,780272			0,167524	
57	94	0,88333	0,780272			0,167524	
58	94	0,88333	0,780272			0,167524	
59	94	0,88333	0,780272			0,167524	
60	94	0,88333	0,780272			0,167524	
61	95	0,11667	0,013612			0,022127	
62	95	0,11667	0,013612			0,022127	
63	95	0,11667	0,013612			0,022127	
64	95	0,11667	0,013612			0,022127	
65	95	0,11667	0,013612			0,022127	
66	95	0,11667	0,013612			0,022127	
67	95	0,11667	0,013612			0,022127	
68	95	0,11667	0,013612			0,022127	
69	96	1,11667	1,246952			0,211777	
70	96	1,11667	1,246952			0,211777	
71	96	1,11667	1,246952			0,211777	
72	96	1,11667	1,246952			0,211777	
73	96	1,11667	1,246952			0,211777	
74	96	1,11667	1,246952			0,211777	
75	96	1,11667	1,246952			0,211777	
76	96	1,11667	1,246952			0,211777	
77	98	3,11667	9,713632			0,591078	
78	98	3,11667	9,713632			0,591078	
79	98	3,11667	9,713632			0,591078	
80	98	3,11667	9,713632			0,591078	
81	98	3,11667	9,713632			0,591078	
82	98	3,11667	9,713632			0,591078	
83	98	3,11667	9,713632			0,591078	
84	98	3,11667	9,713632			0,591078	
85	98	3,11667	9,713632			0,591078	
86	98	3,11667	9,713632			0,591078	
87	98	3,11667	9,713632			0,591078	
88	98	3,11667	9,713632			0,591078	
89	98	3,11667	9,713632			0,591078	
90	98	3,11667	9,713632			0,591078	
91	99	4,11667	16,94697			0,780728	
92	99	4,11667	16,94697			0,780728	
93	99	4,11667	16,94697			0,780728	
94	99	4,11667	16,94697			0,780728	
95	100	5,11667	26,18031			0,970379	
96	100	5,11667	26,18031			0,970379	
97	100	5,11667	26,18031			0,970379	
98	100	5,11667	26,18031			0,970379	
99	100	5,11667	26,18031			0,970379	
100	100	5,11667	26,18031			0,970379	

Продовж. табл. А.5

101	100	5,11667	26,18031			0,970379	
102	100	5,11667	26,18031			0,970379	
103	100	5,11667	26,18031			0,970379	
104	100	5,11667	26,18031			0,970379	
105	100	5,11667	26,18031			0,970379	
106	100	5,11667	26,18031			0,970379	
107	101	6,11667	37,41365			1,160029	
108	101	6,11667	37,41365			1,160029	
109	102	7,11667	50,64699			1,349679	
110	102	7,11667	50,64699			1,349679	
111	104	9,11667	83,11367			1,72898	
112	104	9,11667	83,11367			1,72898	
113	104	9,11667	83,11367			1,72898	
114	104	9,11667	83,11367			1,72898	
115	105	10,11667	102,347			1,91863	
116	105	10,11667	102,347			1,91863	
117	105	10,11667	102,347			1,91863	
118	105	10,11667	102,347			1,91863	
119	106	11,11667	123,5804			2,108281	
120	106	11,11667	123,5804			2,108281	
$\sum s_i$	11386	514,00	3336,367				
\bar{s}_i	94,88						
Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса							
\bar{s}_i	94,88	$D(s_i)$	27,8	$\sigma(s_i)$			5,27

Таблиця А.6

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,125$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	109	10,93	119,36	29,09	5,39	2,03	3,00
2	110	9,93	98,51			1,84	
3	110	9,93	98,51			1,84	
4	110	9,93	98,51			1,84	
5	110	9,93	98,51			1,84	
6	111	8,93	79,66			1,65	
7	111	8,93	79,66			1,65	
8	112	7,93	62,81			1,47	
9	112	7,93	62,81			1,47	
10	112	7,93	62,81			1,47	
11	112	7,93	62,81			1,47	
12	113	6,93	47,96			1,28	
13	113	6,93	47,96			1,28	
14	114	5,93	35,11			1,10	
15	114	5,93	35,11			1,10	
16	114	5,93	35,11			1,10	
17	114	5,93	35,11			1,10	

Продовж. табл. А.6

18	115	4,93	24,26			0,91	
19	115	4,93	24,26			0,91	
20	115	4,93	24,26			0,91	
21	115	4,93	24,26			0,91	
22	115	4,93	24,26			0,91	
23	115	4,93	24,26			0,91	
24	115	4,93	24,26			0,91	
25	115	4,93	24,26			0,91	
26	116	3,93	15,41			0,73	
27	116	3,93	15,41			0,73	
28	117	2,93	8,56			0,54	
29	117	2,93	8,56			0,54	
30	117	2,93	8,56			0,54	
31	117	2,93	8,56			0,54	
32	117	2,93	8,56			0,54	
33	117	2,93	8,56			0,54	
34	118	1,93	3,71			0,36	
35	118	1,93	3,71			0,36	
36	118	1,93	3,71			0,36	
37	118	1,93	3,71			0,36	
38	118	1,93	3,71			0,36	
39	118	1,93	3,71			0,36	
40	118	1,93	3,71			0,36	
41	118	1,93	3,71			0,36	
42	118	1,93	3,71			0,36	
43	118	1,93	3,71			0,36	
44	118	1,93	3,71			0,36	
45	118	1,93	3,71			0,36	
46	119	0,92	0,86			0,17	
47	119	0,92	0,86			0,17	
48	119	0,92	0,86			0,17	
49	119	0,92	0,86			0,17	
50	119	0,92	0,86			0,17	
51	119	0,92	0,86			0,17	
52	119	0,92	0,86			0,17	
53	119	0,92	0,86			0,17	
54	119	0,92	0,86			0,17	
55	119	0,92	0,86			0,17	
56	119	0,92	0,86			0,17	
57	119	0,92	0,86			0,17	
58	120	0,08	0,01			0,01	
59	120	0,08	0,01			0,01	
60	120	0,08	0,01			0,01	
61	120	0,08	0,01			0,01	
62	120	0,08	0,01			0,01	
63	120	0,08	0,01			0,01	
64	120	0,08	0,01			0,01	
65	120	0,08	0,01			0,01	
66	120	0,08	0,01			0,01	

Продовж. табл. А.6

67	120	0,08	0,01			0,01	
68	120	0,08	0,01			0,01	
69	120	0,08	0,01			0,01	
70	120	0,08	0,01			0,01	
71	120	0,08	0,01			0,01	
72	120	0,08	0,01			0,01	
73	120	0,08	0,01			0,01	
74	120	0,08	0,01			0,01	
75	120	0,08	0,01			0,01	
76	120	0,08	0,01			0,01	
77	120	0,08	0,01			0,01	
78	121	1,08	1,16			0,20	
79	121	1,08	1,16			0,20	
80	121	1,08	1,16			0,20	
81	121	1,08	1,16			0,20	
82	121	1,08	1,16			0,20	
83	121	1,08	1,16			0,20	
84	121	1,08	1,16			0,20	
85	121	1,08	1,16			0,20	
86	122	2,08	4,31			0,38	
87	122	2,08	4,31			0,38	
88	122	2,08	4,31			0,38	
89	122	2,08	4,31			0,38	
90	122	2,08	4,31			0,38	
91	122	2,08	4,31			0,38	
92	122	2,08	4,31			0,38	
93	122	2,08	4,31			0,38	
94	123	3,08	9,46			0,57	
95	123	3,08	9,46			0,57	
96	123	3,08	9,46			0,57	
97	123	3,08	9,46			0,57	
98	125	5,08	25,76			0,94	
99	125	5,08	25,76			0,94	
100	125	5,08	25,76			0,94	
101	125	5,08	25,76			0,94	
102	125	5,08	25,76			0,94	
103	125	5,08	25,76			0,94	
104	125	5,08	25,76			0,94	
105	127	7,08	50,06			1,31	
106	127	7,08	50,06			1,31	
107	128	8,08	65,21			1,50	
108	128	8,08	65,21			1,50	
109	128	8,08	65,21			1,50	
110	128	8,08	65,21			1,50	
111	130	10,08	101,51			1,87	
112	130	10,08	101,51			1,87	
113	130	10,08	101,51			1,87	
114	130	10,08	101,51			1,87	
115	130	10,08	101,51			1,87	

Продовж. табл. А.6

116	131	11,08	122,66			2,05	
117	131	11,08	122,66			2,05	
118	134	14,08	198,11			2,61	
119	134	14,08	198,11			2,61	
120	135	15,08	227,26			2,80	
$\sum s_i$	14391	473,45	3490,325				
\bar{s}_i	119,92						
Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса							
\bar{s}_i	119,92	$D(s_i)$	29,09	$\sigma(s_i)$			5,39

Таблиця А.7

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,15$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	131	13,10	171,61	34,56	5,88	2,23	3,00
2	131	13,10	171,61			2,23	
3	133	11,10	123,21			1,89	
4	133	11,10	123,21			1,89	
5	135	9,10	82,81			1,55	
6	135	9,10	82,81			1,55	
7	135	9,10	82,81			1,55	
8	135	9,10	82,81			1,55	
9	136	8,10	65,61			1,38	
10	136	8,10	65,61			1,38	
11	138	6,10	37,21			1,04	
12	138	6,10	37,21			1,04	
13	138	6,10	37,21			1,04	
14	138	6,10	37,21			1,04	
15	138	6,10	37,21			1,04	
16	138	6,10	37,21			1,04	
17	139	5,10	26,01			0,87	
18	139	5,10	26,01			0,87	
19	139	5,10	26,01			0,87	
20	139	5,10	26,01			0,87	
21	139	5,10	26,01			0,87	
22	139	5,10	26,01			0,87	
23	139	5,10	26,01			0,87	
24	139	5,10	26,01			0,87	
25	139	5,10	26,01			0,87	
26	139	5,10	26,01			0,87	
27	140	4,10	16,81			0,70	
28	140	4,10	16,81			0,70	
29	140	4,10	16,81			0,70	
30	140	4,10	16,81			0,70	
31	140	4,10	16,81			0,70	
32	140	4,10	16,81			0,70	

