

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

АНЦИФЕРОВА ОЛЕСЯ ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 621.9

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ
ПОВЕРХОНЬ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПРИ УДОСКОНАЛЕННІ МЕТОДУ
ЗУБОШЛІФУВАННЯ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Клочко Олександр Олександрович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри технології
машинобудування та металорізальних верстатів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Калафатова Людмила Павлівна,
Донецький національний технічний університет,
м. Покровськ, професор кафедри гірничих машин
і мехатронних систем машинобудування;

доктор технічних наук, професор
Кальченко Володимир Віталійович,
Чернігівський національний технологічний,
університет, проректор з науково-педагогічної
роботи.

Захист відбудеться «08» листопада 2018 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розіслано «03» жовтня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Н.В. Зубкова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з важливих проблем машинобудування на сучасному етапі є підвищення якості продукції, що випускається, у тому числі зубчастих передач металорізальних верстатів. Технологічне забезпечення продуктивності, точності і якості зубообробки зубчастих коліс регламентують їх надійність, яка значною мірою визначається експлуатаційними властивостями.

В даний час зубчасті колеса є основними елементами багатьох приводних механізмів, в яких потрібно здійснити передачу при певних навантаженнях. Зубчасті передачі мають істотне значення для правильного функціонування багатьох пристроїв, а технологія їх виготовлення визначає якість і стабільність роботи вузлів і механізмів в різних умовах експлуатації.

Кількість виготовлених в світі зубчастих коліс безперервно зростає разом з розвитком машинобудівної, аграрно-харчової промисловості в тому разі і за рахунок експортних поставок. До виготовлення зубчастих коліс в багатьох країнах існує комплексний підхід: спеціальні заводи, що виробляють зубчасті передачі, верстати для зубчастих коліс, спеціальні інструменти і контрольні-вимірні пристрої. Безперервно підвищуються також вимоги по відношенню до якості вироблених зубчастих коліс. Крім високої міцності, жорсткості і точності вимоги пред'являються до властивостей і характеристик поверхневого шару зубів зубчастих шлей, що формується на остаточних етапах їх виготовлення. Розробляються нові методи обробки зубчастих вінців і удосконалюються вже існуючі, а також впроваджуються у виробництво нове обладнання і матеріали з тим, щоб в результаті обробки отримати відповідно сформований стан поверхневого шару зубчастих коліс в залежності від експлуатаційних навантажень. Тому значно підвищується інтерес до остаточної обробки зубчастих коліс, в тому числі, особливо до шліфування зубів.

Шліфування дозволяє досягати задану конструктором точність зубів зубчастого колеса, гарантуючи одночасно високу якість зубчастого вінця, цей процес сприяє досягненню необхідного стану поверхневого шару. Слід зауважити, що зміна стану поверхневого шару в процесі будь-якого технологічного впливу залежить не тільки від умов здійснення самого процесу, а й від конструктивних особливостей деталі (зубчастого колеса), які спільно з подальшою обробкою визначають формування стану поверхневого шару готової деталі. Тому процес формування необхідного за умовами експлуатації стану поверхневого шару зуба колеса необхідно розглядати в аспекті комплексного впливу конструктивних і технологічних факторів, що визначають в кінцевому рахунку, довговічність деталі і надійність роботи всього механізму машини.

Таким чином підвищення продуктивності процесу зубошліфування на основі досягнення високої необхідної точності і якості поверхневого шару з оцінкою комплексного впливу конструктивно-технологічних факторів на процес формування поверхневого шару зубів зубчастих коліс з метою підвищення їх зносостійкості, а також продуктивності технологічного процесу

в оптимальних виробничих умовах, є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» відповідно до плану держбюджетної НДР МОН України «Розробка математичних моделей і методів рішення нелінійних задач динаміки та міцності елементів конструкцій при дії квазістатичних, динамічних та ударних навантажень» (ДР № 0115U000509), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень є забезпечення заданої точності і поліпшення якості поверхневого шару зубів при шліфуванні зубчастих коліс на верстатах, що працюють по методу обкатки двостороннім конусним шліфувальним кругом.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Виконати аналіз існуючих методів фінішної зубообробки.
2. Встановити взаємозв'язок між параметрами режимів шліфування, характеристиками інструменту, властивостями поверхневого шару, геометричною точністю зубчастого колеса і обладнання.
3. Довести можливість прогнозування довговічності зубчастих коліс і шліфувального круга, за рахунок його удосконалення.
4. Розробити практичні рекомендації для забезпечення підвищення ефективності процесу шліфування.

Об'єкт дослідження – технологічний процес зубошліфування зубчастих коліс переривчастими шліфувальними кругами.

Предмет дослідження – вплив технологічних показників процесу переривчастого зубошліфування на експлуатаційні властивості та якість поверхневого шару зубчастих коліс.

Методи дослідження. Теоретичною базою виконаних досліджень є фундаментальні положення теорії технології машинобудування, різання металів, моделювання, ймовірності та математичної статистики. Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням програмного забезпечення у пакеті моделювання «VisSim». Достовірність наукових припущень, положень, висновків і рекомендацій обумовлена коректним використанням фундаментальних законів опору матеріалів, теоретичних основ технології машинобудування та матеріалознавства при задовільному збігу результатів теоретичних і експериментальних досліджень, оброблених з використанням методів багатовимірної статистичного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів:

– отримала подальший розвиток теоретико-експериментальна залежність формоутворення якості поверхневого шару та способу переривчастого зубошліфування, яка відрізняється врахуванням геометричних параметрів переривчастого круга, що дозволило прогнозувати експлуатаційні властивості зубчастих коліс;

– удосконалено технологічні засоби стабілізації оптимальних режимів переривчастого зубошліфування, які дозволяють підвищити якість обробки зубчастих коліс;

– встановлено закономірність зменшення засалювання переривчастого зубошліфувального круга та температури у зоні контакту, яке впливає на забезпечення експлуатаційних властивостей поверхонь зубів.

Практичне значення одержаних результатів для машинобудівної галузі:

– розроблено алгоритми та програмне забезпечення у пакеті моделювання «VisSim» для обробки результатів експериментальних досліджень методами багатовимірної статистичного аналізу, що дозволяє підвищити точність та швидкість обчислень при проведенні аналізу процесів переривчастого зубошліфування зубчастих коліс;

– розроблено технологічні засоби виконання спеціальних канавок зубошліфувальних кругів, які дозволяють забезпечити постійний контакт шліфувального круга з оброблювальним зубчастим колесом;

– реалізовано схему технологічного процесу переривчастого формоутворення температурного режиму у зоні контакту шліфувального круга та оброблювальним зубчастим колесом, яка забезпечує зниження температури у зоні обробки та зменшує прижоги.

Результати роботи впроваджені:

– ТОВ «КЗМО» (м. Костянтинівка) у технологічному процесі виготовлення циліндричних зубчастих коліс, що забезпечило продуктивність з економічним ефектом, що складає 165815,00 грн на рік;

– у навчальному процесі НТУ «ХПІ» (м. Харків) на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів при викладанні дисциплін «Теоретичні основи технології виробництва деталей та технології ремонту» та «Обробка типових деталей» за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати, які виносяться на захист отримані здобувачем особисто. Серед них: теоретико-експериментальна залежність формоутворення якості поверхневого шару та способу переривчастого зубошліфування; технологічні засоби стабілізації оптимальних режимів переривчастого зубошліфування; закономірність зменшення засалювання переривчастого зубошліфувального круга та температури у зоні контакту; алгоритми та програмне забезпечення у пакеті моделювання «VisSim» для обробки результатів експериментальних досліджень; технологічні засоби виконання спеціальних канавок зубошліфувальних кругів; схема технологічного процесу переривчастого формоутворення температурного режиму у зоні контакту шліфувального круга та оброблювальним зубчастим колесом.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Фізичні та комп'ютерні технології» (Харків,

2015, 2016); «Проблеми інформатизації» (Черкаси, 2016); «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (Краматорськ, 2017, 2018); «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (Чернігів, 2017); «Прогресивний техніка, технологія та інженерна освіта» (Київ, 2017); «Проблеми інформатики та моделювання» (Одеса, 2017); «Інформатика, управління та штучний інтелект» (Харків, 2017).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано у 19 наукових працях, з яких 8 статей у наукових фахових виданнях України (1 – у виданні, що включено до наукометричної бази Scopus), 11 – у матеріалах конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 190 сторінок, серед них: 18 рисунків на 12 окремих сторінках, 75 рисунків за текстом, 2 таблиці на 5 окремих сторінках, 6 таблиць за текстом, список з 152 найменувань використаних джерел на 20 сторінках, 2 додатка на 7 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи для галузі машинобудування.

