

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»  
Кафедра (Машинобудування, транспорту і зварювання)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів за рахунок раціонального вибору режимів різання

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг  
спеціальності: 015.34 Професійна освіта  
(Машинобудування)

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



/ Ростислав ПАНКРАТОВ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник

  
(підпис)

/ Олег КОНДРАТЮК

(ім'я та прізвище)

Рецензент

  
(підпис)

/ Костянтин БРОВКО

(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

  
(підпис)

/ Олег ПОДОЛЯК

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль

  
(підпис)

/ Антон СКОРКІН

(ім'я та прізвище)

Секретар ЕК

  
(підпис)

/ Валентина СКОРКІНА

(ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»  
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання  
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)  
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри МТіЗ  
О.Л. Подоляк

“12” жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Ростиславу ПАНКРАТОВУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів за рахунок раціонального вибору режимів різання

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.

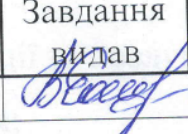
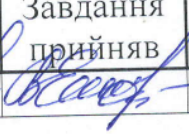
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “5” грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталей і механізмів верстата моделі 3A151 із системою автоматичного керування, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. 1. Огляд стану питання і постановка задач. 2. Дослідницька частина. 3. Спеціальна частина (обґрунтування вибору й корекція питомої сили різання). 4. Організація безпечного проведення робіт на шліфувальних верстатах. 5. Економічна частина. 6. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки. Плакати презентації.

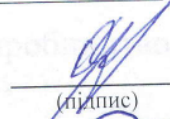
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: 1. Аналітичний огляд; 2. Аналіз проблем; 3. Вплив умов обробки на стійкість шліфувального кола; 4. Силі закономірності при різанні; 5. Алгоритм вибору режимів шліфування; 6-8 Методика проведення експериментального дослідження; 9-11. Експериментальні дослідження. 12. Обґрунтування вибору й коригування питомої сили різання

## 6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Галина ЄЛЬНИКОВА			

7. Дата видачі завдання « 12 » травня 2024 р.

Керівник

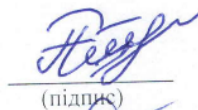
  
(підпис)Олег КОНДРАТЮК  
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

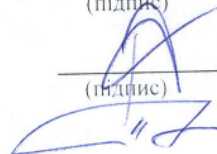
  
(підпис)Ростислав ПАНКРАТОВ  
(ім'я, прізвище)КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК  
виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.	05.09.24	
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел	06.09.24	
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи	12.09.24	
4.	Підготовка аналітичної частини	26.09.24	
5.	Підготовка теоретичної частини	11.10.24	
6.	Розробка дослідницької частини	21.10.24	
7.	Розробка методичного розділу	04.11.24	
8.	Підготовка графічного матеріалу	11.11.24	
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника	18.11.24	
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів	22.11.24	
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.	29.11.24	
12.	Захист кваліфікаційної роботи	10.12.24	

Здобувач вищої освіти

  
(підпис)

Нормоконтроль

  
(підпис)Ростислав ПАНКРАТОВ  
(ім'я, прізвище)Антон СКОРКІН  
(ім'я, прізвище)

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

### Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проєкту)

Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів за рахунок раціонального вибору режимів різання

(назва роботи)

студента

ПАНКРАТОВ Ростислав Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Кондратюк Олег Леонідович

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 0,31,

Коефіцієнт Подібності 2: 0,00 ,

Сигнал „Тривога!?”:  – немає;  – є, кількість разів у тексті \_\_\_\_\_.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту К1):

не більше 30% – оригінальна робота,

від \_\_\_% до \_\_\_% – задовільно оригінальна робота,

від \_\_\_% до \_\_\_% – умовно оригінальна робота,

більше \_\_\_% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

оригінальна,

задовільно оригінальна,

умовно оригінальна,

неоригінальна.

#### Висновок:

робота може бути допущена до захисту,

необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проєкту).

#### Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор \_\_\_\_\_

(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

23.11.24

(дата)

## ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ДКПП – державний класифікатор продукції та послуг

АСК – автоматизована система керування;

ВПД – (верстат-пристосування-інструмент-деталь).

ГАВ – гнучке автоматизоване виробництво;

год. – години;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

мм – міліметр;

ЗОТС – змащувально-охолоджуюче технологічне середовище;

об – оберти;

од. – одиниці;

п/п – по порядку;

рис. – рисунок;

табл. – таблиця;

САПР – автоматизована система проектування;

ТП – технологічний процес;

ТСМОР – технологічна система механічної обробки різанням;

хв. – хвилина;

ЧПК – числове програмне керування;

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 132 с., 46 рис., 24 табл. 72, джерела інформації.

Ключові слова: ШЛІФУВАННЯ, ШЛІФУВАЛЬНИЙ КРУГ, ШОРСТКІСТЬ, АНАЛІЗ ЦИКЛУ ШЛІФУВАННЯ, ЗНОС АБРАЗИВНИХ КІЛ, АЛГОРИТМ ЗУСИЛЬ ШЛІФУВАННЯ .

У проекті необхідно було зробити дослідження працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів.

Метою цієї роботи є визначень умов використання шліфувальних кругів на застосовуваних і нових прогресивних абразивних матеріалів.

У роботі виконано аналітичний аналіз виконаних раніше досліджень по зносу стійкості шліфувальних кругів, методик визначення режимів шліфування і нормативних матеріалів по вибору режимів.

Узагальнення нормативних матеріалів дозволило отримати залежності, які можуть бути використані при розрахунку режимів шліфування на ЕОМ.

Виконано експериментальне дослідження зносу шліфувальних кругів. Встановлено залежність шорсткості поверхні деталі від виразний подачі і часу шліфування, а також від режимів правки.

У науково-дослідницької частини виконаний аналіз структури робочого циклу шліфування і його основних закономірностей.

У методичному розділі кваліфікаційної роботи розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування»

## ABSTRACT

The explanatory note contains: 132 p., 46 fig., 24 table. 72, sources of information.

Keywords: GRINDING, GRINDING CIRCLE, ROUGHNESS, ANALYSIS OF GRINDING CYCLE, WEAR OF ABRASIVE CIRCLES, GRINDING EFFORT ALGORITHM.

In the project, it was necessary to conduct a study of the performance of grinding wheels when processing structural materials.

The purpose of this work is to determine the conditions of use of grinding wheels on used and new progressive abrasive materials.

The work includes an analytical analysis of previously performed studies on the wear stability of grinding wheels, methods for determining grinding modes and regulatory materials for selecting modes.

The generalization of normative materials made it possible to obtain dependencies that can be used in the calculation of grinding modes on a computer.

An experimental study of the wear of grinding wheels was performed. The dependence of the surface roughness of the part on the specific feed and grinding time, as well as on the editing modes, was established.

The scientific and research part performed an analysis of the structure of the grinding work cycle and its main regularities.

In the methodical section of the qualification work, methodical instructions for conducting a seminar on the topic "Ways of increasing the efficiency of grinding wheels when processing structural materials" for students of the specialty "Professional education. Engineering"

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПІДПРИЄМСТВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА .....	11
1.1 Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку .....	11
1.2 Професійна підготовка фахівців підприємств інструментального виробництва .....	12
1.3 Висновки до розділу 1 .....	17
2. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД .....	19
2.1. Основні закономірності зношування абразивних кіл і методи їх виміру .....	19
2.1.1. Характер роботи й основні закономірності зношування абразивного кола .....	19
2.1.2. Залежність зношування від умов обробки .....	23
2.2. Залежність стійкості абразивного інструмента від параметрів шліфування .....	27
2.2.1. Критерії стійкості абразивних кіл.....	27
2.2.2. Вплив умов обробки на стійкість шліфувального кола.....	34
2.2.3. Основні способи визначення стійкості шліфувальних кіл .....	37
2.3. Основні методи вибору характеристик кіл при круглому зовнішньому шліфуванні.....	41
2.4. Вплив режимів і умов шліфування на шорсткість поверхні деталі .....	44
2.5. Аналіз нормативних даних на вибір режимів шліфування....	49
2.6 Обґрунтування обраного напрямку роботи .....	56
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	57
3.1. Методика проведення експериментального дослідження .....	57
3.1.1. Умови проведення досвідів .....	57
3.1.2. Експериментальна установка .....	58
3.1.3. Вимірювальна апаратура .....	60
3.2. Залежність зношування кола від величини урізної подачі й часу шліфування .....	65
3.2.1. Залежність зношування кола від швидкості шліфування .....	70

3.3.	Вплив режимів виправлення на шорсткість поверхні деталі ..	72
3.3.1.	Залежність шорсткості поверхні від урізної подачі й часу шліфування .....	73
3.3.2.	Дослідження коливань сили різання при шліфуванні .....	79
4.	ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ Й КОРЕКЦІЯ ПИТОМОЇ СИЛИ РІЗАННЯ .....	82
4.1.	Вплив стану робочої поверхні кола на шорсткість обробленої поверхні .....	82
4.2.	Коректування силових залежностей прийнятих в алгоритмах ОКБШС .....	88
5	МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ СЕМІНАРУ НА ТЕМУ «ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ПРИ ОБРОБЦІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ» .....	96
5.1	Постановка оперативних цілей семінару .....	99
5.2	Вибір типу семінару і форми його проведення .....	100
5.3	Визначення переліку питань для обговорення та джерел інформації при підготовці до семінару .....	101
5.4	Проектування мотиваційних технологій навчання студентів на семінарі .....	102
5.5	Аналіз базових умов навчання .....	104
5.6	Проектування основної частини реферативного семінару .....	104
5.7	Висновки .....	110
	ЗАГАЛЬНІ ВИВОДИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	111
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ .....	113
	ДОДАТКИ (ПЛАКАТИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ) .....	120

## ВСТУП

Шліфування алмазними колами протягом декількох десятиліть залишається одним з найбільш ефективних прецизійних методів обробки виробів із твердих сплавів, кераміки, скла, надтвердих і ін. матеріалів. При цьому більша частина алмазно-абразивних інструментів виготовляються на полімерних органічних зв'язуваннях, характерною рисою яких є здатність до самозагострювання, простота у виготовленні й відносно невисока вартість. Поряд із цим, здатність до підвищеного самозагострювання приводить у ряді випадків до підвищеної питомої витрати алмазних зерен, а, отже, до подорожчання процесу шліфування. У зв'язку із цим можна чекати, що шляхом раціонального вибору компонентів алмазоносного шару і їх властивостей удасться повніше використовувати потенційно високий ріжучий ресурс дорогих алмазних зерен і в такий спосіб побільшати працездатність алмазоносного шару в цілому, що позитивно позначиться на характеристиках якості оброблюваних виробів.

Процес шліфування дозволяє одержувати високу точність і якість оброблюваних поверхонь. Основні вимоги, пропоновані до шліфування зводяться до підвищення продуктивності й зниженню собівартості операції при досягненні необхідного якості оброблених поверхонь. При шліфуванні це досягається поліпшенням якості абразивного інструмента й раціональним керуванням процесом шліфування.

**Метою даною роботи** є визначення умов використання шліфувальних кіл на застосовуваних і нових прогресивних абразивних матеріалів.

У роботі виконаний аналітичний аналіз виконаних раніше досліджень по зношуванню стійкості шліфувальних кіл, методик визначення режимів шліфування й нормативних матеріалів на вибір режимів.

Узагальнення нормативних матеріалів дозволило одержати залежності, які можуть бути використані при розрахунках режимів шліфування на ЕОМ.

Створена експериментальна установка на базі верстата 3А151 із системою автоматичного регулювання радіальної сили різання, що дозволяє вести

обробку з подачами до 12мм/хв і знімати припуск більш 15 мм на діаметр заготовки.

Виконане експериментальне дослідження зношування шліфувальних кіл. Встановлено залежність шорсткості поверхні деталі від врізної подачі, часу шліфування, а також від режимів правки шліфувального кола .

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні круглошліфувальних верстатів, а також при обробці на існуючих верстатах.

# 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПІДПРИЄМСТВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

## 1.1. Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку

Машинобудування завжди було і залишається провідною серед інших галузей промисловості. Це пояснюється тим, що всі процеси в матеріальному виробництві, на транспорті, будівництві, в сільськогосподарському виробництві пов'язані з використанням машин. Конструкції машин безперервно вдосконалюються згідно з вимогами експлуатації та виробництва, а також на основі можливостей, що виявляються з розвитком науково-технічних досліджень, появою нових матеріалів і способів надання їм потрібних форм та властивостей. Створення та експлуатація продукції машинобудівної промисловості, які б відповідали сучасним вимогам, пов'язане з потребою підготовки висококваліфікованих інженерних кадрів, здатних розв'язувати задачі розрахунків, конструювання, виробництва та експлуатації машин. Така підготовка ведеться на базі викладання студентам фундаментальних загальноосвітніх, загальноінженерних та спеціальних дисциплін.

Здобуття професії інженера передбачає оволодіння комплексом знань та практичних навиків, необхідних для проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту машин і механізмів, управління виробництвом, забезпечення безпечних умов праці, або, іншими словами, здобуття політехнічної освіти. Під політехнічною освітою розуміють таку освіту, яка надає студентам теоретичні знання, практичні навички і уміння, готуючи тим самим до продуктивної праці, а також формує світогляд, сприяє всебічному та гармонійному розвитку особистості. Завдання вищої школи полягає у тому, щоб надати студентам систему наукових знань про галузі промислового виробництва, пов'язані з конкретним фахом, а також навчити основам робітничих професій, допомогти оволодіти виробничими навиками.

## **1.2 Професійна підготовка фахівців підприємств інструментального виробництва**

В процесі здобуття спеціальності інженера студенти поряд з вивченням таких загальноосвітніх дисциплін як вища математика, фізика, хімія, іноземна мова та інших знайомляться з науковими основами найважливіших галузей промисловості, з принципами організації виробництва та управління ним, дізнаються, з чого складаються і як працюють різноманітні технічні пристрої.

В процесі теоретичного навчання студенти виконують велику кількість розрахунково-графічних робіт, повинні скласти кілька десятків екзаменів, отримати заліки, виконати та захистити курсові та дипломні роботи і проекти.

Навчальний процес передбачає не лише вивчення основ наук, але і різного роду практичні заняття, виробничі практики, проведення дослідів і виконання лабораторних робіт. На практичних та лабораторних заняттях майбутні інженери набувають навиків роботи з різними інструментами, приладами, апаратурою, взнають, як усунути їх неполадки. Також вони вчаться керувати металорізальним та іншим обладнанням, промисловими роботами.

В процесі навчання студенти вчаться читати та розробляти креслення, схеми, оформляти технологічну та конструкторську документацію, оволодівають методиками конструювання, проектування та основами наукового пошуку. Крім того, майбутні фахівці набувають навиків контролю та самоконтролю, організації робочого місця. Значне місце відводиться комп'ютерній підготовці. Сучасний стан розвитку обчислювальної техніки з одного боку дає можливість з великою ефективністю вирішувати практично весь спектр інженерних задач, а з іншого – вимагає наявності в користувача певного рівня знань і навиків роботи. Такий рівень знань і повинна забезпечити система освіти. Для сучасного інженера вміння працювати з комп'ютером є таким же необхідним, як знання математики, фізики, спеціальних дисциплін. Є і інші причини які вимагають забезпечення комп'ютерної грамотності. Розвиток науки, зростання об'єму інформації в оточуючому світі висувають зовсім нові вимоги до змісту

освіти та до обсягів знань фахівців.

Підготовка фахівців у сфері застосування обчислювальної техніки здійснюється диференційовано. Загальні відомості про можливості персонального комп'ютера і мінімальні навички програмування дає ще середня школа. Ці знання служать базою для оволодіння навчальними програмами вищої школи.

Підготовка фахівців вищої школи у сфері застосування обчислювальної техніки поділяється на базову і спеціальну. Базова підготовка має за мету дати спеціалісту необхідні відомості про обчислювальну техніку і програмування, методикау математичного моделювання і вирішення інженерних задач на ЕОМ, а також навички підготовки програмного забезпечення для ЕОМ. Фахівці, які пройшли базовий рівень підготовки повинні стати кваліфікованими користувачами, які уміють ефективно використовувати можливості ЕОМ при виконанні своїх службових обов'язків.

Спеціальна підготовка призначення для розширення знань і зміцнення практичних навичок в таких сферах діяльності як оптимізація вирішення задач за фахом; системи автоматизованого проектування; автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва; автоматизовані системи наукових досліджень тощо. Крім того, у зв'язку з тим, що обчислювальна техніка і програмне забезпечення розвиваються надзвичайно швидкими темпами та постійно оновлюються, важливе місце в професійній підготовці інженера відводиться самостійній роботі.

В сучасних умовах зростає значення політехнічної освіти для формування всебічно розвинутих людей, які вміють мислити та діяти.

Для сучасної промисловості характерні динамічні зміни технічного базису виробництва, з'являються нові галузі, професії, змінюється зміст старих. Виробничий світогляд працюючих у зв'язку з цим також розширюється, підвищується інтелектуальний рівень їх діяльності. Сучасне виробництво висуває високі вимоги до загальноосвітньої, політехнічної та спеціальної підготовки інженерів.

Вимоги та зміст підготовки фахівців напряму підготовки 015.34 «Професійна освіта. Машинобудування» за повний термін їх навчання визначаються документами, які погоджені науково-методичною комісією за, Інститутом інноваційних технологій та змісту освіти міністерства освіти і науки, молоді та спорту України та Департаментом вищої освіти, а саме:

- навчальні плани підготовки бакалаврів, магістрів;
- навчальні плани перепідготовки спеціалістів;
- освітньо-професійні програми (ОПП) підготовки бакалавра, магістра;
- галузеві стандарти вищої освіти України.

Ці документи регламентують: нормативну частину змісту навчання спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування», її інформаційний обсяг та рівень засвоєння у процесі підготовки відповідно до вимог Стандарту та ОПП; варіативну частину циклу дисциплін професійної підготовки за вказаним напрямом і спеціальністю; рекомендований перелік навчальних дисциплін підготовки фахівців за вказаним напрямом; нормативний термін навчання; форми атестації фахівців.

Інженер-технолог може працювати в галузях науки і техніки, що включають в себе сукупність засобів, прийомів, способів і методів людської діяльності, спрямованих на конструкторсько-технологічне забезпечення конкурентоспроможної продукції машинобудування, тобто орієнтованих на: створення нових і застосування сучасних виробничих процесів і технологій, засобів автоматизації, методів проектування, математичного, фізичного та комп'ютерного моделювання; використання сучасних засобів конструкторсько-технологічної інформатики та автоматизованого проектування; створення технологічно орієнтованих виробничих, інструментальних і керуючих систем різного службового призначення; проведення маркетингових досліджень.

Об'єктами професійної діяльності інженера-технолога є: машинобудівне виробництво, технологічне та допоміжне устаткування, їх комплекси,

інструментальні засоби, технологічне оснащення, засоби проектування, автоматизації і керування; виробничі і технологічні процеси, інструментальні системи, їх проектування та впровадження, освоєння нових технологій і інструментальної техніки; засоби інструментального, метрологічного, діагностичного, інформаційного і управлінського забезпечення машинобудівного виробництва для забезпечення необхідного якості продукції, що виробляється; нормативно-технічна документація, системи стандартизації і сертифікації, методи та засоби випробувань і контролю якості виробів машинобудування.

Фахівець, що одержав освіту за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування», може відповідно до фундаментальної і спеціальної підготовки виконувати такі види професійної діяльності:

- проектно-конструкторська;
- виробничо-технологічна;
- організаційно-управлінська;
- науково-дослідна;
- експлуатаційна.

Конкретні види діяльності визначаються змістом освітньо-професійної програми, яка розроблена вищим навчальним закладом.

Фахівець з технології машинобудування підготовлений до вирішення таких типів завдань за видами професійної діяльності.

Проектно-конструкторська діяльність:

- формулювання цілей проекту, завдань при виданих критеріях, цільових функціях, обмеженнях, побудова структури їх взаємозв'язків, виявлення пріоритетів розв'язку завдань із урахуванням моральних аспектів діяльності;
- розроблення узагальнених варіантів вирішення проблем, аналіз варіантів і вибір оптимального, прогнозування наслідків, знаходження компромісних розв'язків в умовах багатокритеріальної невизначеності, планування реалізації

проектів;

- розробка проектів виробів з урахуванням механічних, технологічних, конструкторських, експлуатаційних, естетичних, економічних і управлінських параметрів; використання інформаційних технологій при проектуванні виробів.

Виробничо-технологічна діяльність:

- розроблення та впровадження оптимальних технологій виготовлення виробів; організація і ефективне здійснення контролю якості матеріалів, технологічних процесів, готової продукції;

- ефективне використання матеріалів, устаткування, інструментів, технологічного оснащення, засобів автоматизації, алгоритмів і програм вибору і розрахунків параметрів технологічних процесів;

- вибір матеріалів, обладнання та інших засобів технологічного оснащення і автоматизації для реалізації виробничих технологічних процесів, використання інформаційних технологій при виготовленні виробів;

- розроблення програм і методик випробувань, засобів технологічного оснащення, автоматизації і керування;

- метрологічна перевірка основних засобів вимірювання показників якості продукції, що виробляється;

- стандартизація й сертифікація технологічних процесів, засобів технологічного оснащення.

Організаційно-управлінська діяльність:

- організація процесу розробки і виробництва виробів, засобів технологічного оснащення та автоматизації виробничих і технологічних процесів; організація роботи колективу виконавців, прийняття управлінських рішень в умовах різних думок;

- організація вибору технологій, інструментальних

засобів і засобів обчислювальної техніки при реалізації процесів проектування, виготовлення, технічного діагностування і промислових випробувань виробів;

- знаходження компромісу між різними вимогами (вартості, якості, безпеки і термінів виконання) як при довготерміновому, так і короткотерміновому плануванні і прийнятті оптимальних управлінських рішень;

- оцінка виробничих і невиробничих витрат на забезпечення необхідної якості продукції; навчання персоналу в рамках прийнятої організації процесу розробки і (або) виробництва виробів.

Науково-дослідна діяльність:

- діагностика стану динаміки об'єктів діяльності (технологічних процесів, устаткування, засобів технологічного оснащення, автоматизації і керування) з використанням необхідних методів і засобів аналізу;

- створення математичних та фізичних моделей процесів і систем, засобів автоматизації і керування; планування експерименту і використання методик математичної обробки результатів;

- використання інформаційних технологій і технічних засобів при розробці нових технологій і виробів машинобудування.

Експлуатаційна діяльність:

- налагодження та регламентне експлуатаційне обслуговування обладнання і засобів технологічного оснащення, автоматизації й керування; вибір методів і засобів вимірювання експлуатаційних характеристик виробів, засобів технологічного оснащення, автоматизації та керування, аналіз експлуатаційних характеристик.

### 1.3 Висновки до розділу 1

В межах першого розділу нами було виконано визначення актуальності професійної підготовки фахівців машинобудівного підприємства, проаналізовані особливості та фактори якісної та ефективної підготовки фахівців машинобудівного підприємства, а саме:

- уможливлено створення такого науково обґрунтованого змісту професійної підготовки фахівців машинобудівного профілю, що відповідає необхідному рівню їхньої професійної компетентності й заданим професійним стандартам;
- комплексно і синхронізовано вдосконалено всі елементи системи «професійний стандарт – професійна компетентність – зміст професійної підготовки» при підготовці фахівців машинобудівного профілю, у разі внесення змін хоча б в один із цих елементів.

## 2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 2.1 Основні закономірності зношування абразивних кіл і методи їх виміру

#### 2.1.1 Характер роботи й основні закономірності зношування абразивного кола

Зношування абразивного інструмента є наслідком стирання й викрашування абразивних зерен і зв'язування під дією механічних сил, температурних напруг і виникаючих у зоні шліфування, процесів адгезії й дифузії.

Цикл зношування зерен складається із трьох етапів: початкового, нормального й аварійного зношування. У початковий період після виправлення спостерігається підвищене зношування ріжучих вершин зерен; з робочої поверхні кола вириваються дефектні за формою й невігідно орієнтовані зерна, також віддаляється зв'язування, що перебуває на поверхні. Початковий етап короткочасний, його тривалість залежить від виправлення. За період нормальної роботи кола зношування зерен уповільнюється. Швидкість нормального зношування залежить від оброблюваного матеріалу й режимів обробки. На третьому етапі зношування підсилюється частково внаслідок збільшення амплітуди автоколивань. Великий вплив на зношування кола виявляє сила, що діє на абразивне зерно.

Середнє значення сил, що доводяться на одне абразивне зерно, при яких починається їхнє поверхневе викрашування або відбувається об'ємне руйнування [1] наведено на (рис.1.1). Нижче кривій початку поверхневого викрашування перебуває область зношування кола з переважним притупленням, вище цієї кривої починається область зношування кола із

частковим самозагострюванням. У міру наближення до кривої об'ємного руйнування абразивних зерен підсилюється ступінь самозагострювання кіл.

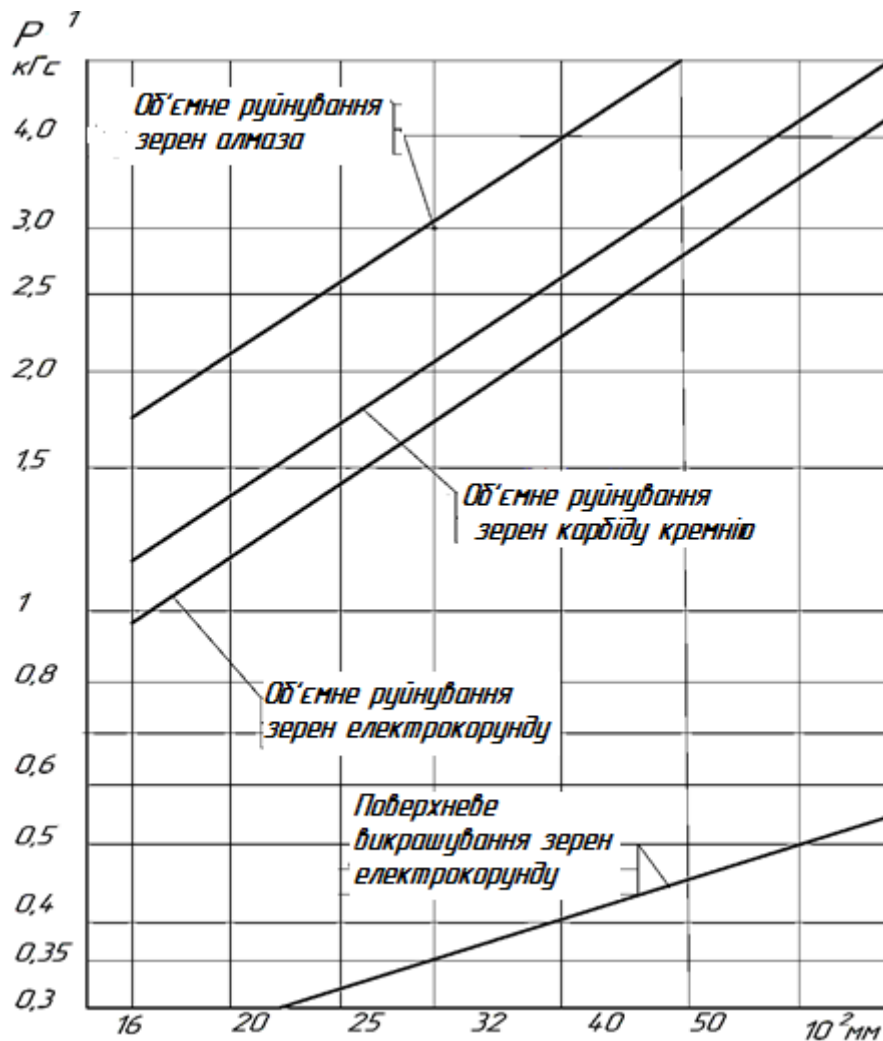


Рисунок 2.1 – Залежність критичного навантаження від зернистості

Притуплення кола відбувається звичайно при роботі на порівняно низьких режимах. Між повним самозагострюванням і притупленням існує ряд проміжних станів. При шліфуванні із заданим тиском між деталлю й колом при поступовому збільшенні навантаження настає момент, коли коло починає швидше зношуватися й спостерігається різке підвищення знімання металу.

Досвідами, виконаними у ВНІДМАШЕ, була встановлена наявність критичного навантаження при роботі кола. Критичне навантаження, віднесена до поверхні зіткнення кола з деталлю, залежить від твердості швидкості обертання кола. Зі збільшенням твердості (рис.1.2.) швидкості кола (рис.1.3.)

питоме критичне навантаження зростає. По даним [2] зі зростанням твердості кола з М2 до СТ2 питоме критичне навантаження перехід до роботи із самогострюванням збільшується від 7 до 28 кг/см<sup>2</sup>.

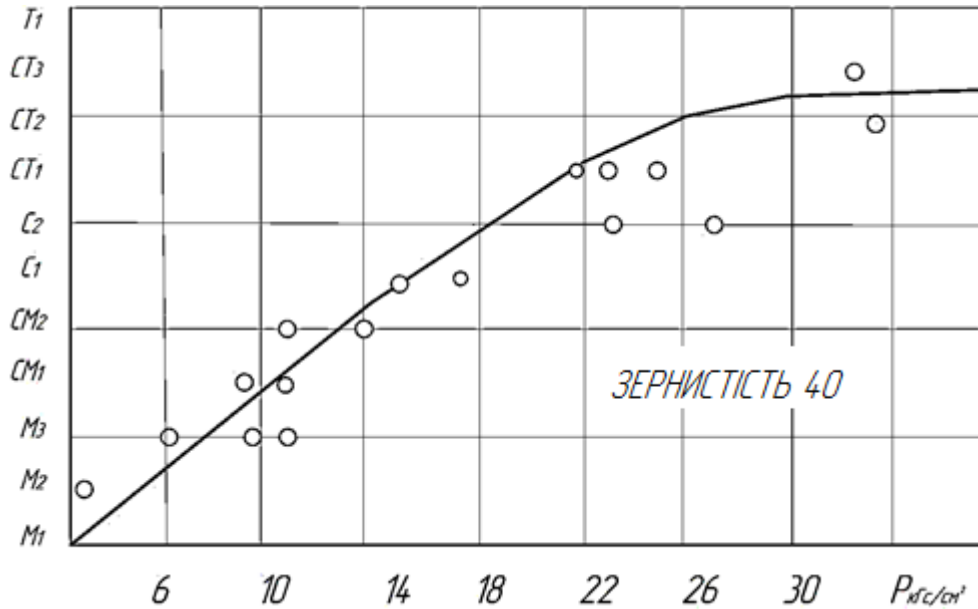


Рисунок 2.2 – Залежність критичного навантаження перехід до самогострювання від твердості кола

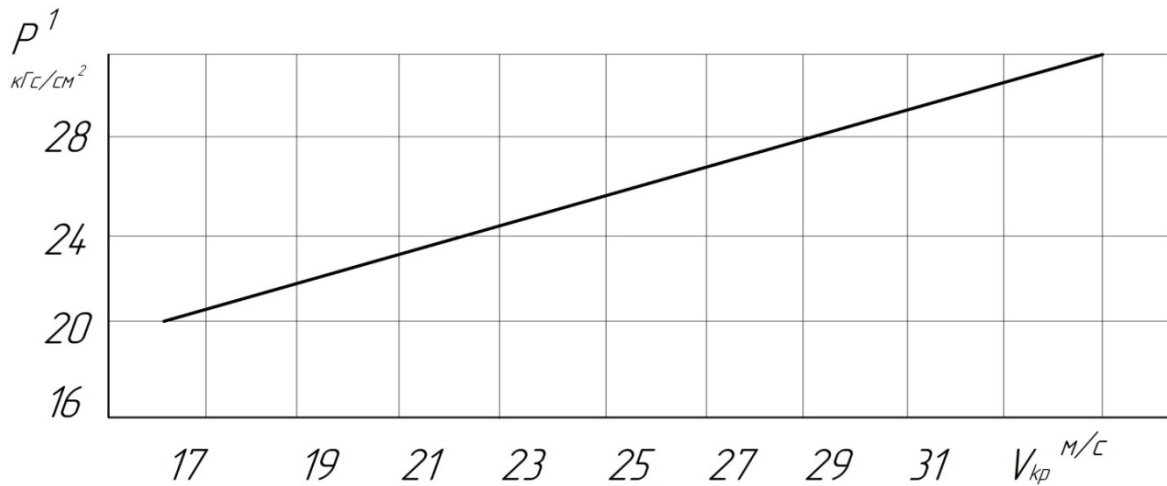


Рисунок 2.3 – Залежність питомого критичного навантаження від швидкості кола

Найбільш сприятливим слід уважати роботу кола при змішаному процесі зношування або при роботі із самогострюванням, при цьому збільшується продуктивність шліфування. На (рис.1.4.) представлена принципова схема

переходу кола з однієї області роботи в іншу залежно від твердості кола й зернистості (при постійному режимі шліфування).

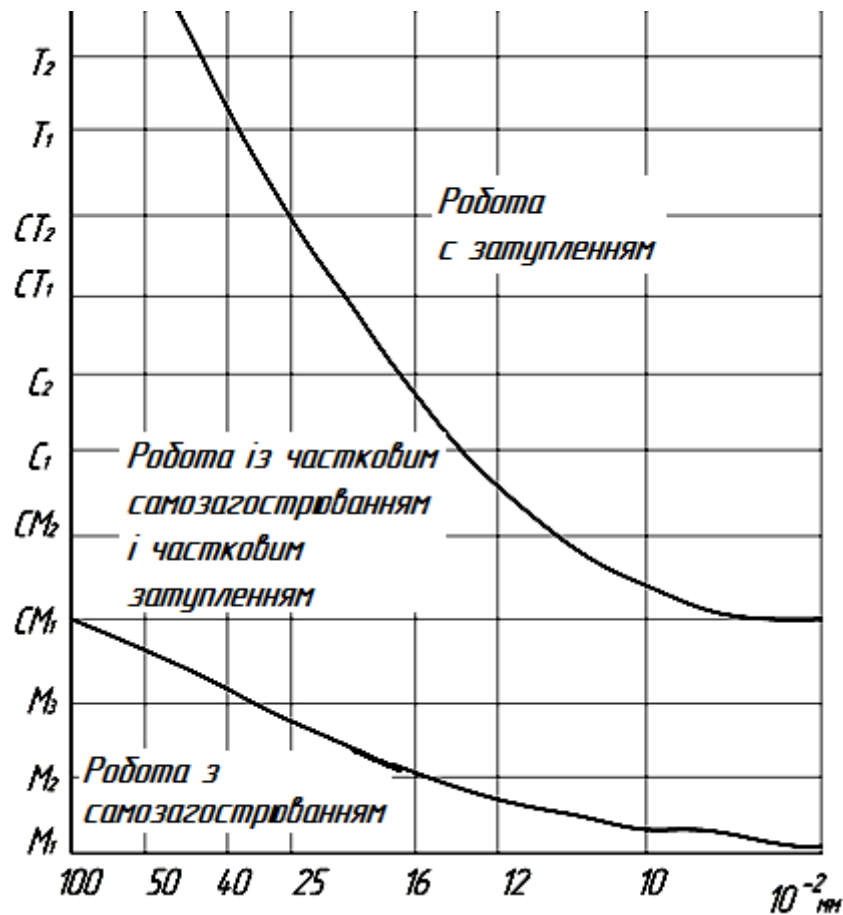


Рисунок 1.4 – Залежність характеру роботи шліфувального кола від його характеристики

Як видно зі схеми, чим менше абразивні зерна, тим більше вузьким стає діапазон твердості кола, при якому може бути здійснений змішаний процес. При переході в область роботи із притупленням при збільшенні розмірів зерен необхідно одночасно підвищувати твердість кола. Перехід з однієї області роботи в іншу залежно від характеристики кола відбувається в наступній послідовності: при підвищенні твердості кола процес шліфування з переважним самозагострюванням переходить у змішаний, далі шліфування з переважним затупленням, а при обробці грузлих металів у шліфування з налипанням металу; зі зменшенням розмірів зерна спостерігається аналогічна

послідовність, але зміна зернистості на один номер впливає в порівнянні зі зміною твердості на один ступінь по шкалі твердості.

### 2.1.2 Залежність зношування від умов обробки

Зношування кола залежить від його характеристики й розміру. Установлене [5], що характерною рисою зношування зерен електрокорунду є їхнє викрашування у зв'язку з температурними напругами. Це називається тим, що електрокорунд має меншу теплопровідність, чому зерна карбїду кременя, зерно якого зношуються головним чином у результаті стирання. По даним [6], зношування пропорційне добутку

$$ZH_k^{-0,47} Ca^{0,25}, \quad (2.1)$$

де  $Z$  зернистість в 0,01мм;  $H_k$  - твердість кола, позначувана порядковим номером по шкалі Нартона;  $Ca$  – структура оцінювана об'ємним змістом абразивних зерен у загальному обсязі кола, в %.

Зношування кола зростає зі збільшенням твердості кола. Ця закономірність слухна в зоні змішаного процесу - часткового затуплення й часткового самозагострювання. Аналіз результатів дослідження [7] показав, що при використанні більш м'яких кіл основне зношування визначалося розколюванням зерен і їх виломлюванням зі зв'язування.

У роботі [8] також вказується на те, що зношування м'яких кіл обумовлений викрашуванням зерен, яке відбувається, коли сила тиску на одне зерно досягає критичної величини, у свою чергу залежної від товщини зрізу одним зерном.

На зношування кола впливає зв'язування. Кола на бакелітовому зв'язуванні мають підвищене зношування (приблизно на 30%) у порівнянні з колами на керамічному зв'язуванні.

Зношування кола зменшується зі збільшенням його діаметра й ширини. При збільшенні інтенсивності знімання металу для кіл малої твердості переважне притуплення кола поступово переходить у змішаний процес і далі спостерігається переважне самозагострювання. Залежність питомого

зношування інструмента від глибини шліфування  $t_0$ , подачі  $S_0$  і швидкості деталі  $V_d$ , може бути представлена [9] у вигляді

$$U_{кр} = C_1(t_0 S_0 V_d)^\alpha \quad (2.2)$$

При роботі з переважним притупленням і при змішаному процесі гранична величина зношування за період стійкості може бути представлена залежною від питомого знімання металу.

$$U_0 = C_2 \cdot Q_{yd}^m \quad (2.3)$$

Зі збільшенням швидкості кола зношування його зменшується. Це підтверджується в ряді робіт. Автори [1] відзначають, що інтенсивне зменшення зношування спостерігається при

$$V_{кр} = 40 - 50 \text{ м/с}$$

Характер зміни питомого знімання металу  $Q$  і зношування кола  $U$  залежно від швидкості різання показано на (рис.2.5).

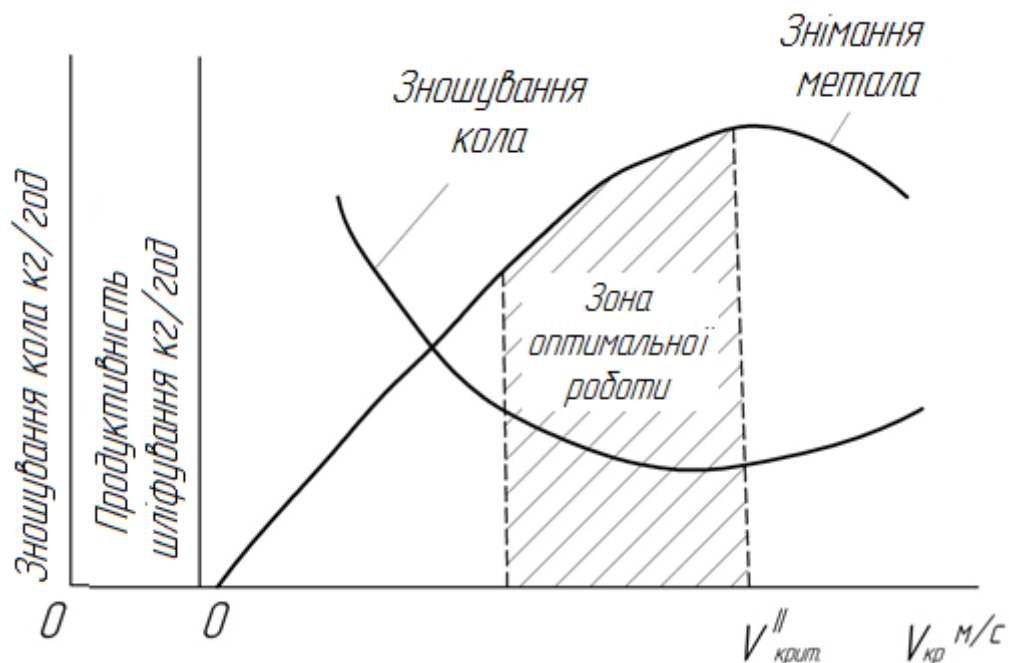


Рисунок 2.5 – Залежність продуктивності шліфування й питомого зношування від швидкості кола

Подальше збільшення зношування й зниження знімання викликане збільшенням коливань у зоні різання. Це підтверджується в роботі [6]. У роботі

[10] вказується на збільшення зношування при зростанні швидкості кола, що пояснюється збільшенням температурних напруг у зерні й ударним навантаженням.

Залежність питомого зношування кола від швидкості різання в діапазоні від швидкості різання в діапазоні від 0 до  $V_{\text{крит.}}$  (см. рис. 1.5.) може бути представлена залежністю

$$U = C_3 V_{\text{кр}}^{-\alpha_1} \quad (2.4)$$

Зношування шліфувального кола залежить від радіальної сили, що становила, різання. По даним [11] зношування кола зростає зі збільшенням радіальної сили

$$U = C_4 P_{\text{уд}}^{\alpha_2} \quad (2.5)$$

де значення показника ступені  $\alpha_2$  залежать від твердості кола (рис.2.6).

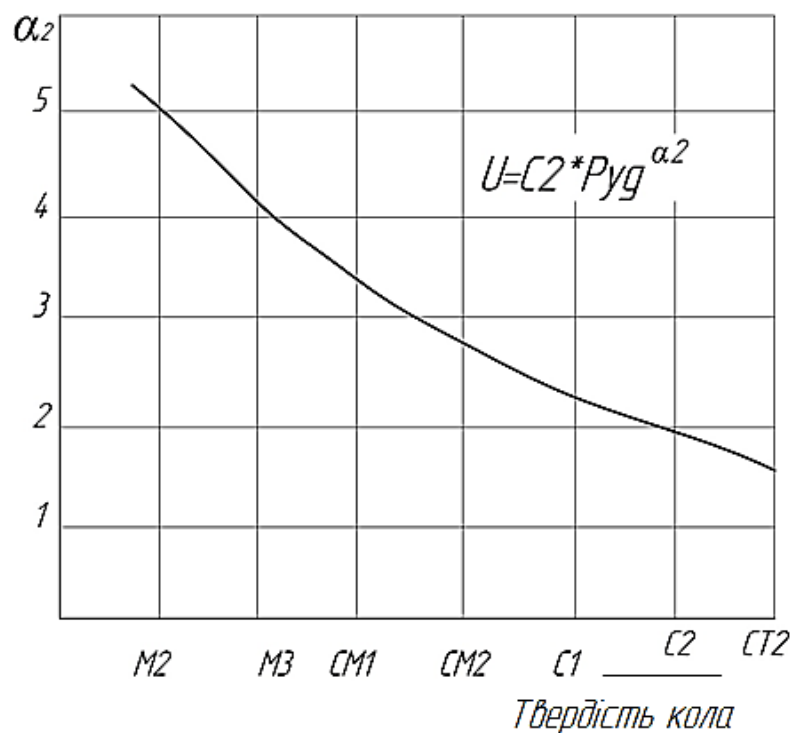


Рисунок 2.6 – Залежність показника ступені від твердості кола

При силовому шліфуванні питоме знімання металу залежить як від радіальної сили  $P_y$  так і швидкості шліфувального кола. Зі збільшенням сили притиску з'їм металу росте до певної величини, після чого він починає знижуватися внаслідок засолювання твердого кола й опадання м'якого [12].