Продовж. табл. А.7

33	140	4,10	16,81			0,70	
34	140	4,10	16,81			0,70	
35	140	4,10	16,81			0,70	
36	140	4,10	16,81			0,70	
37	140	4,10	16,81			0,70	
38	140	4,10	16,81			0,70	
39	140	4,10	16,81			0,70	
40	140	4,10	16,81			0,70	
41	140	4,10	16,81			0,70	
42	140	4,10	16,81			0,70	
43	140	4,10	16,81			0,70	
44	141	3,10	9,61			0,53	
45	141	3,10	9,61			0,53	
46	141	3,10	9,61			0,53	
47	141	3,10	9,61			0,53	
48	142	2,10	4,41			0,36	
49	142	2,10	4,41			0,36	
50	142	2,10	4,41			0,36	
51	142	2,10	4,41			0,36	
52	143	1,10	1,21			0,19	
53	143	1,10	1,21			0,19	
54	143	1,10	1,21			0,19	
55	143	1,10	1,21			0,19	
56	143	1,10	1,21			0,19	
57	143	1,10	1,21			0,19	
58	144	0,10	0,01			0,02	
59	144	0,10	0,01			0,02	
60	144	0,10	0,01			0,02	
61	144	0,10	0,01			0,02	
62	144	0,10	0,01			0,02	
63	144	0,10	0,01			0,02	
64	145	0,90	0,81			0,15	
65	145	0,90	0,81			0,15	
66	145	0,90	0,81			0,15	
67	145	0,90	0,81			0,15	
68	145	0,90	0,81			0,15	
69	145	0,90	0,81			0,15	
70	145	0,90	0,81			0,15	
71	145	0,90	0,81			0,15	
72	145	0,90	0,81			0,15	
73	145	0,90	0,81			0,15	
74	146	1,90	3,61			0,32	
75	146	1,90	3,61			0,32	
76	146	1,90	3,61			0,32	
77	146	1,90	3,61			0,32	
78	146	1,90	3,61			0,32	
79	146	1,90	3,61			0,32	
80	147	2,90	8,41			0,49	
81	147	2,90	8,41			0,49	

Продовж. табл. А.7

82	147	2,90	8,41			0,49	
83	147	2,90	8,41			0,49	
84	147	2,90	8,41			0,49	
85	147	2,90	8,41			0,49	
86	147	2,90	8,41			0,49	
87	147	2,90	8,41			0,49	
88	148	3,90	15,21			0,66	
89	148	3,90	15,21			0,66	
90	148	3,90	15,21			0,66	
91	148	3,90	15,21			0,66	
92	148	3,90	15,21			0,66	
93	148	3,90	15,21			0,66	
94	149	4,90	24,01			0,83	
95	149	4,90	24,01			0,83	
96	150	5,90	34,81			1,00	
97	150	5,90	34,81			1,00	
98	150	5,90	34,81			1,00	
99	150	5,90	34,81			1,00	
100	150	5,90	34,81			1,00	
101	150	5,90	34,81			1,00	
102	150	5,90	34,81			1,00	
103	150	5,90	34,81			1,00	
104	151	6,90	47,61			1,17	
105	151	6,90	47,61			1,17	
106	151	6,90	47,61			1,17	
107	151	6,90	47,61			1,17	
108	151	6,90	47,61			1,17	
109	151	6,90	47,61			1,17	
110	152	7,90	62,41			1,34	
111	152	7,90	62,41			1,34	
112	152	7,90	62,41			1,34	
113	152	7,90	62,41			1,34	
114	152	7,90	62,41			1,34	
115	152	7,90	62,41			1,34	
116	157	12,90	166,41			2,19	
117	158	13,90	193,21			2,36	
118	159	14,90	222,01			2,53	
119	160	15,90	252,81			2,70	
120	160	15,90	252,81			2,70	
$\sum s_i$	17292	572,6	4146,8				
\bar{s}_i	144,1						
Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса							
\bar{s}_i	144,1	$D(s_i)$	34,56	$\sigma(s_i)$		5,88	

Таблиця А.8

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,175$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	152	15,53	241,28	52,15	7,22	2,15	3,00
2	152	15,53	241,28			2,15	
3	153	14,53	211,22			2,01	
4	153	14,53	211,22			2,01	
5	154	13,53	183,15			1,87	
6	154	13,53	183,15			1,87	
7	156	11,53	133,02			1,60	
8	156	11,53	133,02			1,60	
9	158	9,53	90,88			1,32	
10	158	9,53	90,88			1,32	
11	158	9,53	90,88			1,32	
12	158	9,53	90,88			1,32	
13	159	8,53	72,82			1,18	
14	159	8,53	72,82			1,18	
15	161	6,53	42,68			0,90	
16	161	6,53	42,68			0,90	
17	161	6,53	42,68			0,90	
18	161	6,53	42,68			0,90	
19	161	6,53	42,68			0,90	
20	161	6,53	42,68			0,90	
21	161	6,53	42,68			0,90	
22	161	6,53	42,68			0,90	
23	162	5,53	30,62			0,77	
24	162	5,53	30,62			0,77	
25	162	5,53	30,62			0,77	
26	162	5,53	30,62			0,77	
27	162	5,53	30,62			0,77	
28	162	5,53	30,62			0,77	
29	162	5,53	30,62			0,77	
30	162	5,53	30,62			0,77	
31	163	4,53	20,55			0,63	
32	163	4,53	20,55			0,63	
33	163	4,53	20,55			0,63	
34	163	4,53	20,55			0,63	
35	163	4,53	20,55			0,63	
36	163	4,53	20,55			0,63	
37	164	3,53	12,48			0,49	
38	164	3,53	12,48			0,49	
39	164	3,53	12,48			0,49	
40	164	3,53	12,48			0,49	
41	164	3,53	12,48			0,49	
42	164	3,53	12,48			0,49	
43	165	2,53	6,42			0,35	
44	165	2,53	6,42			0,35	
45	165	2,53	6,42			0,35	

Продовж. табл. А.8

46	165	2,53	6,42			0,35	
47	165	2,53	6,42			0,35	
48	165	2,53	6,42			0,35	
49	166	1,53	2,35			0,21	
50	166	1,53	2,35			0,21	
51	166	1,53	2,35			0,21	
52	166	1,53	2,35			0,21	
53	166	1,53	2,35			0,21	
54	166	1,53	2,35			0,21	
55	166	1,53	2,35			0,21	
56	166	1,53	2,35			0,21	
57	166	1,53	2,35			0,21	
58	166	1,53	2,35			0,21	
59	167	0,53	0,28			0,07	
60	167	0,53	0,28			0,07	
61	167	0,53	0,28			0,07	
62	167	0,53	0,28			0,07	
63	167	0,53	0,28			0,07	
64	167	0,53	0,28			0,07	
65	168	0,47	0,22			0,06	
66	168	0,47	0,22			0,06	
67	168	0,47	0,22			0,06	
68	168	0,47	0,22			0,06	
69	169	1,47	2,15			0,20	
70	169	1,47	2,15			0,20	
71	169	1,47	2,15			0,20	
72	169	1,47	2,15			0,20	
73	169	1,47	2,15			0,20	
74	169	1,47	2,15			0,20	
75	170	2,47	6,08			0,34	
76	170	2,47	6,08			0,34	
77	170	2,47	6,08			0,34	
78	170	2,47	6,08			0,34	
79	170	2,47	6,08			0,34	
80	170	2,47	6,08			0,34	
81	170	2,47	6,08			0,34	
82	170	2,47	6,08			0,34	
83	170	2,47	6,08			0,34	
84	170	2,47	6,08			0,34	
85	171	3,47	12,02			0,48	
86	171	3,47	12,02			0,48	
87	172	4,47	19,95			0,62	
88	172	4,47	19,95			0,62	
89	173	5,47	29,88			0,76	
90	173	5,47	29,88			0,76	
91	173	5,47	29,88			0,76	
92	173	5,47	29,88			0,76	
93	173	5,47	29,88			0,76	
94	173	5,47	29,88			0,76	

Продовж. табл. А.8

95	173	5,47	29,88			0,76	
96	173	5,47	29,88			0,76	
97	173	5,47	29,88			0,76	
98	173	5,47	29,88			0,76	
99	174	6,47	41,82			0,90	
100	174	6,47	41,82			0,90	
101	174	6,47	41,82			0,90	
102	174	6,47	41,82			0,90	
103	174	6,47	41,82			0,90	
104	174	6,47	41,82			0,90	
105	175	7,47	55,75			1,03	
106	175	7,47	55,75			1,03	
107	176	8,47	71,69			1,17	
108	176	8,47	71,69			1,17	
109	176	8,47	71,69			1,17	
110	176	8,47	71,69			1,17	
111	182	14,47	209,29			2,00	
112	182	14,47	209,29			2,00	
113	182	14,47	209,29			2,00	
114	182	14,47	209,29			2,00	
115	182	14,47	209,29			2,00	
116	182	14,47	209,29			2,00	
117	183	15,47	239,22			2,14	
118	183	15,47	239,22			2,14	
119	184	16,47	271,15			2,28	
120	184	16,47	271,15			2,28	
$\sum s_i$	20104	688,2664	6257,867				
\bar{s}_i	167,53						
	Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса						
\bar{s}_i	167,53	$D(s_i)$	52.15	$\sigma(s_i)$			7.22

Таблиця А.9

Експериментальні значення вимірювання величини подачі та характеристики її розсіювання токарно-гвинторізного верстата 16К20 на ланцюгу $s=0,2$ мм/об

№ вимірюван.	s_i , мкм/об	$ s_i - \bar{s} $	$(s_i - \bar{s})^2$	$D(s_i)$	$\sigma(s_i)$	Коефіцієнт Греббса	
						Розрах.	Табл.
1	178	15,87	251,75	60,78	7,80	2,04	3,00
2	178	15,87	251,75			2,04	
3	179	14,87	221,02			1,91	
4	179	14,87	221,02			1,91	
5	182	11,87	140,82			1,52	
6	182	11,87	140,82			1,52	
7	183	10,87	118,09			1,39	
8	183	10,87	118,09			1,39	
9	184	9,87	97,35			1,27	
10	184	9,87	97,35			1,27	
11	185	8,87	78,62			1,14	

