

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

на виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Різальний інструмент та інструментальне забезпечення
автоматизованого виробництва» для студентів спеціальності
133 – Галузеве машинобудування освітньої
програми «Металорізальні верстати та системи»,
«Різальний інструмент» для студентів спеціальності
131 Прикладна механіка освітньої програми «Технології
машинобудування» усіх форм навчання

Запоріжжя
2024 р

Методичні вказівки на виконання лабораторних робіт з дисципліни «Різальний інструмент та інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва» для студентів спеціальності 133 – Галузеве машинобудування спеціальності 133 – Галузеве машинобудування освітньої програми «Металорізальні верстати та системи», «Різальний інструмент» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання /Розр.: В.В. Циганов, М. В. Фролов, В.С. Штанкевич - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. - 39с.

Призначені для студентів, що виконують лабораторних робіт з дисципліни «Різальний інструмент та інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва», «Різальний інструмент»; містить характерні особливості розрахунків, геометрії, застосування різального інструменту, довідковий матеріал.

Розробник: В. В. Циганов, професор
М. В. Фролов, доцент
В.С. Штанкевич, ст. викладач

Рецензент В.В. Солоха, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри
«Металорізальні верстати та
інструменти»
Протокол № від

Рекомендовано
до видання методичною
комісією машинобудівного
факультету

Протокол № 7 від 05.03.2024

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота №1. Дослідження різців з механічним кріпленням багатограних пластинок	4
2. Лабораторна робота №2. Дослідження впливу способу кріплення і базування багатограних пластинок на точність їх установки в корпусі різця.	13
3. Лабораторна робота №3. Дослідження формоутворення зубів евольвентних зубчастих коліс довбачем	25
Додаток А. Завдання для розрахунків елементіворієнтації багатогранної пластини в корпусі інструменту	37
Додаток Б. Значення Критерію Фішера для $\alpha=0.95$...	38
Додаток В. Значення коефіцієнту Стюдента та	39
Додаток Г. Завдання для розрахунків. Параметри колеса що нарізується і спряженого з ним	41
Додаток Д. Деякі значення інвалютної функції для кутів у град	42

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗЦІВ З МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИНОК

1.1 Мета роботи

Вивчення конструктивних особливостей різців з багатограними твердосплавними пластинками і параметрів установки пластинки в корпусі різця.

Обладнання

- ✓ Прогідні токарні різці з механічним кріпленням твердосплавних пластинок.
- ✓ Універсально-заточний верстат моделі 3А64.
- ✓ Трьохповоротні лещата.

1.2 Короткі теоретичні відомості про особливості конструкцій вузла кріплення багатогранної пластинки

Різальна частина різця будької конструкції обмежена передньою і задніми (головною і допоміжною) поверхнями, в добутку перетину яких утворюються головна і допоміжна різальні кромки.

Передню поверхню в суцільних і збірних різців у залежності від умов обробки, призначення і марки інструментального матеріалу виконують у виді площини, уступу, виїмки, ламаної поверхні, що забезпечує кращі умови для ламання і завивання стружки і сприяє безпеці робітника. Формоутворення передніх і задніх поверхонь цих різців виконується заточуванням шліфувальними кругами.

У збірних різців з механічним кріпленням багатограних пластинок форму передньої поверхні одержують пресуванням при виготовленні пластинок.

Конструкція вузла кріплення багатограних пластинок в більшості випадків визначає працездатність різців. Найбільш поширені схеми кріплення багатограних пластинок показані на рис.1.1.

Інструменти, в яких використовуються БНП без центрального отвору, являють собою корпус з гніздом для установки і базування пластини та притиск. Зазвичай застосовуються двуплічний

притиск і затискні гвинти з головкою. Розглянемо кілька найбільш поширених конструкцій кріплення пластин без отворів.

На рис.1.1.а, наведена конструкція з механічним кріпленням БНП двуплечим притиском 5 за допомогою гвинта 6. Притиск одним плечем впирається у гніздо 7 корпусу 1 інструменту, іншим плечем притискає ріжучу пластину 3 разом зі стружко ломом 4. Пластина може спиратися на твердосплавну опорну пластину 2 або безпосередньо на опорну площину гнізда корпусу. Таке кріплення універсальне і забезпечує високі міцність і надійність.

Конструкція кріплення ріжучих пластин з консольним Г-подібним притиском (рис. 1.1, б) більш компактна. Притиск 5 базується по отвору корпусу інструменту своєю циліндричною частиною, а у кутовому положенні фіксується виступом, що знаходяться в пазу корпусу 1. Кріпильний гвинт 6 диференційний, що створює зручність при заміні або повороті пластини, так як при розтисканні притиск відходить від пластини. Недоліком такої конструкції є невелика сила затиску (при відповідному компактному виконанні), тому таку конструкцію рекомендують для легких робіт.

Основні конструкції різців з механічним кріпленням пластин з циліндричним отвором, наведені на рис. 1.1 в, г та д. Конструкція кріплення заснована на розклинюванні ріжучої пластинки 3, що має отвір, між скосом корпусу 1 і бочкоподібною головкою штифта 8 під дією гвинта 6 і клинної планки 9. Бочкоподібна форма головки штифта забезпечує точковий контакт головки з пластинкою і знижує вимоги до точності виготовлення як штифта, так і отвора в опорній поверхні гнізда корпусу. Ріжуча пластинка в даній конструкції спирається на твердосплавну опорну пластинку 2 (рис.1.1, в).

Одна з найпоширеніших конструкцій представлена на рис.1.1, г. Тут ріжучий пластинка 3 притискається до упорної поверхні корпусу 1 інструменту головкою кутового важеля 10 під дією гвинта 6, на корпусі інструменту встановлена опорна пластина 2. Незважаючи на деяку складність, інструменти з подібною інструкцією вузла кріплення застосовуються на ряді вітчизняних підприємств, а також деякими зарубіжними фірмами (за стандартом ISO).

Широке застосування знайшли інструменти з механізмом кріплення, показаним на рис. 1.1, д. У якості затискного елемента використовується цапфа 11, встановлена в корпусі 1 під кутом до

опорної площини гнізда під пластинку 2. У цапфі є уступ, в який впирається гвинт 6. При обертанні гвинта цапфа переміщається вниз і своєю затискної головкою притягує ріжучу пластину до бічних і опорних поверхонь гнізда у корпусі.

