Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

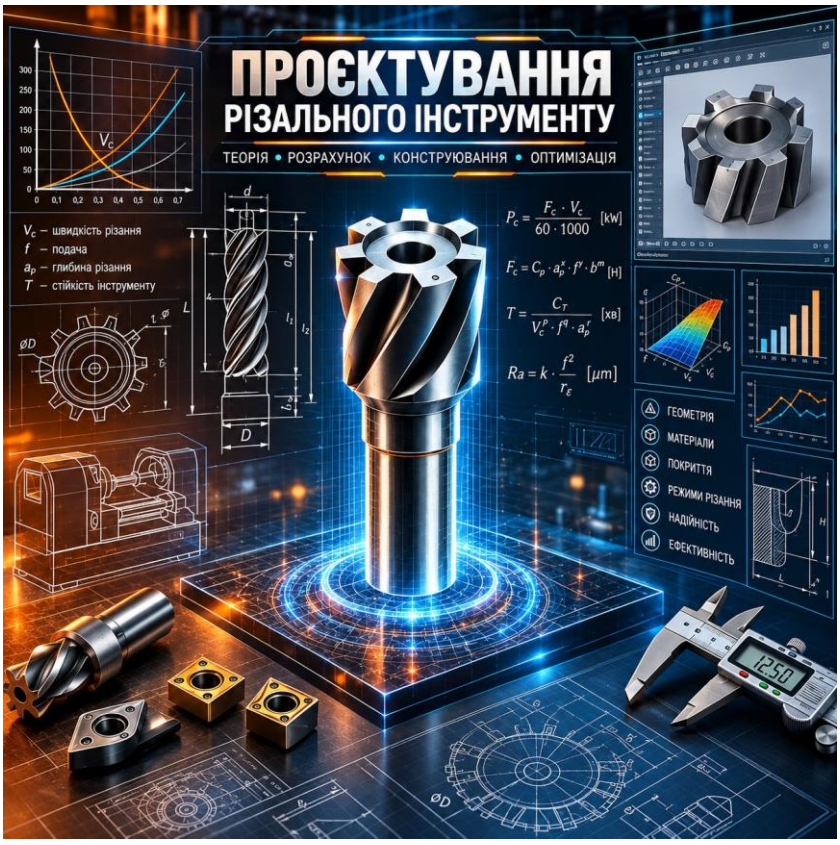
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

з навчальної дисципліни

“ПРОЄКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ”

для здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем
вищої освіти спеціальностей
G9 «Прикладна механіка» та G11 «Машинобудування»



Кропивницький
2026

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

з навчальної дисципліни

“ПРОЄКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ”

для здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем
вищої освіти спеціальностей
G9 «Прикладна механіка» та G11 «Машинобудування»

Затверджено на засіданні
кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки.
Протокол № 1 від 26.08.2026 р.

Кропивницький
2026

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни “Проєктування різального інструменту” [для здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальностей G9 «Прикладна механіка» та G11 «Машинобудування»] / Уклад. П. М. Єрьомін, О. В. Лисенко., А. Р. Апаракін. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 88 с.

Затверджено на засіданні кафедри
машинобудування, мехатроніки і робототехніки.
Протокол № 1 від 26.08.2026 р.

Укладачі:

Олександр Лисенко, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки;
Павло Єрьомін, канд. техн. наук, старший викладач кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки;
Антон Апаракін, канд. техн. наук., старший викладач кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки.

Рецензенти:

Кирил Щербина, канд. техн. наук., доцент, доцент кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки;
Олександр Скібінський, канд. техн. наук., доцент, доцент кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки.

Методичні рекомендації висвітлюють організаційні та практичні аспекти виконання практичних робіт з навчальної дисципліни “Проєктування різального інструменту” здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальностей G9 «Прикладна механіка» та G11 «Машинобудування» розроблені у відповідності до освітньо-професійних програм підготовки бакалаврів.

© Практична робота за першим
(бакалаврським) рівнем вищої освіти

Укладачі: О. Лисенко, П. Єрьомін,
А. Апаракін 2026
© ЦНТУ, м. Кропивницький

ЗМІСТ

ВСТУП……. 6

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВКАЗІВКИ……..... 9

СТРУКТУРА І ЗМІСТ ЗВІТУ З ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ……. 13

ЗАХИСТ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ……... 14

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. Розрахунок та проєктування токарного різця……..... 17

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. Проєктний розрахунок круглого фасонного різця……..... 21

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3. Визначення розмірів робочої частини розвертки …… 37

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4. Розрахунок круглої шліцьової протяжки ……. 42

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. Проєктний розрахунок комплекту мітчиків..... 49

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6. Проєктування черв'ячної фрези для обробки черв'ячного колеса ……. 56

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7. Проєктування конструкції шліфувального круга……..... 64

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ……. 84

ВСТУП

Дисципліна «**Проєктування різального інструменту**» є важливою складовою професійної підготовки здобувачів бакалаврського рівня за спеціальностями машинобудівного профілю. Ефективність сучасного механічного оброблення значною мірою визначається правильним вибором, розрахунком і проєктуванням різального інструменту, оскільки саме інструмент безпосередньо забезпечує формування необхідної геометрії, точності та якості обробленої поверхні.

Обробка різанням займає одне з провідних місць у сучасному машинобудівному виробництві. Незважаючи на активний розвиток адитивних технологій, лазерного, електрофізичного та електрохімічного оброблення, традиційні методи різання залишаються основою виготовлення значної частини машинобудівної продукції. Токарна, фрезерна, свердлильна, розточувальна, протяжна та шліфувальна обробка забезпечують отримання деталей із заданими розмірами, геометричною формою, взаємним розташуванням поверхонь і параметрами шорсткості.

Особливе значення обробка різанням має на завершальних етапах виготовлення відповідальних деталей, коли необхідно забезпечити високі показники точності та якості поверхонь. Саме механічне оброблення часто дає змогу отримати кінцеві геометричні параметри деталей після лиття, кування, штампування або термічного оброблення. У сучасному виробництві вимоги до точності та стабільності технологічних процесів постійно підвищуються, що безпосередньо впливає на вимоги до конструкції та експлуатаційних характеристик різального інструменту.

Розвиток верстатів із числовим програмним керуванням, оброблювальних центрів, автоматизованих виробничих систем та гнучких виробничих комплексів істотно розширює можливості обробки різанням. Водночас автоматизація технологічних процесів висуває підвищені вимоги до надійності та прогнозованої поведінки різального інструменту. Зношування різальної частини, зміна геометрії інструменту та його передчасне руйнування можуть

призвести до погіршення якості деталей, зниження продуктивності та виникнення простоїв обладнання.

Важливим напрямом сучасного машинобудування є підвищення продуктивності, економічності та ресурсоефективності процесів різання. Збільшення швидкостей різання та подач, застосування нових інструментальних матеріалів, зносостійких покриттів і сучасних конструкцій інструменту дають змогу суттєво підвищити продуктивність оброблення. Разом із тим підвищення режимів різання супроводжується зростанням теплового та силового навантаження на інструмент, тому його конструкція повинна бути науково та інженерно обґрунтованою.

Вибір і проєктування різального інструменту безпосередньо пов'язані з технологічністю виготовлення деталей. Конструкція інструменту повинна відповідати матеріалу заготовки, її геометричним параметрам, характеру оброблення, типу виробництва та характеристикам верстатного обладнання. Неправильний вибір геометричних параметрів або інструментального матеріалу може спричинити збільшення сил різання, інтенсивне зношування, вібрації, перегрівання та зниження точності оброблення.

Сучасне машинобудування також характеризується широким застосуванням важкооброблюваних матеріалів – високоміцних і жароміцних сталей, титанових сплавів, нікелевих сплавів, загартованих сталей, твердих сплавів та композиційних матеріалів. Оброблення таких матеріалів потребує спеціальних конструкцій інструменту, сучасних інструментальних матеріалів і раціонально вибраних режимів різання. Тому знання закономірностей формування та функціонування різального інструменту є необхідною складовою підготовки сучасного інженера-механіка.

У цьому контексті проєктування різального інструменту є комплексним інженерним завданням, що поєднує положення теорії різання, матеріалознавства, конструювання, технології машинобудування та розрахункових методів. Майбутній фахівець повинен уміти визначати конструктивні параметри інструменту, вибирати матеріал його робочої частини, обґрунтовувати геометрію різальної частини, визначати режими оброблення,

виконувати перевірочні розрахунки та оцінювати працездатність запропонованої конструкції.

Практичні роботи з дисципліни «**Проєктування різального інструменту**» спрямовані на закріплення теоретичних положень та набуття здобувачами навичок самостійного виконання проєктно-розрахункових завдань. У процесі виконання робіт здобувачі послідовно опановують методи проєктування найбільш поширених видів металорізального інструменту: токарних і фасонних різців, розверток, протяжок, мітчиків, черв'ячних фрез та інших інструментів, що використовуються в сучасних технологічних процесах.

Виконання практичних розрахунків сприяє розвитку у здобувачів інженерного мислення, навичок роботи з нормативно-довідковою літературою, уміння обґрунтовувати прийняті технічні рішення та виконувати перевірочні розрахунки. Отримані знання можуть бути безпосередньо використані під час виконання курсових і кваліфікаційних робіт, розроблення технологічних процесів механічного оброблення, а також у подальшій професійній діяльності в галузі машинобудування.

Таким чином, вивчення дисципліни «**Проєктування різального інструменту**» формує у майбутніх бакалаврів комплекс компетентностей, необхідних для обґрунтованого вибору та проєктування різального інструменту з урахуванням технологічних, конструктивних і експлуатаційних вимог сучасного машинобудівного виробництва. Це забезпечує підготовку фахівців, здатних не лише використовувати готовий інструмент, а й аналізувати умови його роботи, виконувати необхідні розрахунки та обґрунтовано приймати технічні рішення щодо підвищення ефективності процесів механічного оброблення.

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ВКАЗІВКИ

Для фахівця у галузі металообробки важливо знати і володіти навичками проєктування та виробництва різального інструменту. Тому метою вивчення навчальної дисципліни «Проєктування різального інструмента» є формування у здобувачів вміння розв’язувати такі типові задачі:

– визначення типової конструкції різального інструмента;

– графічне та аналітичне визначення профілю різальної кромки стандартного різального інструмента;

– проєктування конструкції стандартного різального інструмента за існуючими методиками;

– розрахунок складових різального інструмента на міцність;

– особливості конструкції та застосування різального та допоміжного інструмента в автоматизованому виробництві.

Практична частина з дисципліни «Проєктування різального інструмента» складається з семи робіт та призначена для закріплення на практиці теоретичного матеріалу.

Метою практичних робіт з навчальної дисципліни «Проєктування різального інструмента» є ознайомлення майбутніх фахівців з основними положеннями проєктування різального інструменту, а також із системами автоматизованого проєктування конструкцій різальних інструментів.

Завдання практичних робіт.

Завдання практичних робіт з навчальної дисципліни «Проєктування різального інструменту» полягає у:

– набутті здобувачами практичних навичок вибору, розрахунку та проєктування різальних інструментів відповідно до заданих умов механічної обробки;

– оволодінні здобувачами методиками проєктного та перевірочного розрахунку основних типів різального інструменту;

– формуванні навичок визначення конструктивних і геометричних параметрів робочої та приєднувальної частин різального інструменту залежно

від матеріалу заготовки, виду обробки, параметрів оброблюваної поверхні та умов експлуатації;

– набутті практичних навичок вибору інструментальних матеріалів, конструктивного виконання різальної частини та способів кріплення різальних елементів;

– опануванні принципів розрахунку різального інструменту на міцність, жорсткість, точність і працездатність;

– формуванні вмінь аналізувати вихідні дані та приймати технічно обґрунтовані конструктивні рішення під час проєктування різального інструменту;

– набутті здобувачами здатності користуватися нормативною, довідковою та технічною документацією, стандартами й каталогами інструментальної продукції;

– формуванні навичок використання інформаційних технологій і систем автоматизованого проєктування для виконання інженерних розрахунків, побудови моделей і розроблення конструкторської документації на різальний інструмент.

Результати навчання.

У результаті виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Проєктування різального інструменту» здобувач повинен **знати**:

– класифікацію, призначення, конструктивні особливості та сфери застосування основних типів різального інструменту;

– основні принципи конструювання та проєктування різальних інструментів;

– геометричні параметри різальної частини інструменту та їх вплив на процес різання, стійкість інструменту і якість обробленої поверхні;

– властивості та сфери застосування інструментальних сталей, твердих сплавів, різальної кераміки, надтвердих та інших інструментальних матеріалів;

– методики визначення основних конструктивних розмірів і параметрів різального інструменту;

– методи виконання проєктних і перевірочних розрахунків різальних інструментів;

– вимоги до точності, шорсткості, конструктивного виконання та оформлення робочих креслень різального інструменту;

– принципи стандартизації та уніфікації конструктивних елементів різальних інструментів;

– можливості застосування сучасних CAD/CAE-систем для розрахунку, моделювання та проєктування різального інструменту;

– основні тенденції розвитку конструкцій, матеріалів і методів проєктування різального інструменту.

Вміти:

– аналізувати умови механічної обробки та обґрунтовано вибирати тип і конструкцію різального інструменту;

– вибирати матеріал різальної частини інструменту відповідно до матеріалу заготовки, режимів різання та умов експлуатації;

– визначати та обґрунтовувати геометричні параметри різальної частини інструменту;

– виконувати проєктні та перевірочні розрахунки основних конструктивних елементів різального інструменту;

– визначати габаритні, приєднувальні та робочі розміри інструменту;

– проводити перевірку спроєктованого інструменту за основними критеріями міцності, жорсткості, точності та працездатності;

– користуватися стандартами, нормативними матеріалами, довідниками та каталогами під час вибору й проєктування різального інструменту;

– розробляти та оформлювати конструкторську документацію на спроєктований різальний інструмент відповідно до встановлених вимог;

– застосовувати сучасні засоби комп'ютерного моделювання та системи автоматизованого проєктування для виконання розрахунків, створення 2D-креслень і 3D-моделей різального інструменту;

– аналізувати отримані результати розрахунків, порівнювати можливі конструктивні рішення та обґрунтовувати прийняту конструкцію різального інструменту.

Набути соціальних навичок (soft-skills):

– враховувати при прийнятті рішень основні фактори техногенного впливу на навколишнє середовище і основні методи захисту довкілля, охорони праці та безпеки життєдіяльності;

– вільно спілкуватися з професійних питань усно і письмово державною та іноземною мовою, включаючи знання спеціальної термінології та навички міжособистісного спілкування.

Передумови для вивчення дисципліни.

Враховуючи послідовність накопичення знань та інформації, практичні роботи з курсу «Проєктуванням різального інструмента» виконуються після викладання наступних навчальних дисциплін: «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство», «Опір матеріалів», «Технологічні основи машинобудування».

СТРУКТУРА І ЗМІСТ ЗВІТУ З ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

За своєю структурою звіт з практичної роботи складається з наступних елементів:

1) Титульний аркуш (додаток);

2) Тема та мета практичної роботи;

3) Короткі теоретичні відомості;

4) Розрахунково-технологічна частина;

5) Висновки.

Практичну роботу оформлюють від руки в зошиті або друкують на одній стороні аркуша білого паперу формату А4, шрифт – Times New Roman (для виділення прикладів, понять тощо допускається використання інших шрифтів), розмір шрифту – 14, відстань між рядками 1,5 інтервали, верхній і нижній поля – 20 мм, лівий – 30 мм, правий – 10 мм. Шрифт друку повинен бути чітким. Щільність тексту повинна бути однаковою. Загальний обсяг практичної роботи має бути від 5 до 10 аркушів.

У висновках формулюються основні результати роботи. Висновки умовно складаються з трьох логічних частин: в першій частині зазначається що саме було зроблено у роботі; у другій частині описується отриманий результат і у третій за необхідності аналізується отриманий результат. Загальний обсяг висновків не повинен перевищувати трьох-чотирьох речень.

ЗАХИСТ ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

Звіт з практичної роботи захищається здобувачем в усній формі шляхом відповіді на контрольні запитання, що наведені після кожної з практичних робіт.

Критерії оцінювання відповідей здобувача контрольні запитання:

- Неправильна відповідь – 0 балів;
- Вірна відповідь – 1 бал.

Критерії оцінювання захисту кожної з виконаних лабораторних робіт за національною шкалою:

- Незадовільно – 0…2 бали;
- Задовільно – 3 бали;
- Добре – 4 бали;
- Відмінно – 5 балів.

Критерії оцінювання виконання кожної з практичних робіт:

- Невиконана практична робота – 0 балів;
- Виконана, але незахищена практична робота – 2 бали;
- Виконана та захищена практична робота – від 3 до 5 балів.

Загальна сума балів (ЗСБ), яку атестований здобувач може набрати протягом семестру під час виконання практичних робіт – від 15 до 25. Оцінки в балах вказані по дисципліні в цілому (ЗСБ) наведені в табл.1.

Оцінювання рівня підготовки здобувача під час проведення захисту практичної роботи здійснюється за 100-бальною шкалою, національною шкалою та шкалою ЄКТС.

Сумарна оцінка за вивчення дисципліни виставляється за 100-бальною шкалою, національною шкалою та шкалою ЄКТС.

Екзаменаційна (залікова) оцінка за шкалою ЄКТС − це оцінка, яка визначається шляхом переведення викладачем підсумкової оцінки семестрового контролю, вираженої у 100-бальній шкалі, в оцінку за шкалою ЄКТС (A, B, C, D, E, FX, F).

Екзаменаційна (залікова) оцінка за національною шкалою − це оцінка, яка визначається шляхом переведення викладачем підсумкової оцінки за 100-бальною шкалою у академічну національну оцінку («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно», «зараховано», «незараховано»).