У **першому розділі** здійснено аналіз особливостей технологічних процесів зубошліфування коліс, пов'язаний зі станом поверхневого шару зубчастих коліс. Існує комплекс проблем технологічних, конструкторських і експлуатаційних, які в сукупності пред'являють вимоги до властивостей і характеристик поверхневого шару, що вказує на необхідність проведення наукових досліджень.

Істотне значення набуває мінімізація кількості операцій і переходів, що визначають технологічний процес виготовлення виробу при мінімальних витратах. Фактом є те, що мінімізація ґрунтується не тільки на технологічній або організаційній концентрації операцій, але і на ступені інноваційних конструкцій виробів, що дозволяє використовувати мінімальну кількість операцій при одночасній можливості формування необхідних характеристик якості поверхневого шару деталі.

Стратегія формування поверхневого шару починається з моменту виходу напівфабрикату і закінчується в місці з отриманою характеристикою, яка складається з фаз (етапів), представлених на рис. 1.

Значний внесок у вирішення проблем формоутворення поверхонь при зубошліфуванні на основі досягнення високої необхідної точності і якості поверхневого шару з оцінкою комплексного впливу конструктивно-технологічних факторів на процес формування поверхневого шару зубів зубчастих коліс з метою підвищення їх зносостійкості, а також продуктивності технологічного процесу в оптимальних виробничих умовах внесено професорами: Аксьонова К.А., Анділахая О.О., Більовського К.Е., Берштей-

на Л.С., Грабченко А.І., Горанського Г.К., Дружиніна Г.В., Доброскока В.Л., Пижова І.М., Зараківського Г.М., Захарова М.В., Іванова-Муромського К.А., Ігумнова В.М., Карпуся В.Є., Ларшин В.П., Ломова Б.Ф., Максимея І.В., Меліхова А.Н., Мітрофанова С.П., Мовшовича О.Я., Новікова Ф.В., Поспелова Д.А., Суходольського Г.В., Тимофієва Ю.В., Сізога Ю.А., Узуняна М.Д., Федоровича В.А., Цветкова В.Д., Шелкового О.М., Юровського С.А., Якімова О.В., Якімова О.О. та інших авторів. Ними досліджено різні методи технологічного й організаційно-технологічного проектування виробничих систем, автоматизованого нормування їхньої роботи в умовах дрібної серійності виготовлення деталей, обліку особливостей ерготехнічної системи, створення імітаційного моделювання процесів роботи.



Рисунок 1 – Вплив умов обробки на формування поверхневого шару

Стан поверхневого шару, перш за все, має цілеспрямовано змінюватися в технологічному процесі у залежності від вимог експлуатації зубчастих коліс. Проблема формування поверхневого шару вирішується більш ефективно, коли відомі конкретні експлуатаційні вимоги для окремих типів конструкційних елементів (рис. 2).



Рисунок 2 – Вплив факторів технологічного процесу на формування поверхневого шару

Якість виконання зубів зубчастих коліс диктує необхідність проведення подальших досліджень в області забезпечення необхідних характеристик поверхневого шару зуба і геометричної точності зубчастих коліс процесу шліфування зубів зубчастих коліс по методу обкатки двостороннім конусним шліфувальним кругом (рис. 3) з оцінкою характеру контакту шліфувального круга з поверхнею зуба під час шліфування.

Шліфування зуба здійснюється поступовим врізанням при подачі зубчастого колеса зі столом вправо, що сприяє шліфуванню лівого боку зуба. В кінці руху обкатки настає зміна напрямку руху з ліквідацією зазору між правим боком зуба і кругом, потім відбувається шліфування, після чого настає поділ при відході кола від зуба і повторне наближення кола до поверхні зуба. Всі холості рухи є прискореними.

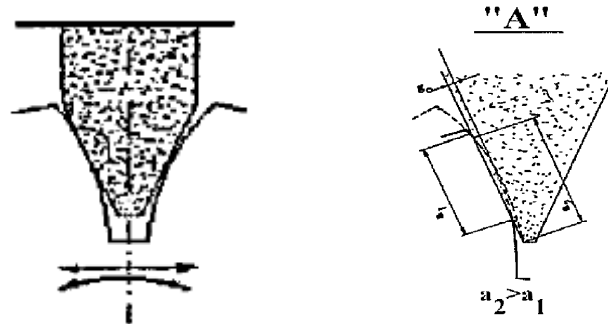


Рисунок 3 – Характер контакту круга з поверхнею зуба в процесі шліфування по методу обкатки двостороннім конусним шліфувальним кругом

Таким чином, особливе значення мають параметри процесу шліфування, відповідний вибір яких дозволяє отримати очікувану і необхідну геометричну точність зубів зубчастих коліс і характеристики їх поверхневого шару. Звідси виникає необхідність цілеспрямованої зміни якості поверхневого шару зубів зубчастих коліс в процес остаточної обробки шліфуванням шару.

У другому розділі розроблено методологію формування математичної моделі процесу зубошліфування абразивним кругом за рахунок кінематики процесу зубошліфування з оцінкою точності профілювання зубів.

На рис. 4 приведено схему формоутворення профілю зуба колеса при використанні шліфувального круга з кутом $a_{ш} \neq 0$.

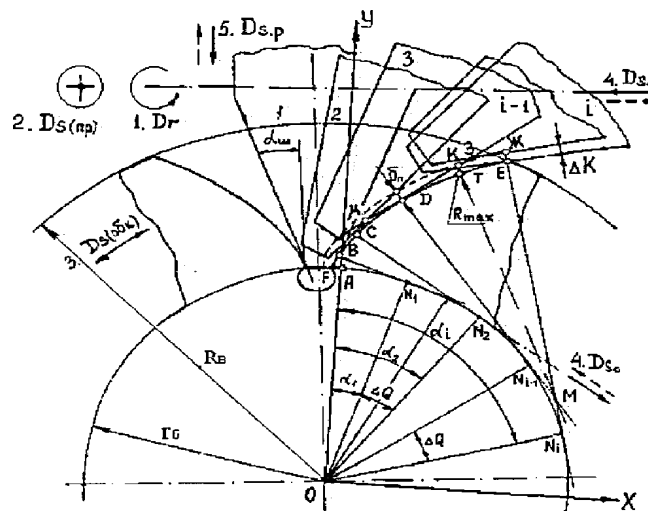


Рисунок 4 – Схема взаємодії шліфувального круга з кутом $a_{ш} \neq 0$ з поверхнею зуба в процесі формоутворення евольвентного профілю

З поздовжньою подачею уздовж вінця зуба, число зерен абразивного інструменту, що одночасно беруть участь при врізання, буде змінюватися в залежності, як від обраної величини подачі на врізання, так і від кінематичних похибок, які виникають через змінне значення довжини ділянки шліфування

($CD \neq ET$). При цьому ширина максимальної ділянки шліфування, що знаходиться біля вершини зубів колеса (μ_3), визначається

$$\mu_3 = \left[2r_0 \left(\frac{\pi}{z} \right) \left(l + \frac{1}{N} \right) + h_H \right] \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{zN} \right) = \left[\pi m \cos \frac{\pi}{N} + h_H \right] \operatorname{tg} \frac{\pi}{zN}.$$

Площа контакту одного зерна з оброблюваним матеріалом, як частина сфери, впровадженої на глибину припуску (δ_H) або натягу (h_H), дорівнює

$$\Delta S = S_z \cdot h_H,$$

де S_z - подача на одне зерно абразиву, розташованого на діаметра D_u із середнім кроком t уздовж вектора руху подачі зі швидкістю S_l (м/с).

Таким чином площа плями контакту буде обчислюватися за формулою

$$S_{n.k} = \frac{\left[h_H \cdot S_z \cdot \pi \cdot m \cos \alpha_H \left(1 + \frac{1}{N} \right) + h_H \right] \operatorname{tg} \frac{\pi}{2N}}{1,5d_\delta}.$$

Складова сили різання F_H (рис. 5) що діє на зерно і викликає віджимання шліфувального круга, буде залежати від припуску на прохід або від величини динамічного натягу (h_H).