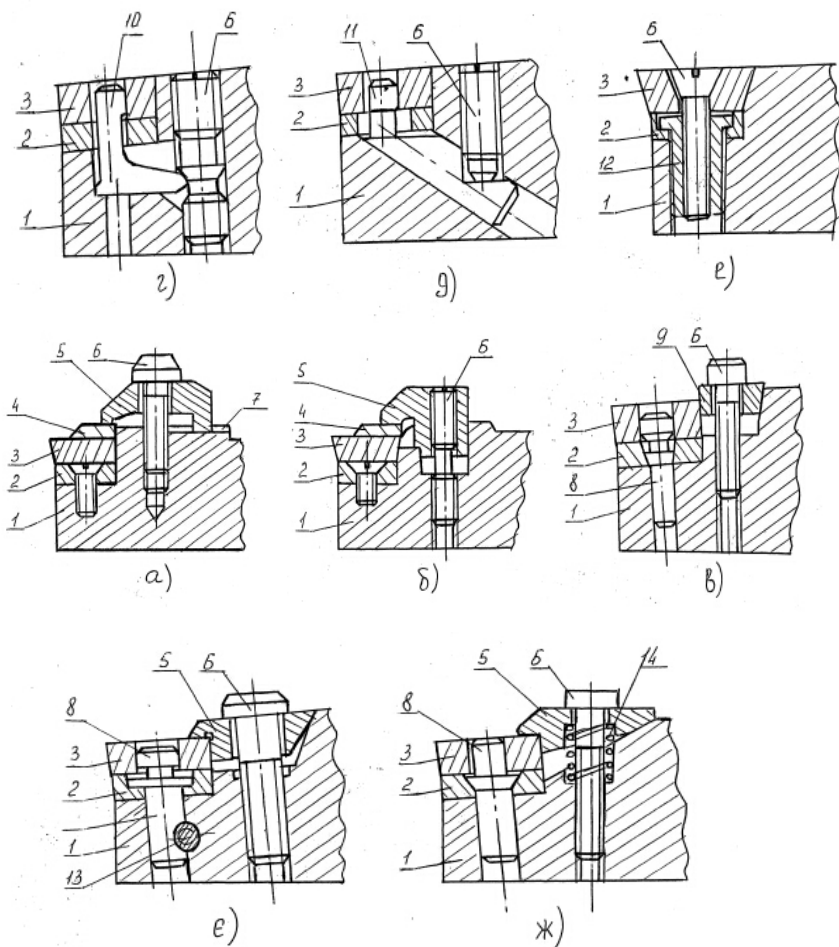
Для кріплення пластинок з конічним отвором в основному використовують притиск гвинтом. У такій конструкції (рис. 1.1,е) ріжуча пластина 3 притискається до стінок гнізда корпусу 1 інструменту за допомогою гвинта 6, вкрученого в різбову втулку 12. Ця втулка в свою чергу притискає до корпусу опорну пластинку 2. Головка гвинта і отвір ріжучої пластини виконані конусними, а вісь гвинта трохи зміщена в бік опорних стінок гнізда. В результаті при закручуванні гвинта ріжучий пластина притискається одночасно до опорних стінок і основи гнізда корпусу інструменту.

До недоліків кріплення ріжучих пластин гвинтом слід віднести необхідність повністю вигвинчувати його з корпусу і потім знову загвинчувати при заміні пластини.

Кріплення ріжучих пластин з центральним циліндричним отвором може здійснюватися з одночасним притиском через отвір до упорної і опорної поверхонь (рис. 1.1).

У конструкції, представленої на рис.1.1, є, притиск 5 входить в гніздо корпусу 1 інструменту і притискається за допомогою гвинта 6 одночасно до стінок гнізда і бічної площини ріжучої пластини 3. В результаті ріжуча пластина притискається до штифта 8, на якому крім ріжучої, встановлена опорна пластина 2; штифт 8 фіксується в корпусі гвинтом 13. Основним з недоліків цієї схеми кріплення є часте ушкодження пластин при затиску.

Більш складний механізм кріплення показаний на рис.1.1, ж. Ріжуча пластина 3 притискається одночасно до штифта 8 і до опорної пластини 2, що забезпечує високі точність і надійність затиску. Притиск 5 виконаний у вигляді клина з отвором під гвинт 6. Своїми крайками притиск 5 контактує з верхньою і бічною поверхнями ріжучої пластини і спирається на похилу поверхню корпусу 1 інструменту. Завдяки похилій поверхні корпусу, пружині 14 і кутовому зазору при затягуванні гвинта притиск зміщується і тисне на пластину зверху. Число полумок таких інструментів скорочується в 2



- а) двуплічним притиском; б) Г-подібним притиском;
 в) клинвою планкою; г) кутовим важілем; д) косою тягою;
 е) гвинтом; з) та ж) прихватом зверху.

1 – корпус; 2 – опорна плштина; 3 – ріжуча пластина; 4 – стружколом; 5– притиск; 6 – гвинт; 7 – гніздо; 8 – штифт; 9 – клинова планка; 10 – кутовий важіль; 11 – цапфа; 12 – втулка; 13 – гвинт; 14 – пружина.

Рисунок 1.1 – Схеми вузлів кріплення багатограних

пластинок

рази, а продуктивність збільшується в 1,2 рази в порівнянні з інструментами, описаними вище.

1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Для підготовки до лабораторної роботи рекомендується повторити та засвоїти: теоретичний матеріал присвячений: особливостям конструкцій вузлів кріплення багатограних пластинок. Рекомендовані джерела: лекції з курсу; [1] – С., [2] – С., [3] – С.204- 208.

1.4 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Які бувають схеми вузлів кріплення багатограних пластинок?

2. Як отримують форму передньої поверхні багатограних пластинок?

3. Яким чином відбувається затискання та розтискання пластинки у схемі кріплення двуплечим притиском? Недоліки та переваги схеми кріплення.

4. Яким чином відбувається затискання та розтискання пластинки у схемі кріплення Г- подібним притиском? Недоліки та переваги схеми кріплення.

5. Яким чином відбувається затискання та розтискання пластинки у схемі кріплення клинковою планкою? Недоліки та переваги схеми кріплення.

6. Яким чином відбувається затискання та розтискання пластинки у схемі кріплення кутовим важілем? Недоліки та переваги схеми кріплення.

7. Яким чином відбувається затискання та розтискання пластинки у схемі кріплення косою тягою? Недоліки та переваги схеми кріплення.

8. Яким чином відбувається затискання та розтискання пластинки у схемі кріплення гвинтом? Недоліки та переваги схеми кріплення.

9. Яким чином відбувається затискання та розтискання

пластинки у схемі кріплення притиском зверху? Недоліки та переваги схеми кріплення.

10. У залежності від чого розраховується кількість граней пластинки?

11. Який пристрій використовується для формоутворення опорної поверхні під пластинку? За якими кутами він налагоджується?

1.5 Зміст роботи та звіту

1. Вивчити конструктивні особливості різців з багатограними твердосплавними пластинками.

2. Виконати теоретичний розрахунок елементів орієнтації багатогранної пластинки в корпусі інструменту для одержання заданих кутів φ , φ_1 , α , α_1 . Вихідні дані для розрахунку, наведені у додатку А.

3. Визначити параметри налагодження пристрою для виконання операції формоутворення опорної поверхні гнізда під пластинку.

Вищезазначені пункти, схеми, розрахунки та необхідні пояснення відповідно порядку виконання роботи повинні бути повністю відображені у звіті.

1.6 Порядок виконання роботи

Вивчити конструктивні особливості різців з багатограними твердосплавними пластинками.

В відповідності з заданими умовами обробки вибрати форму багатогранної пластинки.

Кількість граней пластинки:

$$n = \frac{360}{\varphi + \varphi_1} ,$$

де φ і φ_1 - відповідно головний і допоміжний кути різця в плані.