Для переводу підсумкової оцінки за вивчення навчальної дисципліни, вираженої у балах, у екзаменаційну (залікову) оцінку за національною шкалою та в екзаменаційну (залікову) оцінку за шкалою ЄКТС використовується шкала (табл. 1).

Таблиця 1

Відповідність шкали оцінювання ЄКТС національній системі оцінювання в Україні та ЦНТУ

Оцінка за шкалою ЄКТС	**Визначення**	**Оцінка**		
		За національною системою (екзамен, диф. залік, курс. проєкт, курс. робота, практика)	**За національною системою (залік)**	**За 100-бальною шкалою ЦНТУ**
A	ВІДМІННО – відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)	Зараховано	90-100
B	ДУЖЕ ДОБРЕ – вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)	Зараховано	82-89
C	ДОБРЕ – в загальному правильна робота з певною кількістю грубих помилок			74-81
D	ЗАДОВІЛЬНО – непогано, але зі значною кількістю недоліків	3 (задовільно)	Зараховано	64-73
E	ДОСТАТНЬО – виконання задовольняє мінімальні критерії			60-63
FX	НЕЗАДОВІЛЬНО – потрібно попрацювати перед тим, як перескласти	2 (незадовільно)	Незараховано	35-59
F	НЕЗАДОВІЛЬНО – необхідна серйозна подальша робота			1-34

Рівень знань здобувачів вищої освіти за національною шкалою відповідає таким критеріям:

− «відмінно» – здобувач вищої освіти досконало засвоїв теоретичний матеріал, глибоко і всебічно знає зміст навчальної дисципліни, основні положення наукових першоджерел та рекомендованої літератури, логічно мислить і будує відповіді, вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу, висловлює своє ставлення до тих чи інших проблем, демонструє високий рівень засвоєння практичних навичок;

− «добре» – здобувач вищої освіти добре засвоїв теоретичний матеріал, аргументовано викладає його, володіє основними аспектами з першоджерел та рекомендованої літератури, має практичні навички, висловлює свої міркування з приводу тих чи інших проблем, але припускається певних неточностей і похибок у логіці викладу теоретичного змісту або при аналізі практичного матеріалу;

− «задовільно» – здобувач вищої освіти, в основному, володіє теоретичними знаннями з навчальної дисципліни, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, але непереконливо відповідає, додаткові питання викликають невпевненість або відсутність стабільних знань; відповідаючи на запитання практичного характеру, виявляє неточності у знаннях, не вміє оцінювати факти та явища, пов’язувати їх із майбутньою діяльністю;

− «незадовільно» – здобувач вищої освіти не опанував навчальний матеріал дисципліни, не знає наукових фактів, визначень, майже не орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, наукове мислення відсутнє, практичні навички не сформовані.

До підсумкового контролю допускаються здобувачі, атестовані з виконання практичних робіт з дисципліни.



Мета роботи: для заданих умов обробки розрахувати та спроєктувати конструкцію токарного різця.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Ознайомитись з наведеним прикладом розрахунку токарного різця;
2. Згідно з прикладом, виконати розрахунок токарного різця для заданих умов обробки;
3. Виконати ескіз розрахованого інструменту;
4. Оформити звіт з практичної роботи;
5. Захистити звіт, відповісти на наведені контрольні запитання.

Завдання: розрахувати прохідний токарний різець з твердого сплаву для чорнового обточування валу (Сталь 45, межа міцності $\sigma_b = 750 МПа = 750 \cdot 10^6 Н/м^2$). Діаметр заготовки D = 80 *мм*, припуск на обробку (на сторону) h = 3 *мм*, подача s = 0,3 *мм/об*, виліт різця L = 60 *мм*.

Порядок розрахунку токарного різця:

1. Матеріалом для державки різця обираємо Сталь 50 з межею міцності $\sigma_b = 650 МПа = 650 \cdot 10^6 Н/м^2$ та допустимим напруженням на вигін $\sigma_u = 200 МПа = 200 \cdot 10^6 Н/м^2$.

2. Визначаємо тангенціальну складову сили різання P_z:

$$P_Z = 9{,}81 C_{Pz} t^{X_{Pz}} s^{Y_{Pz}} k_{Pz}. \quad (1.1)$$

Після підстановки необхідних даних у формулу (1.1) отримаємо:

$$P_Z = 9{,}81 \cdot 191 \cdot 3 \cdot 0{,}3^{0{,}75} \cdot 1 \approx 2300 H. \quad (1.2)$$

3. Ширину прямокутної державки для чорнового точіння обираємо так:

$$H = 1{,}6B. \quad (1.3)$$

Ширина прямокутної державки згідно з рекомендаціями:

$$B = \sqrt[3]{\frac{6P_z L}{(1{,}6)^2 \sigma_u}}. \quad (1.4)$$

Після підстановки необхідних даних у формулу (1.4) отримаємо:

$$B = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 2300 \cdot 0{,}060}{2{,}56 \cdot 200 \cdot 10^6}} \approx 0{,}01631 \text{ м} \approx 16{,}31 \text{ мм}. \quad (1.5)$$

Згідно з рекомендаціями приймаємо наступне значення ширини державки різця:

$$B = 16 \text{ мм}. \quad (1.6)$$

З врахуванням (1.3) та (1.6) отримаємо:

$$H = 1{,}6 \cdot 16 = 25{,}6 \text{ мм}. \quad (1.7)$$

Згідно з рекомендаціями приймаємо наступне значення висоти державки різця:

$$H = 25\ мм. \tag{1.8}$$

4. Перевіряємо на жорсткість та міцність державку різця.

4.1. Згідно з рекомендаціями, що наведені в [7], визначаємо максимально допустиме навантаження на державку різця:

$$P_{Z\,доп} = \frac{BH^2\sigma_u}{6L}. \tag{1.9}$$

Після підстановки необхідних даних у формулу (1.9) отримаємо:

$$P_{Z\,доп} = \frac{\left(16\cdot10^{-3}\right)\cdot\left(25\cdot10^{-3}\right)^2\cdot\left(200\cdot10^{6}\right)}{6\cdot\left(60\cdot10^{-3}\right)} \approx 5550\ H. \tag{1.10}$$

4.2. Згідно з рекомендаціями, що наведені в [7], визначаємо максимальне навантаження, що допускається державкою різця:

$$P_{Z\,жорст} = \frac{3fEJ}{L^3}. \tag{1.11}$$

Згідно з рекомендаціями визначаємо момент інерції прямокутного перерізу державки різця:

$$J = \frac{BH^2}{12}. \tag{1.12}$$

Після підстановки необхідних даних у формулу (1.12) отримаємо:

$$J = \frac{\left(16\cdot10^{-3}\right)\cdot\left(25\cdot10^{-3}\right)^2}{12} = 2{,}08\cdot10^{-8}\ м. \tag{1.13}$$

Після підстановки необхідних даних та (1.13) у формулу (1.11) отримаємо:

$$P_{z жорст} = \frac{3 \cdot (0{,}01) \cdot (2 \cdot 10^{11}) \cdot (2{,}08 \cdot 10^{-8})}{(60 \cdot 10^{-3})^3} = 5770 H . \qquad (1.14)$$

5. Робимо висновок про результати проєктного розрахунку державки різця.

Спроєктована державка різця має достатню міцність та жорсткість:

$$P_{Z\ доп} = 5550 H > P_Z = 2320 H < P_{Z\ жорст} = 5770\ H .$$

Зміст звіту:

У звіті навести вихідні дані до розрахунку, оформити розрахунок інструменту, згідно прикладу, ескіз спроєктованої конструкції інструменту. Завершити звіт висновками.

Контрольні запитання:

1. Яке співвідношення висоти H до ширини B державки різця рекомендується для чорнового точіння?

2. Як приймаються значення висоти H та ширини B державки токарного різця?

3. Як визначається максимально допустиме навантаження на державку токарного різця?

4. Як визначається максимальне навантаження, що допускається державкою токарного різця?

5. Як розраховуються ширина прямокутної та радіус круглої державок токарного різця?



Мета роботи: для заданих умов обробки розрахувати та спроєктувати конструкцію круглого фасонного токарного різця.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Ознайомитись з наведеним прикладом розрахунку фасонного різця;
2. Згідно з прикладом, виконати розрахунок фасонного різця для заданих умов обробки;
3. Виконати ескіз розрахованого інструменту;
4. Оформити звіт з практичної роботи;
5. Захистити звіт, відповісти на наведені контрольні запитання.

Завдання: виконати проєктний розрахунок круглого фасонного різця з швидкорізальної сталі Р6М5, який встановлено базовою точкою 1 на висоті центру деталі (рис. 2.1), для чистової обробки валу (Сталь 45, межа міцності $\sigma_b = 750 МПа = 750 \cdot 10^6 Н / м^2$).

Розміри деталі (рис. 2.2):

$\ell_1 = 18$ *мм*, $\ell_2 = 26$ *мм*, $\ell_3 = 38$ *мм*, $\ell_4 = 18$ *мм*,

$r_1 = 15$ *мм*, $r_2 = r_1 + \ell_1 \sin(30°) = 15 + 18 \cdot 0.5 = 24$ *мм*,

$r_3 = 29$ *мм*, $r_4 = 29$ *мм*, $r_5 = 22$ *мм*, $r_6 = 20$ *мм*.

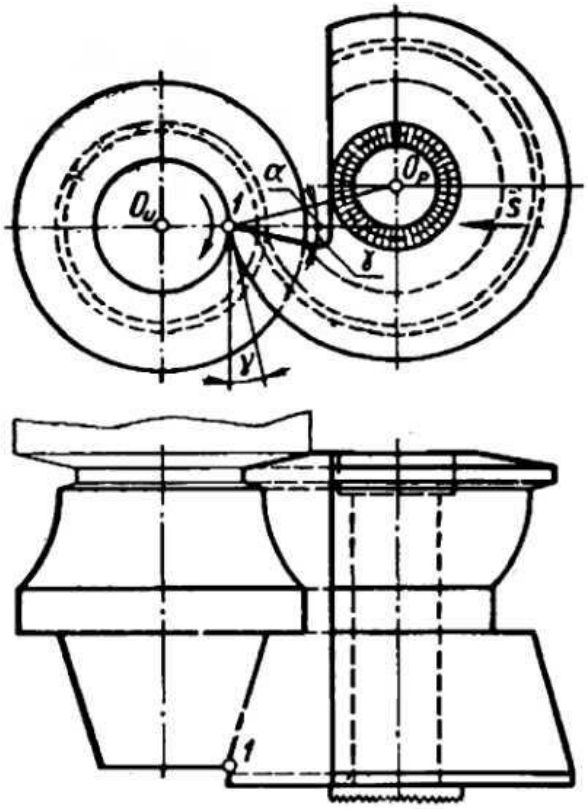


Рисунок 2.1 – Круглий фасонний різець, який встановлено базовою точкою 1 по висоті центру заготовки

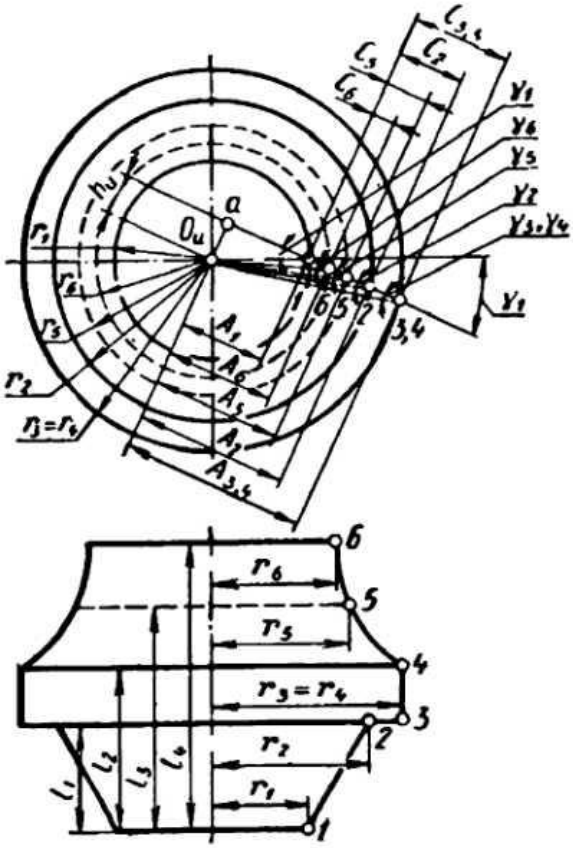


Рисунок 2.2 – Схема для коригувального розрахунку круглого фасонного різця, який встановлено базовою точкою 1 на висоті центру деталі

Проєктний розрахунок круглого фасонного різця:

Визначаємо передній та задній кут круглого фасонного різця з швидкорізальної сталі Р6М5 у базовій точці:

– передній кут $\gamma_1 = 20°$;

– задній кут $\alpha_1 = 12°$.

Відстань між центром деталі та передньою поверхнею круглого фасонного різця визначається так:

$$\mathrm{h}_u = r_1 \sin(\gamma_1). \tag{2.1}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.1) отримаємо:

$$\mathrm{h}_u = 15\sin(20°) \approx 5{,}130\,мм\,. \tag{2.2}$$

Відстань від центру деталі до базової точки 1 визначається так:

$$A_1 = r_1 \cos(\gamma_1). \tag{2.3}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.3) отримаємо:

$$A_1 = 15\cos(20°) \approx 14{,}095\,мм\,. \tag{2.4}$$

Передній кут у вузловій точці 2 розраховується так:

$$\gamma_2 = \arcsin\left(\frac{h_u}{r_2}\right). \tag{2.5}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.5) отримаємо:

$$\gamma_2 = \arcsin\left(\frac{5{,}130}{24{,}000}\right) \approx 12°20'32''. \quad (2.6)$$

Відстань від центру деталі до вузлової точки 2 визначається так:

$$A_2 = r_2 \cos(\gamma_2). \quad (2.7)$$

Після підстановки відповідних значень до (2.7) отримаємо:

$$A_2 = 24{,}000 \cos(12°20'32'') \approx 23{,}445 мм. \quad (2.8)$$

Відстань вздовж передньої поверхні від базової точки 1 до вузлової точки 2 визначається так:

$$C_2 = A_2 - A_1. \quad (2.9)$$

Після підстановки відповідних значень до (2.9) отримаємо:

$$C_2 = A_2 - A_1 = 23{,}445 - 14{,}095 = 9{,}350 мм. \quad (2.10)$$

Передній кут у вузловій точці 3 розраховується так:

$$\gamma_3 = \arcsin\left(\frac{h_u}{r_3}\right). \quad (2.11)$$

Після підстановки відповідних значень до (2.11) отримаємо:

$$\gamma_3 = \arcsin\left(\frac{5{,}130}{29{,}000}\right) \approx 10°11'20''. \quad (2.12)$$

Відстань від центру деталі до вузлової точки 3 визначається так:

$$A_3 = r_3 \cos(\gamma_3). \quad (2.13)$$

Після підстановки відповідних значень до (2.13) отримаємо:

$$A_3 = 29{,}000\cos(10°11'20'') \approx 28{,}543 мм\,. \qquad (2.14)$$

Відстань вздовж передньої поверхні від базової точки 1 до вузлової точки 3 визначається так:

$$C_3 = A_3 - A_1\,. \qquad (2.15)$$

Після підстановки відповідних значень до (2.15) отримаємо:

$$C_3 = 28{,}543 - 14{,}095 = 14{,}448 мм\,. \qquad (2.16)$$

Передній кут у вузловій точці 4 розраховується так:

$$\gamma_4 = \arcsin\left(\frac{h_u}{r_4}\right). \qquad (2.17)$$

Після підстановки відповідних значень до (2.17) отримаємо:

$$\gamma_4 = \arcsin\left(\frac{5{,}130}{29{,}000}\right) \approx 10°11'20''\,. \qquad (2.18)$$

Відстань від центру деталі до вузлової точки 4 визначається так:

$$A_4 = r_4\cos(\gamma_4)\,. \qquad (2.19)$$

Після підстановки відповідних значень до (2.19) отримаємо:

$$A_4 = 29{,}000\cos(10°11'20'') \approx 28{,}543 мм\,. \qquad (2.20)$$

Відстань вздовж передньої поверхні від базової точки 1 до вузлової точки 4 визначається так:

$$C_4 = A_4 - A_1. \tag{2.21}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.21) отримаємо:

$$C_4 = 28{,}543 - 14{,}095 = 14{,}448 мм. \tag{2.22}$$

Передній кут у вузловій точці 5 розраховується так:

$$\gamma_5 = \arcsin\left(\frac{h_u}{r_5}\right). \tag{2.23}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.24) отримаємо:

$$\gamma_5 = \arcsin\left(\frac{5{,}130}{22{,}000}\right) \approx 13°29'05''. \tag{2.24}$$

Відстань від центру деталі до вузлової точки 5 визначається так:

$$A_5 = r_5 \cos(\gamma_5). \tag{2.25}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.25) отримаємо:

$$A_5 = 22{,}000 \cos(13°29'05'') \approx 21{,}394 мм. \tag{2.26}$$

Відстань вздовж передньої поверхні від базової точки 1 до вузлової точки 5 визначається так:

$$C_5 = A_5 - A_1. \tag{2.27}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.27) отримаємо:

$$C_5 = 21{,}394 - 14{,}095 = 7{,}299 мм\,. \tag{2.28}$$

Передній кут у вузловій точці 6 розраховується так:

$$\gamma_6 = \arcsin\left(\frac{h_u}{r_6}\right). \tag{2.29}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.29) отримаємо:

$$\gamma_6 = \arcsin\left(\frac{5{,}130}{20{,}000}\right) \approx 14°51'45''\,. \tag{2.30}$$

Відстань від центру деталі до вузлової точки 6 визначається так:

$$A_6 = r_6 \cos(\gamma_6). \tag{2.31}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.31) отримаємо:

$$A_6 = 20{,}000 \cos(14°51'45'') \approx 19{,}331 мм\,. \tag{2.32}$$

Відстань вздовж передньої поверхні від базової точки 1 до вузлової точки 6 визначається так:

$$C_6 = A_6 - A_1\,. \tag{2.33}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.33) отримаємо:

$$C_6 = 19{,}331 - 14{,}095 = 5{,}236 мм\,. \tag{2.34}$$

Визначимо найбільший радіус круглого фасонного різця.