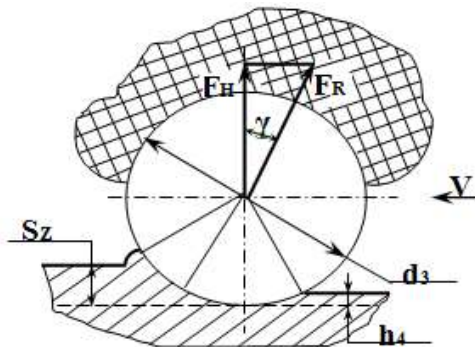


Рисунок 5 – Схема силової взаємодії зерна абразиву з оброблюваним матеріалом:
 F_H – складова, що викликає віджимання шліфувального круга; γ – кут між нормаллю і вектором пружного опору матеріалу об'ємної деформації

Серед обставин, що впливають на продуктивність процесу формоутворення, першочерговою є час на обробку зубчастого колеса – T_M . При цьому процес шліфування закінчується тоді, коли колесо зробить один повний оборот, тобто $T_M = \frac{1}{n_r}$.

$$T_M = \frac{\left(\frac{n_k z}{k} \right) z (S_1 + S_2)}{S_1 \cdot S_2 \left(\frac{\beta}{\cos \beta_u} \right)} + \pi m \operatorname{tg} \beta_w + (3 \div 10),$$

де S_1 – подача встановлена на верстаті, S_2 – швидкість зворотного прискореного переміщення інструменту в початкове положення, z -число абразивних зерен.

Трудомісткість шліфування колеса зростає з ростом числа його зубів. Від величини швидкості залежить температура в зоні різання і силове навантаження на зерна в зв'язці та знос.

Відповідно до формули Кельвіна для джерела випромінювання, температура ріжучого матеріалу в зоні різання на площі інтенсивного тепловипромінювання з стружки оброблюваного матеріалу дорівнює

$$T_{п.к.} = \frac{0,85\sigma_K S_z h_n \delta L_i K_{ш} \left(2\sqrt{\frac{L_x}{\delta_\mu}} + \sqrt{\frac{\delta L_i}{L_x}} - 1,5 \right)}{\delta L_n h_H \sqrt{\frac{\pi\lambda_2 C_2 p_2 L_2}{V}}}, \quad (1)$$

де $K_{ш}$ – коефіцієнт Шарона.

Оскільки функція температури від швидкості має екстремальний характер, то правомірно записати (1) після визначення мінімуму функції

$$T_{п.к.} = \frac{1,13\delta_R S_2 K_{ш} V}{\sqrt{\pi\lambda_2 C_2 p_2 C \cdot A \cdot X}}.$$

Звідки

$$K_{ш} = \frac{\sqrt{\lambda_2 C_2 p_2}}{\sqrt{\lambda_2 C_2 p_2 + \lambda_1 C_1 p_1}}.$$

На середині зуба швидкість теплового джерела максимальна, а у торців зуба мінімальна. З ростом ширини зубчастого вінця швидкість переміщення теплового потоку збільшується.

На рис. 6, а – показана залежність зміни швидкості теплового джерела, а на рис. 6, б – ставлення контактних температур у торця на виході кола до температури в середній частині довжини зуба від ширини зубчастого вінця.

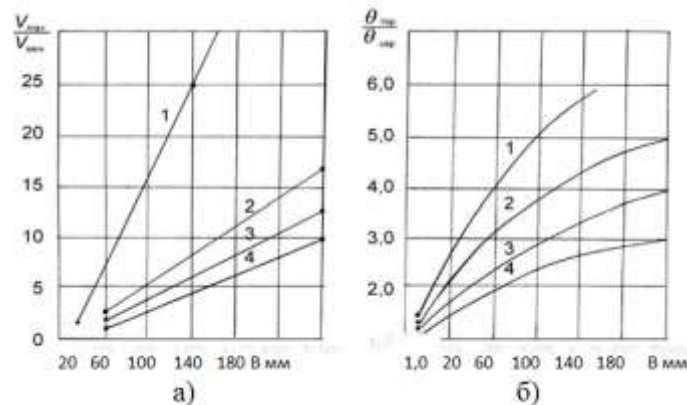


Рисунок 6 – Залежність зміни швидкості теплового джерела (а) і відношення контактних температур у торця на виході кола до температури на середині ширини зуба (б) від ширини зубчастого вінця B , при налаштуванні з перебігом на сторону: 1,5 мм (крива 1); 3,0 мм (крива 2); 5,0 мм (крива 3) і 10 мм (крива 4)

З рис. 6 видно, що при ширині зубчастого вінця $B=20$ мм контактна температура за довжиною зуба при $t = 0,06$ мм змінюється в 1,05 рази, а при ширині зубчастого вінця $B = 200$ мм – в 2,0 рази. Торці є адіабатичними стінками, які сприяють накопиченню тепла і прогріванню поверхневого шару на більш значну глибину.

Таким чином, зміна контактної температури за період обкатки має більше складний характер. Збільшення радіусу кривизни евольвенти зуба призводить до зменшення контактних температур в зоні ділильної окружності і підвищенні її на голівці зуба, що пов'язано з переважаючим впливом потужності теплового джерела.

У третьому розділі розроблено новий підхід до узагальненого опису теплонапруженості процесу та динаміки переривчастого зубошліфування за рахунок виконання формоутворюючих канавок круга та розроблені блок-схеми моделювання переривчастого зубошліфування у пакеті «VisSim».

Переривчасте зубошліфування характеризується шліфуванням поверхонь зубів за допомогою ріжучого леза, виконаної у формі канавки, при якому відбувається імпульсна зміна енергетичного потоку у вигляді зміни температури і інтенсивності знімання припуску. Розроблено різні форми пазів зубошліфувальних кругів, які забезпечують змішаний процес різання – швидкісного фрезерування за рахунок наявності різальних кромки і безпосередньо абразивного шліфування (рис. 7). Це дає змогу зменшити нагрівання поверхні зубчастого колеса за рахунок періодичної зміни процесу зйому метала, що забезпечує значне зменшення засолювання шліфувального круга, а саме перехід шліфування в різання.

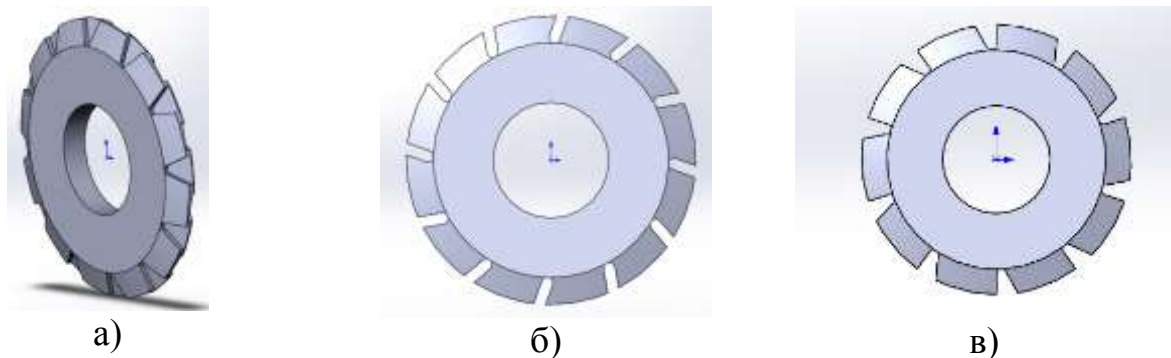


Рисунок 7 – Шліфувальні круги для переривчастого зубошліфування з формою кишені:
 а) двостороння форми кишені типу V з кутом $\lambda = 70^\circ$; б) з наскрізним пазом по типу дискової фрези з негативним переднім кутом $-\lambda$; в) з наскрізним пазом по типу дискової фрези з позитивним переднім кутом $+\lambda$

Переривання процесу різання знижує температуру в зоні різання і збуджує високочастотні коливання в пружній системі, зменшуючи тим самим енергоємність процесу. При переривчастому шліфуванні переривчастими кругами припуск віддаляється окремими шарами (рис. 8). Згідно з цією схемою, шліфувальний круг здійснює зворотно поступальний рух відносно шліфованого зубчастого колеса в межах зони контакту. Математичний опис теплових процесів, що протікають в зоні контакту переривчастого круга виконано згідно теплової схеми теплових імпульсів від роботи окремих різальних виступів за рахунок формоутворення круга.