Продовж. табл. А.9

12	185	8,87	78,62			1,14	
13	186	7,87	61,88			1,01	
14	186	7,87	61,88			1,01	
15	186	7,87	61,88			1,01	
16	186	7,87	61,88			1,01	
17	186	7,87	61,88			1,01	
18	186	7,87	61,88			1,01	
19	187	6,87	47,15			0,88	
20	187	6,87	47,15			0,88	
21	187	6,87	47,15			0,88	
22	187	6,87	47,15			0,88	
23	187	6,87	47,15			0,88	
24	187	6,87	47,15			0,88	
25	188	5,87	34,42			0,75	
26	188	5,87	34,42			0,75	
27	188	5,87	34,42			0,75	
28	188	5,87	34,42			0,75	
29	188	5,87	34,42			0,75	
30	188	5,87	34,42			0,75	
31	188	5,87	34,42			0,75	
32	188	5,87	34,42			0,75	
33	188	5,87	34,42			0,75	
34	188	5,87	34,42			0,75	
35	189	4,87	23,68			0,62	
36	189	4,87	23,68			0,62	
37	189	4,87	23,68			0,62	
38	189	4,87	23,68			0,62	
39	190	3,87	14,95			0,50	
40	190	3,87	14,95			0,50	
41	190	3,87	14,95			0,50	
42	190	3,87	14,95			0,50	
43	190	3,87	14,95			0,50	
44	190	3,87	14,95			0,50	
45	190	3,87	14,95			0,50	
46	190	3,87	14,95			0,50	
47	190	3,87	14,95			0,50	
48	190	3,87	14,95			0,50	
49	190	3,87	14,95			0,50	
50	190	3,87	14,95			0,50	
51	191	2,87	8,22			0,37	
52	191	2,87	8,22			0,37	
53	191	2,87	8,22			0,37	
54	191	2,87	8,22			0,37	
55	192	1,87	3,48			0,24	
56	192	1,87	3,48			0,24	
57	193	0,87	0,75			0,11	
58	193	0,87	0,75			0,11	
59	194	0,13	0,02			0,02	
60	194	0,13	0,02			0,02	

Продовж. табл. А.9

61	194	0,13	0,02			0,02	
62	194	0,13	0,02			0,02	
63	195	1,13	1,28			0,15	
64	195	1,13	1,28			0,15	
65	195	1,13	1,28			0,15	
66	195	1,13	1,28			0,15	
67	195	1,13	1,28			0,15	
68	195	1,13	1,28			0,15	
69	195	1,13	1,28			0,15	
70	195	1,13	1,28			0,15	
71	195	1,13	1,28			0,15	
72	195	1,13	1,28			0,15	
73	195	1,13	1,28			0,15	
74	195	1,13	1,28			0,15	
75	195	1,13	1,28			0,15	
76	195	1,13	1,28			0,15	
77	196	2,13	4,55			0,27	
78	196	2,13	4,55			0,27	
79	196	2,13	4,55			0,27	
80	196	2,13	4,55			0,27	
81	197	3,13	9,82			0,40	
82	197	3,13	9,82			0,40	
83	197	3,13	9,82			0,40	
84	197	3,13	9,82			0,40	
85	198	4,13	17,08			0,53	
86	198	4,13	17,08			0,53	
87	198	4,13	17,08			0,53	
88	198	4,13	17,08			0,53	
89	198	4,13	17,08			0,53	
90	198	4,13	17,08			0,53	
91	199	5,13	26,35			0,66	
92	199	5,13	26,35			0,66	
93	200	6,13	37,62			0,79	
94	200	6,13	37,62			0,79	
95	200	6,13	37,62			0,79	
96	200	6,13	37,62			0,79	
97	200	6,13	37,62			0,79	
98	200	6,13	37,62			0,79	
99	200	6,13	37,62			0,79	
100	200	6,13	37,62			0,79	
101	201	7,13	50,88			0,91	
102	201	7,13	50,88			0,91	
103	201	7,13	50,88			0,91	
104	201	7,13	50,88			0,91	
105	203	9,13	83,42			1,17	
106	203	9,13	83,42			1,17	
107	204	10,13	102,68			1,30	
108	204	10,13	102,68			1,30	
109	204	10,13	102,68			1,30	

Продовж. табл. А.9

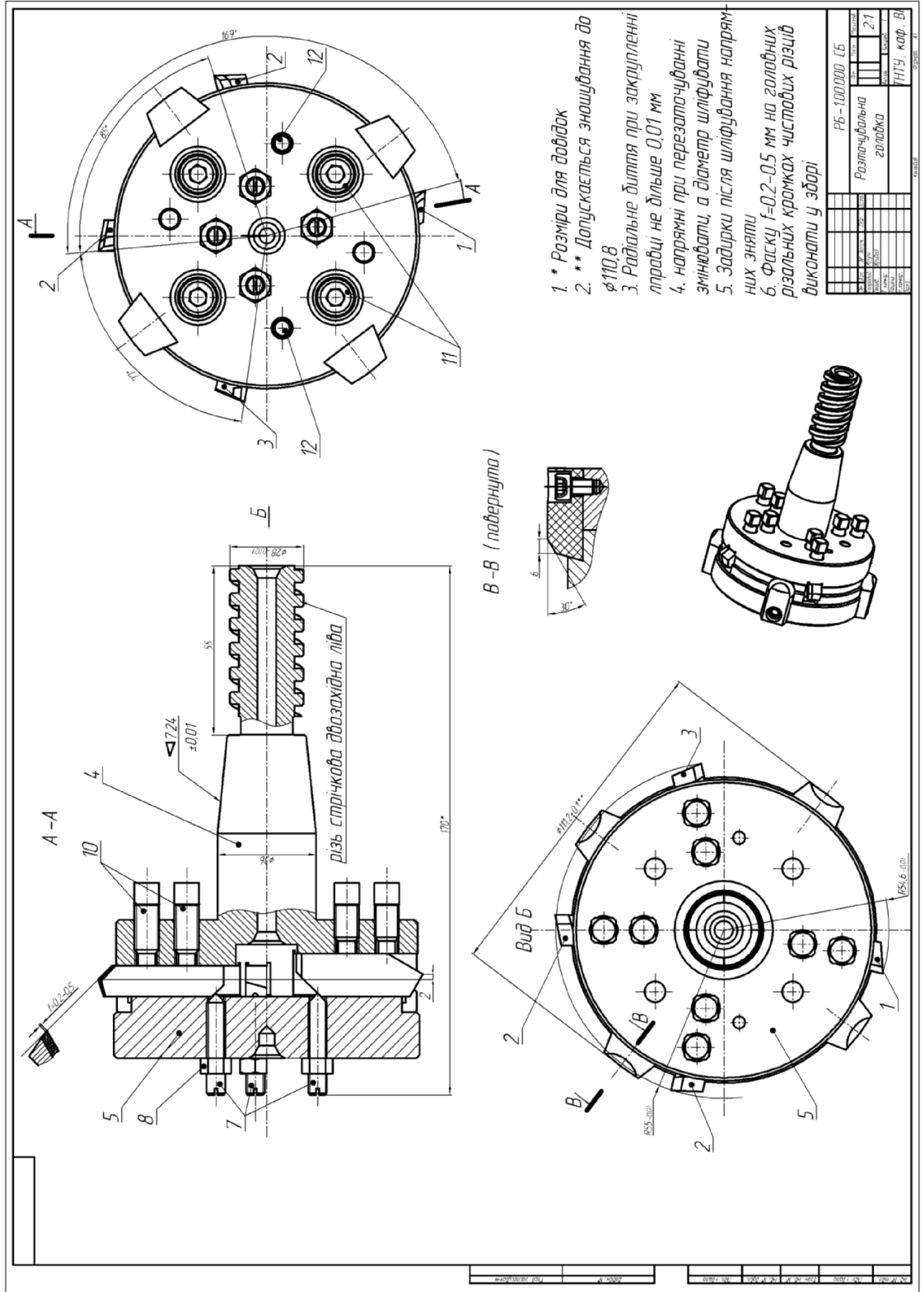
110	204	10,13	102,68			1,30	
111	205	11,13	123,95			1,43	
112	205	11,13	123,95			1,43	
113	209	15,13	229,02			1,94	
114	209	15,13	229,02			1,94	
115	210	16,13	260,28			2,07	
116	210	16,13	260,28			2,07	
117	213	19,13	366,08			2,45	
118	213	19,13	366,08			2,45	
119	215	21,13	446,62			2,71	
120	215	21,13	446,62			2,71	
$\sum s_i$	23264	748,5332	7293,867				
\bar{s}_i	193,86						
Характеристики розподілу з урахуванням критерію Греббса							
\bar{s}_i	193,86	$D(s_i)$	60,78	$\sigma(s_i)$			7.8

Додаток Б

Конструкторська документація на розточувальну головку РБ-1.00.000
та Зенкер ТЗ-2.00.000

Перв. поимен.		Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
		A1			РБ-1.00.000 СБ	Складальне креслення		
						<u>Сборочные единицы</u>		
Справ. №		A4	1		РБ-1.01.000	Різець	1	
		A4	2		РБ-1.02.000	Різець	2	
		A4	3		РБ-1.03.000	Різець	1	
						<u>Детали</u>		
		A2	4		РБ-1.00.004	Корпус	1	
		A3	5		РБ-1.00.005	Плита	1	
		A4	6		РБ-1.00.006	Напрямна	4	
		A4	7		РБ-1.00.007	Гвинт спеціальний	4	
						<u>Стандартные изделия</u>		
			8			Гайка М6-6Н.5(S10) ГОСТ5915-70	1	
			9			Гвинт М5-6d×15.58 ГОСТ 11738-84	4	
			10			Гвинт АМ8-6d×40.14Н ГОСТ1482-84	8	
			11			Гвинт М10-6d×30.58 ГОСТ 11738-84	4	
			12			Штифт 2.5×30 ГОСТ3128-70	2	
					РБ-1.00.000			
		Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
		Разр.	Кривий				Лит.	Лист
		Проб.	Кривий					Листов
		Н.контр.						1
		Утв.						2
№ док.		Розточувальна головка				ТНТУ, каф. ВІ		
		Копировал				Формат А4		