Найбільший радіус круглого фасонного різця визначається так:

$$R_1 > q + e + f + r_0, \tag{2.35}$$

де q – перепад профілю деталі (відстань між найбільш віддаленою та найбільш наближеною до центру деталі вузловими точками);

e – глибина заточування ($e = 8\ldots12$ мм);

f – товщина стінки ($f = 5\ldots8$ мм);

r_0 – радіус посадочного отвору, який обирається з стандартизованого ряду значень діаметрів посадочних отворів відповідно до рекомендацій.

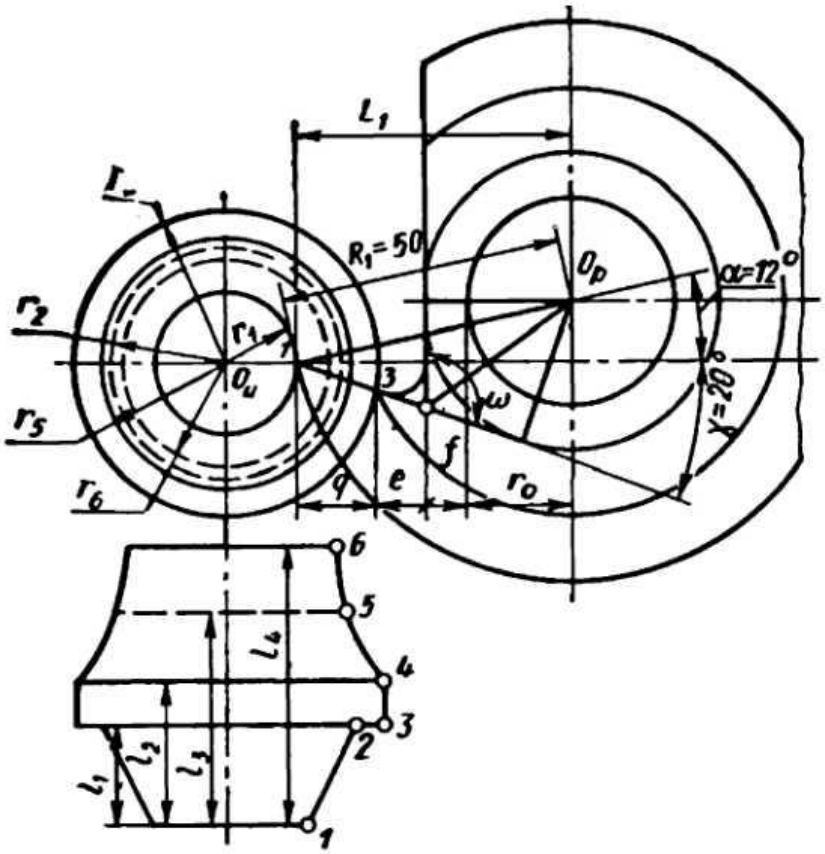


Рисунок 2.3 – Схема для визначення найбільшого радіусу круглого фасонного різця

Перепад профілю деталі визначаємо так:

$$q = r_3 - r_1. \tag{2.36}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.36) отримаємо:

$$q = 29{,}000 - 15{,}000 = 14{,}000\,мм. \tag{2.37}$$

З конструктивних міркувань приймаємо глибину заточування $e = 10$ мм.

З конструктивних міркувань приймаємо товщину стінки $\mathrm{f} = 8$ мм.

Радіус посадочного отвору $\mathrm{r}_0 = 16$ мм обираємо з стандартизованого ряду значень діаметрів посадочних отворів відповідно до рекомендацій.

Після підстановки відповідних значень до (2.35) отримаємо:

$$R_1 > 14 + 10 + 8 + 16 \text{ мм}. \tag{2.38}$$

Для подальших розрахунків приймаємо найбільший радіус круглого фасонного різця з врахуванням діаметру кругів з швидкорізальної сталі відповідно до рекомендацій, що наведені в:

$$R_1 = 50 \text{ мм}. \tag{2.39}$$

Визначимо радіуси круглого фасонного різця у вузлових точках (рис. 2.4).

Сума переднього та заднього кутів у базовій точці 1 визначається так:

$$\varepsilon_1 = \alpha_1 + \gamma_1. \tag{2.40}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.40) отримаємо:

$$\varepsilon_1 = 12° + 20° = 32°. \tag{2.41}$$

Відстань між центром круглого фасонного різця та його передньою поверхнею визначається так:

$$\mathrm{h}_\mathrm{p} = R_1 \sin(\varepsilon_1). \tag{2.42}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.42) отримаємо:

$$\mathrm{h}_\mathrm{p} = 50{,}000 \sin(32°) \approx 26{,}496 мм. \tag{2.43}$$

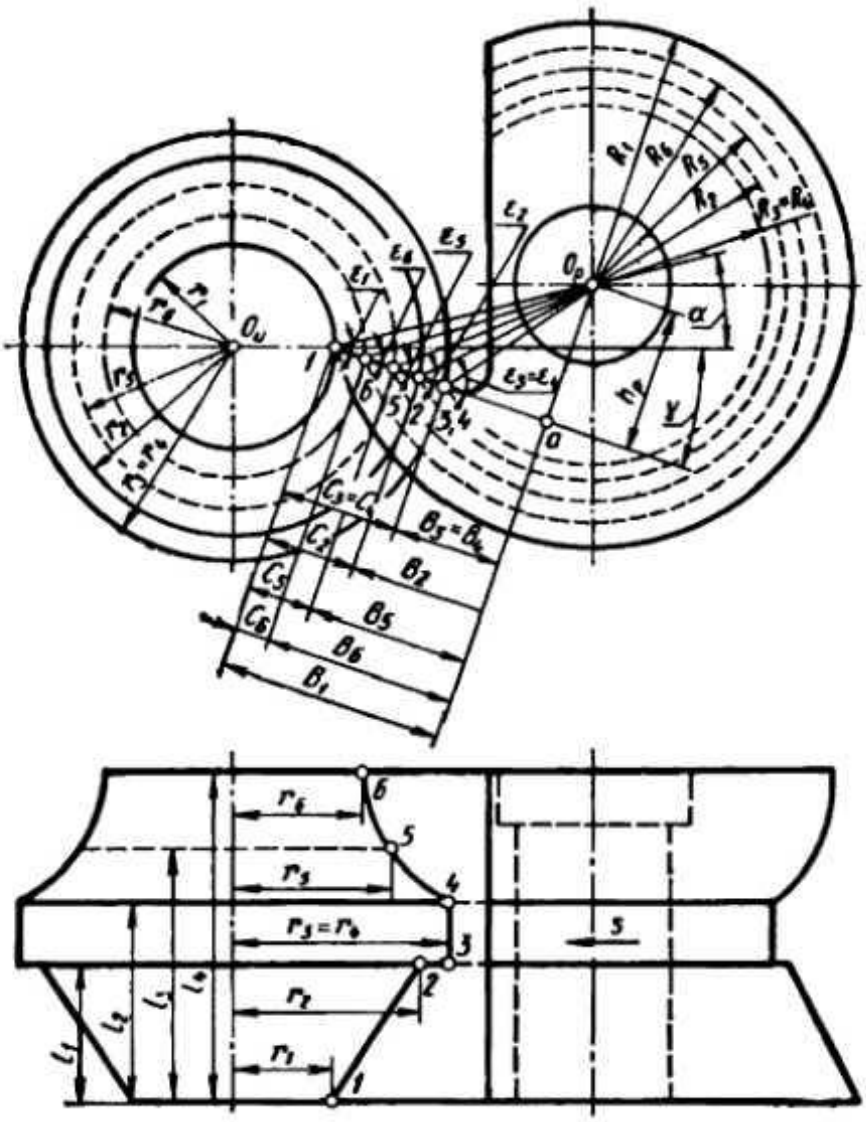


Рисунок 2.4 – Схема для визначення радіусів круглого фасонного різця у вузлових точках

Відстань вздовж передньої поверхні між проекцією на неї центру круглого фасонного різця та точкою різального леза, що обробляє деталь в базовій точці 1 визначається так:

$$B_1 = R_1 \cos(\varepsilon_1). \tag{2.44}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.44) отримаємо:

$$B_1 = 50{,}000 \cos(32°) \approx 42{,}402 \text{мм}. \tag{2.45}$$

Відстань вздовж передньої поверхні між проекцією на неї центру круглого фасонного різця та точкою різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 2 визначається так:

$$B_2 = B_1 - C_2. \tag{2.46}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.46) отримаємо:

$$B_2 = 42{,}402 - 9{,}350 = 33{,}052 \text{ мм}. \tag{2.47}$$

Сума переднього та заднього кутів у вузловій точці 2 визначається так:

$$\varepsilon_2 = arctg\left(\frac{h_p}{B_2}\right). \tag{2.48}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.48) отримаємо:

$$\varepsilon_2 = arctg\left(\frac{26{,}496}{33{,}052}\right) \approx 38°43'04''. \tag{2.49}$$

Радіус круглого фасонного різця у точці різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 2 визначається так:

$$R_2 = \frac{h_p}{\sin(\varepsilon_2)}. \tag{2.50}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.50) отримаємо:

$$R_2 = \frac{26{,}496}{\sin(38°43'04'')} \approx 42{,}362 \text{мм}. \tag{2.51}$$

Відстань вздовж передньої поверхні між проекцією на неї центру круглого фасонного різця та точкою різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 3 визначається так:

$$B_3 = B_1 - C_3. \tag{2.52}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.52) отримаємо:

$$B_3 = 42{,}402 - 14{,}448 = 27{,}954 \textit{мм}. \tag{2.53}$$

Сума переднього та заднього кутів у вузловій точці 3 визначається так:

$$\varepsilon_3 = arctg\left(\frac{h_p}{B_3}\right). \tag{2.54}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.54) отримаємо:

$$\varepsilon_3 = arctg\left(\frac{26{,}496}{27{,}954}\right) \approx 43°28'00''. \tag{2.55}$$

Радіус круглого фасонного різця у точці різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 3 визначається так:

$$R_3 = \frac{h_p}{\sin(\varepsilon_3)}. \tag{2.56}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.56) отримаємо:

$$R_3 = \frac{26{,}496}{\sin(43°28'00'')} \approx 38{,}516 \textit{ мм}. \tag{2.57}$$

Відстань вздовж передньої поверхні між проекцією на неї центру круглого фасонного різця та точкою різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 4 визначається так:

$$B_4 = B_1 - C_4. \tag{2.58}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.58) отримаємо:

$$B_4 = 42{,}402 - 14{,}448 = 27{,}954 мм\,. \tag{2.59}$$

Сума переднього та заднього кутів у вузловій точці 4 визначається так:

$$\varepsilon_4 = arctg\left(\frac{h_p}{B_4}\right). \tag{2.60}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.60) отримаємо:

$$\varepsilon_4 = arctg\left(\frac{26{,}496}{27{,}954}\right) \approx 43°28'00''. \tag{2.60}$$

Радіус круглого фасонного різця у точці різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 4 визначається так:

$$R_4 = \frac{h_p}{\sin(\varepsilon_4)}. \tag{2.61}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.61) отримаємо:

$$R_4 = \frac{26{,}496}{\sin(43°28'00'')} \approx 38{,}516\ мм. \tag{2.62}$$

Відстань вздовж передньої поверхні між проекцією на неї центру круглого фасонного різця та точкою різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 5 визначається так:

$$B_5 = B_1 - C_5 . \tag{2.63}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.63) отримаємо:

$$B_5 = 42{,}402 - 7{,}299 = 35{,}103\ мм . \tag{2.64}$$

Сума переднього та заднього кутів у вузловій точці 5 визначається так:

$$\varepsilon_5 = arctg\left(\frac{h_p}{B_5}\right). \tag{2.65}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.65) отримаємо:

$$\varepsilon_5 = arctg\left(\frac{26{,}496}{35{,}103}\right) \approx 37°02'44'' . \tag{2.66}$$

Радіус круглого фасонного різця у точці різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 5 визначається так:

$$R_5 = \frac{h_p}{\sin(\varepsilon_5)}. \tag{2.67}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.67) отримаємо:

$$R_5 = \frac{26{,}46}{\sin(37°02'44'')} \approx 43{,}979 мм . \tag{2.68}$$

Відстань вздовж передньої поверхні між проекцією на неї центру круглого фасонного різця та точкою різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 6 визначається так:

$$B_6 = B_1 - C_6 . \tag{2.69}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.69) отримаємо:

$$B_6 = 42{,}402 - 5{,}236 = 37{,}166 мм . \tag{2.70}$$

Сума переднього та заднього кутів у вузловій точці 6 визначається так:

$$\varepsilon_6 = arctg\left(\frac{h_p}{B_6}\right). \tag{2.71}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.71) отримаємо:

$$\varepsilon_6 = arctg\left(\frac{26{,}496}{37{,}166}\right) \approx 35°29'07''. \tag{2.72}$$

Радіус круглого фасонного різця у точці різального леза, що обробляє деталь у вузловій точці 6 визначається так:

$$R_6 = \frac{h_p}{\sin(\varepsilon_6)}. \tag{2.73}$$

Після підстановки відповідних значень до (2.73) отримаємо:

$$R_6 = \frac{26{,}496}{\sin(35°29'07'')} \approx 45{,}643 мм . \tag{2.74}$$

Таким чином, проєктний розрахунок круглого фасонного різця виконано.

Зміст звіту:

У звіті навести вихідні дані до розрахунку, оформити розрахунок інструменту, згідно прикладу, ескіз спроєктованої конструкції інструменту. Завершити звіт висновками.

Контрольні запитання:

1. Наведіть визначення базової точки фасонного леза.
2. Чим відрізняється базова точка від інших вузлових точок?
3. Як змінюється передній кут у вузлових точках під час наближення до бази кріплення круглого фасонного різця?
4. Як призначається значення переднього та заднього кутів круглого фасонного різця?
5. Як розраховується максимальний радіус круглого фасонного різця?



Мета роботи: для заданих умов обробки розрахувати та спроєктувати конструкцію робочої частини розвертки.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Ознайомитись з наведеним прикладом розрахунку робочої частини розвертки;
2. Згідно з прикладом, виконати розрахунок робочої частини розвертки для заданих умов обробки;
3. Виконати ескіз розрахованого інструменту;
4. Оформити звіт з практичної роботи;
5. Захистити звіт, відповісти на наведені контрольні запитання.

Завдання: визначити розміри робочої частини складеної насадної розвертки з вставними ножами, що оснащені пластинками з твердого сплаву, для обробки наскрізного отвору з діаметром $D_0 = 55H7$ в заготовці з сталі 40ХН (межа міцності $\sigma_b = 1050\ МПа$). Діаметр попередньо обробленого отвору $d = 54{,}65\ мм$.

Розрахунок розмірів робочої частини складеної насадної розвертки з вставними ножами, що оснащені пластинками з твердого сплаву:

1. Визначаємо виконавчі діаметри робочої частини розвертки для оброблюваного отвору з $D_0 = 55H7$.

Поле допуску *IT* на оброблюваний отвір $D_0 = 55^{(+0,035)} мм$ дорівнює $IT = +0,035 мм$, тобто $D_{0\max} = 55,035 мм$, а $D_{0\min} = 55,000 мм$.

Максимальний діаметр розвертки розраховується так:

$$D_{max} = D_{0max} - 0,15 \cdot IT . \quad (3.1)$$

Після підстановки необхідних даних у залежність (3.1) отримаємо:

$$D_{max} = 55,035 - 0,15 \cdot 0,035 \approx 55,035 - 0,006 \approx 55,029 мм. \quad (3.2)$$

Мінімальний діаметр розвертки розраховується так:

$$D_{min} = D_{max} - 0,35 \cdot IT . \quad (3.3)$$

Після підстановки необхідних даних у формулу (3.3) отримаємо:

$$D_{min} = 55,029 - 0,35 \cdot 0,035 \approx 55,029 - 0,013 \approx 55,016 мм. \quad (3.4)$$

2. Габаритні розміри розвертки приймаємо відповідно до рекомендацій.

3. Конструкцію кріплення ножів у корпусі приймаємо як клиновидні рифлені ножі (рис. 3.1). Основні розміри ножів, пазів у корпусі розвертки та розмірів профілю рифлень приймаємо відповідно до рекомендацій.

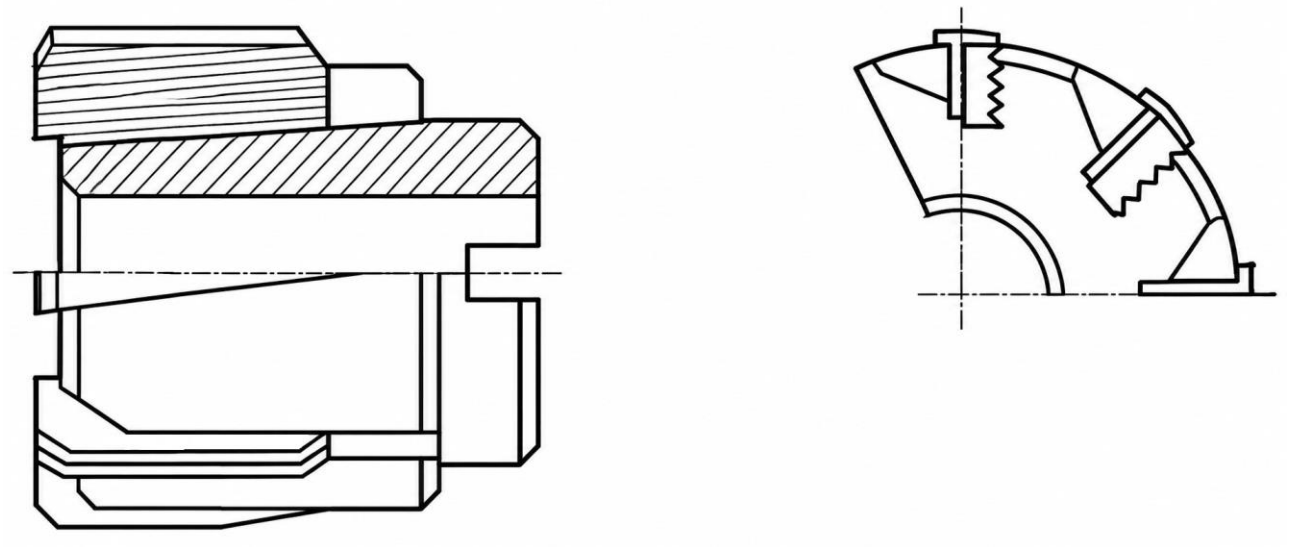


Рисунок 3.1 – Схема кріплення клиновидних рифлених ножів складеної розвертки

4. Зворотну конусність на довжині ножа приймаємо такою, що дорівнює 0,05 *мм*.