У випадку, коли число граней одержується дробовим, його округляють до цілого числа. При цьому зберігається задане значення кута в плані φ , а фактичне значення допоміжного кута в плані φ_1 визначається розрахунком:

$$\varphi_1 = \frac{360}{n} - \varphi$$

Для створення заданих кутів на головній α і допоміжній α_1 різальних кромках різця, пластинка (якщо вона не має задніх кутів), повинна бути встановлена в державці з нахилом в сторону вершини різця.

В різці з багатограними пластинками неможна задавати один від другого всі шість основних геометричних параметрів різальної частини (кути φ , φ_1, γ , α , α_1 , λ) як в суцільних різцях, тому що вони зв'язані як з формою пластинки, так і між собою.

Геометричні параметри різця з багатогранною пластинкою визначаються кутами φ , і α_1 , значення яких можуть бути задані незалежно один від другого. Значення кутів φ_1 , γ , λ будуть похідними від цих кутів, числа граней і форми пластинки.

Визначення положення площини N-N, розташованої під кутом β , щодо головної різальної кромки, в якій слід повернути пластину на кут, необхідний для отримання заданих головного α і допоміжного α_1 задніх кутів. Цих даних достатньо для виготовлення паза під пластинку.

Положення БНП на різці визначається поворотом її відносно площини навколо осі О-О, яка становить з напрямком подачі кут ψ (рис. 1.2). Поворотом на кут m забезпечуються необхідні задні кути α і α_1 , що визначаються відповідно до головної P_{t1} допоміжної січної P_n площинах (нестандартне значення).

Визначення параметрів установки багатогранної пластинки на корпусі різця зводиться до знаходження кутів μ і β .

На практиці користуються приблизними виразами для визначення орієнтації багатогранної пластинки без задніх кутів. Схематична установка показана на рис. 1.2.

$$\eta = \frac{180 \cdot (n - 2)}{n},$$

$$\Delta = \varphi + \beta - 90^\circ$$

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \beta} .$$

Кут λ визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} .$$

Передній кут:

$$\gamma = \gamma_{\text{пл.}} - \alpha ,$$

де $\gamma_{\text{пл}}$ – передній кут пластинки в статичному положенні.

Визначити параметри налагодження пристрою для формоутворення опорної поверхні під пластинку. Для цієї мети опорну площину гнізда під пластинку задають двома прямими, розташованими в поперечному перетині корпусу під кутом ω_2 і в повздовжньому перетині під кутом ω_1 (див. рис. 1.2).

Кути ω_1 і ω_2 визначаються за формулами:

$$\operatorname{tg} \omega_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \varphi}{\cos \lambda} + \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi ;$$

$$\operatorname{tg} \omega_2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \varphi}{\cos \lambda} - \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos \varphi .$$

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ КРІПЛЕННЯ І БАЗУВАННЯ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИНОК НА ТОЧНІСТЬ ЇХ УСТАНОВКИ В КОРПУСІ РІЗЦЯ.

2.1 Мета роботи

Дослідити вплив способу кріплення і базування багатогранних твердосплавних пластинок на відхилення налагодженого розміру різця та оцінити вплив способу базування на точність обробки.

2.2 Обладнання

- ✓ Прилад для розмірного налагодження різців поза верстатом моделі БВ-2012М.
- ✓ Пристрої для кріплення пластинок, що забезпечують різні схеми базування.
- ✓ Багатогранні пластинки.

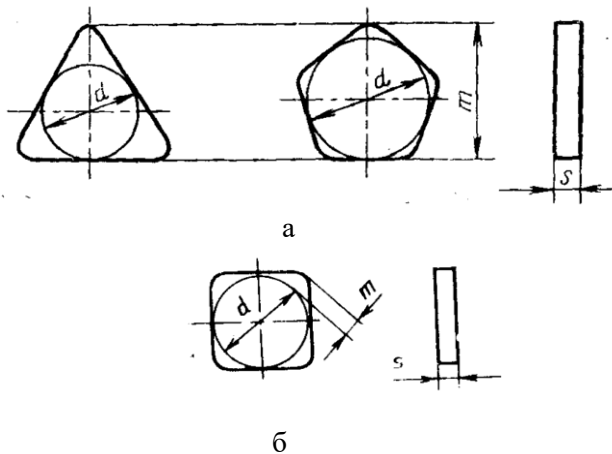
2.3 Короткі теоретичні відомості про методи та точність базування

Використання інструменту зі змінними багатогранними твердосплавними пластинками забезпечує цілий ряд переваг у порівнянні з інструментом, що оснащений напаяними пластинами. Деякі з них: підвищення стійкості на 25...30% за рахунок відсутності внутрішніх напружень, що викликані підвищенням температури під час пайки та заточування; можливість використання на одній державці пластинок з твердого сплаву різних марок (в залежності від оброблюваного матеріалу); зменшення кількості інструменту, що знаходиться в оберті; стабільність геометричних параметрів; полегшення утилізації твердого сплаву; швидкість відновлення ріжучих властивостей інструменту за рахунок повороту або зміни пластинки та ін. Одною з таких переваг є також можливість обробки без додаткового підналагоджування інструменту після відновлення його ріжучих властивостей як зазначено вище. Це реалізується на

різцях, торцевих фрезах, розточних інструментах та ін., що використовуються на верстатах з ЧПК та автоматичних лініях. При цьому витрачається відносно небагато часу на заміну зношеної і встановлення нової пластинки. Так за існуючими нормативами часу на заміну багатогранної пластинки на інструменті витрачається 0.5...1 хвилина, тоді як час для заміни різця - в 2...4 рази більше. Окрім цього, в останньому випадку додатково 1 ...3 хв. витрачаються на налагодження інструменту на розмір поза верстатом.

Можливість обробки деталей без додаткового налагодження інструменту та/або верстату залежить в даному випадку як від точності пластинки так і від способу її базування в корпусі інструменту.

Згідно зі стандартом ISO 1832:2014 багатогранні пластинки мають декілька ступенів точності, що позначаються A, C, E, F, G, H, J, K, L, M, N, U. Відхилення встановлюються також в залежності від форми пластини та її розміру. Так на Рисунку 2.1 показані розміри на які встановлюються відхилення для пластинок з непарною (а) та парною (б) кількістю граней. Відхилення на вказані розміри встановлюються при цьому у широкому інтервалі: для d від ± 0.013 до ± 0.25 , а для m – від ± 0.005 до ± 0.38 мм.



а – для пластинок з непарною кількістю граней. б –
для пластинок з парною кількістю граней
Рисунок 2.1 – Розміри на які встановлюються відхилення

Слід зазначити, що за цим стандартом відхилення на розміри та положення отвору в пластинці не встановлюються.