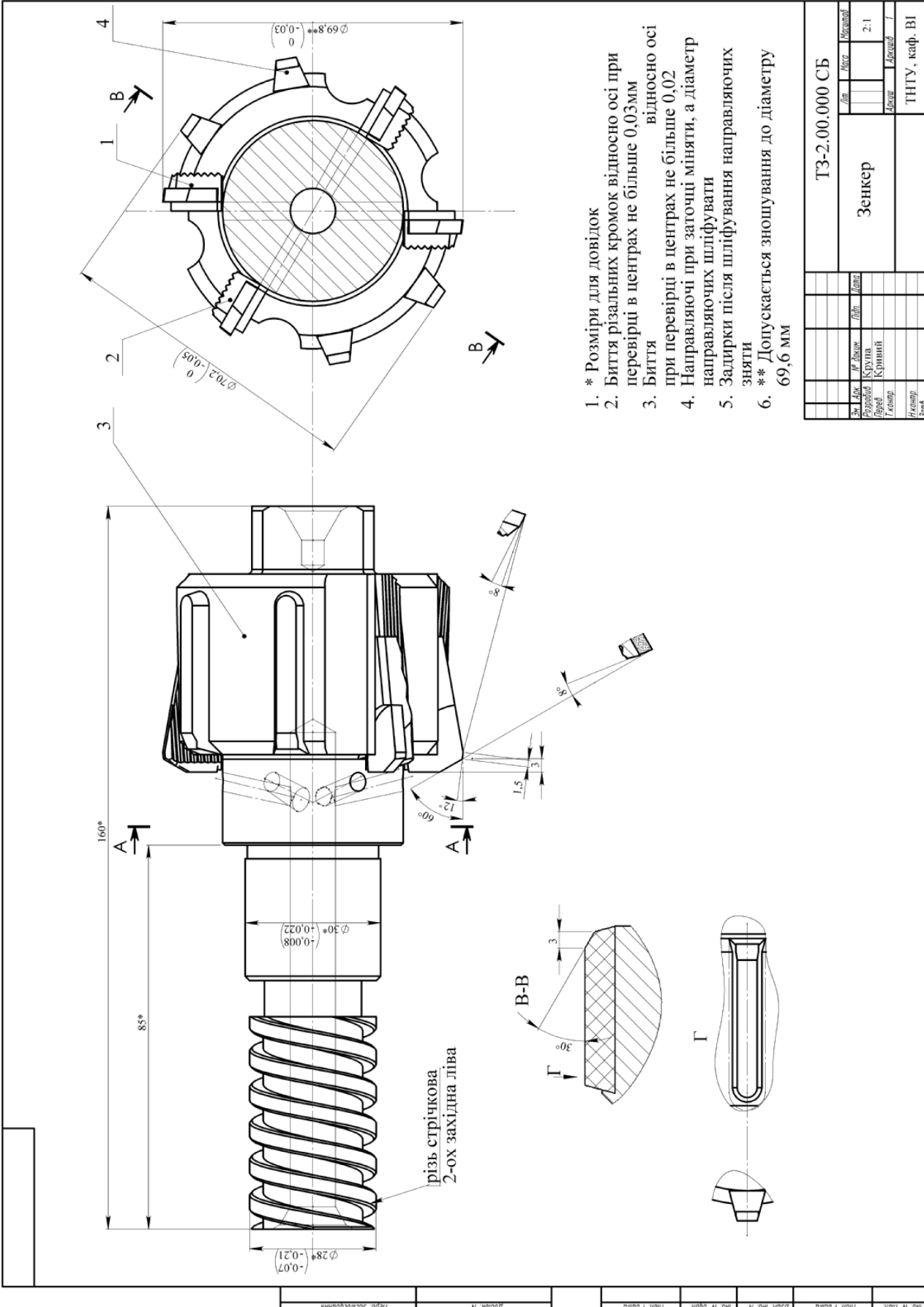
Продовження додатку Б



Продовження додатку Б

Перв. примеч.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №		A4			ТЗ-2.00.000 СБ	Документация			
						Сборочные единицы			
				1	ТЗ-2.01.000	Ніж	2		
				2	ТЗ-2.02.000	Ніж	2		
Подп. и дата						Детали			
						5	ТЗ-2.00.003	Корпус	1
						Напрямна	4		
						6	ТЗ-2.00.004		
Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.					
Инв. № подл.		Изм. Лист		№ док.м.		Подп.		Дата	
		Разраб.		Крупа					
		Проб.		Крибий					
		Н.контр.							
		Утв.							
						ТЗ-2.00.000			
						Зенкер			
						Лит.		Лист	
								Листов	
								1	
						ТНТУ, каф. ВІ			
						Копировал		Формат А4	

Продовження додатку Б



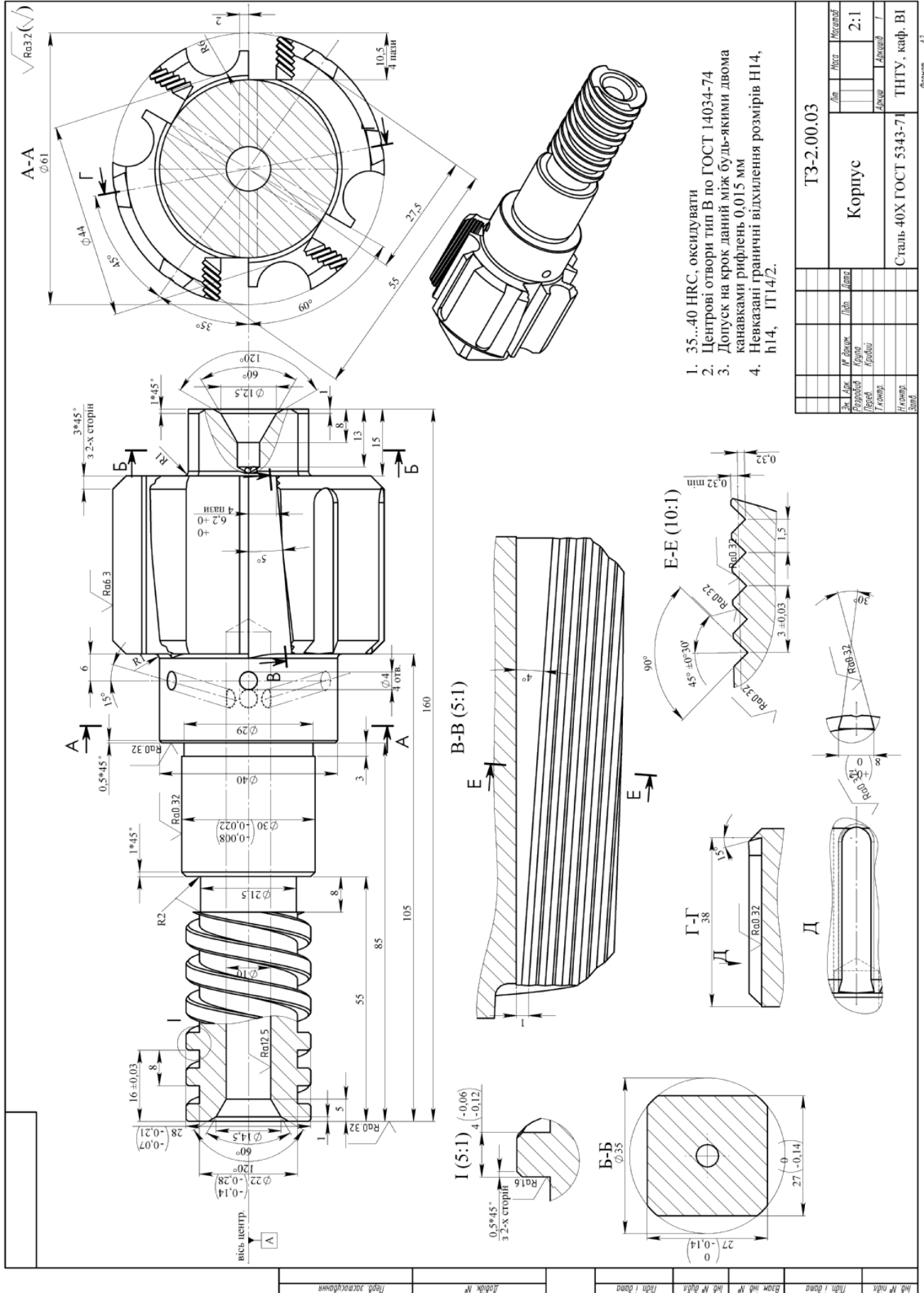
- 1. * Розміри для довідок
- 2. Биття різальних кромок відносно осі при перевірці в центрах не більше 0,03мм
- 3. Биття при перевірці в центрах не більше 0,02 відносно осі
- 4. Направляючі при заточці мініяти, а діаметр направляючих шліфувати
- 5. Задирки після шліфування направляючих зняти
- 6. ** Допускається зношування до діаметру 69,6 мм

ТЗ-2.00.000 СБ		Лист	Кількість
Зенкер		Лист	2:1
Зв. Діаг.	№ Діаг.	Лист	Діаг.
Розробив	Крутова		
Перевірив	Кривий		
Т. констр.			
Н. констр.			
Зам.			
ТНТУ, каф. ВІ			

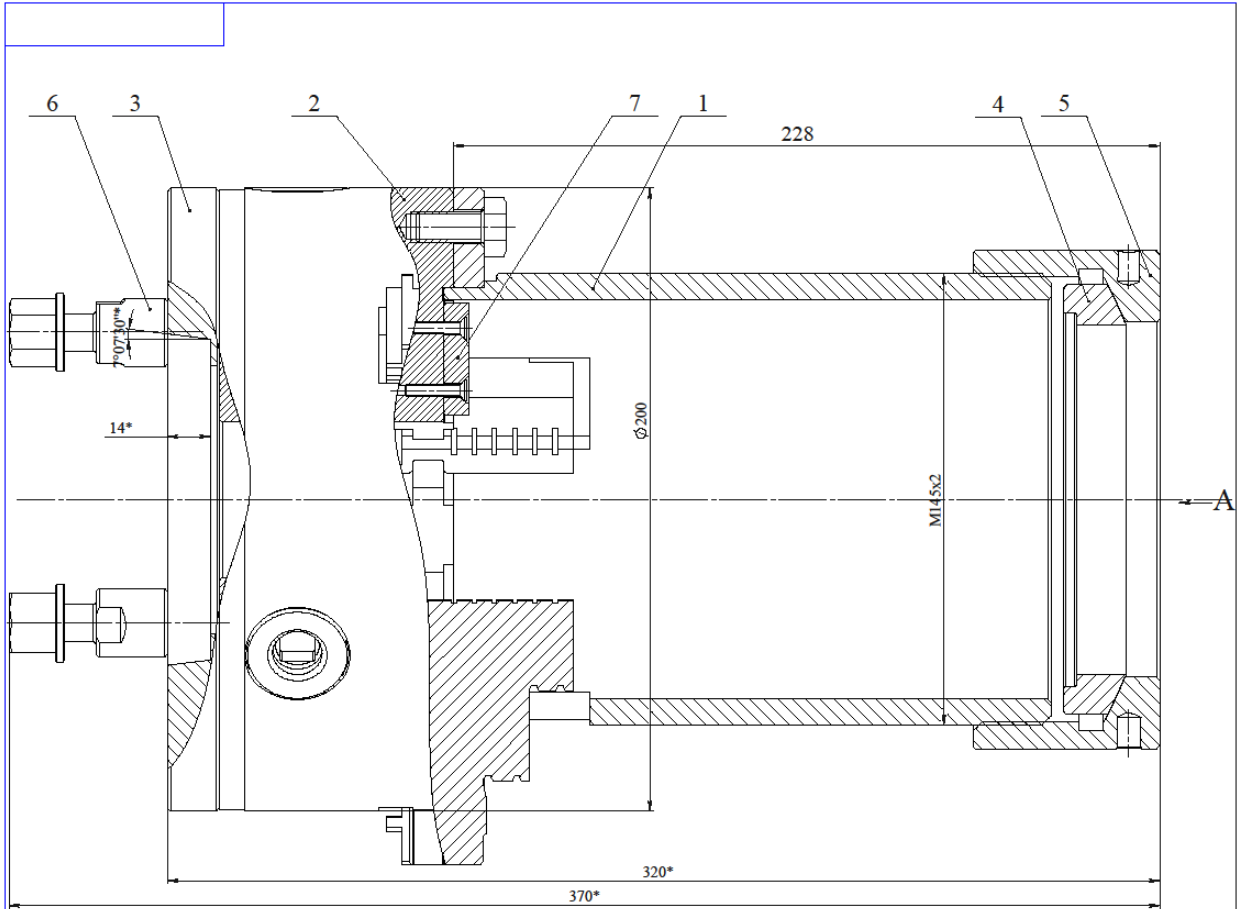
Формат А2

Лист № п/п	Міст. і дата	Вам №	№	№ діляк	Лист і дата	Листок №	Період зберігання
------------	--------------	-------	---	---------	-------------	----------	-------------------