5. Твердий сплав пластини для обробки сталі 40ХН приймаємо Т15К6 форми 26 відповідно до рекомендацій. В якості припою призначаємо латунь Л68. Для корпусів розвертки та ножів приймаємо сталь 40Х.

6. Геометричні елементи леза робочої частини розвертки приймаємо такі:

– головний кут в плані $\varphi = 45°$;

– передній кут $\gamma = 5°$;

– задній кут на головній різальній крайці (забірна частина) $\alpha = 8°$;

– задній кут на допоміжній різальній крайці (периферія) $\alpha = 10°$;

– задній кут на спинці ножа $\alpha_c = 20°$;

– ширина стрічки $\mathrm{f} = 0{,}2\ldots0{,}25$ мм.

7. Довжина забірної частини розвертки розраховується так:

$$l_1 = \frac{D_0 - D_2}{2} ctg(\varphi) + m, \tag{3.5}$$

де D_2 – діаметр забірної частини, *мм*;

m – довжина напрямного конуса ($m = 1\ldots3$), *мм*.

Діаметр забірної частини розраховується так:

$$D_2 = D_0 - (2{,}6\ldots2{,}8)h, \tag{3.6}$$

Де h – величина припуску на сторону, *мм*.

Визначаємо величину припуску на сторону:

$$h = \frac{D_{\max} - d}{2} = \frac{55{,}029 - 54{,}650}{2} = 0{,}1895 \approx 0{,}19 \text{ мм}. \tag{3.7}$$

Після підстановки необхідних даних у формулу (3.6) отримаємо:

$$D_2 = 55 - (2{,}6\ldots2{,}8)0{,}19 = 55 - 2{,}6 \cdot 0{,}19 = 55 - 0{,}494 = 54{,}506 \approx 54{,}51 \text{мм}. \quad (3.8)$$

Після підстановки необхідних даних у формулу (3.5) отримаємо:

$$l_1 = \frac{55 - 54{,}51}{2} ctg(45°) + 1\ldots3 = 0{,}245 + 2 = 2{,}245 \approx 2{,}5 \text{ мм}. \quad (3.9)$$

8. Визначаємо число зубців розвертки [2]:

$$z = 1{,}5\sqrt{D_0} + 2. \quad (3.10)$$

Після підстановки необхідних даних у формулу (3.10) отримаємо:

$$z = 1{,}5\sqrt{55} + 2 = 13{,}124 \approx 14. \quad (3.11)$$

З конструктивних міркувань для забезпечення достатньої міцності кріплення ножів у корпусі остаточно приймаємо число ножів $z = 10$.

9. Обираємо кутовий крок зубців розвертки: $\omega_1 = 33°15'$, $\omega_2 = 34°32'$, $\omega_3 = 36°00'$, $\omega_4 = 37°28'$, $\omega_5 = 38°45'$.

10. Розміри конічного отвору та шпонкового пазу обираємо відповідно до рекомендацій; конусність отвору 1:30; діаметр отвору $d = 22$ *мм*; ширина паза $b = 7{,}4H13^{(+0{,}18)}$ *мм*; глибина паза $\ell = 7{,}6H13^{(+0{,}18)}$ мм; радіус паза $R = 1\ldots3{,}7$ *мм*; допуск зміщення осі паза $z = 0{,}1$ *мм*.

Кут нахилу конічного отвору $\alpha = 57°17'$.

Допуск на кут нахилу $\frac{\delta}{2} = 1°15'$, або $\frac{a}{2} = 0{,}0045$ *мм*.

Зміст звіту:

У звіті навести вихідні дані до розрахунку, оформити розрахунок інструменту, згідно прикладу, ескіз спроєктованої конструкції інструменту. Завершити звіт висновками.

Контрольні запитання

1. Як розраховується максимальний діаметр розвертки?
2. Як розраховується мінімальний діаметр розвертки?
3. Як визначається число зубців розвертки?
4. Як визначається довжина забірної частини розвертки?
5. Які є особливості вибору кутового кроку зубців розвертки?



Мета роботи: для заданих умов обробки розрахувати та спроєктувати конструкцію круглої прямобічної шліцьової протяжки.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Ознайомитись з наведеним прикладом розрахунку круглої шліцьової протяжки;
2. Згідно з прикладом, виконати розрахунок круглої шліцьової протяжки для заданих умов обробки;
3. Виконати ескіз розрахованого інструменту;
4. Оформити звіт з практичної роботи;
5. Захистити звіт, відповісти на наведені контрольні запитання.

Завдання: розрахувати геометричні та конструктивні параметри прямобічної шліцьові протяжки для значень вихідних даних, приведених у табл. 4.1. відповідно варіанту. Значення вихідних даних, не наведених в табл. 4.1, прийняти самостійно.

Прямобічні шліцьові протяжки, що шліфуються за профілем з підйомом заднього центру, мають високу стійкість зважаючи на відсутність на них бічних стрічок з нульовими задніми кутами.

При шліфуванні протяжок з підйомом заднього центру кругом однокутової заправки ширина шліцьових зубів по вершинах повинна бути постійної на всій довжині протяжки. Для цього кроки і подачі всіх чорнових або розширювальних зубів (ділянка 1) також повинні бути однаковими.

Таблиця 4.1

№ варіанту	$D_B = 2R_B$	$d_1 = 2r_1$	$d_3 = 2r_3$	ℓ	n	b	f	r	матеріал
1	22,6	23	26	20,5	6	6	0,3	0,2	Ст 20
2	25,6	26	30	24	6	6	0,3	0,2	Ст 45
3	27,6	28	32	25	6	7	0,3	0,2	Ст 20Х
4	31,5	32	36	23	8	6	0,4	0,3	Ст 20
5	35,5	36	40	30	8	7	0,4	0,3	Ст 35
6	41,5	42	46	35	8	8	0,4	0,3	Ст 15
7	45,5	46	50	30	8	9	0,4	0,3	Ст 50
8	51,5	52	58	30	8	10	0,5	0,5	СЧ 15-32
9	55,5	56	62	40	8	10	0,5	0,5	Ст 20
10	61,5	62	58	35	8	12	0,5	0,5	Ст 45
11	10,6	11	14	15	6	3	0,3	0,2	Ст 20Х
12	12,6	13	16	17	6	3,5	0,3	0,2	Ст 35
13	15,6	16	20	20	6	4	0,3	0,2	Ст 12
14	17,6	18	22	22	6	5	0,3	0,2	Ст 50
15	20,6	21	25	20	6	5	0,3	0,2	Ст 20
16	22,6	23	28	25	6	6	0,3	0,2	Ст 40Х
17	25,6	26	32	25	6	6	0,4	0,3	Ст 45
18	27,6	28	34	30	6	7	0,4	0,3	Ст 20Х
19	31,5	32	38	30	8	6	0,4	0,3	Ст 35
20	35,5	36	42	30	8	7	0,4	0,5	Ст 15
21	41,5	42	48	30	8	8	0,4	0,2	Ст 50
22	45,5	46	54	15	8	9	0,5	0,5	СЧ 15-32
23	15,6	16	20	15	10	2,5	0,3	0,3	Ст 20
24	17,6	18	23	20	10	3	0,3	0,2	Ст 40Х
25	20,6	21	26	20	10	3	0,3	0,5	Ст 45
26	22,6	23	29	22	10	4	0,3	0,2	Ст 20Х
27	25,6	26	32	25	10	4	0,4	0,2	Ст 35
28	27,6	28	35	25	10	4	0,4	0,3	Ст 15
29	31,5	32	40	28	10	5	0,4	0,3	Ст 20
30	35,5	35	45	30	10	5	0,4	0,5	Ст 40Х

У разі неможливості досягнення постійної ширини шліців на всіх зубах при однокутовій заправці шліфувального круга зважаючи на наявність різних кроків і подач на ділянках 1 і 2 (для протяжок другого проходу) такі протяжки шліфуються довкола двокутової заправки.

Суть розрахунку полягає у визначенні допустимої величини зрізування ширини шліців протяжки (рис. 4.1, 4.2).

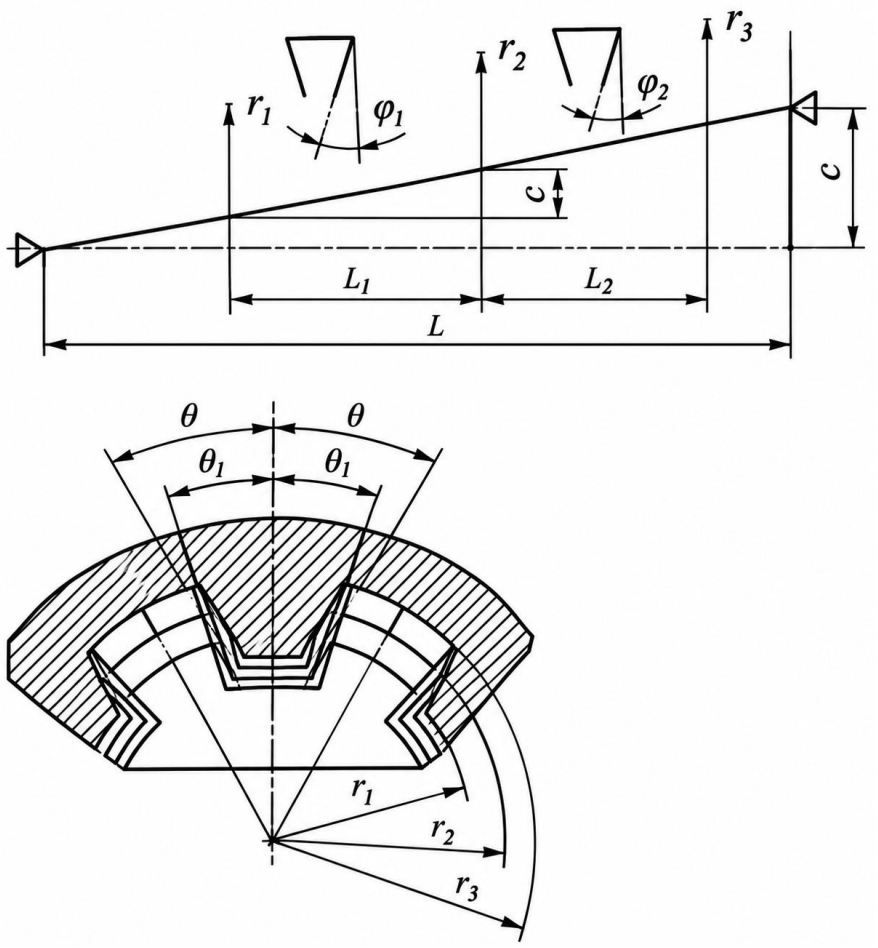


Рисунок 4.1 – Геометричні та конструктивні параметри круглої шліцьової протяжки

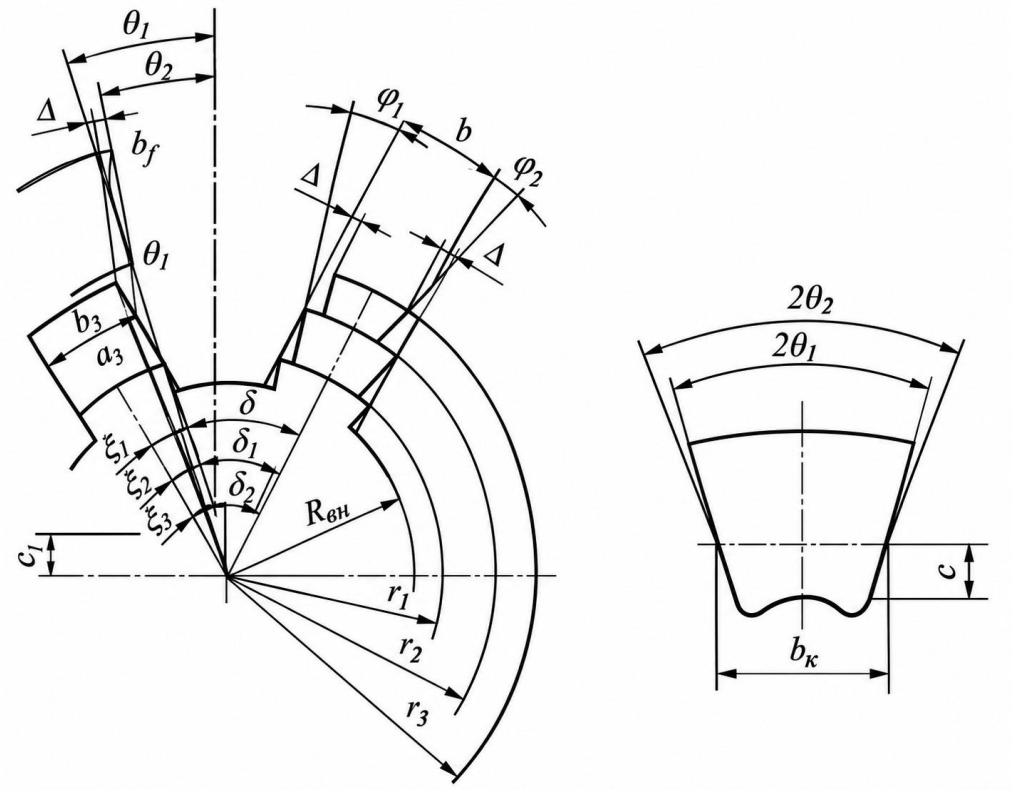


Рисунок 4.2 – Профіль різальної частини прямобічної шліцьової протяжки

Вихідними для розрахунку є величини (рис. 4.1, 4.2): L – загальна довжина протяжки; L_1 – довжина ділянки чорнових або розширювальних шліцьових зубів; L_2 – довжина ділянки перехідних і чистових шліцьових зубів (або заглиблювальних зубів); r_1 – радіус 1-го чорнового або розширювального шліцьового зуба; r_2 – радіус останнього чорнового або розширювального шліцьового зуба; r_3 – радіус останнього чистового або заглиблювального шліцьового зуба; n – число шліців деталі; b – розрахункова ширина шліца протяжки; φ_1 – кут бічного піднутрення профілю зубів протяжки на ділянці 1; r – радіус в кутках шліцьового паза виробу; $R_в$ – внутрішній радіус 1-го чорнового або розширювального шліцьового зуба.

Проєктний розрахунок круглої прямобічної шліцьової протяжки:

Розрахунок геометричних параметрів шліцьової протяжки є розрахунком наступних величин.

1. Половина кута профілю зуба шліцьового отвору деталі

$$\theta = \frac{180^\circ}{n}.$$

2. Половина кута профілю западини на ділянці 1 протяжки

$$\theta_1 = \theta - \varphi_1.$$

3. Коефіцієнт для протяжки, що шліфується з підйомом заднього центру

$$\lambda = \frac{sin\,\varphi_1}{sin\,\theta}.$$

4. Кут між віссю симетрії шліца і лінією, яка дорівнює радіусу r_1, що проходить через точку, яка лежить на бічній стороні шліца

$$sin\,\xi_1 = \frac{b}{2r_1}.$$

5. Кут між віссю симетрії шліца і лінією, яка дорівнює радіусу r_2, що проходить через точку, яка лежить на бічній стороні шліца

$$sin\,\xi_2 = \frac{b}{2r_2}.$$

6. Кут між віссю симетрії шліца і лінією, яка дорівнює радіусу r_2, що проходить через точку, яка лежить на бічній стороні шліца

$$sin\,\xi_3 = \frac{b}{2r_3}.$$

7. Величина підйому заднього центру на ділянці 1.

$$c_1 = \lambda\left(r_2\,cos\,\xi_2 - r_1\,cos\,\xi_1\right).$$

8. Величина підйому заднього центру протяжки

$$c = c_1\frac{L}{L_1}.$$

9. Кут між віссю симетрії западин і лінією, яка дорівнює радіусу r_2, що проходить через точку, яка лежить на бічній стороні шліца

$$\delta_2 = \theta - \xi_2.$$

10. Кут між віссю симетрії западини і лінією, яка дорівнює радіусу r_3, що проходить через точку, яка лежить на бічній стороні шліца

$$\delta_3 = \theta - \xi_3.$$

11. Половина кута профілю западини на ділянці 2 протяжки (див. рис. 4.1)

$$ctg\theta_2 = \frac{c_1 L_1}{L_1\left(r_3 \sin\delta_3 - r_2 \sin\delta_2\right)} + ctg\theta.$$

12. Половина величини зрізу ширини шліца

$$\Delta = \frac{r_3 \sin\delta_3 - r_2 \sin\delta_2}{\sin\theta_2} \sin\left(\theta_1 - \theta_2\right).$$

13. Кут бічного піднутрення профілю зубів протяжки на ділянці 3 (див. рис. 4.1).

$$\varphi_2 = \theta - \theta_2.$$

14. Половина величини зрізу ширини шліца

$$a = \frac{\Delta}{r}.$$

15. Ширина шліфувального круга при двокутовій заправці

$$B_k = 2r_2 \sin\delta_2.$$

16. Висота заміру ширини круга

$$h = r_2 \cos\delta_2 + c_1 - R_b.$$

Рекомендована величина підйому $c \le 1...1{,}2$ мм на 1000 мм довжини протяжки. Якщо розрахункова величина $c > 1{,}2$ мм, то слід зменшити кут бічного піднутрення φ_1.