Згідно ISO класифікуються і типи кріплень пластинок в корпусі інструменту основні з яких наведені на Рис. 2.2



Рисунок 2.2 – Основні типи (схеми) кріплень пластинок в корпусі інструменту

При усіх типах кріплень що наведені на рисунку 2.2 базування пластинки відбувається на опорну поверхню. Тобто розмір відхилення положення вершини пластини відносно вихідного налаштування при її повороті або зміні буде визначатися точністю діаметра вписаного кола d та/або точністю розміру m (Рис. 2.1). Крім того, при цих способах базування досягається співпадіння напрямків затискного зусилля і радіальної складової сили різання, що підвищує жорсткість, а за деякими даними і стійкість різців [1].

Ще один тип кріплення – W (Див. Рисунок 2.3) передбачає затискання клином з базуванням на штифт. Як видно зі схеми – точність відстані від бази до вершини пластини L буде залежати як від точності розмірів d , m так і від точності діаметру отвору D та його положення e . Оскільки, як було вказано вище, точність виконання розмірів D та e стандартом не встановлюються, то можна очікувати, що відхилення положення вершини при такому базуванні буде більше ніж при базуванні на поверхню. Недоліком цього типу кріплення є також різнонаправленість сили затискання та радіальної складової сили різання.

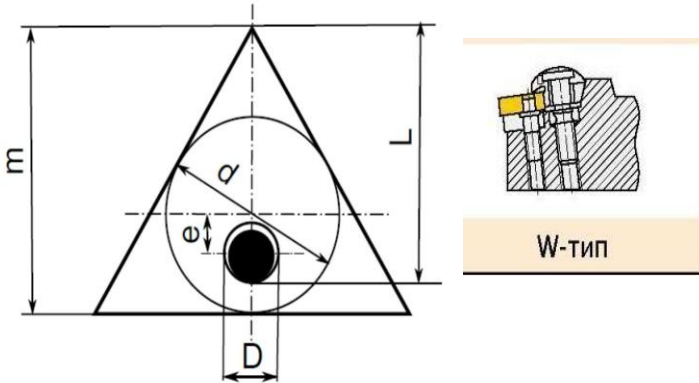


Рисунок 2.3. – Кріплення клином на штифт (W – тип). Схема базування

2.4 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Для підготовки до лабораторної роботи рекомендується повторити та засвоїти: теоретичний матеріал присвячений: класифікації багатограних пластинок, способам їх кріплення та базування; статистичній обробці результатів досліджень - дисперсійному аналізу.

Рекомендовані джерела: лекції з курсу; [1] – С., [2] – С., [3] – С.204- 208.

2.5. Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Як змінні багатогранні пластини класифікуються за формою ?
2. Які бувають типи кріплення багатограних пластинок?
3. Назвіть типи базування багатограних пластинок?
4. Чим визначається точність на розміри багатограних пластинок?
5. На які розміри багатограних пластинок встановлюються допуски за стандартом ISO? Чи залежить це від форми пластинки ?

6. На які розміри багатогранних пластинок не встановлюються допуски за стандартом ISO?
7. Назвіть переваги та недоліки різних типів базування?
8. Назвіть складові що впливають на положення вершини багатогранної пластини при її повороті та зміні для різних типів базування?
9. Чи залежить точність налагодження інструменту від типу базування пластинки?
10. Розкажіть порядок вимірювання відхилення положення вершини.
11. Який критерій і при яких вимірюваннях може вказувати, що пластинки належать до різних партій або мають різну ступінь точності?
12. Який критерій вказує на те, що при повороті та зміні пластини забезпечується однакова / різна точність?
13. За допомогою якого статистичного показника визначається фактичне відхилення положення вершини багатогранної пластини?
14. За допомогою якого статистичного критерію визначається чи є суттєва різниця між різними методами базування?

2.6. Зміст роботи та звіту

1. Виконати заміри відхилень положення вершини різця відносно його вихідного налагодження при повороті і заміні твердосплавних пластинок для різних схем базування на приладі мод. БВ-2012М.
1. Виконати статистичну обробку результатів експерименту.
2. Зробити висновки про вплив схеми базування, повороту і заміни пластини на точність обробки.

Вищезазначені пункти, схеми, розрахунки та необхідні пояснення відповідно порядку виконання роботи повинні бути повністю відображені у звіті

2.7 Порядок виконання роботи

2.7.1. Встановити пристрій що імітує відповідний тип базування на прилад БВ-2012М для розмірного налагодження різця поза верстатом та встановити на ньому пластинку.

Схема приладу наведена на Рисунок 2.4.

Устрій приладу БВ-2012М та порядок роботи на ньому.

Прилад складається з литої основи 1 (див. Рис. 2.4), на якій укріплені направляюча каретка 3, лінійка 4 для установки поздовжньої координати і кронштейн ходового гвинта. Нижня каретка 3 переміщується по прямокутних направляючих за допомогою ходового гвинта. Зверху по направляючих нижньої каретки переміщується верхня каретка 5. На правій верхній планці укріплений мікроскоп 6 для відрахування поперечної координати і стопор. Справа на нижній каретці закріплений кронштейн з мікроскопом 7 для відрахування координат в поздовжньому напрямку. На верхній каретці 5 кріпиться кронштейн з візирним мікроскопом 8 і освітлювачем 9, а також лінійка установки поперечної координати.

Відрахування координати виконується за допомогою відлікових мікроскопів типу МО (6, 7). Для відліку розміру необхідно повертати відрахунковий барабан мікроскопу в одному напрямку до положення, коли видимий штрих лінійки буде встановлено в середині бісектора на екрані мікроскопу. Потім з лінійки виконується відлік цілих міліметрів по індексу грубого відліку і сотих часток міліметра заподілками відрахункового барабану.

Розрахунки пп. 2.6.2 – 2.6.10 виконуються для кожного типу базування

2.7.2. Виконати вимірювання положення n вершин - I_{ij} для m пластин. *Для двох типів базування повинні вимірюватися одні й ті самі пластини які мають бути підібрані однакового ступеню точності та бажано з однієї партії.* Результат вимірювань занести в Таблицю 2.1. До цієї ж таблиці заносяться і результати розрахунків.

2.7.3 Положення першої вершини першої пластини l_{11} прийняти за вихідне та вирахувати відхилення положення інших вершин відносно вихідного:

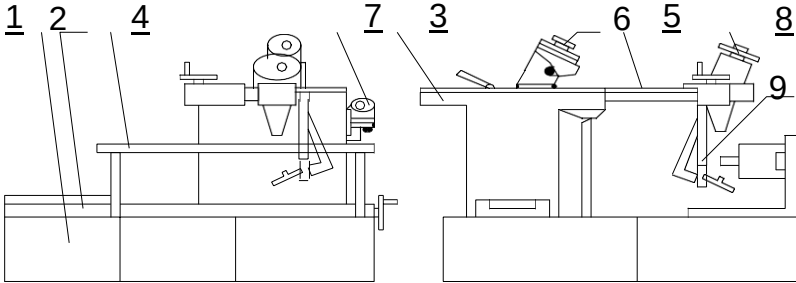


Рисунок 2.4 – Схема приладу БВ-2012М

$$\delta_{ij} = l_{ij} - l_{11}$$

де i – номер пластини; j – номер вершини.

2.7.4 Розрахувати середнє групове відхилення для кожної пластинки:

$$\bar{\delta}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \delta_{ij}$$

де n – кількість вершин.