На зношування шліфувального кола впливає твердість оброблюваного матеріалу [1], так, при збільшенні твердості від 15 до 28НКС об'ємне зношування кола зменшувалося. При подальшому збільшенні твердості вуглецевої сталі питоме об'ємне зношування зростало.

У роботах R. Nahn [13] швидкість зношування шліфувального кола визначається як

$$V_{zn} = \frac{C_{кр} \cdot D_{кр}}{C_u \cdot D_{дет}} \cdot S_m \quad (2.6)$$

де  $C_{кр}$  і  $C_u$  - коефіцієнти пропорційності залежні від умов і режимів шліфування. Автор указує, що зношування кола збільшується в міру підвищення швидкості знімання металу й залежить від характеристики оброблюваного матеріалу. На (рис.2.7.) показаний характер зміни швидкості знімання металу  $Q$  і  $V_{zn}$  - швидкості зношування кола від нормальної складової сили різання.

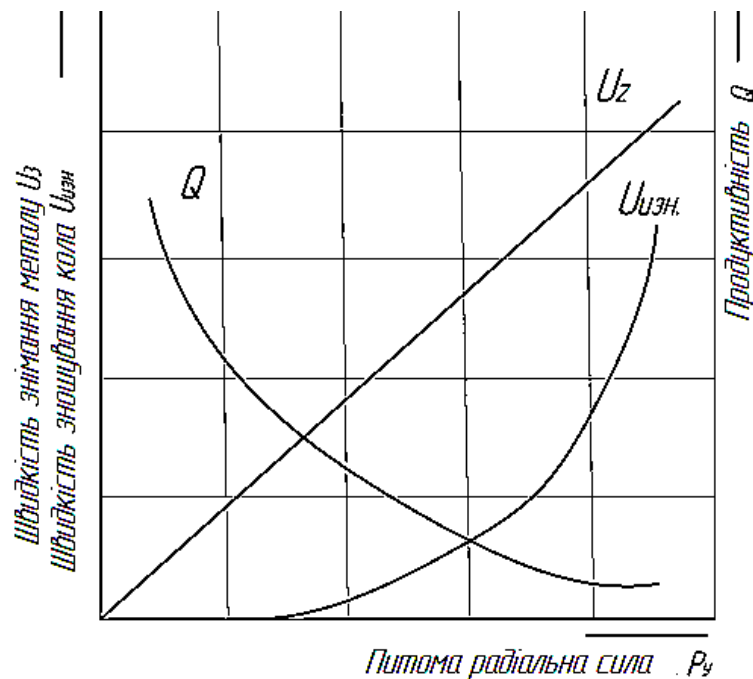


Рисунок 2.7 – Залежність параметрів шліфування від питомої радіальної сили R. Nahn робить припущення, що швидкість знімання лінійки в певному діапазоні зміни  $P_y$ . Із графіка видно, що

$$q = \frac{Q}{V_{zn}} \quad (2.7)$$

поступово зменшується зі збільшенням  $P_y$ .

## **2.2 Залежність стійкості абразивного інструмента від параметрів шліфування**

### **2.2.1 Критерії стійкості абразивних кіл**

Під стійкістю розуміється [25] здатність шліфувального кола протистояти процесам затуплення його ріжучих крайок, налипання металу на його робочу поверхню й порушення його правильної геометричної форми. Інтенсивність цих процесів, а отже, і період стійкості кола залежать від його розмірів і характеристики, матеріалу й конфігурації оброблюваної деталі, режиму різання, твердості й вибростійкості шліфувального верстата й середовища, у якому йде шліфування. Очевидно, що головними показниками, що обмежують тривалість роботи кола без виправлення, є вихідні параметри процесу (точність, якість обробки, знімання металу і і.н.). Тому для визначення періоду стійкості кола доцільніше всього вимірювати вихідні параметри й по їхніх вимірах стежити за нормальним ходом процесу шліфування. При обробці невеликої партії деталей в умовах індивідуального і дрібносерійного виробництва момент виправлення шліфувальних кіл визначає сам робітник по суб'єктивних ознаках (дроблення, видимі «прижоги», погіршення шорсткості і т.д.). Такий спосіб визначення періоду стійкості кола неточний і суттєво залежить від суб'єктивного фактора робітника.

Для крупносерійного та масового виробництва найпоширенішим способом визначення стійкості є максимальна кількість оброблених деталей, яке укладається по всіх параметрах у технічні вимоги на операцію. Це максимальна кількість деталей коректується, для того щоб уникнути шлюбу при випадкових коливаннях припуску на обробку й нестабільності якості шліфувальних кіл. Коректування ця носить суб'єктивний характер і приводить, як правило, до зменшення продуктивності процесу.

У технологічних системах малої твердості пропонується за період стійкості ухвалювати час збільшення висоти мікронерівностей на оброблюваній деталі в 1,25, 1,5 і 2 рази.

В окремих випадках, особливо при профільному урізному шліфуванні, у якості критерію стійкості ухвалюють зміни геометричної форми кола в результаті зношування. Таким критерієм користуються на практиці при урізному шліфуванні.

Притуплення кола супроводжується посиленням дроблення на оброблюваній поверхні. Однак визначення періоду стійкості за рівнем шуму утруднене через викривлення, що мають місце на виробництві [26].

Існує спосіб періоду стійкості заснованої на зміні температури шліфування, що характеризує якість шліфованої поверхні, що й збільшує із затупленням кола. Однак, вимір температури в процесі шліфування настільки складно, що в цей час не може бути використане у виробничих умовах.

При роботі шліфувального кола на його поверхні з'являються й збільшуються майданчики зношування, які викликають зниження ріжучої здатності кола. Коефіцієнт зношування, що характеризує зміни стану робочої поверхні кола визначається як відношення сумарної поверхні всіх майданчиків зношування до площі робочої поверхні кола.

При збільшенні коефіцієнта зношування ріжуча здатність кола знижується. Коефіцієнт  $\varepsilon_s$  відповідний до кінця періоду стійкості визначається залежністю [1].

$$\varepsilon_s = 0,077 + 9,95 \cdot 10^{-5} (K_z - 312) \quad (2.8)$$

$K_z$  - кількість абразивних зерен на робочій поверхні кола в  $\text{см}^2$ . У деяких випадках виміряється величина тангенціальної сили різання  $P_z$ , що характеризує роботи шліфування або потужність споживана приводом шліфувального кола [27,28]. Аналіз змін  $P_z$  показує, що при шліфуванні протягом усього періоду стійкості може збільшуватися, залишатися незмінною або зменшуватися [29].

В об'єднанні "Мосстанколиния" проведено дослідження, у результаті якого встановлено, що користуватися виміром  $N_{\text{эф}}=f(\tau)$  для подачі сигналу на виправлення не можна, тому що за період стійкості потужність виробу змінюється незначно [30]. В окремих випадках відзначається зниження потужності за період стійкості кола, яке пояснюється [6], зменшенням коефіцієнта тертя внаслідок збільшення радіуса округлення вершин зерен. У роботі [26] зниження потужності за період стійкості пояснюється посиленням вібрації, що викликає зниження коефіцієнта тертя. Тому зміни  $P_z$  й  $N_{\text{эф}}$  протягом періоду стійкості не може бути об'єктивним критерієм для встановлення необхідності виправлення.

Існує спосіб визначення стійкості підстав на збільшення радіальної складової сили різання  $P_y$  при затупленні й засолюванні кола.

У якості критерію для оцінки ріжучої здатності кола в роботі [31] пропонується вираження

$$P = \frac{C_K}{t^K} \quad (2.9)$$

де  $C_K$ ,  $K$  - постійні величини,  $t$  - час роботи кола. В.І. Меламед повідомляє [32] про дослідження радіальної складової сили різання як критерію ріжучих властивостей шліфувального кола. Автор установив, що одне середнє значення радіальної сили різання не може служити критерієм оцінки ріжучої здатності шліфувального кола й пропонує в якості критерію використовувати функцію.

$$\lambda = \frac{\Delta P_y}{t} P_y \quad (2.10)$$

де  $\Delta P_y$  - збільшення радіальної складової сили різання за час  $t$ . Фізичний зміст  $\lambda$  полягає в тому, що вона характеризує прискорення збільшення  $P_y$  у процесі шліфування. Автор вважає, що оптимальним є коло не зухвалий збільшення  $P_y$  у процесі шліфування тобто коло повним самозагострюванням, що володіє.

У роботі [33] приводиться графік залежності уд. нормальної сили шліфування від коеф. глибини зрізу. Ця залежність для наруж. круглого шліф-я має вигляд

$$P'_y = K \cdot 10^3 C_p^{1,23} \quad (2.11)$$

$$C_p = \frac{\sqrt{N \cdot a}}{N \cdot q} \quad (2.12)$$

$$N = \frac{D_d \cdot D_{кр}}{D_d \pm D_{кр}} \quad (2.13)$$

$D_d, D_{кр}$  - діаметр деталі й кола, а подача на глибину  $K = 54,8$  при зовнішньому круглому шліфуванні й швидкості  $V_{кр}$  у діапазоні від 30 до 60 м/с  $K=32,3$  отримано для  $V_{кр}$  від 60 до 90 м/с.

Однак відсутність єдиної закономірності росту радіальної сили різання при різних умовах шліфування, недостатньо чіткий зв'язок  $P_y$  і параметра якості шліфувальної поверхні, а також складність намірів утрудняють користування цим критерієм.

Визначення періоду стійкості кола може проводитися виміром швидкості знімання металу під час роботи. В основу цього способу покладене явище збільшення радіальної сили різання із затупленням кола. В основному, вивчення швидкості знімання металу проводиться на спеціальних установках, що дозволяють здійснювати постійний тиск між колом і деталлю [28,34]. У цьому випадку зменшення швидкості знімання металу відбиває погіршення ріжучої здатності кола в роботі. У якості критерію ріжучої здатності пропонується [28] вираження

$$K = \frac{S_y}{P_y}, \quad (2.14)$$

де  $S_y$  - фактична подача на глибину.

У роботі [35] у якості елемента, у функції якого оцінюється ріжуча здатність абразивного матеріалу, пропонується радіальна сила

$$K = \frac{Q}{P_y} \quad (2.15)$$

де  $Q$  - обсяг матеріалу деталі знижуваний в одиницю часу. Для обчислення величини  $K$  пропонується формула

$$K = \frac{C_k}{d}$$

де  $C_k$  - постійна залежна від ряду факторів  $\alpha$  - є розв'язком диференціального рівняння

$$\frac{d_a}{d_z} = \lambda \cdot \eta - \frac{a}{2tf} \quad (2.16)$$

де  $\lambda$  - щільність зерен абразиву на робочій поверхні кола;

$\eta$  - коефіцієнт зношування.

$t$  - тривалість роботи одного зерна

$d$  - довжина шляху різання, пропорційна часу роботи кола.

У роботі [34] за боковий вівтар стійкості кола прийняте зниження швидкості знімання на 40-50%. Причому вплив усіх змінних факторів шліфування виявилася, за твердженням автора, невелике й практично цей момент наступав при будь-яких умовах шліфування через 10-15 хв. роботи.

У роботі [35] вказується, що зменшення швидкості знімання металу всього лише на 20% при певних режимах роботи дає глибокий припік, а при інших умовах зниження швидкості знімання на 70-80% не дає помітних шліфувальних опіків.

Таким чином, пропонований спосіб визначення періоду стійкості кола не є універсальним і однозначним критерієм для різних умов шліфування, хоча в деяких випадках він може бути застосований. У практичних умовах у якості критерію стійкості кола може бути використане відносне зростання максимальних миттєвих значень  $P_y$  при постійній швидкості поперечної подачі, або відносне зростання часу шліфування для знімання заданого шару металу при постійної  $P_y$ . Коефіцієнт ріжучої здатності кола [1] відбиває здатність кола зняти з деталі певна кількість металу в одиницю часу  $Q$  при дії одиниці сили, що притискає коло до деталі:

$$K = \frac{Q}{P_y^1} \quad (2.17)$$

Зміна коефіцієнта ріжучої здатності кола в часі відбувається по певній закономірності й тому відбиває ступінь затуплення кола

$$K_\tau = K_0 \cdot E^{-\lambda t} \quad (2.18)$$

де  $K_\tau$  - поточне значення коефіцієнта ріжучої здатності;

$K_0$  - значення коефіцієнта ріжучої здатності на початку роботи;

$\lambda$  - постійна, що залежить від умов шліфування.

При падінні ріжучої здатності до якої-небудь величини потрібна виправлення. Складність його використання в тому, що під час роботи необхідно виміряти відразу дві величини  $Q$  і  $P_y$ .

Вплив режиму шліфування на продуктивність і ріжучу здатність впливає із загальних закономірностей процесу різання. Ріжуча здатність  $K_p$  пов'язана з  $P_y$  співвідношенням

$$K_p = K \cdot P_y^2 \quad (2.19)$$

За даними досліджень [1.53] величина  $l$  варіюється в процесах

$$0 \leq \alpha \leq 0,7$$

У роботі пропонується залежність виду

$$K_p = C_k \cdot P_y^\beta \cdot e^{\gamma \frac{Q}{P_y}} \quad (2.20)$$

де  $C_k$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - залежать від характеристик абразивних кіл, виду правлячого інструмента й режиму виправлення, умов обробки.

$\gamma < 0$  - при роботі в режимі переважного притуплення

$\gamma > 0$  - при перевазі самозагострювання.

На (рис.1.8) показана зміна ріжучої здатності при шліфуванні. При малій осьовій подачі правлячого інструмента ріжуча здатність може в процесі обробки збільшуватися, що пояснюється нерівномірним зношуванням ріжучої поверхні кола й збільшенням кількості активних ріжучих крайок при самозагострюванні.

При великій осьовій подачі правлячого інструмента ріжуча здатність знижується в процесі обробки в міру збільшення майданчиків зношування й радіусів округлення вершин зерен.

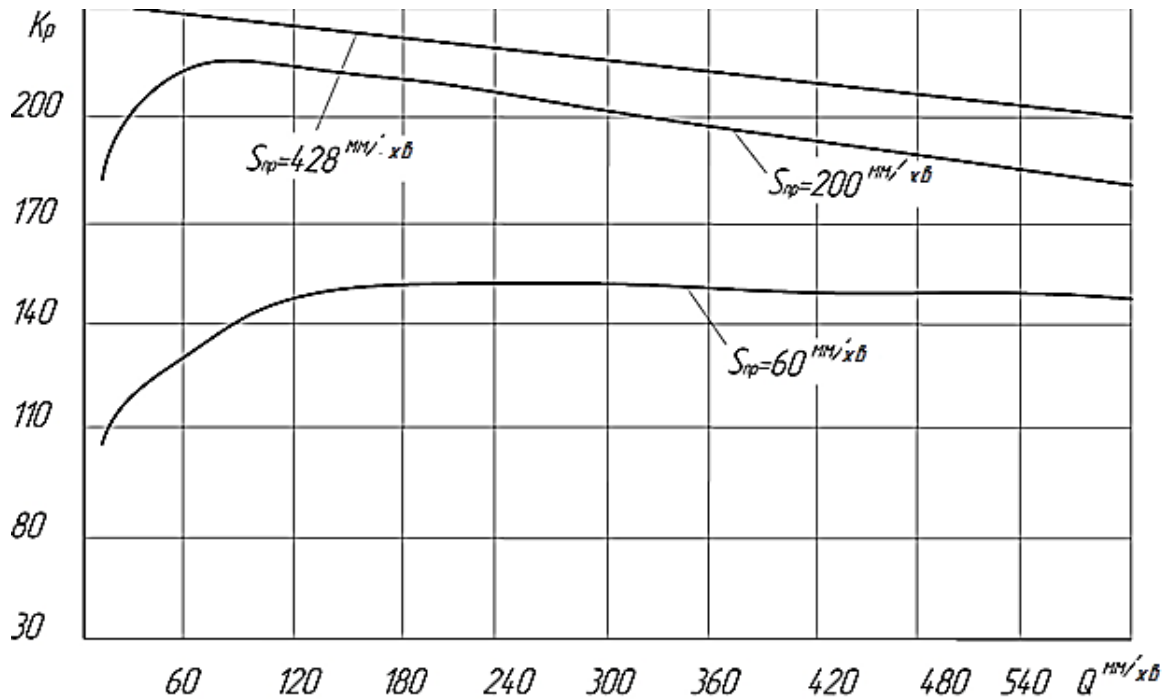


Рисунок 2.8 – Залежність коефіцієнта ріжучої здатності

На (рис.2.9) наведені залежності початкового значення ріжучої здатності  $K_0$  від радіального зусилля  $P_y$  і режимів виправлення.

У роботі вказується, що введення зачисних проходів при виправленні веде до зниження ріжучої здатності, якщо подача при зачищенні не перевершує подачу при виправленні.

Збільшення амплітуди  $P$  радіальних коливань шліфувального кола щодо оброблюваної деталі, що відбувається зі зношуванням кола, є причиною погіршення геометричних параметрів і якості шліфованих поверхонь («хвилястість» й шорсткості).

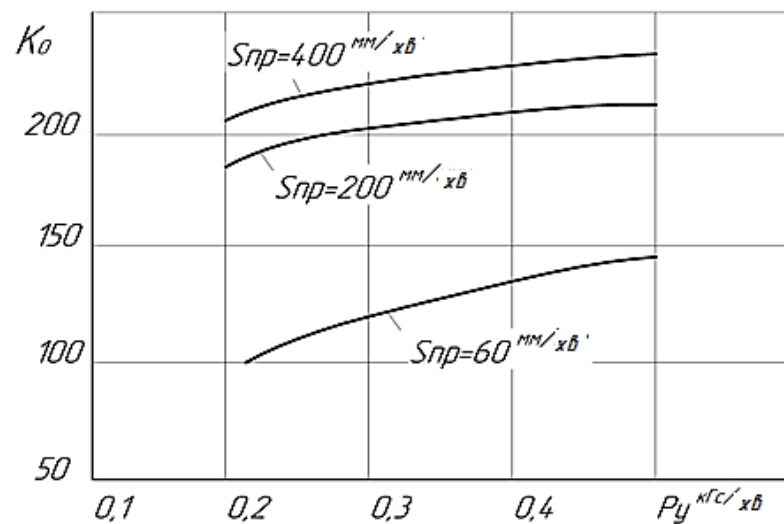


Рисунок 2.9 – Залежність початкового значення ріжучої здатності від радіальної сили різання

Тому зміна амплітуди коливань радіальної сили різання або амплітуди коливань якого-небудь вузла (або деталі) верстата. Поблизу зони шліфування може служити задовільним критерієм для визначення періоду стійкості кола. Тим більше, що збільшення амплітуди коливань відбувається досить помітно, щоб використовувати цей критерій з необхідним ступенем точності [37].

Аналіз різних способів визначення періоду стійкості кола показує, що найбільш ефективними слід уважати вимір коефіцієнта ріжучої здатності кола й збільшення амплітуда радіальних коливань шліфувального кола

### 2.2.2. Вплив умов обробки на стійкість шліфувального кола

На стійкість шліфувального кола впливає матеріал абразивного зерна. По даним [42], стійкість кола з монокорунда в 1,5 – 2 рази вище стійкості кіл з електрокорунду. Стійкість кіл з електрокорунду хромтитаністого на 62-150% вище в порівнянні з колами з електрокорунду білого [43].

Зі зменшенням номера структури стійкість кіл знижується. Виробничі спостереження показують, що дрібнозернисті кола мають меншу здатність до самозагострювання в порівнянні з колами більшої зернистості, у результаті чого дрібнозернисті кола швидше притупляються й засолоються.

Якщо за критерій стійкості прийняти ріжучі здатності кола, то зі зменшенням твердості кола кількість знятого металу за період стійкості збільшується [9].

При профільному шліфуванні [44] зі збільшенням твердості кола зростає його стійкість.

По даним [26], стійкість кола змінюється незакономірно зі зміною його твердості. Твердість кола має оптимальне значення, коли вона відповідає режиму й умовам шліфування. У всіх інших випадках, як підвищення, так і зниження твердості кола буде викликати зниження його періоду стійкості.

Стійкість кола при дотриманні того самого режиму шліфування зі збільшенням швидкості різання росте. На (рис.2.10) видно, що при одній шорсткості обробленої поверхні число виробів, прошліфованих у період між двома виправленнями значно зростає.

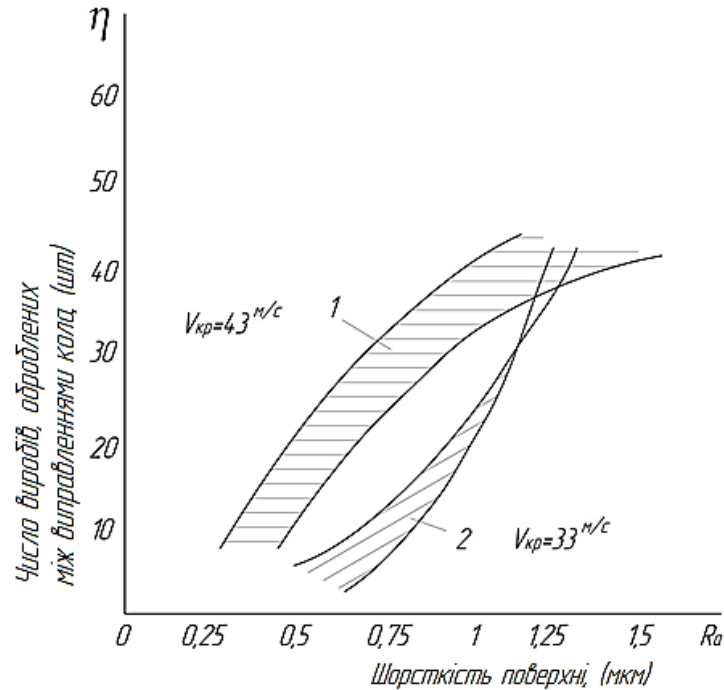


Рисунок 2.10 – Залежність шорсткості поверхні деталі від періодичності виправлення кола

Наприклад, при швидкості 33 м/с і висоті нерівностей на оброблюваній поверхні 0,75 мкм стійкість між виправленнями кола рівна 10 виробам, а при швидкості 43 м/с і тій же висоті нерівностей стійкість зростає до 30 шт. [45]. Експериментально встановлене [46], що зі збільшенням швидкості кола його стійкість збільшується за законом показової функції, причому в зоні  $V_{кр} > 30$  м/с показник ступеня рівний 1.55, а в зоні  $V_{кр} \leq 30$  м/с - 0,4.

Зі збільшенням поперечної подачі стійкість знижується (рис.2.11), збільшення швидкості виробу приводить до зростання стійкості. Так для подачі 1 мм/хв стійкість кола в 2 рази вище для швидкості виробу 130 об/хв у порівнянні зі швидкістю 65 об/хв.

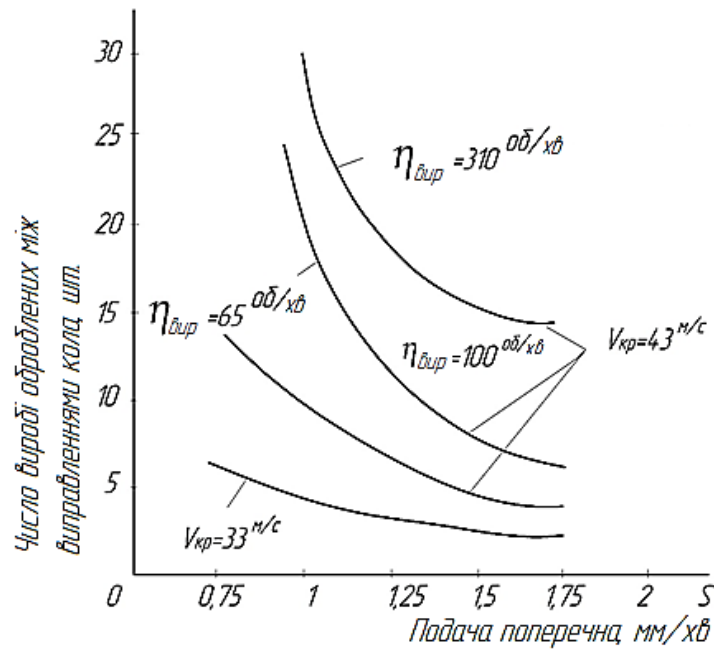


Рисунок 2.11 – Залежність періодичності виправлення кола (стійкості) від поперечної подачі

Автори [45] пояснюють це виникненням «прижогов» на обробленій поверхні внаслідок засолювання поверхні кола.

За іншим даними [1] залежність стійкості має вигляд

$$T = \frac{C_t}{t_0^x \cdot S_0^y \cdot V_g^z} \quad (2.21)$$

Враховуючи, те, що стійкість однаковою мірою залежить від усіх видів подач.

Це вираження можна представити як

$$T = \frac{C_T^1}{(t_0 \cdot S_0 \cdot V_g)^\gamma} \quad (2.22)$$

Середні значення показника ступені  $\gamma = 1,73$

### 2.2.3. Основні способи визначення стійкості шліфувальних кіл

Стійкість шліфувального кола визначається його розмірами й характеристикою, режимами обробки, середовищем у зоні різання й оброблюваністю матеріалу, що шліфується. Залежність стійкості кола від режимів різання найчастіше представлена у вигляді

$$T = C_T \cdot t_0^{-x} \cdot S_0^{-y} \cdot V_g^{-z} \quad (2.23)$$

де  $C_T$  - коефіцієнт залежний від характеристики кола, від оброблюваного матеріалу й інших умов шліфування. Недоліком таких емпіричних залежностей є обмежена область їх застосування, вони придатні для розрахунків тільки в умовах ідентичних умовам проведення експериментів. Однак у цей час тільки на основі таких залежностей розробляються рекомендації й нормативні матеріали по визначенню періоду стійкості шліфувальних кіл.

Розрахункові формули по визначенню періоду стійкості можуть містити в собі окремі параметри визначальні продуктивність шліфування. Так для круглого зовнішнього шліфування [47]

$$T = \frac{0,027 \cdot D\delta^{0,6}}{(S_0 \cdot V_g)^2} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2.24)$$

При цьому коефіцієнт  $K_1$  залежить від оброблюваного матеріалу, а  $K_2$  - від діаметра кола.

Для визначення періоду стійкості автоматичної роботи [48] пропонують

$$T = Q \cdot \Pi \cdot D_{кр} \cdot U_{доп} \cdot \frac{q}{V_{кр}} \quad (2.25)$$

де  $Q$  - питоме знімання металу;

$D_{кр}$  - діаметр шліфувального кола;

$U_{доп}$  - припустиме радіальне зношування кола;

$V_{кр}$  - швидкість шліфувального кола;

$q$  - шліфувальний еквівалент.

Методика визначення стійкості по нормативних матеріалах [49] показано на (рис.2.12).

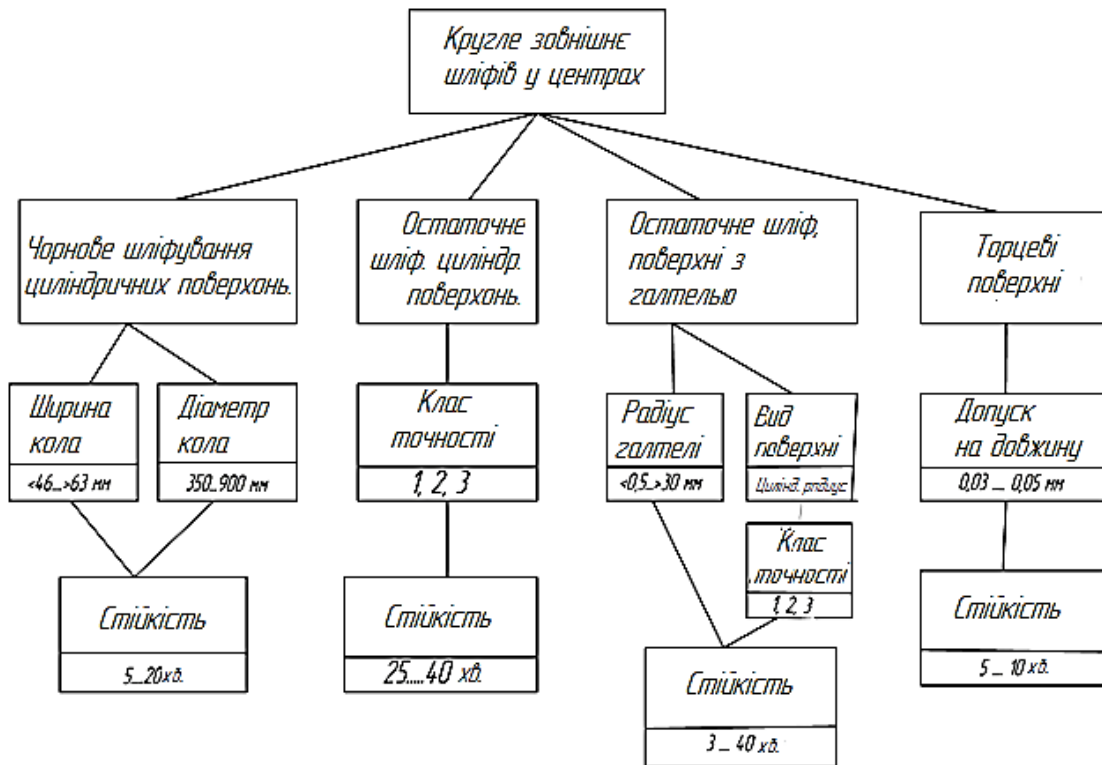


Рисунок 2.12 – Схема вибору стійкості

Вплив режимів різання на стійкість кіл для більшості випадків шліфування можна представити у вигляді

$$T = \frac{C_T}{Q^m}, \quad (2.26)$$

де  $Q$  – середня швидкість знімання металу (мм<sup>3</sup>/хв).

$C_T$  - коефіцієнт залежний від оброблюваного матеріалу, розмірів і характеристики кола й інших факторів.

$m$  - показник ступеня, що виражає інтенсивність зменшення стійкості кола, залежить від умов шліфування.

При цьому критерій стійкості залежить від конкретних вимог до операції (по прижогах, вібраціям, певній висоті шорсткості шліфувальної поверхні, втраті геометричної форми кола й ін.). Для визначення стійкості в роботі [25] використовується характеристика  $T$ - $Q$  зв'язок, що виражає, між інтенсивністю знімання металу й періодом стійкості кола.

Величина фактичної швидкості знімання металу  $Q_p$  завжди менше швидкості знімання  $Q$ , що задається режимом обробки. Це відбувається через розмірне зношування шліфувального кола й пружних отжатій системи від дії радіальної сили різання. Тоді у формулу вводиться коефіцієнт знімання металу.

$$K_c = \frac{Q_\phi}{Q}, \quad (2.27)$$

тоді 
$$T = \frac{C_T}{(Q \cdot K_c)^m} \quad (2.28)$$

Величина  $K_c$  залежить від твердості технологічної системи, радіальної складової сили різання й зношування кола. Із графіків, зображених на (рис.1.13) видно, що для м'яких легкошліфуємих сталей величина  $K_c$  перебуває в межах 0,85-0,95, причому, менші значення ставляться до більш інтенсивних режимів шліфування.

При шліфуванні важкооброблюваних сталей, коефіцієнт значно менше (0,4 - 0,7) і більш чутливий до збільшення режиму обробки.

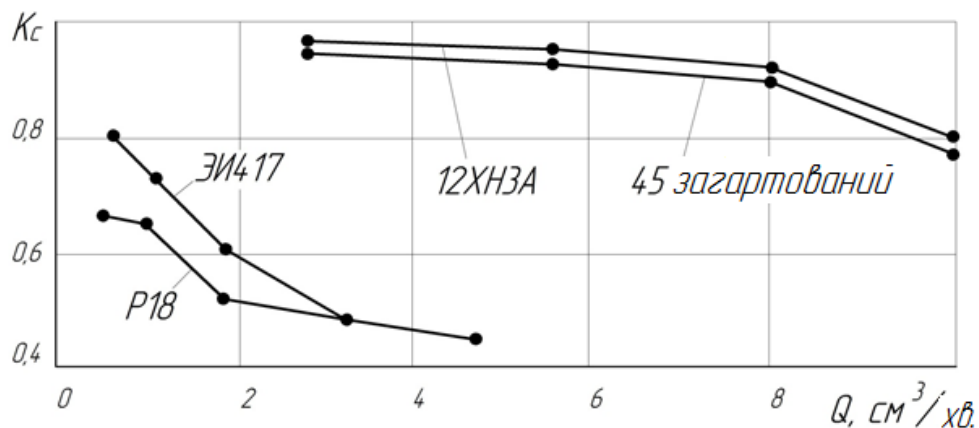


Рисунок 2.13 – Залежність коефіцієнта знімання металу від інтенсивності шліфування

Якщо відома  $T-Q$  - характеристика й задана стійкість кола, що по формулі (1.26) можна визначити значення фактичної швидкості знімання металу  $Q_\phi$  відкоригувати його з урахуванням коефіцієнта  $K_c$  і призначити відповідні значення елементів режиму різання.  $T-Q$  - характеристика

дозволяє спостерігати працездатність шліфувального кола на всьому діапазоні режимів різання й може служити показником оброблюваності металів. Використовуючи матеріали роботи [25] можна скласти монограму для

визначення стійкості при урізному шліфуванні деталей з різними геометричними параметрами й інтенсивністю знімання припуску. Визначення  $T-Q$  характеристики дозволяє простежити поведінку кола в усьому діапазоні режимів різання.

На (рис.2.14) показані характеристики  $T-Q$ , отримані при круглому зовнішньому шліфуванні загартованої сталі 45 з різними швидкостями обертання кола. Зі збільшенням швидкості різання з'являється можливість побільшати інтенсивність знімання металу при збереженні постійної стійкості кола.

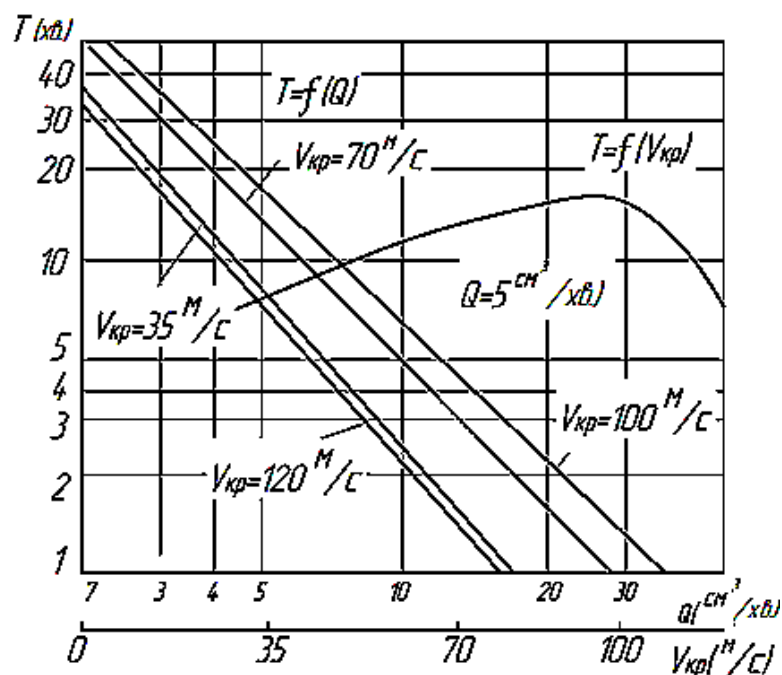


Рисунок 2.14 – Залежність стійкості від швидкості шліфування сталі 45

Як було відзначено вище,  $T-Q$  - характеристику зручно використовувати для оцінки оброблюваності металів шліфуванням. Порівняння оброблюваності проводиться при зафіксованих, у міру можливості, оптимальних умов обробки. Критеріями оброблюваності можуть служити постійні коефіцієнти  $C_T$  і показник ступені  $m$ .

Для одержання більш універсальних (не залежних від розмірів кола) критеріїв можна скористатися перекладом показника знімання металу до одиниці

робочої поверхні кола. Тоді  $T-Q$  - характеристику можна виразити в наступному виді:

$$T = \frac{C_T}{\left(\frac{Q}{A_S} \cdot K_C\right)^m} \quad (2.29)$$

де  $T$  стійкість  $1 \text{ см}^2$  робочої поверхні кола у хв;

$C_T$  - величина стійкості одиниці робочої поверхні кола при швидкості знімання, рівної  $1 \text{ см}^3/\text{хв}$ ;

$A_S$  - площа робочої поверхні кола в  $\text{см}^2$ .

### **2.3 Основні методи вибору характеристик кіл при круглому зовнішньому шліфуванні**

При проектуванні шліфувальних операцій особливе значення має вибір характеристики кола. Правильний розв'язок цього завдання в сукупності з визначенням раціональних режимів експлуатації кола обумовлює ефективність технологічної операції.

Велика кількість факторів, що виявляють вплив на вибір характеристик кіл, часто приводить до неоднозначного розв'язку. По існуючих нормативних довідниках вибір характеристик кіл проводиться залежно від вихідних даних. Додатковою умовою вибору її є швидкість кола, при збільшенні якої від 35 до 50 м/с твердість кола знижується на один ступінь.

У цей час вибір характеристики шліфувального кола виконується по нормативах залежно від оброблюваного матеріалу (хімскладу і твердості), від необхідної шорсткості й точності оброблюваної поверхні. Для конкретних умов обробки вибір характеристик включених у нормативи шліфувальних кіл проводиться приблизно, параметри характеристики зазначені в широкому діапазоні. Так, наприклад, у довіднику за редакцією Барановського Ю.В. [51] характеристика шліфувального кола вибирається залежно від виду обробки й оброблюваного матеріалу. При цьому враховується точність обробки (менше або більше 0,03 мм) і шорсткість поверхні деталі в діапазонах від 0,4 до 1,25 мкм і від 1,25 до 2,5 мкм.

Структурна схема вибору характеристики кола по цьому довідникові дано на (рис.2.15).

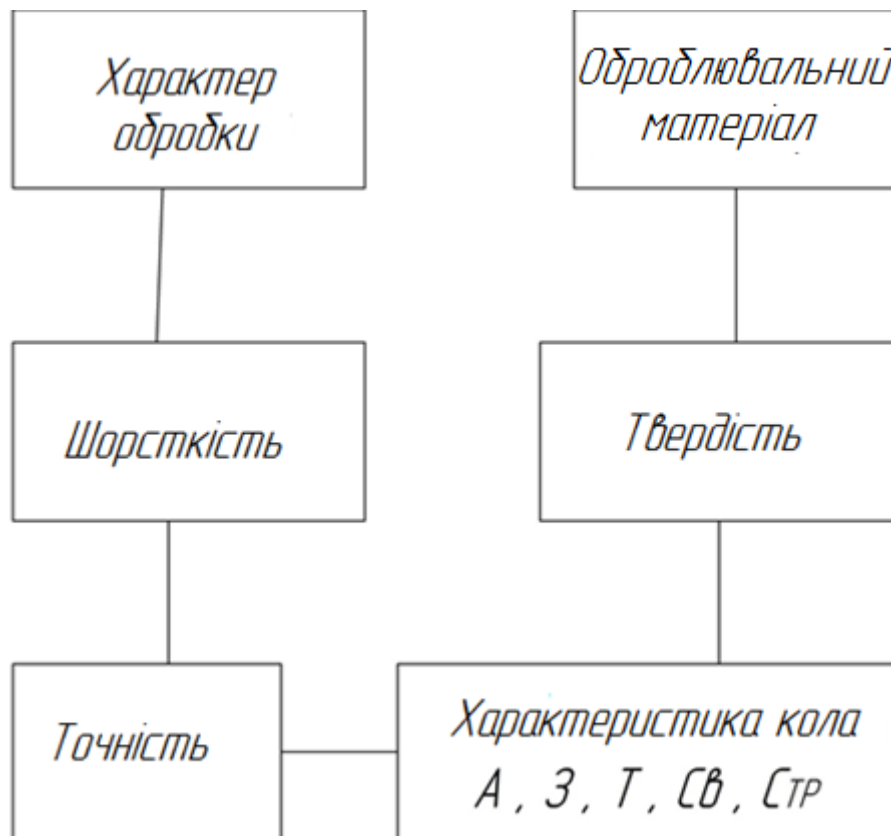


Рисунок 2.15 – Схема вибору характеристик кола

За останні роки абразивна промисловість освоїла випуск значної кількості нових абразивних матеріалів і шліфувальних кіл з них. Обґрунтований вибір характеристик цих кіл і визначення раціональних областей їх застосування вплинуть на показники операції шліфування. В існуючі нормативи на вибір характеристик шліфувальних кіл нові абразивні матеріали не включені.

Серед порівняно нових різновидів електрокорундових матеріалів найбільшою популярністю користуються електрокорунд хромистий (ЕХ) і титанистий (ЕТ). Шліфувальне зерно ЕХ у порівнянні з іншими відомими електрокорундовими матеріалами має більш значний відсоток монокристалічних зерен, відрізняється великою стабільністю фізико-механічних властивостей, більшим, у порівнянні з ЕБ і ЕН, насипною вагою й трохи більшою мікротвердістю [43]. При шліфуванні середне - і високолегованих сталей, спецсталей, сплавів і чавунів було відзначено, що стійкість кіл з ЕХ у середньому лише на 10% перевищує

аналогічний показник при роботі колами з ЕБ. На деяких операціях шліфування стійкістю показники цих матеріалів перебували на одному рівні, а в ряді випадків стійкість досвідченого інструмента з ЕХ виявлялася навіть нижче. Тобто ЕХ, як і будь-якому іншому абразивному матеріалу, властиві особливі фізико - механічні властивості, що й шліфують. Тому механічна заміна колами з ЕХ інструмента з ЕБ і ЕН без проведення попередніх випробувань у конкретних умовах виробництва недоцільна.

Одне із властивостей ЕТ - у незначному ступені втрачати вихідну твердість при високих температурах. Крім того, при нагріванні до невеликих температур міцність його, по даним деяких досліджень підвищується. Тому інструмент із ЕТ можна успішно використовувати при значних навантаженнях і високих температурах, що виникають у процесі різання. ЕТ зберігає підвищені ріжучі властивості шліфувальних кіл на бакелітовому зв'язуванні. Крім того, по даним ВНІДМАШ, електрокорунд титаністий дає також високий афект на тих операціях шліфування, де потрібне тривале збереження профілю шліфувального кола.