Температура на глибині x від проходження другого різального виступу визначиться як сума двох виразів, в яких використовується функція похибки ierfc

$$T_2 = \pm 2q k_{fz} \sqrt{\frac{\tau - \frac{t_i}{\omega_i} - \Delta\tau}{Cp_m \lambda}} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x - t_1 - t_2}{2\sqrt{\alpha\left(\tau - \frac{t_i}{\omega_i} - \Delta\tau\right)}}\right),$$

де C – теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/кг·°С; k_{fz} – коефіцієнт, що враховує форму круга з кишнями і кількість кишень; ρ_m – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м³; λ – коефіцієнт теплопровідності, Дж/м·с·°С.

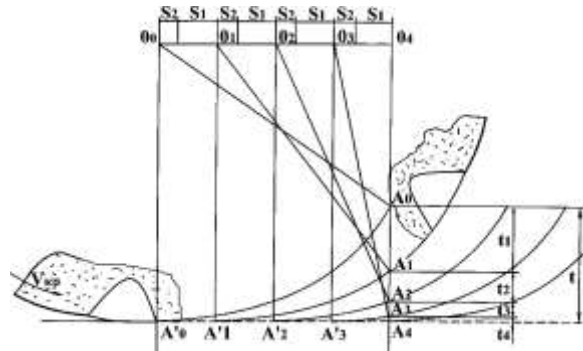


Рисунок 8 – Схема пошарового видалення припуску при переривчастому шліфуванні кругами з кишнями

Виразення для визначення температури на глибині x від дії до різальних виступів таке

$$T_2 = \frac{2}{\sqrt{Cp_m \lambda}} k_{fz} \left[\sum_{i=1}^K q_i \sqrt{\tau - (i-1) \left(\frac{t_i}{\omega_i} + \Delta\tau \right)} \operatorname{ierfc} \left[\frac{x - \sum_{i=1}^K t_i}{2\sqrt{\alpha \sqrt{\tau - (i-1) \left(\frac{t_i}{\omega_i} + \Delta\tau \right)}}} \right] - \sum_{i=1}^K q_i \sqrt{\tau - i \frac{t_i}{\omega_i} - (i-1) \Delta\tau} \operatorname{ierfc} \left[\frac{x - \sum_{i=1}^K t_i}{2\sqrt{\alpha \sqrt{\tau - i \frac{t_i}{\omega_i} - (i-1) \Delta\tau}}} \right] \right]$$

Для оцінки теплонапруженості процесів суцільного і переривчастого шліфування кругами з кишнями були зроблені розрахунки для зубчастого колеса зі 40ХНМ.

Схема переривчастого шліфування показана на рис. 9. В якості прикладу розглянуто схему зустрічної обробки при русі кола вниз, та попутна обробка при русі кола вгору. За рахунок різальних кромки забезпечується імпульс енергії зйом металу та зменшення температури у зоні контакту шліфувального круга та зубчастого колеса, зменшення засолювання шліфувального круга.

За висотою зуба буде змінюватися і процес переходу абразивного шліфування $L_i = (\varphi_{окр} - l)$ в швидкісне фрезерування. Коли $L_i = l_i$ виступ кола повністю перекриває дугу контакту L , то «жорсткість» процесу шліфування дорівнює C , а коли контакт круга із заготовкою переходить у процес швидкісного фрезерування, буде зниження у формі кишень з кутом $\lambda=70^\circ$, довжиною l_i , то C

буде зменшуватися до 50%. Таким чином, «жорсткість» процесу шліфування періодично змінюється.

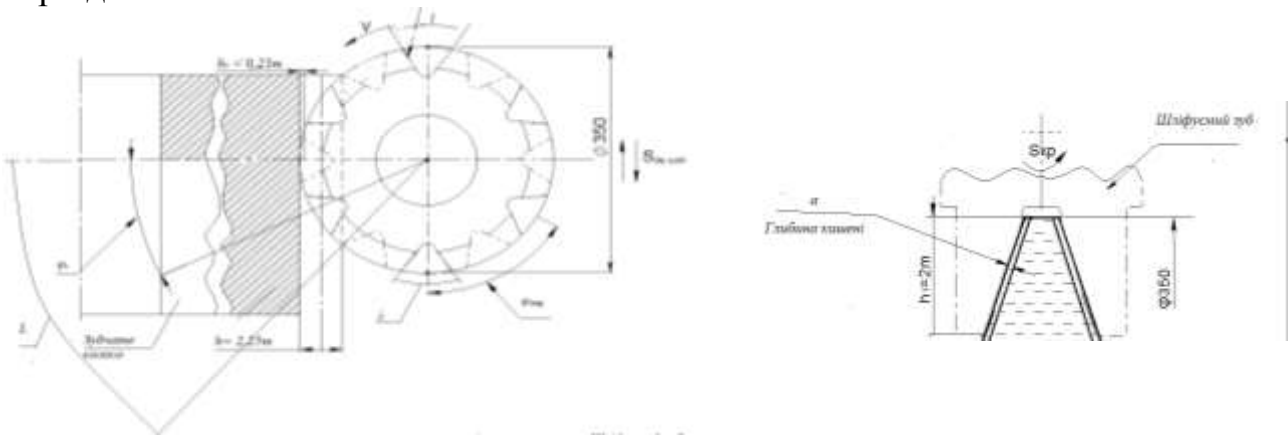


Рисунок 9 – Схема переривчастого зубошліфування з формою кишень типу V з двостороннім кутом $\lambda=70^\circ$; кількість кишень Z розташованих у шахматному порядку з двох сторін, щоб забезпечити міцність круга

При шліфуванні, коли тривалість перехідної фази становить значну частку від тривалості фаз $C(t) = C$ і $C(t) = 0,5C$, раціонально представити залежність $C(t)$ у вигляді гармонійної функції (рис. 10):

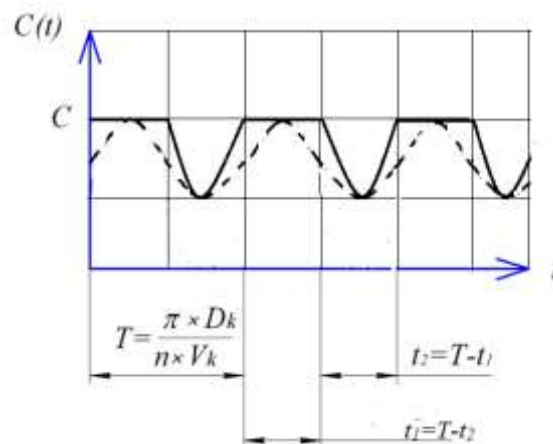


Рисунок 10 – Модель зміни жорсткості процесу переривчастого шліфування $C(t)$

Період T ступеневої сигналу знайдемо з виразу

$$T = \frac{\pi \cdot D_k}{n \cdot V_k},$$

де n – число пазів в колі; D_k – діаметр кола.

Співвідношення між величинами виступу l_1 і l_2 на колі задамо через величину $l_1/(l_1+l_2)$, яку назовемо скважністю за аналогією з цим поняттям в імпульсній техніці, як відносини тривалості імпульсу до періоду між ними. Таким чином

$$skv = \frac{l_1}{l_1 + l_2}.$$

При шліфуванні на чорновий, тобто великій швидкості подачі $V_{\text{поп}}$, коли тривалість перехідної фази становить значну частку від тривалості фаз $j(t) = j$ і $j(t) = 0$, раціонально представити залежність $j(t)$ у вигляді гармонійної функції

$$j(t) = 0,5 \cdot j \cdot (1 + \sin(\omega \cdot t)),$$

де $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$, рад / с.

Цей сигнал показаний на рис. 10 пунктирною лінією.