2.7.5 Визначити внутрішню дисперсію для кожної з пластин:

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\delta_{ij} - \bar{\delta}_i)^2$$

Таблиця 2.1 - Дисперсійний аналіз результатів вимірювань

[illegible]

2.7.6 Визначити однорідність внутрішніх дисперсій за критерієм Фішера:

$$F = \frac{\max\{S^2\}_i}{\min\{S^2\}_i}$$

Отримане значення порівняти з критичним $F_{кр}$, яке для довірчої вірогідності $\alpha=0,95$ та ступенів свободи $\nu_1 = \nu_2 = n - 1$ визначається з таблиці Додатку Б.

Якщо $F \leq F_{кр}$ то дисперсії однорідні. Це свідчить що пластинки належать до однієї партії та мають однаковий ступінь точності, розміри, що не контролюються не впливають на розсіювання результатів. Можна розрахувати середню внутрішню дисперсію:

Якщо $F > F_{кр}$, то дисперсії не однорідні. Результати дослідження потребують ретельного аналізу.

Якщо такі результати отримані для базування на опорну поверхню причинами цієї неоднорідності може бути:

А) Пластинки належать до різних партій та/або мають різний ступінь точності – треба взяти інші пластини та повторити вимірювання;

Б) Некоректно проведені виміри – вимірювання треба повторити;

Якщо такі результати отримані при базуванні на штифт, то до пунктів А та Б може бути додано

В) Вплив розмірів, на які точність не встановлюється (Див. п. 2.3).

2.7.7 Розрахувати загальне середнє відхилення

$$\bar{\delta} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \delta_i^-$$

2.7.8 Розрахувати середньозважену внутрішньогрупову дисперсію:

$$S^2 = 1/m \sum_{i=1}^m S_i^2$$

з кількістю ступенів свободи $f_W = m \cdot (n - 1)$

2.7.9 Розрахувати міжгрупову дисперсію:

$$S_A^2 = \frac{n}{m - 1} \sum_{i=1}^m (\delta_i - \delta)^2$$

З кількістю ступенів свободи $f_A = m - 1$

2.7.10 Визначити загальну дисперсію

$$S^2 = \frac{S_W^2 \cdot f_W + S_A^2 \cdot f_A}{m \cdot n - 1}$$

З кількістю ступенів свободи $f = m \cdot n - 1$

2.7.11 Визначити, чи є статистично значуща різниця між середніми відхиленнями по кожній пластині:

$$F_1 = \frac{S_A^2}{S_W^2}$$

Отримане значення F_1 потрібно порівняти з критичним $F_{кр}$, що визначається з Додатку Б для кількості ступенів свободи $v_1 = f_A$ та $v_2 = f_W$.

Висновки та розрахунки за наслідками порівняння наведені в Таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Визначення точності налаштування інструменту

$F_1 \leq F_{кр}$	$F_1 > F_{кр}$
Зміна пластини та її поворот забезпечують однакову точність налаштування: $\delta \pm \Delta$ $\Delta = t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{m \cdot n}}$ та визначити для довірчої вірогідності α та числа ступенів свободи $\nu = f$ з Додатку В.	Зміна пластини та її поворот забезпечують різну точність налаштування. <u>Точність при повороті:</u> $\delta \pm \Delta_w$ $\Delta_w = t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{m \cdot n}}$ та визначити для довірчої вірогідності α та числа ступенів свободи $\nu = f_w$ з додатку В <u>Точність при зміні:</u> $\delta \pm \Delta_A$ $\Delta_A = t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{m \cdot n}}$ та визначити для довірчої вірогідності α та числа ступенів свободи $\nu = f_A$ з Додатку В

Розрахунки пп.
базування

2.7.12 – 2.7.13

для обох типів

2.7.12 Визначити, чи є суттєва різниця в точності положення вершини між двома методами базування. Для цього за критерієм Фішера порівнюються загальні дисперсії S^2 (п. 2.7.10) обох методів:

$$F_2 = \frac{S_{штифт}^2}{S_{оп. пов.}^2}, \text{ якщо } S_{штифт}^2 \geq S_{оп. пов.}^2;$$

Або

$$F_2 = \frac{S_{\text{оп. пов.}}^2}{S_{\text{штифт}}^2}, \text{ якщо } S^2 \langle S^2_{\text{оп. пов.}} \text{ штифт}.$$

Отримане значення F_2 порівнюється з критичним $F_{\text{кр}}$, що визначається з Додатку Б для кількості ступенів свободи $\nu_1 = \nu_2 = f$.

Висновки та розрахунки за наслідками порівняння наведені в Таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Порівняння методів базування

$F_2 > F_{\text{кр.}}$	Методи базування не забезпечують одну й ту саму точність. результати отримані для кожного з методів.
$F_2 \leq F_{\text{кр.}}$	Обидва методи базування забезпечують одну й ту саму точність $\bar{\delta} \pm \Delta_S$ 1. Середнє відхилення по двох методах базування $\bar{\delta} = \frac{1}{2} (\delta_{\text{штифт}} + \delta_{\text{оп. пов.}})$ 2. Загальна середня дисперсія по двох методах базування: $S_s^2 = \frac{1}{2 \cdot m \cdot n - 1} \sum_{i=1}^{2m} \sum_{j=1}^n (\delta_{ij} - \bar{\delta})^2$ 3. Точність відхилення $\Delta_S = t_\alpha \frac{S_s}{\sqrt{2 \cdot m \cdot n}}$ t_α визначити для довірчої вірогідності α та числа ступенів свободи $\nu = 2 \cdot m \cdot n - 1$ з Додатку В

2.7.13. Зробити висновки про вплив методу базування, повороту і заміни пластинок на точність налаштувань

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗУБІВЕВОЛЬВЕНТНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ДОВБАЧЕМ

3.1 Мета роботи

- ✓ Вивчити конструкції та геометрію зуборізного довбача.
- ✓ Вивчити умови формоутворення довбачем зубів евольвентних зубчастих коліс
- ✓ Визначити придатність даного довбача для нарізання заданого зубчастого колеса.

3.2 Обладнання

- ✓ Зуборізний довбач.
- ✓ Мікрометр.
- ✓ Інструментальний мікроскоп.
- ✓ Оптичний кутомір.

3.3 Умови формоутворення евольвентних зубів довбачем

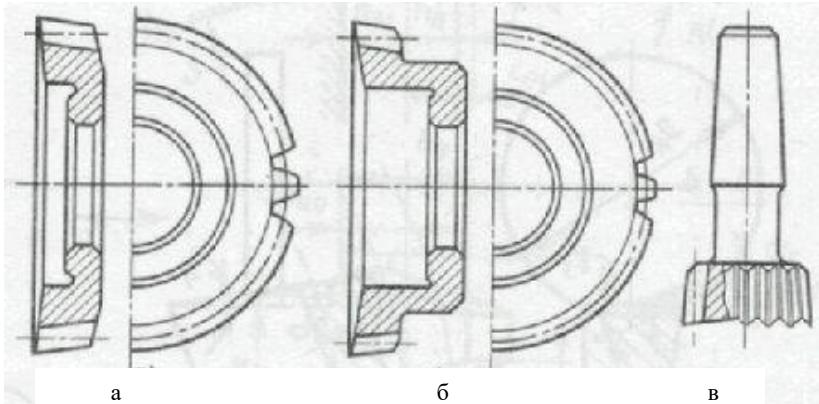
Зубодовбання – найбільш універсальний спосіб нарізання циліндричних евольвентних зубчастих коліс. Він має найбільше застосування при нарізанні зубів в “упор” на блочних багатовінцевих колесах і на колесах з буртиками, на колесах внутрішнього зачеплення і шевронних колесах з безперервним зубом без канавки.