Новим перспективним матеріалом є хромо-титаністий електрокорунд (ЕХТ). Відзначається [43] більш висока міцність на стиск і абразивна здатність ЕХТ у порівнянні із зернами ЕБ, ЕХ і ЕТ, що й забезпечує високі ширяючі властивості інструмента з ЕХТ.

У цей час назрів питання раціонального вибору характеристик абразивних інструментів для обробки різних марок стали й забезпечення різних вимог операції. Для розв'язку цього завдання необхідно розглянути диференційований вплив кожного параметра характеристики кола на забезпечення вихідних даних деталі.

На шорсткість поверхні переважаючий вплив виявляє зернистість кола. Дрібнозернисті кола дають меншу висоту гребінців, а грубозернисті кола — більшу. На якість поверхневого шару («прожоги», мікротріщини, твердість деталі після шліфування) істотний вплив виявляють, крім режимів різання, такі характеристики інструмента як твердість, структура й зв'язування. М'які кола

дають меншу температуру нагрівання деталі в порівнянні з більш твердими колами через викрашування зерен за певних умов різання. Високоструктурні кола знижують за інших рівних умов температуру в зоні різання через меншу кількість ріжучих зерен, більш інтенсивне охолодження відбувається за рахунок більшої кількості норм у колі. Це підвищує твердість деталей після шліфування. Кола на бокситовій зв'язуванні менш схильні до прижогом, чому кола на керамічному зв'язуванні.

Завдання вибору характеристики абразивного кола слід вирішувати у два етапи. На першому етапі виявляти потенційні ріжучі здатності абразивних зерен, а на другому визначати умови максимального використання ріжучих властивостей кола при шліфуванні.

## **2.4 Вплив режимів і умов шліфування на шорсткість поверхні деталі**

Одним з показників якості шліфувальної деталі є шорсткість поверхні. Вона залежить від режимів і способу шліфування, характеристики шліфувального кола, властивостей оброблюваного матеріалу, умов виправлення, вібрацій і інших факторів.

Зміна режимів шліфування впливає на ступінь абразивного й теплового впливу кола на кожний елементарний майданчик поверхні, що шліфується, деталі. Фактори, що сприяють зменшенню товщини, що зрізується стружки, сприяє зниженню шорсткості поверхні. У роботі [1] вказується, що висота мікронерівностей зростає зі збільшенням радіальної сили й усіх видів подач. Ця залежність визначається статечною функцією з показником ступеня 0,4-0,5. У роботі досліджений вплив співвідношення лінійних швидкостей шліфувального кола й виробу на шорсткість поверхні без обліку властивостей оброблюваного матеріалу, температурних явищ і зношування кола. Їм встановлено, що з зниженням співвідношення величин окружних швидкостей шорсткість поверхні виробу збільшується.

Шорсткість поверхні при всіх інших рівних умовах залежить від величини урізної подачі й, у меншій мері, від швидкості виробу. Замічено також, що зі

збільшенням урізної подачі ступінь її впливу на шорсткість зменшується. Результати досліджень показують, що при збільшенні поперечної подачі з 0,55 до 4,8 мм/хв при постійних значеннях інших технологічних параметрів висота нерівностей розрахунки. Це пояснюється збільшенням товщини шару, що знімається кожним зерном.

На шорсткість поверхні впливає стан верстата. Наявність вібрацій приводить до нерівномірного зношування кола по його периферії. При високих вимогах до оброблюваної поверхні необхідно обмежити вібрації у верстатах.

По даним амплітуда коливань між шліфувальною бабкою й столом на холостому ходу не повинна перевищувати  $0,2 \div 0,5$  мкм. На шорсткість обробленої поверхні каже вплив фізико-механічний властивості матеріалу деталі. По даним [27] шорсткість поверхні чорних металів зі зменшенням мікротвердості при шліфуванні з однаковими режимами. Для сталі з мартенситною структурою виходить менша шорсткість, ніж при трооститової і сорбитової структурі.

За даними Е.Н. Масловим [46] вплив величини діаметра деталі на шорсткість поверхні можна виразити статечною функцією з показником ступеня 0,13-0,15, причому зі збільшенням діаметрі загартованої деталі шорсткості поверхні зменшується.

Підвищення шорсткості за період стійкості кола, пояснюється зношуванням кола. При урізному шліфуванні з невеликими припусками й малими подачами. Проведене експериментальне дослідження шорсткості в автоматичному при урізному шліфуванні в автоматичному циклі, що полягає із чорнового, чистового шліфування й виходжування. Установлене, що чистовий етап шліфування й виходжування дозволяють зменшити шорсткість, отриману на чорновому етапі, однак її величина залежить від її чорнової подачі й величина знятого припуску.

Аналізуючи характер зміни шорсткості оброблюваної поверхні від тривалості шліфування можна відзначити, що спочатку робоча поверхня крута інтенсивно зношується, а потім його робота стабілізується й згодом коло поступово

притупляється [25]. Протягом першого періоду, особливо на самому початку шліфування, найбільший вплив на шорсткість шліфованої поверхні виявляє виправлення кола. У процесі подальшого шліфування робоча поверхня кола видозмінюється, вплив виправлення слабшає, і шорсткість поверхні стабілізується. Тривалість першого періоду  $\tau_1$  залежить головним чином від твердості кола й режиму шліфування. Другий період роботи кола характеризується плавним збільшенням шорсткості шліфувальної поверхні внаслідок затуплення й засолювання кола й збільшення рівня вібрацій. У цьому періоді висота мікронерівностей майже не залежить від виправлення кола, а визначається його характеристикою я режимом різання.

У роботі Филімонова [25] рівняння шорсткості, що описують зміну, за час роботи кола презентовано у вигляді:

$$R_a(\tau) = (R_{\text{анач}} - R_{\text{аст}})e^{-\lambda\tau} + R_{\text{аст}} \cdot e^{\delta\tau}, \quad (2.30)$$

де  $R_{\text{анач}}$  - висота мікронерівностей на початку шліфування

$R_{\text{аст}}$  - висота мікронерівностей після приробляння кола, на початку другого періоду його роботи

$\delta$  - показник ступеня, що виражає ріст висоти мікронерівностей у наслідок затуплення кола й вібрацій у зоні різання

$\lambda$  – показник ступеня, що виражає зміна мікронерівностей у період приробляння кола.

Використання даних [25] для розрахунків шорсткості дозволяють простежити зміни  $R_a$  на деталях із загартованої сталі 45 діаметром 60 мм при обробці колом Е9А25С1 (рис.2.16).

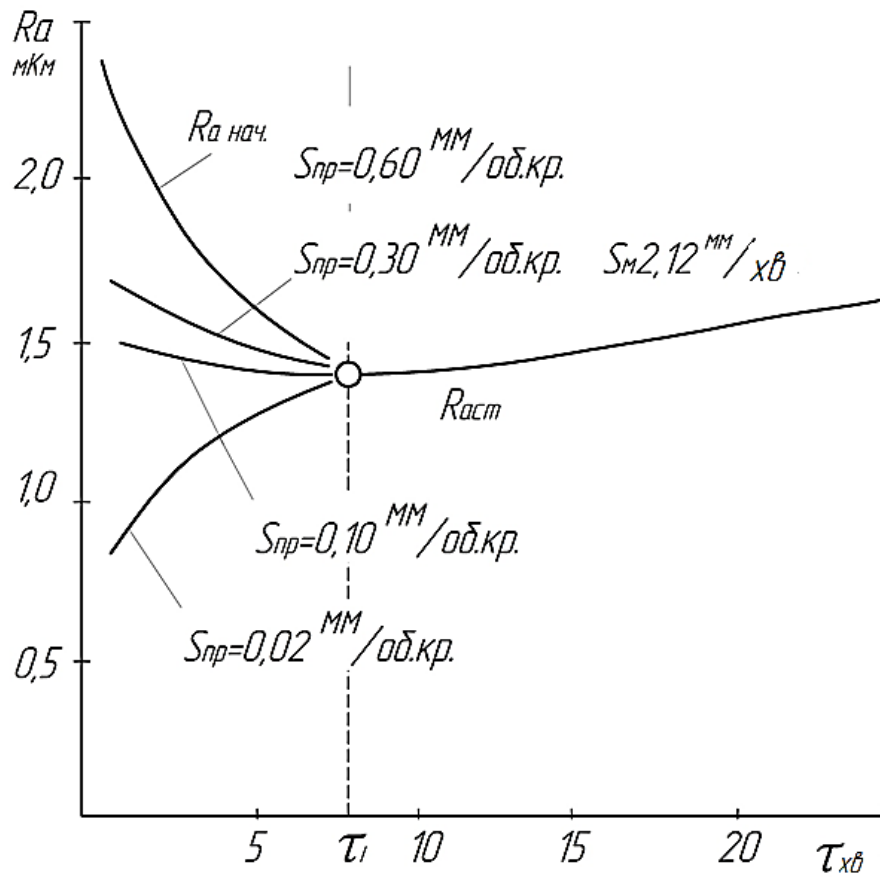


Рисунок 2.16 – Залежність шорсткості від часу шліфування

Із графіка видно, що при більших подачах олівця початкова шорсткість вище  $R_{act}$  і навпаки, при малих подачах виправлення  $R_{ан} < R_{act}$ .

Процес стабілізується при  $\tau_1 = 8$  хв.

Залежність шорсткості й часу  $\tau_1$  від урізної подачі представлено на (рис.2.17).

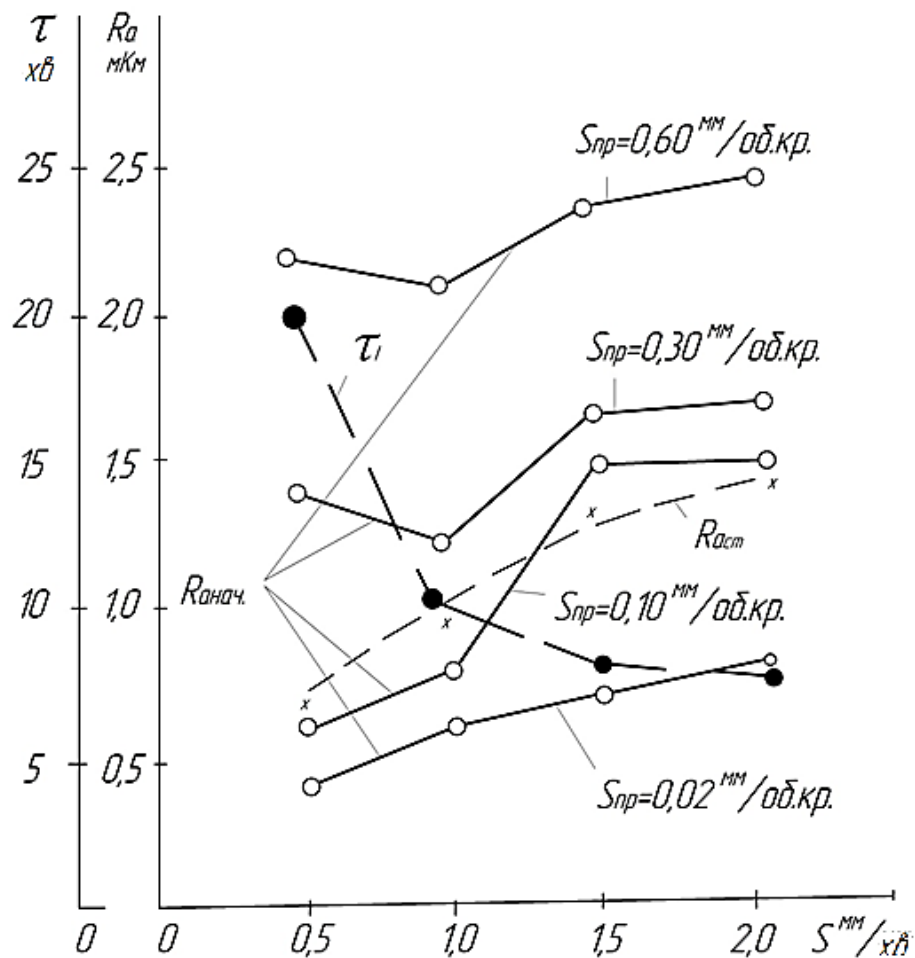


Рисунок 2.17 – Залежність шорсткості й часу стабілізації процесу від врізною подачі

Із графіків видно, що шорсткість поверхні збільшується зі зростанням інтенсивності шліфування (подачі  $S_M$ ), а час приробляння  $\tau$ , при цьому зменшується. Це можна пояснити збільшенням інтенсивності зношування кола з ростом подачі.

Аналізуючи графіки можна зробити висновок, що для стабілізації процесу режими виправлення слід вибрати такими, щоб шорсткість поверхні в період приробляння була близька до  $R_{ост.}$ . У розглянутому прикладі це досягається при  $S_{пр} = 0,08$  мм/об. Шорсткість обробленої поверхні може бути критерієм при визначенні стійкості кола. Так, наприклад, у роботі [25] установлене відношення шорсткості на початку обробки до шорсткості наприкінці періоду стійкості кола для сталі 45 становить 1,3.

Незважаючи на численні теоретичні й експериментальні дослідження в цей час попередній розрахунки висоти мікронерівностей утруднений, через відсутність

узагальнених розрахункових формул враховуючих різні умови шліфування. В окремих випадках шорсткість поверхні деталі може визначатися по емпіричних залежностях для конкретного випадку шліфування.

## 2.5 Аналіз нормативних даних на вибір режимів шліфування

Виконаний аналіз існуючих нормативних матеріалів по визначенню режимів різання при урізному круглому зовнішньому шліфуванні. Існуючі в цей час довідкові матеріали й нормативи можуть бути розділені на групи, у яких використовується різна методика вибору режимів шліфування. Це обумовлюється дослідженнями покладеними в основу методики. Основними представниками таких груп можуть бути, узагальнені дані досліджень ВНДДАША, НДДАВТОПРОМА та ін., нормативні матеріали випущені за редакцією К.С. Корчена, Г.Б. Лур'є, а також укрупнені дані в книгах і підручниках по шліфуванню. В узагальнених нормативах режимів різання для серійного [47] крупносерійного й масового виробництв визначається кругова подача деталі й величина урізної подачі. При виборі швидкості обертання деталі нижня межа визначається «безприжеговой» обробкою, а верхній - безвібраційною зоною обробки. Нормативи розраховані для швидкості обертання кола до 35 м/с.

При виборі параметрів грубого шліфування режим обробки визначається відповідно до заданого періоду стійкості, який визначається по формулі:

$$T = C_T \frac{d_u^{0,6}}{(V_g \cdot S_{ep})^2} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2.31)$$

де  $C_T$  - коефіцієнт мінливий залежно від типу виробництва для серійного він рівний 0,027, для крупносерійного - 0,042 і для масового-0,075

$K_1$  - визначається по матеріалу заготовки

$K_2$  - залежить від діаметра кола.

Для визначення урізних подач при грубому шліфуванні використовуються формули:

$$S_1 = \frac{C_{S1}}{T^{0,5} \cdot d_u^{0,7}} \cdot K \quad (2.32)$$

$C_{S1}=52,1$  для серійного виробництва

$C_{S1}=66$  для крупносерійного виробництва

$C_{S1}=87$  для масового виробництва

$K$  - визначається діаметром кола й матеріалом заготовки й перебуває в межах 0,7...1,29.

При пред'явленні вимог до точності обробки і якості оброблюваних поверхонь застосовується режими напівчистового й чистового шліфування. Розрахункова формула для урізної подачі:

$$S_2 = \frac{C_{S2}}{T^{0,5} \cdot b^{0,6}} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2.33)$$

$C_{S2}=37,6$  для серійного виробництва

$C_{S2}=60,5$  для крупносерійного виробництва

$C_{S2}=95$  для масового виробництва

$K_1$  - визначається по матеріалу заготовки й діаметру кола

$K_2$  - визначається припуском на обробку, класом точності поверхні й видом контролю.

При аналізі режимів різання наведених у довідниках НДДАВТОПРОМА [51] і в книгах Каргана С.Н. [53] і Антонюка В.Е. і ін. були виведені узагальнені розрахункові формули, що дозволяють використовувати ці джерела при виборі режимів різання на ЕОМ.

На (рис.1.18) представлений алгоритм вибору режимів різання по довідникові. Методиці вибору круговий і урізний подач аналогічно наведеної вище [47].

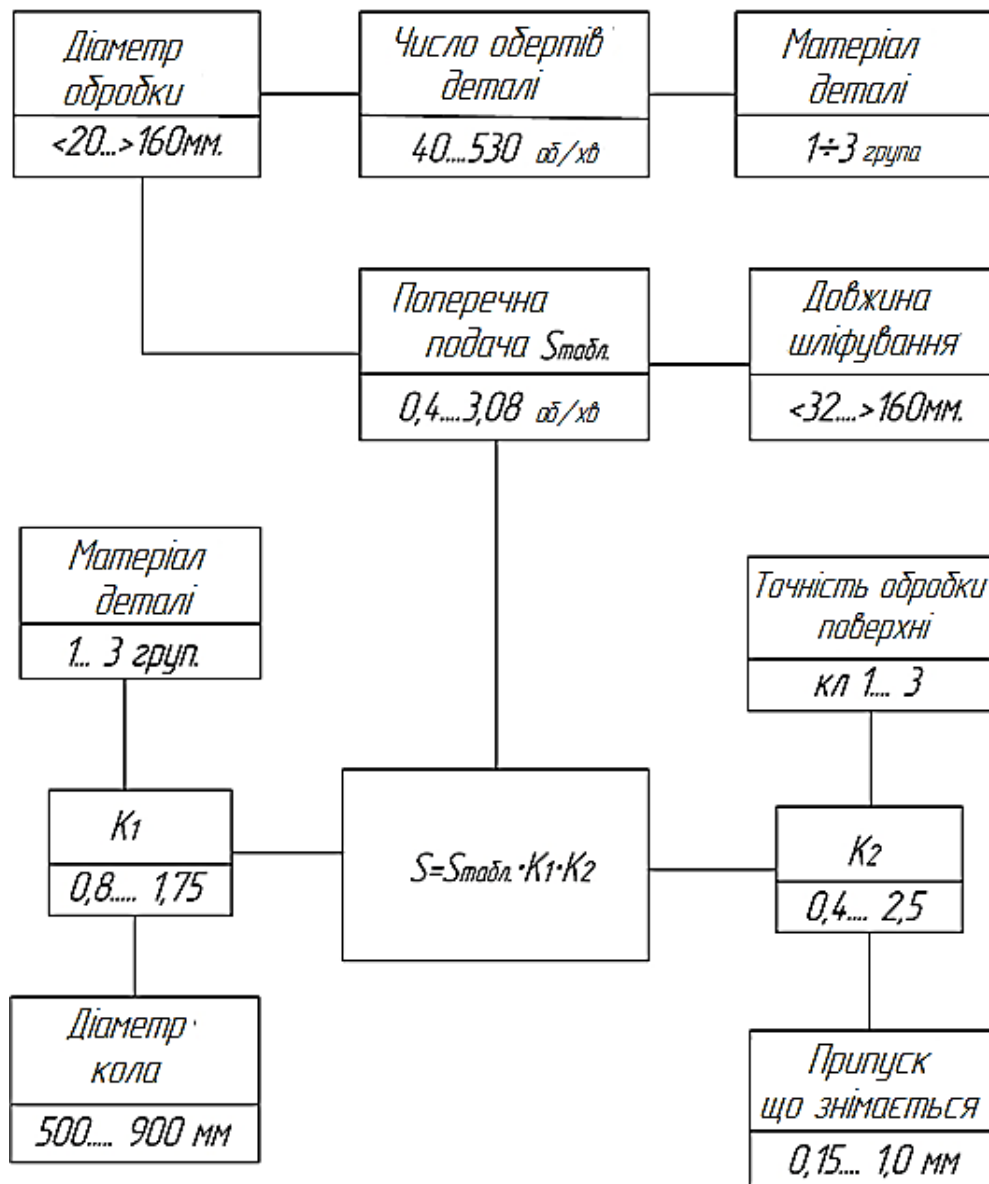


Рисунок 2.18 – Алгоритм вибору режимів шліфування

У результаті апроксимації табличних даних була отримана розрахункова формула для визначення урізної подачі при напівчистовому й частковому шліфуванні:

$$S_2 = 35,4 \frac{D_{кр}^{0,5} \cdot M^{0,4} \cdot \delta^{0,55} \cdot a^{0,58}}{d^{0,5} \cdot b^{0,6}}, \quad (2.34)$$

де  $D_{кр}$  - діаметр кола із мм.

$d$  - діаметр оброблюваної поверхні в мм.

$b$  - ширина обробки в мм.

$\delta$  - точність обробки в мм.

$a$  - припуск на обробку в мм.

$M$  - номер групи матеріалу

$M=1$  - для загартованої сталі

$M=2$  - для незагартованої сталі

$M=3$  - для чавуну.

У даних нормативах не враховується швидкість кола. Очевидно вона прийнято 30-35 м/с.

У довіднику за редакцією Барановського Ю.З. [51] прийнята хвилинна поперечна подача для урізного шліфування в якості основного розрахункового параметра, що визначає продуктивність процесу шліфування. Якість обробки й величина припуску прийняті як основні вихідні величини, залежно від яких вибирають режими. Автор вважає, що основними факторами, від яких залежить продуктивність шліфування, є якість обробленої деталі, величина припуску, що знімається, твердість системи й ріжуча здатність шліфувального кола. Уважається доцільним зменшення кількості поправочних коефіцієнтів на швидкості різання, крім, що мало впливають на кінцевий результат. Нестабільність властивостей оброблюваного й інструментального матеріалу по твердості й структурі, що допускається технічними умовами, а також неможливість у цей час кількісно врахувати деякі фактори (наприклад, твердість системи верстат-деталь-інструмент), що виявляють істотний вплив на швидкість різання, приводять до розбіжності розрахункових і фактичних швидкостей різання. Тому рекомендується експериментально уточнювати режими різання при їхнім впровадженні у виробництво.

У довіднику розглядається двоступінчастий цикл урізного шліфування з попередньою й остаточною обробкою. Алгоритм розрахунків режимів різання наведено на (рис.2.19).

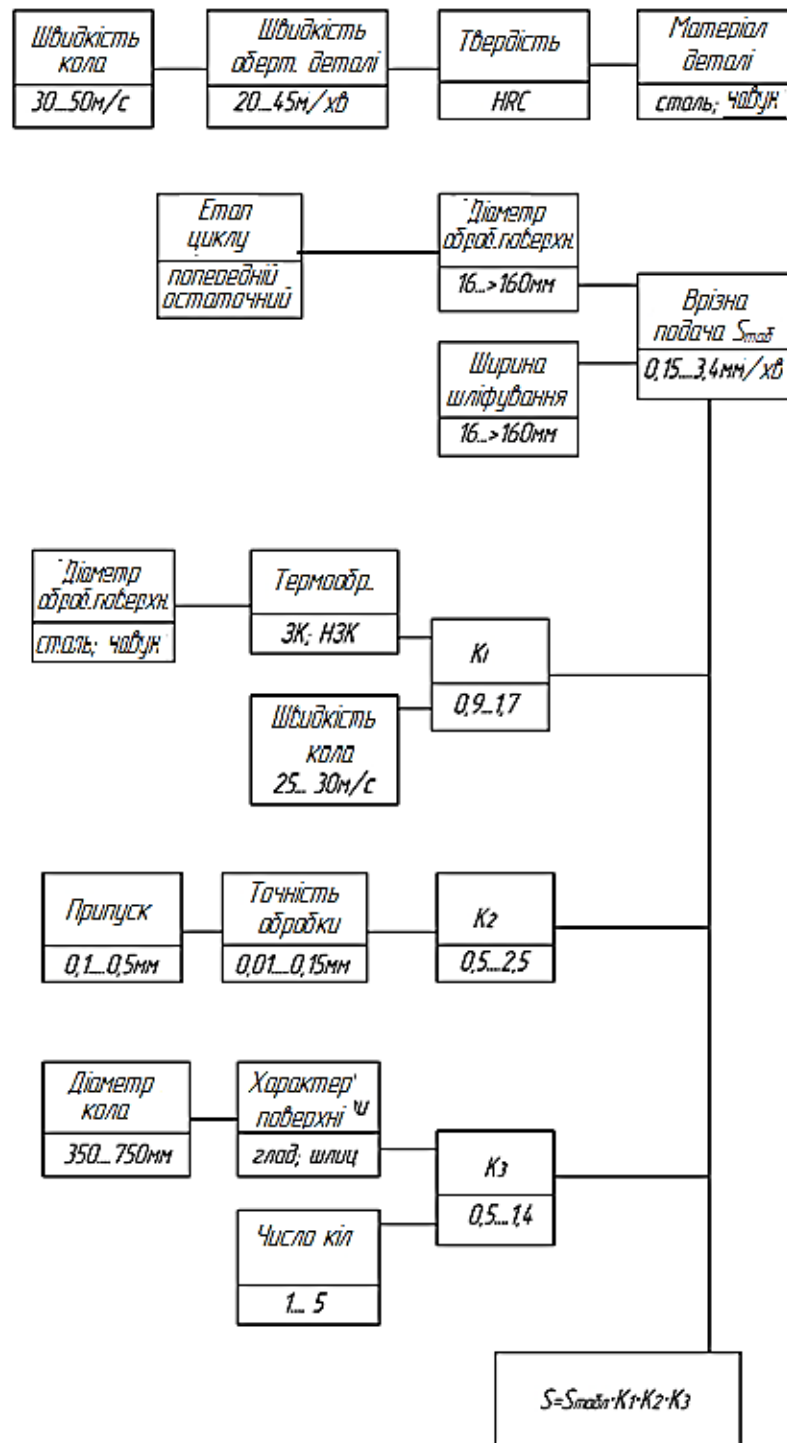


Рисунок 2.19 – Алгоритм вибору режимів шліфування [51]

Була зроблена апроксимація табличних даних для розрахунків урізної подачі з урахуванням поправочних коефіцієнтів і отримана розрахункова формула:

$$S = C_s \frac{V_{кр}^{0,72} \cdot M^{0,28} \cdot (\delta \cdot a)^{0,38}}{(b \cdot d)^{0,3}} \frac{мм}{хв} \quad (2.35)$$

де  $C_s=6,98$  для попереднього шліфування

$C_s=2,68$  для остаточного шліфування

$V_{кр}$  - швидкість кола в м/с.

$M$  - безрозмірна величина номер, що вказує, групи оброблюваного матеріалу для важкооброблюваних загартованих сталей  $M=1$ , незагартованих  $M=2$ , для інших загартованих сталей  $M=3$  і незагартованих  $M=4$ . Для міцних чавунів  $M=3$  і для сірого чавуну  $M=5$ . Інші позначення аналогічні наведені вище. Характер оброблюваної поверхні й кількість одночасна працюючих кіл ураховується коефіцієнтом. Розрахунки в ЕОМ може бути реалізований через логічні оператори.

Узагальнений матеріал на вибір режимів шліфування наведений у книзі Н.С. Корчака [53].

У роботі виконана розбивка металів на групи, заснована на взаємозв'язку оброблюваності з механічними властивостями сталей у нагрітому до високої температури стані. У додатку цієї книги дані рекомендації із призначення режимів шліфування. Так частота обертання деталі вибирається залежно від діаметра деталі й твердості, що шліфується матеріалу для умов «бесприжегового» шліфування. Хвилинна урізна подача визначається залежно від розмірів оброблюваної поверхні й величини припуску. При цьому враховується група металу, точність і шорсткість обробки, швидкість і діаметр шліфувального кола, вид подачі й спосіб виміру розмірів, модель і стан верстата, твердість деталі й форма оброблюваної поверхні.

Алгоритм визначення режимів показано на (рис.2.20).

У результаті обробки табличних даних була отримана залежність:

$$S = 4,55 \cdot 10^{-3} \frac{D_{кр}^{0,47} \cdot V_{кр}^{0,7} \cdot \delta^{0,57} \cdot Ra^{0,1} \cdot M^{1,36}}{d^{0,5} \cdot b^{0,6}} (0,45 + 1,1a) \quad (2.36)$$

де  $R_a$  - шорсткість обробленої поверхні в мкм

$M$  - номер групи оброблюваності матеріалу [53]

$\delta$  – точність обробки в мкм.

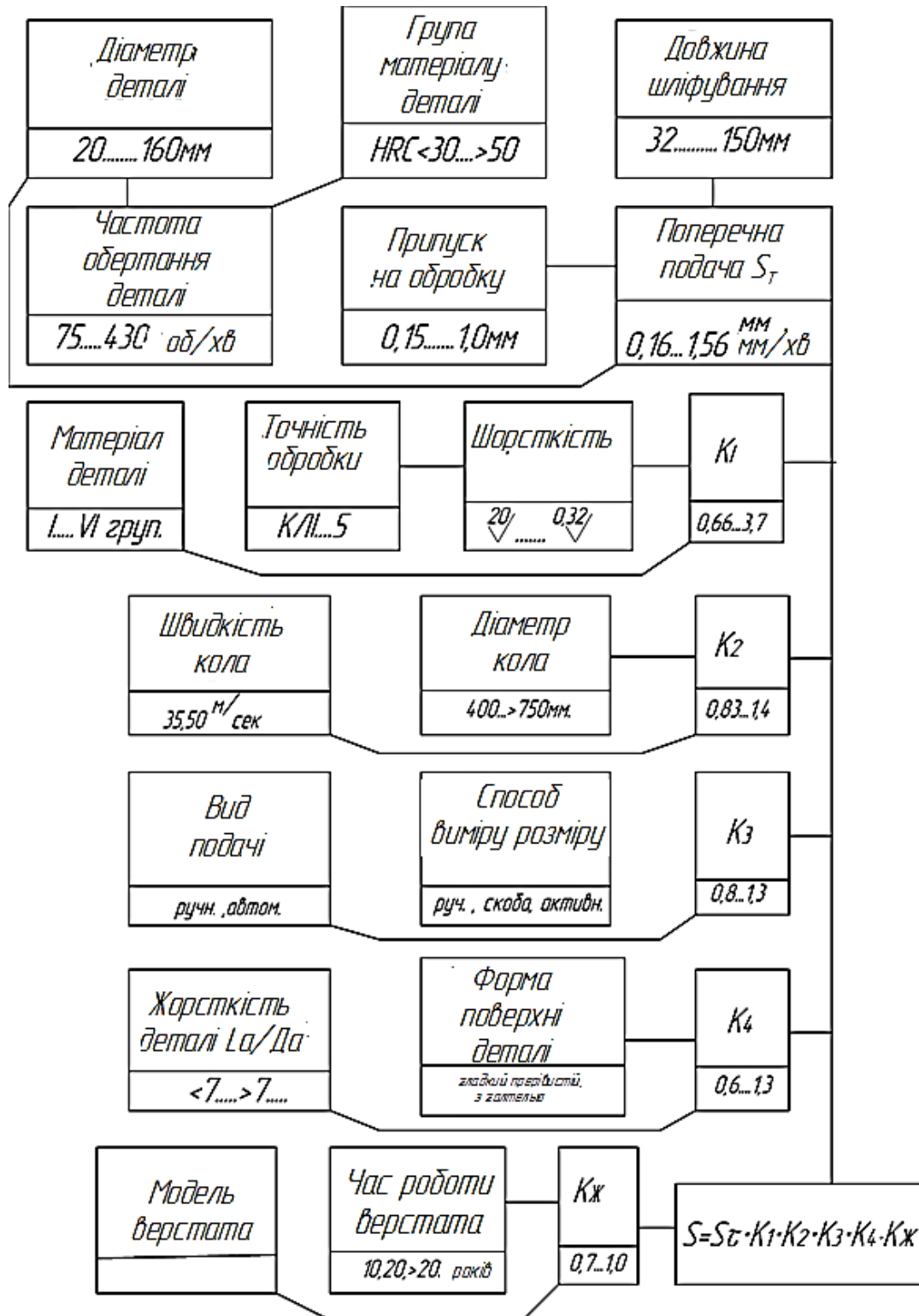


Рисунок 2.20 – Алгоритм вибору врезної подачі [53]

Остальві позначення аналогічні наведеним вище.

Порівнюючи отримані залежності слід зазначити, що експериментальні дані отримані при різних умовах шліфування з оцінкою продуктивності за рівними критеріями без обліку зношування кіл, при різному силовому впливі,

унеможливиює повне їхнє узагальнення й використання в заводській практиці й нормативах. Це завдання не може бути вирішена тільки на експериментальному рівні й вимагає розробки теоретичних основ загальних функціональних взаємозв'язків між продуктивністю шліфування й активними технологічними параметрами обробки.

## **2.6 Обґрунтування обраного напрямку роботи**

Аналіз літературних і нормативних даних на вибір режимів шліфування показує, що узагальнення наявних залежностей не може бути використане для підготовки програм на ЕОМ керуючих роботою верстатів. Необхідне одержання більш універсальних розрахункових формул, в основі яких повинні бути покладені аналітичні зв'язки між параметрами якості й продуктивністю. Облік конкретних умов обробки у вигляді коефіцієнтів і показників ступені може бути введений за результатами пробної обробки деталі. При цьому отримана інформація повинна містити в собі дані про величину сили різання, інтенсивності знімання металу й зношування шліфувального кола, шорсткості поверхні і т.д. Одержання цих залежностей на коштовному етапі може бути виконане тільки на експериментальному рівні для певного виду обробки.

Дослідження основних параметрів процесу шліфування може проводитися при заданій урізній подачі або при заданій постійній радіальній силі. При роботі з постійною врізною подачею характеристика процесу шліфування залежить від жорсткості верстата. Отже навіть при однакових колах і матеріалах заготовок вихідні параметри шліфування можуть бути різні залежно від стану однотипних верстатів. Для виключення залежності від твердості верстата зручніше зв'язувати характеристику процесу шліфування із силою в контакті кола з виробом.

Перевірку правильності отриманих залежностей слід виконувати на верстатах, застосовуваних на виробництві, тобто з керуванням по заданій врізній подачі.

## **3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **3.1 Методика проведення експериментального дослідження**

### 3.1.1 Умови проведення експериментів

Експериментальне дослідження проводилося з метою визначення працездатності стійкості й зношування кола, шорсткості поверхні деталі, від основних параметрів і умов шліфування.

При заповненні дослідження користується методика математичного планування й обробки результатів звітів за допомогою ЕОМ.

У експериментах використовувалися шліфувальні кола 24A25ПСМ27 К5 і 91A25ПСМ27 К5.

Дослідження проведені рядом авторів, показують, що оброблюваність матеріалів залежить від опірності його при нагріванні в зоні різання. Виходячи із цього ряду матеріалів розбитий на класи по їхній оброблюваності. У справжній роботі конструкційні сталі найбільше часто оброблювані на шліфувальних верстатах і стосовних до 1 класу оброблюваності [53]: Сталь 45 незагартована до НРС 48-50, і сталь МХ-15 загартована до НРС 59-63.

Із цих матеріалів виготовлені кільця (рис.3.1), які встановлюються на оправлення (рис.3.2) і кріпляться за допомогою гайки. Обертання від оправлення кільцю передається через шпонку. Для виключення биття центрувальні гнізда й посадкові місця оправлення прошліфовані.

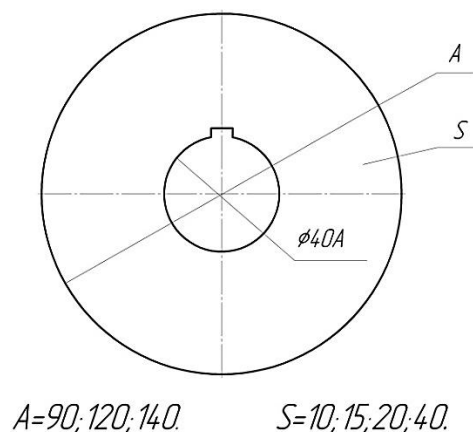


Рисунок 3.1 – Кільця для експериментального дослідження

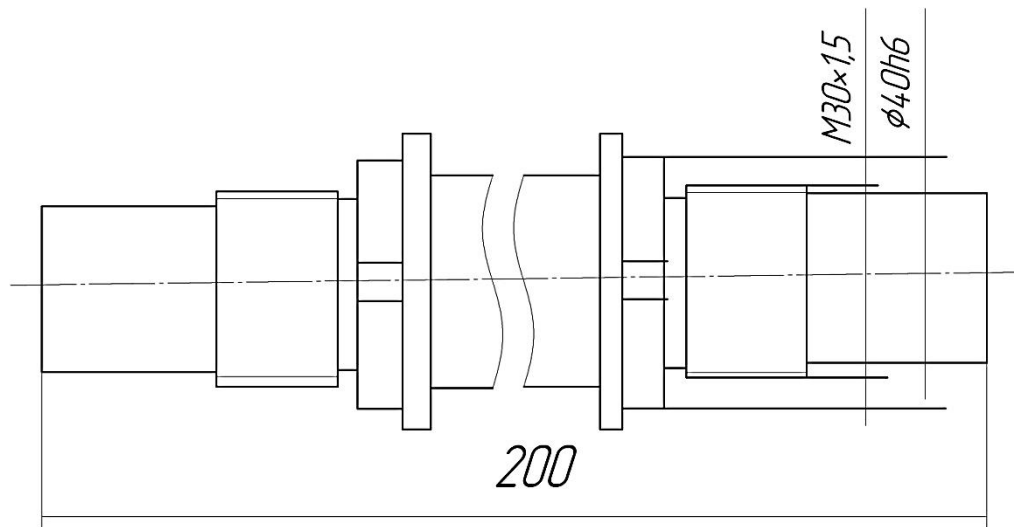


Рисунок 3.2 – Експериментальні оправки

### 3.1.2 Експериментальна установка

У якості експериментальної установки використовується верстат ЗА151 із системою автоматичного керування (САК) радіальної складової сили різання [54]. Аналогом радіальної сили шліфування в САК служить перепад тиску в кишнях гідростатичного підшипника шліфувальної бабки. Якщо реакція підшипника не виходить за межі його несучої здатності, перепад тиску в кишнях у режимі, що встановився, змінюється пропорційно навантаженню.

Величина зміни перепаду тиску через блок мембран передається індуктивному датчику. Отриманий сигнал підсилюється, випрямлюється й рівняється з напругою датчика зусилля різання. Різниця цих сигналів подається на вхід блоку підсилювача, вихідна напруга якого управляє швидкістю обертання привода поперечних подач (рис.3.3).

Привод подач забезпечує можливість регулювання швидкості від 10 до 3000 об/хв, що дозволяє одержати подачі до 12 мм/хв. Тому що ідеальна САК буде копіювати некруглість заготовки, система побудована таким чином, що протягом усього циклу шліфування привод подач працює в нереверсивному режимі, і отже, заданому значенню сили відповідає мінімальна її величина. При роботі в автоматичному циклі, по команді від приладу активного контролю (або

від кінцевого вимикача) відбувається перемикання датчика на чистовий режим. Привод працює в реверсивному режимі й шліфувальна бабка відходить назад доти, поки сила не буде відповідати новому заданому значенню. Далі привод знову працює в нереверсивному русі. Закінчення обробки визначається по команді приладу активного контролю або по сигналу кінцевого вимикача обмежуючого величину знімання припуску ( $BK_1$ ). Перезарядження механізму подач відбувається автоматично. Команда на перерозрядження видається одночасно з командою на відвід шліфувальної бабки. Перерозрядження закінчується по сигналу кінцевого вимикача ( $BK_2$ ).

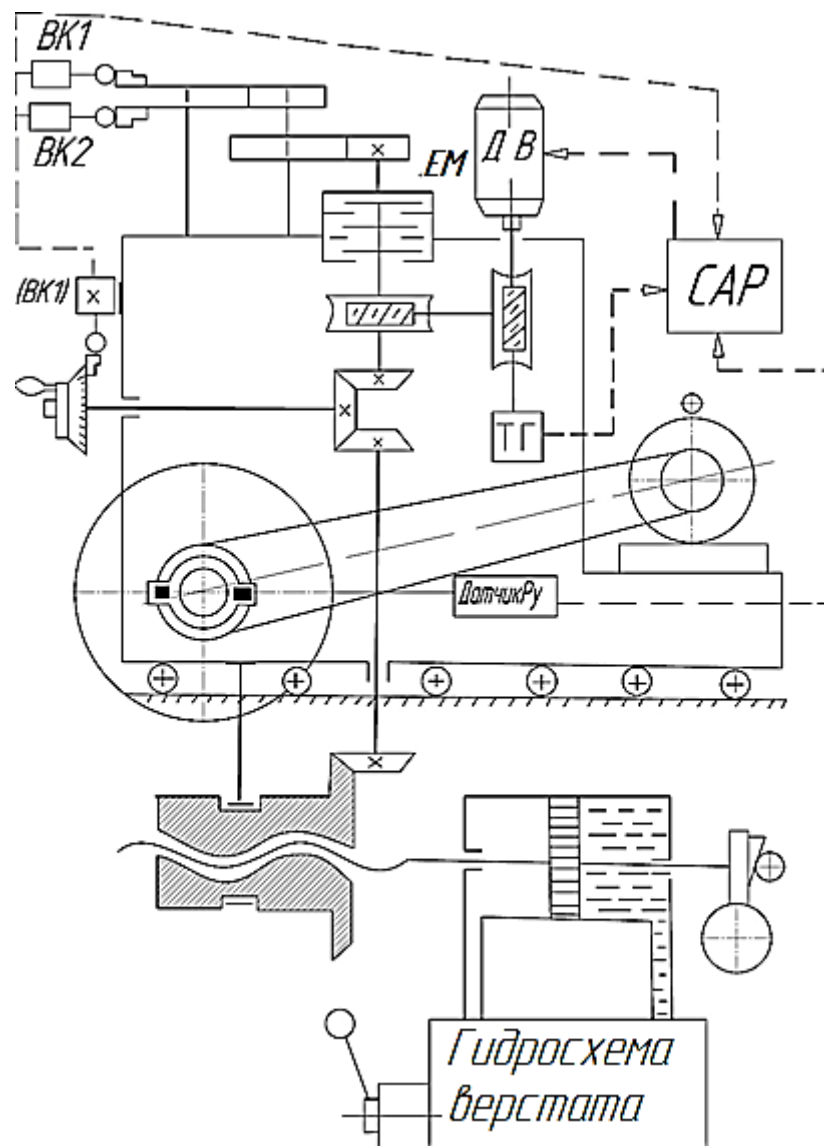


Рисунок 3.3 – Схема експериментальної установки

Для розширення технологічних можливостей установки спроектований і виготовлений редуктор, який дозволяє знімати припуск більш 15 мм. на діаметр заготовки. Загальний вид редуктора показано на (рис.3.4).