При розгляді зв'язків між елементами динамічної системи переривчастого шліфування приймаємо як очевидний факт, що сталий процес переривчастого шліфування – це шліфування з середньою глибиною h_3 і періодичними відхиленнями від неї. Тому в якийсь момент часу вхідним сигналом в динамічної системи переривчастого шліфування може бути середнє значення глибини шліфування h_3 , і ця глибина задається налаштуванням верстата, що забезпечує середнє значення натягів пружин, які з'єднують заготовку і коло зі станиною (рис. 11), тобто при середньому значенні сили P_y . Уривчастість контакту круга із заготовкою викликає відхилення натягов пружин від їх середніх значень.



Рисунок 11 – Функціональна схема замкнутої динамічної системи переривчастого шліфування

Розглянуто мить часу, коли натяг пружин збільшується, тобто росте сила P_y , і відповідно зростають деформації пружин, тобто переміщення x_1 і x_2 . Загальна сумарна їх деформація $x_3 = x_1 + x_2$.

Процес шліфування перетворює h_0 в силу P_y , яка, в свою чергу, переміщує коло і заготовку на x_1 і x_2 відповідно. Тобто функціонує замкнута динамічна система переривчастого шліфування.

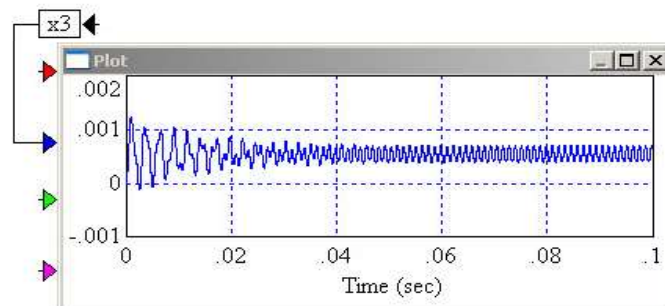


Рисунок 12 – Залежність зміни фактичної глибини різання

Таким чином, після розрахунку частоти коливань для умов визначення резонансу визначається циклічна частота власних коливань елементами технологічної системи. В результаті частота вимушених коливань не знаходиться в резонансній зоні, тобто вона менше власних коливань шліфувального круга і заготовки, що відповідає умовам стабільного процесу зубошліфування.

Результати експериментальних досліджень показали, що поряд з режимами і геометрією інструменту значний вплив на шорсткість поверхні надає жорсткість обладнання, на якому обробляється деталь. Так, при обточуванні зубчатих коліс зі сталі 40ХНМ отримано наступні рівняння з урахуванням статичної жорсткості обладнання $j_{ст}$:

$$R_{\alpha} = k_o \frac{R\alpha_{icx}^{k_1} z^{k_2}}{p^{k_3} v^{k_4} T^{k_5}}; \quad R_p = k_o \frac{Rp_{icx}^{k_1} z^{k_2}}{p^{k_3} v^{k_4} T^{k_5}},$$

де R_{α} – початкове значення середнього арифметичного відхилення профілю шорсткості поверхні (0,32–0,80 мкм); z – зернистість (63 / 50–80 / 63); p – тиск (98–588 кПа); v – окружна швидкість деталі (0,17–0,61 м / с); T – час переривчастого зубошліфування (25–60 с).

Енергоємність процесу переривчастого шліфування залежить від розподілу робіт, що витрачаються на різання і тертя.

У розділі проведено моделювання шліфувальних кругів, які беруть участь в процесі шліфування зубчастих коліс, що виконано в середовищі SolidWorks. Для вирішення поставленого завдання було розроблено 5 типів шліфувальних кругів з кишнями, відмінних за характеристиками.

Моделювання показало, що міцність переривчастого зубошліфувального круга з формою кишень типу V з двостороннім кутом $\lambda = 70^{\circ}$, розташованих у шахматному порядку з двох сторін майже у 2,1 разів більше у порівнянні з кругами з наскрізними канавками і лише на 15% менше ніж у суцільних кругів.

Розроблено шліфувальні круги з канавками, які забезпечують зменшення нагрівання поверхні зубчастого колеса за рахунок періодичної зміни процесу зйому метала, що забезпечує значне зменшення засалювання шліфувального круга, а саме перехід шліфування в різання зі збереженням необхідної міцності.

У четвертому розділі приведено експериментальні дослідження процесу переривчастого зубошліфування зубчастих коліс, досліджено вплив коливань, що виникають в процесі шліфування, на залишкову напругу в поверхневому шарі зубчастих коліс.

Зміни в поверхневому шарі залежать від величини різниці температур між поверхневим шаром і серцевиною матеріалу, а також від товщини матеріалу і його теплопровідності (рис. 13).

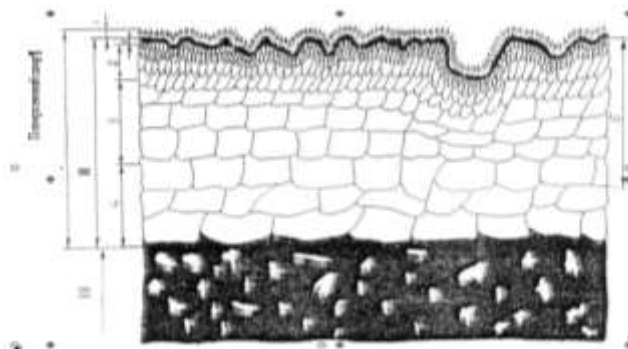


Рисунок 13 – Схематичне представлення поверхневого шару: I – поверхневий шар; II – підповерхневий шар; III – серцевина матеріалу; 1 – шар Бейльбі, 2 – текстурований шар, 3 – шар пластичних деформацій, 4 – шар пружних деформацій, 5 – пружно-пластично деформований шар

Взаємодії в процесі експлуатації цих різноманітних поверхонь відбуваються в процесі численних точкових контактів, значно змінюючи умови, в яких працюють поверхні зубів зубчастих коліс при експлуатації.

Аналіз зміни залишкових напружень в поверхневому шарі в процесі шліфування зубів проведено із залученням методів математичної статистики і регресійного аналізу. Для оцінки залишкових напруг використано такі статистичні характеристики математичної обробки результатів досліджень як: межа змін залишкових напруг: $\Delta\sigma_a = \sigma_a \max - \sigma_a \min$; амплітуда коливань залишкових напруг σ_a ; середнє значення залишкових напружень σ_{cp} ; коефіцієнт амплітуди зміни залишкових напружень Wa .

Величина і характер зміни залишкових напружень в поверхневому шарі зуба зубчастого колеса, виготовленого зі сталі 40X, залежить від їх місця розташування за висотою зуба, про що свідчать зміни меж $\Delta\sigma$ залишкових напружень в поверхні (рис. 14).

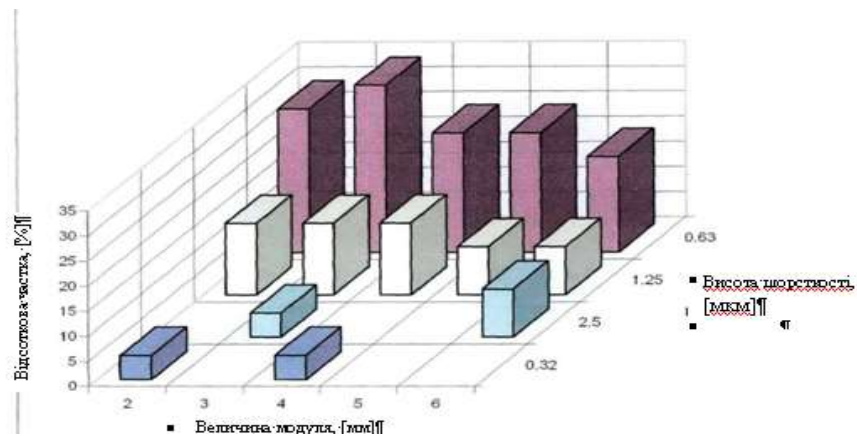


Рисунок 14 – Співвідношення шорсткості поверхні і величини модуля зуба зубчастого колеса зі сталі 40X при зубошліфування шліфувальним кругом T1Q99A-60-K-7-V

Похибки закріплення і базування є причиною змін, які відбуваються в поверхневому шарі зубів зубчастих коліс, що сприяють появі нерівномірної товщини зрізаного шару, непаралельності по відношенню до осі або ж кутовим зміщенням поверхні зуба по відношенню до його профіля.

Проведені дослідження твердості зуба (рис. 15) показали її збільшення за глибиною залягання, а приріст твердості на глибині 0,4 мм перевищує 44%.