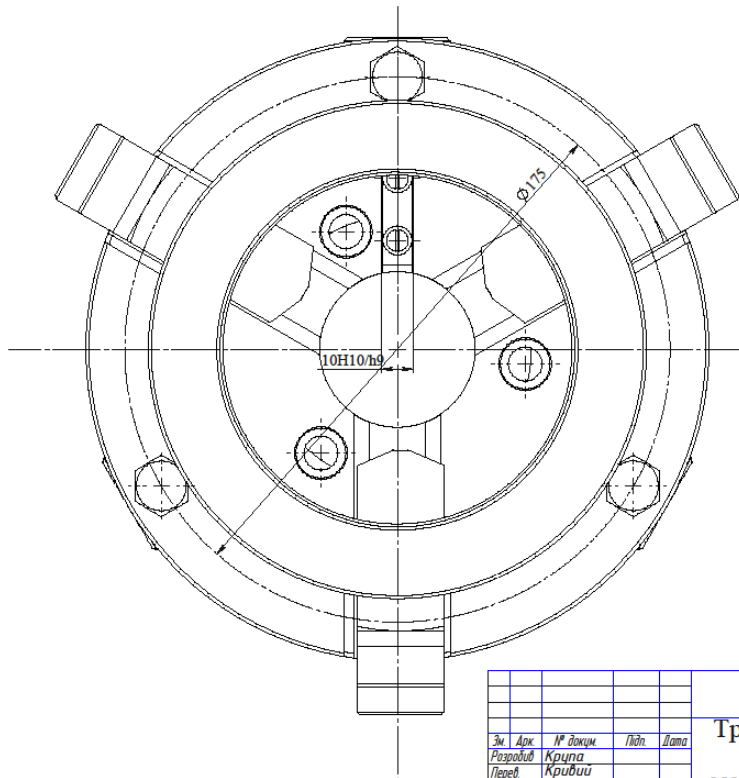
Продовження додатку Б



Продовження додатку В



Вид А



Лист з узагальнення
Додаток №
Лист і дата
Варч. №
Лист і дата
Варч. №
Лист і дата
Варч. №

					ПТМ-1.00.000 СБ		
Зм.	Арх.	№ доцм.	Лист	Дата	Трикулачковий патрон модернізований		
Розробив	Крипа						
Перев.	Кривий				Лит.	Маса	Масштаб
І констр.					Арқш	Арқш	Г
Н констр.							
Затв.							

Копія

Формат А2

Додаток Г

Конструкторська документація на динамометричний пристрій ПТЗ-1.00.000

Формат Зона Поз.	Обозначение	Наименование	кол.	Приме- чание	Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № д/д	Подп. и дата	Изм. № подл.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Изм. № подл.	Лист	Листов	
		Документация																	
A2	ПТЗ-1.00.000 СБ	Складальне креслення	1																
		Сборочные единицы																	
A2	1 ПТЗ-1.01.000 СБ	Корпус	1																
		Детали																	
	4 ПТЗ-1.00.004	Втулка	1																
	5 ПТЗ-1.00.005	Оправка	1																
	6 ПТЗ-1.00.006	Шпилька спеціальна	1																
	7 ПТЗ-1.00.007	Тензодалка на момент	1																
	8 ПТЗ-1.00.008	Тензодалка на силу	1																
	9 ПТЗ-1.00.009	Стакан	1																
	10 ПТЗ-1.00.010	Гвинт спеціальний	2																
	11 ПТЗ-1.00.011	Штуцер	1																
	12 ПТЗ-1.00.012	Втулка	1																
		Стандартные изделия																	
ПТЗ-1.00.000																			
Пристрій для спеціального зенкера																			
ТНТУ, каф. ВІ																			
Копіював																			
Формат А4																			

Додаток Д

Документи, що підтверджують випробування запропонованих інструментів
на ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат»

"Затверджую"
Директор
ПАТ "Кам'янець-Подільськавтоагрегат"
М.І. Островський
" 10 " 06 2013р

АКТ №1
від " 10 " 06 2013р

Цим актом підтверджується проведення промислових випробувань Зенкерів (Зенкер ТЗ-01.00.000) в кількості 2 шт., $\varnothing 70_{-0,02}$ розроблених в ТНТУ ім. І. Пулюя (розробники Кривий П.Д., Крупа В.В.)

Початкові умови випробувань

- заготовка труба $D_6=65$ мм, $D_3=85$ мм, довжина $l=400$ мм, матеріал сталь 45 ГОСТ 1050-88;

- обладнання - токарно-гвинторізний верстат моделі 1М63 з спеціальним пристосуванням;

- ЗОР 5% розчин емульсолу "Mobil Cutwell -42";

- режими обробки: подача s від 0,1 мм/об до 0,4 мм/об; швидкість різання від 80 м/хв до 120 м/хв.

- контроль - калібр пробка $\varnothing 70$, зразки шорсткості.

Оброблено 32 заготовки. За якістю і точністю претензій немає. Оброблені деталі повністю відповідають технічним умовам на виготовлення

Загальний висновок: даний зенкер може бути рекомендований до застосування на даному виробництві.

Примітка: продуктивність обробки підвищується в середньому на 20-25%

Головний інженер



В.С. Кушпіль

Інженер-конструктор



Є. П. Кіржайкін

Представники від ТНТУ ім. І. Пулюя

ст. викл. каф. ВІ



В. Р. Кобельник

асист. каф ВІ



В. В. Крупа

Продовження додатку Д

"Затверджую"
 Директор
 ПАТ "Кам'янець-Подільськавтоагрегат"
 М.І. Островський
 " 10 " _____ 2013р
 06

АКТ №2
 від " 10 " _____ 2013р
 06

Цим актом підтверджується проведення промислових випробувань Зенкерів (Зенкер ТЗ-02.00.000) в кількості 2 шт., $\varnothing 70_{-0,02}$ розроблених в ТНТУ ім. І. Пулюя (розробники Кривий П.Д., Крупа В.В.)

Початкові умови випробувань

- заготовка труба $D_6=65$ мм, $D_3=85$ мм, довжина $l=400$ мм, матеріал сталь 45 ГОСТ 1050-88;

- обладнання - токарно-гвинторізний верстат моделі 1М63 з спеціальним пристосуванням;

- ЗОР 5% розчин емульсолу "Mobil Cutwell -42";

- режими обробки: подача s від 0,1 мм/об до 0,4 мм/об; швидкість різання від 80 м/хв до 120 м/хв.

- контроль - калібр пробка $\varnothing 70$, зразки шорсткості.

Оброблено 32 заготовки. За якістю і точністю претензій немає. Оброблені деталі повністю відповідають технічним умовам на виготовлення

Загальний висновок: даний зенкер може бути рекомендований до застосування на даному виробництві.

Примітка: продуктивність обробки підвищується в середньому на 20-25%

Головний інженер



В.С. Кушпіль

Інженер-конструктор

Є. П. Кіржайкін

Представники від ТНТУ ім. І. Пулюя

ст. викл. каф. ВІ



В. Р. Кобельник

асист. каф ВІ



В. В. Крупа

Продовження додатку Д

"Затверджую"
 Директор
 ПАТ "Кам'янець-Подільськавтоагрегат"
 М.І. Островський
 " 10 " 06 2013р

АКТ №3
 від " 10 " 06 2013р

Цим актом підтверджується проведення промислових випробувань Зенкерів (Зенкер ТЗ-03.00.000) в кількості 2 шт., $\varnothing 70_{-0,02}$ розроблених в ТНТУ ім. І. Пулюя (розробники Кривий П.Д., Крупа В.В.)

Початкові умови випробувань

- заготовка труба $D_e=65$ мм, $D_s=85$ мм, довжина $l=400$ мм, матеріал сталь 45 ГОСТ 1050-88;
- обладнання - токарно-гвинторізний верстат моделі 1М63 з спеціальним пристосуванням;
- ЗОР 5% розчин емульсолу "Mobil Cutwell -42";
- режими обробки: подача s від 0,1 мм/об до 0,4 мм/об; швидкість різання від 80 м/хв до 120 м/хв.
- контроль - калібр пробка $\varnothing 70$, зразки шорсткості.

Оброблено 27 заготовок. За якістю і точністю претензій немає. Оброблені деталі повністю відповідають технічним умовам на виготовлення

Загальний висновок: даний зенкер може бути рекомендований до застосування на даному виробництві.

Примітка: продуктивність обробки підвищується в середньому на 10-15%

Головний інженер



В.С. Кушпіль

Інженер-конструктор

Є. П. Кіржайкін

Представники від ТНТУ ім. І. Пулюя

ст. викл. каф. ВІ



В. Р. Кобельник

асист. каф ВІ



В. В. Крупа

Продовження додатку Д

"Затверджую"
 Директор
 ВАТ "Кам'янець-Подільськавтоагрегат"
 М.І. Островський
 " 10 " 06 2013р

АКТ №4
 від " 10 " 06 2013р

Цим актом підтверджується проведення промислових випробувань розточувальних головок (розточувальна головка РБ-01.00.000) в кількості 2 шт., $\text{Ø}110_{-0,025}$ розроблених в ТНТУ ім. І. Пулюя (розробники Кривий П.Д., Крупа В.В.)

Початкові умови випробувань

- заготовка труба $D_e=105$ мм, $D_3=145$ мм, довжина $l=400$ мм, матеріал сталь 45 ГОСТ 1050-88;

- обладнання - токарно-гвинторізний верстат моделі 1М63 з спеціальним пристосуванням;

- ЗОР 5% розчин емульсолу "Mobil Cutwell -42";

- режими обробки: подача s від 0,1 мм/об до 0,4 мм/об; швидкість різання від 100 м/хв до 150 м/хв.