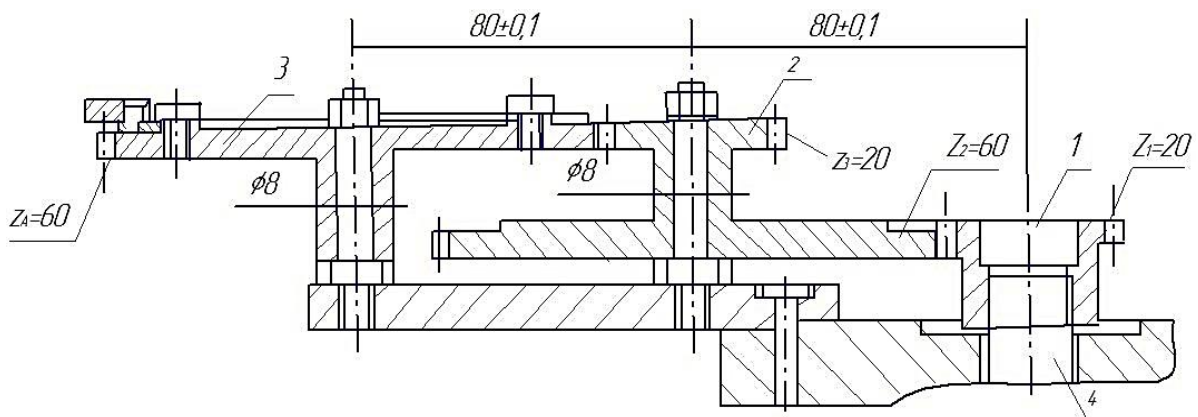


Рисунок 3.4 – Загальний вид редуктора врізних подач

На плиті 1 установлений блок-шестірня 2 і шестірня 3. Обертання на редуктор передається від вала 4. Для виконання обробки із прогресивними режимами різання характерними для швидкісного ( $V_{кр}=60$  м/с) і силового ( $S=10$  мм/хв) у конструкції верстата виконані зміни.

Зроблена заміна електродвигуна головного руху на могутніший і швидкохідний ( $N=17$ кВт  $n=2800$  хв<sup>-1</sup>). Виготовлені шківів, що забезпечують східчасті зміни швидкості кола. Установлений у цей час кожух шліфувального кола дозволяє виконувати обробку зі швидкістю 60 м/с.

### 3.1.3 Вимірювальна апаратура

Вимір зусиль різання при урізному шліфуванні проводиться за допомогою тензометричних датчиків наклеєних на центрі задньої бабки (рис.3.5).

Датчики попарно з'єднані в напівмостові схеми й включені на вхід тензометричного підсилювача 8АНЧ-7М с діапазоном вимірюваних деформацій у межах  $0,5 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 10^{-3}$  від.ед. Смуга частот, що пропускається підсилювачем від 0 до 500 Гц, включаючи вищу гармоніку не синусоїдального

процесу. Сполучні проведення від датчиків проходять через отвір центру задньої бабки.

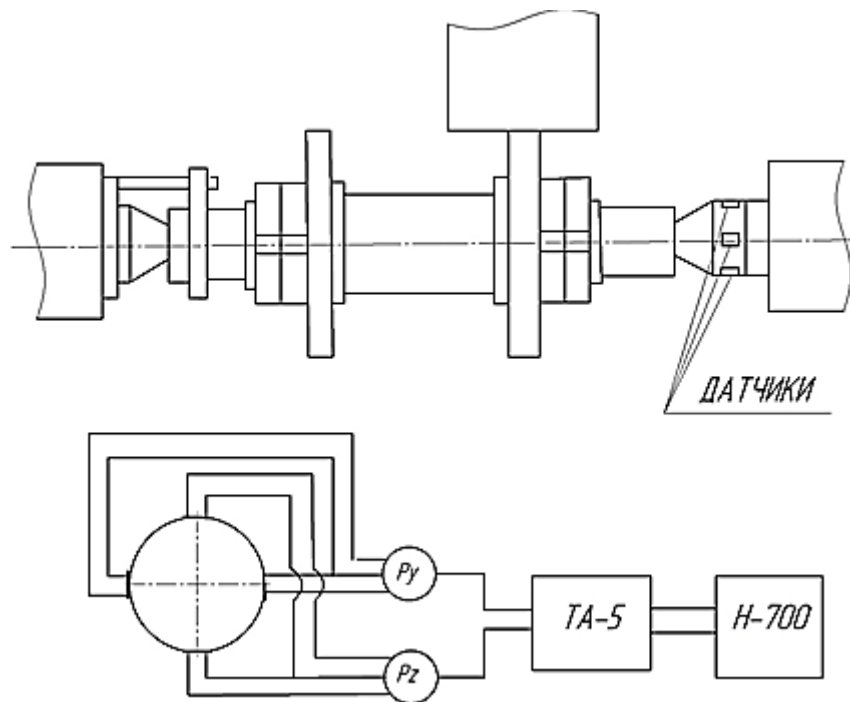


Рисунок 3.5 – Схема виміру сил різання

Вихідні проведення пропускаються через отвір у пінолі й екрануються для виключення наведень від магнітних силових полів приводів верстата. Для виміру зусиль різання в процесі різання розроблений тензоцентр (рис.3.6), виміру проводиться за допомогою тензорезисторів. Розроблена схема дозволяє вимірювати горизонтальну  $P_y$  і вертикальну  $P_z$  складові сил, що діють на заготовку під час обробки, для передачі й обробки отриманих значень використовуємо підсилювач частот, цифро-аналоговий перетворювач, розташовані в блоці узгодження з ЕОМ і математичний пакет програми *Mathcad*.

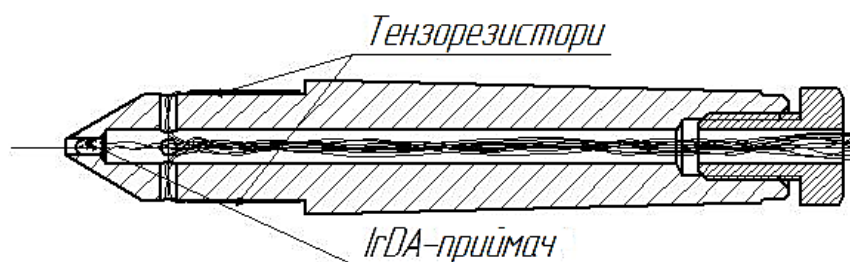


Рисунок 3.6 – Конструкція заднього тензоцентра

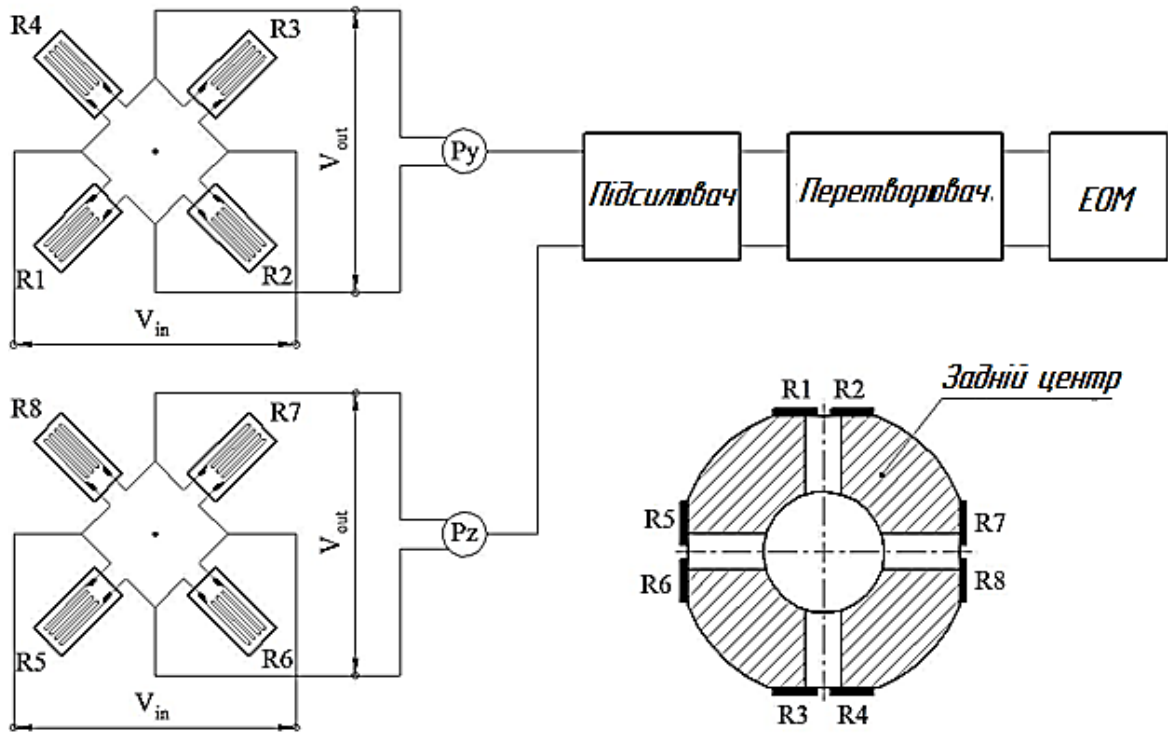


Рисунок 3.7 – Схема підключення тензорезисторів

Тарування – процес перевірки показань приладів шляхом порівняння з показаннями контрольних приладів. Для тарування датчиків у напрямку радіальної складової зусилля різання використовували схему з рухливим упором і цифровими вагами (Рис.3.8).

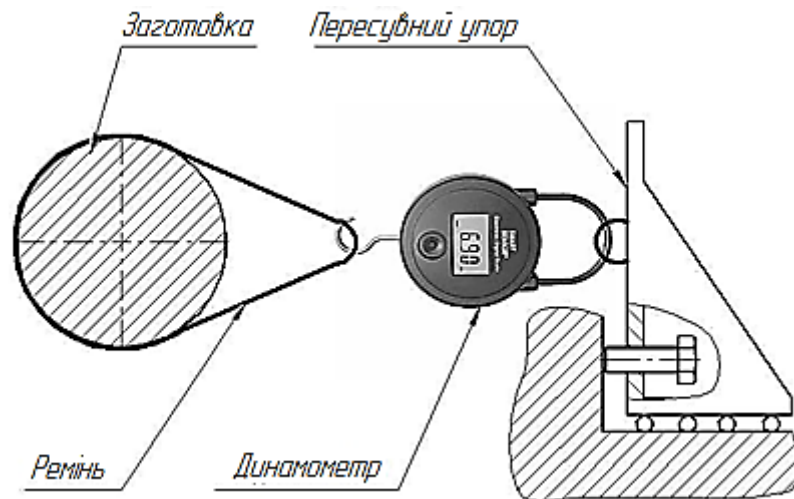


Рисунок 3.8 – Схема тарування для горизонтальної складової сили різання  $P_y$

Для тарування тангенціальної складової зусилля різання використовували пластину на осі, на яку встановлювалися вантажі (Рис.3.9).

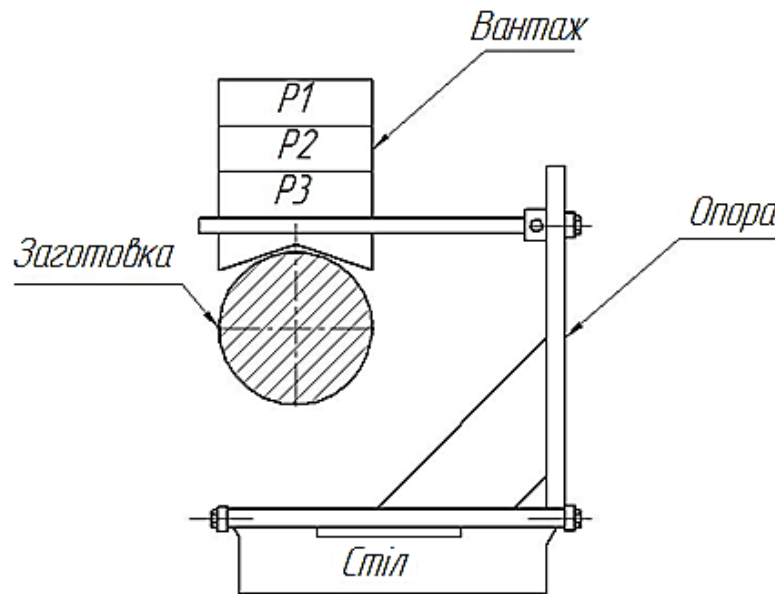


Рисунок 3.9 – Схема тарировки для визначення вертикальної складової сили різання

$P_z$

Для визначення функцій, що описують взаємозв'язок між значеннями маси  $M$  и сил  $P_y$ ,  $P_z$ , скористаємося методом найменших квадратів.

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i = 0 \\ a \sum_{i=1}^n x_i + bn - \sum_{i=1}^n y_i = 0 \end{cases}$$

Враховуючи, що пряма повинна проходити через початок координат, ухвалюємо коефіцієнт  $b=0$ . Тоді обчислення коефіцієнта  $k$  по МНК зводиться до наступного виду:

Для сили прикладеної горизонтальне значення коефіцієнта  $k$  розраховується по формулі:

$$k := \frac{\left( \sum_{i=1}^{12} P_{y_i} \right)}{\left( \sum_{i=1}^{12} M_i \right)} = 0.0315$$

Для сили прикладеної вертикальне значення коефіцієнта  $k$  розраховується по формулі:

$$k := \frac{\left( \sum_{i=1}^9 Pz1_i + \sum_{j=1}^{10} Pz2_j + \sum_{k=1}^{11} Pz3_k \right)}{\left( \sum_{i=1}^{11} M1_i + \sum_{j=1}^{10} M2_j + \sum_{k=1}^9 M3_k \right)} = 0.032$$

Таблиця 3.1 – Результати тарування, механічне навантаження прикладене горизонтально

M	5650	7730	10650	11400	14650	14850	20020	22300	24150	24670	27310	29180
P <sub>y</sub>	174	181	337	360	466	477	630	703	751	774	855	924

Таблиця 3.2 – Результати тарування, механічне навантаження прикладене вертикально

Досвід 1	M1	0	1698	3459	5157	8521	13081	17288	21723	25080	27398	30755
	Pz1	0	99	157	212	320	429	552	695	762	853	882
Досвід 2	M2	0	1698	3459	5157	8521	13081	17288	21723	25080	30755	-
	Pz2	0	40	85	143	252	404	535	671	802	980	-
Досвід 3	M3	0	1698	3459	5157	8521	13081	17288	21723	25080	-	-
	Pz3	0	56	112	168	266	404	532	746	842	-	-

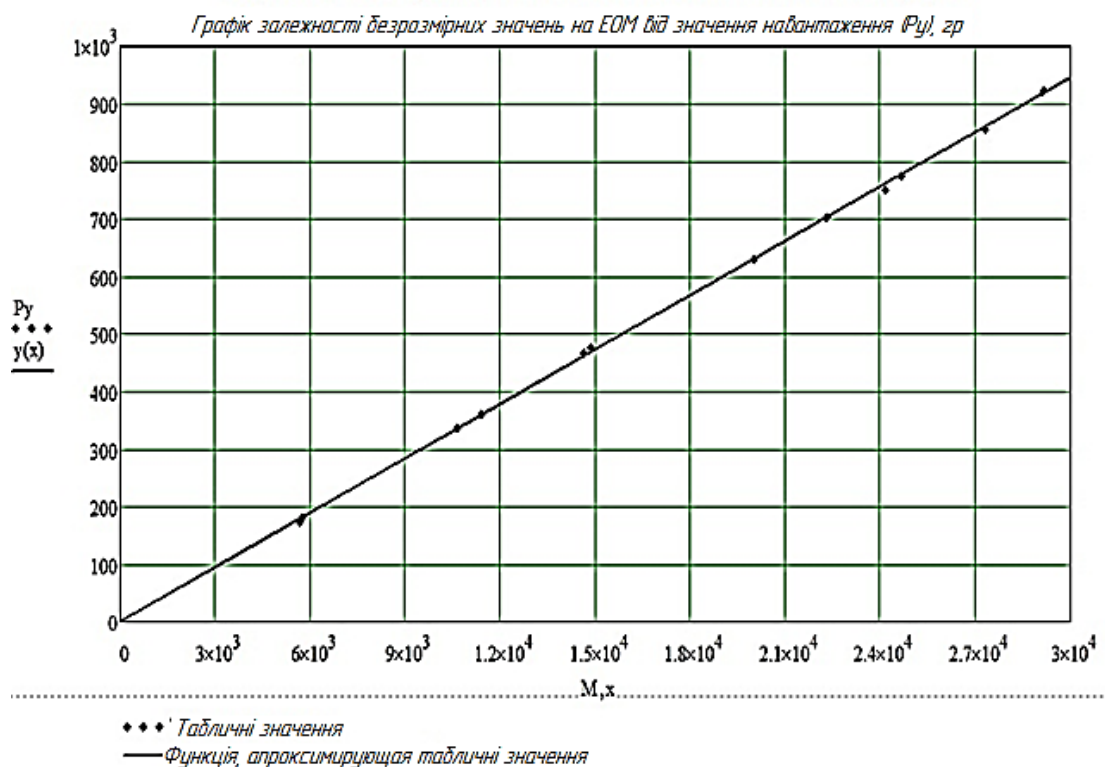


Рисунок 3.10 – Тарувальний графік зусилля P<sub>y</sub>

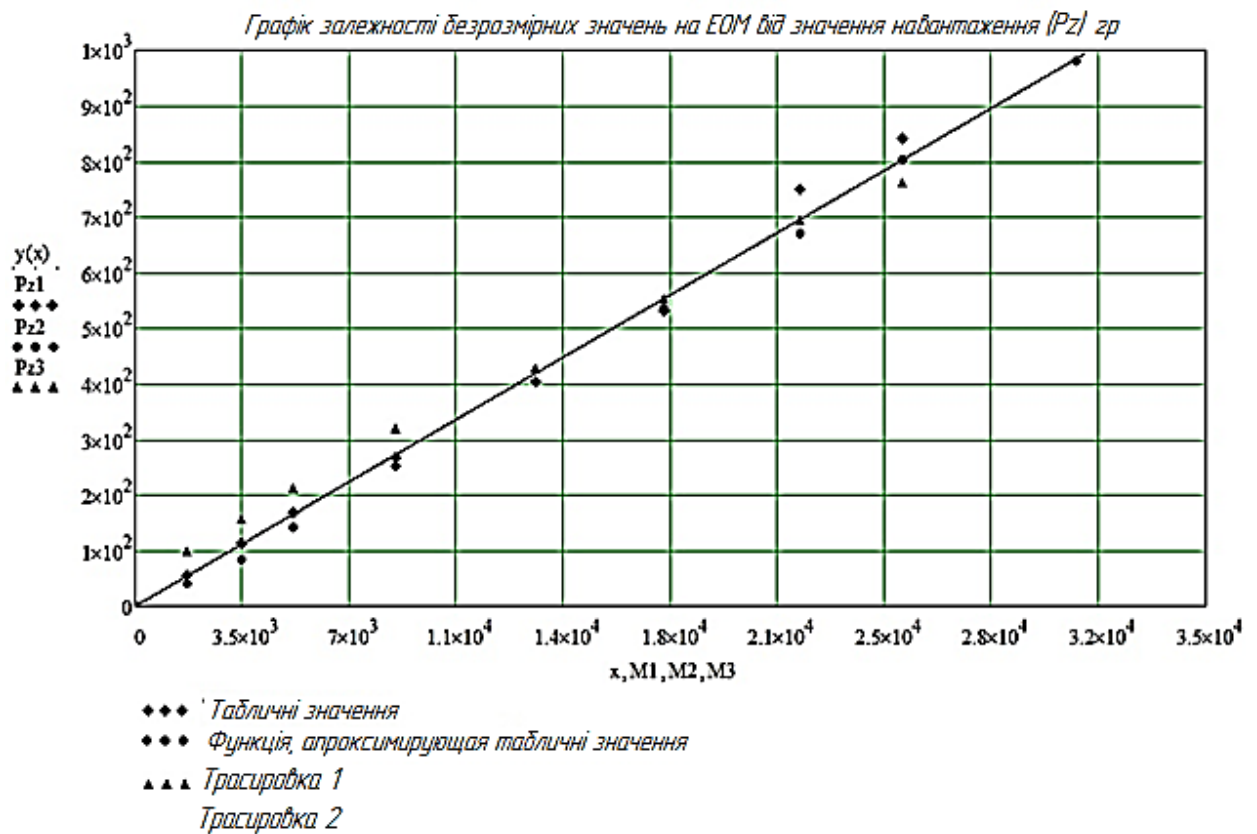


Рисунок 3.11 – Тарувальний графік зусилля  $P_z$

Шорсткість поверхні прошліфованих зразків на різних етапах циклу вимірюється за допомогою подвійного оптичного мікроскопа МІС-11 і профілографа-профілометра "Калібр". Некруглість деталі контролюється на приладі «TYLYROND».

### 3.2 Залежність зношування кола від величини врізної подачі й часу шліфування

Експериментальне дослідження розмірного зношування кола було виконано методом відбитків. При шліфуванні експериментальних кілець знижувався припуск рівний 5,0 мм на сторону. Після обробки трьох зразків різними ділянками кола на його периферії залишався слід у вигляді зношених пасків. Ширина кола становила 63. Відбитки профілю кола для наступного виміру його зношування, виконувався методом врізання, на гладкому циліндричному оправленні шириною 80 мм.

У досвідах використовувалися кола 24A25ПСМ27 К5 і 91A25ПСМ27 К5.

Використання системи автоматичного регулювання дозволило підтримувати постійну нормальну силу різання. При цьому питома радіальна сила становила 0,5; 1,0; 1,5; кгс/мм.

При обробці колами 24А зі швидкостями різання 50 м/с, круговими подачами 50 м/хв, заготовок діаметром 87 мм були отримані розрахункові формули для визначення інтенсивності зношування шліфувального кола  $V_{zn}$  у мкм/хв і швидкості знімання лінійного припуск  $V_z$  мм/хв.

$$\text{для сталі 45 (НЗК)} \quad V_{zn} = 4,13 \cdot P_y^{3,15}$$

$$V_z = 1,0 \cdot P_y^{2,04}$$

$$\text{для сталі 45 (ЗК)} \quad V_{zn} = 5,31 \cdot P_y^{3,2}$$

$$V_z = 0,96 \cdot P_y^{1,89}$$

$$\text{для сталі ШХ-15} \quad V_{zn} = 4,16 \cdot P_y^{3,51}$$

$$V_z = 0,85 \cdot P_y^{2,0}$$

При тих же режимах шліфування обробка колами 91А дозволили одержати залежності.

$$\text{для сталі 45 (НЗК)} \quad V_{zn} = 13,92 \cdot P_y^{3,54}$$

$$V_z = 1,41 \cdot P_y^{1,92}$$

$$\text{для сталі 45 (ЗК)} \quad V_{zn} = 17,0 \cdot P_y^{2,64}$$

$$V_z = 1,31 \cdot P_y^{1,69}$$

$$\text{для сталі ШХ-15} \quad V_{zn} = 13,07 \cdot P_y^{2,59}$$

$$V_z = 1,25 \cdot P_y^{1,49}$$

Враховуючи, що в реальних умовах експлуатації круглошліфувальних верстатів змінним фактором визначальним інтенсивність знімання припуску, є урізна подача, подальше дослідження було зроблено при підтримці постійної

подачі врізання. Режими різання й умови обробки залишалися такими ж, як і раніше. Східчасто змінилася величина урізної подачі (0,4; 1,2; 3,0; 5,0 мм/хв), яка в досвідах підтримувалася постійної. На (рис.3.12) показані графіки залежності величини зношування шліфувального кола від часу обробки при  $S=0,4$  мм/хв. Із графіків видно, що з більшою інтенсивністю зношуються кола при шліфуванні сталі ШХ-15 (ЗК). Для сталі 45 зношування кіл 91А и 24А приблизно однаковий.

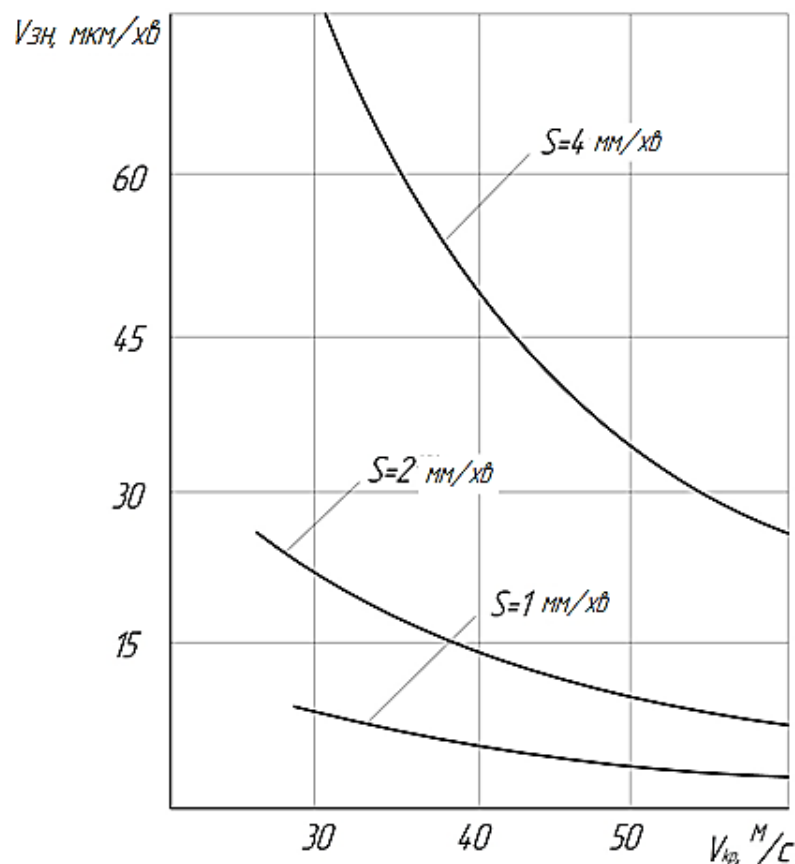


Рисунок 3.12 – Залежність інтенсивності зношування від швидкості шліфувального кола

Залежність швидкості зношування кола від величини урізної подачі показано на (рис.3.13) - для сталі 45 (НЗК). Тут же показана зміна питомої нормальної складової сили різання. Із графіка видно, що на ділянці до 3мм/хв інтенсивність зношування зростає повільно. Вона приблизно однакова для кіл 24А и 91А. Надалі швидкість зношування зростає, причому для кіл 91А вони більше.

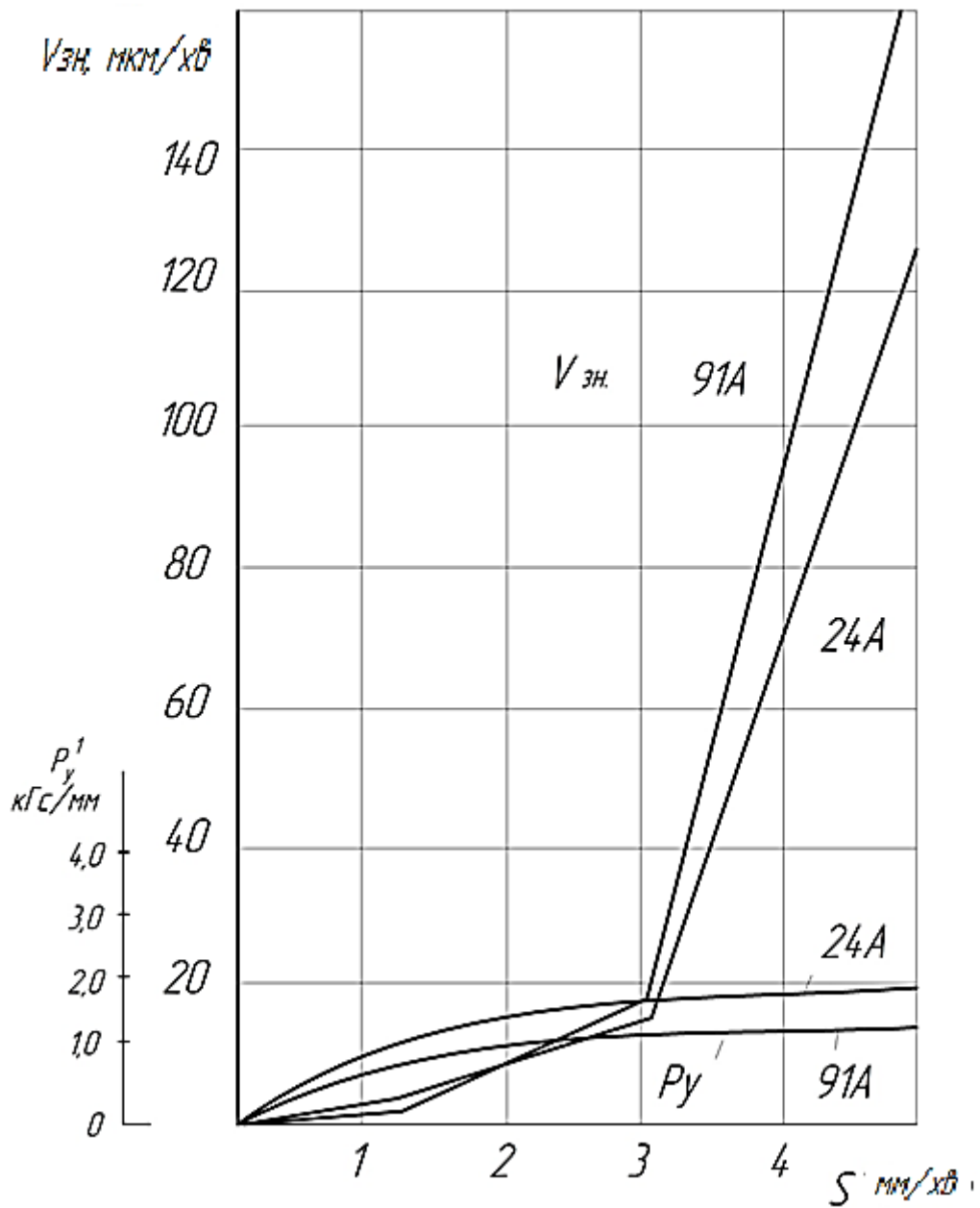


Рисунок 3.13 – Залежність інтенсивності зношування й питомої нормальної складової сили різання від урізної подачі при обробці сталі 45 (НЗК)

При обробці загартованої сталі 45 швидкість зношування кіл 91А вище у всьому діапазоні зміни урізних подач (рис.3.14).

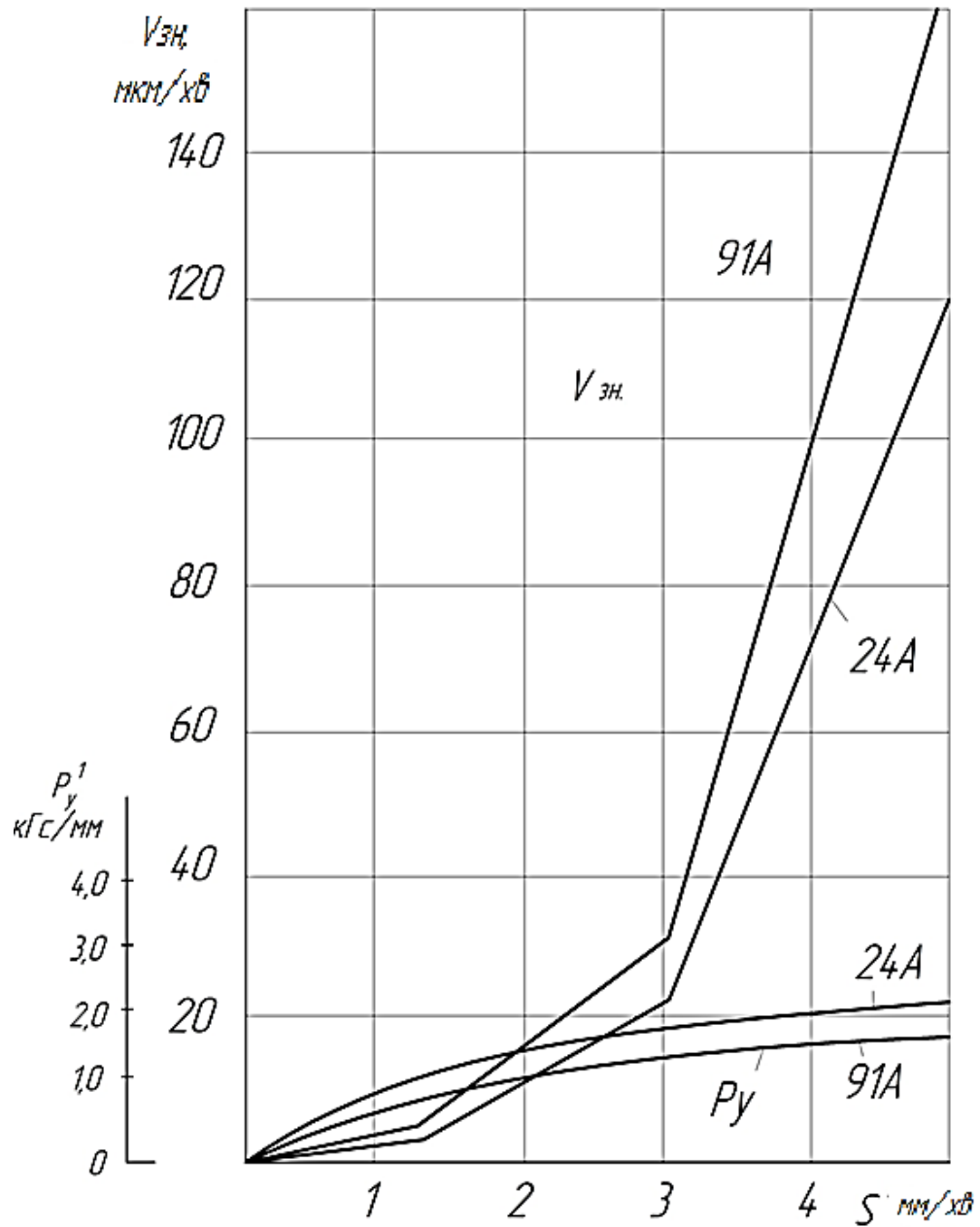


Рисунок 3.14 – Залежність інтенсивності зношування й питомої нормальній складовій сили різання від урізної подачі при обробці сталі 45 (ЗК)

Шліфування сталі ШХ-15 показує, що інтенсивність зношування кіл 91А и 24А приблизно однакова у всьому діапазоні зміни подач, хоча питома сила для кола 24А вище (рис.3.15).

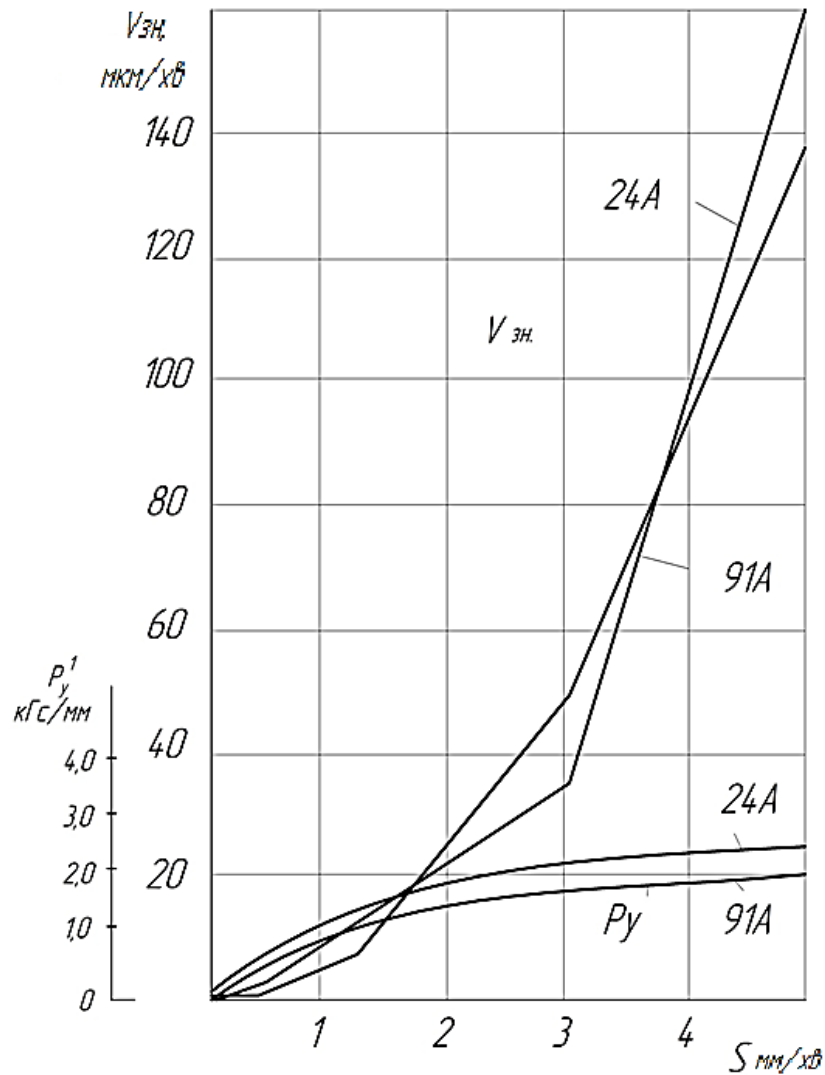


Рисунок 3.15 – Залежність інтенсивності зношування й питомої нормальної складової сили різання від урізної подачі при обробці сталі (ШХ-15)

### 3.2.1 Залежність зношування кола від швидкості шліфування

У досвідах використовувалося абразивне коло 24А40ПСМ27 К5. Оброблялися зразки зі сталі 45 загартованої до HR з 48-50 діаметром 80 мм і шириною 10 мм. Досвіди проводилися при фіксованому значенні урізної подачі: 1,2 і 4 мм/хв. Швидкість шліфувального кола змінювалася східчасто: 30,40,50 м/с. Кругова подача підтримувалася така, щоб виконувалося співвідношення

$$\frac{V_{кр}}{V_u} = 60$$

Результати експериментів наведено на (рис.3.16). Із графіків видно, що збільшення швидкості шліфувального кола приводить до зниження швидкості радіального зношування, причому це зниження тим більше, чим більше значення урізної подачі. Залежність швидкості зношування кола від швидкості шліфування і урізної подачі може бути представлена у вигляді

$$V_{zn} = 1727,7 \frac{S^{1,51}}{V_{кр}^{1,55}}$$

Тому що при роботі кола в режимі самозагострювання закономірність зміни зношування близька до лінійної, те поточне значення зношування за час  $t$  може бути визначене по формулі

$$U_{кр} = C_u \frac{S^\alpha}{V_{кр}^\alpha} \cdot t \text{ (мкм)}$$

Наприклад, при роботі кола в плинні 12 сек (0,2хв) при швидкості 50 м/с і урізній подачі 4мм/хв його радіальне зношування буде рівне:

$$U_{кр} = 1727,7 \frac{4^{1,51}}{50^{1,55}} = 32,6 \text{ (мкм)}$$

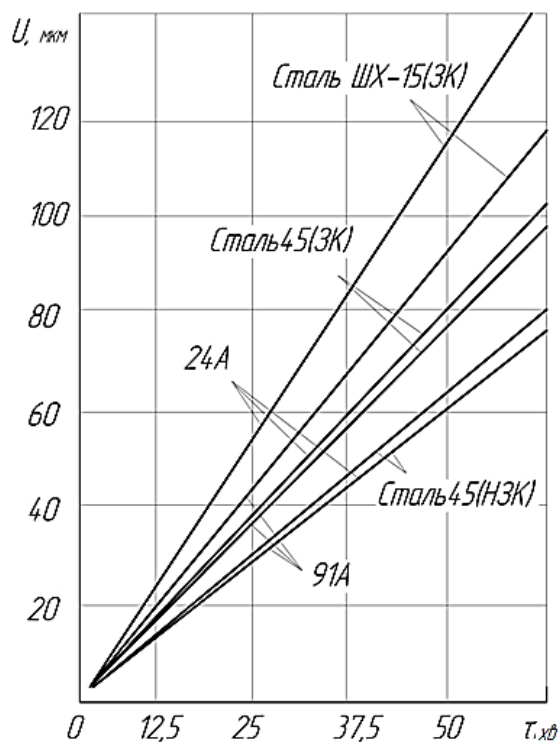


Рисунок 3.16 – Залежність зношування кола від часу його роботи при урізній подачі 0,4 мм/хв

### 3.3 Вплив режимів виправлення на шорсткість поверхні деталі

Дослідження впливу режимів виправлення, виконане за наступною методикою. Після виправлення шліфувального кола з подачами від 0,02 до 0,6 мм/ на оберт кола. виконувалося шліфування деталі зі зніманням 0,1 мм на діаметр. Контроль поверхні деталі дозволив визначити величину початкової шорсткості. Рівень її зростає зі збільшенням швидкості виправлення. На (рис.3.17) показана залежність  $Ra_0$  від подачі при виправленні для незагартованої сталі 45. При обробці колом 91А, із графіків видно, що збільшення  $Ra_0$  відбувається при зростанні урізної подачі. Аналогічні залежності отримані при обробці загартованих сталей 45 і ШХ-15, для шліфування колами 91А и 24А.

Ці дані представлені на графіках залежності шорсткості від часу обробки. Установлене, що рівень шорсткості при однакових умовах обробки для кіл 91А був вище, чим 24А.

При подальшій роботі кола шорсткість поступово наближалася до значення, що встановилося. Ця закономірність добре прослідковується при малих урізних подачах. Отже, для стабілізації шорсткості поверхні деталі за період стійкості кола необхідно подачу виправлення ухвалювати такий, щоб початкова шорсткість була такий же як шорсткість процесу, що встановився, обробки.

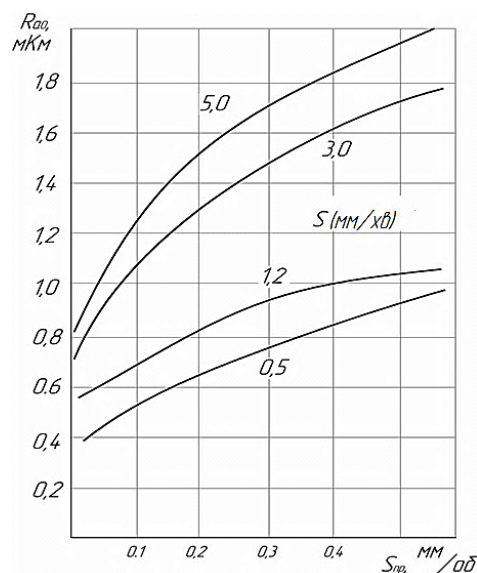


Рисунок 3.17 – Залежність початкової шорсткості від подачі виправлення при обробці сталі 45 (НЗК) колом 91А

### 3.3.1 Залежність шорсткості поверхні від урізної подачі і часу шліфування

Методика визначення шорсткості у двоступінчастому циклі шліфування містила в собі вимір поверхні деталі після чорнової обробки, з урізними

подачами від 0,4 до 5,0 мм/хв і після чистового шліфування зношеним колом з урізною подачею 0,1 мм/хв. Результати досліджень наведені на графіках рис. При обробці з урізною подачею 0,4 мм/хв шорсткість поверхонь оброблених колом 91А була вище чому для кола 24А (рис.3.18; 3.19; 3.20). Після приробляння крута шорсткість поверхні стабілізувалася. Надалі намічалось поступове зростання шорсткості. Перехід до чистового шліфування дозволив знизити висоту мікронерівностей поверхні деталі. У всіх випадках шорсткість після чистового етапу перебувала в боковий вівтарях 0,4-0,5 мкм.