Довбачи бувають таких типів (див. Рис. 3.1.):

- дискові – для нарізання прямозубих циліндричних коліс головним чином зовнішнього зачеплення;
- чашечні – для нарізання блочних коліс в “упор” і внутрішніх середніх модулів;
- кінцевий – для нарізання коліс внутрішнього зачеплення.

Оскільки довбач має задні кути як на вершині зуба так і на його бокових поверхнях – товщина зуба зменшується від передньої поверхні довбача до його протилежного торця (див. Рис. 3.2), то довбач можна розглядати як безкінечну кількість корегованих зубчастих коліс з різними степенями корекції. Перетин (переріз) довбача, параметри якого відповідають параметрам некорегованого зубчастого колеса називається вихідним. Відстань від передньої до

вихідного перетину називається позитивною вихідною відстанню (позитивним зміщенням вихідного контуру), а відстань від вихідного перетину до торця вкінець сточеного довбача – негативною відстанню (негативним зміщенням вихідного контуру).



а – дисковий; б – чашечний; в – кінцевий

Рисунок 3.1 – Типи довбачів

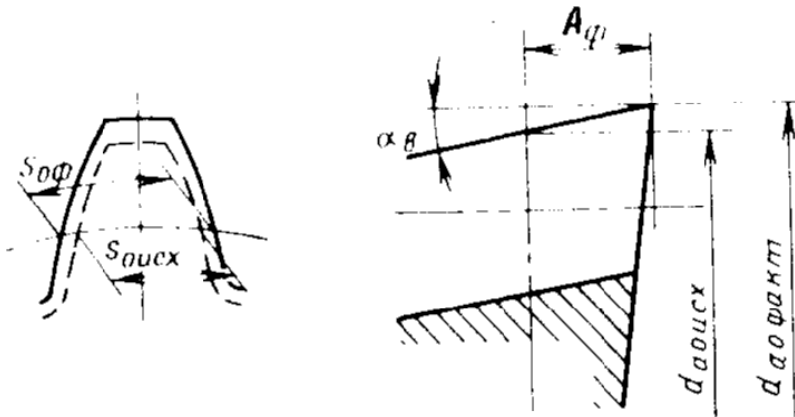


Рисунок 3.2 – Геометричні параметри довбача

Вихідні відстані довбача повинні задовольняти таким умовам:

1 – забезпечувати максимально можливий термін служби довбача;

2 – забезпечувати правильність нарізання зубів колеса.

Зі збільшенням позитивного зміщення вихідного контура збільшується сумарна стійкість довбача; підвищується якість оброблених зубів: поверхня утворюється більш одноманітною. Колесо, нарізане таким довбачем утворює менше шуму; зменшується небезпечність підрізання профілю колеса з малим числом зубів.

Однак, з іншого боку: зі збільшенням позитивного зміщення зменшується ширина ділянки зуба на колі виступів в передньому торці довбача, зниження якої менше допустимої величини призводить до значного зниження стійкості довбача; збільшуються розміри перехідної кривої біля ніжки зуба нарізованого колеса, котра повинна бути меншою по висоті чим неактивна ділянка профілю. Довбачи, з меншими числом зубів дають великі перехідні криві.

Умова одержання перехідної кривої меншої за розміром чим неактивна ділянка профілю записується наступним чином:

$$(Z_1 + Z_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha - Z_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{a_2} \geq (Z_1 + Z_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{wc} - Z_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{a_0} \quad (3.1)$$

де Z_1 - число зубів нарізованого колеса;

Z_2 - число зубів колеса що спрягається з нарізуваним;

Z_0 - число зубів довбача;

α - профільний кут;

α_{a_0} - кут тиснення на коло вершин зубів довбача;

α_{a_2} - кут тиснення на коло вершин спряженого колеса;

α_{wc} - кут зачеплення довбача з нарізуваним колесом.

По мірі зточування довбача збільшується небезпечність зрізування або неповної обробки вершин зубів колеса, що нарізується, а також підрізання зубів колеса (Див. Рис. 3.3).

Вірогідність зрізання головок по мірі зточування довбача збільшується при $Z_0 < Z_1$, а умова відсутності зрізування записується:

$$d_{a_1} \leq \sqrt{d_{b_1}^2 + (2 \cdot a_{wc} \cdot \sin \alpha_{wc})^2} + [h_{cp}], \quad (3.2)$$

де d_{a1} - діаметр вершин зубів колеса, мм:

d_{b1} - діаметр основного кола колеса, мм:

a_{wc} - міжцентрова відстань між довбачем і колесом в верстатному зачепленні, мм:

$[h_{cp}]$ - допустимий розмір зрізу головки, мм:

$$[h_{cp}] \approx 0.45 \cdot m \quad (3.3)$$

Умова (3.2) пояснюється рисунком 3.3, і говорить воно про те, що в процесі нарізання колеса радіус його вершин не повинен заходити за радіус основного кола довбача, оскільки в цьому випадку вершина зуба колеса буде нарізуватися неєвольвентною ділянкою зубадовбача.

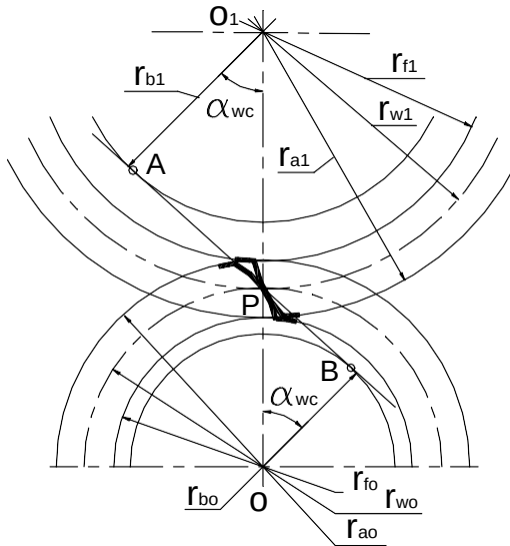


Рисунок 3.3 – Схема зачеплення довбача з колесом, що нарізається

Вірогідність підрізування ніжок зубів колеса що нарізується по мірі зточування довбача збільшується при $Z_0 > Z_1$. Умова непідрізування записується:

$$d_{ao} \leq \sqrt{d_{bo}^2 + (2 \cdot a_{wc} \cdot \sin \alpha_{wc})^2} \quad (3.4)$$

Тобто в процесі нарізання вершина зубів довбача не повинна заходити за радіус основного колеса, тому що в такому випадку ніжки зубів колеса будуть підрізані (див. рис. 3.3).