Результатами розрахунку (рис. 4.2) є геометричні параметри, необхідні для оформлення робочого креслення протяжки. Ці параметри задаються наступним списком: θ_1, C_1, c, φ_2, Δ, a, B_k, h.

Зміст звіту:

У звіті навести вихідні дані до розрахунку, оформити розрахунок інструменту, згідно прикладу, ескіз спроєктованої конструкції інструменту. Завершити звіт висновками.

Контрольні запитання:

1. Чому кроки і подачі всіх чорнових або розширювальних зубів повинні бути однаковими?
2. З яких ділянок складається загальна довжина протяжки?
3. З яких ділянок складається різальна частина протяжки?
4. Як визначається половина кута профілю западини на ділянці чорнових або розширювальних зубів протяжки?
5. Як визначається величина підйому заднього центру протяжки?



Мета роботи: для заданих умов обробки розрахувати та спроєктувати комплект мітчиків для нарізання внутрішньої різьби.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Ознайомитись з наведеним прикладом розрахунку комплекту мітчиків;
2. Згідно з прикладом, виконати проєктний розрахунок комплекту мітчиків;
3. Виконати ескіз розрахованого інструменту;
4. Оформити звіт з практичної роботи;
5. Захистити звіт, відповісти на наведені контрольні запитання.

Завдання: спроєктувати комплект із трьох мітчиків із швидкорізальної сталі для обробки метричної різьби М48-6Н в різьбовому отворі деталі, що виконана з матеріалу Сталь 45. Отвір – наскрізний. Довжина різьбового отвору дорівнює зовнішньому діаметру різьби.

Мітчик – це осьовий багатолезовий інструмент для утворення та обробки внутрішньої різьби.

Мітчики призначені для нарізування внутрішніх різьб діаметром від 2 до 50 мм. За конструкцією і застосуванням номенклатура мітчиків доволі різноманітна: машинно-ручні, машинні, гайкові, конічні, складені, спеціальні та ін. Незважаючи на це, можна виділити загальні етапи проєктування, зміст і

розташування яких у загальній схемі розрахунку залежать від типу оброблюваної різьби, заданої точності і розміру профілю.

На рис. 5.1 зображено машинно-ручний мітчик з прямими канавками та позначено основні його геометричні та конструктивні параметри.

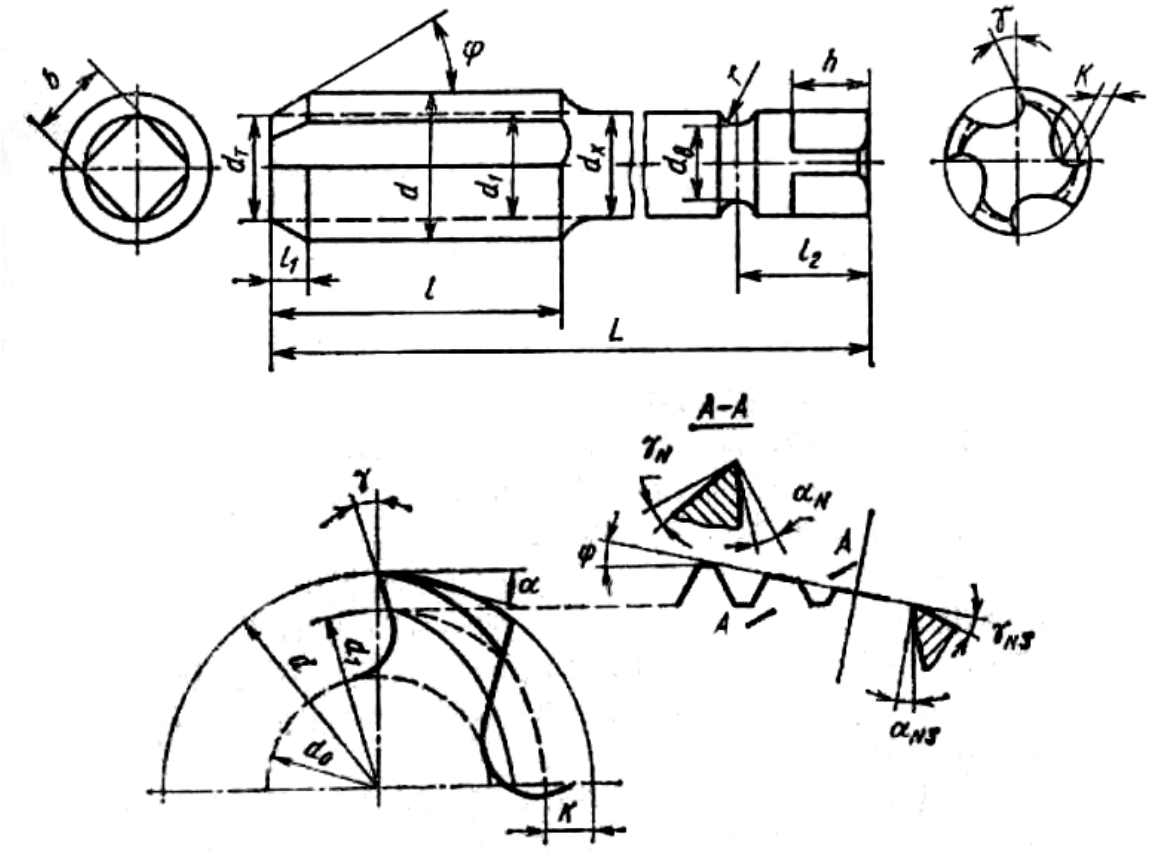


Рисунок 5.1 – Позначення основних геометричних та конструктивних параметрів мітчика

На рис. 5.1 застосовані наступні позначення:

– передній кут на зовнішньому діаметрі мітчика γ,°;

– задній кут на зовнішньому діаметрі мітчика α,°;

– передній кут в нормальному перерізі φ_N,°;

– задній кут в нормальному перерізі α_N,°;

– величина затилування K, *мм*;

– діаметр серцевини d_0, *мм*;

– діаметр по передньому торцю d_m, *мм*;

– діаметр хвостовика d_x, *мм*;

– зовнішній діаметр мітчика d, *мм*;

– внутрішній діаметр мітчика d_1, *мм*;

– довжина робочої частини ℓ, *мм*;

– довжина ріжучої частини (забірного конуса) ℓ_1, *мм*;

– кут конусу φ,°;

– загальна довжина мітчика L, *мм*;

– радіус виточки для захоплення r, *мм*;

– діаметр на виточці $d_в$, *мм*;

– відстань виточки від торця ℓ_2, *мм*;

– висота лисок h, *мм*;

– ширина лисок b, *мм*.

В подальших розрахунках будемо дотримуватись вказаних позначень.

Проєктний розрахунок комплекту мітчиків:

Перед проведенням розрахунків визначаємо з табл. 5.1 $\sigma_в$ матеріалу заготовки.

Таблиця 5.1.

Значення $\sigma_в$ матеріалу заготовки

Матеріал заготовки	**$\sigma_в$, МПа**	**Матеріал заготовки**	**$\sigma_в$, МПа**
Сталь 10	321	Сталь 20Х	786
Сталь 20	412	Сталь 20Г	451
Сталь 35	529	Сталь 40Х	980
Сталь 45	598	Сталь 40ХН	980
Сталь 50	627	Сталь 50Г	648

Приймаємо $\sigma_в$ = 598 МПа.

Довжина різьбового отвору відповідно до завдання дорівнює зовнішньому діаметру різьби, а саме 48 мм.

Проєктний розрахунок проводимо згідно рекомендацій.

Схема розташування допусків на елементи різьби гайки, болта та мітчика приведена на рис. 5.2.

На схемі наведені поєднанні поля допусків на гайку (*Г*), болт (*Б*) і мітчик (*М*). Номінальні значення діаметрів болта і гайки зовнішнього (*d, D*), середнього (d_2, D_2) і внутрішнього (d_1, D_1) – однакові.

Розміри профілю різьби визначаються висотою теоретичного профілю різьби *H*, кроком різьби *P* і кутом профілю (для метричних різьб – 60^0). Поле допуску на виготовлення мітчика по зовнішньому *d* і середньому d_2 діаметрах позначені відповідно через N_0 та *N*.

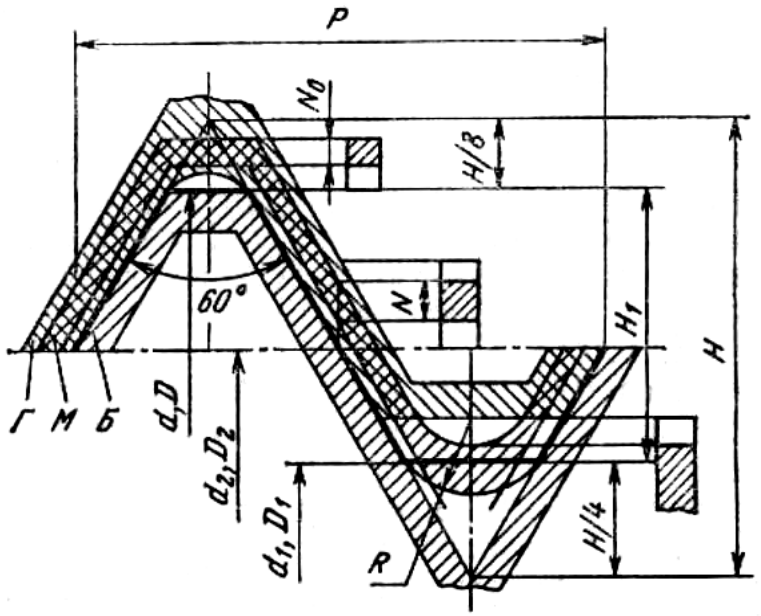


Рисунок 5.2 – Схема розташування допусків на елементи різьби гайки, болта та мітчика

Враховуючи завдання до проєктування та рекомендації до розрахунку отримаємо:

$D = D = 48$ *мм*,
$P = 5$ *мм*,
$H = 0.86602P = 4{,}330$ *мм*,
$d_1 = D_1 = D - 5/8H = 45{,}294$ *мм*,
$d_2 = D_2 = D - 3/8H = 46{,}376$ *мм*,
$H_1 = 0{,}54126P = 2{,}706$ *мм*,
$R = 0{,}1443276P = 0{,}722$ *мм*.

Граничні розміри гайки з врахуванням ступеню точності різьби *6H*:

Верхнє відхилення *ES = 0,335 мм*,

$$D_{2max}=D_2+ES=46,376+0,335=46,711 \text{ мм},$$
$$D_{1max}=D_1+ES=45,294+0,335=45,629 \text{ мм}.$$

Враховуючи розміри різьби, вид отвору, матеріал деталі відповідно до рекомендацій обираємо тип мітчика – машинно-ручний для нарізування різьби в наскрізних отворах.

Кількість мітчиків у комплекті відповідно до завдання дорівнює трьом.

Згідно з рекомендаціями розподіл навантаження на мітчики у комплекті становить:

для першого мітчика у комплекті 50 %;

для другого мітчика у комплекті 35 %;

для третього мітчика у комплекті 15 %.

Згідно з рекомендаціями обираємо профільну схему різання.

Діаметр по передньому торцю d_m для кожного мітчика комплекту є однаковим і дорівнює:

$$d_m = D_1 – (0,1…0,35) = 45,294 – (0,1…0,35) = 45,000 \text{ мм}.$$

Внутрішній діаметр для кожного мітчика комплекту є однаковим і розраховується з врахуванням зазору у різьбовому з’єднанні:

$$d_1 = D_1 + 0,055P = 45,275 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр мітчиків у комплекті дорівнює:

– для третього мітчика у комплекті $d_{(3)} = D = 48,000$ *мм*;

– для другого мітчика у комплекті $d_{(2)} = d_{(3)} – 0,15P = 47,250$ *мм*;

– для першого мітчика у комплекті $d_{(1)} = d_{(3)} – 0,5P = 45,500$ *мм*.

Середній діаметр мітчиків у комплекті дорівнює:

– для третього мітчика у комплекті $d_{2(3)} = D_2 = 46{,}376$ *мм*;

– для другого мітчика у комплекті $d_{2(2)} = d_{2(3)} - 0{,}07P = 46{,}026$ *мм*;

– для першого мітчика у комплекті $d_{2(1)} = d_{2(3)} - 0{,}15P = 45{,}626$ *мм*.

Призначаємо за рекомендаціями довжину різальної частини (забірного конуса) ℓ_1 для кожного мітчика з комплекту:

– для третього мітчика у комплекті $\ell_{1(3)} = 2P = 10$ *мм*;

– для другого мітчика у комплекті $\ell_{1(2)} = 4P = 20$ *мм*;

– для першого мітчика у комплекті $\ell_{1(1)} = 6P = 30$ *мм*.

Визначаємо за рекомендаціями кут конусу φ для кожного мітчика з комплекту:

– для третього мітчика у комплекті $\varphi_{(3)} = \text{arctg}\left(\frac{d_{(3)} - d_T}{2\ell_{1(3)}}\right) = 8{,}531°$;

– для другого мітчика у комплекті $\varphi_{(2)} = \text{arctg}\left(\frac{d_{(2)} - d_T}{2\ell_{1(2)}}\right) = 1{,}970°$;

– для першого мітчика у комплекті $\varphi_{(1)} = \text{arctg}\left(\frac{d_{(1)} - d_T}{2\ell_{1(1)}}\right) = 0{,}477°$.

Число зубців визначаємо згідно з рекомендаціями та приймаємо $z = 6$.

Визначаємо товщину a прошарку, що зрізається, для кожного мітчика з комплекту:

– для третього мітчика у комплекті $a_{(3)} = (P/z)tg(\varphi_{(3)}) = 0{,}125$ мм;

– для другого мітчика у комплекті $a_{(2)} = (P/z)tg(\varphi_{(2)}) = 0{,}029$ мм;

– для першого мітчика у комплекті $a_{(1)} = (P/z)tg(\varphi_{(1)}) = 0{,}007$ мм.

Передній та задній кути призначаємо відповідно до рекомендацій:

– передній кут $\gamma = 9°$,

– задній кут $\alpha = 12°$.

Величина затилування K (при затилуванні по спіралі Архімеда):

– для третього мітчика у комплекті $K_{(3)} = \frac{\pi d_{(3)}}{z} tg(\alpha) = 5{,}342$ *мм*;

– для третього мітчика у комплекті $K_{(2)} = \frac{\pi d_{(2)}}{z} tg(\alpha) = 5{,}261$ *мм*;

– для третього мітчика у комплекті $K_{(1)} = \frac{\pi d_{(1)}}{z} tg(\alpha) = 5{,}064$ *мм*.

Приймаємо величину затилування $K = 5$ *мм* для кожного мітчика з комплекту.

Зміст звіту:

У звіті навести вихідні дані до розрахунку, оформити розрахунок інструменту, згідно прикладу, ескіз спроєктованої конструкції інструменту. Завершити звіт висновками.

Контрольні запитання:

1. Як здійснюється розподіл навантаження на мітчики у комплекті, якщо комплект складається з трьох мітчиків?
2. Який кут профілю застосовується для метричних різьб?
3. Зовнішній діаметр якого з трьох мітчиків у комплекті дорівнює номінальному значенню зовнішнього діаметра гайки?
4. Який діаметр для кожного мітчика комплекту є однаковим?
5. З якою метою здійснюється затилування зубців мітчика по спіралі Архімеда?



Мета роботи: для заданих умов обробки розрахувати та спроєктувати конструкцію черв'ячної фрези для обробки черв'ячного колеса.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Ознайомитись з наведеним прикладом розрахунку черв'ячної фрези;
2. Згідно з прикладом, виконати розрахунок черв'ячної фрези для обробки черв'ячного колеса;
3. Виконати ескіз розрахованого інструменту;
4. Оформити звіт з практичної роботи;
5. Захистити звіт, відповісти на наведені контрольні запитання.