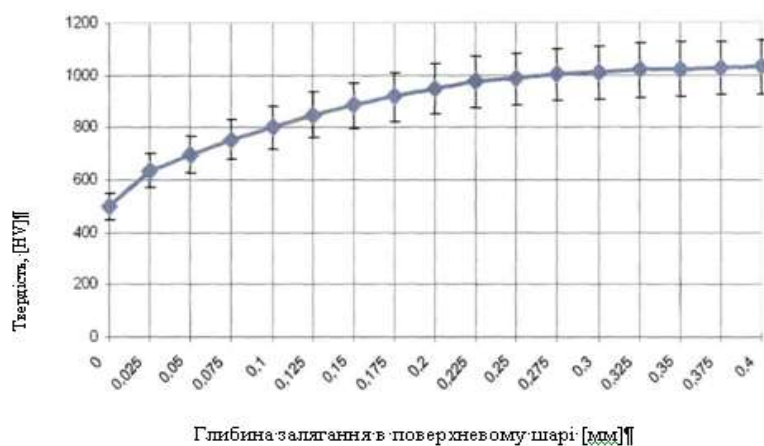


Рисунок 15 – Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі зубів зубчастих коліс зі сталі 20X2H4A після зубошліфування, круг T1C299A-80-K-8-V

Таким чином, слід очікувати зменшення до мінімуму залишкових напруг, та збільшення твердості, що вказує на зміцнення поверхневого шару. Форма круга з кишнями забезпечує зменшення тиску на оброблювану поверхню та зменшує дефекти поверхневого шару.

У п'ятому розділі наведено результати впровадження реалізації можливостей удосконалення технології переривчастого зубошліфування в промислових умовах, за рахунок методології розробки моделі управління якістю і продуктивністю при обробці загартованих зубчастих коліс.

Проведені дослідження показують, що однакові за точністю і висотою шорсткості поверхні загартованих зубчастих коліс можуть мати різні експлуатаційні властивості. Технологічне забезпечення експлуатаційних властивостей загартованих зубчастих коліс визначається рішенням двох завдань: по-перше, вибір матеріалів, твердості робочих поверхонь зубів і призначення точності розмірів і системи параметрів стану поверхневого шару, які повинні забезпечити необхідні експлуатаційні властивості; по-друге, вибір методу і призначення режимів обробки, що забезпечують найбільш економічне і надійне досягнення заданої точності розмірів і системи параметрів стану поверхневого шару оброблюваних загартованих зубчастих коліс.

Визначення конкретних умов обробки вирішується у взаємозв'язку з функціональними параметрами стану оброблюваних поверхонь загартованих зубчастих коліс. Результати експериментальних досліджень підтверджують теоретичні передумови механічних методів обробки в технологічному забезпеченні системи параметрів поверхневого шару деталей зубчастих коліс.

Виконано експериментальні дослідження по впливу потужності, визначення температури у зоні шліфування та впливу форми шліфувального круга на точність формоутворення зубчастих коліс згідно з ГОСТ 1643-81. Показані залежності потужності різання P від форми круга та режимів різання S_0 (рис. 16) та поверхневої температури від часу роботи режимів шліфування та форми круга (рис. 17).

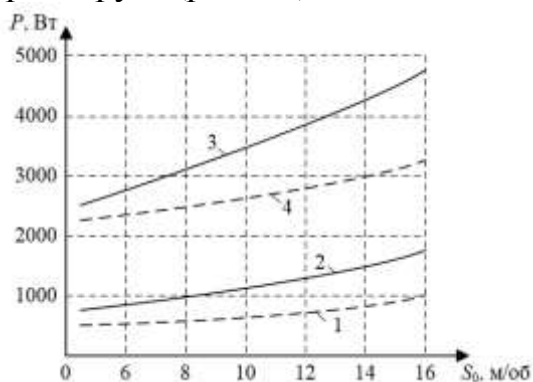


Рисунок 16 – Залежність потужності різання P від форми круга та режимів різання S_0 при $V = 16,8$ м/хв: 1 – шліфувальний круг без кишень; 2 – шліфувальний круг з кишнями при $t = 12$ мкм; 3 – шліфувальний круг без кишень; 4 – шліфувальний круг з кишнями при $t = 40$ мкм

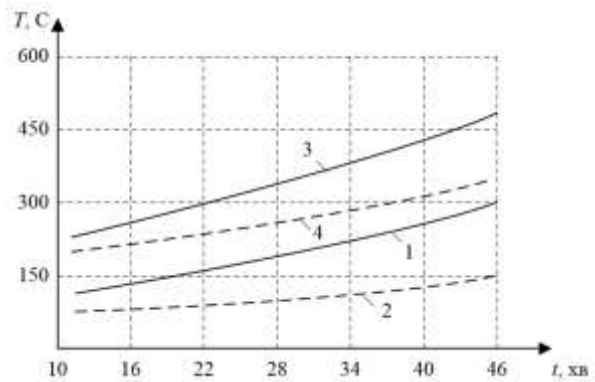


Рисунок 17 – Залежність поверхневої температури від часу роботи режимів шліфування та форми круга: 1 – шліфувальний круг без кишень; 2 – шліфувальний круг з кишнями при $V = 16,8$ м/хв.; $S_0 = 3,5$ мм; 3 – шліфувальний круг без кишень; 4 – шліфувальний круг з кишнями при $V = 16,8$ м/хв., $S_0 = 18$ мм

Також показана залежність впливу параметрів норм плавності відхилення коливання довжини загальної нормалі від часу роботи режимів шліфування та форми круга (рис. 18).

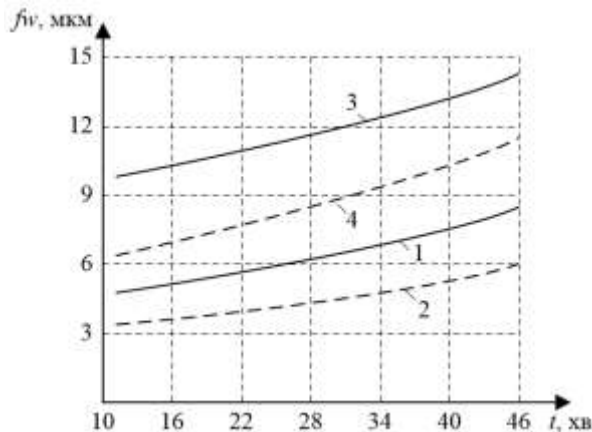


Рисунок 18 – Залежність впливу параметрів норм плавності відхилення коливання довжини загальної нормалі від часу роботи режимів шліфування та форми круга: 1 – шліфувальний круг без кишень, 2 – шліфувальний круг з кишнями при $V = 16,8$ м/хв; $S_0 = 3,5$ мм; 3 – шліфувальний круг без кишень; 4 – шліфувальний круг з кишнями при $V = 16,8$ м/хв, $S_0 = 18$ мм

В інтервалі режимів зубошліфування (рис. 16) потужність різання P зменшується в залежності від форми круга, який має кишні. Визначено, що при застосуванні шліфувальних кругів з кишнями (рис. 17) зменшується температура в зоні різання, а точність зубошліфування підвищується (рис. 18).

Структурна схема рішення задачі по технологічному забезпеченню заданої системи параметрів поверхневого шару циліндричних загартованих зубчастих коліс для умов вже існуючого виробництва показана на рис. 19.