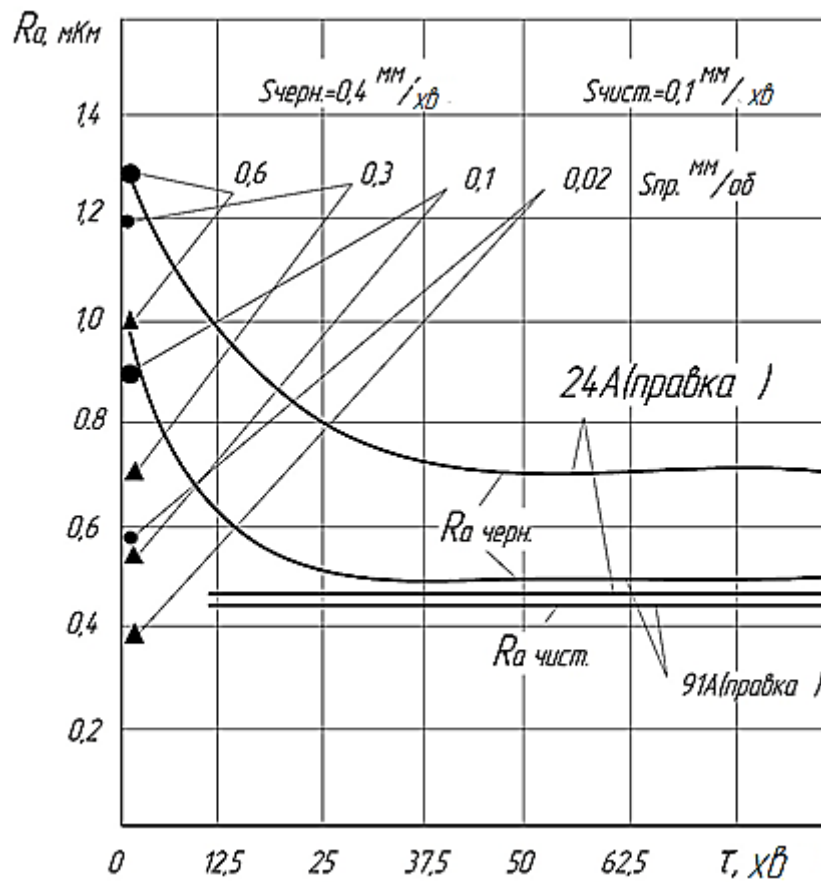


Рисунок 3.18 – Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі 45 (НЗК) після чорного  $R_a$  і після чистового етапу  $R_{a\text{чист}}$

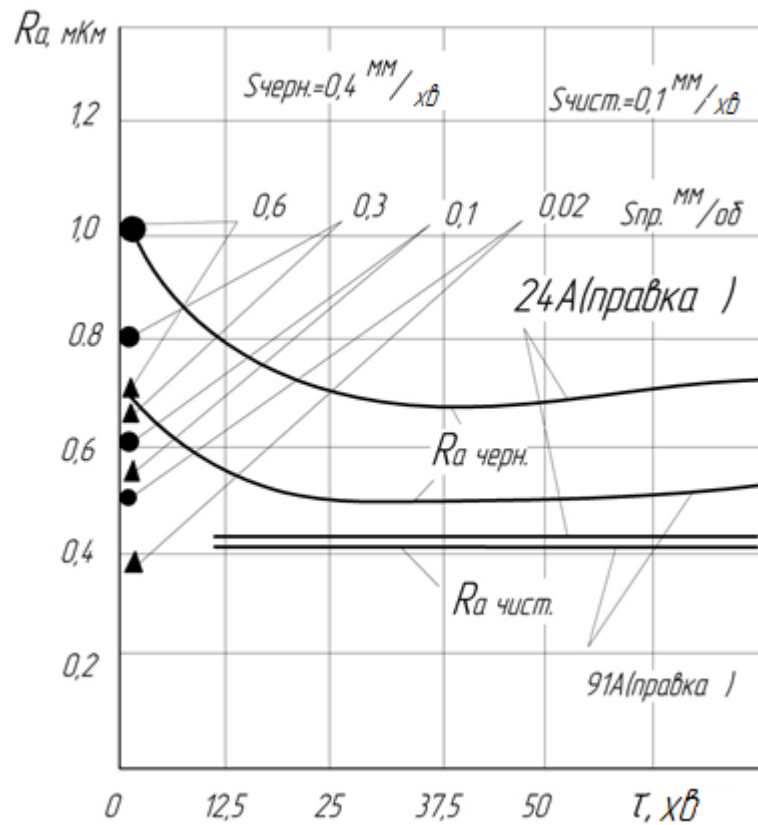


Рисунок 3.19 – Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі 45 (ЗК) після чорного  $R_a$  і після чистового етапу  $R_{a\text{чист}}$

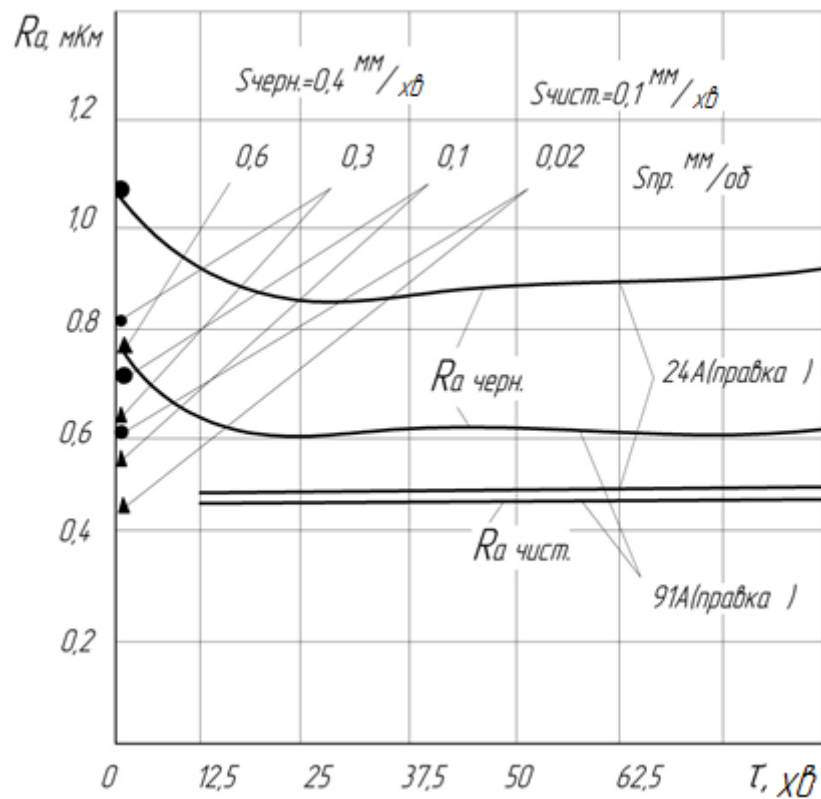


Рисунок 3.20 – Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці ШХ-15 (НЗК) після чорного  $R_a$  і чистового етапу  $R_{a\text{чист}}$

При шліфуванні з подачами 1,2 мм/хв шорсткість поверхонь оброблених колами 91А вище чому 24А (рис.3.21; 3.22). Причому інтенсивність зростання для кіл 91А вище. Так при шліфуванні стали ШХ-15 на 17 хвилині спостерігається різке збільшення шорсткості.

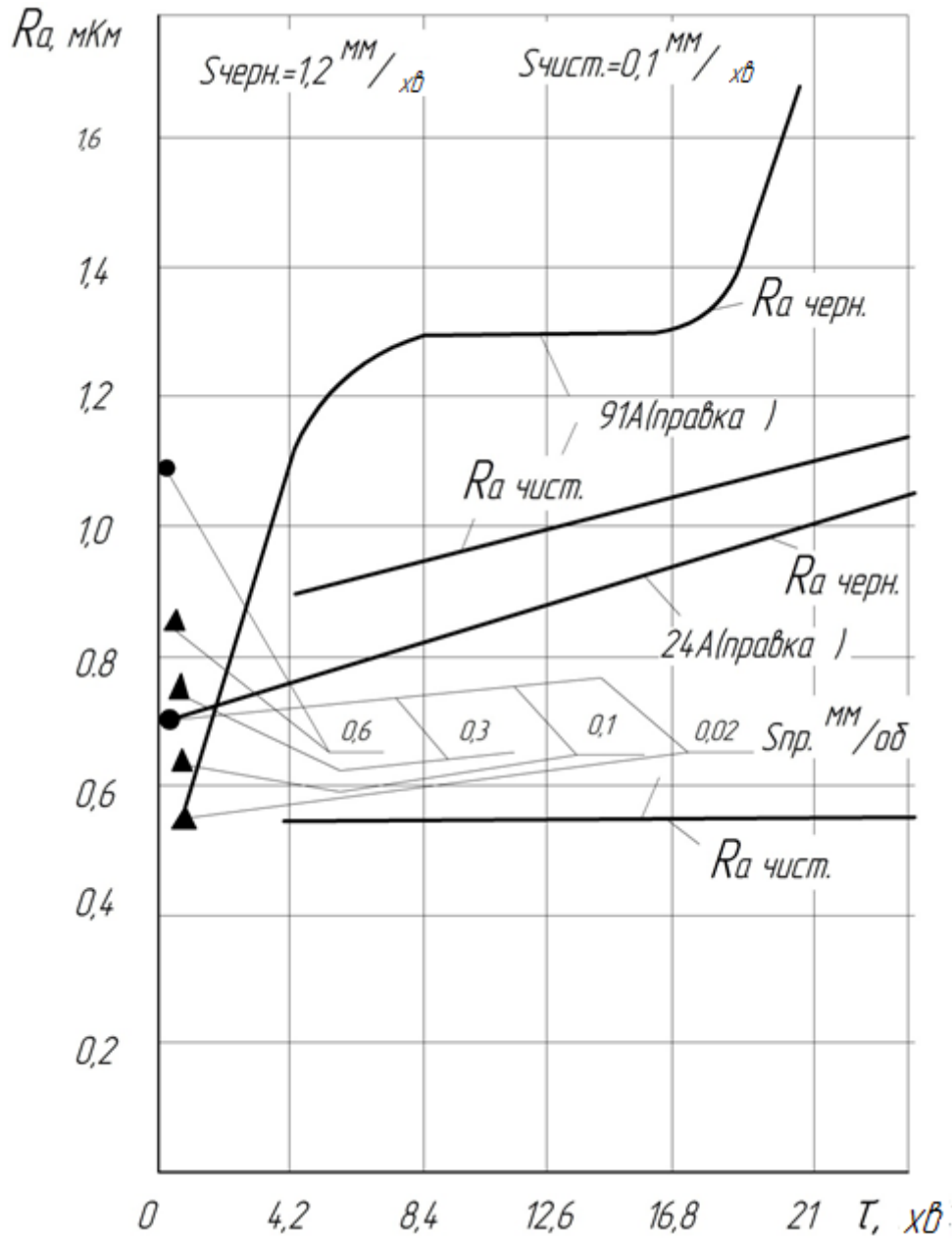


Рисунок 3.21 – Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці стали ШХ-15 (ЗК) після чорнового  $R_a$  і після чистового етапу  $R_{a\text{чист}}$

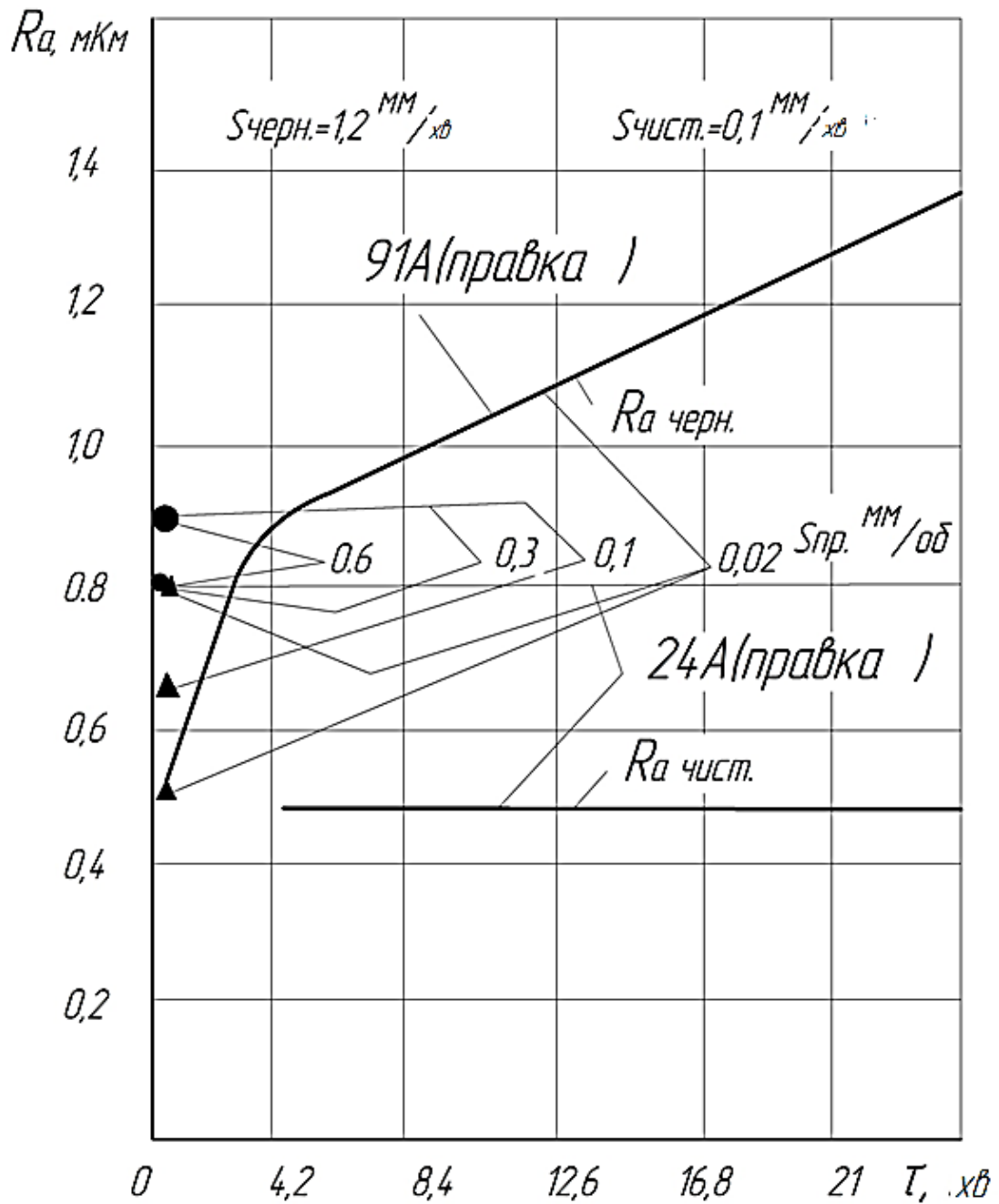


Рисунок 3.22 – Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі 45 (ЗК) після чорного  $R_a$  і після чистового етапу  $R_{a\text{чист}}$

Різкі збільшення шорсткості при урізних подачах 3 мм/хв відбувається на перших двох хвилинах обробки. У цих досвідах шорсткість поверхні й інтенсивність її росту були вище в кіл 91А (рис. 3.23).

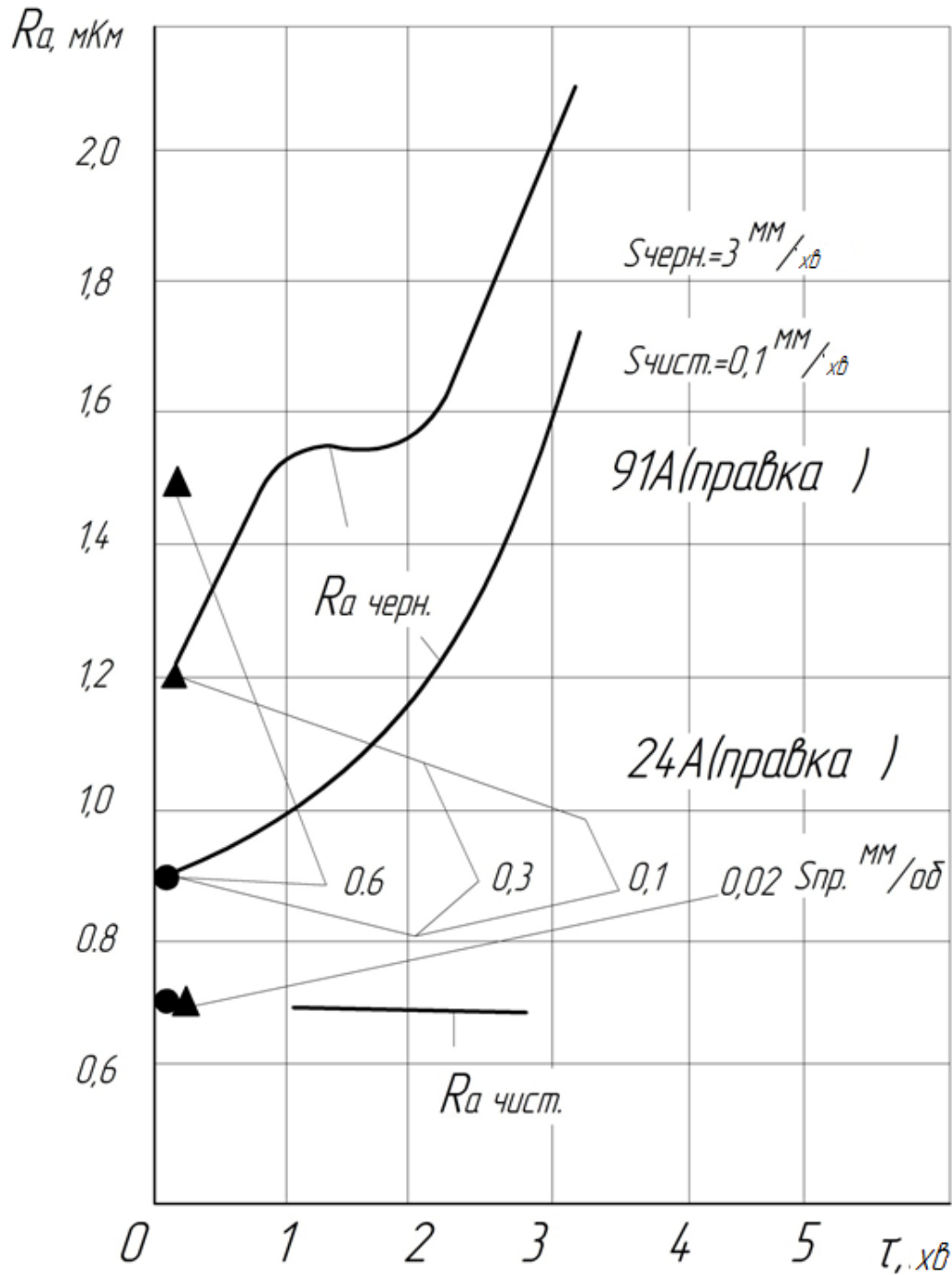


Рисунок 3.23 – Залежність шорсткості поверхні при обробці сталі ШХ-15 (ЗК) після чорного  $R_a$  і після чистового етапу  $R_{a\text{чист}}$

Аналогічний характер має залежність шорсткості при обробці з урізною подачею 5  $\text{mm}/\text{хв}$  (рис.3.24; 3.25). При обробці колом 91А немає чітко вираженої зони стабілізації  $R_a$ . Шорсткість зростає у всьому діапазоні часу.

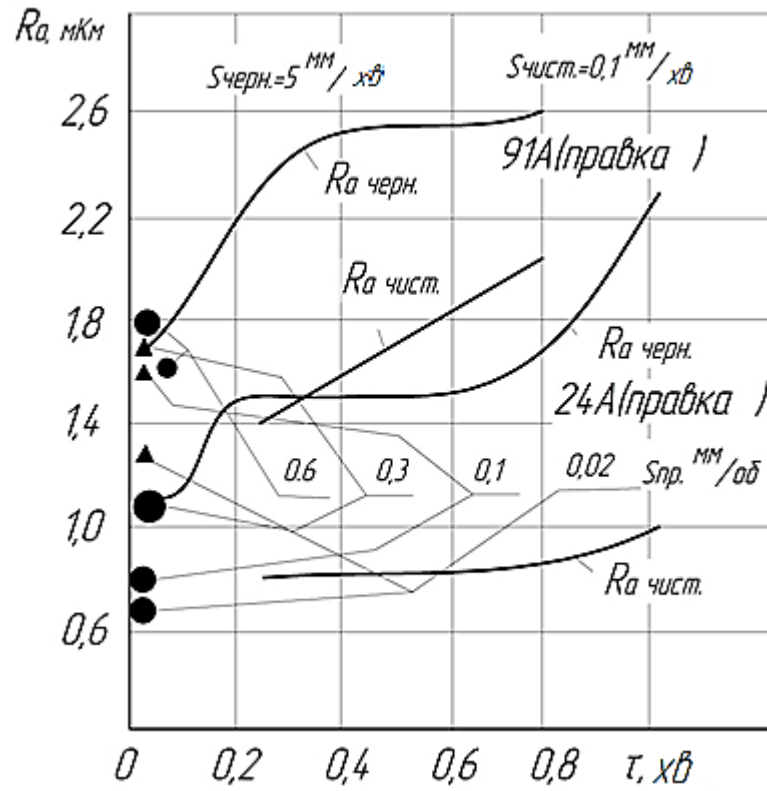


Рисунок 3.24 – Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі 45 (ЗК) після чорного  $R_a$  і після чистового етапу  $R_{a\text{чист}}$

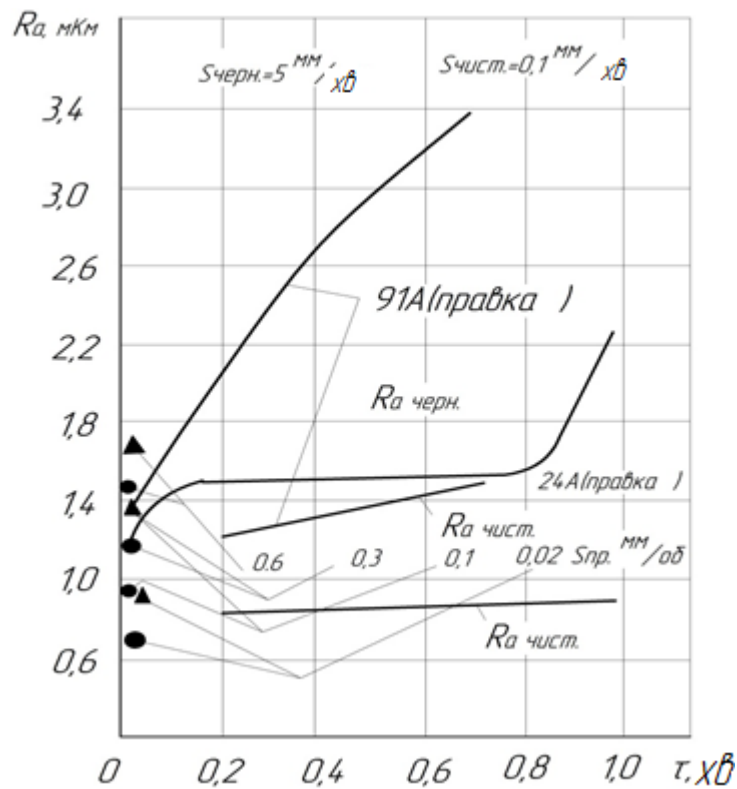


Рисунок 3.25 – Залежність шорсткості поверхні при обробці сталі ШХ-15 (ЗК) після чорного  $R_a$  і після чистового етапу  $R_{a\text{чист}}$

При обробці колами 24А рівень шорсткості нижче. Помітна стабілізація  $Ra_{\text{черн}} \approx 1,5$  мкм у межах від 0,2 до 0,7 хв. Надалі  $Ra_{\text{черн}}$  різко зростає.

Експериментальне дослідження показує, що шорсткість поверхонь деталей оброблених колами 91А нижче при малих урізних подачах. Зі збільшенням урізної подачі рівень і інтенсивність росту  $Ra$  для кіл 91А набагато вище, чим 24А. Причому при подачах 3 і 5 мм/хв збільшення шорсткості відбувається без її стабілізації. При таких чорнових подачах інтенсивне зношування робочої поверхні кола приводить до зростання шорсткості й після чистового етапу шліфування.

### 3.3.2 Дослідження коливань сили різання при шліфуванні

Проводилися дослідження наростання величини амплітуди коливань нормальної складової сили різання. При обробці зразків зі сталі 45 (ІЗК). Загальний знятий припуск становив 30 мм на сторону, при урізній подачі  $S=2,5$  мм. сторону. На початку шліфування амплітуда сили була 3-4 кгс, а величина самої сили  $P_y$  26 кгс. Надалі зі збільшенням часу шліфування амплітуда коливань наростала / (на 9 хв. роботи  $\Delta P_y=13$  кгс; на 14 хв. роботи  $\Delta P_y=18$  кгс), усе більш прослідковується частота обертання кола в коливаннях сили ( $n=1620$  хв<sup>-1</sup>; 27 кол.сек) (рис.3.26). Спостерігається також незначне зростання сили до 28 кгс. У плинні всього часу шліфування, поки знімався припуск 30 мм на сторону, три рази замірялася шорсткість поверхні оброблюваних зразків.

На (рис.3.27) видне що шорсткість поверхні розрахунки згодом обробки.  $Ra_{\text{чист}}$  на графіку показана шорсткість, яку можна одержати у двоступінчастому циклі без виправлення кола при величині чистовій подачі  $S=0,5$  мм/хв. На графіку видний взаємозв'язок між амплітудою сили й шорсткістю поверхні. Якщо головна вимога при шліфуванні – при досягнення певної чистоти поверхні, то цей взаємозв'язок можна використовувати для визначення стійкості кола або моменту початку виправлення шліфувального кола.

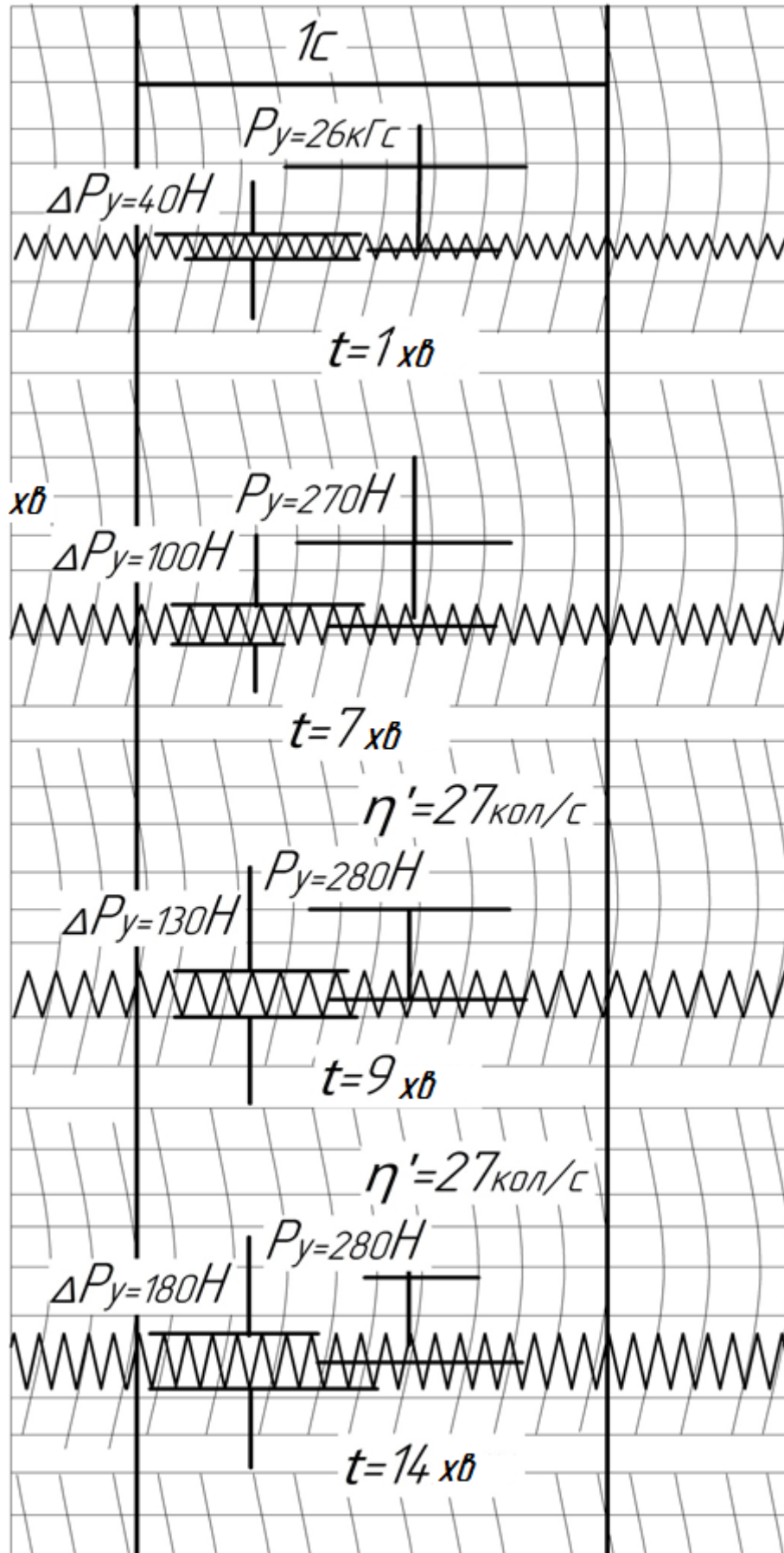


Рисунок 3.26 – Запис коливання радіальної сили при шліфуванні

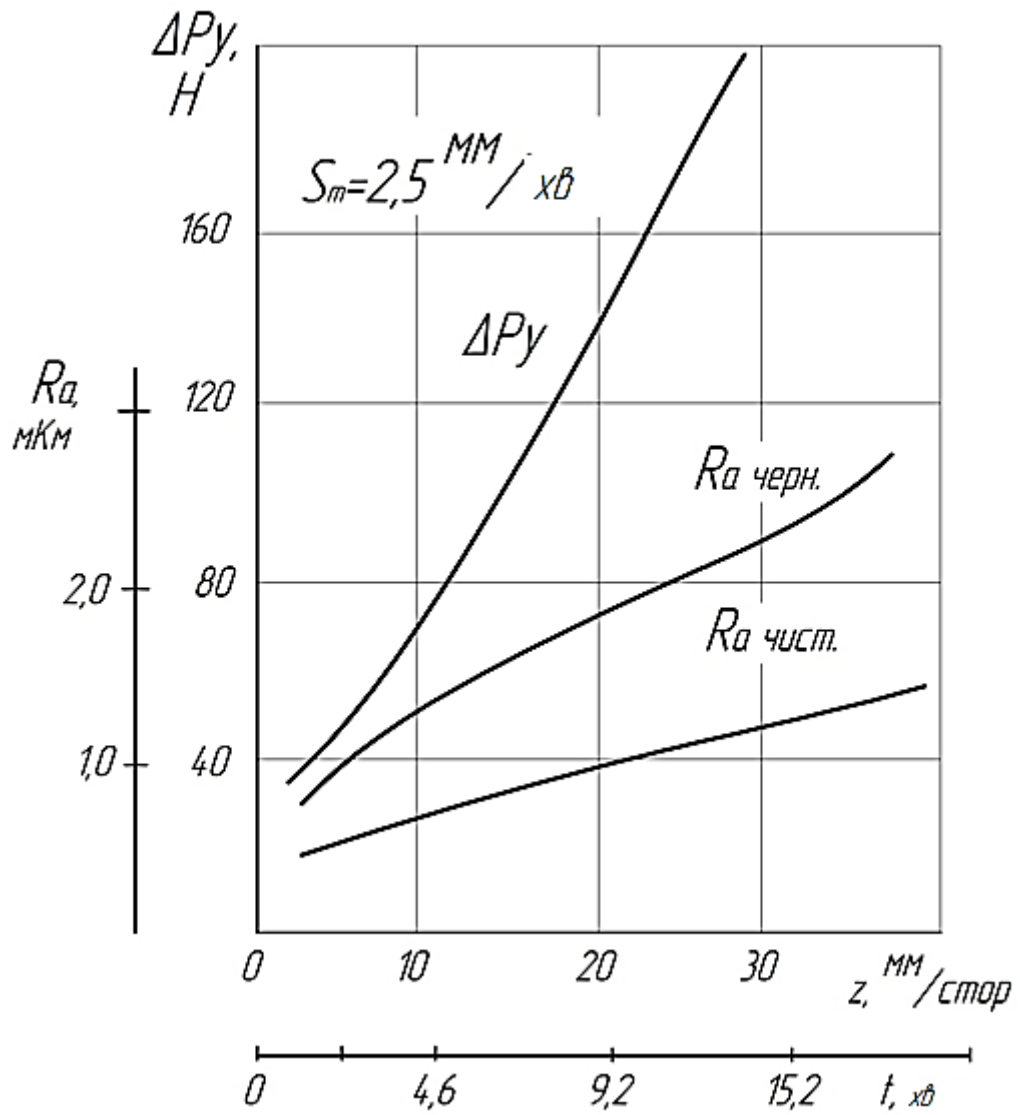


Рисунок 3.27 – Залежність коливань сили різання й шорсткості від часу шліфування припуску, що й знімається, при обробці загартованої сталі 45

## 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ Й КОРИГУВАННЯ ПИТОМОЇ СИЛИ РІЗАННЯ

### 4.1 Вплив стану робочої поверхні кола на шорсткість обробленої поверхні

Алгоритм ОКБШС [58] не враховує характеристику Ш.К. устанавленого на верстаті, що не дозволяє оцінити вплив режимів шліфування на стан робочої поверхні Ш.К., а отже на вихідні параметри процесу.

Режим роботи Ш.К. залежить від характеру зношування основних робочих абразивних зерен. Початкове підвищене зношування утворюється при видаленні з робочої поверхні кола дефектних за формою й невдало орієнтований після виправлення зерен. Початкове зношування зростає при збільшенні подачі при виправленні [59]. При цьому, чому грубіше виправлення, тем інтенсивніше зміна зношування на початковому етапі. Надалі при чистових режимах шліфування відбувається інтенсивне стирання вершин абразивних зерен і перехід від початкового зношування до затуплення, причому інтенсивність зношування зменшується в міру збільшення тривалості шліфування.

Устанавлене, що характер зношування аналогічний характеру зміни шорсткості при роботі кола після виправлення [60]. Початкова шорсткість залежить від інтенсивності знімання металу й від режимів виправлення. Згодом вплив виправлення поступово зменшується й при стабілізації зношування Ш.К. шорсткість поверхні деталі в основному визначається режимами шліфування.

Так, наприклад, при обробці сталі 45 (ЗК), що ставиться до II групи матеріалів [60], стабілізація рівня досяжної шорсткості показано на (рис.4.1). Аналогічний характер має зміна інтенсивності зношування Ш.К. на початковому етапі шліфування.

Аналіз графіків дозволяє зробити висновки, що для стабільного протікання процесу, режими виправлення повинні забезпечувати рівень шорсткості досяжний при обраній інтенсивності шліфування. Для даного прикладу режими виправлення визначаються за графіком (рис.4.2).

Можливо також використання початкового періоду шліфування після виправлення. При цьому (при  $\tau < \tau_{\text{стаб}}$ ) шорсткість готової деталі більшою мірою визначається режимами виправлення.

Так, наприклад (див. рис.3.1) обробка із  $P'_y = 0,5 \text{ кГс/мм}$  при  $S_{np} = 0,02 \text{ мм/об}$  протягом перших 4-х хвилин дозволяє одержати  $R_a \approx 0,5 \text{ м}$  при  $R_{ACT} \approx 0,7 \text{ мКм}$ .

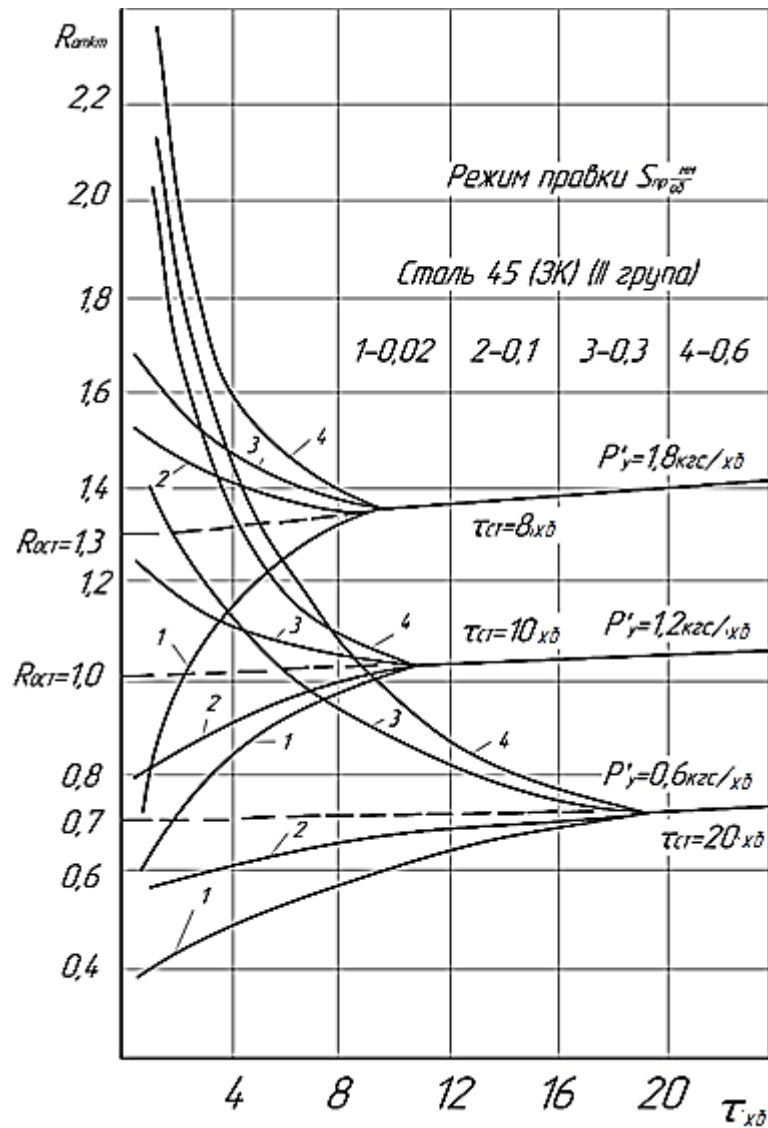


Рисунок 4.1 – Зміна шорсткості оброблюваної поверхні при шліфуванні

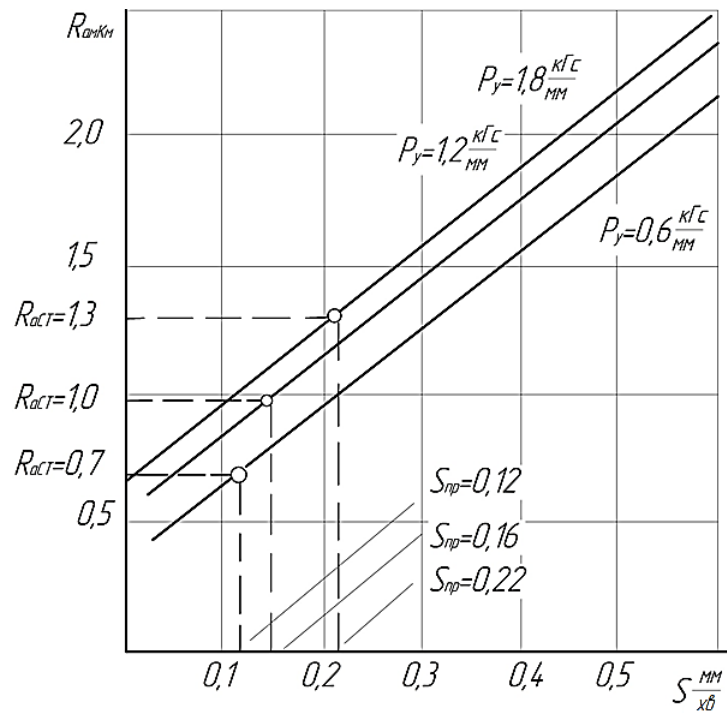


Рисунок 4.2 – Визначення поздовжньої подачі алмаза при виправленні кола

Підвищення продуктивності шліфування пов'язане зі збільшенням інтенсивності на чорновому етапі. Рівень чорнової подачі повинен визначатися умовами роботи кола з гарантованим збереженням профілю, що забезпечує заданий кресленням рівень шорсткості. При цьому питома сила різання визначається по формулі:

$$P'_y = K_{кр} \cdot C_u \cdot Ra \quad (4.1)$$

де  $C_u$  – урахує структуру циклу, етап шліфування й рівень досягнень шорсткості поверхні;

$K_{кр}$  – урахує характеристику Ш.К.

Можливі варіанти побудови циклів урізного шліфування, представлені в табл. 3.1.

Цикл № 1 складається із врізання процесу, що й установився, шліфування з подачею  $S_2$ . Його рекомендується застосовувати при обробці деталей точністю  $\Delta = 0,015$  мм і шорсткість  $Ra \geq 0,63$  мкм. При виборі параметрів робочого циклу використовуються логічні оператори

$$2\Pi \leq 0,1, \quad (4.2)$$

де

$\Pi$  – припуск на сторону, мм

Таблиця 4.1 – Структура робочих циклів

№ циклу	Етапи циклу						Графік
	Прискорена подача	1 робоча подача	виходжування	2 робоча подача	виходжування	параметр визначення $R_a$ по алгоритму ОКБШС	
1	$S_1$	$S_2$				$S_2$	
2	$S_1$	$S_2$	$S_3$			$S_3$	
3	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_3$		$S_3$	
4	$S_1$	$S_2$		$S_3$		$S_3$	
5	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_3$	$S_4$	$S_4$	

$$L / du \leq 7, \quad (4.3)$$

де

$L$  – довга деталі, мм

$Du$  – діаметр деталі, мм.

Ці оператори не враховують фактичної деформації дії сили  $Pu_2$  і можуть лише приблизно відбивати реальна умови шліфування. Кінцева точність і шорсткість

повинні забезпечуватися рівнем подачі  $S_2$  ( $P_{y2}$ ). Алгоритм не передбачає перевірку за припуском, що знімається при врізанні, немає перевірки за досяжним рівнем  $S_2$  ( $P_{y2}$ ).

Методика розрахунків не враховує також, що при ранньому відводі шліфувальній бабці виправлення початкової погрішності може не відбутися.