- контроль - калібр пробка $\text{Ø}110$, зразки шорсткості.

Оброблено 35 заготовок. За якістю і точністю претензій немає. Оброблені деталі повністю відповідають технічним умовам на виготовлення

Загальний висновок: дана розточувальна головка може бути рекомендований до застосування на даному виробництві.

Примітка: продуктивність обробки підвищується в середньому на 30-35%

Головний інженер



В.С. Кушпіль

Інженер

Є. П. Кіржайкін

Представники від ТНТУ ім. І. Пулюя

ст. викл. каф. ВІ



В. Р. Кобельник

асист. каф ВІ



В. В. Крупа

Додаток Е

Програма для розрахунку середнього значення та дисперсії розсіювання випадкових величин з використанням теорії малої вибірки за методом ітерацій

```

ORIGIN:= 1

n := last(t)


$$t := \begin{pmatrix} 3.19 \\ 2.25 \\ 2.85 \\ 2.4 \\ 2.68 \\ 3.4 \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} := \begin{cases} a \leftarrow t_1 \\ b \leftarrow t_1 \\ \text{for } k \in 1..n \\ \quad \left| \begin{array}{l} a \leftarrow t_k \text{ if } t_k < a \\ b \leftarrow t_k \text{ if } t_k > b \end{array} \right. \\ \left( \begin{array}{l} a \\ b \end{array} \right) \end{cases}$$



$$\sigma := \frac{b - a}{6}$$


k := 1..n
prod1_k := 1  prod2_k := 1  sum_k := 0

k := 1..n

$$z1_k := \frac{a - t_k}{\sigma} \quad z2_k := \frac{b - t_k}{\sigma}$$



$$\Phi z1_k := \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^{z1_k} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad \Phi z2_k := \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^{z2_k} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$



$$e1_k := e^{-\frac{(z1_k)^2}{2}} \quad e2_k := e^{-\frac{(z2_k)^2}{2}} \quad \text{prod2}_k := \begin{cases} p \leftarrow 1 \\ \text{for } i \in k..n \\ \quad p \leftarrow p \cdot c_i \\ p \end{cases}$$



$$c_k := \frac{1}{1 + \Phi z2_k - \Phi z1_k}$$


prod1_k := 
$$\begin{cases} p \leftarrow 1 \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad p \leftarrow p \cdot c_i \\ p \end{cases}$$


```

$$Sm := \left| \begin{array}{l} s1 \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad s1 \leftarrow s1 + \left[\text{prod2}_i \cdot \left[\frac{\sigma}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot (e1_i - e2_i) + t_i \cdot (\Phi z2_i - \Phi z1_i) \right] \right] \\ s1 \end{array} \right|$$

$$Sd := \left| \begin{array}{l} s1 \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad s1 \leftarrow s1 + \left[\text{prod2}_i \cdot \left[\frac{\sigma}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot [(\sigma \cdot z1_i + 2 \cdot t_i) \cdot e1_i - (\sigma \cdot z2_i + 2 \cdot t_i) \cdot e2_i] + [\sigma^2 + (t_i)^2] \cdot (\Phi z2_i - \Phi z1_i) \right] \right] \\ s1 \end{array} \right|$$

$$Mt := \frac{a+b}{2} \cdot \text{prod1} + Sm$$

$$Dt := \frac{a^2 + a \cdot b + b^2}{3} \cdot \text{prod1} + Sd - Mt^2$$

$$mt := \left| \begin{array}{l} s1 \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad s1 \leftarrow s1 + t_i \\ \frac{s1}{n} \end{array} \right|$$

$$D := \left| \begin{array}{l} s1 \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad s1 \leftarrow s1 + (t_i - mt)^2 \\ \frac{s1}{n} \end{array} \right|$$

$$Mt = \begin{pmatrix} 2.866 \\ 2.866 \\ 2.866 \\ 2.866 \\ 2.866 \\ 2.866 \end{pmatrix}$$

$$Dt = \begin{pmatrix} 0.118 \\ 0.118 \\ 0.118 \\ 0.118 \\ 0.118 \\ 0.118 \end{pmatrix}$$

Додаток Ж

Розрахунок економічної ефективності Зенкера ТЗ-2.00.000 СБ та розточувальної головки РБ-1.00.000 СБ

Додаток Ж.1. Розрахунок економічної ефективності Зенкера ТЗ-2.00.000 СБ



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер

ПАТ «Кам'янець-Подільський автоагрегат»

Кушпіль В.С.

« 13 » лютого 2015 р

Розрахунок економічної ефективності використання Зенкера ТЗ-2.00.000 СБ

Для обчислення економічного ефекту використаємо формулу (5.45)

$$E = \left(C_{з.т} \cdot C_1 + \left(\frac{L_p \cdot C_1 \cdot K_p \cdot N_p}{60n} + \frac{C \cdot t^m \cdot s_p^n \cdot V \cdot L_p \cdot N_p \cdot C_e}{36720 \cdot n \cdot \eta} \right) \right) \times \left(\frac{1}{B_T \cdot s_T} - \frac{1}{B_3 \cdot s_p} \right),$$

де $C_1=10,2$ грн/год – годинна тарифна ставка роботи першого розряду;

$C_{з.т}=1200$ грн – вартість традиційного зенкера;

$L_p=450$ мм – загальна довжина оброблення деталі;

$K_p=3,21$ – коефіцієнт розрядності роботи;

$N_p=20000$ деталей – річна програма випуску;

$C=380$ – коефіцієнт для визначення тангенціальної складової сили різання;

$n=500$ об/хв – частота обертання шпинделя;

$t=3,5$ мм – глибина різання;

$s_p=0,35$ мм/об – подача запропонованого зенкера;

Продовження додатка Ж.1

$m=1$; $y=0,7$ – коефіцієнти, що враховують вплив глибини різання і подачі на тангенціальну складову сили різання;

$V=108$ м/хв – швидкість різання

$C_e=1,68$ грн/кВт – вартість одного кіловата електроенергії;

$\eta=0,8$ – ККД верстату;

$B_T=4$ мм; $B_s=6$ мм – величина перезаточки відповідно традиційного та запропонованого зенкера;

$s_T=0,3$ мм/об – подача традиційного зенкера.

Внаслідок проведених розрахунків річний економічний ефект склав 29340 грн.

Розрахунок виконав



Крупа В.В.

**Додаток Ж.2. Розрахунок економічної ефективності
розточувальної головки РБ-1.00.000 СБ**



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер

ПАТ «Кам'янець-Подільськавтоагрегат»

Кушпіль В.С.

«03» лютого 2015 р

**Розрахунок економічної ефективності використання
розточувальної головки РБ-2.00.000 СБ**

Економічний ефект визначається за формулою

$$E = E_{el} + E_{instr.} + E_{pr}$$

де E_{el} , $E_{св}$, $E_{пр}$ – відповідно складові економічного ефекту від: економії електроенергії; зменшення потрібної кількості розточувальних головок; збільшення продуктивності праці, або використавши залежність (5.55)

$$E = \frac{P_z \cdot V}{9750 \cdot \eta} \cdot N_{вир} \cdot 0,53 \cdot l / 60 n s_{чист} \cdot C_{el} + \frac{0,53 \cdot l / 60 n s_{чист}}{k \cdot T} \cdot N_{вир} \cdot C_{різ} + 0,53 \cdot l \cdot C_{св} \cdot K_p / 60 n s$$

де $\frac{P_z \cdot V}{9750 \cdot \eta}$ – потужність різання, що становить 7 кВт;

$N_{вир} = 20000$ дет. – річна програма випуску;

$C_{el} = 1,68$ грн – вартість одного кіловата електроенергії;

$l = 450$ мм – загальна довжина оброблення;

$s_{чист} = 0,4$ мм/об – подача запропонованої розточувальної головки;

Продовження додатка Ж.2

$k=6$ – кількість перезаточок;

$T=120$ хв. – період стійкості різця;

$C_{\text{різ.}}=22$ грн – вартість одного різця;

$C_{\text{хв}} \cdot K_p = 30$ грн – годинна оплата праці верстатника

Внаслідок проведених розрахунків річний економічний ефект склав 73690 грн.

Розрахунок виконав



Крупа В.В.

Додаток 3

Документи, що підтверджують технічну новизну та впровадження результатів роботи



(11) **67542**(19) **UA**(51) МПК
B23B 51/10 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2011 09467**

(22) Дата подання заявки: **28.07.2011**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **27.02.2012**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **27.02.2012, Бюл. № 4**

(72) Винахідники:
Кривий Петро Дмитрович, UA,
Крупа Володимир Васильович, UA,
Кушпіль Володимир Степанович, UA

(73) Власник:
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ,
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, UA

(54) Назва корисної моделі:

БАГАТОЛЕЗОВИЙ РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОТЯЖНОГО РОЗТОЧУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

(57) Формула корисної моделі:

Багатолезовий різальний інструмент для протяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь, що складається з корпусу, в якому виконані хвостовик з різьбовою частиною та робоча частина, різальних елементів, центрального у хвостовику отвору і каналів для підводу змащувально-охолоджуючої рідини в зону різання та напрямних елементів, який відрізняється тим, що в робочій частині корпусу виконані чотири попарно діаметрально протилежно розміщені, перший відносно до третього, а другий відносно до четвертого, однакові, паралельні до поздовжньої осі інструмента клиноподібні пази, причому сліди перших бокових плоских поверхонь кожного клиноподібного паза в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструмента, є нормаллю до кола, утвореного перерізом цієї ж площиною зовнішньої циліндричної поверхні робочої частини корпусу, а на других бокових поверхнях клиноподібних пазів, які розміщені під кутом ω відносно до відповідних перших плоских поверхонь клиноподібних пазів, меншим від кута тертя, виконані рифлення, які нахилені під кутом η до поздовжньої осі інструмента, що визначається за формулою:

$$\eta = \arctg((\Delta + h_r) / a_{\min} \cdot tg \omega), \text{ де}$$

Δ - величина перезаточування різця в радіальному напрямку;

h_r - допустимий радіальний знос інструмента;

a_{\min} - мінімальна величина переточування державки різця по передній поверхні,