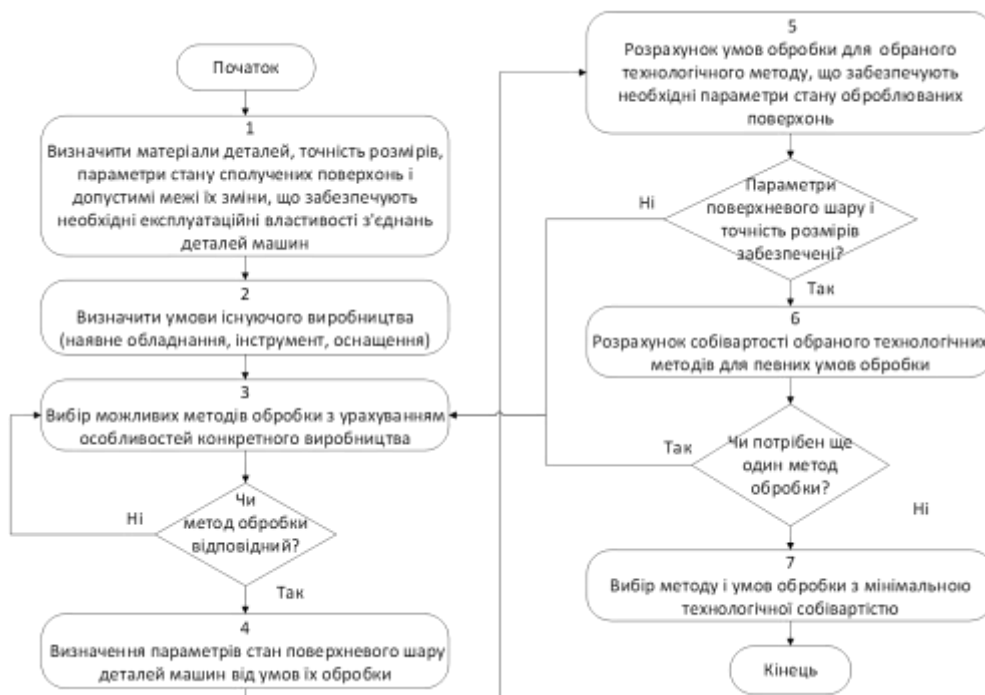


Рисунок 19 – Структурна схема моделювання технологічних процесів оптимального управління параметрами точності, якості і продуктивності переривчастого зубошліфування загартованих зубчастих коліс

Безперервний прогрес в області технології машинобудування, що супроводжується зростанням інвестицій і зумовлений створенням нових машин, механізмів та інструменту, значно ускладнює вибір оптимального технологічного процесу виготовлення виробів, в тому числі і зубчастих коліс. Реалізація такого технологічного процесу вимагає обґрунтованого економічного рішення, на яке впливають умови, показані на рис. 20.



Рисунок 20 – Умови, що визначають вибір оптимального технологічного процесу

Безперечним фактом є те, що стан поверхневого шару залежить від технології і обраного матеріалу, які впливають на експлуатаційну якість. Її забезпечення є основною умовою виготовлення виробу, в той час, коли споживач очікує ще й обслуговування – гарантоване і після гарантії.

Аналітичні моделі формування якості поверхневого шару циліндричних загартованих зубчастих коліс необхідно розробляти з урахуванням фактичних значень механічних характеристик матеріалу деталі і умов обробки.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі в результаті комплексних досліджень процесу формоутворення зубчастих коліс вирішено проблеми забезпечення заданої точності і поліпшення якості поверхневого шару зубів при шліфуванні зубчастих коліс на верстатах та підвищення продуктивності процесу зубошліфування на основі досягнення високої необхідної точності і якості поверхневого шару з оцінкою комплексного впливу конструктивно-технологічних факторів на процес формування поверхневого шару зубів зубчастих коліс з метою підвищення їх зносостійкості, а також продуктивності технологічного процесу в оптимальних виробничих умовах.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. На основі аналізу сучасної науково-технічної літератури виконано огляд існуючих методів фінішної зубообробки, що дозволило сформулювати задачі досліджень дисертаційної роботи.

2. Встановлено взаємозв'язок між параметрами режимів шліфування, характеристиками інструменту, властивостями поверхневого шару,

геометричною точністю зубчастого колеса і обладнання, що дозволило поліпшити геометричну точність зубів зубчастих коліс та підвищити продуктивність обробки.

3. Доведено можливість прогнозування довговічності зубчастих коліс і шліфувального круга, що мають канавки, котрі забезпечують зменшення нагрівання поверхні зубчастого колеса за рахунок періодичної зміни процесу зйому метала, яка забезпечує значне зменшення засолювання шліфувального круга, а саме перехід шліфування в різання.

4. Розроблено практичні рекомендації для підвищення ефективності процесу шліфування на основі математичної моделі коливання глибини переривчастого зубошліфування.

5. Результати роботи впроваджено у ТОВ «КЗМО» (м. Константинівка) та у навчальному процесі кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХПІ» (м. Харків).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Анцыферова О.А. Оценка влияния инвестиций на объемы экспорта. Внукова Н.Н., Анцыферова О.А., Ковальчук В.А // Економічний часопис XXI. – 2014. – № 7-8(2). – С. 48-51.

Здобувач провів аналіз оцінки впливу інвестицій на обсяги вивчення ринку збута.

2. Анцыферова О.А. Технологические процессы формирования поверхностного слоя зубчатых колес тяжелых токарных станков с ЧПУ / А.А. Ключко, Е.В. Мироненко, О.А. Анцыферова., Л.А. Макатрова., В.Е. Киреев // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. – Краматорск: ДГМА – 2015. – Вып. 37. – С. 105–112.

Здобувачем запропоновано технологічний процес формоутворення поверхневого шару зубчастих коліс в залежності від радіусу округлення ріжучого елемента.

3. Анцыферова О.А. Исследование структурных превращений и их влияние на поверхностный слой при зубошлифовании / М. С. Степанов, А. А. Ключко, О.А. Анцыферова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2015. – №40 (1149). С. 113-116.

Здобувачем досліджено вплив структурних перетворень на поверхневий шар при зубошліфуванні в залежності від форми круга.

4. Анцыферова О.О. Функциональные аспекты имитационного математического моделирования геометрических параметров процесса зубофрезерования / О.М. Шелковий, О.О. Ключко, М.І. Гасанов, Д.О. Кравченко, О.О. Анцыферова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології у машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ» – 2017. – № 26 (1248). – С. 66–74.

Здобувачем представлені результати імітаційного математичного моделювання геометричних параметрів процесу зубофрезерування твердосплавним ріжучим інструментом.

5. Анцыферова О.О. Математична модель теплонапруженості процесу імпульсного переривчастого шліфування / Новіков Ф.В., Ключко О.О.,

Охріменко О.А., Анциферова О.О., Басова Є.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології у машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ» – 2018. – № 6 (1282). – С. 127-132.

Здобувачем розроблено і досліджено математичну модель теплонапруженості процесу імпульсного переривчастого шліфування кругами з кишенями.

6. Анцыферова О.А. Повышение качества поверхностного слоя зубьев изношенных и восстанавливаемых крупногабаритных зубчатых колес поверхностным пластическим деформированием / В.Ф. Шаповалов, В.И. Печеный, А.А. Клочко, А.А. Пермьяков, М.И. Гасанов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб.наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – Вип. 41. – С. 56–67.

Здобувачем запропоновано метод відновлення за рахунок стану поверхневого шару.

7. Анцыферова О.А. Технология ремонта и восстановления крупномодульных закаленных зубчатых колес методом высокоскоростной лезвийной обработки. Клочко А.А., Шелковой А.Н., Шаповалов В.Ф., Анцыферова О.А., Беловол А.В. // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – Харків. – 2018. № 2 (2). – С. 38–47.

Здобувачем запропоновано дисковий інструмент для формоутворення поверхневого шару з мінімальним кутом ковзання.

8. Antsyferova O. Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. Shapovalov V., Klochko A., Gasanov M., Antsyferova O., Belovol A. // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – Харків –2018.- № 1 (3). – С. 59–70.

Здобувачем запропоновано технологічний спосіб формоутворення евольвентних поверхонь за рахунок застосування комбінованих складних фрез.

9. Анцыферова О.А. Технологические условия формирования параметров поверхностного слоя зубчатых колес и их влияние на эксплуатационные свойства / А. Н. Шелковой, А. А. Клочко, О.А. Анцыферова, С.Ю. Палашек // Физические и компьютерные технологии. Труды 21-й Международной научно-практической конференции. г. Харьков. – Д.: Лира – 2015. – С. 107–120.

Здобувачем запропоновано вихідні дані для забезпечення формування параметрів поверхневого шару зубчастих коліс

10. Анциферова О.О. Технологічні методи формоутворення поверхневого шару загартованих зубчастих коліс / О. О. Клочко, Є. В. Міроненко, О. О. Анциферова, О. М. Ліщенко // Збірник наукових праць. Прогресивні технології в машинобудуванні: Тези докладів V-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів – 2016. – С. 51–52.