Завдання: спроєктувати черв'ячну фрезу з забірним конусом для обробки черв'ячного колеса черв'ячної передачі без зміщення $x = 0$, параметри якої наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Конструктивні параметри черв'ячної передачі

№ п/п	Параметр	Позначення	Розрахункове значення
1	2	3	4
1. Початкові данні			
1.1	Модуль	m	3
1.2	Коефіцієнт діаметра черв'яка	q	17
1.3	Число витків черв'яка	z_1	1
1.4	Вид черв'яка	–	ZA

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
1.5	Початковий черв’як відповідно:		
	кут профілю	α_n	20°
	коефіцієнт висоти головки витка	h_a^*	1,0
	коефіцієнт радіального зазору	c^*	0,2
	коефіцієнт глибини заходу	h_ω^*	2,0
	коефіцієнт висоти ніжки витка	h_f^*	1,2
	коефіцієнт висоти витка	h^*	2,2
	коефіцієнт граничної висоти витка	h_l^*	2,0
	коефіцієнт радіуса кривини перехідної кривої	ρ_{f1}^*	0,3
	коефіцієнт розрахункової товщини витка	s^*	0,5π
1.6	Передавальне число	u	43
1.7	Матеріал черв’яка	–	Сталь 40Х
1.8	Матеріал черв’ячного колеса	–	БрО5Ц5С5
1.9	Ділильний кут підйому витка	γ_1	3°22′59″
2. Розрахунок параметрів			
2.1	Число зубців черв’ячного колеса	z_2	43
2.2	Ділильний діаметр: черв’яка черв’ячного колеса	 d_1 d_2	 51 129
2.3	Висота витка черв’яка	h_1	6,6
2.4	Висота головки витка черв’яка	h_{a1}	3
2.5	Діаметр вершин – черв’яка – черв’ячного колеса	 d_{a1} d_{a2}	 57 135
2.6	Діаметр западин – черв’яка – черв’ячного колеса	 d_{f1} d_{f2}	 43,8 136,2
2.7	Найбільший діаметр черв’ячного колеса	d_{aM2}	140

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
2.8	Довжина нарізаної частини черв'яка	b_1	66
2.9	Ширина вінця черв'ячного колеса	b_2	40
2.10	Міжосьова відстань	a_ω	90
2.11	Радіус западини поверхні черв'ячного колеса – ділильної – вершин – западин	 R_2 R_{a2} R_{f2}	 25,5 22,5 29,1
2.12	Радіус кривини перехідної кривої черв'яка	ρ_{f1}	0,9
2.13	Радіус кривини лінії притуплення витка	ρ_{k1}	0,3
2.14	Радіальний зазор	c	0,2
2.15	Умовний кут обхвату черв'яка	δ	46°6′50″°
3. Розрахунок розмірів для контролю взаємного положення бокових поверхонь витків черв'яка			
3.1	Розрахунковий крок черв'яка	p_{x1}	9,441
		p_{n1}	9,425

Проєктний розрахунок черв'ячної фрези для обробки черв'ячного колеса:

1. Оскільки черв'ячна передача без зміщення, то середній розрахунковий діаметр фрези:

$$d_{m0} = d_1 = 51\,мм\,. \qquad (6.1)$$

2. Осьовий крок зубців фрези на середньому розрахунковому діаметрі:

$$P_{x0} = P_{x1} = 9{,}441\,мм\,. \qquad (6.2)$$

3. Висота головки зуба фрези:

$$h_{a0} = \frac{d_2 - d_{f2}}{2} = 3{,}6 \ мм. \tag{6.3}$$

4. Висота ніжки зуба фрези:

$$h_{f0} = \frac{d_1 - d_{f1}}{2} = 3{,}6 \ мм. \tag{6.4}$$

5. Висота зуба фрези:

$$h_0 = h_{a0} + h_{f0} + 0{,}1m = 7{,}5 \ мм. \tag{6.5}$$

6. Ділильний діаметр фрези:

$$d_{01} = d_1 + 0{,}1m = 51{,}3 \ мм. \tag{6.6}$$

7. Зовнішній діаметр фрези:

$$d_{a0} = d_{01} + 2h_{a0} = 58{,}5 \ мм. \tag{6.7}$$

8. Діаметр отвору під оправку:

$$d_{опр} = 14{,}21h_0^{0{,}373} = 30{,}130 \ мм. \tag{6.8}$$

Остаточно з урахуванням ряду діаметрів оправок приймаємо:

$$d_{опр} = 22 \ мм.$$

9. Діаметр западин фрези:

$$d_{f0} = d_{a0} - 2h_{a0} = 43{,}5 \ мм. \tag{6.9}$$

10. Найменший діаметр западин фрези:

$$d_{f0\min} = 1{,}75 d_{опр} = 38{,}5 \text{ мм}. \tag{6.10}$$

11. Задній кут на вершинній крайці фрези відповідно до матеріалу оброблюваного черв'ячного колеса:

$$\alpha_{в} = 8° \text{ мм}. \tag{6.11}$$

12. Кількість торцевих зубців (рейок) фрези:

$$z_0 = \frac{2\pi}{\arccos\left(1 - \frac{4{,}4m}{d_{a0}}\right)} = 9{,}171. \tag{6.12}$$

Остаточно приймаємо:

$$z_0 = 9.$$

13. Значення кута підйому гвинтової лінії витка визначаємо:

$$\sin(\gamma_{m0}) = \frac{mz_0}{d_{m0}}. \tag{6.13}$$

Після підстановки відповідних даних до (6.13) отримаємо:

$$\gamma_{m0} = \arcsin\left(\frac{3 \cdot 1}{51}\right) = 3^0 22' 20''.$$

14. Величина затилування:

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \operatorname{tg}(\alpha_{в}) = 2{,}87 \approx 3 \text{ мм}. \tag{6.14}$$

Для черв'ячної фрези з шліфованим профілем величина другого затилування:

$$K_1 = (1{,}2 \ldots 1{,}3) K = 3{,}6 \ldots 3{,}9 \text{ мм}.$$

Остаточно приймаємо:

$$K_1 = 4 \text{ мм}.$$

15. Висота канавки:

$$H_0 = h_0 + \frac{K + K_1}{2} + r_k = 12{,}5 \text{ мм}, \tag{6.15}$$

де $r_k = 1{,}5 \text{ мм}$ – попереднє значення радіусу заокруглення дна канавки.

16. Мінімальний радіус заокруглення дна канавки:

$$r_{\text{k}} = \frac{\pi\left(d_{a0} - 2H_0\right)}{10 z_0} = 1{,}204 \text{ мм}. \tag{6.16}$$

Остаточно приймаємо:

$$r_k = 1{,}5 \text{ мм}.$$

17. Перевірка діаметру посадочного отвору:

$$\text{d}_{\text{опр}} \le 0{,}675\left(d_{a0} - 2H_0\right) = 22{,}6125 \text{ мм}. \tag{6.17}$$

18. Радіус заокруглення на ніжці зубця фрези:

$$\rho_{f0} = 0{,}2 \ldots 0{,}3m \approx 0{,}75 \text{ мм}. \tag{6.18}$$

19. Радіус заокруглення на головці зубця фрези:

$$\rho_{a0} = \frac{c}{1 - \sin\left(\alpha_{n0}\right)} \approx 0{,}9 \text{ мм}. \tag{6.19}$$

20. Товщина зуба фрези в нормальному перерізі:

$$S_{n0} = \frac{\pi m}{2} + \Delta S = 4{,}852 \text{ мм}, \tag{6.20}$$

де $\Delta S = 0{,}14 \text{ мм}$.

21. Товщина зуба фрези в осьовому перерізі:

$$S_{x0} = \frac{S_{n0}}{\cos(\gamma_{m0})} = 4{,}861 \ мм. \tag{6.21}$$

22. Ширина западини між сусідніми зубцями фрези в осьовому перерізі:

$$e_{x0} = P_{x0} - S_{x0} = 4{,}580 \ мм. \tag{6.22}$$

23. Кут профілю канавки приймаємо за рекомендаціями:

$$\vartheta_к = 25°. \tag{6.23}$$

24. Кут забірного конуса:

$$\varphi_з = arccos\left(\frac{\sqrt{m - 4d_{a0}^2} - m}{2d_{a0}}\right) = 12{,}91° \approx 13°. \tag{6.24}$$

25. Діаметр, від якого починається забірний конус:

$$d_з = d_{a0} - 0{,}75(d_{a0} - d_{f0}) = 47{,}25 \ мм. \tag{6.25}$$

26. Довжина буртику фрези:

$$L_б = 4 \ мм. \tag{6.26}$$

27. Для черв‘ячної фрези, що працює методом тангенціальної подачі довжина розраховується так:

$$L_0 = L_k + L_p + 2L_б, \tag{6.27}$$

де L_k – довжина конічної частини, що призначається в залежності від осьового кроку фрези $L_k = 2{,}5...3P_{x0}$;

L_p – довжина профілюючої циліндричної частини, що теж призначається в залежності від осьового кроку фрези $L_p = 2P_{x0}$.

Остаточно приймаємо $L_0 = 5P_{x0} + L_б \approx 56$ *мм*.

Зміст звіту:

У звіті навести вихідні дані до розрахунку, оформити розрахунок інструменту, згідно прикладу, ескіз спроєктованої конструкції інструменту. Завершити звіт висновками.

Контрольні запитання:

1. На якій різальній крайці зубця черв'ячної фрези призначається задній кут?
2. Чому дорівнює середній розрахунковий діаметр черв'ячної фрези для обробки черв'ячного колеса черв'ячної передачі без зміщення?
3. Чи здійснюється друге затилування для зубців черв'ячної фрези з не шліфованим профілем?
4. З якою подачею працює черв'ячна фреза з забірним конусом?
5. З якою метою здійснюється затилування зубців черв'ячної фрези по спіралі Архімеда?



Мета роботи: для заданих умов обробки розрахувати та спроєктувати конструкцію шліфувального круга.

Порядок виконання практичної роботи:

1. Проаналізувати вихідні дані та умови шліфування.
2. Вибрати тип, форму й геометричні розміри шліфувального круга.
3. Обґрунтувати вибір абразивного матеріалу, зернистості, твердості, структури та зв'язки.
4. Розрахувати колову швидкість та частоту обертання круга.
5. Виконати перевірку шліфувального круга за умовою максимально допустимої колової швидкості.
6. Сформувати повне умовне позначення шліфувального круга та обґрунтувати прийняте конструктивне рішення.

Завдання: спроєктувати шліфувальний круг, призначити абразивний матеріал, зернистість, твердість, структуру, вид зв'язки, геометричні параметри та діапазон робочих швидкостей.

Порядок проєктування шліфувального круга:

Шліфувальний круг – це багатолезовий абразивний інструмент, різальна частина якого утворена великою кількістю абразивних зерен. Під час шліфування окремі зерна знімають мікростружки, здійснюють мікрорізання, пластичне деформування та тертя в зоні контакту з оброблюваною поверхнею.

Шліфувальний круг представляє собою тверде тіло, яке складається із зерна абразивного (шліфувального) матеріалу, скріплених між собою матеріалом зв'язкою, значну частину об’єму якого займають порожнини. Конкретні параметри залежать від матеріалу оброблюваної деталі, виду шліфування, вимог до якості (точності та шорсткості).

На відміну від лезового різального інструменту, шліфувальний круг характеризується не лише геометричною формою та розмірами, а й сукупністю фізико-механічних характеристик його робочого шару.

Основними параметрами шліфувального круга є:

– геометрична форма та розміри;

– абразивний матеріал;

– зернистість;

– вид зв'язки;

– твердість;

– структура;

– допустима неврівноваженість (дисбаланс);

– допустима робоча швидкість.

Проєктування шліфувального круга в межах даної практичної роботи передбачає інженерний вибір і розрахункове обґрунтування його конструкції та характеристик.

1. Вихідними даними до розрахунку є:

– матеріал деталі та його твердість;

– діаметр D і довжина поверхні, що шліфується;

– припуск на шліфування z;

– задана шорсткість Ra;

– задана точність обробки;

– тип шліфувального верстата;

– продуктивність або заданий час обробки.

Спроєктувати шліфувальний круг для зовнішнього круглого поздовжнього шліфування загартованого сталевого вала для вихідних даних наведених у табл. 7.1

Таблиця 7.1.

Вихідні дані до розрахунку шліфувального круга

Параметр	Позначення	Значення
Матеріал деталі	–	Сталь 40Х
Твердість	*HRC*	50-55
Початковий діаметр	D_0	50,30 мм
Кінцевий діаметр	d	50,00 мм
Довжина шліфування	L	120 мм
Шорсткість	Ra	0,8 мкм
Вид операції	–	Зовнішнє кругле поздовжнє шліфування
Швидкість круга	$V_{кр}$ (V_s)	35 м/с
Швидкість деталі	$V_{дет}$ (V_v)	20 м/хв
Попередній діаметр круга	$D_{кр}$ (D_s)	350 мм
ККД привода	η	0,85
Потужність верстата	$P_{верст}$	7,5 кВт
Частота шпинделя	$n_{шп}$ (n_s)	1900 об/хв
Діаметр посадкового отвору шпинделя	$\varnothing H$	127 мм

Вибір конструктивної форми та геометричних розмірів круга

1. Вибір форми круга

Для зовнішнього круглого шліфування циліндричної поверхні приймаємо шліфувальний круг прямого профілю типу 1 (ПП – прямого профілю, Type 1, згідно таблиці 2 [стор. 3, ISO 525:2020] (рис. 7.1). Основні геометричні параметри (на рис. 7.1 позначені згідно таблиці 1 стор. 2, ISO 525:2020]:

D ($D_{кр}$) – зовнішній діаметр шліфувального круга,

T – осьова ширина,

H – посадковий отвір.

Інші форми шліфувальних кругів, згідно таблиці 2 [стор. 3, ISO 525:2020] наведені https://www.baerhausen.de/en/vitrified-abrasives/shapes.html.

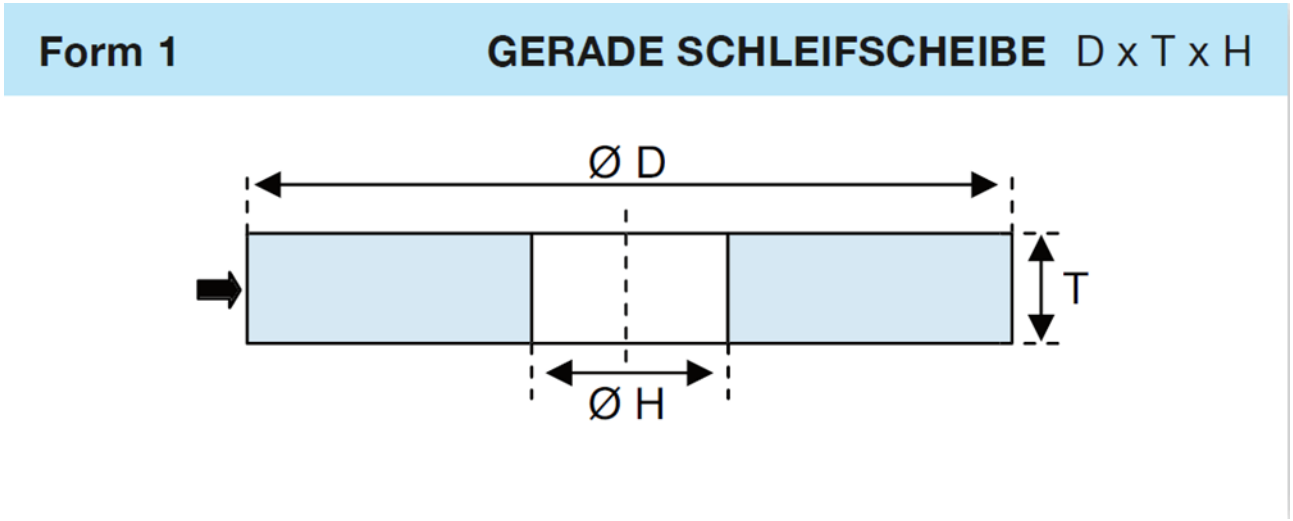


Рисунок 7.1 – Конструктивна форма прямого шліфувального круга типу 1

2. Визначення зовнішнього діаметра круга

Зовнішній діаметр круга $D_{кр}$ повинен забезпечувати задану швидкість різання за допустимої частоти обертання шпинделя:

$$D_{кр}(D_s) = \frac{60 \cdot 10000 \cdot V_{кр}}{\pi \cdot n_{шп}},$$

де $V_{кр}$ – швидкість шліфувального круга, $V_{кр}$ = 35 м/с;

$n_{шп}$ – частота обертання шпинделя, $n_{шп}$ = 1900 об/хв.

Згідно з заданими вихідними даними до розрахунку шліфувального круга (табл. 7.1): $V_{кр}$ = 35 м/с; $n_{шп}$ = 1900 об/хв.

Тоді:

$$D_{кр}(D_s) = \frac{60 \cdot 10000 \cdot 35}{3{,}1416 \cdot 1900} = 351{,}8 \text{ мм}.$$

Приймаємо найближчий передбачений умовами завдання типорозмір: $D_{кр}$ = 350 мм.

Цей розрахунок визначає діаметр за кінематичними умовами. Остаточно діаметр обирають з урахуванням допустимих габаритів верстата, наявних типорозмірів, конструкції захисного кожуха та можливості встановлення шліфувального круга.

3. Визначення ширини круга

Для розрахунку ширину круга визначимо за коефіцієнтом відносної ширини k_T:

$$T = k_T \cdot D_{кр}.$$

Для даного прикладу приймаємо: $k_T = 0{,}1$. Отже:

$$T = 0{,}1 \cdot 350 = 35 \text{ мм}$$

Приймаємо: $T = 35$ мм.

Важливо: коефіцієнт k_T тут є припустимим у випадку загального проєктування шліфувального круга. Як правило, ширину шліфувального круга обирають за каталогами виробників з урахуванням площі контакту, жорсткості технологічної системи, теплового навантаження та врахування можливостей правлення.

4. Визначення розміру посадкового діаметра шліфувального кругу

Посадковий діаметр шліфувального круга визначається конструкцією шпинделя та кріпильних фланців конкретного шліфувального верстата.