причому центральні кути між плоскими боковими поверхнями першого і другого та третього і четвертого клиноподібних пазів однакові і рівні $\theta_{\min} = 30 - 60^\circ$ та на головних різальних кромках різальних елементів, які закріплені в клиноподібних пазах, виконані додаткові фаски шириною $f = 0,1 - 0,8 \text{ мм}$, і довжиною $m = 1,5 - 2 \text{ мм}$ під кутом $\varphi_0 = 20 - 45^\circ$ до поздовжньої осі інструмента, причому допоміжні кути в плані різальних елементів, встановлених в другому і четвертому клиноподібних пазах, рівні $\varphi_2 = \varphi_4 = \varphi' = 5 - 10^\circ$, а допоміжні кути в плані різальних елементів, встановлених в першому і третьому клиноподібних пазах, визначаються за формулою:

$$\varphi_1 = \varphi_3 = \varphi_K = \arccctg \left(\frac{(\text{ctg} \varphi_0 + \text{ctg} \varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} - \text{ctg} \varphi_0 \right), \text{ де}$$

φ_0 - кут нахилу додаткової фаски до поздовжньої осі інструмента;

(11) 67542

φ - допоміжний кут в плані на різальних елементах;

θ_{\min} - центральний кут між плоскими поверхнями першого і другого та третього і четвертого клиноподібних пазів;

і в робочій частині корпусу додатково виконані чотири попарно діаметрально протилежно розміщені, однакові, паралельні до поздовжньої осі інструменту пази типу "ластівчиного хвоста", положення одного із них визначено в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструмента центральним кутом, який утворений його віссю і боковою плоскою поверхнею першого клиноподібного паза, який визначається за формулою:

$$\theta_{01} = 2\pi \frac{(1,5 \dots 2)b + B}{r_{\text{вн}}}, \text{ де}$$

b - максимальна ширина паза типу "ластівчиного хвоста";

B - максимальна ширина клиноподібного паза;

$r_{\text{вн}}$ - радіус впадин паза,

а положення суміжного з ним паза визначається в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструмента центральним кутом, що утворений його віссю і боковою плоскою поверхнею першого клиноподібного паза за формулою:

$$\theta_{02} = \pi - \theta_{\min} - 2\pi \frac{(3 \dots 3,5)b}{r_{\text{вн}}}, \text{ де}$$

b - максимальна ширина паза типу "ластівчиного хвоста";

$r_{\text{вн}}$ - радіус впадин паза,

і в ці пази встановлені пружні напрямні елементи, які зміщені в напрямку, протилежному подачі відповідно вершин різальних елементів, на певну величину, і на яких виконані забірні факси для плавного їх входу в оброблений отвір.



(11) 72588

(19) UA

(51) МПК
B23B 29/03 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2012 00904**

(22) Дата подання заявки: **30.01.2012**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **27.08.2012**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **27.08.2012, Бюл. № 16**

(72) Винахідники:
**Кривий Петро Дмитрович, UA,
Крупа Володимир Васильович, UA**

(73) Власник:
**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ,
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна, UA**

(54) Назва корисної моделі:

РОЗТОЧУВАЛЬНА ГОЛОВКА

(57) Формула корисної моделі:

Розточувальна головка, що складається з корпусу, в якому виконані хвостовик з різьбою для закріплення розточувальної головки в пристосуванні та центральний отвір для підводу змащувально-охолоджуючої речовини (ЗОР), пружних напрямних, які встановлені в поздовжні пази, яка відрізняється тим, що в корпусі виконані додатково чотири нерівномірно розміщені по колу радіальні пази, в які встановлені три різці для чистової і один різець для чорнкової обробки, які закріплені за допомогою диска, що жорстко з'єднаний з корпусом, причому регулювання радіального вильоту різців здійснено за допомогою спеціальних гвинтів з конічними кінцевими поверхнями, що встановлені з можливістю спряження з торцевими скосами різців, та на кожному різці виконані поздовжні пази для підводу ЗОР в зону різання, і головні кути в плані на різцях для чистової обробки, а також допоміжні кути в плані на першому і другому різцях для чистової обробки однакові і рівні відповідно φ і φ' , а допоміжний кут в плані на третьому різці для чистової обробки корегований, а його значення визначається за формулою:

$$\varphi_{3к} = \text{arcctg}(\text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\varphi'^2 - 2\text{ctg}\varphi), \text{ де}$$

φ - головний кут в плані на різцях для чистової обробки, град.;

φ' - допоміжний кут в плані на першому та другому різцях для чистової обробки, град.;

причому центральні кути між вершинами першого та другого і першого та третього різців для чистової обробки в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточеної головки визначаються за формулами:

$$\theta_1 = 2\pi \cdot s_2 / s \text{ і } \theta_2 = 2\pi \cdot (s_2 + s_3) / s, \text{ де}$$

$$s_2 = H \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi') - \text{величина подачі на другому різці для чистової обробки, мм/різець};$$

$$s = H \cdot \text{tg}\varphi \cdot (\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi')^2 - \text{величина загальної подачі розточеної головки, мм/об};$$

$$s_3 = H \cdot (\text{tg}\varphi \cdot \text{ctg}\varphi'^2 - \text{ctg}\varphi) - \text{величина подачі на третьому різці для чистової обробки, мм/різець};$$

$H = R_z$ - висота нерівностей профілю за десятьма точками, мкм;

причому різець для чорнкової обробки встановлено в місці сходження радіальних складових сил різання, створених різцями для чистової обробки, а центральний кут між вершиною першого різця для чистової обробки та вершиною різця для чорнкової обробки в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточувальної головки визначається за формулою:

$$\theta_3 = \pi + \arcsin \frac{\eta \cdot \sin(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)}{\sqrt{s_1^{2y} K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1^y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\arcsin(s_2^y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)}}, \text{ де}$$

$$\eta = s_2^{2y} \cdot K_{\varphi_2}^2 + s_3^{2y} \cdot K_{\varphi_3}^2 + 2s_2^y s_3^y K_{\varphi_2} K_{\varphi_3} \cdot \cos \theta_2;$$

(11) 72588

K_{φ_1} , K_{φ_2} , K_{φ_3} - поправочні коефіцієнти на головні кути в плані відповідно на першому, другому та третьому різцях для чистової обробки;

s_1 , s_2 , та s_3 - величини подач відповідно першому, другому та третьому різцям для чистової обробки, мм/різець;

θ_1 і θ_2 - центральні кути, що визначають кутові положення другого і третього різців для чистової відносно першого відповідно, град;

y - показник степеня, що враховує вплив подачі на радіальну складову сили різання,

причому вершина різця для чорнової обробки зміщена відносно вершин різців для чистової обробки, що знаходяться в одній площині, перпендикулярній до поздовжньої осі корпусу розточеної головки, в напрямку подачі на величину l , а його радіальний виліт менший від радіального вильоту різців для чистової обробки на величину t , що визначається з умови зрівноваження радіальних складових сил різання на різцях для чистової та різці для чорнової обробки за формулою:

$$t = \frac{z}{2} \left(\frac{s^y \cdot K_{\varphi_3}}{s_1^2 y K_{\varphi_1}^2 + \eta + 2s_1 y K_{\varphi_1} \sqrt{\eta} \cos(\arcsin(s_2 y K_{\varphi_2} \sin(\theta_2 - \theta_1) / \sqrt{\eta}) + \theta_1)} \right)^{1/x}, \text{ де}$$

z - загальний припуск на оброблення;

K_{φ_1} - поправочний коефіцієнт на головний кут в плані різця для чорнової обробки.

x - показник степеня, який враховує вплив глибини різання на радіальну складову сили різання.



(11) 73092

(19) UA

(51) МПК
B23B 51/10 (2006.01)

<p>(21) Номер заявки: u 2012 02467</p> <p>(22) Дата подання заявки: 01.03.2012</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.09.2012</p> <p>(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.09.2012, Бюл. № 17</p>	<p>(72) Винахідники: Кривий Петро Дмитрович, UA, Крупа Володимир Васильович, UA</p> <p>(73) Власник: ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, UA</p>
--	--

(54) Назва корисної моделі:

БАГАТОЛЕЗОВИЙ РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВИТЯЖНОГО РОЗТОЧУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

(57) Формула корисної моделі:

Багатолезовий різальний інструмент для витяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь, що складається з корпусу, в якому виконані хвостовик з різьбовою частиною та робоча частина, різальних елементів, центрального у хвостовику отвору і каналів для підводу змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР) в зону різання та напрямних елементів і в робочій частині корпусу виконані чотири попарно діаметрально протилежно розміщені, перший по відношенню до третього, а другий по відношенню до четвертого, однакові, паралельні до поздовжньої осі інструмента, клиноподібні пази, і сліди перших бокових плоских поверхонь кожного клиноподібного паза в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструмента, є нормаллю до кола, утвореного перерізом цієї ж площиною зовнішньої циліндричної поверхні робочої частини корпусу, а на других бокових поверхнях клиноподібних пазів, які розміщені під кутом ω по відношенню до відповідних перших плоских бокових поверхонь клиноподібних пазів, меншим від кута тертя, виконані рифлення, які нахилені під кутом до поздовжньої осі інструмента, що визначається за формулою:

$$\eta = \arctg((\Delta + h_r) / a_{\min} \cdot \operatorname{tg} \omega), \text{ де}$$

Δ - величина перезаточування різця в радіальному напрямку, мм;

h_r - величина допустимого радіального зношування інструмента, мм;

a_{\min} - величина мінімальної величини переточування державки різця по передній поверхні, мм;

і центральні кути між плоскими поверхнями першого і другого та третього і четвертого клиноподібних пазів однакові і рівні $\theta_{\min} = 30 - 60^\circ$ та на головних різальних кромках різальних елементів, встановлених в першому та третьому клиноподібних пазях, у яких допоміжні кути в плані однакові і становлять $\varphi' = 5 - 10^\circ$, виконані фаски під кутом $\varphi_{01} = \varphi_{03} = \varphi_0 = 20 - 45^\circ$ до поздовжньої осі інструмента, і в робочій частині корпусу додатково виконані чотири попарно діаметрально протилежно розміщені, однакові, паралельні до поздовжньої осі інструмента, пази типу ластівчина хвоста, та положення одного із них визначено в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструмента, центральним кутом, який утворений його віссю і боковою плоскою поверхнею першого клиноподібного паза, який визначається за формулою $\theta_{01} = 2\pi \frac{(1,5 \dots 2)b + B}{r_{\text{вп}}}$, де

b - максимальна ширина паза типу ластівчина хвоста, мм;

B - максимальна ширина клиноподібного паза, мм;

$r_{\text{вп}}$ - радіус впадин паза, мм;