Цикли №2, №3, №4 мають однотипну структуру. Цикл №2 відзначається від циклу №3 тем, як вибирається рівень числової доводочної подачі. У циклі №2 шорсткість визначається по подачі  $S_2$ , а доводочна подача (після виходжування)  $S_3$  повинна забезпечити точні параметри.

У циклі №3 шорсткість поверхні й параметри точності повинні забезпечуватися подачею  $S_3$ . При цьому припуск для чистового етапу  $\Pi_2=0,2\Pi_0$  вибирається без обліку реальних умов шліфування. Цикл №4 відзначається від циклу №3 тим, що перехід на чистову подачу виконується без проміжного виходжування. Це збільшує час перехідного процесу й усього циклу. Однак такий цикл може бути використаний при оптимізації по швидкості видалення дефектного шару.

Припуск під виходжування (або перехід з рівня  $S_2$  на  $S_3$ ) визначається

$$\Pi_{\text{вих}} = \frac{\Pi du B}{K_p \gamma} (S_2 - S_3) = T(S_2 - S_3) \quad , \quad (4.4)$$

де

$B$  – ширина обробки, мм;

$K_p$  – коефіцієнт різання, мм<sup>2</sup>/хв;

$\gamma$  – сумарна твердість технологічної системи верстата, кгс/мм.

При цьому подачу  $S_2$  слід ухвалювати найбільшу з можливих, обмежуючи її умовами збереження рельєфу робочої поверхні шліфувального кола, що забезпечує одержання необхідного рівня шорсткості. Загальний час циклу буде

$$\tau_0 = \tau_{\text{вр}} + \tau_1 + \tau_{\text{вих}} \quad , \quad (4.5)$$

де  $\tau_{\text{вих}}$  – час виходжування у хвилинах.

Мінімізація  $\tau_0$  буде при  $\tau_1 > 0$ ,  $\tau_{\text{вих}} > \min$ .

Для реалізації цієї умови необхідно прагне до співвідношення

$$\Pi_0 = \Pi_{\text{вр}} + \Pi_{\text{вих}} \quad , \quad (4.6)$$

Де  $P_{вр}$  і  $P_{вих}$  – припуски на врізання й виходжування, мм.

У такому циклі рівень сили  $P_{y2}$  (або  $S_2$ ) буде кінцевим для врізання й початковим для виходжування. Його можна обмежити припустимою силою  $P_{умах}$  ( за різними критеріями) і ввести коефіцієнт надійності ( $K_n$ ) для обліку відхилень від реальних умов при розрахунках для першої деталі. Цей  $K_n$  буде визначати тривалість роботи з  $S_2=const$ . Момент початку виходжування визначається по ПАК і залежить від розрахованого  $P_{вих}$  т.е поточний припуск, ( $P_{пак}$ ), по якому дається команда на виходжування, буде

$$P_{ПАК} = P_0 - P_{вих} \quad (4.7)$$

При реалізації такого циклу можливі 3 випадку:

1. Повний збіг  $P_{уфакт}=P_{урасч}$  ( $S_2_{факт} = S_2_{расч}$ )
2. При  $P_{уфакт}<P_{урасч}$ , тобто розрахунковий рівень сили не досягнеться, а команда ПАК зробила. У цьому випадку збільшується час роботи на доводочній подачі, але необхідна якість поверхні буде забезпечено.
3. Якщо рівень  $P_{y2}$  ( $S_2$ ) досягнеться, а виходжування перерветься не досягшись рівня  $P_{y3}$  ( $S_3$ ), то та необхідна якість поверхні може бути не досягнута. Це може відбутися при недостатньому припуску на виходжування. Для цього виключення треба вводити коефіцієнт надійності  $K_n$  на першій деталі й коректувати  $P_{вих}$  для інших деталей за інформацією із зони різання.

Оптимізація цього циклу за мінімальним часом

$$\tau_0 = \tau_{вр} + \tau_{вих} \quad (4.8)$$

виконується за рахунок вибору раціональної подачі  $S_2$ .

Цикл №5 крім зазначених вище елементів циклу №3 має ще один (чистовий) етап, що включає в себе роботу з подачею, що встановився,  $S_3$  і виходжуванням з доводочною подачею. По алгоритму ОКБШС цей цикл використовується при  $Ra<0,32$  при зніманні більших припусків ( $2P>0,1$ ).

Необхідна шорсткість визначається чистовою подачею, а етап виходжування й шліфування з доводочною подачею  $S_4$  повинна забезпечувати параметри точності ( $\Delta$ ,  $\Delta r$ ). У реальних умовах шліфування подача  $S_4$  визначає рівень

кінцевої шорсткості, що повинне знайти відбиття в розрахункових формулах алгоритмів.

Час циклу №5 визначається:

$$\tau_0 = \tau_{ep} + \tau_1 + \tau_{пер} + \tau_2 + \tau_{вых} \quad (4.9)$$

де  $\tau_{пер}$  – час переходу від першої подачі (чорновий) подачі до другої (чистовий) подачі, хв.;

$\tau_2$  – час роботи з подачею  $S_3$ , хв.

Оптимізація можлива за рахунок підвищення рівня чорнової подачі  $S_2$  і плавного зменшення подач до рівня  $S_4$ . Причому шліфування з подачами, що встановилися,  $S_3$  і  $S_4$  повинне бути по можливості короткочасним і визначається введенням додаткової кількості обертів деталі.

#### 4.2 Коректування силових залежностей прийнятих в алгоритмах ОКБШС

При шліфуванні в циклі №1 шорсткість поверхні забезпечується рівнем робочої подачі  $S_2$ . При реалізації алгоритмів ОКБШС питома зусилля шліфування, відповідне до подачі  $S_2$ , визначається по формулі

$$P'_y = C_1 \cdot Ra \quad (4.10)$$

Виконане зіставлення досягнутого рівня шорсткості й величин питомої сили різання  $P_y^1$  при обробці колом 24A25HCG7H6 яке проведено на (рис. 4.3).

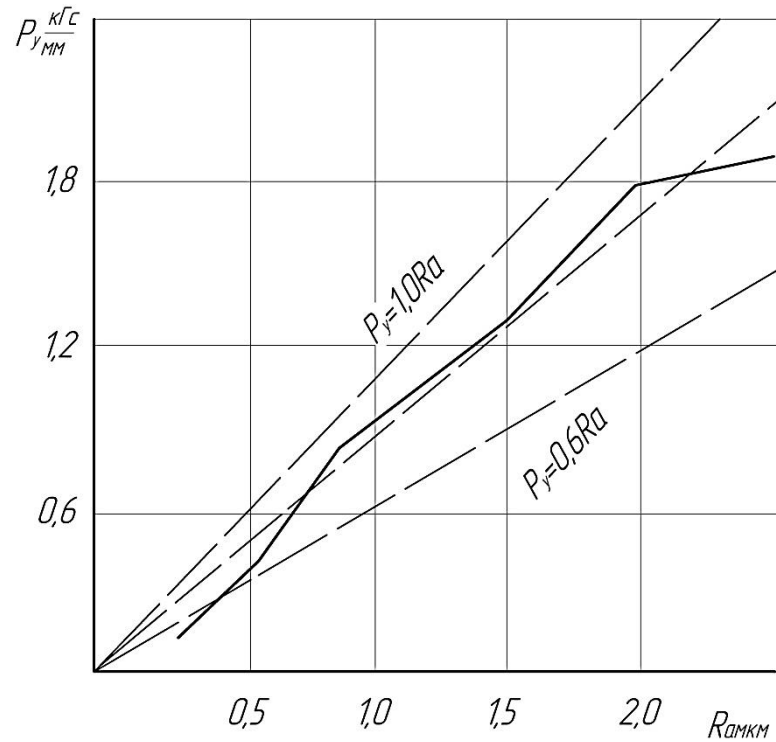


Рисунок 4.3 – Взаємозв'язок питомого зусилля шліфування із шорсткістю обробленої поверхні

Із графіків видно, що при шліфуванні в циклі з подачею  $S_2$  ( $P_{y^1}$ ) рівень шорсткості перебуває в межах обмежених залежностями

$$P'_{y_{\max}} = 1,0Ra \quad (4.11)$$

$$P'_{y_{\min}} = 0,6Ra \quad (4.12)$$

Зі збільшенням шорсткості  $Ra > 1,5$  мкм співвідношення  $\left(\frac{P_{y^1}}{Ra}\right)$  - збільшується.

Продуктивність шліфування в циклі № 2 і 3 визначається раціональною побудовою циклу й оптимальною інтенсивністю знімання на початковому його етапі. Рівень чорнової подачі повинен визначатися умовами роботи кола з гарантованим збереженням профілю, що забезпечує заданий кресленням рівень шорсткості.

Зіставлення ряду стойкостних залежностей [60], впливу умов шліфування на зношування кола [59] і порівняння цих даних з результатами

експериментальних перевірок дозволяє виконати коректування силових залежностей використовуваних в алгоритмах вибору режимів шліфування.

Аналіз впливу умов шліфування на збереження ріжучого профілю Ш.К. показує, що питома сила різання повинна розраховуватися з урахуванням ряду факторів, вплив яких визначається з коефіцієнтами.

Питома сила шліфування визначається по формулі

$$P'_y = C_1 \cdot Ra \cdot K_{кр} \quad , \quad (4.13)$$

$$\text{де} \quad K_{кр} = K_A \cdot K_{ТВ} \cdot K_Z \cdot K_{СВ} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{ТОЧН} \quad (4.14)$$

Вплив абразивного матеріалу враховується коефіцієнтом  $K_A$ . Аналіз показує (рис.4.4), що кращою стійкістю мають шліфувальні кола марки 44А.

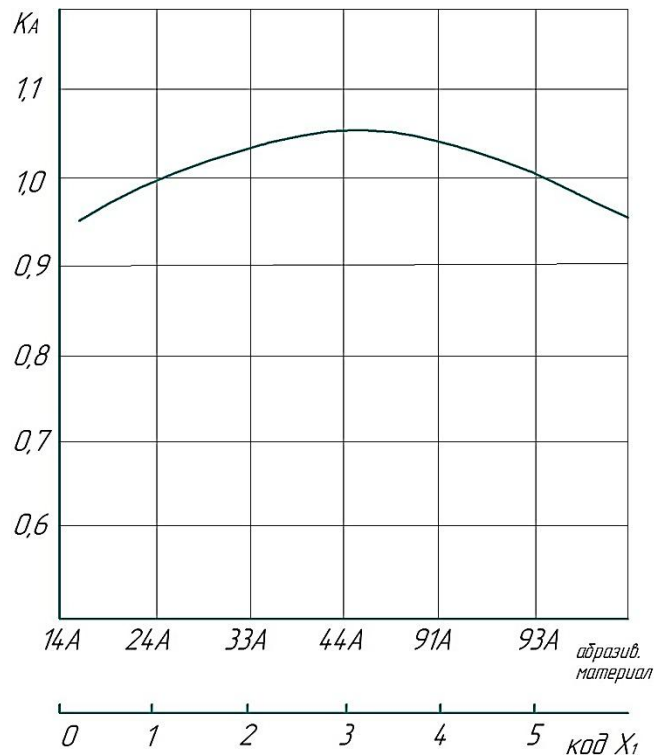


Рисунок 4.4 – Коефіцієнт, що враховує вплив абразивного матеріалу на стан робочої поверхні кола

Для введення в ЕОМ виконаємо кодування яке презентовано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Кодування абразивного матеріалу

Абразивний матеріал	14А	24А	33А	44А	91А	93А
Код $X_1$	0	1	2	3	4	5

Тоді розрахункова залежність буде

$$K_A = 1,05 - 0,01(X_1 - 3)^2 \quad (4.15)$$

Зі збільшенням твердості шліфувального кола його стійкість збільшується (рис.4.5).

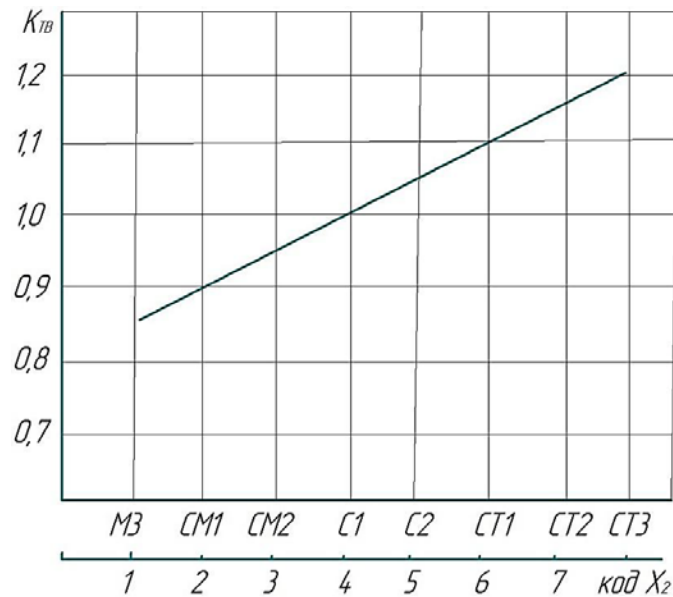


Рисунок 4.5 – Коефіцієнт, що враховує вплив твердості кола на стан його робочої поверхні

Для введення в ЕОМ виконаємо кодування яке презентовано в таблиці 3.2.

Таблиця 4.2 – Кодування твердості кола

Твердість Ш.К.	M3	CM1	CM2	31	32	CT1	CT2	CT3
Код $X_2$	0	1	2	3	4	5	6	7

Тоді розрахункова залежність буде

$$K_{TB} = 0,8 + 0,05X_2 \quad (4.16)$$

Вплив зернистості на стійкість кола (рис.3.6) визначається залежністю

$$K_Z = 1,55 - 0,02Z \quad (4.17)$$

Використовуємо в алгоритмі залежності відповідні до обробки шліфувальним колом на керамічному зв'язуванні.

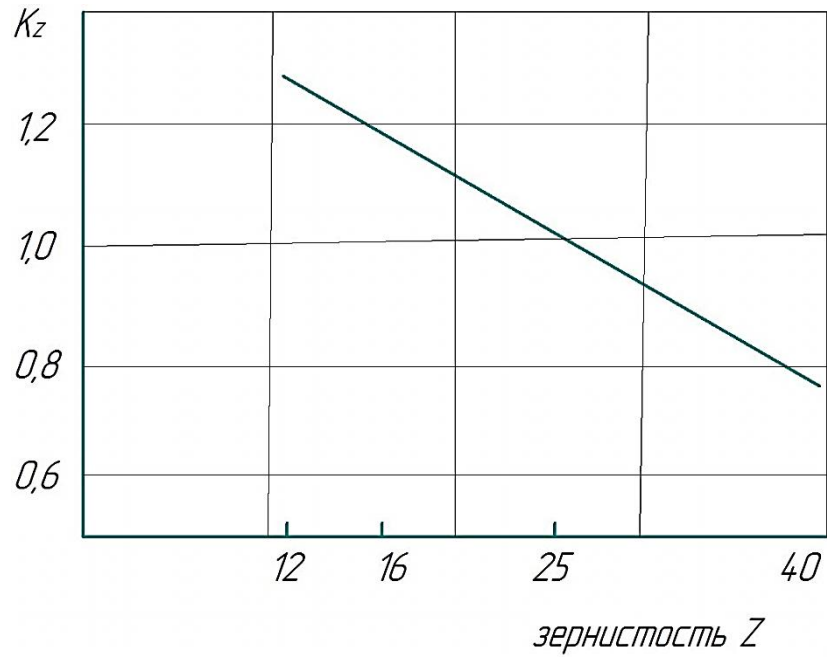


Рисунок 4.6 – Коефіцієнт, що враховує вплив зернистості кола на стан його робочої поверхні

При установці на верстаті кіл з іншим зв'язуванням слід внести виправлення, величина якої визначається коефіцієнтом

$$K_{CB} = 1 + 0,2X_3 \quad (4.18)$$

Де  $X_3$  – код зв'язування, обумовленої по таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Кодування матеріалу святки

Зв'язування	керамічна	вулканитовая	бакелітова
Код $X_3$	0	1	2

Вплив діаметра шліфувального кола ( $D_{кр}$ ) і його швидкості ( $V_{кр}$ ) урахується коефіцієнтами

$$K_A = 0,0025 D_{кр} \quad (4.19)$$

$$K_V = 0,37 V_{кр} \quad (4.20)$$

Інтенсивність зношування шліфувального кола впливає на точність одержуваної поверхні. У межах точності, забезпечуваної шліфуванням (5-7 квалітет) поправочний коефіцієнт визначається залежністю

$$K_{\text{ТОЧН}} = 2,14 - 0,19H, \quad (4.21)$$

де  $H$  – квалітет.

Експериментальна перевірка показала, що для циклів № 2,3 при  $Ra \leq 0,32$  залежність буде

$$P'_y = 1,5R_A \cdot K_{\text{КР}} \quad (4.22)$$

А при  $Ra \geq 0,32$

$$P'_y = 2,0R_A \cdot K_{\text{КР}} \quad (4.23)$$

Граничне значення питомої сили різання обмежене перехід до режиму повного самозагострювання, при якому змінюється рельєф робочої поверхні шліфувального кола. На (рис.4.7) показані графіки залежності інтенсивності зношування  $V_{\text{ЗН}}$  кола 24А при обробці сталі 45 ЗК (П група матеріалів).

На цьому ж графіку показана зміна питомої сили різання  $P_y^1$ . Аналіз залежностей показує, що інтенсивне зношування кола починається з  $P_y^1$  1,8 кГс/мм. Незначне зношування, що характеризується пологою ділянкою кривій  $V_{\text{ЗН}}$  зберігається до  $P_y^1=1,2$  кГс. У такий спосіб граничне значення буде:

Для циклу № 1 при  $Ra \leq 0,32$

$$P_{y \max}^1 = 0,8K_{\text{кр}} \quad (4.24)$$

при  $Ra > 0,32$

$$P_{y \max}^1 = 1,0K_{\text{кр}} \quad (4.25)$$

Для циклу № 2 при  $Ra \leq 0,32$

$$P_{y \max}^1 = 1,0K_{\text{кр}} \quad (4.26)$$

при  $Ra > 0,32$

$$P_{y \max}^1 = 1,2K_{\text{кр}} \quad (4.27)$$

Для циклу № 3 при  $Ra \leq 0,32$

$$P_{y \max}^1 = 1,2K_{\text{кр}} \quad (4.28)$$

при  $Ra > 0,32$

$$P_{y^1 \max} = 1.8K_{кр} \quad (4.29)$$

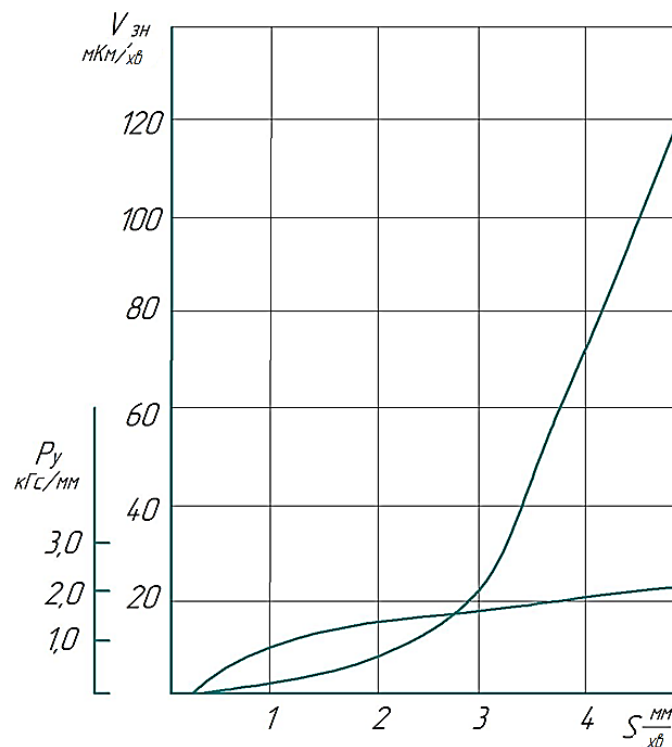


Рисунок 4.7 – Залежність питомого зусилля шліфування й інтенсивності зношування кола від врізної подачі

Вибір питомої сили різання  $P_{y^1}$  залежно від структури циклу, етапу шліфування й шорсткості виконується по алгоритму (рис.4.8).

Алгоритм, ураховує також обмеження по  $P_{y^1 \max}$ . Після шліфування першої деталі й уточнення  $K_p, j\tau, P_y$  і  $Ra$  можливі коректування залежностей єднальних питомої сили різання й рівень досяжної шорсткості. При цьому по розрахованому рівню базової шорсткості  $Ra$  і силі різання на цьому етапі шліфування уточнюється коефіцієнт у формулі

$$C_u = \frac{P_{уфакт}}{B \cdot R_a}$$

При розрахунках другий і наступних деталей партії коефіцієнт  $C_u$  уточнюється й вибір питомої сили виконується по фактичному впливу  $P_{y^1}$  на шорсткість поверхні.

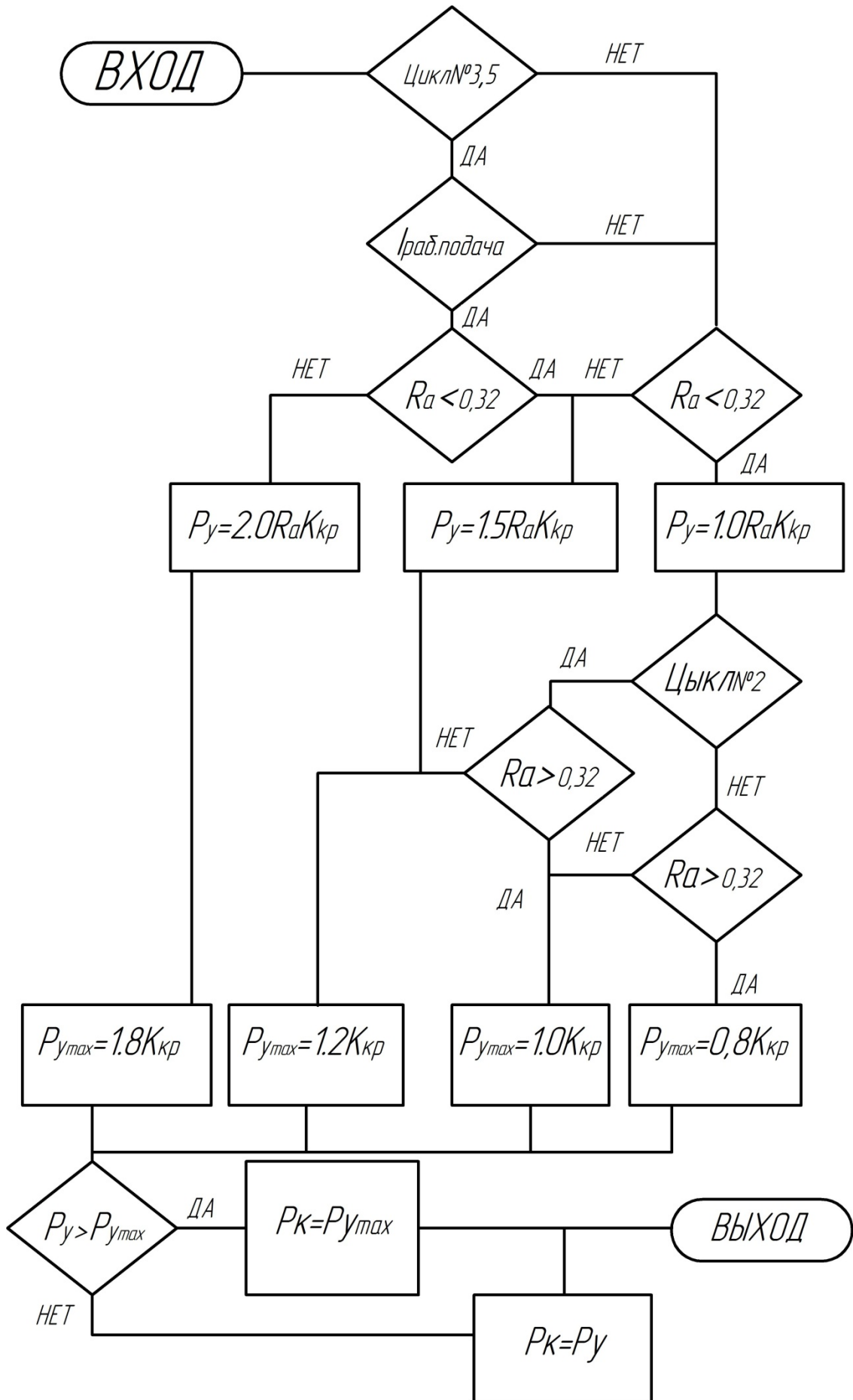


Рисунок 4.8 – Алгоритм вибору зусиль шліфування

## 5. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ СЕМІНАРУ НА ТЕМУ «ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ПРИ ОБРОБЦІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ»

Шліфування є основним методом чистової обробки металів і займає досить чільне місце в сучасному машинобудуванні.

Шліфування забезпечує високу точність деталей і чистоту їх поверхонь, що багато в чому визначають зносостійкість поверхневого шару і довговічність деталей, а також ККД, надійність і швидкохідність всієї машини в цілому. Безсумнівно, що прогрес машинобудування певною мірою залежить від можливості отримувати більш точні деталі з більш високою чистотою поверхонь і більш зносостійким поверхневим шаром. Застосування природних шліфувальних матеріалів було відомо з глибокої давнини, однак розвиток шліфування почалося з другої половини ХІХ ст., коли перед машинобудуванням була поставлена задача економічно і швидко виготовляти однакові деталі у великій кількості. Безперервне вдосконалення шліфувальних верстатів і поліпшення якості шліфувальних кругів поставило шліфування в число високопродуктивних процесів точної обробки металів. Швидкий розвиток техніки шліфування за останні 20-25 років пояснюється значним зростанням масового виробництва, вимогою взаємозамінності деталей при безперервному підвищенні їх точності і чистоти поверхні.

В даний час шліфування металів набуває великого значення в зв'язку з застосуванням нових марок високоякісних термічно оброблених сталей, подальшою спеціалізацією всіх галузей машинобудування і переведенням їх на поточно-масове виробництво, яке отримало в нашій країні величезний розвиток. Широке впровадження новітніх методів гарячої обробки металів (штампування, лиття в металеві форми та ін), характерних для поточно-масового виробництва, що супроводжується безперервним зменшенням припусків на обробку. У зв'язку з цим можна припустити, що найближчим часом при масовому виробництві заготовки, що надходять з гарячих цехів,

будуть оброблятися безпосередньо шліфуванням або іншим методом, що дозволяє забезпечити високу точність і чистоту поверхонь деталей, наприклад: тонким швидкісним точінням або фрезеруванням, анодно-механічної або електроерозійною обробкою та ін.

Процес шліфування є досить складним процесом різання, що має свої специфічні особливості, якими він відрізняється від процесів різання металів металевим інструментом з правильною геометрією.

Складність процесу шліфування і мінливість ріжучого інструменту - шліфувального круга створюють великі труднощі при експериментальному і теоретичному дослідженні цього процесу.

Аналіз ефективності застосування шліфувальних кругів показує, що, незважаючи на широке поширення, вони лише частково використовують свої потенційні можливості. Однією з основних причин такого положення є неупорядкованість форми і орієнтації абразивних зерен в тілі даних інструментів. Довільна форма і розташування зерен в тілі кругів, як наслідок, формують довільну і несприятливу їх геометрію різальних мікроклінів. В результаті частина зерен не бере взагалі або приймає слабка участь в сукупному процесі мікрорізання. Невпорядкована форма і орієнтація зерен формують також дефекти структури шліфувальних кругів і, як наслідок, знижують їх міцність і допустиму швидкість роботи. Орієнтація зерен на шліфувальних кругах відкривають перспективу підвищення фізико-механічних і ріжучих властивостей цих інструментів і, тому, є актуальною проблемою.

Шліфування металу є процесом масового дряпання поверхневого шару металу абразивними зернами, зцементованими в коло або бруски за допомогою зв'язки, що протікає на дуже високих швидкостях, зазвичай до 50 м/сек.

Процес шліфування як метод чистової обробки металів порівняно з обробкою металевим інструментом має наступні основні переваги:

1. Забезпечує високу точність, правильність геометричних форм і чистоту обробленої поверхні в результаті зняття величезного числа тонких стружок на дуже високих швидкостях. При справному шліфувальному верстаті і правильно

обраному режимі різання точність шліфованої деталі цілком може становити 1,0-3,0 мкм.

2. Дозволяє обробляти високотверді матеріали (загартовані сталі, тверді сплави, високотверді чавуни та ін) в результаті досить високої твердості і термостійкості абразивних зерен шліфувального круга і наявності значного теплового ефекту в зоні зняття стружки абразивним зерном.

3. Дозволяє одночасно обробляти велику поверхню деталі, особливо при плоскому шліфуванні торцем круга зі вставними сегментами.

5. Забезпечує високу продуктивності, яка визначається мірою поверхні деталі, обробленої в одиницю часу, що досягається високими швидкостями і великими поверхнями обробки, так і граничним скороченням часу, необхідного для встановлення і зняття деталі (при бесцентровом шліфуванні, застосування магнітного столу при плоскому шліфуванні та ін).

Завдання шліфування полягає в отриманні „здорового" поверхневого шару деталі без мікротріщин і опіків, що забезпечує високу зносостійкість даної деталі в роботі.

Робота дуже складна та під силу тільки фахівцям певного профілю.

Таких фахівців готує Українська інженерно-педагогічна академія, за освітнім ступенем - магістр, за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування».

Стратегічною метою є стати кваліфікованим спеціалістом у галузі машинобудування, одержати знання, уміння та навички для того щоб надалі бути затребуваним на ринку труда та праці.

Дисципліна, з якої буде розроблятися семінар: «Механічна обробка в машинобудуванні» з теми : «Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів».

## **5.1. Постановка оперативних цілей семінару**

Оперативні цілі - це проекти чи програми, які забезпечуватимуть досягнення стратегічних цілей. Вони визначають стратегічні цілі кількісно та мають терміни виконання

В процесі підготовки студентів за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування», студенти проходили багато різних дисциплін за різними напрямками, одна з яких «Механічна обробка в машинобудуванні», за яким розробляється семінар на тему: «Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів»

Цілі семінару зазначені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Цілі семінару

Дидактична мета практичної роботи	Рівень цілі	Умови досягнення цілі	Результат у вигляді дій, які учні повинні продемонструвати в результаті виконання семінару, та їх характеристика	Розвиваюча мета проведення семінару.
Сформувати у студентів вміння обирати та аналізувати шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	IV рівень	Сформовані знання про властивості конструкційних матеріалів, процес шліфування	Сформоване вміння у студентів обирати та аналізувати шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Розвиток комунікативних здібностей та логічності мислення

Визначивши загальну мету проведення семінарського заняття, переходимо до вибору типу та форми проведення семінару.

## 5.2 Вибір типу семінару і форми його проведення

Семінар – це вид занять, який включає самостійне вивчення студентами програмного матеріалу і обговорення на заняттях результатів пізнавальної діяльності.

Семінари бувають різних типів: семінар-бесіда, реферативний семінар (або семінар обговорення), семінар-рішення задач або проблем, між предметні семінари, семінар-конференція.

Враховуючи дидактичну та розвиваючу мету було обрано реферативний семінар, тому що вивчаються окремі питання теми та систематизація уявлень студентів, вибір типу семінару та форми його проведення наведено у таблиці 5.2.

Реферативні семінари (або семінар-обговорення) відрізняються тим, що на них при керівництві з боку викладача заслуховують доповіді студентів по окремим питанням теми семінару. Такі семінари проводяться для поширення і систематизації уявлень студентів по окремим питанням навчального курсу, поповнення словарного запасу науковими термінами і закріплення їх, а також для розвитку комунікативних здібностей студентів.

Таблиця 5.2 - Вибір типу семінару та форми його проведення

Тема семінару	Дисципліна, з якої проводиться семінар	Тип семінару та обґрунтування його обрання	Форма проведення семінару та обґрунтування її обрання
Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Механічна обробка в машинобудуванні	Тип: Реферативний семінар. Такі семінари проводяться для поширення і систематизації уявлень студентів по окремим питанням навчального курсу, поповнення словарного запасу, розвиток комунікативних здібностей студентів.	Форма проведення: Групова. Окремі студенти виступають з доповідями і повідомленнями. Решта студентів повинна уважно слухати доповіді та доповнювати їх.

### 5.3. Визначення переліку питань для обговорення та джерел інформації при підготовці до семінару

Визначивши мету та обравши тип семінарського заняття, переходимо до визначення питань для обговорення теми.

Перелік питань, які необхідно розглянути на семінарі наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Питання для обговорення

Питання для обговорення	Джерела інформації
1	2
1. Яким чином можливо підвищити працездатність шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів?	1. Лоскутов В.В. Шліфувальні верстати 2. Лоскутов В.В. Шліфування металів 3. Якимов А.В., Паршаков А.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування 5. Ваксер Д. Б. Шляхи підвищення продуктивності при шліфуванні 5. Волський Н. І. Оброблюваність металів шліфуванням. 6.Якімов А.В., Паршаков О.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування.
2. Яким чином коефіцієнт форми шліфувального зерна впливає на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів?	1. Лоскутов В.В. Шліфувальні верстати 2. Лоскутов В.В. Шліфування металів 3. Якимов А.В., Паршаков А.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування 5. Ваксер Д. Б. Шляхи підвищення продуктивності при шліфуванні 5. Волський Н. І. Оброблюваність металів шліфуванням. 6.Якімов А.В., Паршаков О.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування
3. Яким чином орієнтація зерен на шліфувальних кругах впливає на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів?	1. Лоскутов В.В. Шліфувальні верстати 2. Лоскутов В.В. Шліфування металів 3. Якимов А.В., Паршаков А.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування 5. Ваксер Д. Б. Шляхи підвищення продуктивності при шліфуванні 5. Волський Н. І. Оброблюваність металів шліфуванням. 6.Якімов А.В., Паршаков О.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування
5. В чому полягають недоліки та переваги використання шліфувальних кругів при	1. Лоскутов В.В. Шліфувальні верстати 2. Лоскутов В.В. Шліфування металів 3. Якимов А.В., Паршаков А.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування

1	2
обробці конструкційних матеріалів?	5. Ваксер Д. Б. Шляхи підвищення продуктивності при шліфуванні 5. Волський Н. І. Оброблюваність металів шліфуванням. 6.Якімов А.В., Паршаков О.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування

#### **5.4. Проєктування мотиваційних технологій навчання студентів на семінарі**

Мотивація – це вид управлінської діяльності, який забезпечує процес спонукання особи до дієвості, спрямованої на досягнення особистих цілей чи цілей організації. Мотивація - це так звані психічні явища, що стали спонуканням до виконання тієї або іншої дії, учинку, що визначають активність особистості та її спрямованість на досягнення запланованого результату.

Зовнішня мотивація - заохочення, покарання та ін. види стимуляції поведінки.

Внутрішня мотивація - вона залежить від внутрішніх процесів, що відбуваються у свідомості особистості.

Вступна мотивація може здійснюватися у формі: бесіди, показу, демонстрації того чи іншого предмета або явища, на яке буде спрямовано весь процес навчання.

Поточна мотивація для підтримки постійного інтересу до навчальної діяльності. Вона може здійснюватися різними методами навчання відповідно до етапів формування діяльності: у процесі його пояснення (бесіда, лекція, розповідь); у ході виконання практичних завдань (розв’язання задач, вирішення завдань, виконання лабораторних робіт); у процесі контролю (поточний, підсумковий, заключний тощо).

Основними прийомами мотивації в процесі викладу нового матеріалу є орієнтація навчального матеріалу на його практичний зміст, орієнтація на конкретну професійну діяльність, демонстрація в мовленні практичного використання теоретичних положень, які наводяться.

Для проведення даного семінару визначаємо тип, вид та методи мотивації, які наведені в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 - Обрання методів мотивації навчальної діяльності

Вид і методи мотивації	Вступна мотивація	Підтримуюча (поточна) мотивація
1	2	3
<p>Внутрішня мотивація :</p> <p>Зовнішня мотивація:</p>	<p>Шліфування є основним методом чистової обробки металів і займає досить чільне місце в сучасному машинобудуванні.</p> <p>Шліфування забезпечує високу точність деталей і чистоту їх поверхонь, що багато в чому визначають зносостійкість поверхневого шару і довговічність деталей, а також ККД, надійність і швидкохідність всієї машини в цілому. Безсумнівно, що прогрес машинобудування певною мірою залежить від можливості отримувати більш точні деталі з більш високою чистотою поверхонь і більш зносостійким поверхневим шаром.</p> <p>А які існують шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів ми з вами дізнаємося на сьогоднішньому семінарі. Ви підготували доповіді, стосовно цих питань</p> <p>Прослухавши ваші доповіді, ми визначимо, яким чином можна підвищити працездатність шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів</p> <p>Ті хто будуть активно приймати участь в обговоренні доповідей отримають додаткові бали на занятті, та певний досвід в рамках даної теми. Тож розпочнімо!</p>	<p>Ми з вами заслухали декілька доповідей та визначили кілька шляхів підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів. Тепер нам треба визначити, які ж з них найдієвіші. Отже, продовжуємо працювати та заслухаємо ще кілька доповідей. Не забувайте, що сьогодні за роботу на семінарі всі отримають бали, але їх кількість буде залежати від того, к ви працюєте. Тож не відволікайтесь і продовжуємо!</p>

## 5.5. Аналіз базових умов навчання

Базовий матеріал - це всі ті відомості, що за змістом зв'язані з даною темою і знання яких учнем робить для нього новий матеріал доступним.

Базові знання - це початкова умова, яка необхідна для вивчення нового матеріалу. Вони відображують ті мінімальні вміння та здатності, якими повинні володіти ті що навчаються до того як вони почали програмне навчання.

Таблиця 5.5 - Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дій	Назва дисциплін і тем, в яких формуються опорні знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
Поняття про властивості конструкційних матеріалів, процес шліфування	«Механічна обробка в машинобудуванні»	Усне фронтальне опитування, за допомогою питань: 1. Які матеріали називаються конструкційними? 2. Якими властивостями володіють конструкційні матеріали? 3. В чому полягає процес шліфування? 5. За допомогою яких інструментів та пристроїв виконується шліфування?	Коротке нагадування основних положень базового матеріалу

## 5.6 Проєктування основної частини реферативного семінару

При розробці дидактичного проєкту семінару слід:

- визначити навчальний матеріал, що підлягає закріпленню, та сформулювати питання для обговорення;
- розробити змістовні матеріали з кожного питання: перелік основних понять, показників та закономірностей, які повинні бути обговорені та закріплені на семінарі;
- навести перелік тем доповідей, а також визначити мету та тривалість кожної доповіді наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Характеристика доповідей на семінарі

№ доповіді	Тема доповіді	Мета доповіді	Тривалість доповіді	Тривалість обговорення доповіді
11	Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Ознайомити слухачів з шляхами підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	8-12 хв.	5-6 хв.
2	Вплив коефіцієнта форми шліфувального зерна на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Розповісти про вплив коефіцієнта форми шліфувального зерна на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	8-12 хв.	5-6 хв.
3	Вплив орієнтації зерен на шліфувальних кругах як чинник підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Визначити яким чином 3. орієнтація зерен на шліфувальних кругах вплиє на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	8-12 хв.	5-6 хв.
4	Недоліки та переваги використання шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Визначити, які недоліки та переваги існують при використанні шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	8-12 хв.	5-6 хв.

Необхідно зазначити перелік джерел інформації для доповідей, який знаходиться в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 - Джерела інформації для підготовки доповідей

Теми доповідей	Джерела інформації
Шляхи підвищення працездатності	1. Лоскутов В.В. Шліфувальні верстати 2. Лоскутов В.В. Шліфування металів

шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	3. Якимов А.В., Паршаков А.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування 5. Ваксер Д. Б. Шляхи підвищення продуктивності при шліфуванні 5. Волський Н. І. Оброблюваність металів шліфуванням. 6.Якимов А.В., Паршаков О.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування.
Вплив коефіцієнта форми шліфувального зерна на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	1. Лоскутов В.В. Шліфувальні верстати 2. Лоскутов В.В. Шліфування металів 3. Якимов А.В., Паршаков А.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування 5. Ваксер Д. Б. Шляхи підвищення продуктивності при шліфуванні 5. Волський Н. І. Оброблюваність металів шліфуванням. 6.Якимов А.В., Паршаков О.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування.
Вплив орієнтації зерен на шліфувальних кругах як чинник підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	1. Лоскутов В.В. Шліфувальні верстати 2. Лоскутов В.В. Шліфування металів 3. Якимов А.В., Паршаков А.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування 5. Ваксер Д. Б. Шляхи підвищення продуктивності при шліфуванні 5. Волський Н. І. Оброблюваність металів шліфуванням. 6.Якимов А.В., Паршаков О.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування.
Недоліки та переваги використання шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	1. Лоскутов В.В. Шліфувальні верстати 2. Якимов А.В., Паршаков А.М., Свірцов В.І., Ларшин В.П. Управління процесом шліфування 3. Ваксер Д. Б. Шляхи підвищення продуктивності при шліфуванні

Необхідно розробити змістовну характеристику кожної доповіді і методику її проведення, яка знаходиться в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 - Змістова характеристика доповідей

Тема доповіді	Частини доповіді	Основні питання доповіді	Метод викладу змісту	Методик а забезпечення наочності	Прийоми активізації слухачів
1	2	3	4	5	6

Доповідь №1. Тема «Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів»	Вступна частина	Коротке нагадування процес шліфування	Монолог ічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина	Обговорення загальних шляхів підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів			
	Заклучна частина				
Доповідь №2. Тема: «2. Вплив коефіцієнта форми шліфувального зерна на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів»	Вступна частина	Загальна інформація про шліфувальні зерна	Монолог ічний метод	Демонстрація презентаційних слайдів	Виступ з проблемою
	Основна частина	Визначення впливу коефіцієнта форми шліфувального зерна на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів			
	Заклучна частина	Висновки щодо впливу коефіцієнта форми шліфувального зерна на підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів			
Доповідь №3. Тема: «3. Вплив орієнтації зерен на	Вступна частина	Загальна інформація про шліфувальні круги	Монолог ічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина	Визначення впливу орієнтації зерен на шліфувальних			

Продовження табл. 5.8

1	2	3	4	5	6
шліфувальних кругах як чинник підвищення працездатності шліфувальних		кругах як чинник підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів			

х кругів при обробці конструкційних матеріалів»	Заключна частина	Висновки щодо впливу орієнтації зерен на шліфувальних кругах як чинник підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів			
Доповідь №5. Тема: «5. Недоліки та переваги використання шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів»	Вступна частина	Інформація про недоліки та переваги використання шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина				
	Заклучна частина	Висновки про недоліки та переваги використання шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів			

Критерії оцінювання студентів наведені в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 - Оцінка участі студентів в семінарі та доповідей

Критерії оцінки участі в семінарі	Кількість балів	Критерії оцінки доповіді	Кількість балів
Виступ з доповіддю	5	Повнота висвітлення теми доповіді	6
Опанування	5	Логічність викладу	5
Виступ в обговоренні доповіді	5	Наочність викладу	5
Культура мови	4	Володіння аудиторією	4

Сценарій проведення реферативного семінару на тему: «Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів» наведено в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 - Сценарій проведення реферативного семінару

Етап проведення семінару	Дії викладача	Дії студентів
1	2	3
Організація початку заняття	Доброго дня, передайте мені будь-ласка журнал, та розпочнемо заняття.	Студенти готуються до заняття, слухають уважно викладача
Повідомлення теми, цілі увідна мотивація навчальної діяльності	Тема нашого сьогоднішнього заняття: «Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів» мета заняття: сформувані умінь у студентів обирати та аналізувати шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Студенти записують тему заняття, сприймають мету заняття, усвідомлюють важливість і актуальність теми.
Аналіз сформованості та актуалізація опорних знань	Проведення усного фронтального опитування, за допомогою питань: 1. Які матеріали називаються конструкційними? 2. Якими властивостями володіють конструкційні матеріали? 3. В чому полягає процес шліфування? 5. За допомогою яких інструментів та пристроїв виконується шліфування? Коротке нагадування основних моментів базового матеріалу	Студенти слухають викладача, відповідають на питання. Слухають коротке нагадування
Повідомлення про тематику докладів і організацію опанування та обговорення.	На сьогоднішньому занятті, ми з вами заслухаємо доповіді стосовно шляхів підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів після кожного виступу буде можливість обговорити основні положення доповіді та прийти до певних висновків. Прослухавши ваші доповіді, ми повинні визначити основні шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів. Ті, хто будуть активно приймати участь в обговоренні доповідей, отримають додаткові бали на занятті та певний досвід в рамках даної теми. Також під час виступу всі інші повинні конспектувати основні положення за темою.	Студенти слухають викладача. Студенти з докладами готуються до виступу.