3.4 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Для підготовки до лабораторної роботи рекомендується повторити та засвоїти теоретичний матеріал присвячений: евольвентному зачепленню; способам нарізування зубчастих коліс; нарізуванню зубчастих коліс методом обкатки; конструкції та геометрії зуборізних довбачів.

Рекомендовані джерела: лекції з курсу; [1] – С., [2] – С., [3] – С. [4] – С.

3.5 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Назвіть методи нарізування евольвентних зубчастих коліс.
2. У чому полягає сутність нарізування зубчастих коліс методом обкатки?
3. Які різновиди методу обкатки можете назвати?
4. Назвіть типи зуборізних довбачів та області їх застосування.
5. По якій поверхні переточується довбач?
6. Що являє собою передня поверхня довбача?
7. Назвіть основні геометричні параметри зуборізного довбача.
8. Назвіть основні конструктивні та геометричні особливості зуба довбача.
9. Що називається вихідним перетином зуборізного довбача?
10. Що таке позитивне зміщення вихідного контуру?
11. Що таке негативне зміщення вихідного контуру?
12. На що впливає збільшення позитивного зміщення вихідного контуру?
13. Що відбувається по мірі переточування довбача?

14. Чому по мірі переточування довбача змінюються умовизачеплення з колесом що нарізується?
15. Якій умові повинна відповідати висота перехідної кривої уніжки зуба колеса що нарізується довбачом?

3.6 Зміст роботи та звіту

1. Виконати заміри конструктивних параметрів довбача та визначити фактичне зміщення вихідного контуру.

2. Визначити можливість нарізування зазначеним довбачем зубчастого колеса, параметри якого в залежності від наданого індивідуально варіанту наведені в Додатку Г.

3. Зробити висновки про можливість нарізування зубчастого колеса наданим довбачем. Якщо таке нарізування не можливе – вказати чому.

Вищезазначені пункти, схеми, розрахунки та необхідні пояснення відповідно порядку виконання роботи повинні бути повністю відображені у звіті

3.7. Порядок виконання лабораторної роботи

3.7.1 Вивчити конструкцію і геометрію зуборізного довбача. Визначити його модуль – m , профільний кут – α та кількість зубів – Z_0 .

3.7.2 За допомогою мікрометра виміряти діаметр вершин зубів довбача в передній перетині – d_{a0} , а при допомозі оптичного кутоміра

– передній та задній кути – γ , α_v (див. рис. 3.2). параметри довбача записати до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Параметри довбача

Модуль m	Профільний кут α	Кількість зубів Z_0	Діаметр вершин зубів d_{a0}	Перед ній кут γ	Задній кут на вершині α_v

3.7.3 З Додатку Г у відповідності з заданим варіантом вибрати параметри колеса що нарізується і спряженого з ним.

3.7.4 За допомогою інструментального мікроскопу заміряти товщину зуба довбача по хорді - B_y на довільній висоті h_y від вершини зуба (див. рис. 3.4).

3.7.5 Розрахувати товщину зуба довбача по дузі довільного кола радіусом r_y - S_y в наступній послідовності:

$$\operatorname{tg} \psi_y = \frac{B_y}{2 \cdot (r_{ao} - h_y)};$$

$$r_y = \frac{r_{ao} - h_y}{\cos \psi_y};$$

$$S_y = 2 \cdot r_y \cdot \psi_y;$$

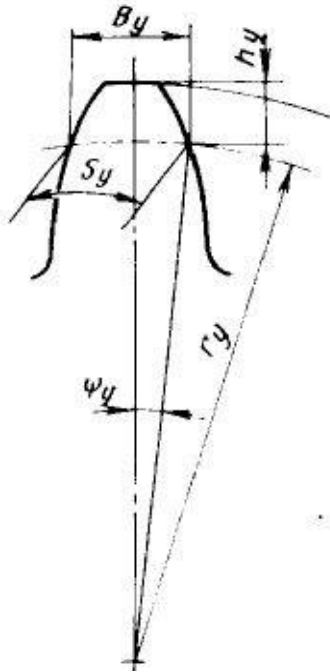


Рисунок 3.4 – Визначення товщини зуба довбача. Розрахункова схема

3.7.6 Розрахувати наступні параметри колеса, що нарізується (індекс 1) та спряженого колеса (індекс 2):

Діаметр кола виступів

$$d_{a1} = m[Z_1 + 2(1 + X_1)]$$

Діаметр основного кола

$$d_{b1} = m \cdot Z_1 \cdot \cos \alpha$$

Кут тиснення на коло вершин

$$\alpha_{a2} = \arccos \left(\frac{Z_2 \cdot \cos \alpha}{Z_2 + 2(1 + X_2)} \right)$$

3.7.7 Розрахувати наступні параметри довбача:

Діаметр ділильного кола:

$$d_o = m \cdot Z_0$$

Діаметр основного кола:

$$d_{bo} = d_o \cdot \cos \alpha$$

Товщину зуба на ділильному колі у вихідному перетині:

$$S_{o \text{ вих}} = \frac{\pi \cdot m}{2}$$

Кут тиснення на вершині зуба:

$$\alpha_{ao} = \arccos \frac{d_{bo}}{d_{ao}}$$

3.7.8 Розрахувати кут зачеплення α_{wc} між довбачем та колесом, що нарізується у верстатному зачепленні:

$$\text{inv} \alpha_{wc} = \frac{2(X_0 + X_1)}{Z_0 + Z_1} \cdot \text{tg} \alpha + \text{inv} \alpha .$$

Де: $\text{inv} \alpha = \text{tg} \alpha - \alpha$

Значення кута α_{wc} за величиною його інволюти для деяких кутів можна визначити з додатку Д.

3.7.9 Розрахувати міжцентрову відстань між довбачем та колесом, що нарізується a_{wc}

$$a_{wc} = \frac{d_{bo} + d_{b1}}{2 \cdot \cos \alpha_{wc}}$$

3.7.10 Розрахувати товщину зуба довбача на ділильному колі S_0 у наступній послідовності:

$$\cos \alpha_y = \frac{d_{bo}}{2 \cdot r_y};$$

$$\operatorname{inv} \alpha_y = \operatorname{tg} \alpha_y - \alpha_y;$$

$$S_o = d_o \cdot \left(\frac{S_y}{2 \cdot r_y} + \operatorname{inv} \alpha_y - \operatorname{inv} \alpha \right);$$

3.7.11 Визначити фактичне зміщення вихідного контуру A_ϕ , та фактичний коефіцієнт корекції – X_0 :

$$A_\phi = \frac{S_0 - S_{0\text{вих}}}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \alpha_\phi$$

$$X_o = \frac{A_\phi}{m} \cdot \operatorname{tg} \alpha_\phi$$

3.7.12 Виконати перевірку можливості нарізання даним довбачем заданого колеса по величині перехідної кривої за умовою (3.1);

3.7.13 Виконати перевірку можливості нарізання даним довбачем заданого колеса

при $Z_0 < Z_1$ за умовою не зрізування головки зуба - (3.2);

при $Z_0 > Z_1$ за умовою непідрізання ніжки зуба - (3.4).