(11) 73092

а положення суміжного з ним паза визначається в площині, перпендикулярній до поздовжньої осі інструмента, центральним кутом, що утворений його віссю і слідом бокової плоскої поверхні першого клиноподібного паза за формулою $\theta_{02} = \pi - \theta_{\min} - 2\pi \frac{(3...3,5)b}{r_{\text{вп}}}$, де

b - максимальна ширина паза типу ластівчина хвоста;

$r_{\text{вп}}$ - радіус впадин паза;

і в ці пази встановлені пружні напрямні елементи, які зміщені в напрямку, протилежному подачі відносно вершин різальних елементів, на певну величину, та на яких виконані забірні фаски для плавного їх входу в оброблений отвір, який відрізняється тим, що на різальних елементах, встановлених у другому та четвертому клиноподібних пасах, допоміжні кути в плані однакові, та, як і на різальних елементах, встановлених у першому та третьому клиноподібних пасах, становлять $\varphi' = 5 - 10^\circ$, та на допоміжних різальних кромках різальних елементів виконані фаски шириною $f = 0,1 - 0,8 \text{ мм}$, а на головних різальних кромках різальних елементів, встановлених в другому та четвертому клиноподібних пасах, виконані фаски під кутом до поздовжньої осі інструмента, який визначаються за формулою:

$$\varphi_{02\text{К}} = \varphi_{04\text{К}} = \varphi_{0\text{К}} = \text{arcctg} \left(\frac{(\text{ctg}\varphi_0 + \text{ctg}\varphi') \cdot (\pi - \theta_{\min})}{\theta_{\min}} - \text{ctg}\varphi' \right), \text{ де}$$

φ_0 - кут нахилу додаткової фаски до поздовжньої осі інструмента на першому та третьому різальних елементах, град.;

φ' - допоміжний кут в плані на різальних елементах, град.;

θ_{\min} - центральний кут між плоскими поверхнями першого і другого та третього і четвертого клиноподібних пазів, град.



(11) **88484**(19) **UA**(51) МПК
B23B 51/10 (2006.01)

- (21) Номер заявки: **u 2013 02671**
- (22) Дата подання заявки: **04.03.2013**
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.03.2014**
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.03.2014, Бюл. № 6**

(72) Винахідники:
**Кривий Петро Дмитрович, UA,
Крупа Володимир Васильович, UA,
Островський Максим Ігорович, UA,
Кушпіль Володимир Степанович, UA**

(73) Власник:
**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА
ПУЛЮЯ,
вул. Руська, 56, м. Тернопіль,
46001, UA**

(54) Назва корисної моделі:

ЗЕНКЕР

(57) Формула корисної моделі:

Зенкер, що складається з корпусу, в якому виконані хвостовик з різьбовою частиною та робоча частина, різальних елементів, центрального у хвостовику отвору і каналів для підводу змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР) в зону різання та напрямних елементів, який відрізняється тим, що в робочій частині корпусу виконано чотири поздовжніх пази, бокові поверхні та дно яких розміщені під кутом до поздовжньої осі корпусу, причому сліди бокових поверхонь поздовжніх пазів знаходяться під кутом один до одного в перпендикулярній і в паралельній площинах до поздовжньої осі корпусу і в ці пази встановлені різальні елементи, зафіксовані за допомогою клинів та гвинтів, а задні торці різальних елементів є в контакт з задньою стінкою кільцевої виточки, яка виконана у робочій частині корпусу, і на різальних елементах допоміжні кути в плані становлять $\varphi' = 5-15^\circ$ та виконані нульові фаски шириною $f=0,1-0,8$ мм та довжиною $a = (1.2 - 2)s$, де s - подача на оберт, а кут підйому поздовжніх пазів визначається за формулою:

$$\mu = \arctg\{\ell / [\Delta + \delta / 3 + a / (\operatorname{ctg}\varphi' + \operatorname{ctg}\varphi_0)]\},$$

де

 ℓ - величина перешліфовування заднього торця різальних елементів; Δ - величина перезаточування різальних елементів; δ - допуск на розмір оброблюваного отвору; φ_0 - головний кут в плані.



Публічне Акціонерне Товариство
“КАМ'ЯНЕЦЬ - ПОДІЛЬСЬКАВТОАГРЕГАТ”

Україна, 32307, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський,
 вул. Північна, 85; тел./факс: +38 (03849) 3-53-10, 3-51-30;
 e-mail: kraa@kr.km.ua; http://www.k-paa.com.ua
 ЄДРПОУ 00232130; Св. ПДВ 200043429; ІПН 002321322092



Вих. № 751 від 17.07 2013 р

"Затверджую"

Директор

ПАТ "Кам'янець-
 Подільськавтоагрегат"



Островський М.І.

"17" 07 2013р

ДОВІДКА №1

про впровадження інструменту "Зенкер Т3-01.00.000"

Крупи Володимира Васильовича

Після проведених випробувань інструмент "Зенкер Т3-01.00.000", створений за договором про партнерство та співпрацю між Тернопільським національним технічним університетом імені Івана Пулюя та ПАТ "Кам'янець-Подільськавтоагрегат" від 30.03.2012 р, впроваджений у виробництво.

Головний інженер

В.С. Кушпіль

Інженер конструктор

Є. П. Кіржайкін



Публічне Акціонерне Товариство
“КАМ'ЯНЕЦЬ - ПОДІЛЬСЬКАВТОАГРЕГАТ”

Україна, 32307, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський,
 вул. Північна, 85; тел./факс: +38 (03849) 3-53-10, 3-51-30;
 e-mail: kraa@kr.km.ua; http://www.k-paa.com.ua
 ЄДРПОУ 00232130; Св. ПДВ 200043429; ІПН 002321322092

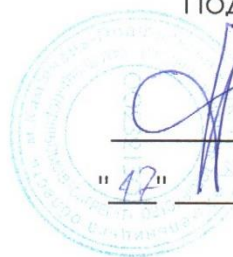


Вих. № 752 від 17.07. 2013 р

"Затверджую"

Директор

ПАТ "Кам'янець-
 Подільськавтоагрегат"



Островський М.І.

"17" 07 2013р

ДОВІДКА №2

про впровадження інструменту "Зенкер Т3-02.00.000"

Крупі Володимира Васильовича

Після проведених випробувань інструмент "Зенкер Т3-02.00.000", створений за договором про партнерство та співпрацю між Тернопільським національним технічним університетом імені Івана Пулюя та ПАТ "Кам'янець-Подільськавтоагрегат" від 30.03.2012 р, впроваджений у виробництво.

Головний інженер

В.С. Кушпіль

Інженер конструктор

Є. П. Кіржайкін

Продовження додатку 3



Публічне Акціонерне Товариство
“КАМ'ЯНЕЦЬ - ПОДІЛЬСЬКАВТОАГРЕГАТ”

Україна, 32307, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський,
 вул. Північна, 85; тел./факс: +38 (03849) 3-53-10, 3-51-30;
 e-mail: kraa@kr.km.ua; http://www.k-paa.com.ua
 ЄДРПОУ 00232130; Св. ПДВ 200043429; ІПН 002321322092



Вих. № 753 від 17.07 2013 р

"Затверджую"

Директор

ПАТ "Кам'янець-
 Подільськавтоагрегат"



Островський М.І.

"17" 07 2013р

ДОВІДКА №3

про впровадження інструменту "Зенкер ТЗ-03.00.000"

Крупи Володимира Васильовича

Після проведених випробувань інструмент "Зенкер ТЗ-03.00.000", створений за договором про партнерство та співпрацю між Тернопільським національним технічним університетом імені Івана Пулюя та ПАТ "Кам'янець-Подільськавтоагрегат" від 30.03.2012 р, впроваджений у виробництво.

Головний інженер

В.С. Кушпіль

Інженер конструктор

Є. П. Кіржайкін



Публічне Акціонерне Товариство
“КАМ'ЯНЕЦЬ - ПОДІЛЬСЬКАВТОАГРЕГАТ”

Україна, 32307, Хмельницька обл., м. Кам'янець-Подільський,
 вул. Північна, 85; тел./факс: +38 (03849) 3-53-10, 3-51-30;
 e-mail: kraa@kr.km.ua; http://www.k-paa.com.ua
 ЄДРПОУ 00232130; Св. ПДВ 200043429; ПІН 002321322092



Вих. № 754 від 17.07. 2013 р

"Затверджую"

Директор

ПАТ "Кам'янець-
 Подільськавтоагрегат"



 Островський М.І.
 "17" 07 2013р

ДОВІДКА №4

про впровадження інструменту "Розточна головка РБ-01.00.000"

Крупи Володимира Васильовича

Після проведених випробувань інструмент "Розточна головка РБ-01.00.000", створений за договором про партнерство та співпрацю між Тернопільським національним технічним університетом імені Івана Пулюя та ПАТ "Кам'янець-Подільськавтоагрегат" від 30.03.2012 р, впроваджений у виробництво.

Головний інженер



В.С. Кушпіль

Інженер конструктор



Є. П. Кіржайкін

Продовження додатку 3



"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Перший проректор Тернопільського
національного технічного
університету імені Івана Пулюя
Митник М.М.
" 21 " 04 20 15 р.

АКТ

про використання в навчальному процесі результатів розробок дисертаційної роботи, виконаної асистентом кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Крупною Володимиром Васильовичем

Ми, що підписалися нижче, завідувач кафедри конструювання верстатів, інструментів д.т.н., проф. Луців Ігор Володимирович, завідувач кафедри технології машинобудування, д.т.н., проф. Пилипець Михайло Ількович, начальник навчального відділу к.т.н., доц. Ткаченко Ігор Григорович склали даний акт про використання у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя результатів розробок дисертаційної роботи, спрямованої на підвищення ефективності процесів розточування та зенкерування глибоких отворів шляхом розроблення нових конструкцій металорізальних інструментів, а саме в курсах:

- "Теорія різання металів" для ОКР "Бакалавр" за напрямами підготовки 6.050502 "Інженерна механіка" та 6.050503 "Машинобудування";

- "Ріжучий інструмент" для ОКР "Бакалавр" за напрямом підготовки 6.050502 "Інженерна механіка";

- "Різальні інструменти та інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва" для ОКР "Бакалавр" за напрямом підготовки 6.050503 "Машинобудування";

- "Фізичні основи різання" для ОКР "Магістр" із спеціальності 8.05050301 "Металорізальні верстати та системи".

Отримані результати також використані при виконанні ряду магістерських робіт із спеціальності 8.05050301 "Металорізальні верстати та системи";

Зав. кафедри конструювання
верстатів, інструментів та машин,
д.т.н., професор

Луців І.В.

Зав. кафедри технології
машинобудування, д.т.н., професор

Пилипець М.І.

Начальник навчального відділу,
к.т.н., доцент

Ткаченко І.Г.