Згідно з заданими вихідними даними до розрахунку шліфувального круга (табл. 7.1):

$$\varnothing H = 127 \text{ мм}$$

Таким чином, попередньо прийняті розміри круга:

$$D_{кр} \times T \times H$$

$$350 \times 35 \times 127$$

Вибір характеристик шліфувального круга

5. Вибір абразивного матеріалу

Таблиця 7.2

Основні абразивні матеріали для виготовлення шліфувальних кругів

Абразивний матеріал	Національне позначення	Приклади закордонних позначень	Основні властивості	Рекомендована сфера застосування
Електрокорунд нормальний	12А, 13А, 14А, 15А, 16А	10А, 11А, А, ONA, TA	Висока міцність і в'язкість зерен, стійкість до механічних навантажень	Попереднє та загальне шліфування вуглецевих і легованих сталей
Електрокорунд білий	22А, 23А, 24А, 25А	33А, 38А, WA, OBA, EK	Висока твердість, крихкість і здатність до самозагострювання	Чистове та високоточне шліфування загартованих сталей
Електрокорунд хромистий	32А, 33А, 34А	PA, RA	Підвищена міцність зерен, добрі різальні властивості	Точне шліфування загартованих та інструментальних сталей
Електрокорунд титанистий	37А	TA	Підвищена міцність і в'язкість зерен	Попереднє та інтенсивне шліфування сталей
Електрокорунд цирконієвий	38А; 38А-1*, 38А-2*, 38А-3*, 38А-4*, 38А-5*	ZA, ZC, 77A	Висока ударна в'язкість, зносостійкість і стійкість до значних навантажень	Інтенсивне шліфування сталей, зокрема з великими припусками
Монокорунд	43А, 44А, 45А	Залежно від виробника	Переважно монокристалічні зерна з гострими різальними кромками	Шліфування важкооброблюваних легованих і жароміцних сталей
Електрокорунд хромотитанистий	91А, 92А, 93А, 94А, 95А, 96А*	66A, 88A	Поєднання високої твердості з підвищеною міцністю зерен	Чистове шліфування загартованих сталей, заточування інструменту
Карбід кремнію чорний	52С, 53С, 54С, 55С	21C, 37C, 55C, BC, SiC, SC21, 1C	Висока твердість, гострі різальні кромки, відносна крихкість	Шліфування чавунів, кольорових металів і неметалевих матеріалів
Карбід кремнію зелений	62С, 63С, 64С, 65С*	22C, 39C, 66C, GC, SiCg, SCg, 4C	Висока твердість, крихкість і гострота різальних кромок	Шліфування твердих сплавів, технічної кераміки та крихких матеріалів
Карбід бору	1В, 2В, 3В	B_4C, Boron Carbide	Надзвичайно висока твердість, зносостійкість, хімічна стійкість, підвищена крихкість	Притирання, доведення та полірування твердих сплавів, технічної кераміки й інших твердих матеріалів
Кубічний нітрид бору (кубоніт)	КО, КР, КВ, КМ; спеціальні різновиди: КОМ, КРМ, КОМА	CBN, B	Надвисока твердість, термічна стійкість, хімічна стабільність під час обробки сталей	Високоточне шліфування загартованих, швидкорізальних і високолегованих сталей
Алмаз природний	А1, А2, А3, А5, А8	D	Надзвичайно висока твердість і зносостійкість	Шліфування твердих і крихких матеріалів
Алмаз синтетичний монокристалічний	АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50, АС65, АС80, АС100, АС125, АС160	D, SD	Висока твердість, теплопровідність; можливість вибору зерен різної міцності	Шліфування твердих сплавів, кераміки, скла та інших твердих неметалевих матеріалів
Алмаз синтетичний полікристалічний	АРВ (балас), АРК (карбонадо), АРС (спеки)	PCD (не прямий еквівалент марок)	Висока зносостійкість, міцність і твердість	Спеціальні абразивні інструменти для обробки важкооброблюваних матеріалів

* – спеціальне додаткове (або комерційне) позначення, відсутнє в нормативах

Згідно таблиці 7.2 для шліфування загартованої сталі 40Х, яка має високу твердість (50-55 HRC), приймаємо абразив з високою твердістю та термостійкістю – білий електрокорунд марки 25А (закордонні аналоги: Klingspor (Німеччина) – WA (White Aluminium Oxide); Tyrolit (Австрія) – 99A; Norton Abrasives/Saint-Gobain (США/Франція) – 38A і т.п.). Його зерна характеризуються здатністю до оновлення різальних кромок під час руйнування (самозаточування) та придатні для точного шліфування сталей.

Електрокорунд марки 25А має найбільший відсоток оксиду алюмінію ($Al_2O_3 \geq 99$ %) і мінімум домішок, це робить зерно найбільш крихким серед усіх марок білого електрокорунда (22А, 23А, 24А, 25А), що є визначальним для ефекту самозаточування при обробці твердих матеріалів. Крім того, 25А забезпечує менше тепловиділення порівняно з нормальним електрокорундом (14А), що знижує ризик припалів і мікротріщин на поверхні деталі.

Альтернативами 25А можуть бути спеціальний електрокорунд або кубічний нітрид бору (CBN). До спеціальних електрокорундів належать мікрокристалічні корунди (наприклад, согель-корунди типу Cubitron) або леговані різновиди (наприклад, хромистий чи титанистий електрокорунди), які мають підвищену зносостійкість. Кубічний нітрид бору (CBN/Кубоніт) найкраща, але суттєво дорожча альтернатива для шліфування загартованих сталей. Круги з CBN забезпечують екстремальну стійкість, високу точність і мінімальне тепловиділення.

6. Вибір зернистості

Під зернистістю абразивних матеріалів розуміють розміри їх зерен. Зернистість визначає характер мікрорізання, продуктивність, сили шліфування та потенційну якість поверхні. Загальні рекомендації по вибору зернистості наведені у табл. 7.3. Ця таблиця має орієнтовний характер. Межі застосування перекриваються, а кінцева шорсткість залежить також від правлення, режимів різання, матеріалу та жорсткості технологічної системи.

Таблиця 7.3

Загальні рекомендації по вибору зернистості шліфувального круга

Зернистість		Рекомендоване застосування
FEPA*	**національна**	
F24-F36	№ 200...№100	Попереднє, інтенсивне знімання припуску (обдирне шліфування)
F46-F60	№80...№40	Універсальне для попередньої обробки (чорнове та напівчистове шліфування)
F60-F80	№32...№10	Чистове шліфування
F100-F120	№8...№3	Тонке шліфування за відповідних умов
F230-F1200+	№М63...№М5	для доводочних паст та брусків (доводочні операції, полірування, суперфініш)

*Федерація європейських виробників абразивів

Для забезпечення заданої шорсткості *Ra* = 0,8 мкм необхідно виконати чистове шліфування, тож приймаємо зернистість F60 згідно FEPA (№ 25 за національною системою).

7. Вибір матеріалу зв'язки шліфувального круга

Для виготовлення кругів застосовують два види зв’язок (табл. 7.4): неорганічні – керамічні (К), силікатні (С), магнезіальні (Мг) та металеві (М); органічні – бакелітові (Б), вулканітові (В), гліфталеві (Гф) та полімерні (П). З них найрозповсюджені керамічна (К1, К2, К3, К5, К7), бакелітова (Б1, Б2, Б3, Б9) та вулканічна зв’язки (В1, В2, В3).

Механічні властивості органічних і неорганічних зв’язок істотно відрізняються залежно від їхнього складу та призначення. Для точного шліфування загартованих сталей перевага віддається керамічній зв’язці К (V): складається з вогнетривких матеріалів, які витримують високі температури; має більшу жорсткість, що забезпечує заданий профіль деталі, високу точність розмірів і мінімальну шорсткість поверхні; стійка до води, мастил та хімічних добавок, що використовуються в охолоджувальних рідинах під час шліфування; є крихкішою за органічну, що створює гарні умови для самозаточування та мінімізує ризик утворення припалів і мікротріщин на загартованій сталі 40Х.

Таблиця 7.4.

Характеристика зв'язок абразивних інструментів

Назва зв'язки	Національне позначення	Міжнародне позначення (ISO/FEPA)	Основні характеристики та застосування
1	**2**	**3**	**4**
Неорганічні			
Керамічна	К (К1, К2, К3, К5, К7)	V (ISO 525) (Vitrified)	Найпоширеніша зв'язка. Має високу жорсткість, термостійкість і хімічну інертність. Ідеальна для точного і плоского шліфування загартованих сталей
Силікатна	С	S (ANSI B74.13) (Silicate)	М'якша за керамічну, дає менше тепла при різанні, але зараз майже застосовується
Магнезіальна	Мг	MG (ISO 525) (Magnesite) O (ANSI B74.13) (Oxychloride)	Використовується в специфічних інструментах (наприклад, для заточування деревообробного інструменту), бо чутлива до вологи
Металева	М	M (Metal)	Використовується переважно для алмазного інструменту та інструменту з кубічного нітриду бору (CBN) при важких режимах обробки або для правлення шліфувальних кругів
Гальванічна* (Electroplated)	–	Galvanic / Electroplated bond	Одно- або багатошарове утримання зерен алмазу/CBN нікелевим покриттям. Максимальна концентрація різальних елементів
Паяна* (Vacuum Brazed)	–	Brazed bond	Високотемпературна пайка зерен алмазу/CBN до сталевого корпусу. Для різання композитів та каменю
Органічні			
Бакелітова	Б (Б1, Б2, Б3, Б9)	B (ISO 525) (Resinoid/ Bakelite)	Органічна зв'язка підвищеної міцності та пружності. Витримує високі навантаження, застосовується для силового обдирного шліфування та відрізних кругів
Вулканітова	В (В1, В2, В3)	R (ISO 525) (Rubber)	Органічна зв'язка на основі штучного каучуку. Має високу еластичність, використовується для тонких оздоблювальних операцій, полірування та тонких відрізних кругів

Продовження таблиці 7.4

1	2	3	4
Гліфталева	Гф (або Гф1, Гф2)	B (ISO 525) (або спеціальні модифікації Resinoid)	Органічна зв'язка на основі гліфталевих смол. Має підвищену еластичність і пружність порівняно з бакелітовою, використовується переважно для тонких оздоблювальних та полірувальних операцій
Шелакова	–	E (ISO 525) (shellac)	Є природною смолою. Для тонкого шліфування й доведення
Полімерна	П	P (Polyimide) PL (ISO 525) (Thermoplastic)	Органічна зв'язка на основі сучасних синтетичних полімерів. Забезпечує гарну пружність та стійкість до ударних навантажень, застосовується у спеціалізованих гнучких абразивних інструментах.
Полівініл-формалева (поропластова)	ПВФ (або умовно спец. еластичні)	–	Еластична пориста зв'язка для делікатного ручного доведення та суперфінішу без стружки
Епоксидна	Е (у складі спец. брусків)	–	Використовувалася для еластичних доводочних інструментів (у закордонній практиці, як правило, інтегрується в Resinoid)
Комбіновані (з органічних та неорганічних складових)			
Бакелітова армована	БУ (або спец. ТУ з армуванням)	BF (Bakelite Reinforced)	Бакелітова, посилена шарами склосітки. Застосовується для відрізних і зачисних кругів під високі відцентрові навантаження та швидкості
Гумова армована	В (або спец. ТУ з армуванням)	RF (ISO 525) (Rubber Reinforced / Fabric)	Гумова (вулканітова) зв'язка, підсилена текстильним або скловолоконним армуванням. Тонкі відрізні та зачисні круги, де потрібна гнучкість, безпека та відсутність биття
Гібридна (Hybrid)	–	Hybrid bond	Інноваційний композит (наприклад, керамічні мікрочастинки у полімерній матриці) від провідних брендів для прецизійного шліфування

*Суворо кажучи, це методи поверхневого кріплення абразивних зерен, які у виробничій практиці та інструментальних каталогах умовно класифікують як типи зв'язок (Galvanic/Brazed bond)

Для точного круглого шліфування сталей широко застосовують керамічну зв'язку, що забезпечує збереження форми робочої поверхні та можливість правлення круга.

Для шліфування загартованої сталі 40Х для шліфувального кругу обираємо керамічну зв’язку К5. Із існуючих марок (К1, К2, К3, К5, К7) К5 має найкраще поєднання міцності і щільності спікання. Разом з білим електрокорундом 25А зв'язка К5 забезпечує гарний рівень утримання зерна: зерно працює до повного відпрацювання, після чого вчасно руйнується, запускаючи ефект самозаточування. Це гарантує мінімальне тепловиділення та зменшує можливість припалів при обробці загартованої сталі 40Х.

Остаточно приймаємо матеріал зв’язки круга:

К5 (V) – керамічна зв'язка

8. Вибір ступеня твердості круга

Твердість шліфувального круга характеризує здатність матеріалу зв'язки утримувати абразивні зерна. Загальна характеристика ступеня твердості шліфувальних кругів (на керамічній та бакелітовій зв’язках), наведено у табл. 7.5.

Таблиця 7.5

Ступінь твердості шліфувальних кругів

Позначення ступеня твердості		**Характеристика ступеня твердості**
ISO/FEPA*	**національна**	
D, E	ЧМ1, ЧМ2	Черезмірно м'які
F, G	ВМ1, ВМ2	Вельми м'які
H, I, J	М1, М2, М3	М'які
K, L	СМ1, СМ2	Середньом'які
M, N	С1, С2	Середні
O, P, Q	СТ1, СТ2, СТ3	Середньотверді
R, S	Т1, Т2	Тверді
T, U	ВТ1, ВТ2	Вельми тверді
V, W, X, Y, Z	ЧТ1, ЧТ2, ЧТ3, ЧТ4, ЧТ5, ЧТ6, ЧТ7, ЧТ8, ЧТ9	Черезмірно тверді

* Позначення А, В, С належать до загальної міжнародної шкали ступенів твердості шліфувальних кругів ISO/FEPA (від А до Z), однак у багатьох каталогах виробників їх не наводять через обмежене практичне застосування внаслідок надзвичайної м'якості

Для шліфування загартованих сталей доцільно застосовувати відносно м'які круги, оскільки своєчасне вивільнення затуплених зерен зменшує можливість засалювання робочої поверхні круга та небезпеку надмірного тертя та теплового пошкодження поверхні деталі (припалів та термічних мікротріщин).

З наведених міркувань приймаємо твердість матеріалу круга:

К (СМ1)

Що відповідає середньом'якій групі твердості шліфувальних кругів.

9. Вибір структури шліфувального круга

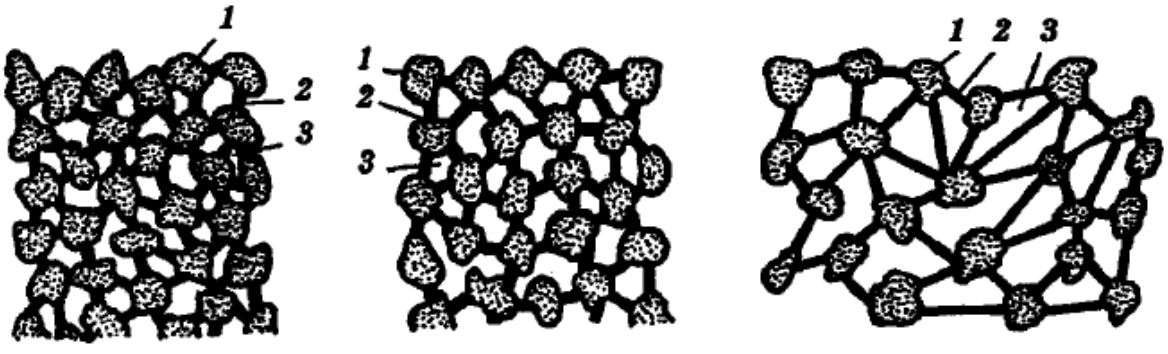
Структура характеризує взаємне розташування зерен і порожнин (пористість) абразивного інструменту. Під структурою шліфувального круга розуміють його внутрішню будову, яка визначається співвідношенням між об’ємами зерен $V_{зр}$, зв’язки $V_{зв}$ та порожнин $V_{пр}$ в одиниці об’єму круга:

$$V_{зр} + V_{зв} + V_{пр} = 100\ \%.$$

Структури № 1-4 (ISO 0-4) – закриті (або щільні), рис. 7.2, *а*;

Структури № 5-8 (ISO 5-8) – середні, рис. 7.2, *б*;

Структури № 9-12 (ISO 9-14) – відкриті, рис. 7.2, *в*.



а) *б*) *в*)

Рисунок 7.2 – Структура шліфувального круга:
1 – зерна абразиву; 2 – зв’язка; 3 – порожнини

За ISO 525 передбачено 15 номерів структур від 0 до 14. Номер структури № розраховується за формулою:

$$N = 0{,}5 \cdot \left(62 - V_{зр}\right).$$

Зі збільшенням номера структури на одиницю, кількість абразивних зерен в крузі зменшується на 2 %, кількість порожнин збільшується, що збільшує відстань між зернами та зменшує "засалювання" круга стружкою, одночасно погіршуються різальні властивості круга через зменшення кількості зерен на робочій поверхні. Зі збільшенням номера структури об'ємна частка абразивних зерен зменшується, а структура круга стає більш відкритою (табл. 7.6).

Таблиця 7.6

Вміст абразивного зерна у крузі, в залежності від номера структури

Номер структури*, №	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
Абразивне зерно, %	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34

* в національній системі (стандарт відмінено) 12 номерів з 1 по 12

Для загартованих сталей та чавунів застосовують середні структури № 5..6. Приймаємо середню структуру:

Структура № 6 ISO/національна

Це компромісний варіант між щільністю розташування зерен, можливістю відведення стружки та стабільністю робочої поверхні круга.

10. Призначення допустимого дисбалансу шліфувального круга

Призначення допустимого дисбалансу здійснюється шляхом вибору коефіцієнту неврівноваженості шліфувального круга k відповідно до вимог чинного стандарту ДСТУ ISO 6103 «Абразиви зі зв’язкою. Допустимі дисбаланси постачених шліфувальних кругів».

Цей коефіцієнт визначає допустиму величину залишкової неврівноваженості залежно від: типу шліфування (плоске, кругле, обдирне тощо); розмірів круга (діаметра $D_s(D_{кр})$ та маси m_1); максимальної робочої швидкості ($V_s(V_{кр})$.

У таблицях стандарту ISO 6103 значення коефіцієнта k знаходяться в діапазоні від 0,16 до 1,25 (чим менше число, тим жорсткіші вимоги до балансування та тим менший допустимий дисбаланс). Рекомендації щодо застосування коефіцієнта k для різних видів шліфування наведені в табл. 7.7.

Таблиця 7.7.