3.7.14 Зробити висновки про можливість нарізання заданого колеса даним довбачем. Якщо нарізання неможливе – проаналізувати причини та можливі наслідки.

Додаток А

Завдання для розрахунків елементів орієнтації
багатогранної пластини в корпусі інструменту

Варі ант	$\varphi, ^\circ$	$\varphi_1, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\alpha_1, ^\circ$	$\gamma_{пл}, ^\circ$
1	45	45	12	8	24
2	60	57	10	6	15
3	45	42	8	6	20
4	63	60	10	10	25
5	42	50	8	8	15
6	35	24	6	6	20
7	60	60	12	10	20
8	53	18	10	8	24
9	32	28	8	6	25
10	40	32	12	12	20
11	57	25	8	8	15
12	35	25	8	6	25
13	63	27	12	8	20
14	32	60	10	6	25
15	49	32	8	6	15
16	45	45	8	8	15
17	60	57	6	6	20
18	45	42	12	10	20
19	63	60	10	8	24
20	42	50	8	6	25
21	60	57	8	6	25
22	45	42	12	12	20
23	63	60	8	8	15
24	42	50	8	6	25
25	35	24	12	8	20
26	60	60	10	6	25
27	53	18	8	6	15
28	53	18	8	8	15
29	32	28	8	6	25
30	40	32	12	8	20

Додаток Б

Значення Критерію Фішера для $\alpha=0.95$

v ₂	v ₁												
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	19.0	19.2	19.3	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
3	9.6	9.3	9.1	9.0	8.9	8.9	8.9	8.8	8.8	8.8	8.7	8.7	8.7
4	6.9	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	6.0	6.0	5.9	5.9	5.9	5.8
5	5.8	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	4.7	4.7	4.6
6	5.1	4.8	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	3.9
7	4.7	4.4	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5
8	4.5	4.1	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.2
9	4.3	3.9	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0
10	4.1	3.7	3.5	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9
11	4.0	3.6	3.4	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7
12	3.9	3.5	3.3	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6
13	3.8	3.4	3.2	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6
14	3.7	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5
15	3.7	3.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4
16	3.6	3.2	3.0	2.9	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4
17	3.6	3.2	3.0	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3
18	3.6	3.2	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3
19	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
20	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2
21	3.5	3.1	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2
22	3.4	3.1	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2
23	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2
24	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1
25	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1

Додаток В

Значення коефіцієнту Стюдента t_{α}

v	Довірча вірогідність α				
	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
1.	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567
2.	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3.	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4.	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5.	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6.	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7.	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8.	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9.	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10.	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11.	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12.	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13.	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14.	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15.	1.3406	1.7531	2.1314	2.6025	2.9467
16.	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17.	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18.	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19.	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20.	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21.	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22.	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23.	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24.	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25.	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874

Продовження додатку В

v	Довірча вірогідність α				
	0,80	0,9	0,95	0,98	0,99
26.	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27.	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28.	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29.	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30.	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31.	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32.	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33.	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34.	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35.	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36.	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37.	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38.	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39.	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40.	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41.	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42.	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43.	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44.	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45.	1.3006	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46.	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47.	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48.	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49.	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800
50.	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778

Додаток Г

Завдання для розрахунків. Параметри колеса що нарізується і спряженого з ним.

Варіант	Колесо що нарізується		Спряжене колесо	
	Кількість зубів Z1	Коефіцієнт корекції X1	Кількість зубів Z2	Коефіцієнт корекції X2
1	41	0.3	52	0
2	46	0.1	56	0
3	48	0	50	0.2
4	28	0	38	0.2
5	52	0	48	0.2
6	34	0	38	0.2
7	38	0.2	52	0
8	32	0.2	46	0
9	34	0.2	48	0
10	40	0.2	54	0
11	48	0.3	58	0
12	32	0.3	60	0
13	48	0.3	62	0
14	44	0.3	58	0
15	40	0.3	46	0
16	58	0	42	0.2
17	40	0	36	0.2
18	34	0	58	0.2
19	38	0	60	0.3
20	46	0	54	0.3
21	48	0	58	0.3
22	42	0	46	0.4
23	40	0.4	50	0
24	52	0.4	64	0
25	54	0.4	32	0
26	18	0.3	36	0
27	32	0.3	64	0
28	34	0.3	48	0
29	40	0.2	56	0
30	48	0	72	0.4

Додаток Д

Деякі значення інвалютної функції для кутів у град.

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
15	0.00628	0.00640	0.00653	0.00667	0.00680	0.00693	0.00707	0.00721	0.00735
16	0.00764	0.00778	0.00793	0.00808	0.00823	0.00839	0.00854	0.00870	0.00886
17	0.00919	0.00936	0.00952	0.00969	0.00987	0.01004	0.01022	0.01040	0.01058
18	0.01095	0.01113	0.01132	0.01152	0.01171	0.01191	0.01210	0.01231	0.01251
19	0.01292	0.01313	0.01335	0.01356	0.01378	0.01400	0.01422	0.01445	0.01467
20	0.01514	0.01537	0.01561	0.01585	0.01609	0.01634	0.01659	0.01684	0.01709
21	0.01760	0.01786	0.01813	0.01840	0.01866	0.01894	0.01921	0.01949	0.01977
22	0.02034	0.02063	0.02092	0.02122	0.02151	0.02182	0.02212	0.02243	0.02274
23	0.02337	0.02368	0.02401	0.02433	0.02466	0.02499	0.02533	0.02566	0.02601
24	0.02670	0.02705	0.02740	0.02776	0.02812	0.02848	0.02885	0.02922	0.02960
25	0.03036	0.03074	0.03113	0.03152	0.03192	0.03232	0.03272	0.03312	0.03353
26	0.03436	0.03478	0.03521	0.03564	0.03607	0.03651	0.03694	0.03739	0.03784
27	0.03874	0.03920	0.03966	0.04013	0.04060	0.04108	0.04156	0.04204	0.04253
28	0.04351	0.04401	0.04452	0.04502	0.04554	0.04605	0.04657	0.04710	0.04763
29	0.04870	0.04924	0.04979	0.05034	0.05090	0.05146	0.05203	0.05260	0.05317
30	0.05434	0.05492	0.05552	0.05612	0.05672	0.05733	0.05794	0.05856	0.05918
31	0.06044	0.06108	0.06172	0.06237	0.06302	0.06368	0.06434	0.06501	0.06569
32	0.06705	0.06774	0.06843	0.06913	0.06984	0.07055	0.07127	0.07199	0.07272
33	0.07419	0.07493	0.07568	0.07644	0.07720	0.07797	0.07874	0.07952	0.08031
34	0.08189	0.08270	0.08351	0.08432	0.08514	0.08597	0.08680	0.08764	0.08849
35	0.09020	0.09107	0.09194	0.09282	0.09370	0.09459	0.09549	0.09639	0.09731