Продовження табл. 5.10

1	2	3
Заслуховування та обговорення доповідей.	Заслуховування доповідей студентів на обрані теми. Після кожної доповіді у студентів є 5-6 хв. для того, щоб обговорити виступ, задати питання, які виникали під час доповіді. Обговорення шляхів підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Слухають уважно доповідачів, конспектують основні положення. Обговорюють доповідь та задають питання. Висловлюють свої думки щодо шляхів підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів
Оцінка доповідей та участі студентів в їх обговоренні.	Ми прослухали всі доповіді, які були на сьогодні підготовлені. Всі дуже гарно підготувалися та виступили та отримують добрі оцінки, студенти які приймали участь в обговоренні також отримують додаткові бали.	Слухають уважно викладача
Підведення підсумків семінару.	На сьогоднішньому занятті ми з вами добре попрацювали, дізнались про шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів	Слухають викладача

### 5.7 Висновки до розділу 5

В четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Шляхи підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів» з дисципліни : «Механічна обробка в машинобудуванні» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування». Ці методичні вказівки допоможуть оволодіти знаннями, уміннями та навичками з даної теми. Студенти під час семінарського заняття ознайомилися зі шляхами підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИВОДИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз літературних і нормативних даних на вибір режимів шліфування показує що, узагальнення наявних залежностей не може бути використане при підготовці універсальних алгоритмів і програм для ЕОМ керуючих роботою шліфувальних верстатів.

2. Відсутність аналітичних залежностей єдиних параметри процесу шліфування з якістю поверхні деталі унеможливають одержання універсальних розрахункових формул. Тому на даному етапі для встановлення зв'язків між інтенсивністю знімання металу й такими показниками як сила різання, зношування кола й шорсткість поверхні деталі використаний метод експериментального дослідження в умовах близьких до умов роботи верстатів, що використовуються на ДП «Завод імені В.О.Малишева».

3. Для одержання основних залежностей процесу шліфування доцільне використання стенда оснащеного системою автоматичного регулювання сила різання, а, що також дозволяє виконувати обробку з постійною урізною подачею ( $S_{вр}$  до 12мм/хв) при зніманні припуску до 15 мм на діаметр деталі.

4. Інтенсивність зношування шліфувальних кіл зростає зі збільшенням урізної подачі, причому, показник ступеня для сталей 45 і ШХ-15 перебуває в межах 1,56...1,74. Зношування кіл 91А при обробці стали 45 вище чому 24А, особливо при подачах більш 3 мм/хв.

5. Інтенсивність зношування шліфувальних кіл зменшується зі збільшенням швидкості різання. Так при урізній подачі 2 мм/хв збільшення швидкості кола з 35 до 50 мм/зі зменшує інтенсивність зношування від 19 до 10 мкм/хв.

6. Швидкість подачі алмазного інструмента при виправленні впливає на шорсткість поверхні деталі тільки в початковий період шліфування. Збільшення подачі при виправленні від 0,02 до 0,6 мм/ об приводить до зростання початкової шорсткості поверхні деталі зі сталі 45 на 30...70%

причому, більший ріст шорсткості (початкової) відповідає меншій подачі при шліфуванні.

7. Шорсткість обробленої поверхні після приробітку кола залежить від величини урізної подачі й тривалості шліфування. При обробці стали 45 колом 91А рівень шорсткості поверхні був вище чому при обробці колом 24А у всьому діапазоні подач. На чорнових подачах близьких до 0,5 мм/хв це перевищення становило близько 40% . При подачах 1,5 мм/хв – близько 62%. Збільшення урізної подачі більш 3 мм/хв приводить до різкого зростання шорсткості як після чорнового, так і після чистового етапів циклу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лурье Г. Б. Шлифование металлов. М., Изд-во «Машиностроение», 1999, 175 с.
2. Kurrein M. «Werkstattstechnik», 2008, №10, p293.
3. Влияние силы шлифования на износ круга «Machinery» (USA) 1969, 75, №10, 143-144, 145.
4. Влияния усилия при шлифовании на износ шлифовальных кругов. – Effet des forces de rectification seire lusure des meules «Mach mod», 1999, 64, №732, 13-14.
5. Duwell E. «Wear», 2016, №5, p.372-383.
6. Watanabe K. Engineering (Japan), 1957, №2, - №6.
7. Износ шлифовальных кругов. Stetion Cr., Lal Cr. K. Wear of grinding Wheels «Wear» 2004, 30, №2, 229-236.
8. Теория процесса изнашивания шлифовальных кругов, 1966, 6, 85-92.
9. Труды института кристаллографии. Вып. 8, Физические свойства корунда. М., Изд. АН СССР, 1993.
10. Pahlitzsch Cr., Lang E. «Werkstattstechnik u. Maschinenbau», 1997, №5, p.209-216.
11. Кенджаев Х.Х Влияние затупления и износ шлифовального круга на производительность и точность обработки при круглом шлифовании. Автореферат диссертации. М., Мосстанкин, 1997.
12. Linde Lothar Hochtouringes Schruppschleifen «Giebereitechnik», 1999, 15, №7, 236-239.
13. Принципы шлифования. R. Hahn, R. Lindsay. Principles of gzinding «Machinez», 2001, №Т-7, 55-62.
14. Пневматические измерительные устройства для определения износа шлифовальных кругов. 2001, 93, №68, 1733-1734.

15. Пневматическое устройство для измерения износа шлифовального круга. Пат. ПНР, кл. G01b 13/00, №86225 заявл.23.07.2003, №164261, опубл.15.10.96.
16. Методы замера износа шлифовального круга. Oczos Karimiezz, Krauss Andzze j. Metody pomiaru zuzycia seieznik. «Mechanik», 1992, 45, №10, 536-593.
17. Salje E. «Techniche Miteil», 9-10. 1992, Verlag «Vulkan».
18. Backer W., Krabacher E. «Trans ASME», 1958, VI, №58, SA-40.
19. Устройство для измерения шлифовального круга. Buchhols Heinz, Heinze Frank. Meßvoorzichtung zur Bestimmung des Schleifkörpersverschleißes während des Schleifprozesses. Пат. ГДР, кл.67a 32/02, (B24 в 49/00), №96043, заявл.7.04.72, опубл.5.03.73.
20. Измерения износа шлифовальных кругов. Turreo James J. Aitkeo Donald F., Jr. Blade wear measuring system. (General Electric Co.) Пат. США, кл.73-104, (G 01 №3/56), №3987670, заявл.15.05.75, №577761, опубл. 26.10.76.
21. Предварительное исследование состояния поверхности шлифовального круга путем измерения воздушного потока, 1997, 26, №1, 147-150.
22. Скрипко Г.Ф., Примак Л.П., Качаргин А.А., Сергиенко Е.А., Филипченко А.И. Способ измерения износа абразивного инструмента. Укр. Н-и, констр.-техн. Ин-тут синтег. сверх твердых материалов и инструментов. Авт.св. СССР, кл.42 R 38/01 (G01П), №261749, заявл.24.06.98, опубл. 26.05.97.
23. Измерения рабочей поверхности круга в процессе шлифовании. 1970, 36, №10, 676-682.
24. Устройство для контроля износа шлифовального круга. Robillard Edward G., Uhten woldt Herbert P. Wheel dulling seasing circuit (Cincinnati Milacron – Heald Corp). Пат. США, кл.51-165, (B24 в 49/18) №3760539, заявл.31.01.92 опубл. 25.09.93.
25. Филимонов Л.Н. Стойкость шлифовальных кругов, «Машиностроения», Л., 1993, 134с.

26. Ldndberg «Microtechnic» (Швейцария), 1997, №1.
27. Вольский Н.И. обрабатываемость металлов шлифованием. М., Машгиз, 1990.
28. Дьяченко П.Е. Шлифовальный круг и его режущая способность. М., Оборонгиз, 1999.
29. Онитц Х., Пеклкник Ж, Брюкнер К. Исследование свойств шлифовальных кругов и их поведение процессе шлифования. – «Экспресинформация», сер. «Режущий инструмент», 1994, №47.
30. Новые абразивные инструменты и технологические процессы, М., НИИМАШ, 1996.
31. Режущая способность шлифовального круга как функция его состояния и условий шлифования. Ricka Jaroslav. Die Schneidfahigkeit eines Schleifwerkzeuges des Funktion seines zustandes und der Schlifbedingunge «Ind Anr», 1990, 92, №32, 695-699.
32. Маламед В.И. Функция режущей способности шлифовального круга. «Труды Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства», 1998, 32, 25-30.
33. Оценка процесса шлифования через комплексные показатели. Werner G., Vounis M.A. Darstellung der Schleiferggebnisse mit, Hilfeeines die Einstellgrogen zusammenfassen den Faktors. «Ind-Anr», 1990, 92, №70-71, 1661-1666.
34. Кенджаев Х.Х. Влияние затупления и износа шлифовального круга на производительность и точность обработки при круглом шлифовании. Автореф. канд. дисс. М., Мосстанкин, 1997.
35. Новый критерий оценки работоспособности абразивных кругов. Secara Bhheorge. Un non criteren de apreclere a capautatii de aschiezed discurilar abrasive. «Bul Inst polithen. Brasov». 1990, A12,412-425.
36. Алябьев А.Я. Определения критерия затупления шлифовальных кругов, по качеству шлифуемой поверхности. Киев, КИГВФ, 1999.

37. Филимонов Л.Н. Вопросы стойкости шлифовального круга. Автореферат канд. дисс. Л., 1998.
38. Корчак С.Н. Влияние дисбаланса круга и вибраций на процесс шлифования. М., ЦИТЭИН, 1991.
39. Кудиков В.А. Динамика станков. М., изд-во «Машиностроение» 1967.
40. Полачек М., Самовозбуждающийся колебания при шлифовании-«экспресс-информация», сер. «Режущий инструмент», 1994, №18.
41. Юрьев В.Г. О возбуждении параметрических колебаний при шлифовании затупленным кругом. Сб. «Оптимизация условий эксплуатации и выбора характеристик абразивного инструмента в машиностроении» Челябинск, 1998, с. 15-16.
42. Рахмарова М.С. Усилия резания при шлифовании высокопористыми кругами. «Станки и инструмент», 1993, №1.
43. Артыдашев Е.И. К вопросу выбора оптимальных характеристик шлифовального инструмента из прогрессивных абразивных материалов. В сб. «Оптимизация условий эксплуатации и выбора характеристик абразивного инструмента в машиностроении» Челябинск, 1998, с.62-64.
44. Koscholke «Werstattstechnik u Mashinenbau», 1995, №11.
45. Champetier Louis, Rectification ultrarapide Mach cutil franc, 1998, 33, №248, 113-115, 117,119.
46. О применимости шлифовального эквивалента при расчетах параметров процесса шлифования. Colding Bertil. Applicability of the grinding egeivalent. «GIRP», 1991, 20, №1, 63-64.
47. Справочник нормировщика – машиностроителя. Техническое нормирование станочных работ. Под. ред. Е.И. Стружестраха, том II, М., «Машгиз», 1991, с.890.
48. Ваксер Д.Б. Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании. М.-Л., изд-во «Машиностроение», 1994.

49. Режим резания металлов. Справочник. под ред. Ю.В. Барановского М., Машиностроение, 1992, 407.
50. Фадюшин С.А., Столяров Т.В. К вопросу алгоритмизации назначения характеристик инструмента на операции шлифования. В ст. Оптимизация условий эксплуатации и выбора характеристик абразивного инструмента в машиностроении», Челябинск, 1998, с.21-24.
51. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей М., Машиностроение, 1994, 278.
52. Исследование системы управления радиальной силой шлифования (САУ) для врезных станков. Отчет ОКБШС №395, Харьков, 1992.
53. С.А. Попов, Л.Г. Дибнер, С.А. Каменкович. Шлифование деталей и заточка режущего инструмента. М., Высшая школа, 1995, 309.
54. В.С. Терган, Л.Ш. Доктор. Шлифование на круглошлифовальных станках. М., высшая школа, 1992, 373.
55. Справочник технолога – машиностроителя. Редактор тома засл. деят. науки и техники РСФСР д-р техн. наук А.Н. Маслов, том.2, М., «Машиностроение», 1992, с.568.
56. Эльянов В.Д. Шлифование в автоматическом цикле. М., 1990.
57. Капустин Н.М. Автоматизированное проектирование технологических процессов. М., 1993.
58. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: [http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna\\_pedagogika.pdf](http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf)
59. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
60. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.

61. Лебедик Л.В., Стрельников В.Ю., Стрельников М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельников, М. В. Стрельников. – Полтава: АСМІ, 2020. – 303 с.

62. Методика професійної освіти: навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ: Компрінт, 2025. – 224 с.

63. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2025. – 82 с.

64. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

65. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

66. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт.: О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

67. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

68. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

69. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

70. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

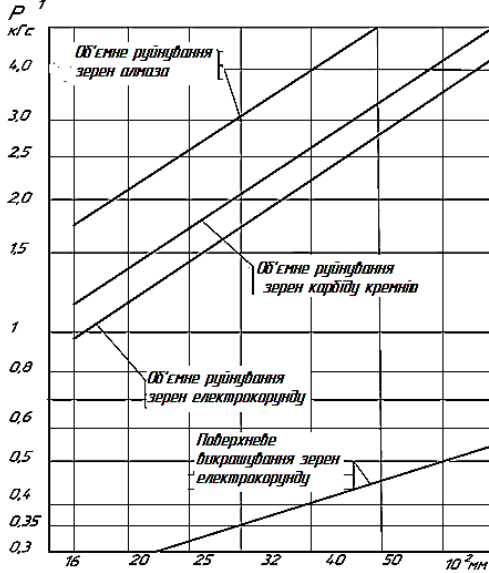
71. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

72. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

ДОДАТКИ  
ПЛАКАТИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ

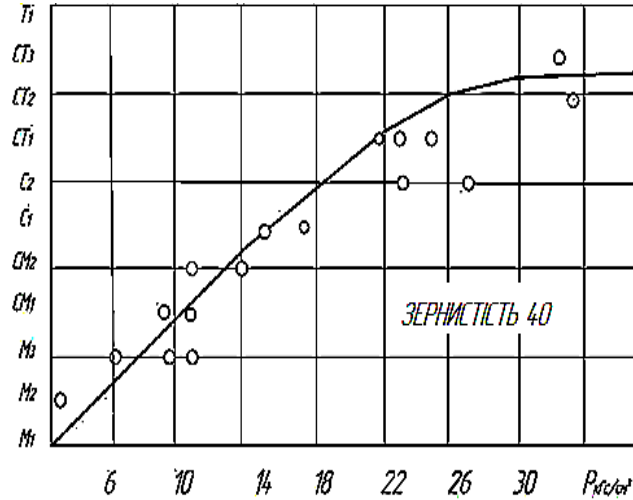
# Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з підвищення працездатності шліфувальних кругів при обробці конструкційних матеріалів за рахунок раціонального вибору режимів різання

Залежність критичного навантаження від зернистості

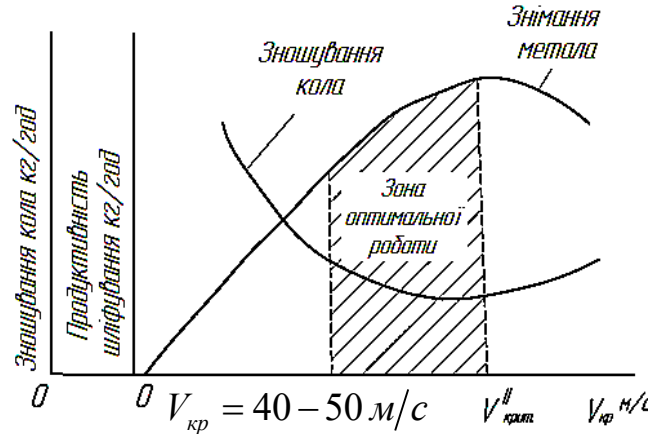


## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Залежність критичного навантаження перехід до самозагострювання від твердості кола



Залежність продуктивності шліфування й питомого зношування від швидкості кола



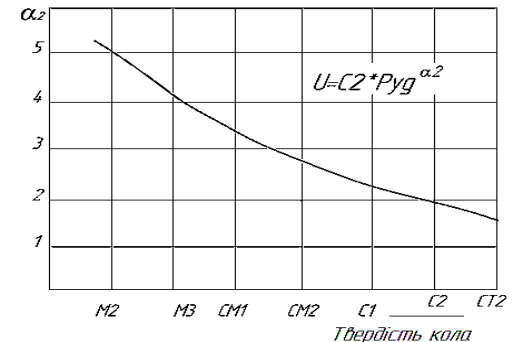
Залежність питомого критичного навантаження від швидкості кола



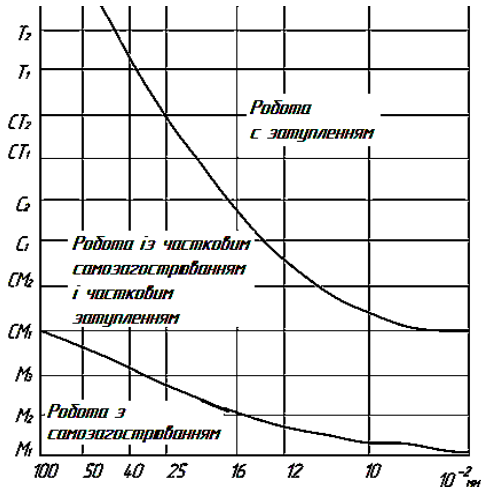
Зношування шліфувального кола

$$U = C_3 V_{кр}^{-\alpha_1} \quad U = C_4 P_{уд}^{\alpha_2}$$

Залежність показника ступені від твердості кола

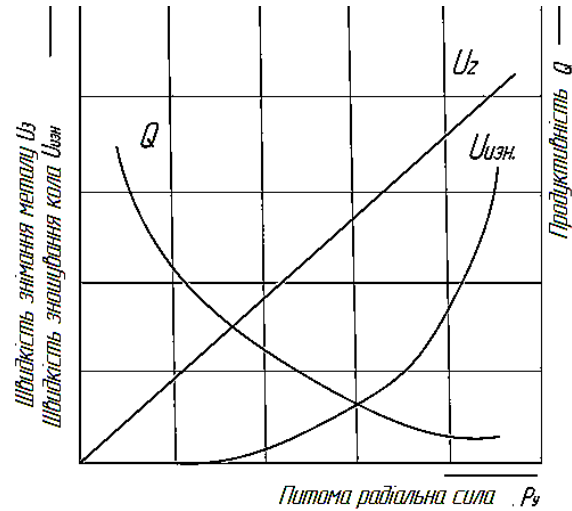


Залежність характеру роботи шліфувального кола від його характеристики



Залежність параметрів шліфування від питомої радіальної сили по *R.Hahn*

Q - характер зміни швидкості знімання металу



$$V_{zn} = \frac{C_{кр} \cdot D_{кр}}{C_u \cdot D_{дет}} \cdot S_m$$

- швидкості зношування кола від нормальної складової сили різання

$$P = \frac{C_k}{t^k}$$

- критерій для оцінки ріжучої здатності кола

*В.І. Меламед* повідомляє, що одне середнє значення радіальної сили різання не може служити критерієм оцінки ріжучої здатності шліфувального кола й пропонує в якості критерію використовувати функцію, що характеризує прискорення збільшення  $P_y$  у процесі шліфування -

$$\lambda = \frac{\Delta P_y}{t} P_y$$

*Ricka J, Дьяченко П.Е., Онитц Х., Пеклник Ж, Брюкнер К., Werner G., Vounis M., Secara B, Алябьев А.Я., Филимонов Л.Н. і ін.*

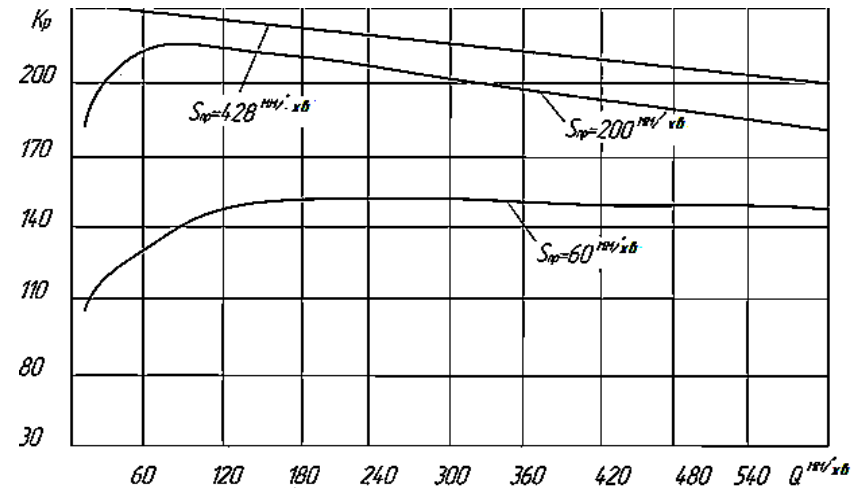
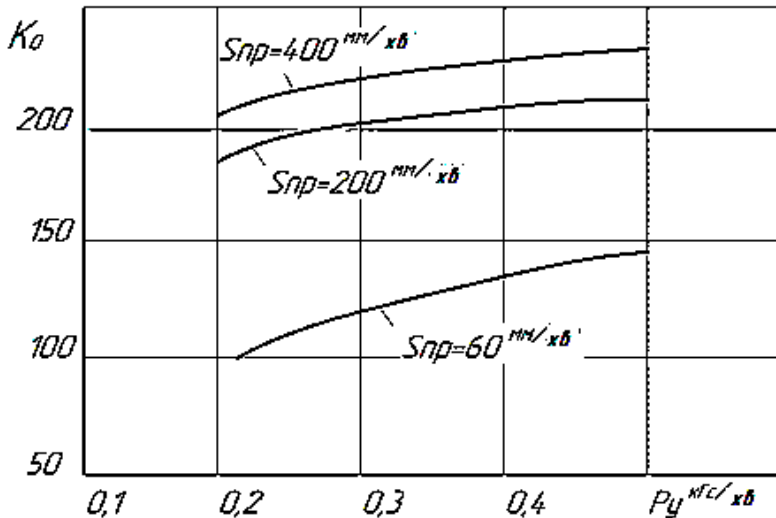
$$P'_y = K \cdot 10^3 C_p^{1,23}$$

Критерій ріжучої здатності

$$K = \frac{S_y}{P_y} \quad K = \frac{Q}{P_y} \quad \longrightarrow \quad K_p = C_k \cdot P_y^\beta \cdot e^{\gamma \frac{Q}{P_y}}$$

Залежність початкового значення ріжучої здатності від радіальної сили різання

Залежність коефіцієнта ріжучої здатності



## Вплив умов обробки на стійкість шліфувального кола

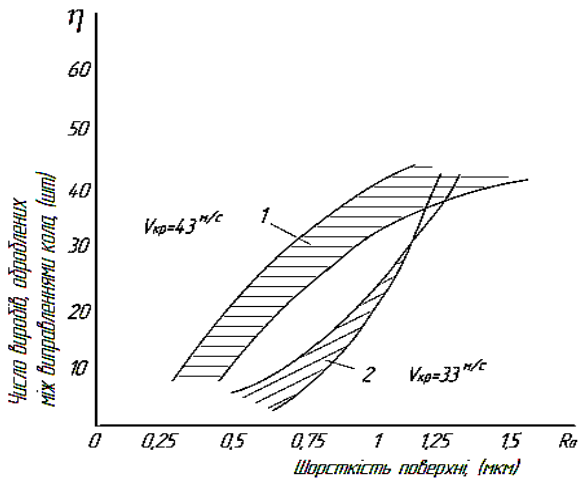
Залежність шорсткості поверхні деталі від періодичності виправлення кола

$$T = \frac{C_T^1}{(t_0 \cdot S_0 \cdot V_g)^y}; \quad T = \frac{0,027 \cdot D\delta^{0,6}}{(S_0 \cdot V_g)^2} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad \text{- для круглого зовнішнього шліфування}$$

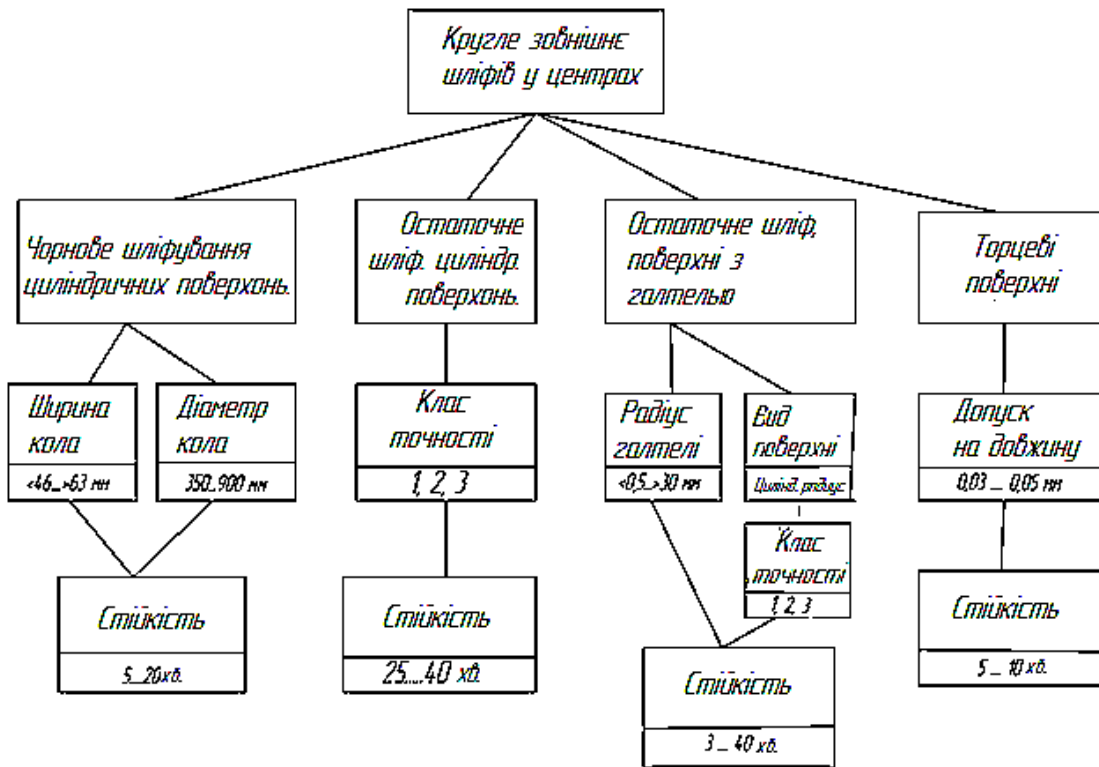
$$T = C_T \cdot t_0^{-x} \cdot S_0^{-y} \cdot V_g^{-z} \quad \text{- залежність стійкості кола від режимів різання}$$

$$T = Q \cdot \Pi \cdot D_{кр} \cdot U_{дон} \cdot \frac{q}{V_{кр}}$$

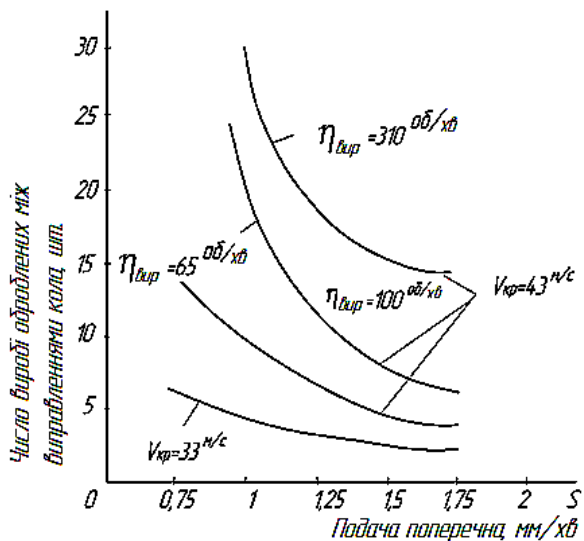
де Q - питоме знімання металу; D<sub>кр</sub> - діаметр шліфувального кола; U<sub>дон</sub> - припустиме радіальне зношування кола; V<sub>кр</sub> - швидкість шліфувального кола; q - шліфувальний еквівалент.



### Методика визначення стійкості по нормативних матеріалах



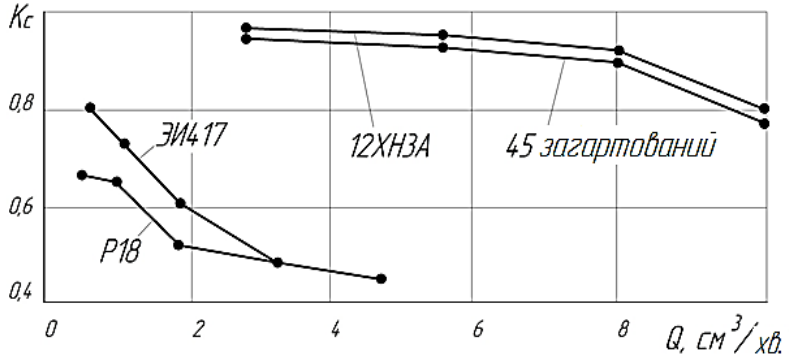
Залежність періодичності виправлення кола (стійкості) від поперечної подачі



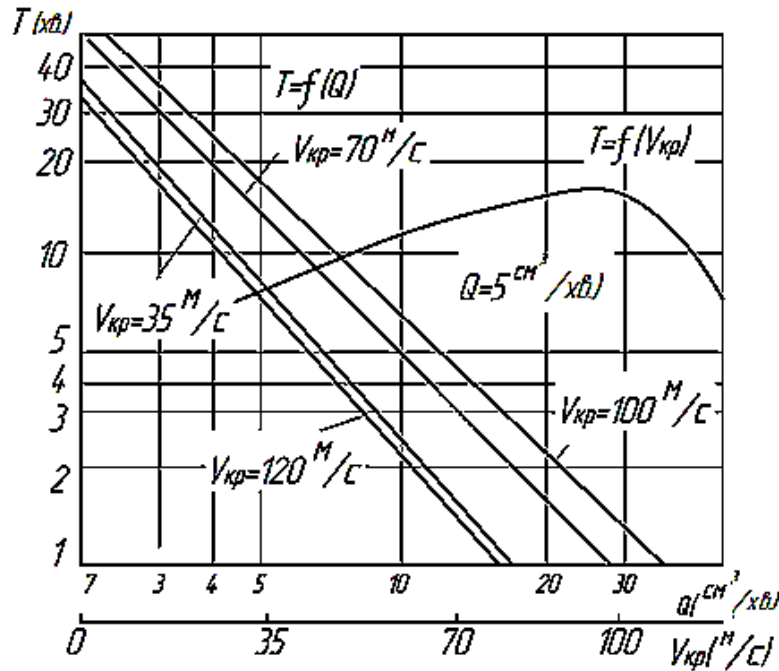
$$T = \frac{C_T}{Q^m}$$

де Q – середня швидкість знімання металу (мм<sup>3</sup>/хв); C<sub>T</sub> - коефіцієнт залежний від оброблюваного матеріалу, розмірів і характеристики кола й інших факторів; m - показник ступеня, що виражає інтенсивність зменшення стійкості кола, залежить від умов шліфування.

Залежність коефіцієнта знімання металу від інтенсивності шліфування



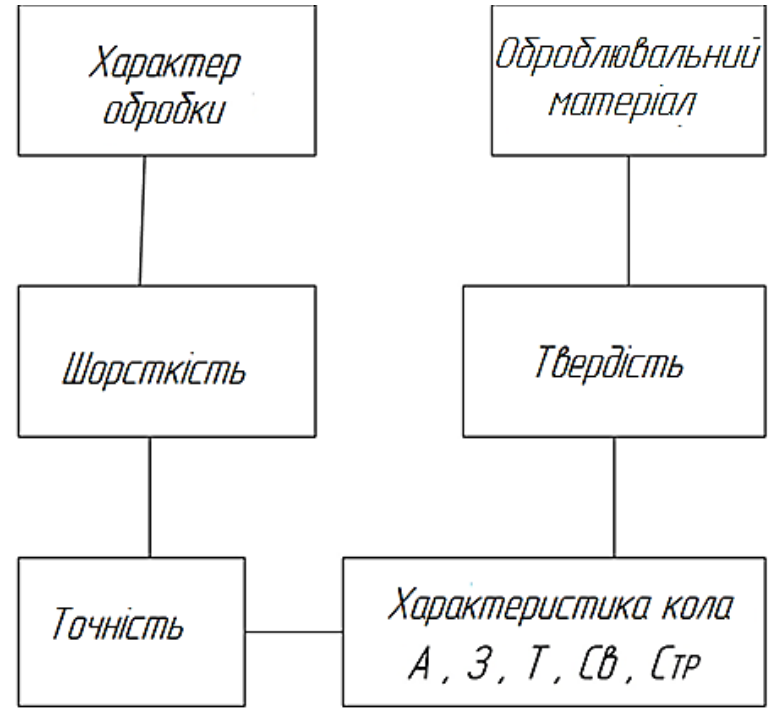
Залежність стійкості від швидкості шліфування сталі 45



$$T = \frac{C_T}{\left(\frac{Q}{A_S} \cdot K_C\right)^m}$$

де  $T$  стійкість 1 см<sup>2</sup> робочої поверхні кола у хв;  $C_T$  - величина стійкості одиниці робочої поверхні кола при швидкості знімання, рівної 1 см<sup>3</sup>/хв;  $A_S$  - площа робочої поверхні кола в см<sup>2</sup>.

Основні методи вибору характеристик кіл при круглому зовнішньому шліфуванні (по Барановському Ю.В.)

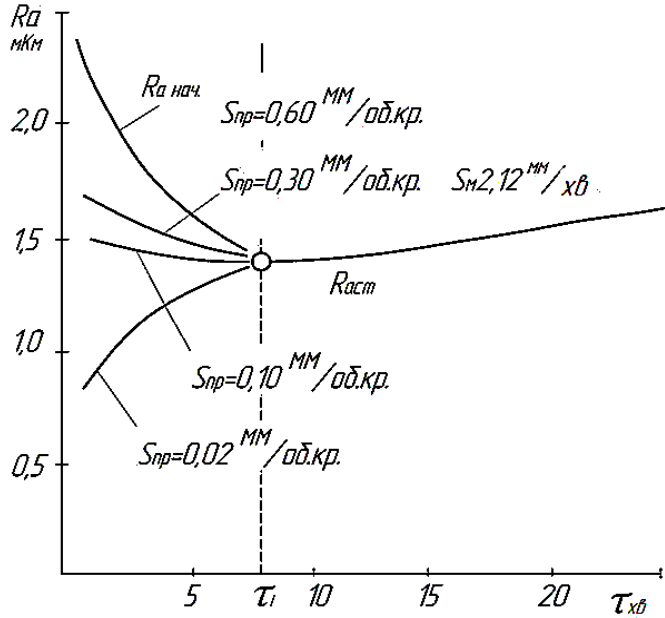


У роботі Филимонова рівняння шорсткості, що описують зміну, за час роботи кола презентовано у вигляді:

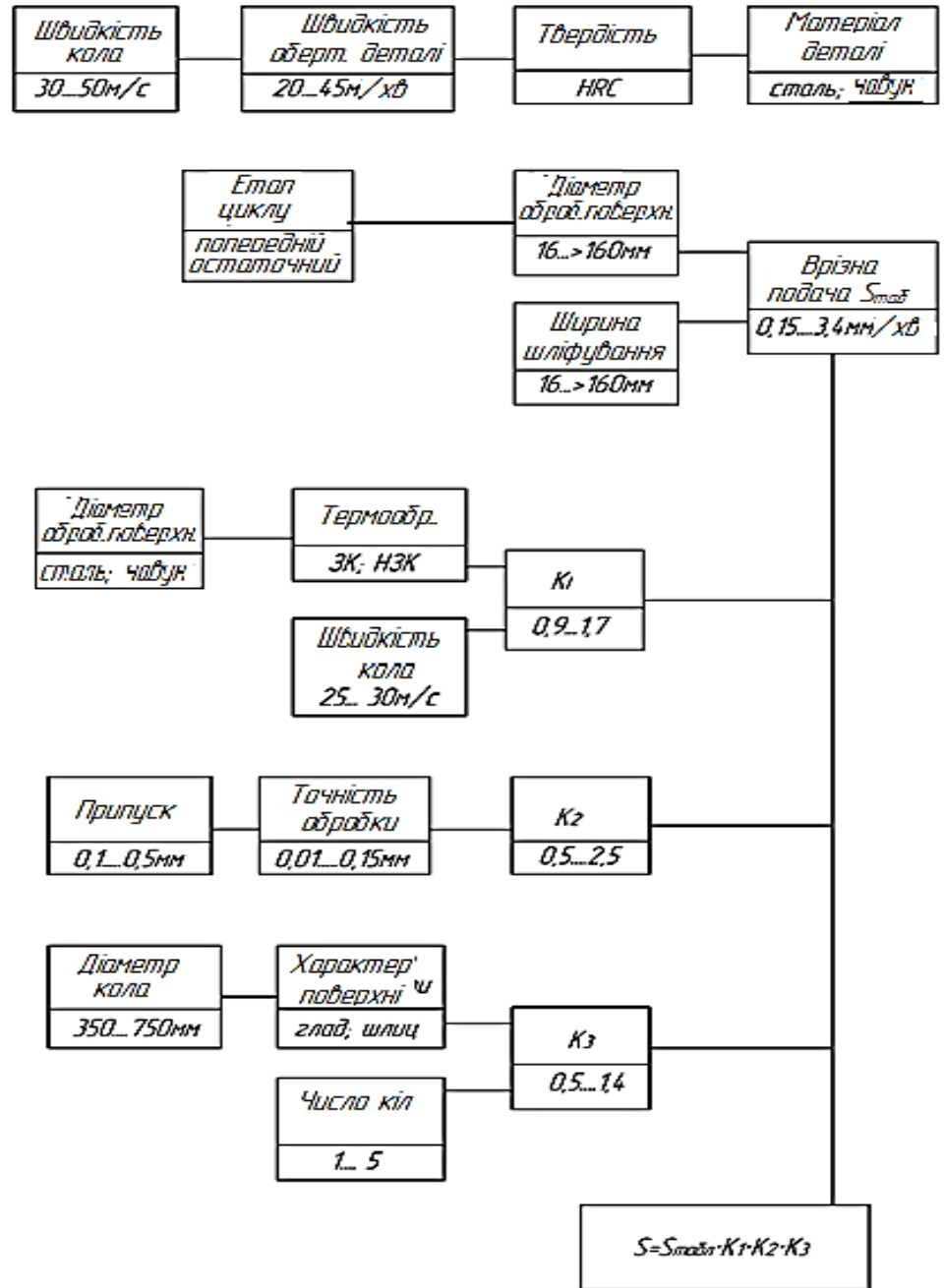
$$R_a(\tau) = (R_{нач} - R_{асм})e^{-\lambda\tau} + R_{асм} \cdot e^{\delta\tau},$$

де  $R_{нач}$  - висота мікронерівностей на початку шліфування  
 $R_{асм}$  - висота мікронерівностей після прироблення кола, на початку другого періоду його роботи  
 $\delta$  - показник ступеня, що виражає ріст висоти мікронерівностей у наслідок затуплення кола й вібрацій у зоні різання  
 $\lambda$  - показник ступеня, що виражає зміна мікронерівностей у період прироблення кола.

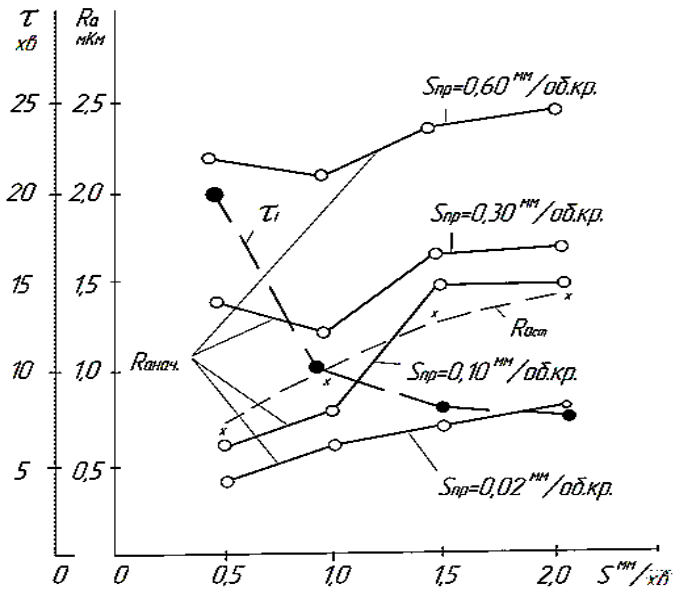
Залежність шорсткості від часу шліфування



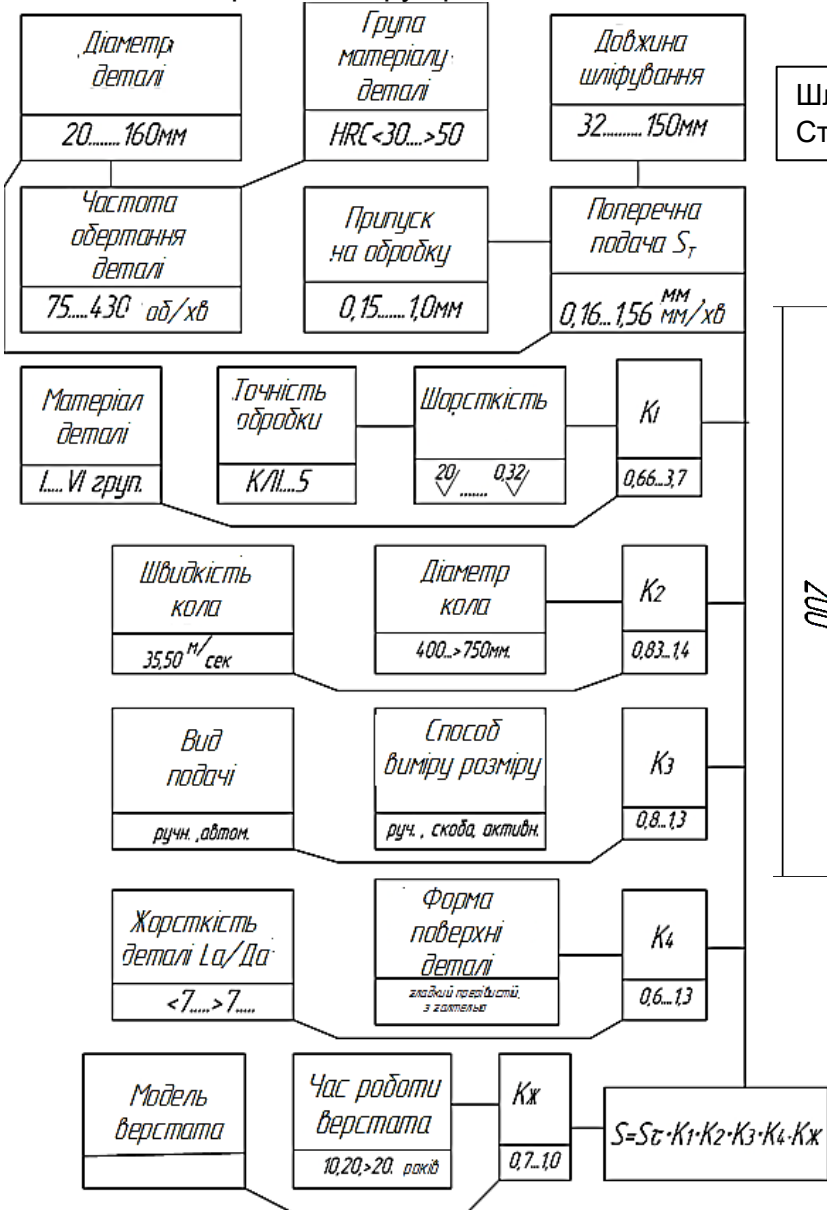
Алгоритм вибору режимів шліфування



Залежність шорсткості й часу стабілізації процесу від врізною подачі



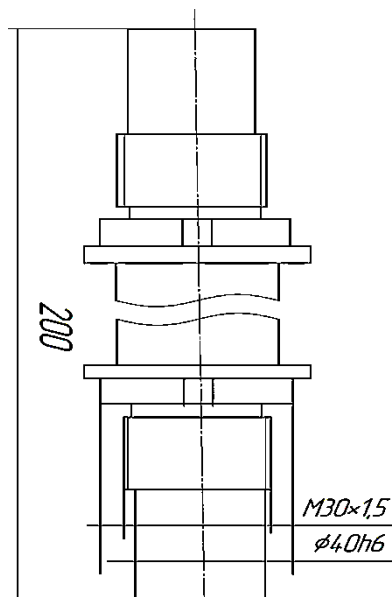
### Алгоритм вибору врезної подачі



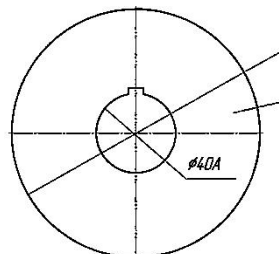
## Методика проведення експериментального дослідження

Шліфувальні кола : 24A25PCM27K5 і 91A25PCM27K5  
Сталь 45 незагартована HRC 48-50, і сталь МХ-15 загартована HRC 59-63.

Експериментальні оправки

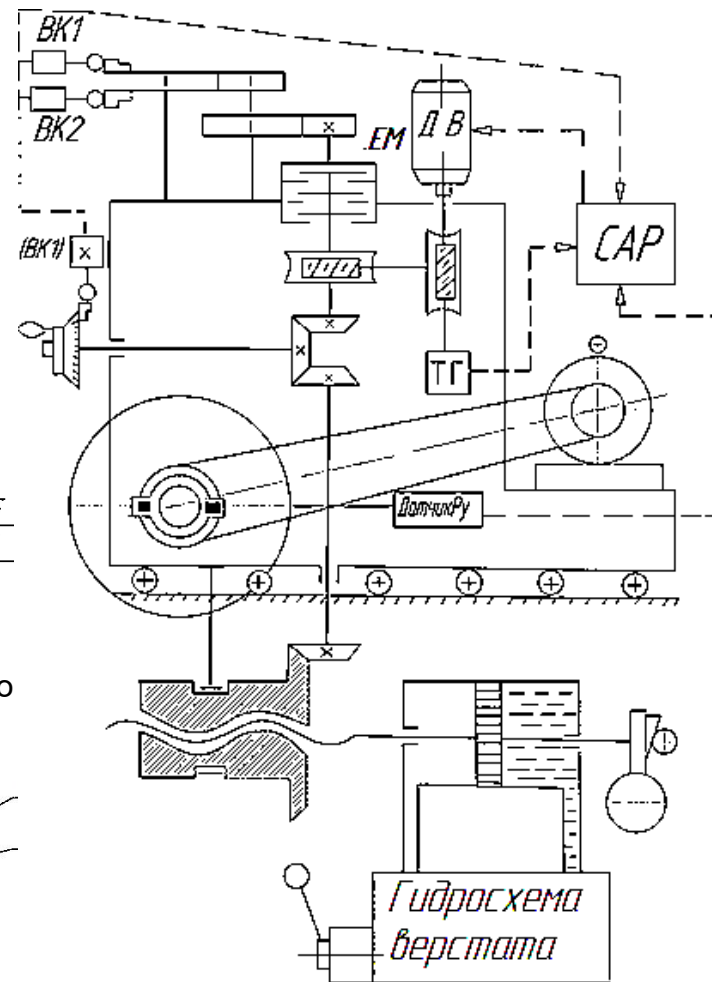


Кільця для експериментального дослідження



A=90;120;140 S=10;15;20;40.

Схема експериментальної установки



$$S = 4,55 \cdot 10^{-3} \frac{D_{kp}^{0,47} \cdot V_{kp}^{0,7} \cdot \delta^{0,57} \cdot Ra^{0,1} \cdot M^{1,36}}{d^{0,5} \cdot b^{0,6}} (0,45 + 1,1a)$$

Загальний вид редуктора врізних подач

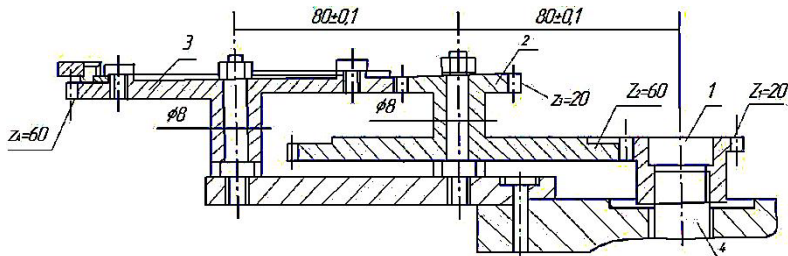
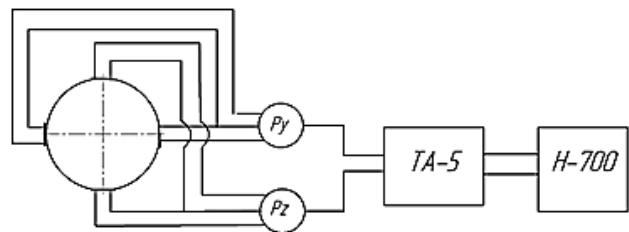
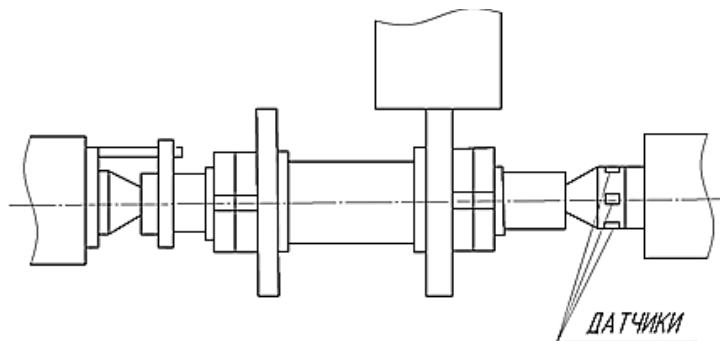


Схема виміру сил різання



Конструкція заднього тензоцентру

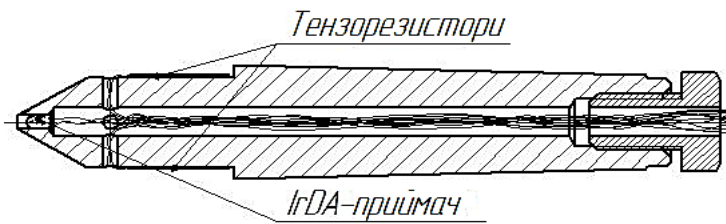


Схема підключення тензорезисторів

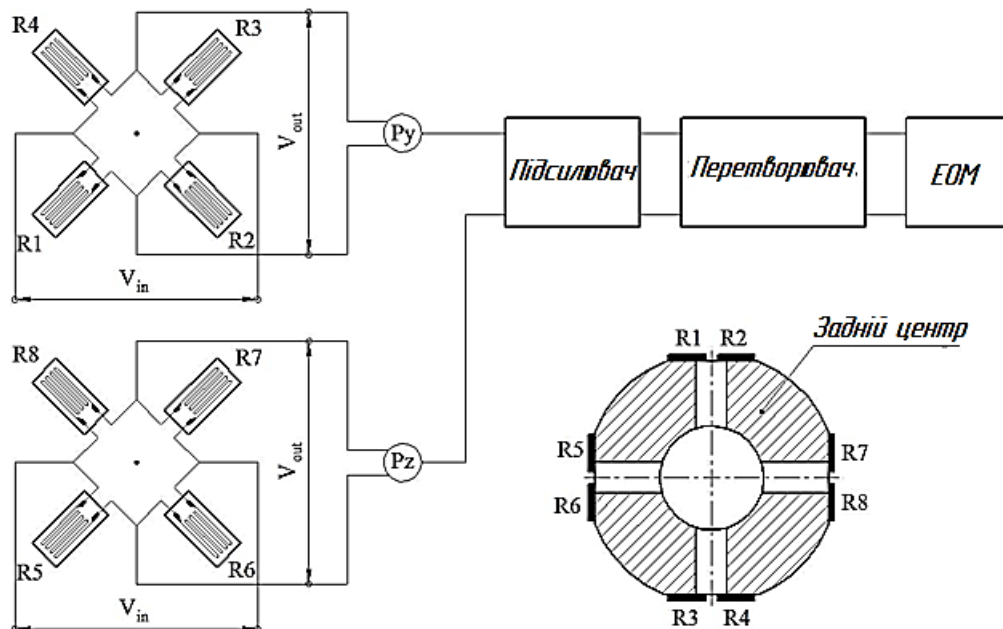
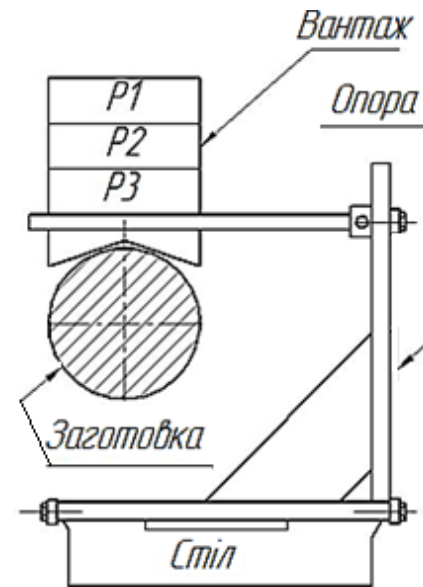
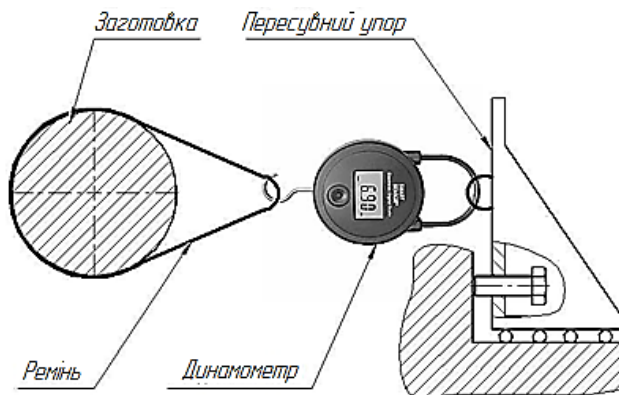


Схема тарировки для визначення вертикальної складової сили різання Pz

Схема тарировки для горизонтальної складової сили різання Py



Функції, що описують взаємозв'язок між значеннями маси  $M$  и сил  $P_y, P_z$ ,

Горизонтальне значення коефіцієнта  $k$

Вертикальне значення коефіцієнта  $k$

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x_i y_i = 0 \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b n - \sum_{i=1}^n y_i = 0 \end{cases}$$

$$k := \frac{\left( \sum_{i=1}^{12} P_{y_i} \right)}{\left( \sum_{i=1}^{12} M_i \right)} = 0.0315$$

$$k := \frac{\left( \sum_{i=1}^9 P_{z1_i} + \sum_{j=1}^{10} P_{z2_j} + \sum_{k=1}^{11} P_{z3_k} \right)}{\left( \sum_{i=1}^{11} M_{1_i} + \sum_{j=1}^{10} M_{2_j} + \sum_{k=1}^9 M_{3_k} \right)} = 0.032$$

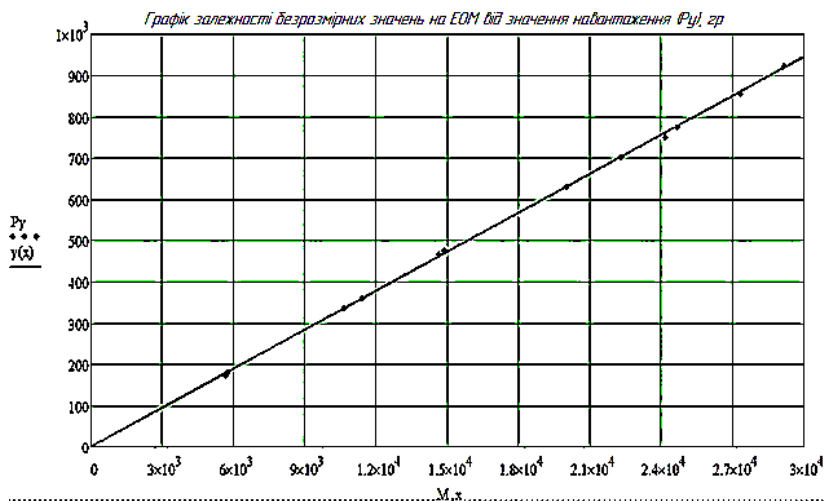
Результати тарування, механічне навантаження прикладене горизонтально

$M$	5650	7730	10650	11400	14650	14850	20020	22300	24150	24670	27310	29180
$P_y$	174	181	337	360	466	477	630	703	751	774	855	924

Результати тарування, механічне навантаження прикладене вертикально

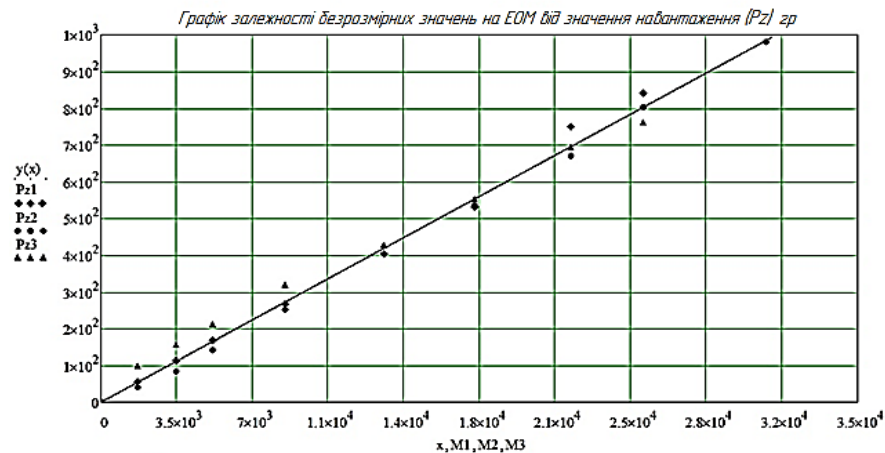
Експеримент 1	M1	0	1698	3459	5157	8521	13081	17288	21723	25080	27398	30755
	Pz1	0	99	157	212	320	429	552	695	762	853	882
Експеримент 2	M2	0	1698	3459	5157	8521	13081	17288	21723	25080	30755	-
	Pz2	0	40	85	143	252	404	535	671	802	980	-
Експеримент 3	M3	0	1698	3459	5157	8521	13081	17288	21723	25080	-	-
	Pz3	0	56	112	168	266	404	532	746	842	-	-

Тарувальний графік зусилля  $P_y$



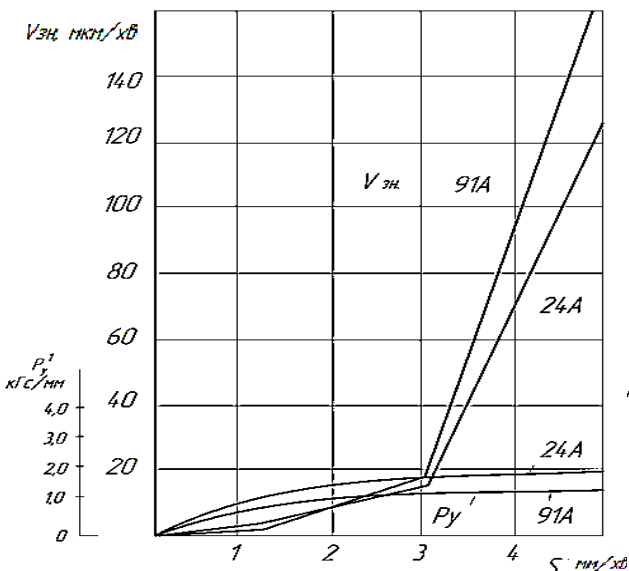
♦♦♦ Табличні значення  
— Функція, апроксимуюча табличні значення

Тарувальний графік зусилля  $P_z$

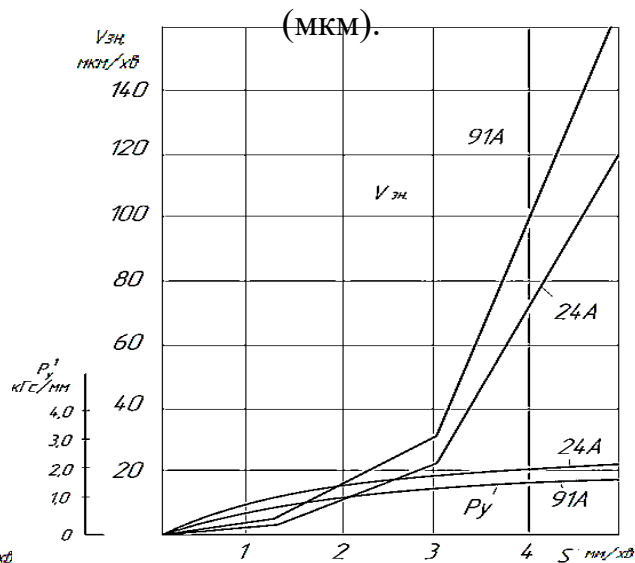


♦♦♦ Табличні значення  
♦♦♦ Функція, апроксимуюча табличні значення  
▲▲▲ Трасировка 1  
Трасировка 2

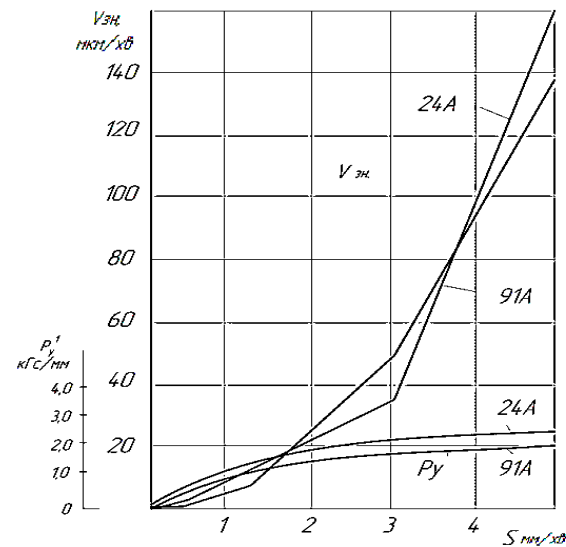
Залежність інтенсивності зношування й питомої нормальної складової сили різання від урізної подачі при обробці сталі 45 (НЗК)



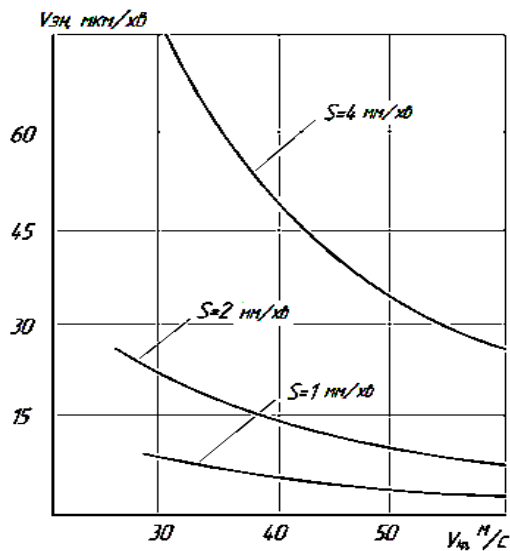
Залежність інтенсивності зношування й питомої нормальної складової сили різання від урізної подачі при обробці сталі 45 (ЗК)



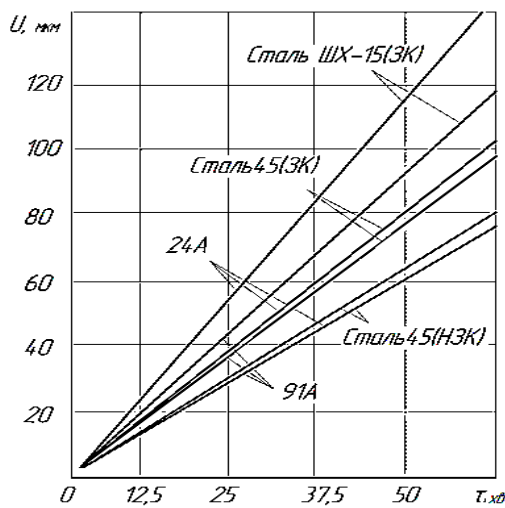
Залежність інтенсивності зношування й питомої нормальної складової сили різання від урізної подачі при обробці сталі (ШХ-15)



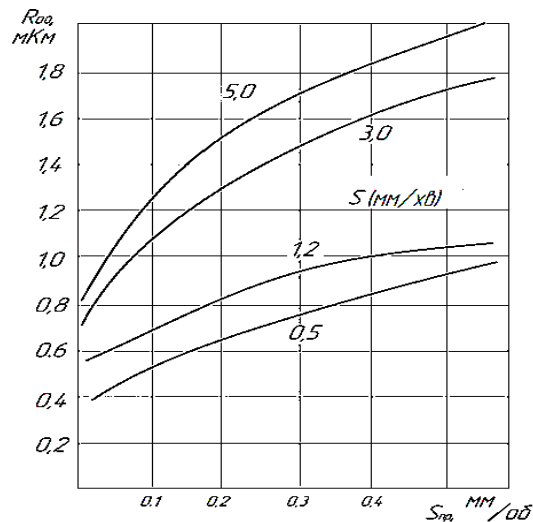
Залежність інтенсивності зношування від швидкості шліфувального кола



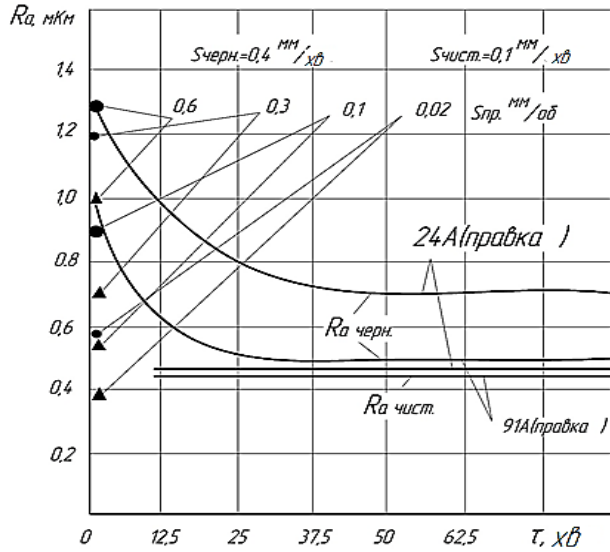
Залежність зношування кола від часу його роботи при врізній подачі 0,4 мм/хв



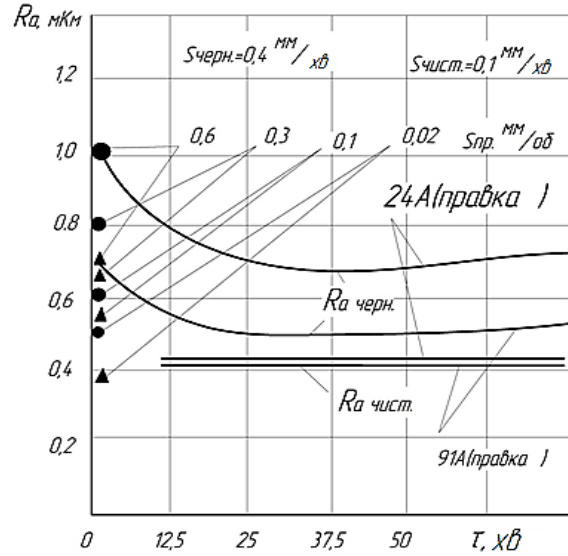
Залежність початкової шорсткості від подачі виправлення при обробці сталі 45 (НЗК) колом 91А



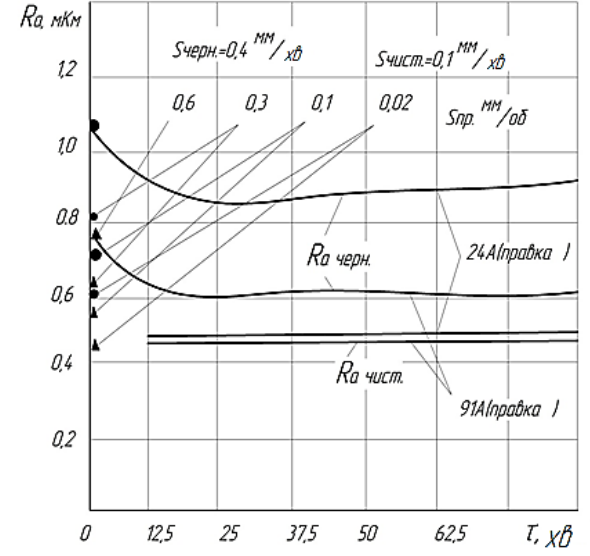
Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі 45 (НЗК) після чорного  $Ra$  і після чистового етапу  $Ra_{\text{чист}}$



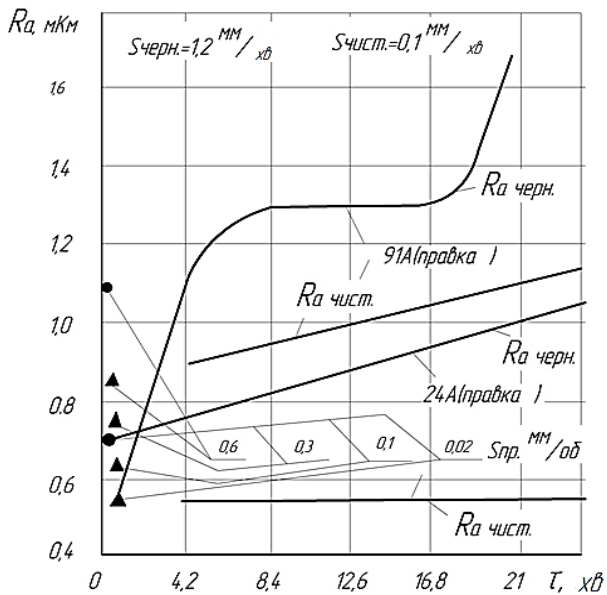
Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі 45 (ЗК) після чорного  $Ra$  і після чистового етапу  $Ra_{\text{чист}}$



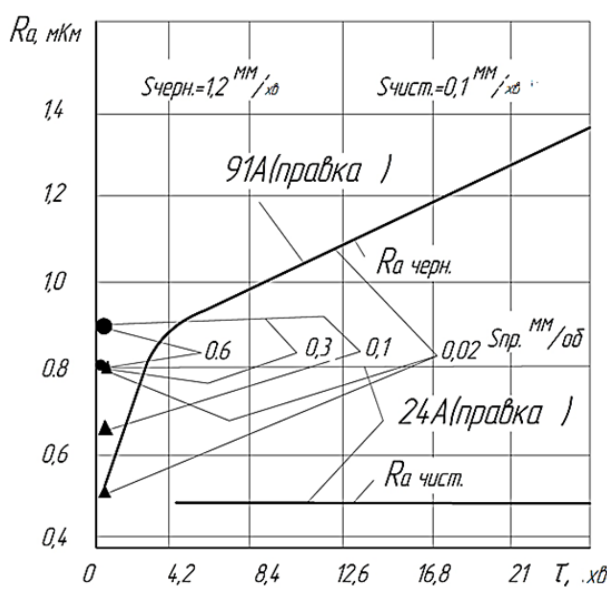
Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці ШХ-15 (НЗК) після чорного  $Ra$  і чистового етапу  $Ra_{\text{чист}}$



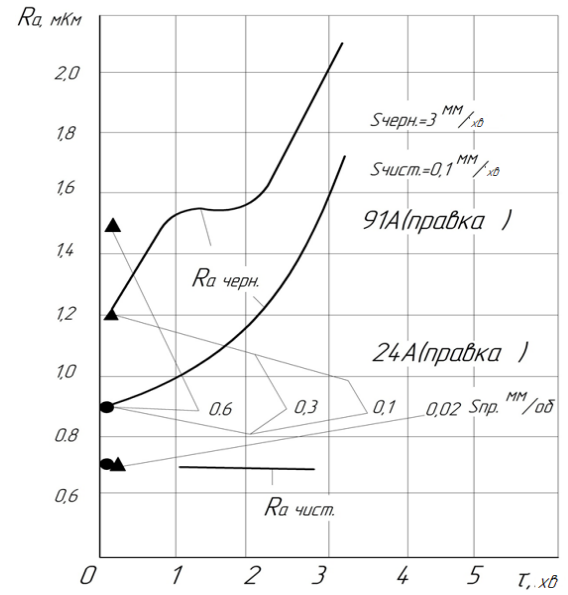
Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі ШХ-15 (ЗК) після чорного  $Ra$  і після чистового етапу  $Ra_{\text{чист}}$



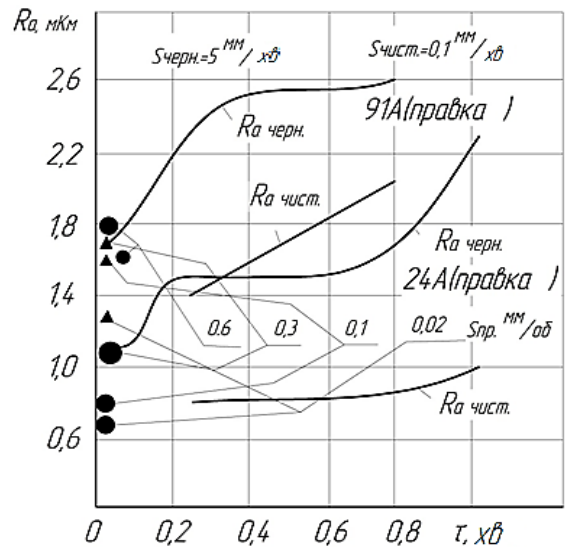
Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі 45 (ЗК) після чорного  $Ra$  і після чистового етапу  $Ra_{\text{чист}}$



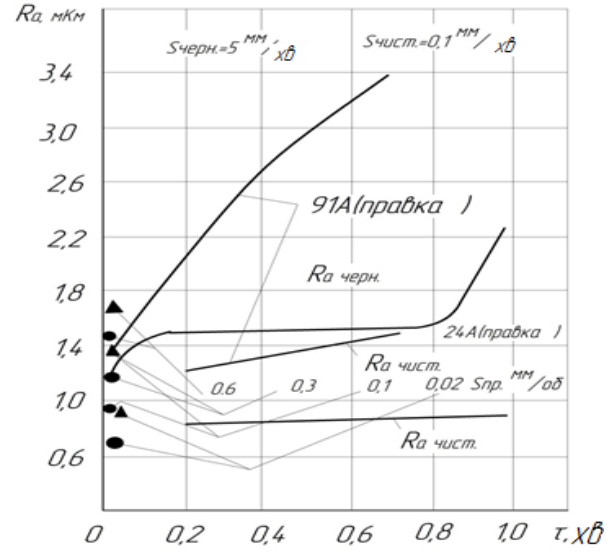
Залежність шорсткості поверхні при обробці сталі ШХ-15 (ЗК) після чорного  $Ra$  і після чистового етапу  $Ra_{\text{чист}}$



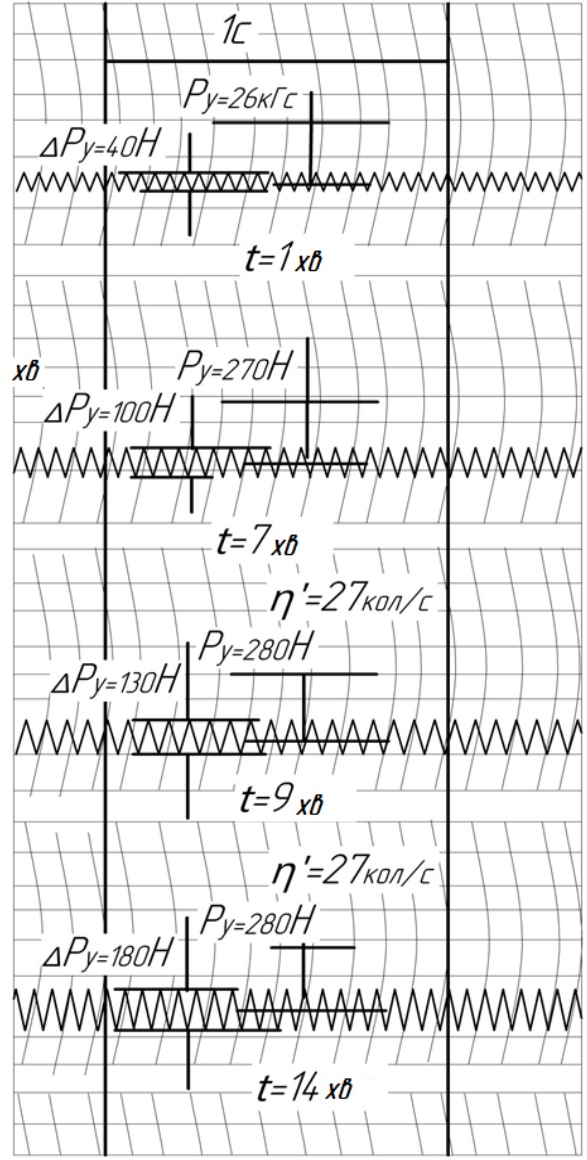
Залежність шорсткості поверхні від часу при обробці сталі 45 (ЗК) після чорного Ra і після чистового етапу Ra<sub>чист</sub>



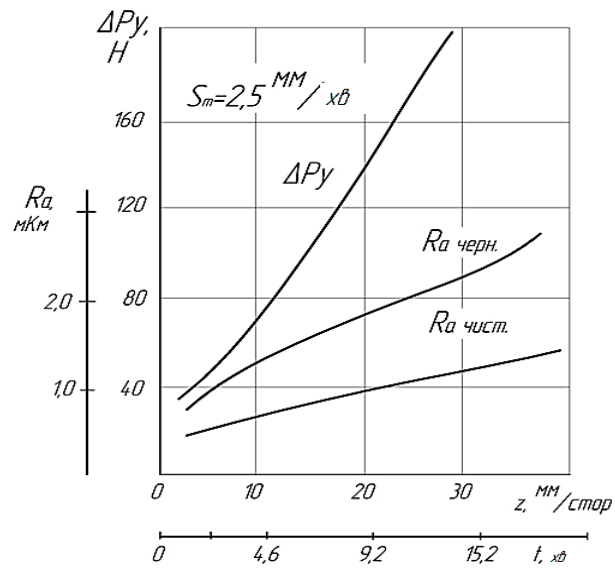
Залежність шорсткості поверхні при обробці сталі ШХ-15 (ЗК) після чорного Ra і після чистового етапу Ra<sub>чист</sub>



Запис коливання радіальної сили при шліфуванні

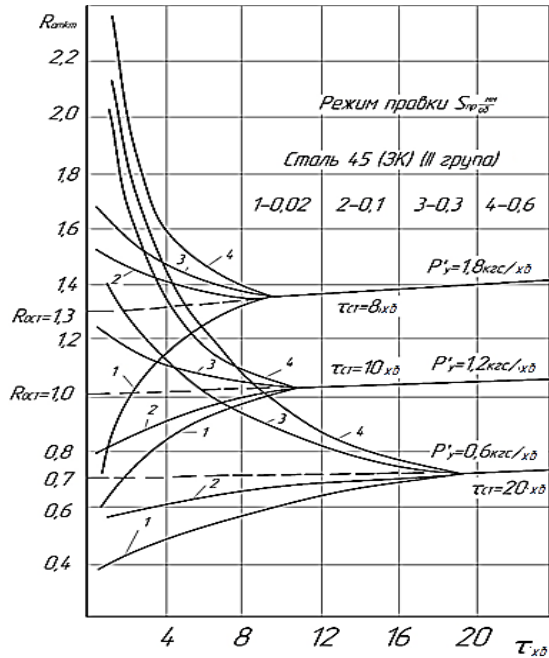


Залежність коливань сили різання й шорсткості від часу шліфування припуску, що й знімається, при обробці загартованої сталі 45

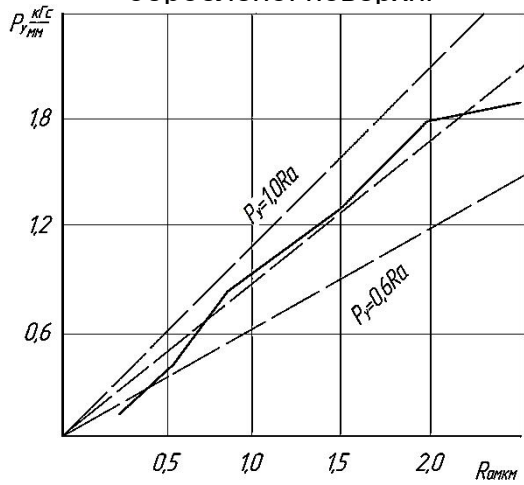


# ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ Й КОРИГУВАННЯ ПИТОМОЇ СИЛИ РІЗАННЯ

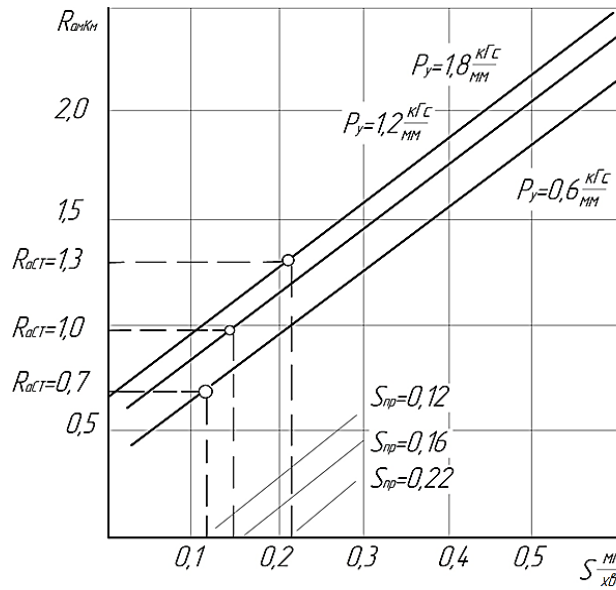
Зміна шорсткості оброблюваної поверхні при шліфуванні



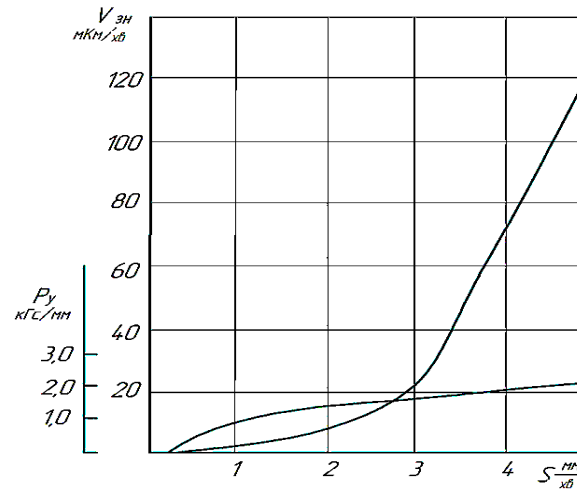
Взаємозв'язок питомого зусилля шліфування із шорсткістю обробленої поверхні



Визначення поздовжньої подачі алмаза при виправленні кола



Залежність питомого зусилля шліфування й інтенсивності зношування кола від врізної подачі



Структура робочих циклів

№ циклу	Етапи циклу					Графік S vs tau
	Прискорена подача	1 робоча подача	виходження	2 робоча подача	виходження	
1	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>				S <sub>2</sub>
2	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>			S <sub>3</sub>
3	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>		S <sub>3</sub>
4	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>3</sub>
5	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>4</sub>

$$P'_y = C_1 \cdot Ra \cdot K_{кр}$$

Аналіз впливу умов шліфування на збереження ріжучого профілю Ш.К. показує, що питома сила різання повинна розраховуватися з урахуванням ряду факторів, вплив яких визначається з коефіцієнтами.

$$K_{кр} = K_A \cdot K_{TB} \cdot K_Z \cdot K_{CB} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{ТОЧН}$$