Допустимі дисбаланси в залежності від точності обробки

Коефіцієнт неврівноваженості (*k*) за ISO 6103	**Клас дисбалансу***	**Рівень точності балансування**	**Рекомендоване технологічне застосування**
0,16 0,20	Клас 1	Надвисока точність	Ультрапрецизійне шліфування (дзеркальне, чистове кругле та внутрішнє шліфування відповідальних деталей з високими вимогами до шорсткості та відсутності мікрохвилястості)
0,25 0,32 0,40	Клас 2	Висока (стандартна прецизійна) точність	Плоске і кругле шліфування відповідальних деталей машин (вали, осі, шестерні), де критично запобігти припалам і мікротріщинам
0,50 0,63 0,80	Клас 3	Середня точність	Загальне (напівчистове) шліфування, де вимоги до геометричної точності поверхні деталі зменшені
1,00 1,25	Клас 4	Низька точність	Грубе обдирне шліфування, силові або відрізні операції, де балансування не здійснює вирішального впливу на якість поверхні деталі

*класи дисбалансу наведені для орієнтовного співвіднесення з національною практикою. Стандарт, що їх регламентував втратив чинність з 01.01.2019 р.

Для чистового зовнішнього круглого шліфування відповідальних деталей із загартованої сталі 40Х кругом тип 01 діаметром $D_{кр}(D_s) = 350$ мм із максимально допустимою швидкістю $V_s = 35$ м/с відповідно до таблиці 1 [стор. 5, ISO 6103:2014] приймаємо коефіцієнт допустимої неврівноваженості:

$$k = 0{,}32.$$

Прийняте значення коефіцієнта забезпечує нормативно встановлене обмеження допустимої неврівноваженості шліфувального круга у стані постачання, що сприяє зменшенню вібрацій технологічної системи та створює сприятливі умови для забезпечення заданої точності й шорсткості обробленої поверхні.

11. Вибір класу точності виготовлення шліфувального круга

Цей показник використовувався у традиційній національній системі та нормувався стандартом, що втратив чинність з 01.12.2019 р. Нормувалось виготовлення шліфувальних кругів трьох класів точності: АА, А та Б (табл. 7.8). Позначення класів точності зберігаються в технічній документації та маркуванні продукції окремих виробників та споживачів.

Таблиця 7.8.

Класи точності виготовлення шліфувальних кругів

Клас точності	Характеристика класу точності виготовлення	Рекомендовані операції обробки
АА	Особливо висока точність	Особливо точне та чистове шліфування відповідальних деталей, прецизійне кругле та плоске шліфування, обробка поверхонь із високими вимогами до точності геометричної форми та шорсткості
А	Підвищена точність	Чистове та напівчистове кругле, плоске і внутрішнє шліфування деталей із підвищеними вимогами до точності розмірів, форми та якості поверхні
Б	Нормальна точність	Чорнове та попереднє шліфування, обдирні операції, зачищення поверхонь, видалення задирок та інші операції без підвищених вимог до точності обробки

Для чистового шліфування відповідальних деталей із загартованої сталі 40Х приймаємо клас точності виготовлення шліфувального круга АА, що відповідає найвищій точності в зазначеній традиційній системі класифікації.

Клас точності шліфувального круга – АА.

Прийнятий клас точності розглядається як додаткова вимога до виготовлення інструменту, яка підлягає узгодженню з виробником, а не як обов'язкова вимога чинного стандарту.

12. Перевірка шліфувального круга за умовою максимально допустимої колової швидкості

Визначаємо фактичну колову швидкість круга за його зовнішнім діаметром і частотою обертання шпинделя:

$$V_{кр.ф}(V_{sф}) = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с;}$$

де $D_{кр}$ (D_s) – зовнішній діаметр шліфувального круга, $D_{кр}$ = 350 мм;

$n_{кр}$ (n_s) – частота обертання шпинделя, $n_{кр}$ = 1900 об/хв.

Фактичне значення колової швидкості круга становить:

$$V_{кр.ф}(V_{sф}) = \frac{3{,}1416 \cdot 350 \cdot 1900}{60 \cdot 1000} = 34{,}82 \text{ м/с.}$$

Для забезпечення безпечної експлуатації спроєктованого шліфувального круга необхідно, щоб його фактична колова швидкість не перевищувала максимально допустимої робочої швидкості:

$$V_{кр.ф.} \leq V_{кр.max}$$

Для спроєктованого шліфувального круга прийнято максимально допустиму робочу швидкість $V_{кр.max}$ = 35 м/с.

Перевіряємо виконання умови:

$$V_{кр.ф.} = 34{,}82 \text{ м/с} < V_{кр.max} = 35 \text{ м/с}$$

Умова виконується. Фактична колова швидкість не перевищує максимально допустимої, отже, спроєктований шліфувальний круг відповідає встановленому обмеженню за коловою швидкістю.

13. Узагальнення визначених характеристик шліфувального круга

Конструктивні параметри та характеристики абразивного інструменту, клас точності, допустиму неврівноваженість, допустиму колову швидкість зведено у підсумкову таблицю 7.9.

Таблиця 7.9.

Узагальнення визначених характеристик шліфувального круга

Назва характеристики	**Національне позначення***	**Міжнародне позначення ISO/FEPA**	**Пояснення**
Конструктивна форма круга	ПП	Type 1	Круг прямого профілю для зовнішнього круглого шліфування
Зовнішній діаметр круга	$D_{кр}$ = 350 мм	D_s = 350 мм	Прийнятий конструктивний розмір
Ширина круга	T = 35 мм	T = 35 мм	Визначена за коефіцієнтом відносної ширини k_T =0,1
Діаметр посадкового отвору	H = 127 мм	H = 127 mm	Відповідає посадковому розміру шпинделя та кріпильних фланців
Абразивний матеріал	25А	WA	Білий електрокорунд
Зернистість	№ 25	F60	Зернистість для чистового шліфування
Ступінь твердості круга	СМ1	K	Середньом'який круг; помірна здатність зв'язки утримувати абразивні зерна
Структура круга	6	6	Структура середньої щільності
Вид зв'язки	К5	V	Керамічна (vitrified) зв'язка
Клас точності виготовлення	АА	–	Особливо висока точність виготовлення
Коефіцієнт допустимої неврівноваженості	–	k = 0,32	Прийнятий за ISO 6103:2014 для умов застосування круга
Максимально допустима робоча швидкість круга	$V_{кр.}$ = 35 м/с	V_s = 35 m/s	Прийнята характеристика круга, що підлягає підтвердженню маркуванням виробника

* Наведені згідно з переважно не чинними на сьогодні національними стандартами, оскільки окремі традиційні національні позначення залишаються в практиці національних виробників та споживачів шліфувального інструмента

14. Маркування шліфувального круга виробником

Як правило, маркування шліфувальних кругів (рис. 7.3, 7.4) містить його характеристики: тип та розміри кола; абразивний матеріал; зернистість; твердість; структуру; зв'язку; допустиму швидкість; клас точності або неврівноваженості.



Рисунок 7.3 – Приклад маркування шліфувального круга **LugaAbrasiv**:
1 – абразивний матеріал: **25А** – електрокорунд білий;
2 – зернистість: **60** – 800-630 мкм; 3 – твердість:
К – середньом'який; 4 – структура: **6** – середня; 5 – зв'язка:
V – керамічна; 6 – клас неврівноваженості: **2**

Також на колі (рис. 7.3) позначено максимально допустиму швидкість – 50 м/с (50 m/s) та частоту обертання – 7650 об/хв (7650 rpm).





Рисунок 7.4 – Приклади маркування шліфувальних кругів **ЗАК**

Приклади маркування з заводського каталогу Запорізького абразивного комбінату (ЗАК) (https://shop.zak.ua/abrazyvnyi-instrument/filter/brand=96/) наочно ілюструють принцип змішаного національно-міжнародного маркування українських виробників, де традиційне позначення абразивного матеріалу 25А та 14А поєднуються з міжнародним позначенням зернистості F60 та F46.

Світова практика свідчить (https://www.tyrolit.com/gb-en/products – каталог австрійського виробника Tyrolit, https://www.nortonabrasives.com/en-gb/searchproducts?f%5B0%5D=product_type%3A4376 – каталог американського виробника Norton Abrasives), що маркування круга не є абсолютно уніфікованим рядком символів: виробники можуть додавати власні індекси, які розшифровуються за їхніми каталогами. Маркування нормується ISO 525.



а) *б*)

Рисунок 7.5 – Приклади шліфувальних кругів з керамічною зв'язкою провідних світових виробників: *а*) австрійського виробника **Tyrolit**; *б*) американського виробника **Norton Abrasives**

Таблиця 7.10

Порівняння характеристик керамічних шліфувальних кругів

Характеристика	**Наш круг**	**Dnipro DZS**	**ЗАК**	**Norton**	**Tyrolit**
Форма	01	01	1	01	1
Діаметр D_s, мм	350	350	350	350	350
Ширина T, мм	35	40	40	50	40
Отвір H, мм	127	127	127	127	127
Абразив	WA / 25A	WA / 25A	25A	38A	89A
Зернистість	F60	F46	F46	80	602
Твердість	K	K/L	M	L	K
Структура	6	6	6	6	Фірмова специфікація
Зв'язка	V	V	Керамічна	V	V217
Максимальна швидкість V_s, м/с	35	40	35	35	50

Порівняльний аналіз наведених у табл. 7.10 кругів показує, що за основними геометричними параметрами, характеристиками абразивного матеріалу та зв’язки спроєктований круг відповідає конструктивним рішенням сучасних виробників, а наявні відмінності у ширині, зернистості, твердості та допустимій робочій швидкості зумовлені особливостями призначення й виконання інструментів.

Маркування розрахованого шліфувального круга для зовнішнього круглого шліфування загартованої сталі 40Х можна записати у вигляді:

1 – 350×35×127 WA F60 K 6 V 35m/s

Детальна розшифровка параметрів умовного позначення:

1 – форма круга Type 1 (прямого профілю) згідно ISO 525:2020;

350×35×127 – основні розміри круга згідно ISO 525:2020 (зовнішній діаметр D × ширина T × діаметр посадкового отвору H), мм;

WA – абразивний матеріал (білий електрокорунд, аналог 25А);

F60 – зернистість абразиву за ISO 8486-1:1996 (середня фракція);

K – твердість круга за шкалою FEPA (середньо-м'яка, аналог СМ1);

6 – структура круга (середньо-порожниста) згідно ISO 525:2020;

V – керамічна зв'язка (Vitrified, аналог зв'язки К5);

35 m/s – допустима максимальна робоча швидкість круга.

Контрольні запитання:

1. Які основні конструктивні та експлуатаційні характеристики шліфувального круга необхідно визначити під час його проєктування?

2. Як визначають основні геометричні параметри шліфувального круга: зовнішній діаметр, ширину та діаметр посадкового отвору?

3. Як впливають вид абразивного матеріалу та зернистість шліфувального круга на його різальні властивості?

4. Як впливають вид зв’язки, твердість і структура шліфувального круга на його експлуатаційні характеристики?

5. Що таке неврівноваженість шліфувального круга, як визначають її допустиме значення та від чого залежить вибір відповідного коефіцієнта?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алмазно-абразивна обробка: як подолати усталені міфи / В.І. Лавріненко; Ін-т надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. – Київ: Академперіодика, 2021. – 366 с. https://akademperiodyka.org.ua/sites/default/files/2021/news/22/Book22.pdf

2. Булига Ю. В. Основи інструментального виробництва : навчальний посібник [Електрон. ресурс] / Ю. В. Булига, А. В. Слабкий – Вінниця: ВНТУ, 2018. (PDF, 152 с.) https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2020/Buliga_2018_152.pdf

3. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні : навчальний посібник / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога; за заг. ред. В. О. Залоги. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 371 с. ISBN 978-966-657-469-8 https://library.ztu.edu.ua/e-copies/books/zaloga28.pdf

4. Зубовецька Н. Т. Проектування та технологія виготовлення металорізальних інструментів: електронний посібник з дисципліни / Н. Т. Зубовецька – Луцьк: ЛНТУ, 2018. Режим доступу до ресурсу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/Зубовецька Н/index.html.

5. Кукляк М. Л. Металорізальні інструменти. Проектування / М. Л. Кукляк, І. С. Афтаназів, І. І. Юрчишин. – Львів : Львівська політехніка, 2003. – 556 с.

6. Лавріненко В.І. Інструментальні матеріали: від природного каменю до штучних алмазів / В.І. Лавріненко; Ін-т надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. – Київ: Академперіодика, 2023. – 336 с. https://akademperiodyka.org.ua/wp-content/uploads/Lavrinenko_VI_web.pdf.

7. Лавріненко В. І. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник / В. І. Лавріненко, М. В. Новіков; за заг. ред. М. В. Новікова.– К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013.– 456 с.

8. Паливода Ю. Є. Технологія оброблення зубчастих коліс : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» / укладачі : Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – 136 с. http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/17942.

9. Равська Н. С. Металорізальні інструменти: підручник / Н. С. Равська, П. П. Мельничук, Р. П. Родін. – Житомир: ЖДТУ, 2016. – 612 с. https://lib.ztu.edu.ua/?q=ua%2Fpublication%2Fravska-ns-metalorizalni-instrumenty-pidruchnyk-ns-ravska-pp-melnychuk-rp-rodin-zhytomyr.

10.Різальний інструмент [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / уклад.: Л.М. Данилова, С.В. Лапковський, В.П. Приходько – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 147 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/55701.

11.Різальний інструмент та інструментальне забезпечення. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / Укл. В.С. Надєін, О.В. Чернявський. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 68 с.

12.Родін П.Р., Бугай Ю.М., Равська Н.С. Солодкий В.І.. Металорізальні інструмента, Частина 1.– Київ, 1992.– 226 с.

13. Родін П.Р., Бугай Ю.М., Равська Н.С. Солодкий В.І. Металорізальні інструмента, Частина 2.– Київ, 1993.– 178 с.

14. Родін П.Р., Равська Н.С., Ковальова Л.І., Родін Р.П. Різальний інструмент у прикладах і задачах.– Київ, “Вища школа”, 1994.– 294 с.

15. Солодкий В. І., Плівак О. А., Майданюк С. В. Проектування металорізальних інструментів : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 170 с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27532.

16.Солодкий В. І., Плівак О. А. Основи проектування різального інструмента. Частина ІІ : навч. посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 178 с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/39956.

17.Сілкін В. П., Солод В. Ю. Різальний інструмент. Курсове проектування : навч. посіб. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. 329 с. ISBN 978-966-175-065-3. URL: https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/1/1/1-1-b2.pdf.

18. Скочко, Є. В. Різальні інструменти : навчальний посібник для студентів вузів / Є. В. Скочко ; МО і науки України. – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 208 с.

19. Швець С В. Металорізальні інструменти : навчальний посібник / С. В. Швець. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 272 с. https://dl.kfk.sumdu.edu.ua/course/view.php?id=646.

20. ASM Handbook. Vol. 16 : Machining / ASM International Handbook Committee. Metals Park, OH : ASM International, 1989. 944 p. ISBN 978-0-87170-022-3. URL: https://dl.asminternational.org/handbooks/edited-volume/33/Machining.

21. Astakhov V. P. Geometry of Single-point Turning Tools and Drills : Fundamentals and Practical Applications. London : Springer, 2010. XXII, 565 p. (Springer Series in Advanced Manufacturing). ISBN 978-1-84996-052-6. URL: https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84996-053-3.

22. Malkin S., Guo C. Grinding Technology : Theory and Applications of Machining with Abrasives. 2nd ed. New York : Industrial Press, 2008. 372 p. ISBN 978-0-8311-3247-7. URL: https://search.worldcat.org/oclc/77708297.

23. Marinescu I. D., Hitchiner M. P., Uhlmann E., Rowe W. B., Inasaki I. Handbook of Machining with Grinding Wheels. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2016. XXV, 724 p. ISBN 978-1-4822-0668-5. URL: https://www.routledge.com/Handbook-of-Machining-with-Grinding-Wheels/Marinescuah2-Hitchinerah2-Uhlmannah2-Roweah2-Inasakiah2/p/book/9780367868703.

24. Rowe W. B. Principles of Modern Grinding Technology. 2nd ed. Waltham, MA : William Andrew, 2014. XXXVI, 437 p. ISBN 978-0-323-24271-4. URL: https://shop.elsevier.com/books/principles-of-modern-grinding-technology/rowe/978-0-323-24271-4.

25. Smith G. T. Cutting Tool Technology : Industrial Handbook. London : Springer, 2008. XII, 600 p. ISBN 978-1-84800-204-3. URL: https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84800-205-0.

26. Beju L. D. Cutting Tools Design. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. 348 p. ISBN 978-620-3-02597-2. URL: https://www.michaelsbund.de/product/9786203025972-cutting-tools-design.html.

27. Ranganath B. J. Metal Cutting and Tool Design. 2nd rev. ed. Vikas Publishing House. 280 p. ISBN 978-0-7069-7510-9. URL:

https://www.vikaspublishing.com/books/engineering/mechanical-engineering/metal-cutting-tool-design/9780706975109/.

28. Radzevich S. P. Gear Cutting Tools : Science and Engineering. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2025. 637 p. ISBN 978-1-032-85643-8. URL: https://www.routledge.com/link/link/p/book/9781032856438.

29. Moshchenok V., Pimonov I., Chevychelova O. Fundamentals of Metal Cutting : Textbook. London : LAMBERT Academic Publishing, 2025. 264 p. ISBN 978-620-8-42502-9. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/25069.

30. Oberg E. Handbook of Small Tools : Comprising Threading Tools, Taps, Dies, Cutters, Drills, and Reamers. [Reprint ed.]. Read Books, 2018. 528 p. ISBN 978-1-5287-0918-7. URL: https://www.libristo.eu/en/book/handbook-of-small-tools-comprising-threading-tools-taps-dies-cutters-drills-and-reamers-together-with-a-complete-treatise-on-screw-thread-syste_21333476.

Методичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
“**ПРОЄКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ**”
для здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем
вищої освіти денної та заочної форм навчання
спеціальностей
G9 «Прикладна механіка» та G11 «Машинобудування»

Укладачі:
Олександр Володимирович Лисенко
Павло Миколайович Єрьомін
Антон Русланович Апаракін

Кропивницький