Здобувачем запропоновано метод забезпечення формоутворення поверхневого шару загартованих зубчастих коліс

11. Анцыферова О.А. Интенсификация и влияние структурных превращений при зубошлифовании / М.С. Степанов, Ф.В. Новиков, А.А. Клочко, О.О. Анцыферова, С.Ю. Палашек // Физические и компьютерные

технологии. Труды 22-й Международной научно-практической конференции. г.Харьков. – Д.: Лира – 2016. – С. 107–109.

Здобувачем удосконалено спосіб інтенсифікації структурних перетворень при зубошліфуванні

12. Анцыферова О.А. Усовершенствованная система управления качеством разработки программного обеспечения / В.Н. Змиевская, О.А. Анцыферова // IV Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації», яка відбулась у Черкаському державному технологічному університеті – Черкаси: ЧТДТУ – 2016. – С. 39.

Здобувачем запропоновано удосконалена система управління якістю

13. Анцыферова О.А. Предпосылки исследования новых направлений комбинированного формообразования поверхностного слоя зубчатых колес / А.А. Клочко, С.В. Рябченко, О.А. Анцыферова, Е.В. Перминов // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», яка відбулась у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» – Київ: НТУУ «КПІ» – 2017. – Т. 4. – С. 346–347.

Здобувачем запропоновано удосконалена форма круга для забезпечення якості виготовлення зубчастих колес

14. Анцыферова О.А. Технологические возможности зубообработки высокоточных крупногабаритных зубчатых венцов / А.Н. Шелковой, А.А. Пермяков, А.А. Клочко, О.А. Анцыферова, В.Ф. Шаповалов // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2017) : матеріали тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції: у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ – 2017. – Т. 1. – С. 163–164.

Здобувачем запропоновано режими різання для високоточних великогабаритних зубчастих вінців

15. Анцыферова О.А. Исследование процесса скоростного зубофрезерования закаленных цилиндрических зубчатых колес абразивным инструментом / А.А. Клочко, О.А. Анцыферова, В.В. Герасим // Всеукраїнська наукова конференція «Розвиток прикладної науки, освіти та студентського самоврядування на Буковині» : – Чернівці – 2017– С. 36 – 38.

Здобувачем розроблена методика дослідження у високошвидкісному зубошліфуванні

16. Анцыферова О.А. Импульсное зубошлифование закаленных цилиндрических зубчатых колес / А.А. Клочко, Е.В. Басова, О.А. Анцыферова, А.Н. Лищенко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XV Міжнар. наук.-техн. конф./ Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА – 2017. – С. 39.

Здобувачем розроблено імпульсне зубошліфування за рахунок зміни форми круга

17. Анцыферова О.А. Новые способы высокоскоростной обработки закаленных цилиндрических зубчатых колес абразивным инструментом /

А.А. Клочко, О.А. Анцыферова // Проблеми інформатики та моделювання. Тезиси сімнадцятої міжнародної науково-технічної конференції. Харків–Одеса – 2017.

– С. 39-40.

Здобувачем запропоновано нові способи високошвидкісної обробки загартованих циліндричних зубчастих коліс абразивним інструментом

18. Анцыферова О.А. Новые способы высокоскоростной обработки закаленных цилиндрических зубчатых колес абразивным инструментом / А.А. Клочко, М.И. Гасанов, О.А. Анцыферова // Информатика, управління та штучний інтелект. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків: НТУ «ХПИ» – 2017. – С. 54-55.

Здобувачем запропоновані режими різання для досягнення високошвидкісної обробки

19. Анциферова О.О. Моделювання та аналіз імпульсного зубошліфування в пакеті «VisSim»/ Ф.В. Новіков, Ю.А. Сізий, О.О. Клочко, О.О. Анциферова, Г.І. Черкашина // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА – 2018.– Вып. 37 – С. 66.

Здобувачем запропонован метод моделювання в пакеті «VisSim».

АНОТАЦІЇ

Анциферова О.О. Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубошліфування. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2018.

Дисертацію присвячено вирішенню проблеми підвищення продуктивності процесу зубошліфування на основі досягнення високої необхідної точності і якості поверхневого шару з оцінкою комплексного впливу конструктивно-технологічних факторів на процес формування поверхневого шару зубів зубчастих коліс з метою підвищення їх зносостійкості, а також продуктивності технологічного процесу в оптимальних виробничих умовах.

Отримала подальший розвиток теоретико-експериментальна залежність формоутворення якості поверхневого шару та способу переривчастого зубошліфування, яка відрізняється врахуванням геометричних параметрів переривчастого кола, що дозволило прогнозувати експлуатаційні властивості зубчастих коліс. Удосконалені технологічні засоби стабілізації оптимальних режимів переривчастого зубошліфування, які дозволяють підвищити якість обробки зубчастих коліс. Встановлена закономірність зменшення засалювання переривчастого зубошліфувального кола та температури у зоні контакту, яке впливає на забезпечення експлуатаційних властивостей поверхонь зубів.

Ключові слова: технологічне забезпечення якості, зубошліфування, зубчасте колесо, технологічне забезпечення точності, теплонапруженість, поверхневий шар, шорсткість, переривчасте шліфування, круг з кишнями.

Анцыферова О.А. Технологическое обеспечение точности и качества поверхностей зубчатых колес при усовершенствовании метода зубошлифования. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2018.

Диссертация посвящена решению проблемы повышения производительности процесса зубошлифования на основе достижения высокой требуемой точности и качества поверхностного слоя оценке комплексного воздействия конструктивно-технологических факторов на процесс формирования поверхностного слоя зубьев зубчатых колес с целью повышения их износостойкости, а также производительности технологического процесса в оптимальных производственных условиях.

Получила дальнейшее развитие теоретико-экспериментальная зависимость формообразования качества поверхностного слоя и способа прерывистого зубошлифования, которая отличается учетом геометрических параметров прерывистого круга, что позволило прогнозировать эксплуатационные свойства зубчатых колес. Усовершенствованы технологические средства стабилизации оптимальных режимов прерывистого зубошлифования, которые позволяют повысить качество обработки зубчатых колес. Установлена закономерность уменьшения засаливания прерывистого зубошлифовального круга и температуры в зоне контакта, которое влияет на обеспечение эксплуатационных свойств поверхностей зубов.

Разработанные алгоритмы и программное обеспечение в пакете моделирования «VisSim» для обработки результатов экспериментальных исследований методами многомерного статистического анализа позволяют повысить точность и скорость вычислений при проведении анализа процессов прерывистого зубошлифования зубчатых колес. Разработаны технологические средства выполнения специальных канавок зубошлифовальных кругов, которые позволяют обеспечить постоянный контакт шлифовального круга с обрабатываемым зубчатым колесом. Реализована схема технологического процесса прерывистого формообразования температурного режима в зоне контакта шлифовального круга и обрабатываемым зубчатым колесом, которая обеспечивает снижение температуры в зоне обработки и уменьшает «прожоги».

Ключевые слова: технологическое обеспечение качества, зубошлифование, зубчатое колесо, технологическое обеспечение точности, теплонапряженность, поверхностный слой, шероховатость, прерывистое шлифование, круг с карманами.

Antsyferova O.O. Improve the efficiency of the process of impulse grinding to ensure the accuracy and quality of the surface layer of teeth. Manuscript.

Thesis for scientific degree of Candidate of Technical Sciences on speciality 05.02.08 – Manufacturing Engineering. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2018.

The dissertation is devoted to solving the problem of increasing the productivity of the process of grinding on the basis of achieving the high required accuracy and quality of the surface layer with an assessment of the complex influence of structural and technological factors on the formation of the surface layer of teeth of gear wheels in order to increase their wear resistance, as well as the productivity of the technological process in optimal production conditions.

The theoretical and experimental dependence of the formation of the quality of the surface layer and the method of intermittent gear grinding has been further developed, which differs from the geometric parameters of the discontinuous circle, which allowed predicting the operational properties of the gears. Improved technological means of stabilizing optimal modes of intermittent gear grinding, which allow to improve the quality of machining of gear wheels. The regularity of reduction of salting of intermittent gear grinding wheels and temperature in the contact zone is established, which affects the maintenance of the operational properties of tooth surfaces.

Keywords: technological quality assurance, grinding, toothed wheel, technological precision, heat stress, surface layer, roughness, intermittent grinding, circle with pockets.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Arutyunyan', is located in the lower right quadrant of the page.

Підписано до друку 01.10.2018 р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 188
Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
М. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua