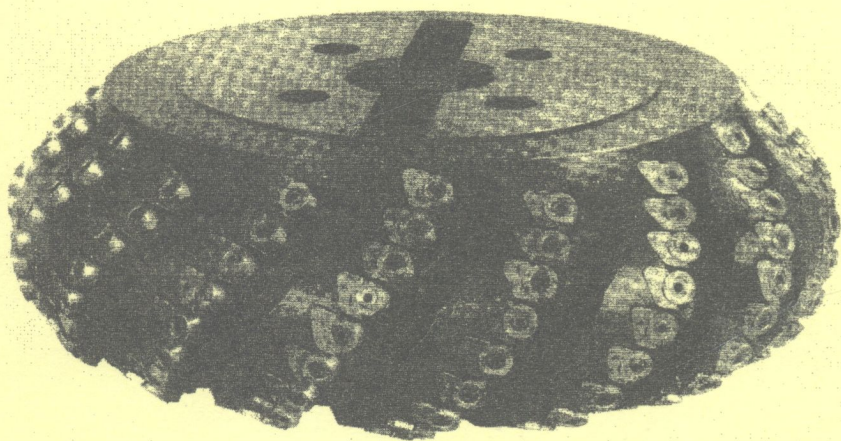


Б.М. Пенюк, А.Л. Штурма

Проектування різального інструмента



ВНТУ

Б.М. Пентюк, А.Л. Штурма

ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Затверджено Вченою радою Вінницького національно технічного університету як практикум для студентів напряму підготовки 0902 – “Інженерна механіка” спеціальностей “Металорізальні верстати і системи” та “Технологія машинобудування”. Протокол № 8 від 2 березня 2006 року

Рецензенти:

І.О. Сивак, доктор технічних наук, професор

П.С. Берник, доктор технічних наук, професор

Л.Г. Козлов, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Пентюк Б.М., Штурма А.Л.

П 25 **Проектування різального інструмента.** Практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2006 - 80с.

В практикумі розглянуті особливості адресного і модульного проектування на прикладі виконання 6 лабораторних і 9 практичних занять.

В лабораторних роботах досліджуються геометричні та конструктивні параметри різальних інструментів першого та другого порядків, особливості процесу формоутворення неевольвентних профілів. В практичних роботах виконується проектування збірних та комбінованих інструментів.

Практикум рекомендується для студентів денної та заочної форми навчання напряму підготовки 0902 – „Інженерна механіка” спеціальностей „Металорізальні верстати і системи” та „Технологія машинобудування”.

УДК 621.9.04

Вступ.....	4
1 Напрямки проектування різального інструмента.....	5
2 Лабораторний практикум	7
2.1 Лабораторна робота № 1. Дослідження геометричних параметрів робочої частини затилувальних різців	7
2.2 Лабораторна робота № 2. Дослідження геометричних параметрів робочої частини різців для нарізання ходових гвинтів	11
2.3 Лабораторна робота № 3. Дослідження процесу формоутворення профілю деталей інструментами, що працюють за методом обкатування	14
2.4 Лабораторна робота № 4. Перевірка профілю інструмента, отриманого аналітичним методом	18
2.5 Лабораторна робота № 5. Дослідження точності позиціонування різців різних конструкцій	20
2.6 Лабораторна робота № 6. Вивчення конструкції та геометричних параметрів різців з механічним кріпленням непереточуваних пластинок	28
3 Практичні заняття	33
3.1 Практичне заняття № 1. Визначення величини задніх кутів в різних точках різального леза фасонних фрез	33
3.2 Практичне заняття № 2. Вплив переднього кута зуба інструмента на профіль деталі	36
3.3 Практичне заняття № 3. Визначення профілю зуба гребінчастої різьонарізної фрези	43
3.4 Практичне заняття № 4. Конструювання інструментальних блоків.....	46
3.5 Практичне заняття № 5. Податливість інструментальних блоків.....	50
3.6 Практичне заняття № 6. Техніко-економічний та екологічний аналізи РІ та ТОС	54
3.7 Практичне заняття № 7. Системний аналіз різальних інструментів та технологічних оброблювальних систем	57
3.8 Практичне заняття № 8. Структура оптимізації РІ та ТОС	61
3.9 Практичне заняття № 9. Параметрична оптимізація конструкцій РІ та умов їх експлуатації	67
Висновок.....	72
Література.....	73
Додавки.....	76

Проектування металорізальних інструментів є однією з основних дисциплін при підготовці інженерів з спеціальності “Технологія машинобудування”, її вивчення повинно дати майбутнім спеціалістам знання, необхідні при розробці сучасних технологічних процесів і проектуванні верстатів і інструментів.

Від якості, надійності і працездатності різальних інструментів значною мірою залежать якість і точність деталей, продуктивність і ефективність процесу обробки, особливо при автоматизованому виробництві в умовах гнучких виробничих систем.

При проектуванні різальних інструментів необхідно набути знання з теоретичних основ конструювання і розрахунку інструментів, необхідно вміти правильно визначити кращі умови обробки, конструктивні елементи інструментів і створювати оптимальну їх конструкцію, враховуючи умови експлуатації, знати основні напрямки їх вдосконалення, шляхи підвищення надійності і ефективності, уявляти собі можливі напрямки і перспективи розвитку різального інструмента.

Підвищення продуктивності праці в машинобудуванні значною мірою залежить від конструкції металорізального інструмента, його стійкості. Чим досконаліший різальний інструмент, тим вища якість виробу при вищій продуктивності і нижчій собівартості. Інструментальне виробництво розвивається в таких напрямках:

- а) заміна менш стійких інструментальних матеріалів більш стійкими, що дає змогу працювати на високих швидкостях різання;
- б) впровадження нових конструкцій інструмента з багатограничними неперегострюваними твердосплавними пластинами;
- в) розширення номенклатури інструмента, оснащеного твердим сплавом;
- г) розробка конструкцій збірного інструмента з регулюванням положення різального леза для компенсації спрацювання.

В сучасних виробництвах змінюється структура металорізального обладнання в напрямку збільшення питомої ваги автоматизованого обладнання, в тому числі верстатів з ЧПК, роботизованих з використанням мікропроцесорної та обчислювальної техніки гнучких автоматизованих комплексів (ГАК) та гнучких виробничих систем (ГВС), дозволяючи швидко та ефективно переналагоджувати виробництво та випуск нових виробів. Ефективна експлуатація вказаного обладнання неможлива без створення інструментального оснащення підвищеної надійності, точності, стійкості. Тому спеціалісти, яким доведеться працювати в металообробних виробництвах, повинні вміти грамотно проектувати різні види інструментів з урахуванням вимог до якості виготовлення деталей, особливостей обладнання та ефективності виробництва.

1 Напрямки проектування різального інструмента

При масовому і серійному виробництві деталей, раціонально застосовувати інструменти, спроектовані із врахуванням конкретних умов обробки і обладнання. Це так зване адресне проектування. Вихідними даними адресного проектування інструмента є дані про заготовку, форму і розміри оброблених поверхонь, їх необхідна точність і допустима шорсткість, матеріал і його технологічні властивості, а також технічні дані обладнання, на якому буде виконуватись обробка, необхідна продуктивність.

За вказаними даними встановлюють вид інструмента, його конструкцію, матеріал різальної частини і основні параметри. Потім розраховують конструктивні і геометричні параметри інструмента, визначають виконавчі розміри робочої частини, необхідну точність, призначають допуски, розробляють робоче креслення.

При проектуванні різального інструмента необхідно виконувати складні розрахунки для визначення геометричної форми різальних кромок, що забезпечать необхідну форму і точність оброблених поверхонь, розрахунки для забезпечення міцності і жорсткості інструмента, найменших витрат матеріалу, мінімальної потужності обробки тощо. Ці розрахунки слід проводити з використанням теоретичних положень фундаментальних наук і новітніх засобів обчислювальної техніки.

Актуальним є визначення геометричних параметрів інструментів для обробки, наприклад, гвинтових поверхонь, фасонних різальних інструментів; дослідження впливу геометричних параметрів інструмента на форму профілю деталі.

Для виготовлення складних деталей дрібними серіями використовують верстати з ЧПК. Інструменти в оснащеннях таких верстатів повинні задовольняти вимоги автоматизованого виробництва і, крім того, мати гнучкість, що дозволяє без переналагодження виконувати технологічні операції при виготовленні різних деталей. Для виконання кожної операції (переходу) застосовують інструментальні блоки, що є функціонально складальною одиницею у вигляді різального і допоміжного (загисного) інструмента. Інструментальні блоки повинні забезпечувати високу точність позиціонування (установлення) інструмента відносно баз верстата, можливість регулювання розмірів та автоматичну заміну блоків. Вирішення даної задачі досягається застосуванням системи допоміжного інструмента для верстатів із ЧПК. Система допоміжного інструмента, що застосовується в машинобудуванні, має три підсистеми:

а) підсистему допоміжного інструмента для верстатів із ЧПК свердлильно-розточувальної і фрезерної груп;

б) підсистему допоміжного інструмента з циліндричним хвостовиком для верстатів із ЧПК токарної групи;

в) підсистему допоміжного інструмента з базуючою призмою для верстатів з ЧПК токарної групи.

Для зниження витрат на допоміжний інструмент і для зручності експлуатації важливою умовою ефективності підсистеми допоміжного інструмента є його мінімальна кількість, що забезпечує можливість закріплення максимально можливого числа інструментів різних типів і розмірів. Важливим фактором уніфікації інструментального оснащення є прийняття єдиних виконань приєднувальних поверхонь інструмента і верстатів.

Підсистеми допоміжного інструмента для верстатів з ЧПК мають недоліки, які обумовлені: по-перше, застосуванням великої кількості типорозмірів, коефіцієнт використання кожного типорозміру невеликий, і, по-друге, складністю використання при обробці деяких ступінчатих отворів.

Ці недоліки ліквідуються, якщо застосувати модульний принцип конструювання інструментальних блоків, який полягає в тому, що допоміжний інструмент виконується не цільним, а збірним, що складається зі стандартних модулів. Такими стандартними модулями є: державки з посадочним місцем для установаження в шпindelь верстата і посадочним місцем для інструмента або подовжувача, який забезпечує необхідну довжину блока; перехідники, що дозволяють виміряти діаметр блока; інструментальні головки.

Основною проблемою в створенні модульного інструмента є розробка з'єднувального елемента, який повинен забезпечити не тільки з'єднання окремих частин інструмента, але і достатню жорсткість, точність і повторюваність розмірів інструмента. Більшість розроблених систем використовують з'єднання, в якому базуючими поверхнями є циліндричні поверхні довжиною, рівною діаметру, і торцеві поверхні з торцевим биттям біля 0,01 мм. Співвісно з циліндричною поверхнею розташовується різьова частина з великим кроком. Складання модулів здійснюється вгвинчуванням однієї частини в іншу до затиску по торцевій поверхні. Точність циліндричних напрямних поясів відповідає 5-му квалітету, а отворів - 6-му квалітету. Твердість елементів 52-58 HRC, параметр шорсткості $R_a \leq 0.2$ мкм.

Інструментальні блоки, спроектовані із стандартних модулів, в порівнянні з суцільними мають підвищену динамічну стійкість, оскільки вібрації, які виникають, гасяться стиками, але їх жорсткість на 20-30% нижча жорсткості суцільних блоків.

Модульний принцип побудови інструментальних блоків збільшує коефіцієнт використання кожного модуля і забезпечує зменшення витрат на інструментальну оснастку.

2 Лабораторний практикум

2.1 Лабораторна робота № 1

Дослідження геометричних параметрів робочої частини затилувальних різців.

Мета роботи: дослідження впливу кінематичних кутів інструментів на величину інструментальних кутів.

Обладнання та інструмент: затилувальні різці, фасонні фрези, штангенциркуль, індикатор годинникового типу, кутомір.

Теоретичні відомості

Для затилування використовують спеціальні затилувальні різці. Затилувальні різці – інструмент другого порядку. Особливе значення для затилувальних різців має правильний вибір заднього кута (α). В процесі різання задній кут зменшується на певну величину, яка залежить від величини подачі та діаметра затилувального інструмента.

$$\alpha_k = \alpha_i - \mu,$$

де, α_k – кінематичний задній кут, тобто фактичний задній кут в процесі різання;

α_i – інструментальний задній кут.

μ – величина, на яку зменшується задній кут в процесі різання.

Як правило $\alpha_i = 25^\circ + 35^\circ$

Для полегшення виготовлення та зберігання профілю різця при переагостреннях, частіше за все, затилувальні різці виготовляють з переднім кутом $\gamma = 0$.

Форма робочого профілю затилувальних різців залежить від форми та розмірів зубців затилувального інструмента. Так наприклад, затилування зубців черв'ячно-модульних фрез модулем $m < 6$ мм проводять різцем виконаним за формою впадини або різцем, що охоплює профіль зуба.

Зубці фрез з модулем $m \geq 6$ мм затилують комплектом різців, кожную сторону зуба окремим різцем. Конструкція правого і лівого різців відрізняються одна від одної величиною α_i та γ_i , в процесі затилування кінематичні кути α_k та γ_k однакові для правого і лівого різців.

Проводять вимірювання інструментальних кутів затилувальних різців, виданих викладачем. В даному випадку розглядаються задні кути α цих інструментів.

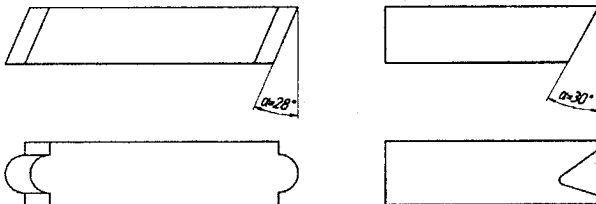


Рисунок 2.1 - Ескізи фасонних різців для затилування

Показані на рисунку кути є інструментальними кутами. Крім того, розрізняють також статичні та кінематичні кути. На рис.2.2 зображені інструментальний та кінематичний кути.

Значення кута μ можна розрахувати за формулою:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{S}{\pi D} \quad (2.1)$$

де S – подача, мм/об;

D – діаметр заготовки.

Зазвичай значенням кута μ нехтують, оскільки подачі дуже малі і μ близький до нуля. Але для затилувальних різців подача, як правило, значна, тож ця величина впливає на геометрію інструмента.

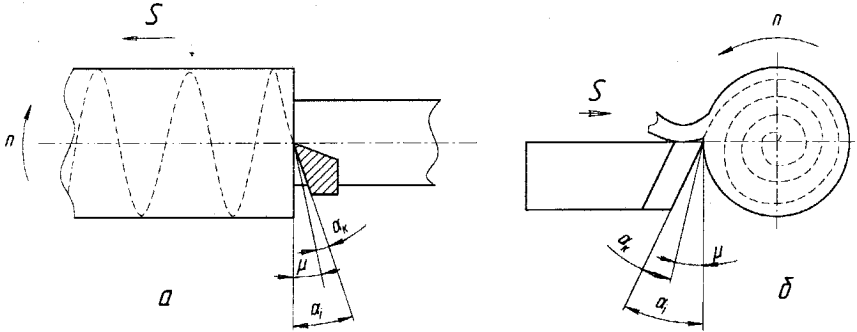


Рисунок 2.2 - Інструментальні та кінематичні кути: а). при нарізанні різі з великим кроком; б). при обробці архімедової спіралі.

α_k – кінематичний кут; $\alpha_k = \alpha_i - \mu$;

α_i – інструментальний кут.

Затилувальні різці застосовуються для затилування задньої поверхні інструментів. В нашому випадку це фасонна фреза.

Необхідно визначити величину затилування для виданої викладачем фасонної фрези. Значення K можна знайти із формули:

$$K = \frac{\pi d}{z} \operatorname{tg} \alpha \quad (2.2)$$

де d – діаметр фрези;

z – кількість зубців фрези;

α – задній кут.

Порядок виконання

Для визначення величини затилування потрібно знати значення заднього кута. Визначте його експериментальним шляхом.

Виміряйте величину спаду затилку на задній поверхні зуба, скориставшись індикатором годинникового типу та поворотним столом (див. рис. 2.3).

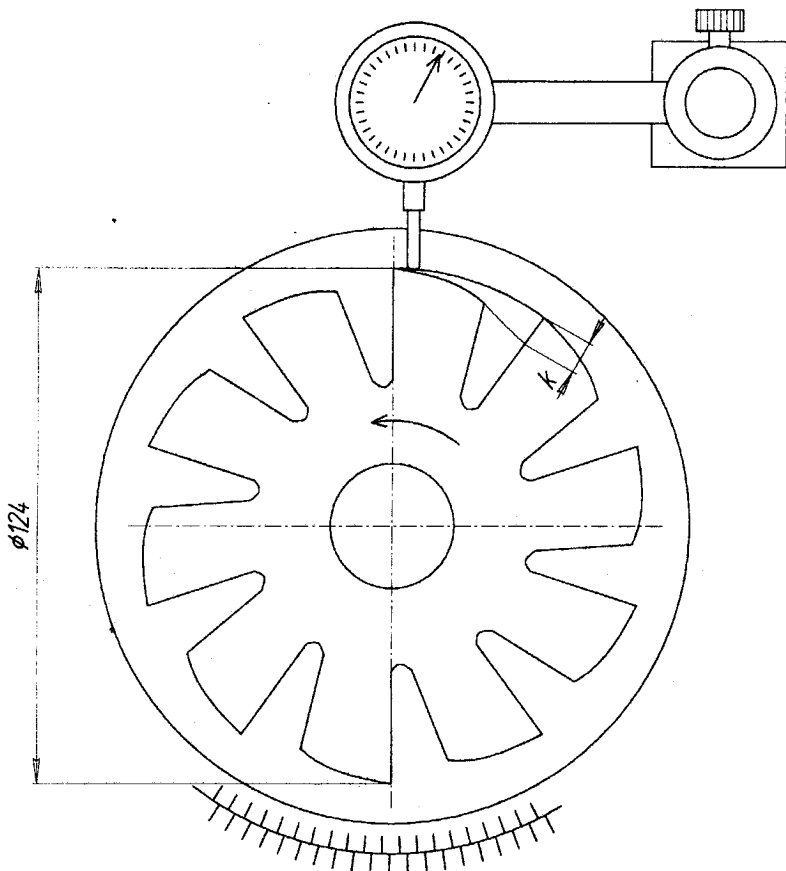


Рисунок 2.3 - Схема вимірювання величини спаду затилку на задній поверхні зуба.

В результаті вимірювання для фрези

$$d = 124 \text{ мм};$$

$$z = 10;$$

згідно з показаннями індикатора при повороті столу на 10° отримано величину спаду затилка 1,84 мм.

Розрахувати, скільки міліметрів кола приходить на 10° , знаючи, що на 360° приходить $\pi \cdot d$ мм.

$$\text{На } 10^\circ \text{ приходить } 3,14 \cdot 124 \cdot 10 / 360 = 10,82 \text{ мм.}$$

Із розгорнутого трикутника, в якому значення одного катета – 10,82 мм, а другого – 1,84 мм, знайти величину заднього кута α :

$$\operatorname{tg} \alpha = 1,84 / 10,82 = 0,17.$$

Звідки

$$\alpha = \operatorname{arctg} 0,17 = 9^{\circ}40'.$$

Тоді величина затилування складає:

$$K = \frac{3,14 \cdot 124}{10} \cdot 0,17 = 6,62 \text{ мм}.$$

Отже, при затилуванні фрези різцем необхідно забезпечити подачу на один зуб

$$S_z = 6,62 \text{ мм / зуб},$$

або

$$S = 66,2 \text{ мм / оберт}.$$

Користуючись формулою (1.1) визначити значення кута μ :

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{66,2}{3,14 \cdot 124} = 0,17;$$

$$\mu = \operatorname{arctg} 0,17 = 9^{\circ}42'.$$

Як бачимо, величина кута μ досить велика і нею знехтувати не можна.

Тож при виготовленні затилувальних різців кут α беруть більше 20° , завдяки чому в процесі різання ($\alpha_k = \alpha - \mu$) зберігаються різальні властивості інструмента.

Якщо цього не враховувати і взяти значення α_i в межах $10-12^{\circ}$, то під впливом кута μ кінематичний кут α_k буде близький до нуля, а отже різання не відбуватиметься.

Зміст звіту

Звіт має містити формулювання завдання, ескіз різця, необхідні розрахунки, ескіз схеми вимірювання, висновки.

Контрольні запитання

1. Інструментальні, статичні та кінематичні кути.
2. Вплив статичних кутів на процес різання.
3. Вплив кінематичних кутів на процес різання.
4. Особливості процесу затилування.
5. Методи затилування.
6. Конструкція різців для затилування черв'ячно-модульних фрез з модулем $m \leq 6$ мм.
7. Конструкція різців для затилування черв'ячно-модульних фрез з модулем $m > 6$ мм.
8. Особливості геометрії робочої частини затилувальних різців.
9. Визначення величини подачі S різця при затилуванні, її вплив на геометрію робочої частини затилувального різця.
10. Величини переднього та заднього кутів в затилувальних різцях, їх вплив на процес різання.
11. Особливості установаження затилувальних різців відносно деталі.

2.2 Лабораторна робота № 2

Дослідження геометричних параметрів робочої частини різців для нарізання ходових гвинтів

Мета роботи: дослідження впливу кінематичних кутів інструментів на величину інструментальних кутів.

Обладнання та інструмент: ходові гвинти, штангенциркуль, кутомір.

Теоретичні відомості

В різцях * для отримання прямокутної та трапецеїдальної різі величина бокового зазору в процесі різання залежить від нахилу різі (кута підйому гвинтової лінії) і повинна бути в межах $1^\circ \div 3^\circ$ до бокової поверхні деталі.

Для визначення інструментальних задніх кутів (α_i), які забезпечують виконанням даної умови, використовують графічний або аналітичний метод.

Графічне визначення α_i (рис. 2.4)

Нехай задана різь з такими параметрами:

D – зовнішній діаметр;

d – внутрішній діаметр;

S – крок різі;

Різець відносно осі заготовки встановлено під кутом підйому гвинтової лінії середнього діаметра різі.

Тоді кут підйому різі для зовнішнього діаметра $tg\alpha_1 = \frac{S}{\pi D}$, для внутрішнього діаметра $tg\alpha_2 = \frac{S}{\pi d}$. Відкладемо у вертикальній площині відрізок $BC = \pi D$, а на ньому відрізок $bc = \pi d$ так щоб, точка A знаходилась посередині відрізків. Потім горизонтально відкладаємо відрізок $CE = S$. З'єднаємо точки B і E та точки b і e і отримаємо кути α_1 та α_2 . З місця перетину відрізків BE та be – точки D , відкладаємо відрізок DF , $DF = \frac{1}{2}S$ паралельно лінії CE .

З точки D проведемо лінію Dd' під кутом $\alpha_k = 1^\circ \dots 3^\circ$ відносно лінії be і отримаємо α_i . Через F проведемо лінію $Y - Y'$ паралельно відрізку be . З точки F проведемо відрізок Ff під кутом α_k відносно лінії $Y - Y'$. Заштрихована площа являє собою профіль різця для отримання заданої різі.

Ми зупинились на аналітичному методі, як більш точному та менш трудомісткому.

Кут зазору між боковою поверхнею різця та деталі це кінематичний задній кут, який визначають за формулою:

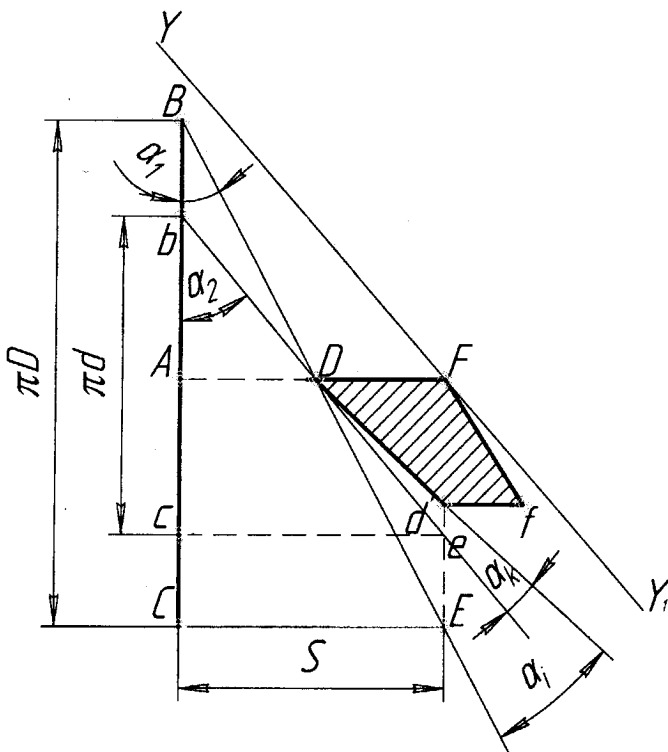


Рисунок 2.4. – Графічне визначення α_k

$$\alpha_k = \alpha_i - \mu \quad (\text{див. рис 2.2a})$$

де α_i – інструментальний задній кут;

μ – кут, на який зменшується інструментальний задній кут в процесі різання

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{S}{\pi d},$$

де S – крок різі;

d – внутрішній діаметр різі;

При проектуванні різців для обробки ходових гвинтів використовуються такі ж методики, що і при проектуванні затилувальних різців.

Порядок виконання

Проводять вимірювання для ходового гвинта, виданого викладачем.

Крок різі складає $t = 8$ мм; середній діаметр $d = 54,5$ мм (визначається як середнє значення між зовнішнім і внутрішнім діаметром гвинта).

Знаючи, що при обробці гвинтів подача на 1 оберт має дорівнювати кроку, визначити величину кута μ :

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{8}{3,14 \cdot 54,5} = 0,046;$$

$$\mu = \arctg 0,046 = 2^{\circ}40'.$$

Отже, на таку величину треба збільшити задній кут при виготовленні різця. Як правило, такі різці виконують односторонніми.

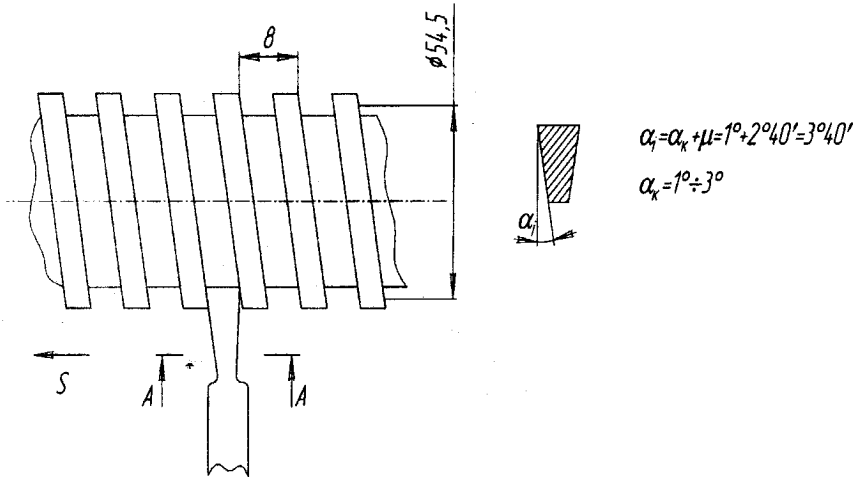


Рисунок 2.5 - Ходовий гвинт і різець для його обробки

Зміст звіту

Звіт має містити: формулювання завдання, ескіз ходового гвинта, необхідні розрахунки, висновки.

Контрольні запитання

1. Методи нарізання прямокутних та трапецеїдальних різей.
2. Інструмент для нарізання прямокутних та трапецеїдальних різей.
3. Геометрія робочої частини чистового різця для нарізання прямокутної різі.
4. Особливості роботи чистового різця для нарізання прямокутної різі.

5. Кінематичний та статичний кути в чистових різцях для нарізання прямокутних різей.
6. Методи визначення інструментальних задніх кутів різців для нарізання прямокутних різей.

2.3 Лабораторна робота № 3

Дослідження процесу формоутворення профілю деталей оброблювальними інструментами, що працюють за методом обкатування

Мета роботи - вивчити графічні методи профілювання черв'ячних фрез, що працюють за методом обкатування, набути практичних навичок побудови профілю зуба черв'ячної фрези методом копіювання послідовних положень профілю деталі, а також розв'язування оберненої задачі.

Обладнання, прилади та інструменти: установка для імітації процесу обкатування; задані профілі деталей; штангенциркуль; креслярський папір формату А4.

Теоретичні відомості

Метод обкатування використовується не лише для обробки зубчастих коліс з евольвентним профілем, а й для обробки деталей з різними неевольвентними профілями: зубчастих коліс для ланцюгів; шліцьових валиків; многогранників; кулачків тощо.

Профіль деталі при цьому утворюється внаслідок огинання профілів інструмента його різальною кромкою.

В основу цього процесу покладено принцип взаємного огинання профілів інструмента й деталі при коченні без ковзання центроїди інструмента В по центроїді деталі А (рис. 2.6).

Обробка методом обкатування виконується згідно з основними положеннями теорії сполучених профілів:

а). сполучені профілі в точках дотику повинні мати спільну дотичну АА та спільну нормаль В-В (рис. 2.6);

б). нормаль, проведена через точку С дотику сполучених профілів, має проходити крізь точку дотику центроїди деталі та інструмента – полюс профілювання Р;

в). кожен із сполучених профілів є обвідною послідовних положень другого сполученого профілю.

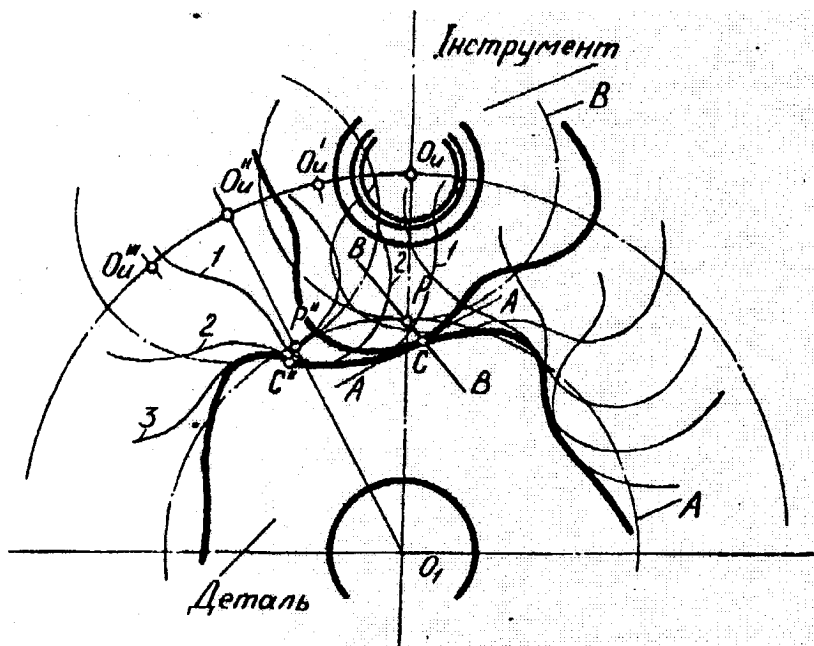


Рисунок 2.6 – Взаємне огинання профілів інструмента і деталі

Визначаючи розрахунковий діаметр деталі для проектування інструмента, необхідно враховувати допуск. Зменшення розрахункового зовнішнього діаметра відносно фактичного приведе до зменшення розрахункового діаметра (радіуса) початкового кола обробки. Тому розрахунковий зовнішній діаметр D_e беруть таким, що дорівнює D_{\max} . Якщо вершина профілю деталі обмежена фаскою або заокругленням, то в розрахунку розглядається коло, яке проходить через межу потрібної прямолінійної ділянки профілю (основа фаски) або через центр заокруглення.

Положення початкового кола відносно оброблюваного профілю визначається умовами можливостей обробки. Якщо початкове коло менше за допустиме, профіль деталі не буде правильно оброблений біля зовнішнього кола. Із збільшенням радіуса початкового кола збільшуються перехідні криві, які дістаємо, виконуючи обробку при основі профілю деталі, і зменшується ширина зуба фрези на вершині та довжина активної частини лінії профілювання тощо.

Тому радіус початкового кола обробки потрібно брати мінімально допустимим за умовами правильної обробки всього профілю біля вершини.

Радіуси початкового кола для використання в лабораторній роботі наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Радіуси початкового кола.

Номер	Тип деталі	Ескіз	Формула
1	З паралельними сторонами шліців		$R = \sqrt{R_H^2 - 0,75(b/2)^2}$
2	Те ж саме з фаскою		$\rho = R_H - C$ $R = \sqrt{\rho^2 - 0,75(b/2)^2}$
3	Те ж саме з радіусом заокруглення		$R = R_H - z'$
4	З трикутними шліцями		$1) R_1 \leq R \leq R_{ср}$ $\alpha = R_{ср} \sin(\psi - 90^\circ/n)$ $R_{min} = \sqrt{R_H^2 - 0,75 \alpha^2}$ $2) R \geq R_{min}$
5	З паралельними сторонами западин		$R = R_H$
6	Храпові колеса		$R = R_H$
7	Квадрати		$\sin \gamma = S / (2R_H)$ $R = \sqrt{R_H^2 - 0,1875 S^2}$
8	Багатогранники		$\gamma = 90 - \frac{180^\circ}{n}$ $R = R_H \sqrt{1 - 0,75 \cos^2 \left(\frac{180^\circ}{n} \right)}$ $n - \text{число граней}$

Профіль різальної кромки інструмента можна визначити графічним, графоаналітичним та аналітичним способами.

Існує кілька методів графічного профілювання. В основу лабораторної роботи покладено метод визначення профілю різальної кромки інструмента побудовою послідовних положень деталі в процесі обкатування.

Опис установки для імітації процесу обкатування

Установка (рис. 2.7) складається з корпусу 1, в якому встановлено сектор 2. Останній з'єднується з корпусом за допомогою металевих стрічок 3, 4, що забезпечують сектору можливість обертання навколо осі та переміщення уздовж корпусу без проковзування, та гвинтів 5, 6, якими калька кріпиться до корпусу.

Порядок виконання роботи

Радіус початкового кола для заданої деталі визначають за табл. 2.1. Необхідний масштаб збільшення профілю деталі

$$M = R / R_n,$$

де R - радіус сектора установки;

R_n - радіус початкового кола.

У цьому масштабі викреслюють заданий профіль деталі на аркуші ватману, який потім закріплюють на секторі 2 установки.

Профіль зуба інструмента дістають, копіюючи на кальку послідовні положення профілю деталі при дискретному переміщенні сектора 2 вздовж корпусу 1. Калька кріпиться до корпусу за допомогою гвинтів 5 та 6.

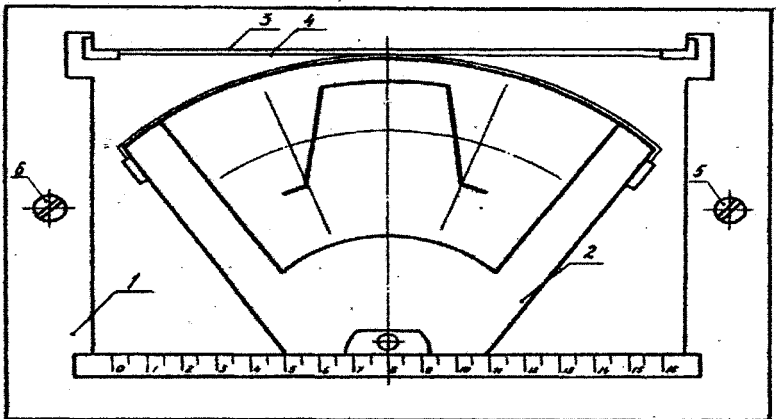


Рисунок 2.7 – Установка для імітації процесу обкатування

Зміст звіту

Звіт має містити формулювання завдання, ескіз деталі, необхідні розрахунки, ескіз установки, схему та опис виконаного профілювання, утворений профіль зуба інструмента, висновки.

2.4 Лабораторна робота № 4

Перевірка профілю інструмента, отриманого аналітичним методом

Мета роботи - вивчити графічні методи перевірки профілю інструмента, отриманого шляхом розрахунку, набути практичних навичок виконання зворотної обкатки.

Обладнання, прилади та інструменти: профіль інструмента; креслярський папір формату А4.

Для перевірки правильності отриманого профілю інструмента виконується зворотна обкатка, тобто за профілем інструмента знаходиться профіль шліців.

Порядок виконання

Зворотна обкатка виконується таким чином. На аркуші паперу викреслюють профіль інструмента і початкову пряму АВ (рис. 2.8, а). Паралельно їй на відстані R проводять пряму CD. Профіль інструмента вздовж лінії АВ ділять на частини, рівні $(1/15 \dots 1/20)R$. З точок 1, 2, 3 і т. д. проводять перпендикуляри до початкової прямої CD в точках O, O_1, O_2, O_3 . Потім на аркуші кальки викреслюють початкове коло валика (рис. 2.8, б) і відкладають на ній дуги (хорди), рівні відрізкам 0-1, 1-2, 2-3 тощо. Після цього з'єднують центр кола O з точками 1, 2, 3 тощо, OO на папері з прямою OO на кальці, копіюють на кальку профіль інструмента, потім, суміщаючи прямі O-1 з O_1-1 , O-2 з O_1-2 тощо, копіюють послідовні положення профілю інструмента.

Обвідна сімейств профілів і буде спряженим профілем, тобто профілем шліцевого вала (рис. 2.9). Для перевірки точності необхідно отриманий профіль накласти на заданий профіль виробу.

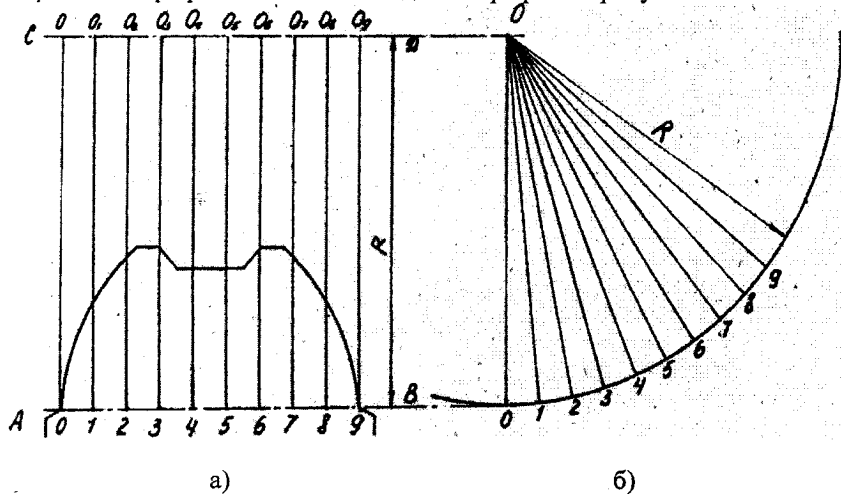


Рисунок 2.8 – Зворотна обкатка

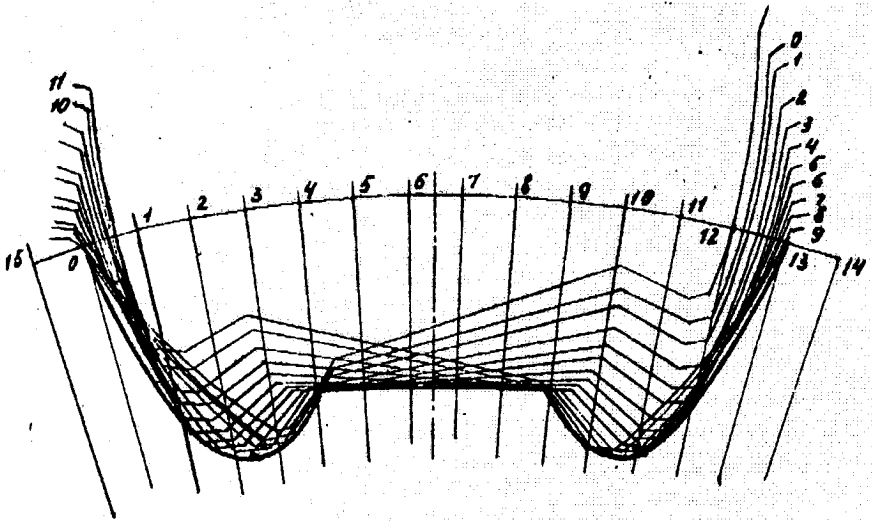


Рисунок 2.9 – Профіль шліцьового вала

Зміст звіту

Звіт має містити формулювання завдання, ескіз профілю інструмента, схему зворотного обкатування, результат, висновки.

Контрольні запитання для лабораторних робіт № 3, 4

1. Сутність методу обкатування.
2. Деталі, виготовлені методом обкатування.
3. Радіус початкового кола, його визначення.
4. Методи графічного профілювання, їх сутність.
5. Зворотне обкатування, його сутність.
6. Основні положення, виконання яких необхідно для обробки деталей за методом обкатування.
7. Причини, що обмежують застосування методу обкатування.

2.5 Лабораторна робота № 5

Дослідження точності позиціонування різців різних конструкції

Мета роботи: дослідити конструкцію і точність позиціонування швидкозмінних різців, що налагоджуються на розмір поза верстатом. Дослідити вплив на точність позиціонування різців:

а) безпідналагоджувальної заміни змінної багатогранної пластини /ЗБП/;

б) безпідналагоджувальної заміни різця;

в) безпідналагоджувальної заміни різцевого блоку.

Одержати практичні навички роботи з приладом розмірного налагодження інструмента мод. БВ - 2010.

Обладнання, прилади й інструменти: прилад для розмірного налагодження інструмента мод. БВ - 2010, еталон, інструментальний блок, пристосування для налагодження довжини різця поза верстатом, різці, змінні багатогранні пластини класів допусків А чи Г за ГОСТ 19042 - 80.

Теоретичні відомості

Розмірне налагодження може виконуватись пробними проходами або автоматичним одержанням розміру на налагодженому верстаті.

У другому випадку потрібна точність досягається безпідналагоджувальною заміною інструмента і не залежить від кваліфікації робітника.

Безпідналагоджувальна заміна інструмента забезпечується наявністю елементів регулювання інструмента на розмір або шляхом досить точного виготовлення інструмента та різальних елементів (ЗПБ).

На верстатах токарної групи безпідналагоджувальна заміна інструмента забезпечується застосуванням різцевих вставок з регулювальними гвинтами (рис. 2.10, а), різцетримачів з циліндричним хвостовиком для верстатів з ЧПК (рис. 2.10, б), з базовою призмою для верстатів з ЧПК (рис. 2.10, в).

У даному випадку різцетримач і інструмент утворюють інструментальні блоки й налагодження інструмента на розмір виконують безпосередньо в блоках. Безпідналагоджувальна заміна осьового інструмента забезпечується застосуванням циліндричних хвостовиків, з передачею обертального моменту за допомогою шпонки й регулюванням на розмір або за допомогою регулювального гвинта (рис. 2.10, г), що вимагає виготовлення спеціального інструмента, або упорної гайки, коли застосовують стандартний інструмент (рис. 2.10, д).

Задача забезпечення заданої точності розв'язується аналізом розмірного ланцюга (рис. 2.11) системи ВПД і налагодженням інструмента або інструментального блока поза верстатом на пристосуванні або приладі. Тут: 1 - різцетримач; 2 - інструментальний блок; 3 - різець; 4 - штифт; 5 - змінна багатогранна пластинка.

Розмірний ланцюг налагодження верстата з ЧПК (рис. 2.11) є лінійним. До нього входять: $X_{0,6}$ - координата нуля верстата в системі верстата,

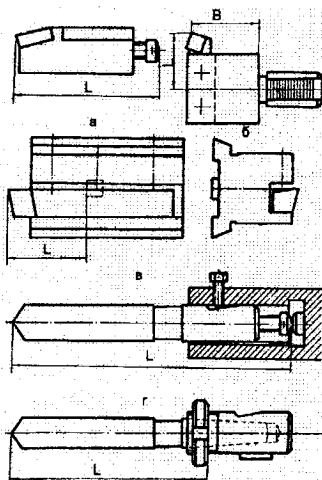


Рисунок 2.10 - Безпідналагоджувальна заміна осевого інструмента на верстатах токарної групи

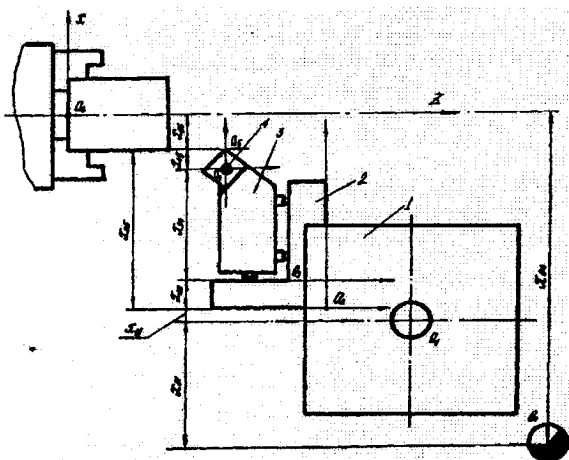


Рисунок 2.11 - Безпідналагоджувальний інструмент в розмірному ланцюгу

$X_{0,1}$ - величина допоміжного ходу різцетримача;

$X_{1,2}$ - координата допоміжного інструмента в системі різцетримача;

$X_{2,3}$ - координата державки різця в системі допоміжного інструмента;

- $X_{3,4}$ - координата центра пластини в системі державки;
- $X_{4,5}$ - координата вершини різця в системі пластини;
- $X_{5,6}$ - радіальний розмір деталі при статичному налагоджуванні.

Безпідналагоджувальність інструмента в розмірному ланцюгу (рис. 2.11) може бути виконана трьома способами:

- 1) безпідналагоджувальна заміна різальної пластини. Розмір деталі (ланка $X_{4,5}$) залежить від точності різальної пластини (ланка $X_{4,5}$) і розміру гнізда державки різця;
- 2) безпідналагоджувальна заміна різця. Розмір деталі (ланка $X_{5,6}$) досягається попереднім налагодженням різця на розмір l_1 поза верстатом на пристосуванні або приладі (рис. 2.12, а);
- 3) безпідналагоджувальна заміна різцевого блока. Розмір деталі (ланка $X_{5,6}$) досягається налагодженням різцевого блока поза верстатом на розмір

$$X_{2,5} = X_{4,5} + X_{3,4} + X_{2,3}$$

Прилад для розмірного налагодження інструмента мод. БВ - 2010

Прилад призначається для попереднього налагодження інструментальних блоків для верстатів токарної групи з програмним управлінням за заданими розмірами у двох горизонтальних координатах.

Положення різальної кромки різального інструмента по вертикалі встановлюється за індикатором годинникового типу, який, разом зі стояком належить до комплекту приладу.

На рис. 2.13 зображений прилад. Налагоджений на розмір інструментальний блок закріплюється на спеціальному кронштейні, що встановлюється на поверхні основи 3 приладу. Привалкові бази кронштейна для закріплення інструментальних блоків повинні відповідати базам верстата.

На приладі можна налагоджувати борштанги, при цьому замість кронштейна встановлюють шпіндельну бабку 2. На основі закріплені напрямні нижньої і верхньої 4 каретки, які переміщуються відповідно в поздовжньому і поперечному напрямі. На верхній каретці встановлено візуальний прилад 5, виконаний у вигляді проєкційного мікроскопа.

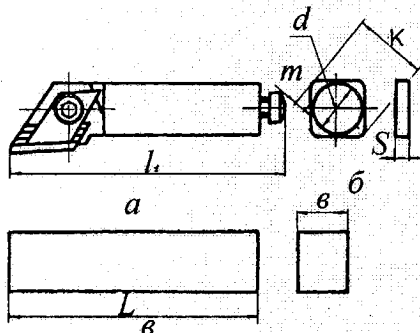


Рисунок 2.12 - Безпідналагоджувальна заміна різця

закріплений у втулці 9 за допомогою гвинта 7. Стакан 5 кріпиться до основи пристосування за допомогою гвинта 11.

Порядок виконання роботи Безпідналагоджувальна заміна ЗПБ

Група студентів одержує твердосплавні пластинки класів допусків А, F, М і U, різці із закріпленням пластини важелем типу "чобіток"; різці із закріпленням пластини клином або прихоплювачем (див. додаток); інструментальний блок для закріплення різця, мікрометр і карту налагодження. На приладі мод. БВ-2010 встановлюють різець із закріпленням ЗПБ важелем типу "чобіток". Для кожного випадку обертання й закріплення пластини записують в таблицю покази відлікового мікроскопа МСС-21 поперечної каретки по черзі для всіх пластин. Різниця розмірів, прочитаних на відліковому приладі, являє собою похибку розмірного налагодження після обертання пластин різного класу допуску. Потім на прилад встановлюють різець із закріпленням пластини клином або прихоплювачем. Вимірювання розміщення вершини різця повторюють для перших двох пластин (класів допусків А і F). Різниця розмірів різця для двох пластин – це похибка розмірного налагодження при другому способі базування пластинки в гнізді державки різця. Порівняти похибку розмірного налагодження з допуском на виготовлення деталі і зробити висновок про можливість безпідналагоджувальної заміни ЗПБ (без врахування жорсткості системи ВПД)

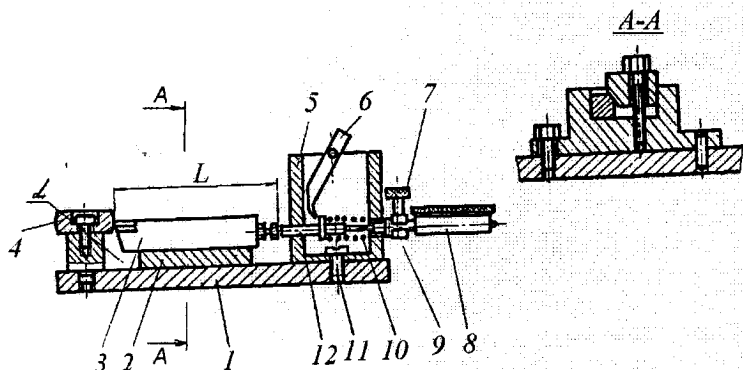


Рисунок 2.14 - Прилад безпідналагоджувальної заміни різців по шаблону

Безпідналагоджувальна заміна різців

Група студентів одержує різець з гвинтом для налагодження, довжиною l_1 ; еталон до пристосування для встановлення нульового показування індикатора з маркуванням номінального й фактичного

розміру; карту налагоджування. налагоджують довжину l_1 різця (див. рис. 2.12, а) в пристосуванні для налагодження різця поза верстатом. Нульові показання індикатора встановлюють за еталоном (див. рис. 2.11, б) з номінальною довжиною L . Натяг індикатора - близько 1 мм. Записують показання індикатора. Потім встановлюють у пристосуванні різець і налагоджують його на довжину l_1 з точністю $\pm 0,01$ мм. Дійсний розмір різця буде дорівнювати фактичній довжині еталона \pm показання індикатора. Після цього знімають і знову встановлюють різець. Дану операцію повторюють 8 - 10 разів, записуючи показання індикатора. Різниця між мінімальними і максимальними показаннями індикатора є похибкою встановлення δ , різця, налагодженого на розмір поза верстатом. Зробити висновок про можливість безпідналагоджувальної заміни налагодженого різця при обробці деталі при заданому квалітеті точності (без урахування жорсткості системи ВПД).

Безпідналагоджувальна заміна інструментальних блоків

Для виконання цієї операції необхідно отримати: базовий кронштейн, еталон для встановлення базового кронштейна в нульове (вихідне) положення, різець, інструментальний блок для кріплення.

Базовий кронштейн разом з еталоном попередньо встановлюють на поверхні основи приладу мод. БВ - 2010 (рис. 2.15), де 1 - стіл приладу; 2 - основа бази; 3, 7 - інструментальні блоки; 4 - стояк бази; 5 - упор; 6 - шаблон; 8 - багатогранна пластина.

Встановити на проекторі координати, вказані на шаблоні еталонного інструментального блока.

Сумістити "різальні кромки" еталона з візирними лініями проектора (рис. 2.15, а), переміщуючи базовий кронштейн разом з еталоном на поверхні приладу. Закріпити базовий кронштейн і зняти еталон.

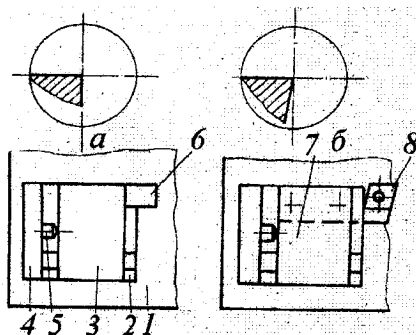


Рисунок 2.15 - Схеми вимірювань на БВ – 2010

Встановити й закріпити інструментальний блок на базовому кронштейні. Потім встановити різець в гніздо інструментального блока 4, налагодити його на розмір (рис. 2.15, б), вказаний в карті налагодження (див. додаток).

Для налагодження інструмента на задані координати (див. додаток) слід перемістити різець у системі інструментального блока до збігу різальних кромки з хрестовиною проектора (рис. 2.16). Після цього різець закріпити.

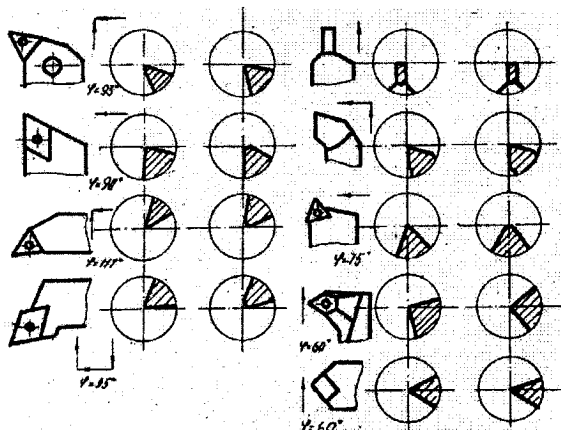


Рисунок 2.16 - Налагодження інструмента на задані координати

Налагодження інструмента поза верстатом за допомогою приладу БВ- 2010

Шаблони, які входять у комплект до пристосування, дозволяють виконувати налагодження різців з головним кутом в плані 30, 45, 75, 90°, а також розточувальних різців і кінцевого інструмента з діаметром до 23 мм.

Для налагодження інструмента з іншими розмірами необхідно виготовляти спеціальні шаблони.

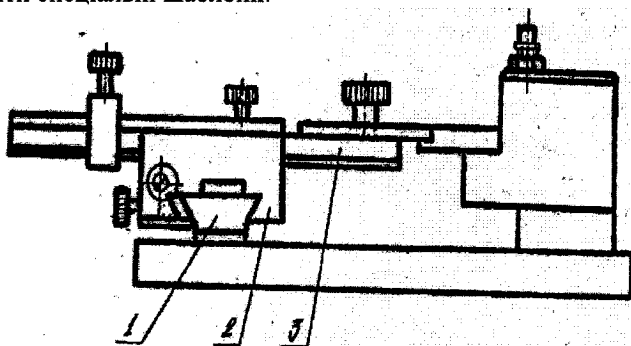


Рисунок 2.17-Налагодження інструмента поза верстатом за допомогою пристосування

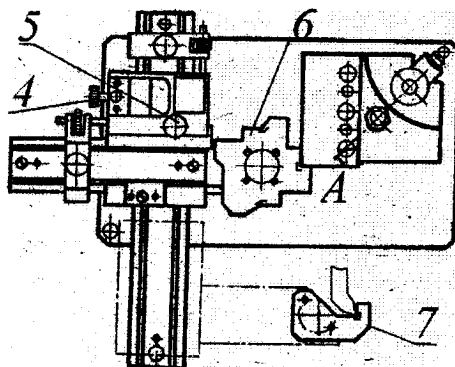


Рисунок 2.17, аркуш 2

Поділки на лімбах означають виліт інструмента по осях X і Y відносно осі револьверної головки.

Налагодження інструмента виконується так:

1. Залежно від виду вивіреного інструмента встановити і закріпити на повзуні 3 відповідний шаблон (6 або 7).

2. Переміщенням каретки 2 і повзуна 3 встановити шаблон по лінійках у положення, яке відповідає вибраним координатам вершини інструмента відносно осі револьверної головки. Зафіксувати каретку і повзун гвинтами 4 і 5.

3. Встановити на базові деталі пристосування різцевий блок з інструментом, гвинтом 8 вивірити блок по висоті, сумістити верхню площину шаблону з верхньою площиною різця. Після цього гвинт законтрити, а різцевий блок закріпити рукояткою 9.

4. Ослабити гвинти, що кріплять інструмент, і висунути його до дотику до відповідного вирізу шаблону по боці й вильоту. Закріпити інструмент, слідкуючи за тим, щоб не порушилось вивірення. При порушенні вивірки операцію повторити.

5. Для підвищення точності обробки при виконанні чистових проходів необхідно при складанні програми передбачити корекцію положення інструмента за допомогою коректорів пристрою ЧПК.

Примітка. Положення вказівних міток на каретці відносно осі базової деталі пристосування вивіряється на заводі-виготовнику за калібром 1И611ПФ3.65.01.000, поставленому з верстатом. За цим же калібром налагоджується "нульова точка" на верстаті.

Зміст звіту

Зміст повинен вміщувати формулювання завдання, характеристику і ескіз налагоджуваного інструмента, схеми виконання вимірювань, а також протокол вимірів та вихідні дані (схема налагодження верстата), проміжні розрахунки.

2.6 Лабораторна робота № 6

Визначення конструкції та геометричних параметрів різців з механічним кріпленням непереточуваних пластинок

Весь світ давно перейшов від застосування напайних пластинок в конструкціях РІ на широке використання непереточуваних пластинок з механічним кріпленням (НПМК). Останні значно перевищують напайні пластинки за показниками точності та шорсткості поверхонь, твердості та зносостійкості, малим значенням технологічних внутрішніх напружень та високою стійкістю. Можливість швидкої та надійної заміни зношених ділянок пластинок шляхом повороту з перезакріпленням значно підвищує загальний термін служби РІ. Єдиний невивправний недолік, який залишається в НПМК, - це зменшене тепловідведення в бік корпусу РІ, що пояснюється зменшеною площею і щільністю дотику з останнім.

Обмежену поширеність НПМК в конструкціях РІ у нашій країні можна пояснити невисокою якістю пластинок і зовсім вже низькою якістю корпусів. Невисока якість таких РІ пояснюється теоретичною необґрунтованістю, недосконалістю конструкцій, надто чутливою до похибок виготовлення з'єднаних елементів, похибками базування та закріплення пластинок, значним неконтрольованим напруженим станом пластинок і нетерпимою низькою якістю виготовлення корпусів.

Мета і задачі роботи

Мета роботи - вивчення існуючих форм різальних пластинок і геометричних параметрів, а також конструктивних особливостей збірних різців, оснащених непереточуваними твердосплавними пластинками з їх механічним кріпленням. Задачі роботи такі:

- вивчити існуючі форми різальних непереточуваних пластинок та проаналізувати стан і взаємне розташування робочих і базових їх поверхонь;
- виміряти принаймні в 5 різних точках різальних кромок декількох різців величини кутових та лінійних геометричних параметрів пластинок в зборі з корпусами різців;
- вивчити та оцінити способи базування пластинок в гнізді корпусу різця при різних типах, формах і розмірах непереточуваних пластинок;
- вивчити різні існуючі способи закріплення пластинок на корпусах різців;
- зіставити одну з другою різні конструкції кріпильних пристроїв і оцінити їх в напрямках жорсткості, точності, простоти, надійності, однозначності, проранжирувавши декілька конструкцій різців в зазначених напрямках.

Робочі гіпотези

1. Часто при базуванні пластинки в гнізді корпусу різця виникає неоднозначність її положення, що є наслідком неправильного вибору кількості (недостатнього або надмірного) і розташування базових точок та нечітко визначеного їх положення.

2. В процесі закріплення пластин іноді виникає їх зсув або перекіс, коли порушується контакт деяких базових точок, що призводить до зниження точності та жорсткості їх з'єднання з корпусом різця.

3. Напрями сил різання та закріплення часто бувають або протилежними, або створюють прямий чи тупий кут (замість гострого), що призводить до саморозкріплення пластини й спочатку часткового, мікро-, а потім повного її макроруйнування.

4. Зусилля затиску пластинок ненормоване і часто перевищує достатнє, створюючи разом з силою різання значні внутрішні напруження в пластинці.

Обладнання, інструменти та прилади

1. Непереточувані різальні пластинки (рис. 2.18)
2. Об'єктами дослідження є збірні різці (рис. 2.19), оснащені непереточуваними пластинками різних типів, форм і розмірів. Кількість різних типів - не менше 6...8 шт., а загальна кількість - не менше 12...15 штук.
3. Набір ключів, шаблонів, щупів.
4. Штангенциркуль, мікрометр.
5. Кутоміри: конструкції Семенова, маятникові, кулькові та універсальні.

Опис конструкції збірних різців з механічним кріпленням непереточуваних пластинок

Збірні різці (рис. 2.19) складаються з корпусу 1, у відповідному гнізді якого встановлюється тверда підкладка 2 і різальна пластинка 3. Своїм отвором пластинка 3 (або і підкладка 2) встановлюється на шпифт 4, який жорстко закріплюється в корпусі 1.



Рисунок 2.18 - Форми непереточуваних різальних пластинок

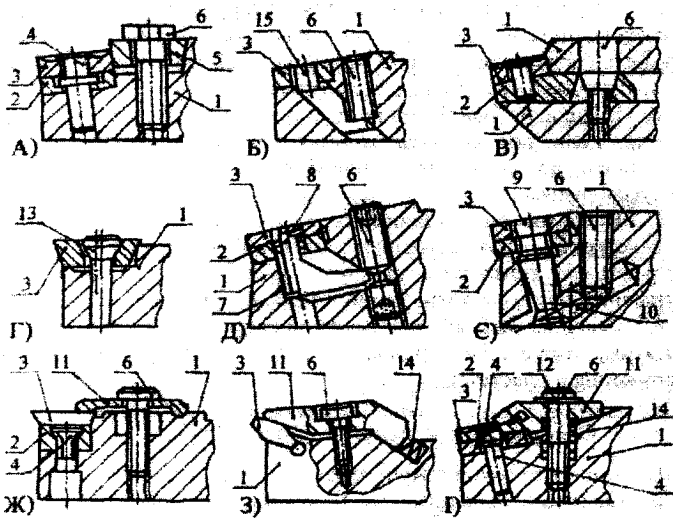


Рисунок 2.19 - Конструкції збірних різців з непереточуваними пластинками

В деяких конструкціях різців різальна пластинка 3 закріплюється в корпусі 1 різця за допомогою клинів 5 різної конструкції та гвинтів 6. Деякі з підкладок 2 закріплюються за допомогою пружних втулок 7. Деякі з різальних пластинок 3 закріплюються за допомогою важеля 8, хитного штифта 9, кульки 10, прихоплювача 11 з шайбою 12 або ж безпосередньо спеціальним гвинтом 13. Початкове положення прихоплювача 11 задається за допомогою пружини 14. Використовується також закріплення пластинок похилою тягою 15.

Твердосплавні (а також швидкорізальні і мінералокерамічні) пластинки частіше виконуються з отворами і мають тригранну, чотиригранну, п'яти - або шестигранну форму, а також круглу, ромбічну тощо (рис. 2.18).

Різальні пластинки виконуються як з робочими конструктивними задніми кутами, так і з нульовими. В останньому випадку необхідна величина задніх кутів досягається за рахунок відповідного нахилу пазу (і пластинки) в корпусі різця. Потрібна форма передньої поверхні різця з відповідними величинами передніх кутів одержується пресуванням пластинок при їх виготовленні.

Серед недоліків конструкції і якості виготовлення збірних різців, які отримали широке розповсюдження, є неплосинність контактних поверхонь пластинки і паза, неоднозначність або протилежність базування пластинок по окремих базах, що виникає через неправильне або нечітке положення базових точок. Похибки базування та закріплення

треба аналізувати як в перерізі головною січною площиною (рис. 2.19), так і в плані (рис. 2.20).

Недоліком конструкції також буває неправильний напрям дії сил закріплення, які при взаємодії з силами різання, можуть призвести до початкового зрушення або відразу до руйнування пластинок. Іншими недоліками є недостатня точність пластинок і жорсткість з'єднання з корпусом різця та неконтрольоване зусилля закріплення пластинок.

Методика виконання роботи

1. Спочатку розбирають різець, який досліджується, а потім протирають його деталі. Змащують тонким шаром синьки його підкладку і різальну пластинку знизу та збоку - зі сторін їх контакту з корпусом різця і обережно виконують його складання, добре затягуючи його кріпильні елементи. Потім знову розбирають, вивчають та аналізують форму, кількість та розташування базових точок (плям). Роблять висновок про достатність чи надмірність кількості плям контакту, а також про чіткість, точність та однозначність базування пластинок.

2. За допомогою кутомірів виконують вимірювання величин геометричних параметрів кожного з різців в складеному стані, а за допомогою радіусних шаблонів визначають радіус при вершині різця.

3. За формулою розраховують дійсні величини складових сили різання.

$$P_{zx} = 10C_p t^4 S^3 V^3 K_{MP} K_{\phi P} K_{\lambda P} K_{\gamma P}, H., \text{де}$$

C_p – постійний коефіцієнт для конкретних умов обробки.

t – глибина різання, мм.

S – подача, мм/об.

V – швидкість різання, м/хв.

4. За формулами

$$\cos \mu = P_x / (P_x^2 + P_y^2 + P_z^2)^{1/2} = P_x / R_p,$$

$$\cos \beta = P_y / (P_x^2 + P_y^2 + P_z^2)^{1/2} = P_y / R_p,$$

$$\cos \eta = P_z / (P_x^2 + P_y^2 + P_z^2)^{1/2} = P_z / R_p$$

знаходять напрямні коефіцієнти сумарного вектора R_p сили різання відносно системи координат $OXYZ$, пов'язаної з даним різцем і напрямками подачі та швидкості різання.

5. В залежності від конструкції затискних пристроїв, положення затискної точки дотику на пластинці і напрямку дії затискної сили, розраховують максимально можливу величину сили затискання і її напрям (через складові P_{X3} , P_{Y3} , P_{Z3}).

6. За формулою:

$$\cos \theta = \pm (P_{Xp}P_{X3} + P_{Yp}P_{Y3} + P_{Zp}P_{Z3}) / [(P_{Xp}^2 + P_{Yp}^2 + P_{Zp}^2)^{1/2} \times (P_{X3}^2 + P_{Y3}^2 + P_{Z3}^2)^{1/2}] = \pm (P_{Xp}P_{X3} + P_{Yp}P_{Y3} + P_{Zp}P_{Z3}) / (R_p + R_3)$$

знаходять кут між напрямками сили різання R_p і сили затискання R_z .

7. В залежності від відстані між точками прикладання сил різання і затискання і кута між ними необхідно зробити висновок про надійність з'єднання кожної конструкції різця.

Зміст звіту

Звіт повинен містити формулювання завдання, мету і задачі роботи, опис і ескізи конструкцій збірних різців з механічним кріпленням непереточуваних пластинок, методику виконання роботи і одержані результати роботи дослідження конструкцій різців, схеми розташування контактних точок на пластинці, якими вона базується в гнізді корпусу різця і положення точок прикладення сил різання і закріплення. Треба також привести результати вимірювань геометричних параметрів, результати розрахунку сил різання і закріплення, напрямні коефіцієнти і кут між діючими силами, а також схему дії сил в затискному механізмі. Всі одержані результати повинні бути пояснені. Звіт закінчується загальними висновками. Робочі гіпотези повинні бути підтверджені або відкинуті.

Контрольні запитання до лабораторних робіт № 5, 6

1. Суть розмірного налагодження верстата з ЧПК.
2. Розмірний ланцюг налагодження верстата з ЧПК.
3. Способи виконання безпідналагоджувальності інструмента в розмірному ланцюгу.
4. Схема встановлення і класи допусків пластин, потрібних для безпідналагоджувальної заміни ЗБП.
5. Забезпечення безпідналагоджувальної заміни інструмента на верстатах токарної групи.
6. Безпідналагоджувальна заміна ЗБП.
7. Безпідналагоджувальна заміна різця.
8. Безпідналагоджувальна заміна різцевого блока.
9. Які вимоги ставляться до створення найкращих умов базування пластинок і підкладок в гнізді корпусу збірного різця ?
10. В чому суть найкращих умов базування пластинок в гнізді корпусу різця ?
11. Яке повинно бути розташування і яка потрібна кількість точок дотику пластинки з корпусом різця ? Чому ?
12. Як повинні бути відносно розташовані точки прикладання сил різання і закріплення на пластинці ?
13. Який кут повинен бути між силами різання і закріплення ?
14. Як можна досягти обмеження максимальної сили затягування пластинки на корпусі РІ ?

3. Практичні заняття

3.1 Практичне заняття № 1

Визначення величини задніх кутів в різних точках різального лева фасонних фрез

Теоретичні відомості

При вивченні фасонних різців було встановлено, що для знаходження заднього кута α_M в будь-якій точці фасонного профілю необхідно знати R і R_M – відповідні відстані зовнішньої та довільної точки від точки кріплення а також φ_M – кут між дотичною до профілю в точці M і прямою перпендикулярною до осі профілю деталі.

Отримані формули див. нижче справедливі і для фасонних фрез.

Задні кути на бокових різальних кромках в нормальному перерізі визначають за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha_M = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \sin \varphi \cdot R / R_X,$$

де α_M – задній кут на боковій різальній кромці в нормальному перерізі в точці M , яка розташована від осі фрези на відстані R_X ;

α_B – задній кут при вершинній кромці зуба;

φ – кут профілю фрези;

R – радіус фрези.

Як правило, величиною R / R_X нехтують, оскільки вона близька до одиниці і не впливає на розрахунок. Тож формула набуває вигляду:

$$\operatorname{tg} \alpha_M = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \sin \varphi$$

Розглянемо приклад. Нехай фреза має кут $\alpha_B = 10^\circ$.

Побудувати для профілю зуба фрези (або відповідного затилувального різця) графік–епюру.

Дана епюра побудована таким чином: розбивши профіль зуба на 10 рівних кутових частин ($\alpha_B = 10^\circ$), ми з'єднали точки профілю з відповідними горизонтальними лініями, в результаті чого отримали графік.

Дивлячись на рис.3.1, можна зробити висновок, що для фрези найбільш інтенсивне затуплення відбувається у точках 0 – 3, і для різця з відповідним профілем – на ділянці 0 – 3.

Як бачимо, в точці 0 задній кут $\alpha = 0^\circ$, а отже в цій точці при обробці виникає затирання, і процес різання не відбувається. Тому не рекомендується, щоб на зубі фрези задній кут був менше 4° .

На зубі фрези задній кут не повинен бути менше 4° .

З рис.3.1 видно, що точку, починаючи з якої слід змінити профіль деталі, можна знайти із відповідного трикутника:

$$\sin \varphi = h / R.$$

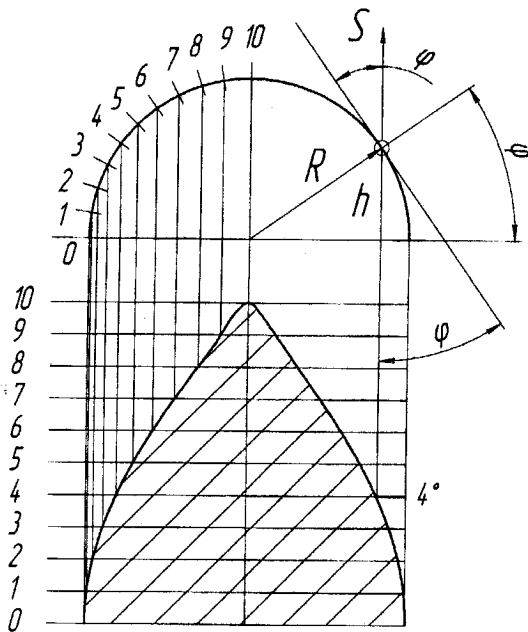


Рисунок 3.1 - Графік-епюра профілю зуба фрези

Приклади такого профілю можна побачити на стандартних фрезах – напівкруглі ввігнуті і опуклі фрези із швидкокорізальної сталі ГОСТ 9305–91.

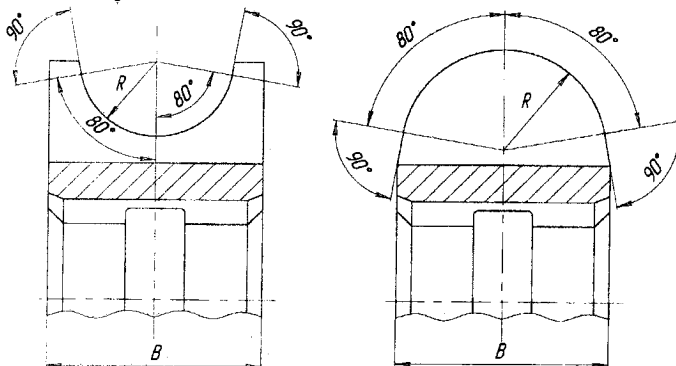


Рисунок 3.2 - Профілі стандартних фрез

Необхідно провести розрахунки для профілю інструмента, виданого викладачем. Побудувати графік-епюру для цього профілю, попередньо скопіювавши цей профіль на міліметровий папір.

Порядок виконання

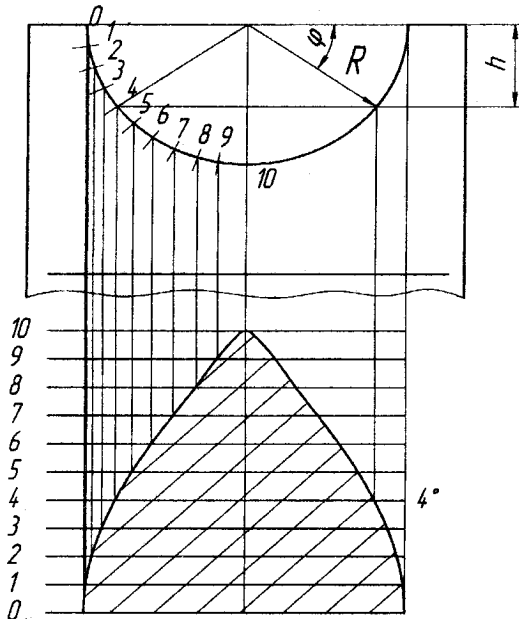


Рисунок 3.3 – Графік-епюра для виданого профілю

Користуючись рисунком на міліметровому папері, виміряти величини h і R . В нашому випадку

$$h = 10,5 \text{ мм}; R = 19 \text{ мм.}$$

Тоді

$$\sin \varphi = h / R = 10,5 / 19 = 0,55;$$

$$\varphi = \arcsin 0,55 = 37^{\circ}17'.$$

Знаючи, що α_M не має бути менше 4° , знайти значення кута при вершині α_B :

$$\operatorname{tg} \alpha_M = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \sin \varphi;$$

$$\operatorname{tg} 4^{\circ} = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot 0,55;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \operatorname{tg} 4^{\circ} / 0,55 = 0,0629 / 0,55 = 0,114;$$

$$\alpha_B = 7^{\circ}14'.$$

Отже, до виміряного заднього кута $\alpha = 20^{\circ}$ треба додати $\alpha_B = 7^{\circ}14' \rightarrow$

$$\alpha = 20^{\circ} + 7^{\circ}14' = 27^{\circ}14'.$$

Це дозволить зберегти різальні властивості на всій кромці інструмента.

Зміст звіту

Звіт має містити формулювання завдання, ескіз виданого інструмента, необхідні розрахунки, графік-епюру для виданого профілю, висновки.

3.2 Практичне заняття № 2

Вплив переднього кута зуба інструмента на профіль деталі

Значення переднього кута γ різне для різних інструментів. Так, чистова і чорнова черв'ячні модульні фрези відрізняються значенням переднього кута: $\gamma = 0^\circ$ у чистовій фрези, а для чорнової $\gamma > 0^\circ$. В гребінчастих фрезах для нарізання різі $\gamma = 4...22^\circ$.

Для інструмента, в якого передній кут $\gamma > 4^\circ$, виконують корекційні розрахунки, тому що в такому випадку висота зуба не дорівнює висоті профілю деталі. Якщо кут $\gamma < 4^\circ$, ці розрахунки можна не робити, оскільки вплив на точність в цьому випадку незначний.

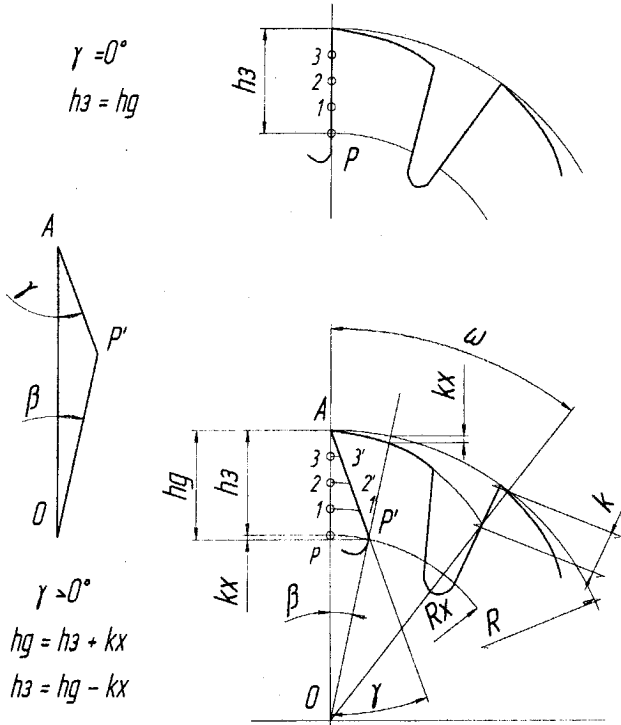


Рисунок 3.4 - Профілі зуба фрези при $\gamma = 0^\circ$ і $\gamma > 4^\circ$

Користуючись кресленням (рис.3.4), необхідно знайти вираз, що дозволить розрахувати значення k_x .

Як видно з двох подібних розгорнутих трикутників,

$$k_x / k = \beta / \omega.$$

ω – це центральний кут, величина якого залежить від кількості зубів з фрези:

$$\omega = 360^\circ / z.$$

Тоді

$$k_x = \beta \cdot k / \omega;$$

$$K_x = \frac{k \cdot \beta \cdot z}{360^\circ}$$

Із трикутника $\Delta AP'O$, наведеного на рис.3.4:

$$\beta = 180^\circ - \gamma - \angle AP'O.$$

За теоремою синусів, коли відомо дві сторони і один протилежний кут, можна знайти другий протилежний кут:

$$\sin \gamma / R_x = \sin \angle AP'O / R,$$

отже,

$$\angle AP'O = 180^\circ - \arcsin (R \cdot \sin \gamma / R_x).$$

Звідси,

$$\beta = 180^\circ - \gamma - (180^\circ - \arcsin (R \cdot \sin \gamma / R_x)), \text{ або}$$

$$\beta = \arcsin (R \cdot \sin \gamma / R_x) - \gamma.$$

Нарешті,

$$K_x = \frac{k \cdot z}{360^\circ} \cdot (\arcsin (R \cdot \sin \gamma / R_x) - \gamma).$$

При проведенні корегуючих розрахунків для кожної характерної точки профілю деталі слід знаходити величину k_x , після чого уточнювати висоту зуба інструмента:

$$h_3 = h_d - k_x.$$

Слід зазначити, що при проектуванні різьбових фрез виконують спрощений розрахунок:

$$\operatorname{tg} (\alpha_{\text{інстр}} / 2) = \operatorname{tg} (\alpha_{\text{пр дет}} / 2) \cdot h / h_d,$$

де $\alpha_{\text{пр дет}}$ – кут профілю різи, що нарізається.

Приклад розрахунку

Вихідні дані: матеріал заготовки – сталь 20;

профіль деталі згідно з рис.3.5.

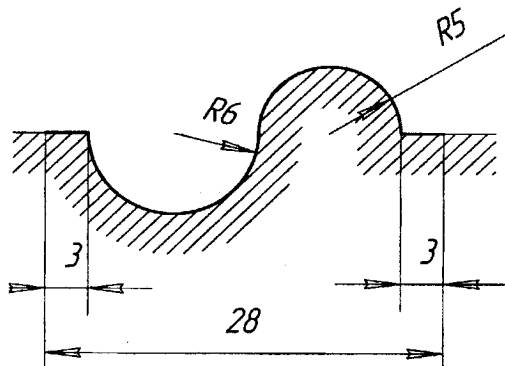


Рисунок 3.5 - Профіль деталі

Виходячи з оброблюваного матеріалу, вибирають значення
 - переднього кута фрези $\gamma = 16^\circ$, заднього кута $\alpha = 10^\circ$.
 Вибирають параметри фрези за довідниковими даними:
 - діаметр фрези $D = 150$ мм, кількість зубців $z = 8$.
 Розраховують величину затилування фрези:

$$K = \frac{3.14 \cdot 150}{8} \operatorname{tg} 10^\circ = 58,875 \cdot 0,176 = 10,362 \text{ мм.}$$

Приймають $k = 10$ мм.

Висоту зубця розрахувати за формулою:

$$h_3 = h_{\text{проф}} + k + 3 \dots 5 \text{ мм;}$$

$$h_3 = 11 + 10 + 4 = 25 \text{ мм.}$$

Розбивають профіль на характерні точки, для яких визначають R_x – відстань від точки до осі фрези. Ці відстані зводять до таблиці.

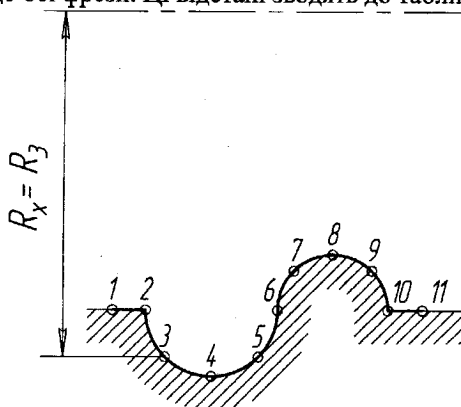


Рисунок 3.6 - Характерні точки профілю деталі

Знаходять значення величини K_x для точки 1. Для неї $R_1 = 69$ мм:

$$K_{x1} = \frac{10 \cdot 8}{360^\circ} \cdot (\arcsin(75 \cdot \sin 16^\circ / 69) - 16^\circ) = 80 \cdot 1,42^\circ / 360^\circ = 0,316 \text{ мм.}$$

Аналогічно розраховують значення величини K_x для інших точок. Результати розрахунків зводять до таблиці.

Таблиця 3.1 – Значення R_x і K_x для кожної точки профілю

номер точки	R_x , мм	K_x , мм
1, 2, 6, 10, 11	69	0,316
3, 5	73,24	0,088
4	75	0
7, 9	65,47	0,533
8	64	0,629

За результатами розрахунку на міліметровому папері будують профіль фрези з урахуванням величини K_x .

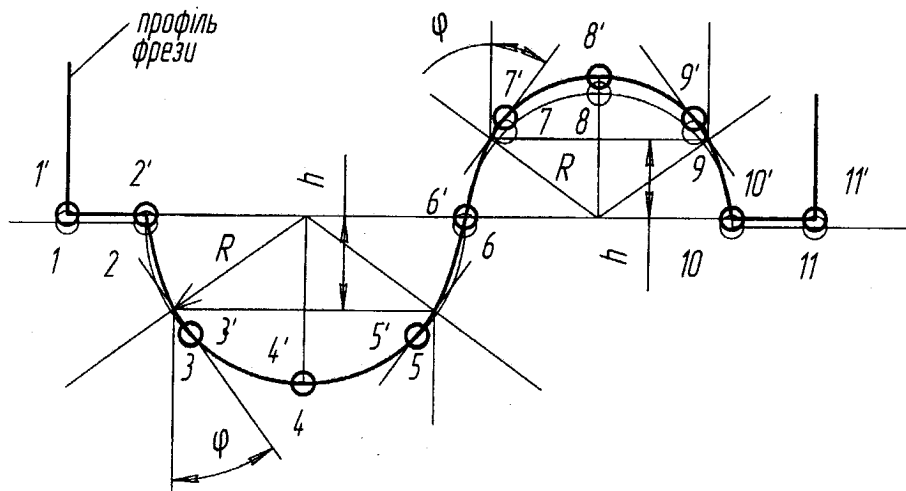


Рисунок 3.7 - Профіль деталі і корегований профіль фрези

На зуби фрези задній кут не повинен бути менше 4° .

З рис.3.7 видно, що точку, починаючи з якої слід змінити профіль деталі, можна знайти із відповідного трикутника:

$$\sin \varphi = h / R.$$

Користуючись рисунком на міліметровому папері виміряти величини h і R . В нашому випадку

$$h_1 = 3,2 \text{ мм}; R_1 = 6 \text{ мм};$$

$$h_2 = 2,72 \text{ мм}; R_2 = 5 \text{ мм}.$$

Тоді

$$\sin \varphi_1 = 3,2 / 6 = 0,533;$$

$$\varphi_1 = \arcsin 0,533 = 32^\circ 12';$$

$$\sin \varphi_2 = 2,72 / 5 = 0,544;$$

$$\varphi_2 = \arcsin 0,544 = 32^\circ 58'.$$

Звідси знайти значення кута при вершині α_B :

$$\text{tg } \alpha_M = \text{tg } \alpha_{B1} \cdot \sin \varphi_1;$$

$$\text{tg } 4^\circ = \text{tg } \alpha_{B1} \cdot 0,533;$$

$$\text{tg } \alpha_{B1} = \text{tg } 4^\circ / 0,533 = 0,0629 / 0,533 = 0,118;$$

$$\alpha_{B1} = 6^\circ 51';$$

$$\text{tg } \alpha_{B2} = \text{tg } 4^\circ / 0,544 = 0,0629 / 0,544 = 0,116;$$

$$\alpha_{B2} = 6^\circ 36'.$$

До прийнятого заднього кута $\alpha = 10^\circ$ треба додати $\alpha_{B1} = 6^\circ 51' \approx 7^\circ$ (більше із двох значень):

$$\alpha = 10^\circ + 7^\circ = 17^\circ.$$

Накреслити ескіз фрези із вказанням усіх розмірів, користуючись конструктивною схемою:

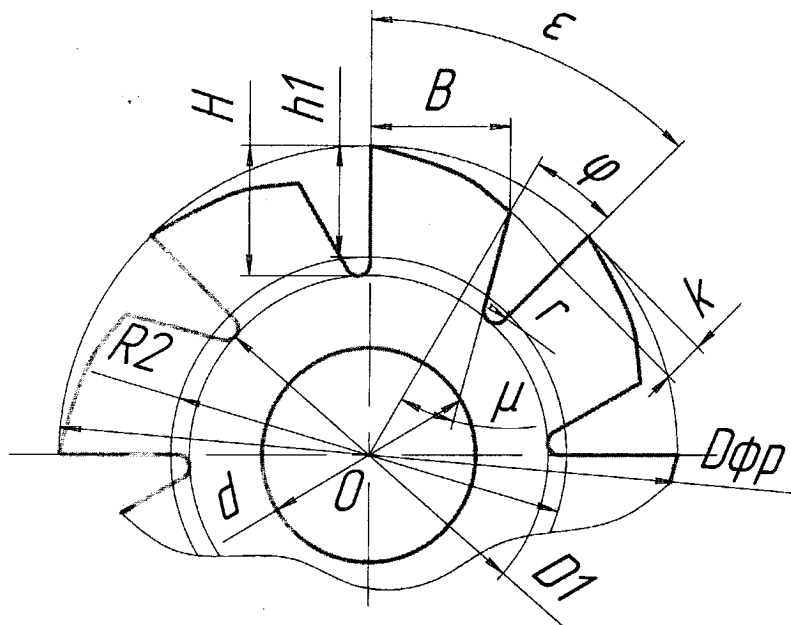


Рисунок 3.8 - Конструктивна схема профілю фрези

$$D_{\text{фр}} = D_1 + 2H;$$

$$D_1 = (1,8 \dots 2) d; r = 3 \dots 5 \text{ мм};$$

$$H = h_{\text{пр лет}} + k + r + 2 \dots 3 \text{ мм}; B = H;$$

$$\mu = 15 \dots 20^\circ; \varphi = (0,3 \dots 0,35) \cdot \varepsilon.$$

Для нашого випадку:

$$H = 11 + 10 + 3 + 3 = 27 \text{ мм};$$

$$D_1 = D_{\text{фр}} - 2H = 150 - 2 \cdot 27 = 98 \text{ мм};$$

$$d = D_1 / (1,8 \dots 2) = 98 / (1,8 \dots 2) = 48 \dots 53 = 50 \text{ мм};$$

$$B = 27 \text{ мм};$$

$$\mu = 15^\circ; \varphi = (0,3 \dots 0,35) \cdot 45^\circ = 15^\circ.$$

Креслення фрези наведене у додатку А.

Необхідно спроектувати інструмент для виготовлення цієї фрези – інструмент другого порядку – затилочний різець.

Затилування фрез виконують на верстаті 1E811. Подача при радіальному затилуванні відбувається від кулачка.

Такий кулачок профілюється для одинарного або подвійного затилування. На кулачку, який задає цикл роботи, є частина, що відповідає робочому ходу, частина – холостому.

Один зуб фрези затилується за один оберт кулачка.

При затилуванні використовують такі закономірності:

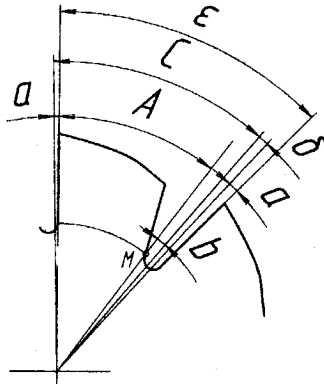


Рисунок 3.9 - Кути при затилуванні

На рис.3.9 кут A – необхідний хід різця для затилування;

a – величина врізання;

b – величина перебігу.

$$\epsilon = c + \delta;$$

$$c = A + 2^\circ;$$

$$c = A + \text{величина врізання} + \text{величина перебігу},$$

де c – величина робочого ходу;

δ - величина холостого ходу.

Кути кулачка:

$\delta_k = 30^\circ; 45^\circ; 60^\circ; 90^\circ$ – можливі варіанти;

$\epsilon_k = 360^\circ$ – кут повороту кулачка.

Можливі такі співвідношення δ_k / ϵ_k : $1 / 12 (30^\circ / 360^\circ)$,

$1 / 8, 1 / 6, 1 / 4$.

Побудувати профіль кулачка для затилування, виходячи з величини затилування $k = 10$ мм.

Задається радіус кулачка $r = 160$ мм (стандартний радіус для набору кулачків верстата).

Провести два кола: $r = 160$ мм і $r_1 = 160 - k = 160 - 10 = 150$ мм.

Розрахувати кут δ_k для конкретного випадку.

Як було визначено раніше,

$$\epsilon = 45^\circ;$$

тоді

$$\epsilon = A + 2^\circ + \delta;$$

$$A = \varepsilon - 15^\circ = 45^\circ - 15^\circ = 30^\circ;$$

$$\delta + 2^\circ = 15^\circ;$$

$$\delta = 13^\circ;$$

$$c = \varepsilon - \delta = 45^\circ - 13^\circ = 32^\circ.$$

Знайти відношення

$$\delta / \varepsilon = 13 / 45 = 7 / 25 = 1 / 3,57 \approx 1 / 4.$$

1 / 4 – це найближче з можливих значень δ_k / ε_k до отриманого співвідношення.

Отже, $\delta_k = 90^\circ$.

Відкласти це значення від вертикалі за годинниковою стрілкою. Отримано ділянку холостого ходу. Іншу частину розділити на n ділянок для побудови спіралі Архімеда. Оскільки $k = 10$ мм, тому доцільно прийняти $n = 10$ (кожна ділянка $270 / 10 = 27^\circ$).

Аналогічно на 10 частин розділити величину затилування k , після чого з'єднати колом відповідні промені і ділянки k . Отримані точки з'єднати плавною кривою – отримано робочу ділянку профілю кулачка.

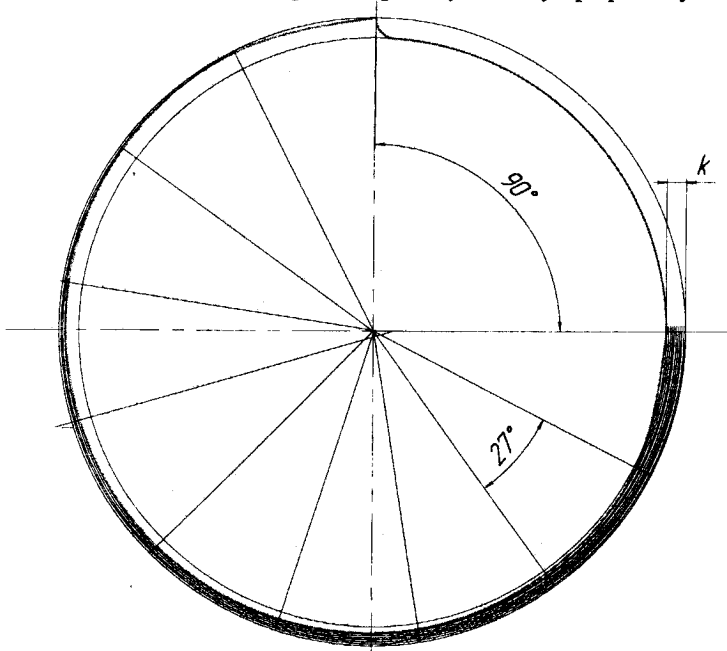


Рисунок 1.18 - Профіль кулачка для затилування

Зміст звіту

Звіт має містити формулювання завдання і вихідні дані, ескіз деталі, необхідні розрахунки, корегований профіль фрези, креслення фрези формату А3, профіль кулачка для затилування, висновки.

3.3 Практичне заняття № 3

Визначення профілю зуба гребінчастої різьонарізної фрези

Різьонарізні фрези виконують з переднім кутом $\gamma = 4...22^\circ$ в залежності від оброблюваного матеріалу. Якщо передній кут взяти рівним $\gamma = 0^\circ$, то зубці фрези, будучи невеликими за розмірами, можуть зриватись.

Порядок виконання

Завдання: спроектувати профіль різьонарізної фрези.

Вихідні дані: матеріал заготовки – мідь М00;

крок нарізуваної різі – 2,5 мм; зовнішня метрична різь;

зовнішній діаметр фрези – 40 мм.

Для обробки в'язких матеріалів вибирають якомога більший передній кут. Задамо кут $\gamma = 22^\circ$.

Для фрези $\varnothing 40$ мм кількість зубців $z = 12$. Задавши задній кут $\alpha = 12^\circ$, розрахувати величину затилування:

$$K = \frac{3,14 \cdot 40}{12} \cdot \operatorname{tg} 12^\circ = 2,22 \text{ мм} \rightarrow 2,5 \text{ мм.}$$

На міліметровому папері побудувати у збільшеному масштабі профіль різі.

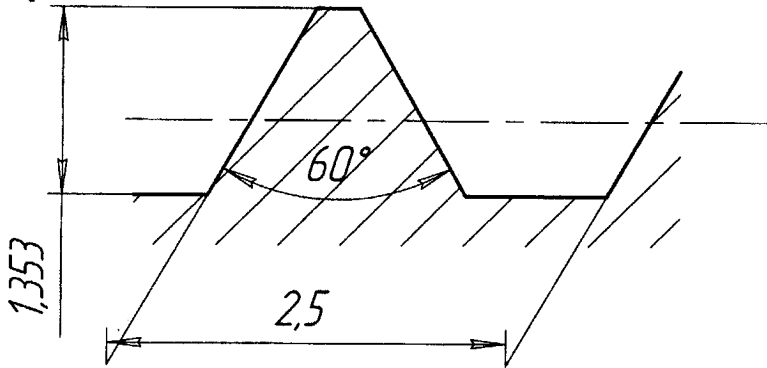


Рисунок 3.11 – Профіль метричної різі

За відомою вже формулою розрахувати величину K_x для кожної характерної точки різі:

$$K_x = \frac{k \cdot z}{360^\circ} (\arcsin (R \cdot \sin \gamma / R_x) - \gamma).$$

Для т.2 $R_x = 19,69$, тоді

$$K_{x2} = \frac{2,5 \cdot 12}{360^\circ} (\arcsin (20 \cdot \sin 22^\circ / 19,69) - 22^\circ) = 30 \cdot 0,33^\circ / 360^\circ = 0,0275 \text{ мм.}$$

Аналогічно розрахувати значення величини K_x для інших точок. Результати розрахунків звести до таблиці.

Таблиця 3.2 – Значення R_x і K_x для кожної точки профілю різі

номер точки	R_x , мм	K_x , мм
1, 10, 11	20	0
2, 9	19,69	0,0275
3, 8	19,46	0,0558
4, 7	19,07	0,0958
5, 6	18,647	0,1417

За результатами розрахунку на міліметровому папері побудувати профіль фрези з урахуванням величини K_x :

$$h_3 = h_d - k_x.$$

Існує також другий метод побудови профілю різьонарізної фрези. Користуючись формулою:

$$\operatorname{tg}(\alpha_{\text{інстр}} / 2) = \operatorname{tg}(\alpha_{\text{пр дет}} / 2) \cdot h / h_d,$$

визначити кут $\alpha_{\text{інстр}}$.

$$\operatorname{Tg}(\alpha_{\text{інстр}} / 2) = \operatorname{tg}(60^\circ / 2) \cdot 1,495 / 1,353 = 0,638.$$

$$\alpha_{\text{інстр}} = 32^\circ 30'.$$

За даними розрахунку побудувати профіль фрези (див.рис.3.13):

вісь фрези

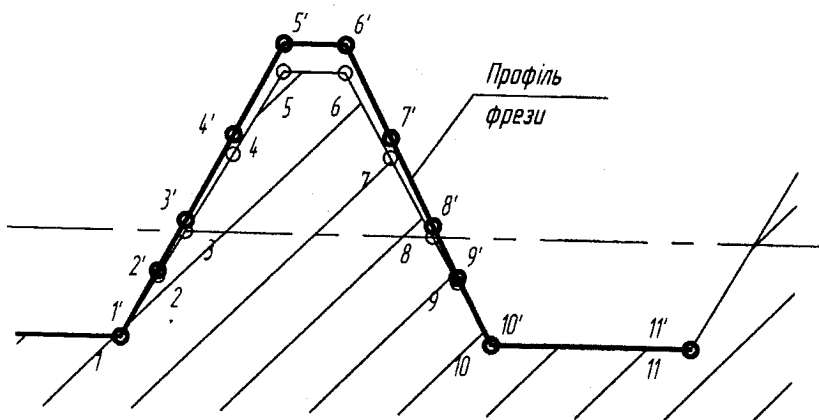


Рисунок 3.12 – Корегований профіль фрези

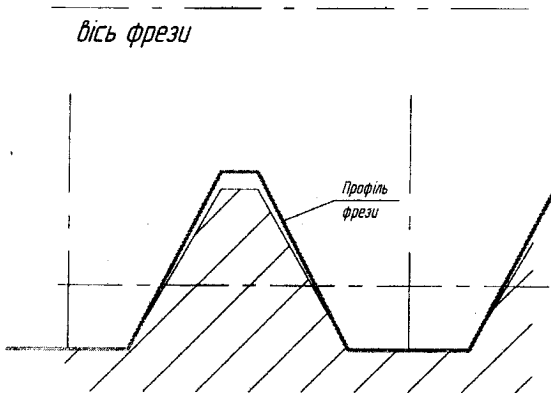


Рисунок 3.13 – Корегований профіль фрези за спрощеним розрахунком

Накласти два отриманих профілі один на одного, після чого порівняти їх і визначити похибку, яку дає спрощений розрахунок.

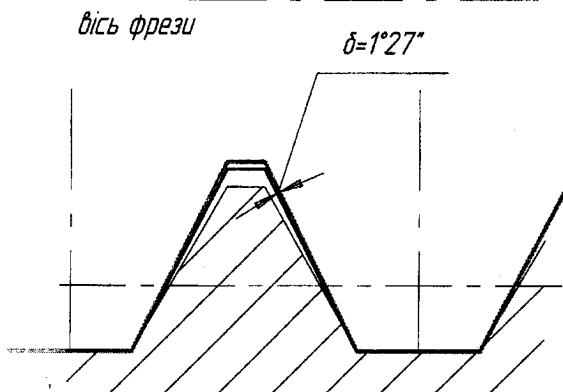


Рисунок 3.14 – Накладені профілі зуба фрези за точним і спрощеним розрахунком

З рис. 3.14 виміряли, що максимальна похибка складає $1^{\circ}27''$.

Допуск на кут профілю α для різі 3-го класу точності складає $1^{\circ}47'$, отже, отримана похибка входить у межі допуску. Це означає, що в такому випадку при проектуванні інструмента для нарізання різі можна користуватись спрощеним розрахунком.

Зміст звіту

Звіт має містити формулювання завдання, вихідні дані, ескіз профілю різі, необхідні розрахунки, ескізи корегованого профілю зуба фрези, накладені профілі зуба фрези, висновки.

3.4 Практичне заняття № 4
Конструювання інструментальних блоків
Точність позиціонування

Точність обробки отворів значною мірою залежить від точності позиціонування і виявляється в битті вершини леза розточувального інструмента і податливості інструментальних блоків.

Таблиця 3.3 - Допустимі величини биття приєднувальних поверхонь допоміжного інструмента, віднесених до вильоту різальних кромок

Назва інструмента	Діаметр, мм	Биття, мм
Свердла:		
-з циліндричним хвостовиком	16-18	0,056
-з конічним хвостовиком	18-30	0,071
Зенкери		
Розвертки		
	До 50	0,062
	До 120	0,071
Розточувальні оправки:		
- для напівчистої обробки		
- отворів	22-180 (биття оправки)	0,030
- для чистої обробки	25-80 (биття оправки)	0,005
- отворів	80-180	0,01

Пружні деформації технологічної системи ПДЦ, що виникають у процесі обробки отворів, також значно впливають на точності їх розмірів, форми та взаємного розташування.

Таблиця 3.4 - Значення допустимої податливості допоміжного інструмента в залежності від закріплення інструмента

Назва інструмента	Діаметр, мм	Допустима податливість, мкм/Н
Патрони і втулки для свердл	6-18	0,292
	18-30	0,186

Продовження таблиці 3.4

Розточувальні оправки для напівчистої обробки отворів	20-80	0,153
	80-180	0,110
Розточувальні оправки для чистої обробки	40-80	0,115
	80-180	0,073

Вказана у таблицях точність може бути отримана правильним вибором конструкції і точності виготовлення приєднувальних поверхонь допоміжного інструмента при відповідній точності виготовлення різального інструмента.

Джерелом похибок позиціонування є відносне биття приєднувальних поверхонь блоків і перенесення у з'єднаннях через допуски на точність виготовлення приєднувальних поверхонь.

Застосування теоретико-імовірнісних методів дозволяє розрахувати биття інструмента, що він отримує в результаті похибок виготовлення допоміжного інструмента.

Кутові помилки ланок (перекоси осей) і векторні помилки (паралельне зміщення осей, рівне половині биття) елементів інструментальних блоків можна підсумувати шляхом приведення перекосів осей до векторного вигляду у площині замикальної ланки (биття різальної частини) через передаточне відношення, яке враховує фактичну довжину елемента блока.

Так, якщо відомо, що биття контрольної оправки довжиною 100 мм в циліндричному з'єднанні, виконаному за 5-м квалітетом точності, що складає 3,2 мкм, то биття інструмента з вильотом 150 мм відносно з'єднання буде в 1,5 раза більше, і для даного елемента конструкції блока передаточне відношення $A=150/100=1,5$.

Похибка позиціонування вершини леза інструмента (половину биття) при встановленні блока в шпіндель верстата можна розрахувати за формулою:

$$\bar{e}_{\Sigma} = \frac{1}{k_{\Sigma}} \sqrt{\sum_1^n (k_i e_i A_i)^2} \quad (3.1)$$

де e_i - половина допуску биття різальної частини як ланки замикання, n - число елементів інструментального блока, що впливають на точність позиціонування, включаючи похибки шпинделя;

k_{Σ} - коефіцієнт відносного розсіювання ланки замикання; e_i ,

A_i - прийняти за скалярну величину добуток векторної величини e_i на своє передаточне відношення A_i ;

k_i - коефіцієнт відносного розсіювання приєднувальних поверхонь допоміжного інструмента.

Коефіцієнт відносного розсіювання розраховується так :

$$k_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55}{\sum_1^n} \left(\sqrt{\sum_1^n (e_i k_i)^2} - \sqrt{\sum_1^n e_i^2} \right) \quad (3.2)$$

Значення k_i і e_i визначаються з таблиці 3.5 і 3.6

Таблиця 3.5 - Коефіцієнт відносного розсіювання з'єднувальних поверхонь допоміжного інструмента

Вид обробки	Поверхня	K_i
1	2	3
Поверхнєве шліфування в центрах	Конус Морзе	1,17
	7:24	1,51
	1:5	1,37
	Циліндр	1,09

Продовження таблиці 3.5

1	2	3
Внутрішнє шліфування	Конус Морзе	1,17
	7:24	1,37
	1:5	1,09
	Циліндр	
Безцентрове шліфування	Конус Морзе	1,03

Таблиця 3.6 - Биття 2e інструмента на вильоті 100 мм в залежності від точності виготовлення конусів, мкм

Конуси	Точність конусів							
	T3	AT4	T5	T6	T7	AT8	AT9	AT10
7:24	1	1,2	1,3	2,6	5	12	-	-
Морзе	-	-	9,5	10,5	15	18	20	24,5
1:5	-	-	8	9	10	12	13	17

Значення перекосу одного інструмента на вильоті 100 мм в залежності від точності виготовлення циліндричних з'єднань діаметром 30...40 мм наведене в таблиці 3.7

Таблиця 3.7 - Значення перекосу e

Квалітет	e, мкм
T4	1
IT 5	1,6
IT 6	3,2
IT 7	4,3
IT 8	6
IT 9	12

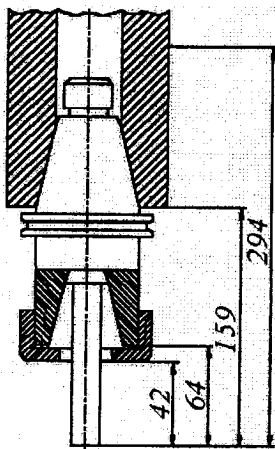


Рисунок 3.15 - Ескіз інструментального блока з циліндричною оправкою, закріпленою в цанговому патроні

Приклад. Розрахувати биття 2е циліндричної оправки (рис.3.15), закріпленої в цанговому патроні, встановленому у шпинделі верстата з ЧПК точності Н.

Биття отвору 7:24 біля торця 0.008 мм, при вильоті шпинделя 300 мм 0,01 мм. Ступінь точності виготовлення конічних поверхонь 7:24 і 1:5 (цанга) АТ7. Биття конічного отвору 1:5 відносно корпусу 7:24 на корпусі патрона 0,01 мм.

Порядок виконання роботи

Радіальне биття циліндричної оправки обумовлюється такими похибками:

- биттям конічного отвору в шпинделі (похибка векторна, рівна 0,004мм, поверхня шпинделя - внутрішній конус, тому $k_i = 1,17$ (див.табл. 3.8), передаточне відношення $A_i=1$);

- перекосом осі шпинделя при висоті 300 мм, рівним 0,0001/300 (похибка кутова, поверхня шпинделя - циліндрична, тому $k_i = 1,09$, передаточне відношення $A=160/300=0,53$, дійсний виліт шпинделя 160мм);

- перекосом осі цангового патрона від похибки виготовлення конусів 7:24 (похибка кутова 0,0025/100, конус зовнішній, $k_i=1,51$, $A_i=1,4$ виліт оправки відносно конуса, рівний 140 мм);

- биттям конічного отвору 1:5 (внутр. конус) відносно осі хвостовика патрона з конусністю 7:24 (биття не більше 0,01 мм; похибка векторна 0,005 мм, $A_i = 1$, $k_i = 1,21$);

- биттям осі цанги при встановленні її в корпусі патрона (похибка кутова 0,005/100, $A_i=0,6$; $A_i = 1,37$);

- радіальним биттям циліндричного отвору в цанзі відносно осі її зовнішнього циліндра не більше 0,01 мм (похибка векторна 0,005мм $k_i=1,09$, $A_i=1$).

Дані для розрахунку доцільно навести в таблиці 3.8

Таблиця 3.8 - Дані для розрахунку биття оправки

Ланка розмірного ланцюга	Похибка	L_i	k_i	A_i
Биття:				
конічного отвору шпинделя	Векторна	4	1,17	1
шпинделя від перекоосу осі корпуса	Кутова	1		0,53
цангового патрона при встановленні в шпиндель	Кутова	2,5	1,1	1,4
	Векторна	5	1,51	
осі отвору 1:5 відносно хвостовика 7:24		5		1
осі цанги при установленні її в патроні циліндричного отвору в цанзі відносно осі її зовнішнього циліндра	Кутова	5	1,21	0,6
	Векторна		1,37	1
			1,09	

Підставляючи дані з таблиці 3.7 в формули (3.1) і (3.2) отримаємо $k_z=1,04$; $l_z=11.2$ мкм; тобто биття оправки $2l=22.4$ мкм.

3.5 Практичне заняття № 5 Податливість інструментальних блоків

Точність обробки залежить від деформації інструментальних блоків. Похибки, викликані деформацією інструментальних блоків, можуть складати до 60% похибок обробки. Деформація інструментальних блоків регламентується допустимою податливістю, тобто величиною деформації блока, мкм/Н, в точці прикладання сили. Допустима податливість для деяких видів інструментів наведена у таблиці 3.4.

Інструментальні блоки зазнають деформації деталей на згин (кручення) і деформацію контактних поверхонь елементів блока в місцях з'єднань. Деформації першого виду протистоїть об'ємна жорсткість блока і другого виду - контактна жорсткість блока. Об'ємна жорсткість визначається формулами опору матеріалів. Контактна жорсткість, що впливає на деформацію блока в місці прикладення сили різання, залежить від величини і напрямку діючих сил, конструкції і точності виготовлення спряжених поверхонь різального і допоміжного інструментів тощо.

Пружні контакти деформації у L блоці під дією сили P , прикладеної на відстані l від кінця стику, визначають за формулою :

$$y = \delta_0 + \gamma L \quad (3.3)$$

де δ_0 - деформація на краю стику в результаті контактної податливості, мкм; γ - перекіс в з'єднанні, що залежить від конструкції з'єднання, мкм/мм.

Для конічних поверхонь

$$\delta_0 = \frac{4P\beta C}{\pi D} (\beta LC_1 + C_2) \quad (3.4)$$

$$y = \frac{4P\beta^2 C}{\pi D} (\beta LC_3 + C_4) \quad (3.5)$$

$$\beta = \sqrt{1/(13CD^3)};$$

C - коефіцієнт контактної податливості, рівний для Морзе 0,0003-0,0006, а для конусів 7:24 0,0002 мм/Н;

C_1, C_2, C_3 - коефіцієнти, що враховують заміну діаметра по довжині конічного з'єднання (для конуса Морзе $C_1 = C_2 = C_3 = 1$; для конусів 7:24 $C_1 = C_2 = 1,35$ і $C_3 = 1$);

D - найбільший діаметр конуса.

D - найбільший діаметр конуса.

Іноді величиною δ_0 нехтують (коли поверхні стиків шліфовані і мають високу твердість). Формула (3.3) не враховує точність виготовлення приєднувальних поверхонь інструмента. Для інженерних розрахунків податливість θ/M під дією згинального моменту вибирають за таблицями 3.9 – 3.12.

Таблиця 3.9 - Податливість θ/M в конусах Морзе, мм/(кНм)

Номер конуса	Виконання	Точність виготовлення конуса Морзе		
		АТ7	АТ8	АТ9
1	з лапкою	0,2012	0,2097	0,2110
2	з різью	0,0433	0,0436	0,0462
	з лапкою	0,0447	0,0476	0,0499
3	з різью	0,0118	0,0124	0,0136
	з лапкою	0,0124	0,0141	0,0157
4	з різью	0,034	0,0038	0,0046
	з лапкою	0,0046	0,0052	0,0055
5	з різью	-	0,0008	-
6	з лапкою	-	0,00027	-

Таблиця 3.10 - Податливість θ/M в конусах Морзе, мм/(кНм)

Номер Конуса	Точність виготовлення конуса Морзе 7:24			
	АТ5	АТ6	АТ7	АТ8
40	0,00121	0,00133	0,0142	0,000191
50	0,0002	0,0027	0,00035	-

Таблиця 3.11 – Податливість θ/M в циліндричних з'єднаннях

Діаметр з'єднання	Зазор в з'єднанні	Напрявні зовнішньої сили , що навантажують з'єднання	
		В напрямку сили затяжки гвинтів	Перпендикулярно силі затяжки гвинтів
Мм		мм/(кНм)	
36	0,014	0,032	0,006
	0,037	0,041	0,0079
48	0,014	0,001	0,0014
	0,026	0,012	0,0032
	0,048	0,016	0,0062

Таблиця 3.12 – Податливість θ/M в цанговому затискачі

Діапазон діаметрів, закріплюваних хвостовиком	Діаметр хвостовика	Стик між цангою, корпусом, патроном	Стики хвостовика інструмента, цанги і корпусу патрона
мм		мм/(кНм)	
20...40	40	0,001	0,0026
	20		0,0029
3...25	20	0,0019	0,038
	16		0,040
	12		0,047
	10		0,056
	6		0,0103

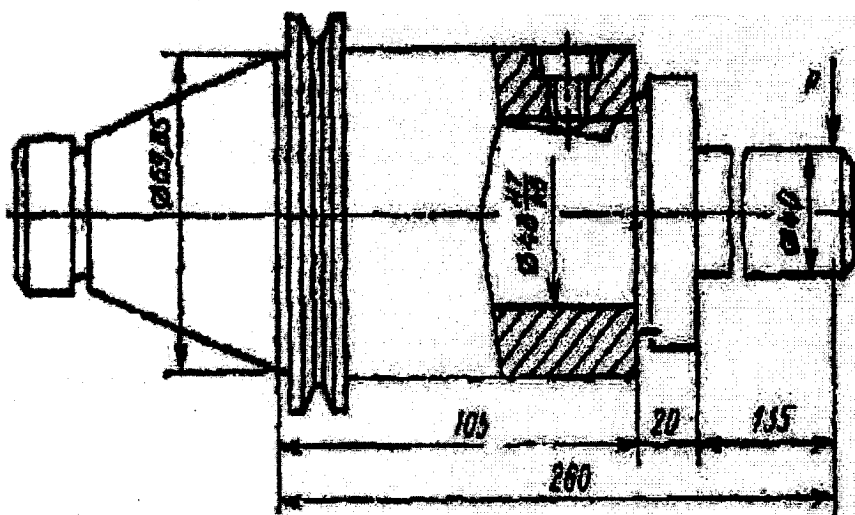


Рисунок 3.16 - Ескіз інструментального блока з циліндричною оправкою, закріпленою в державці для регулювання патронів, втулок і оправок

Приклад. Розрахувати податливість інструментального блока, що складається із втулки з конусом 7:24, виготовленої з точністю АТ7, та

оправки, діаметром 40мм, що закріплюється в циліндричному з'єднанні 48мм. Оправка навантажена радіальною силою $P=1\text{кН}$ та має виліт відносно втулки $L=155\text{мм}$ (рис 3.16).

Порядок виконання роботи

Сумарна деформація блока складається з суми деформацій таких складових:

- деформації оправки $D = 40$ мм на довжині $L=155$ мм під дією сили 1 кН;

- деформації циліндричної частини $L=260$ мм перехідної втулки відносно максимального посадочного діаметра конуса 7:24 $D= 69.85$ мм (обидві складові являють собою об'ємну деформацію та розраховуються за формулами опору матеріалів);

- деформації контактних поверхонь $D= 48$ мм, виконаних за посадкою Н7/н6 (проміжок не більше 0.041 мм),

- деформації контактних поверхонь конуса 7:24, виконаних із ступенем точності АТ7. Деформація блока

$$\delta = \frac{PL^3 \cdot 10^3}{3EI_{\text{хв}}} + \frac{PL^3 \cdot 10^3}{0,15ED_k} + P \frac{\theta}{M} L^2 + P \frac{\theta}{M} l^2 \quad (3.6)$$

де: $E= 2.1 \cdot 10^2$ ГПа - модуль нормальної пружності;

$I_{\text{хв}}$ - момент інерції хвостовика інструмента, мм;

D_k - базовий діаметр конуса шпинделя, мм;

θ/M - податливість в конусі 7:24 (див. табл. 3.9); податливість в циліндричному з'єднанні (див. табл. 3.10).

Для конуса 7:24 ступінь точності АТ7 $\theta/M=0,00035$ мм/кНм.

Для проміжку в циліндричному з'єднанні Н7/н6 (не більше $0,041$ мм) $\theta/M=0,0015$ мм/кНм.

Підставляючи ці значення в формулу (3.6), отримаємо $\delta=0,1293$ мм; тоді податливість $\Pi =\delta/P =0,0001293$ мм/Н.

При інженерних розрахунках деформації інструментальних блоків слід враховувати складові сили різання P_x , P_y , P_z та визначити положення площини, в якій розташовується сумарна деформація від дії вказаних сил. внаслідок значних похибок позиціювання та деформації блоків від сил різання розточними оправками без мікрометричного регулювання розмірів інструмента отвори з квалітетом Н9... Н7 обробити не можна.

3.6 Практична робота № 6

Техніко-економічний та екологічний аналізи РІ та ТОС

Будь-який штучний технічний виріб може бути охарактеризований декількома показниками, це, по-перше, різними технічними характеристиками, які вказують на призначення конкретного устаткування чи пристрою та показники якості його функціонування, а по-друге, впливом виробу на навколишнє середовище, тобто на інтенсивність руйнування природи. Так, для РІ – це призначення та вид обробки, можливість та необхідність використання на конкретному верстаті з його певним станом, гарантовані точність форми і розмірів оброблених деталей та якість їх поверхонь, продуктивність обробки, стійкість, загальний ресурс та надійність, які можуть бути досягнуті, а також чутливість до розвитку вібрацій тощо. Екологічними показниками можуть бути небезпечність форми і розмірів утвореної стружки та її кількість, надійність відведення стружки від зони різання, потреба в МОР та шкідливість останньої, утворювані при різанні запахи та звуки, підняття температури тощо.

Одержання об'єктивної, повної, якомога більш абсолютної оцінки будь-якої продукції завжди цікавило споживача. Різні погляди на це питання виробника і споживача, надто велика складність або принципова неможливість створення такого універсального показника не дозволяють однозначно вирішити вказане питання.

По-перше, не завжди є можливість кількісно оцінити характеристики будь-якої продукції зі всіх боків. По-друге, як правило, таких показників буває багато. По-третє, точно спрогнозувати всі наслідки від випадкових поєднань значень багатьох керованих чинників (навіть коли вони знаходяться в дозволених виробником межах), особливо в поєднанні з деякими величинами некерованих зовнішніх факторів, неможливо.

Довге спілкування на ринку, в умовах конкуренції, зрозуміло, цей процес оцінювання продукції, з одного боку, робить більш складним, а з іншого – наближає одну до одної точку зору виробника та споживача. Але природа речей така, що оптимізація продукції за будь-яким „головним” показником якості, як правило, призводить до зниження (іноді значного) інших важливих показників якості. Тільки невибагливого або некваліфікованого споживача може задовольнити односторонність оцінювання будь-якої продукції. Розв'язання цієї неоднозначної задачі може знаходитись компромісним шляхом, коли оптимуми за окремими параметрами розташовані „досить близько” один від одного, або за оптимумом найважливішого параметра при умові, що значення інших параметрів знаходяться в задовільних заздалегідь заданих діапазонах. Інший шлях може тільки означати принципову зміну фізичних взаємодій у виробі, тобто радикальну зміну конструкції продукції.

Спроби нової науки – кваліметрії - використовувати різні перевідні шкали для кількісного оцінювання якісних показників не завжди сприймаються як виробником, так і споживачем. Спроби розробки "універсальних" показників якості або розробки ідей багатопараметричної оптимізації постійно наштовхувались на несприйняття або на відчайдушну критику науковців.

Пошук поліпшених методів оцінювання виробів як на стадії розробки, так і на етапах виробництва та реалізації на ринку, з метою їх удосконалення та рекламування, а також одержання об'єктивної оцінки роботи працівників, йде по шляхах як деталізації, тобто поглиблення, так і інтеграції, тобто розширення. Таким поглибленим показником якості РІ може бути напрацювання, тобто загальна площа обробленої поверхні деталей або об'єм знятої стружки за період між його переагостреннями (замість старого показника – стійкості РІ, вимірної в хвилини). Іншими подібними показниками можуть бути різні питомі характеристики: питома енергія, витрачена на зняття одиниці об'єму стружки чи на формоутворення одиниці площі поверхні деталі або питома вартість стружоутворення чи формоутворення поверхні деталі тощо.

Створити єдиний узагальнений абсолютний показник якості будь-якої продукції мабуть неможливо. Але в зв'язку з тим, що існує багато виробів з безліччю гарних поєднань їх різнобічних характеристик, мова може йти про узагальнене інтегральне порівняння, тобто про створення штучного відносного загального показника якості. Ці наближені комплексні показники можуть бути адресовані споживачеві, розробнику, виробнику. Так, можна запропонувати чотири відносних загальних показники:

- так звану мікрооцінку за допомогою оптимального значення найважливішого параметра (із забезпеченням гарантованих діапазонів задовільних значень інших важливих параметрів);

- загальну макрооцінку для розробника у вигляді коефіцієнта технічної досконалості конкретної конструкції виробу – (РІ), який обчислюється як добуток часткових коефіцієнтів досягнутої зміни якості за рядом важливих питомих технічних характеристик розробки відносно базового варіанта;

- загальну макрооцінку для виробника у вигляді коефіцієнта технологічної досконалості виробу – (РІ), який дорівнює добутку ряду коефіцієнтів досягнутої зміни по всіх технологічних операціях відносно базового варіанта;

- загальну макрооцінку для споживача у вигляді коефіцієнта загальної ефективності РІ, який обчислюється як добуток коефіцієнтів досягнутої зміни якості за рядом важливих споживчих питомих параметрів відносно базового (ринкового) варіанта виробу.

Ці нові, на наш погляд, загальні оцінювання якості та ефективності будь-якої продукції, можуть бути застосовані в проектуванні, виробництві та використанні різних РІ таким чином.

За найбільш важливу мікрооцінку будь-якого РІ може бути використана його стійкість, але виражена не в часі роботи за період збереження різальної здатності, а у величині напрацювання, відображений в об'ємі знятої за період стійкості стружки, або в загальній площі обробленої поверхні деталей. Іншими важливими допоміжними параметрами, потрапляння яких в бажані, заздалегідь задані діапазони значень, слід назвати:

- якість обробки (точність форми і розмірів деталей, шорсткість поверхні та характеристики поверхневого шару тощо);
- продуктивність обробки даним РІ;
- собівартість обробки (тобто та її частка, яка пов'язана з експлуатацією конкретного РІ) та інші показники.

Для створення загальних штучних макрооцінок розробленого, виготовленого чи потенційного у використанні нового РІ повинні бути вибрані відповідні найбільш важливі характеристики в порівнянні з базовим варіантом. Результуючі формули повинні складатись у вигляді дробу, чисельник яких розраховується як добуток коефіцієнтів поліпшення, а знаменник – коефіцієнтів погіршення (в разях).

Так, штучна оцінка коефіцієнта технічної досконалості створеного нового РІ може мати вигляд:

$$K_{т.д} = \frac{K_{ЕС} \cdot K_{ЕФ} \cdot K_{ВС} \cdot K_{ВФ} \cdot K_{Н} \cdot K_{Т}}{K_{С} \cdot K_{П}}$$

де $K_{ЕС}$ – коефіцієнт зміни питомої енергії на зняття одиниці об'єму стружки;

$K_{ЕФ}$ – коефіцієнт зміни питомої енергії на формоутворення одиниці площі поверхні;

$K_{ВС}$ – коефіцієнт зміни питомої вартості стружкоутворення;

$K_{ВФ}$ – коефіцієнт зміни питомої вартості формоутворення поверхні деталі;

$K_{Н}$ – коефіцієнт зміни величини напрацювання;

$K_{П}$ – коефіцієнт зміни продуктивності обробки;

$K_{Т}$ – коефіцієнт зміни точності обробки;

$K_{С}$ – коефіцієнт зміни складності.

Зрозуміло, що як показовість, так і достовірність такого наближеного штучного коефіцієнта технічної досконалості підвищується при значному віддаленні від одиниці.

Показники базових варіантів, тобто стандартних РІ, можуть бути визначені за відомими емпіричними формулами, які широко використовуються для визначення сил різання та оптимальної швидкості різання в теорії різання та технології машинобудування, але з тією різницею, що вони визначаються питомими характеристиками, тобто для заздалегідь заданих одиниці об'єму шару припуску (чи стружки) та одиниці площі обробленої поверхні. Аналогічні питомі показники нового удосконаленого РІ можуть бути визначені лише після його відповідних

експериментальних досліджень, у зв'язку з тим, що попередні оцінки за відомими формулами можуть дати лише наближені значення.

Аналогічно може бути розрахована загальна макрооцінка відносної технологічної досконалості конкретного РІ. За основу при порівнянні можуть бути взяті загальна кількість операцій при виготовленні РІ та загальна тривалість технологічних процесів, потрібна оснащеність виробництва РІ другого порядку обладнанням та пристосуваннями, технологічна собівартість та витрати матеріалів та енергії.

Також аналогічно можна розрахувати загальний коефіцієнт ефективності нового РІ. За основу при порівнянні можна взяти напрацьовування між перезагострюваннями та за весь термін служби РІ, продуктивність обробки, точність обробки, вартість РІ тощо.

При прийнятті важливих рішень стосовно використання нових РІ особливу увагу слід звернути на напрямки виконаного удосконалення, направлені на узгодженість з майбутніми фізичними характеристиками ТОС. Різні значення отриманих штучних загальних показників якості будь-якого РІ на етапах проектування, виробництва та експлуатації свідчать про відповідні ще не використані резерви, а також про необхідність та потребу подальшого удосконалення інструментів.

3.7 Практична робота № 7

Системний аналіз різальних інструментів та технологічних оброблюваних систем

Під удосконаленням будь-якого технічного об'єкта, зокрема РІ, розуміється процес поліпшення їх якісних та кількісних експлуатаційних характеристик, які охоплюють функціональне призначення, ефективність, будь-які технічні, економічні та екологічні показники [5].

Оскільки процеси удосконалення, як і взагалі процеси розвитку та пізнання, проходять в часі і є нескінченними, а всі процеси проектування будь-яких об'єктів опираються на досягнутий в сьогочасний момент рівень знань, то спроектовані об'єкти в сенсі оптимальності є завжди умовними та обмеженими. Окрім цієї загальної причини, неможливість досягнення цілковитого (абсолютного) оптимуму за будь-яким конкретним показником об'єкта, що проектується (наприклад, РІ), пояснюється строгою необхідністю врахування всіх діючих на процес його функціонування факторів (наприклад, при різанні – конкретної моделі, типу та поточного стану металорізального верстата і заготовки), що неможливо. Зважаючи на багатокритеріальність оцінювання функціонування складних об'єктів, до котрих відносяться РІ, недоцільність досягнення такого абсолютного оптимуму за будь-яким з критеріїв оптимізації пояснюється його невідповідністю оптимальним значенням за іншими критеріями.

Надзвичайна складність машинобудівних технологічних оброблювальних систем (ТОС), недискретний, а розподільчий (польовий) характер фізичних явищ, що супроводжують процес обробки деталей; нелінійні залежності між деякими параметрами, структурна багатогранність з прямими та зворотними, часто позитивними зв'язками; значна локальна змінність геометричних та нестабільність значень миттєвих кінематичних параметрів; неузгодженість процесів на суміжних ділянках лез та і в системі в цілому робить принципово неможливим (та і непотрібним) створення загальних математичних моделей системи з метою її оптимізації за будь-яким з критеріїв. Складну задачу підвищення ефективності обробки деталей різанням доцільно розглядати як радикальне удосконалення різальних інструментів як відносно простої складової ТОС і помірно можливе поліпшення металообробних верстатів, пристосувань тощо [35].

Досконалість конкретного РІ може бути оцінена:

1. Мірою адаптування до змінних зовнішніх умов функціонування.
2. Узгодженням (балансом) внутрішніх робочих характеристик.
3. Оптимальним компромісом між повнотою зовнішнього адаптування та глибиною внутрішньої узгодженості характеристик за одним з результируючих параметрів оптимізації (наприклад, рівнем шорсткості обробленої поверхні деталі тощо.).

Серед зовнішніх умов роботи РІ, насамперед, слід назвати ті, які пов'язані із заготовкою:

- непостійність величини припуску заготовки, що виникає через похибки її форми та установлення;
- нестабільність твердості припуску заготовки, структури, хімічного складу матеріалу тощо;
- обмежена величина жорсткості заготовки (часто найнижча серед всіх елементів ТОС), її неоднаковість в різних місцях та в ході зняття припуску;
- напружений стан заготовки від сил закріплення та різання, що не відповідає умовам експлуатації конкретної деталі;
- нетехнологічна форма заготовки або не найкраще її закріплення при обробці, коли поведінка останньої відповідає позитивному зворотному зв'язку в ТОС (тобто заготовку "підриває") тощо.

Іншими зовнішніми умовами для роботи РІ, пов'язаними з металорізальним верстатом (МРВ) та пристроями, є:

- обмежена точність МРВ та пристроїв і відчутний взаємозв'язок з параметрами відносного положення, руху та стану окремих їх елементів;
- обмежена жорсткість МРВ та пристроїв і суттєва залежність від параметрів відносного руху, положення та стану їх окремих елементів;
- наявність зазорів в з'єднанні елементів ТОС;

- значна громіздкість та невисока ефективність додаткових зовнішніх контурів зв'язку ТОС (люнет, підвідна підпора тощо);
- наявність в МРВ та пристосуваннях ланок, що мають характеристики типу позитивного зворотного зв'язку (наприклад, різцетримач токарного верстата тощо);
- недостатність умов базування (наприклад, заготовка довгого вала консольно закріплена в одноточковій стандартній цанзі), або надмірність умов, а тому часто неоднозначність чи суперечність (наприклад, при закріпленні вала в неспіввісних патроні та на центрі);
- схильність ТОС до виникнення та розвитку вимушених, параметричних та автоколивальних рухів при різанні; непостійність (ступінчастість, релаксаційність) руху, отриманого від механізму подачі та головного руху.

Зовнішніми умовами, пов'язаними з експлуатацією даного РІ в складі конкретної ТОС, треба назвати:

- неоптимальність вибору поєднання деяких характеристик ТОС (наприклад, жорсткості) з конкретним інструментальним матеріалом, конструкцією, геометричними параметрами РІ, режимами та умовами різання;
- некрощу сполуку (за хімічною спорідненістю) матеріалів РІ та деталі;
- відповідність вибору поєднання типу, класу точності та стану МРВ з оснащенням, класом точності РІ та його станом;
- нестабільність величин товщини та ширини зрізу при обробці деталей;
- високий рівень та нестабільність величини поточного зносу РІ (зміна форми лез, геометричних параметрів, стану робочих поверхонь тощо);
- змінюваність в часі силових та теплових навантажень на різальні леза РІ;
- попередній наклеп частини поверхні різання попереднім проходом (або зубом, що стоїть попереду) РІ тощо.

В проблемі узгодженості (балансу) внутрішніх робочих характеристик РІ назвемо сторони:

- змінюваність активних довжин лез (як з боку заготовки – від зміни величини припуску, так і з боку обробленої поверхні – внаслідок автоколивального характеру процесу різання);
 - різна міра участі одиничних лез багатозубого інструмента в окремих фазах процесу „зрізання – наклеп – тертя стружкоутворення” та формування обробленої поверхні деталі;
 - непостійність утиснення процесу стружкоутворення вздовж лез РІ;
 - непостійність мікропотоків стружки при її утворенні та відведенні в загальному її потоці;
- різниця (іноді значна) у величинах тілесних кутів для різних частин лез;

- нерівномірність розподілу силових і теплових напружень поперек та вздовж тіла лез;
- змінність величини і характеру зносу РІ вздовж його лез тощо.

ТОС, які виготовляють деталі за методом зняття стружки, характеризуються значною складністю функцій та безліччю внутрішніх і зовнішніх зв'язків, великою конструктивною складністю та чималими похибками виконання, значною різноманітністю елементів і широкими інтегративними властивостями всієї системи, що вимагає для глибокого вивчення та удосконалення також і відповідного комплексного системного підходу та аналізу. Задіяння в ТОС людей на стадіях проектування, дослідження та експлуатації є створенням системотехнічних комплексів (СТК), котрі є об'єктом вивчення нової технологічної дисципліни – системотехніки [5; 18]. Як відзначають автори цих праць, традиційний підхід розробників, побудований на виділенні підсистем, які незалежно вивчаються та проектуються в рамках відповідних спеціальних дисциплін, породжує численні та важковирішувані проблеми. Мета удосконалення СТК полягає в узгодженні загальної структури, функцій та характеристик з новими соціальними вимогами і змінами внутрішніми та зовнішніми умовами його існування на підставі більш детального, глибокого, з одного боку, та більш загального, широкого, з другого боку, вивчення.

Системний підхід полягає в багатозв'язності процесу рішення на підставі розвитку вихідної моделі шляхом вивчення взаємодії її складових частин [18]. Схема системного підходу може бути подана у вигляді прямих та зворотних, кільцевих та перехресних зв'язків між семи його гранями: “ідеалізація – декомпозиція – композиція – рішення – виділення проблеми – опис об'єкта – встановлення критеріїв оцінювання”. Таке глибоке вивчення об'єктів удосконалення (або розробки нових) вимагає залучення значної кількості фахівців, використання суміжних дисциплін, вироблення загальносистемних понять та методології, удосконалення, узагальнення, агрегування методів та моделей, вивчення особливостей і зв'язку (погодження) в єдиний життєвий цикл всіх складових підсистем, елементів, а також всіх стадій існування системи [5].

Таким чином, структурна оптимізація процесів обробки деталей різанням передбачає глибокий системний аналіз взаємодіючих в часі і просторі зовнішніх і внутрішніх явищ, котрі обумовлені структурою, параметрами, конструкцією, режимами, які характеризують функціонування сукупності всіх елементів ТОС, зокрема, однієї з найбільш активних її підсистем – РІ.

Зрозуміло, що, з одного боку, досить детальна декомпозиція з більш глибоким вивченням (навіть якісним або знаковим) досить дрібних (але суттєвих) елементів конструкції РІ та складових фізики процесу різання підвищує складність аналізу, але, з другого боку, розширює можливості удосконалення, тобто підвищує вірогідність отримання синтезу поліпшених варіантів нових технічних рішень різальних інструментів.

3.8 Практична робота № 8 Структурна оптимізація РІ та ТОС

Відзначаючи загальність та важливість проблеми оптимізації РІ, Юліков М.І. вказує на два типи оптимізаційних задач, які доводиться вирішувати на всіх рівнях процесу проектування [48]:

- обґрунтування ухвалених якісних творчих рішень (вибір принципових рішень, тобто виду, типу, схеми конструкції) або ж так званої структурної оптимізації;
- обґрунтування прийняття кількісних рішень, тобто параметричної оптимізації.

Слід відзначити, що через складності конструкцій РІ, а особливо явищ, які супроводжують процес різання, далеко не часто вдається виконати чіткий та повний детермінований математичний опис об'єкта, що оптимізується, наприклад, у вигляді систем лінійних або нелінійних диференціальних рівнянь, в результаті розв'язання яких вдалося б виконати машинне проектування з параметричною оптимізацією конкретного об'єкта.

Значно частіше параметричну оптимізацію виконують, досліджуючи конкретний реальний об'єкт, методом багатofакторного планування експериментів при обмеженні кількості дослідів і одержанні серії наближених математичних описів у вигляді поліноміальних регресивних моделей, які надалі підлягають дослідженню з метою знаходження градієнтів руху за кожним з факторів, що досліджуються, до досягнення "майже стаціонарної" області за вибраним параметром оптимізації. Оптимізація закінчується описом та дослідженням регресивної моделі "майже стаціонарної" області, отриманої шляхом планування багатofакторного експерименту при трирівневому варіюванні факторів.

Якщо параметрична оптимізація виконується на конкретних об'єктах при заданих областях параметрів їх функціонування, то структурна (якісна) оптимізація виконується раніше й проводиться для цілого класу (виду) подібних між собою об'єктів (наприклад, токарних різців, спіральних свердел тощо), маючи за мету не тільки внутрішню якісну оптимізацію конструкції об'єкта та його параметрів, а й зовнішню – доцільну зміну умов його функціонування. Як відзначається в праці [11], недосконалість вирішення задач оптимізації, особливо структурної, може істотно обмежити потенційну можливість підвищення ефективності та покращення якісних показників об'єкта, що проектується (чи удосконалюється).

На основі системного аналізу конкретного виду РІ та умов його експлуатації можна реалізувати запропоновану методика розробки евристичних напрямів структурної оптимізації конструкцій РІ та режимів їх роботи за схемою [35]:

1. Фіксується досягнутий рівень розвитку даного виду стандартного РІ, умови його експлуатації та техніко-економічні показники.
2. Виконується аналіз відносних характеристик окремих ділянок даного виду РІ по різальній, калібруючій та корпусній частинах в різних фізико-технологічних ракурсах, а також порівняння за окремими характеристиками та показниками з іншими видами РІ.
3. Складається перелік всіх бажаних цільових функцій (у вигляді набору техніко-економічно-екологічних напрямів удосконалення даного об'єкта).
4. Вибирається із всіх можливих цільових функцій одна, найважливіша на даний період, котра і призначається параметром структурної оптимізації. Останні цільові функції не оптимізуються, а розглядаються як обмежувальні показники.
5. Складається перелік елементів (окремих параметрів ТОС та умов їх експлуатації), що визначають кожну з цільових функцій. Вказуються найбільш доцільні напрями зміни кожного з елементів.
6. Аналізуються всі можливі внутрішні зв'язки між окремими елементами. Виявляються серед них конкуруючі та сприяючі зв'язки.
7. Виконується ранжирування елементів з наступним вибором між конкуруючими елементами найбільш доцільних.
8. Виявляються головні з елементів і встановлюються зовнішні зв'язки з відповідними цільовими функціями.
9. Аналогічно виконується наступна декомпозиція елементів на технічні цілі, а потім і на способи, елементарні конструкції, параметри і доцільні напрями їх змін, які дозволяють досягнути необхідного покращення елементів.
10. На етапі синтезу (композиції) виконується перевірка або узгодження окремих елементарних конструктивних змін на предмет здійснення, технологічності, на протиріччя окремих характеристик сусідніх ділянок та всієї конструкції РІ (наприклад, контактних, силових, теплових характеристик, умов нерозривності потоку стружки тощо).

Як приклад удосконалення ТОС при обробці отворів розглянемо систему, головним елементом якої є широко розповсюджений РІ – спіральне свердло. Причому, для розробника РІ розглянемо спіральні свердла як одну з підсистем. Іншими підсистемами будуть: металорізальний верстат, пристосування та заготовка.

Фіксацію параметрів досягнутого рівня розвитку виконаємо для стандартних свердел 1...20 мм за ГОСТ 10902–77 та 6...80 мм за ГОСТ 10903–77, а також на основі праць [29] та [31]. Результуючі значення параметрів наведемо в табл. 3.13.

Для аналізу підсистеми “спіральне свердло” (як один з видів РІ) виконаємо його декомпозицію на окремі елементи за функціональною, технологічною та конструктивною ознаками. Порівняємо окремі ділянки

різальних кромок, лез, поверхонь свердла та його поперечного перерізу за рядом фізико-технічних параметрів з метою виявлення базових рівнів (тобто основних, які задовільно функціонують), а також дефіцитних (недостатніх) та надмірних (з надлишком) рівнів. Оцінки відносних характеристик окремих ділянок спірального свердла наведемо в табл. 3.14, в якій літерами зображено: О – основний рівень; Д – дефіцит; Н – надлишок (повторенням літер показана умовно "сила" показника).

На основі розробленої методики виконано системний аналіз ТОС, яка складається з підсистем: свердлильного верстата, пристрою, заготовки та стандартного спірального свердла. Детально досліджується тільки спіральне свердло, інші підсистеми повинні досліджуватись іншими спеціалістами у вказаних в цьому дослідженні напрямках. В результаті системного аналізу спірального свердла виявлені дефіцитні та надлишкові ділянки конструкції, що дозволило розробити напрями покращення окремих частин конструкції свердла та поліпшення їх геометричних параметрів і умов експлуатації з метою підвищення продуктивності та точності свердління, поліпшення якості обробленої поверхні, зниження собівартості процесу свердління та зменшення росту екологічного навантаження. Блок-схема евристичних напрямів структурної векторної оптимізації конструкції спіральних свердел та умов їх експлуатації наведена в табл. 3.15. (В зв'язку з обмеженим обсягом розділу подальші два етапи декомпозиції елементів блок-схеми не наводяться. Вихідні зв'язки блок-схеми, котрі позначені суцільними стрілками, вже розроблені, а ті, які позначені пунктирними стрілками – ще повинні розроблятись спеціалістами-верстатниками та іншими).

На основі системного аналізу виявляються допоміжні та конкуруючі елементи, отримані при декомпозиції об'єкта (свердла). Щодо потрібної заміни допоміжних елементів відносно базового рівня, то проблем не виникає. Виконуємо потрібну заміну пропорційно дефіциту певного показника. Відносно потрібної заміни конкуруючих елементів маємо значно складнішу справу, коли треба попередньо більш точно проранжувати силу та напрям впливу певного елемента на загальне поліпшення чи погіршення параметра оптимізації. Але і в цьому випадку треба користуватись відносними оцінками характеристик суттєвих елементів свердла з метою його структурної оптимізації [35].

Кінцевим етапом цього дослідження є розробка декількох нових поліпшених конструкцій спірального свердла та форм його заточки. Розроблено три нових форми заточування свердла.

За першим варіантом: заточування поперечної різальної кромки виконується перетином двох пар двограних кутів: опуклого на передній та ввігнутого на задній поверхнях, головної різальної кромки – перерізом кожної гвинтової поверхні з одним чи двома опуклими двограними кутами.

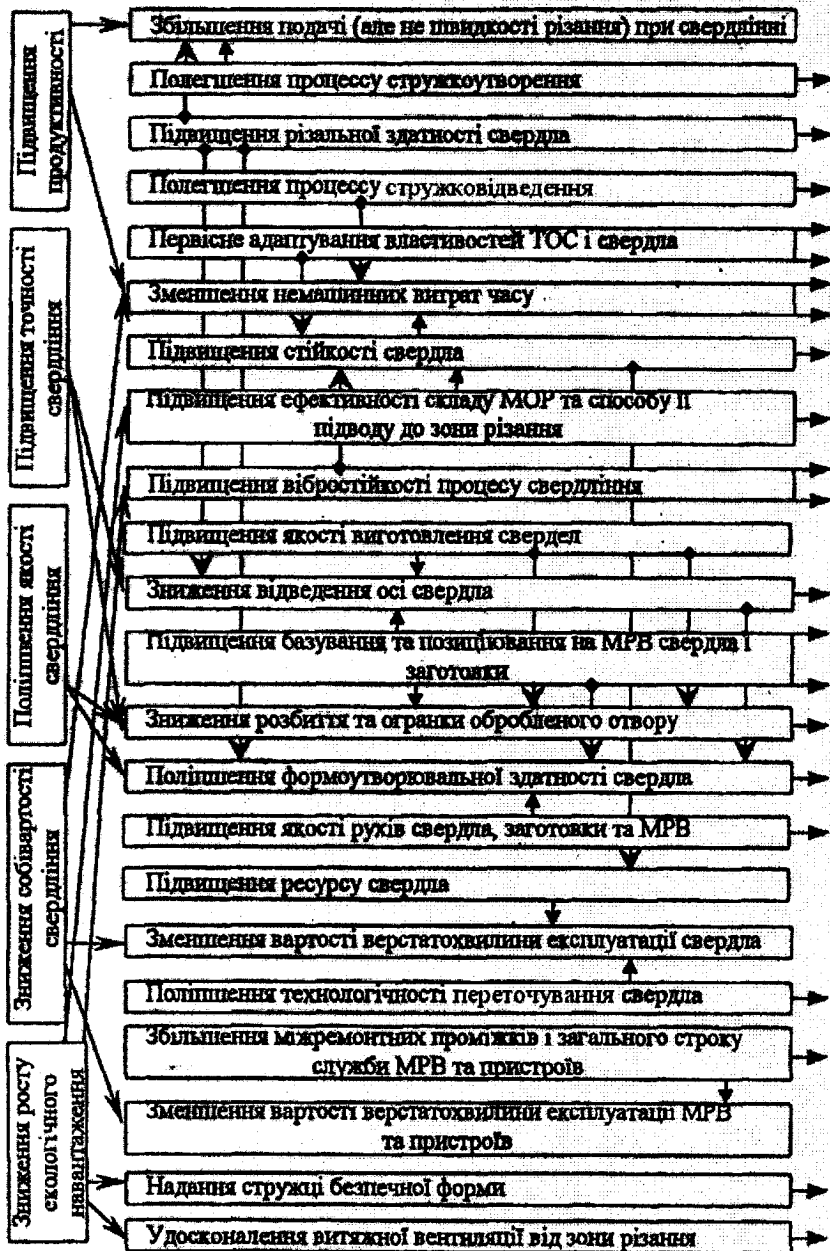
Таблиця 3.13 – Параметри стандартних гвинтових свердел

номер п/п	Параметр	Значення
1.	Головний кут в плані 2φ , град	116...140
2.	Кут нахилу канавок ω , град	25...32
3.	Кут нахилу поперечної кромки, ψ , град	40...50
4.	Діаметр серцевини на різальні частині	$(0,125...0,3)d$
5.	Діаметр серцевини біля хвостовика	більше на 1,4...1,7мм на 100мм;
6.	Центральний кут канавки на зовнішньому діаметрі	84...92°
7.	Центральний кут канавки на середньому діаметрі	110...115°
8.	Радіус передньої поверхні в торцевому перерізі	$(0,75...0,9)d$
9.	Радіус задньої стінки стружкової канавки в торцевому перерізі свердла	$(0,22...0,28)d$
10.	Робочий кінематичний задній кут a_n , град: - в периферійній точці головної кромки - в точці перетину головної і поперечної кромки - в точці перетину поперечної кромки з віссю	21,5 28,6 – 56,3
11.	Робочий кінематичний передній кут φ_n , град: - в периферійній точці головної кромки - в точці перетину головної і поперечної кромки - в периферійній точці поперечної кромки - в точці перетину поперечної кромки з віссю	28,8 9,4 – 51,3 33,7
12.	Тілесні кути лез, стерадіан, для: - периферійної точки головної кромки - точки перетину головної і поперечної кромки - точки перетину поперечної кромки з віссю	1,1 2,4 3,9
13.	Кути загострення лез β_n , град, для: - периферійної точки головної кромки - точки перетину головної і поперечної кромки - точки перетину поперечної кромки з віссю	41,5 71,3 112,6

Таблиця 3.14 – Відносні оцінки характеристик ділянок свердла

Ділянки різальних кромок свердла або його поперечного перерізу		Периферійний кут допоміжних різальних кромок	Периферійний кут головних різальних кромок	Середина головних кромок чи поперечного перерізу	Точка Перетину кромок		Осьова точка поперечної різальної кромки
					головної	поперечної	
Параметр, за яким виконується порівняльна оцінка							
1.	Швидкість різання	Н	Н	О	Д	Д	Д
2.	Теплоутворення	Н	Н	О	Д	Д	Д
3.	Кут загострення лез	О	ДД	Д	О	Н	НН
4.	Тілесний кут лез	Д	ДДД	О	Д	Н	ННН
5.	Тепловідведення	Д	ДД	О	Д	Н	НН
6.	Товщина різіу	-	О	О	О	Н	Н
7.	Кінематичний передній кут	Д	Н	О	Д	Н	Н
8.	Кінематичний задній кут	ДД	О	О	Н	Д	ДДД
9.	Питоме осьове навантаження ділянок різальних кромок	-	Д	О	Н	Д	ННН
10.	Питоме тангенціальне навантаження ділянок різальних кромок	Н	Д	О	Н	Н	Н
11.	Локальне місцеве зношування лез	ННН	НН	О	Д	Н	Д
12.	Частина перерізу свердла, яка визначає його крутильну жорсткість	-	Н	ДД	Д	Н	-
13.	Частина перерізу стружкових канавок або об'єму під поверхніми заточки поперечної кромки	-	НН	Н	Д	Д	ДДД
						Д	Д

Таблиця 3.15 – Блок-схема структурної оптимізації свердел



За першим варіантом: заточування поперечної різальної кромки виконується перерізом двох пар двограних кутів: опуклого на передній та ввігнутого на задній поверхнях, головної різальної кромки – перерізом кожної гвинтової поверхні з одним чи двома опуклими двограними кутами.

За другим варіантом: заточування передніх і задніх поверхонь поперечної кромки виконується у вигляді частин поверхонь однопорожнинного гіперboloїда обертання. Головні задні поверхні виконані фрагментами сферичних, спряженими з поверхнями гіперboloїдів обертання.

За третім варіантом: заточування передніх і задніх поверхонь поперечної різальної кромки виконується у вигляді частин торових поверхонь, а задньої поверхні головних різальних кромок – частинами поверхонь еліпсоїда обертання, спряжених з торовими поверхнями.

Один із цих способів заточування спіральних свердл запатентовано [30].

Ці дослідження, а також вироблені методики можуть бути використані при проектуванні (чи удосконаленні) будь-яких видів РІ, а також МРВ, пристосувань, технологічних деталей та їх заготовок.

3.9 Практична робота № 9

Параметрична оптимізація конструкцій РІ та умов їх експлуатації

Параметрична оптимізація різних об'єктів та умов їх функціонування може бути виконана як в детермінованому варіанті, коли значення вихідної величини однозначно визначається вхідною величиною, так і в стохастичній постановці, коли такого жорсткого зв'язку між ними немає.

Для опису детермінованих конструкцій та процесів використовуються відомі аналітичні моделі критерію оптимальності. Для оптимізації детермінованих конструкцій, наприклад, пристроїв, а також умов їх експлуатації, як більш простих об'єктів, використовуються методи класичного аналізу. Так, для оптимізації детермінованих об'єктів і технологічних процесів, які описуються функціями, котрі диференціюються, з обмеженнями і без обмежень, використовуються аналітичні методи:

- метод аналітичного пошуку екстремуму;
- варіаційні методи;
- метод множників Лагранжа;
- принцип максимуму Понтрягіна.

Для оптимізації детермінованих конструкцій та процесів, які описані алгебраїчними функціями, використовуються методи математичного програмування:

- геометричний;
- лінійний;

- динамічний.

Для оптимізації більш складних детермінованих об'єктів та технологічних процесів також використовуються градієнтні та автоматичні методи з моделями, які самоналагоджуються.

Сучасні конструкції ТОС (в тому числі верстат, РІ тощо), взаємодія їх елементів, а також різні технологічні процеси обробки деталей різанням характеризуються:

- значною кількістю факторів та різноманітністю робочих параметрів;
- закорельованістю дії деяких факторів;
- великою кількістю внутрішніх зв'язків між факторами та параметрами;
- розвитком конкуруючих фізичних процесів та напрямків ходу процесів;
- діями на фізичні та технологічні процеси збурюючих, неконтрольованих та некерованих факторів.

Для оптимізації таких складних об'єктів та процесів, часто з неповною інформацією, використовуються експериментально-статистичні методи. Розрізняють активний та пасивний експерименти. Пасивний експеримент або дослідницьке спостереження виконується з метою вивчення функціонування невідомого об'єкта, явища чи ходу технологічного процесу. В цьому випадку в об'єкт дослідження не вноситься ніяких штучних змін. Обробка даних з метою отримання математичної моделі об'єкта проводиться відомими методами регресивного, дисперсійного та кореляційного аналізів.

Активний експеримент будується на проведенні планування багатфакторного експерименту за заздалегідь складеним планом, який має оптимальні властивості. При такому експерименті максимально використовується отримана інформація, враховується дія та взаємодія всіх визначальних факторів, що дозволяє значно скоротити загальну кількість дослідів для визначення оптимальних значень параметрів з найвищою точністю. Як в пасивному, так і в активному експерименті математичною моделлю є функція відклику, яка пов'язує параметр оптимізації з визначальними факторами, що впливають на об'єкт дослідження:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k).$$

При використанні статистичних методів математична модель зображається у вигляді деякого відрізка ряду Тейлора. В цьому випадку рівняння регресії має вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{ij=1}^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{ii=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2 + \dots,$$

де b_0 – вільний член рівняння регресії;

b_i – лінійні коефіцієнти;

b_{ij} – коефіцієнти взаємодії;

b_{ii} – квадратичні коефіцієнти.

Як видно з рівняння регресії, для розрахунку кожного з коефіцієнтів його членів використовуються всі числові значення параметра, одержані у всіх окремих дослідах експерименту.

Коефіцієнти рівняння визначаються за методом найменших квадратів, виходячи з умови:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2 = \min$$

де N – обсяг вибірки;

y_i, \bar{y}_i – відповідно експериментальне і теоретичне значення параметра оптимізації.

На відміну від класичного експерименту, в якому кожний фактор, що вивчається, досліджується окремо (коли витрачається багато отриманої інформації), при плануванні багатофакторного експерименту всі фактори змінюються відразу і цілеспрямовано.

На даний час в плануванні багатофакторного експерименту можна виділити такі напрямки [17]:

- оптимізація багатофакторного екстремального експерименту (метод Бокса – Уілсона);
- експеримент в “майже стаціонарній” області;
- експеримент відсіювання;
- експеримент з якісними факторами;
- симплексний метод планування експерименту;
- еволюційне планування експерименту.

З вказаних методів найбільше розповсюдження для оптимізації багатофакторних об'єктів має метод Бокса – Уілсона. В цьому методі виділяють два етапи:

- пошук оптимальної області – “круте сходження” або “найшвидший спуск”;
- опис “майже стаціонарної” області.

Стратегія першого етапу дослідження полягає в послідовному постановленні невеликих серій дослідів за матрицею планування.

Для побудови матриць планування використовується факторний аналіз, а для створення математичної моделі – регресійний аналіз. Експеримент проводять за матрицею повного факторного експерименту з числом дослідів $N = 2^k$, де k – число факторів з кількістю рівнів кожного з факторів, рівною двом, або за матрицею дробового факторного експерименту.

Після кожної серії дослідів будують лінійну математичну модель:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

в якій коефіцієнти рівняння регресії визначаються за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N}; \quad b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{N}$$

Потім виконують статистичний аналіз рівняння, перевіряючи його на адекватність. Після цього виконують аналіз складових рівняння, тобто визначають напрямки зміни і силу впливу кожної з них на параметр оптимізації. Виконавши дисперсійний аналіз, відкидають з рівняння члени, які мають незначущі коефіцієнти. Наступний крок – круте сходження – це уявний (в думках) рух по найбільш короткому шляху в напрямку градієнта функції. Через декілька розрахункових кроків зміни за кожним з факторів, котрі досліджуються, знову ставиться нова серія дослідів з наступним аналізом і визначенням нового напрямку руху за градієнтом. Такий “кроковий” процес продовжують до досягнення дослідником “майже стаціонарної” області функції відклику. Слід зауважити, що надійні результати дослідження на шляху “крутого сходження” можна отримати лише у випадку функції відклику, яка неперервна, гладка та має лише один оптимум.

В зв'язку з тим, що “майже стаціонарна” область функції відклику переважно нелінійна, звичайно вдається її описати з достатньою точністю поліномом другого порядку.

З теорії інтерполяції відомо, що для знаходження роздільних оцінок кількість рівнів кожного з факторів повинна бути на одиницю більшою степеня інтерполяційного поліному. Іншими словами, для розрахунку поліному другого порядку кількість рівнів факторів повинна бути не менша трьох.

Але використання повного факторного експерименту типу 3 не раціонально, оскільки планування характеризується різким збільшенням об'єму досліджень. Скоротити кількість дослідів можна при використанні центральних композиційних планів, ядром яких є лінійні ортогональні плани. Переваги цих планів полягають в тому, що якщо гіпотеза про лінійність функції відклику на останньому кроці процедури крутого сходження не підтвердилась, то нема необхідності ставити всі експерименти заново для одержання моделі більш високого порядку. Достатньо в цьому випадку до попереднього плану додати декілька спеціально спланованих експериментальних точок. Так, експерименти додатково ставляться в центрі плану для того, щоб за різницею $(b_0 - \bar{y}_0)$ знайти кривизну поверхні відклику. У випадку підтвердження неадекватності лінійної моделі також додають так звані “зіркові точки”, які лежать на гіперсфері діаметром $2a$. Тоді загальна кількість дослідів центрального композиційного плану при k – факторах дорівнює

$$N = 2^k + 2k + n_0$$

де n_0 – кількість дослідів в центрі плану;

$2k$ – кількість “зіркових точок”.

Тоді при $k = 3$ треба поставити всього 15 дослідів замість $3^3 = 27$.

Проте, на відміну від лінійного наближення при ортогональному плануванні другого порядку оцінювання коефіцієнтів поліному мають

неоднакові дисперсії. Центральні композиційні рототабельні плани в цьому відношенні кращі, оскільки дозволяють мінімізувати помилки у визначенні параметра оптимізації, пов'язані з неадекватністю подання результатів дослідження поліномом другого порядку.

Для того, щоб композиційний план був рототабельним, величину зіркового плеча a вибирають з умови: $\alpha = 2^{k/4}$.

Крім того, кількість центральних точок збільшують та визначають в залежності від числа факторів.

Формули для розрахунків коефіцієнтів поліному та їх дисперсій при рототабельному плануванні такі:

$$b_0 = \frac{A}{N} \left[2\lambda(k+2) \cdot (oy) + 2\lambda c \sum_{i=1}^k (i iy) \right];$$

$$b_i = \frac{c}{N} (iy);$$

$$b_{ij} = \frac{c^2}{N\lambda} (ijy);$$

$$b_{ii} = \frac{A}{N} \left\{ c^2 [(k+2)\lambda - k] \cdot (i iy) + c^2 (1-\lambda) \sum_{i=1}^k (i iy) - 2\lambda c (oy) \right\};$$

де

$$c = \frac{N}{\sum_{i=1}^N x_{ii}^2};$$

$$A = \frac{1}{2\lambda[(k+2)\lambda - k]};$$

$$\lambda = \frac{kN}{(k+2) \cdot n_1};$$

$$n_i = N - n_0;$$

$$(oy) = \sum_{i=1}^N x_{oi} \cdot y_i;$$

$$(i iy) = \sum_{i=1}^N x_{ii}^2 \cdot y_i;$$

$$(ijy) = \sum_{i=1}^N x_{ij} \cdot y_i;$$

$$(i iy) = \sum_{i=1}^N x_{ii} \cdot x_{ii} \cdot y_i.$$

Після розрахунків дисперсій коефіцієнтів проводяться перевірки гіпотез щодо відтворення результатів експериментів, значущості коефіцієнтів та адекватності моделі.

Аналіз отриманої адекватної моделі при переведенні її в канонічну форму виконують методами аналітичної геометрії. Звільнюючись від лінійних членів, переносять модель на початок координат, а поворотом функції відклику звільнюються від ефектів взаємодії.

Потім аналізують поверхню відклику і знаходять значення факторів, які відповідають оптимуму параметра.

В даних методичних матеріалах було роз'яснено особливості проектування різального інструмента. Було викладено основні положення двох принципів проектування різального інструмента: адресного і модульного проектування, вказано умови використання кожного з цих принципів.

Було наведено ряд лабораторних робіт за цими принципами проектування, зокрема було розглянуто особливості геометричних параметрів робочої частини затилувальних різців, досліджено геометричні параметри робочої частини різців для нарізання ходових гвинтів, досліджено процес формоутворення профілю деталей які виготовлять інструментами, що працюють за методом обкатування, а також метод перевірки профілю інструмента, отриманого шляхом розрахунку. Наведено також і ряд лабораторних робіт з модульного проектування різального інструмента, зокрема дослідження впливу на точність позиціювання різців різних методів, що забезпечують безпідналагоджувальну заміну інструмента.

В матеріалах до практичних занять було наведено принципи визначення величини задніх кутів в різних точках різального леза фасонних фрез, роз'яснено вплив переднього кута зуба інструмента на профіль деталі, визначено профіль зуба гребінчастої різьонарізної фрези. Було також викладено принципи розрахунку точності позиціювання і податливості інструментальних блоків для модульного принципу проектування.

ЛИТЕРАТУРА

1. Армарего И.Дж.А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1977. – 325с.
2. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344с.
3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник. – М.: Высш. шк., 1985. – 304с.
4. Грановский Г.И., Панченко К.П. Фасонные резцы. – М.: Машиностроение, 1975. – 309с.
5. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. – М.: Радио и связь, 1985. – 200с.
6. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания. – М.: Машгиз, 1956. – 368с.
7. Ильин Г.П. Обрабатываемость аустенитных сталей твердосплавными инструментами: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Хмельницкий ф-л Украинского полиграфического института, 1967. – 208с.
8. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1984. – 270с.
9. Клюйко З.В. Основы кинематики формообразования на металлорежущих станках. – М.: СТИН № 11–12, 1997.
10. Кудевичкий Я.В. Фасонные фрезы. – Л.: Машиностроение, 1978. – 176с.
11. Лашнёв С.И., Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1975. – 391с.
12. Лашнев С.И., Юликов М.И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1980. – 208с.
13. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320с.
14. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1968. – 368с.
15. Металлорежущие инструменты: Учебник. / Г.Н. Сахаров и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328с.
16. Медведицков С.И. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. – М.: Машиностроение, 1981. – 104с.
17. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340с.
18. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. – М.: Машиностроение, 1985.–199с.
19. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Высшая школа, 1974. – 590с.
20. Протяжки для обработки отверстий. / Д.К. Маргулис и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 230с.

21. Резников А.М. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279с.
22. Родин П.Р. Основы теории проектирования режущих инструментов. –М.: Машгиз, 1960. – 160с.
23. Родин П.Р. Проектирование и производство режущего инструмента. –К.: Техника, 1968. –358с.
24. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием. – К.: Вища школа, 1977. – 192с.
25. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. – К.: Вища школа, 1979. – 431с.
26. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. – К.: Вища школа, 1990. – 424с.
27. Романов В. Ф. Расчеты зуборезных инструментов. – М.: Машиностроение, 1969. – 251с.
28. Сахаров Г.Н. Обкаточные инструменты. – М.: Машиностроение, 1983. – 230с.
29. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – 952с.
30. Скочко Е.В. Способ заточки сверл. – А.с. СССР № 1256929 МКИВ243/24. – 1986.
31. Скочко Е.В. Исследование геометрических параметров спиральных сверл в различных системах координат. // Праці ЖФКПІ. – Випуск І. –1993. –С.109 – 124.
32. Скочко Е.В. Инструмент для выглаживания. – А.с. СССР №1278191 МКИ В24 В 39/00. – 1985
33. Скочко Е.В. О возможности обработки деталей в условиях резания. // Праці ЖФКПІ. Випуск 2. – 1994. – С. 136 – 142.
34. Скочко Е.В. Об определении множества режущих инструментов для обработки заданной детали. // Праці ЖФКПІ. Випуск 2. – 1994. – С. 142 – 155.
35. Скочко Є.В. Системний аналіз і удосконалення різальних інструментів та технологічних оброблювальних систем. // Вісник ЖІТІ. – 1994. –№ 1. – С. 101 – ПО.
36. Скочко Є.В. Фізична класифікація різальних інструментів. // Вісник ЖІТІ.–1997. –№6. – С.47 – 50.
37. Скочко Є.В. Дослідження різальних частин різців. // Вісник ЖІТІ. – 1998. – №7. – С. 67 – 72.
38. Скочко Є.В. Причини виникнення та розвитку коливань при обробці деталей різанням. //Вісник ЖІТІ.–1998. – С. 31– 37.
39. Скочко Є.В. Способ профилирования дискового режущего инструмента. А.с. СССР№1491617МКИ В23 В25/06. – 1989.
40. Скочко Є.В. Методи формоутворення поверхонь деталей при обробці різанням. //Вісник ЖІТІ. – 1999. – С. 118 – 119.
41. Справочник инструментальщика. / И.А.Ординарцев и др. – Л.:

Машиностроение, 1987.– 846с.

42. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. – М.: Машиностроение, 1989.– 296с.

43. Трент Е.М. Резание металлов. Пер. с англ. – М: Машиностроение, 1980 – 263 с.

44. Филиппов Г.В. Режущий инструмент. – Л.: Машиностроение, 1981 – 392 с.

45. Шатин В.П., Шатин В.Ю. Справочник инструментальщика-конструктора. – М.: Машиностроение, 1975 – 456 с.

46. Юликов М.И. Классификация режущих инструментов. – М.: ЦИНТИМАШ, 1960. – 56с.

47. Юликов М.И. Автоматизация проектирования режущих инструментов. – М.: ВЗМИ, 1982. – 94 с.

48. Юликов М.И., Гобунов Б.И., Колесом П.Н. Проектирование и производство режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1987 – 296 с.

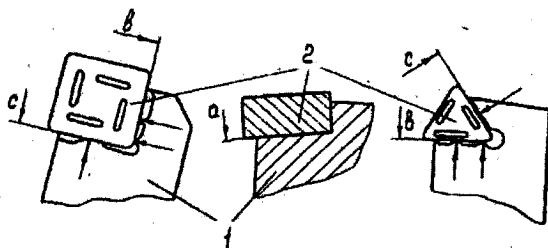
49. Ящирицин П.И. Ероменко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Мн.: Выс. шк., 1990. – 512 с.

Додаток Б

(Способи кріплення і схеми базування ЗШ у гніздах)

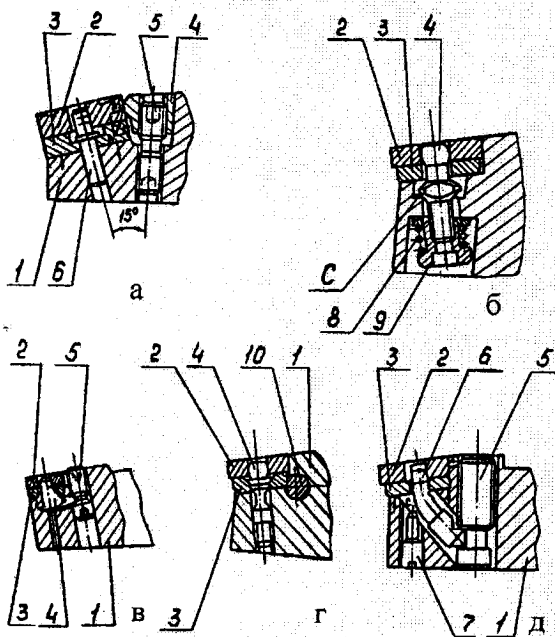
- d - спосіб Р(через центральний отвір)
- e - спосіб S(центральним гвинтом)
- f - спосіб М(через центральний отвір та прихоплювачем)
- g - спосіб С(без отвору прихоплювачем)

Схеми базування ЗБП в гнізді державки:



- a - опорна поверхня;
- b - головна упорна поверхня;
- c - допоміжна упорна поверхня

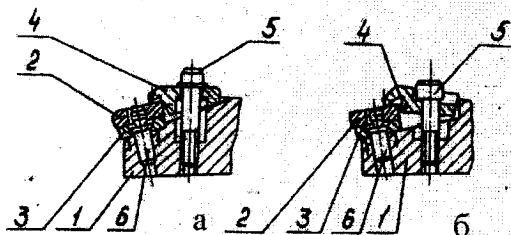
Схеми механізмів закріплення різальних пластин



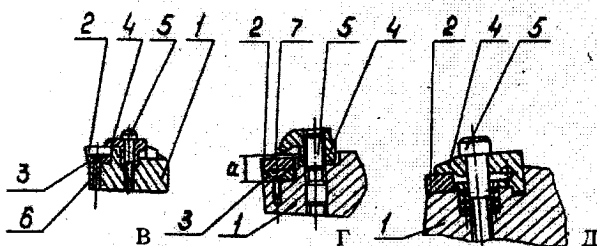
Механізми кріплення різальної пластини:

а - клином; б - литим гвинтом; в - литим важелем; г - пружним елементом; д - зігнутим важелем. 1 - державка; 2,3 - різальна та опорна пластини; 4-штифт а, хитний штифт б, литий важіль в, пружний штифт г, зігнутий важіль д; 5 - гвинт; 6 - клин; 7 - упор

Спосіб М



Спосіб С



Кріплення різальних пластин в гнізді державки:

а - з зв'язувальним прихоплювачем;

б - поворотним прихоплювачем;

в, г - прихоплювачем;

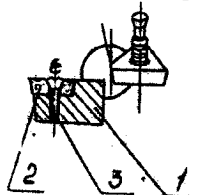
д - клиновим прихоплювачем.

1 - державка; 2 - різальна пластинка;

3 - опорна пластинка; 4 - прихоплювач; 5 - гвинт;

6 - штифт; 7 - стружколам

Спосіб кріплення пластини гвинтом з конічною головкою:

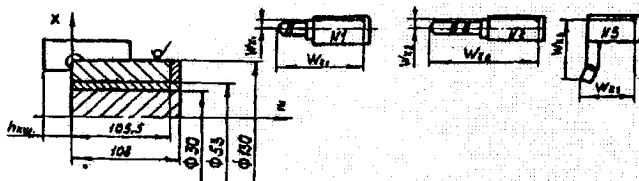


1 - державка,

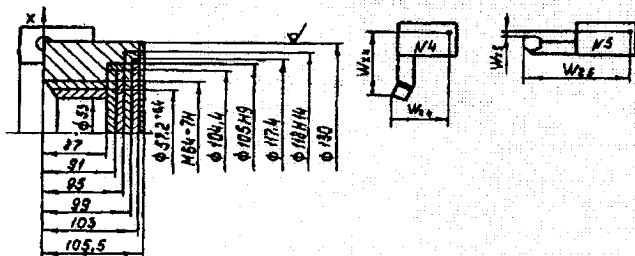
2 - різальна пластинка;

3 - гвинт з конічною головкою

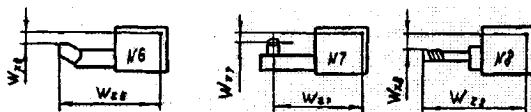
Вихідні дані інструментальної оснастки верстата з ЧПК, модель верстата, деталь, номер операції



Свердло D=30 РБЛ15 Свердло D=53 РБЛ15 Свердло P960 - 1121
 $W_{x1}=52$ $W_{x1}=52$ $W_{x1}=120$
 $W_{z2}=367$ $W_{z2}=377$ $W_{z2}=119$



P. 960 - 1121.75 P.519 - 004.T05
 $W_{x4}=120$; $W_{z4}=119$; $W_{x3}=65$; $W_{z5}=152$;



Опр.663 - 057 - 01 різці - гребінки M64
 P. 519 - 004.T15 P.51 - 24 - 050.T5 524 - 005 P6M5
 $W_{x6}=65$ $W_{x7}=22$ $W_{x8}=32$
 $W_{z6}=152$ $W_{z7}=277$ $W_{z8}=283$

Навчальне видання

Борис Миколайович Пентюк
Анатолій Леонідович Штурма

Проектування різального інструмента

Практикум

Оригінал – макет підготовлено Штурмою А.Л.

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор З.В. Поліщук

Науково – методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 2.11.2002
21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку 30.03.2007 р.
Формат 29,7×42¹/₄
Друк різнографічний
Тираж 75 прим.
Зам. № 2007 - 052

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум.друк.арк. 4.41

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно – видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 2.11.2002
21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