

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Бережний Роман Анатолійович

УДК 621.923: 621.9.01

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ВНУТРІШНІХ
ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРІВ**

05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в ВАТ Харківський машинобудівний завод "Світло шахтаря"
Міністерства промислової політики України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Новіков Федір Васильович,
Харківський національний економічний університет,
професор кафедри "Техніка і технології"

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Ларшин Василь Петрович,
Одеський національний політехнічний університет,
професор кафедри "Технологія машинобудування"

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Лавріненко Валерій Іванович,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
Національної академії наук України,
завідувач відділу

Захист відбудеться "30" вересня 2011 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.02 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, просп. Шевченка, 1, ауд. 400-А

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, просп. Шевченка, 1

Автореферат розісланий "29" серпня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.С. Кравчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Створення сучасних високонадійних машин і систем вимагає застосування ефективних технологій механічної обробки деталей, які забезпечують необхідну точність, якість і продуктивність їх обробки. Особливо це стосується фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів шахтних конвеєрів, умови експлуатації яких дуже важкі. Це потребує забезпечення високих вимог до точності виготовлення деталей редукторів, зокрема зубчатих коліс. Накопичений досвід показує, що основною причиною низької ефективності при шліфуванні внутрішніх циліндричних поверхонь деталей є значні пружні переміщення у технологічній системі. Застосування абразивних кругів з підвищеною ріжучою здатністю не вирішує проблему низької ефективності обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей. Перспективним напрямком розв'язання цієї проблеми є оптимізація пружних переміщень під час внутрішнього шліфування. Для цього необхідно виявити і аналітично описати закономірності зміни пружних переміщень у часі й на цій основі провести оптимізацію структури й параметрів внутрішнього шліфування за критерієм найменшого основного часу обробки з урахуванням обмеження по точності розміру оброблюваної поверхні, що допоможе обґрунтовано визначити оптимальні умови шліфування й забезпечити підвищення якості й продуктивності обробки. У роботі вирішується актуальне науково-практичне завдання підвищення ефективності фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів шахтних конвеєрів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 516 від 18.04.2006 р. “Державна програма розвитку машинобудування на період 2006-2011 р.р.” і тематичного плану робіт ВАТ Харківський машинобудівний завод “Світло шахтаря”. Здобувач брав участь у виконанні робіт як відповідальний виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення якості й продуктивності обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів на фінішних операціях за рахунок оптимізації їхньої структури й параметрів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні завдання:

- аналітично описати закономірності формування похибок обробки при шліфуванні по жорсткій і пружній схемах при дискретному й безперервному в часі характері знімання припуску;
- теоретично визначити найменший основний час обробки з урахуванням обмеження по точності розміру оброблюваної поверхні й зробити науково обґрунтований вибір оптимальної за структурою й параметрами операції шліфування;
- провести теоретичні дослідження умов виникнення й шляхів усунення коливань при шліфуванні;
- провести експериментальні дослідження основних технологічних параметрів шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів і оцінити вірогідність отриманих теоретичних рішень;
- розробити інженерну методику розрахунку оптимальних умов обробки на операціях шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь;

– розробити й впровадити у виробництво ефективні операції шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів приводів шахтних конвеєрів.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів.

Предмет дослідження – установлення закономірностей формування параметрів якості обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів на операціях шліфування й визначення оптимальних умов шліфування за критерієм найменшого основного часу обробки з урахуванням обмеження по точності розміру оброблюваної поверхні.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводилися з використанням методів, які базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, теорії різання матеріалів, опору матеріалів, теорії коливань, математичного аналізу, а також математичного моделювання. Експериментальні дослідження виконані із застосуванням профілографа-профілометра, твердоміра Роквелла, мікроскопа металографічного МІМ-8.

Наукова новизна одержаних результатів. 1. Набула подальшого розвитку математична модель визначення найменшого основного часу обробки з урахуванням обмеження по точності оброблюваної поверхні для різних схем шліфування при дискретному й безперервному в часі характері знімання припуску. Доведено, що при дискретному характері знімання припуску основний час обробки завжди більше й лише в умовах значної багатопрохідності при шліфуванні однаковий з основним часом обробки, який досягається при безперервному характері знімання припуску.

2. Вперше виявлена незначність зміни основного часу обробки в широкому діапазоні зміни уточнення (1,215...3,15) при дискретному характері знімання припуску, що дає змогу виконувати шліфування за кілька переходів, зменшуючи тим самим трудомісткість обробки при забезпеченні заданої точності оброблюваної поверхні.

3. Теоретично обґрунтовані умови підвищення точності й продуктивності обробки при внутрішньому шліфуванні з пониженою жорсткістю технологічної системи, складовими яких є зменшення енергоємності обробки, збільшення швидкості круга й здійснення знімання припуску шляхом періодичного створення в технологічній системі натягів, кратних величині припуску, що знімається.

4. Теоретично доведені переваги по продуктивності обробки схеми внутрішнього шліфування послідовними врізаннями – з радіальною подачею уступами – над схемою внутрішнього поздовжнього багатопрохідного шліфування у зв'язку з реалізацією збільшення швидкості обертання оброблюваної деталі в порівнянні зі швидкістю поздовжньої подачі.

5. Виявлені причини виникнення коливань при внутрішньому та плоскому шліфуванні, які пов'язані зі статично нерівноважним станом технологічної системи, і на цій основі обґрунтовані умови їхнього усунення за рахунок реалізації пружної схеми шліфування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці ефективних технологічних операцій фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів приводів шахтних конвеєрів, які дають змогу підвищити якість і продуктивність обробки й досягти світового рівня виробництва аналогічної машинобудівної продукції. Розроблені операції впроваджені в основне виробницт-

во ВАТ Харківський машинобудівний завод “Світло шахтаря” із загальним економічним ефектом 112338 гривень на рік. Результати теоретичних і експериментальних досліджень роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі “Техніка й технології” Харківського національного економічного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які представлені до захисту, отримані здобувачем самостійно. Постановка наукових завдань і обговорення результатів проводилися разом з науковим керівником. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: [1] – обґрунтування шляхів підвищення точності обробки деталей при шліфуванні; [2] – установлення зв'язку сили різання із шорсткістю поверхні при шліфуванні; [5] – аналітичний опис параметрів точності й продуктивності обробки й визначення шляхів їхнього підвищення; [6] – аналітичний опис коливань при шліфуванні й установлення умов їхнього усунення; [7] – уточнені залежності для розрахунку параметрів точності й продуктивності обробки при шліфуванні; [8] – теоретично встановлені умови підвищення точності й продуктивності обробки при шліфуванні; [9] – експериментальне підтвердження вірогідності теоретичних рішень; [11] – аналітичні залежності для визначення похибок обробки при шліфуванні; [14] – конструкція пристрою для натягування ланцюга скребкового конвеєра.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на XIV – XVI Міжнародних науково-технічних конференціях “Фізичні й комп'ютерні технології”, м. Харків, 2008 – 2010 р.р.; XVII Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, м. Харків, 2009 р.; науково-технічній конференції “Нові й нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні”, м. Одеса, 2009 р.; VI, VII Міжнародних науково-технічних конференціях “Сучасні інструментальні системи, інформаційні технології та інновації”, м. Курськ, Росія, 2008, 2010 р.р.; I Міжнародній науково-практичній конференції “Інновації, якість і сервіс у техніці й технологіях”, м. Курськ, Росія, 2009 р.; Міжнародній науково-технічній конференції “Актуальні проблеми сучасної промислової безпеки та екології”, м. Курськ, Росія, 2010 р. Роботу в повному обсязі заслухано та схвалено на науково-технічному семінарі в ВАТ Харківський машинобудівний завод “Світло шахтаря” (2010 р.) та на розширеному науковому семінарі кафедри “Технологія машинобудування” Одеського національного політехнічного університету (2011 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць, зокрема 9 наукових праць – у виданнях, затверджених ВАК України, отримано один патент України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи містить 195 сторінок, у тому числі 132 сторінки основного тексту, 88 рисунків на 42 сторінках і 29 таблиць за текстом. Список використаних джерел складає 152 найменування на 17 сторінках та 2 додатки на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику роботи, у котрій обґрунтовано

актуальність, новизну та практичне значення отриманих результатів, сформульовано мету і завдання досліджень. Наведено особистий внесок здобувача у виконану роботу й результати апробації дисертації.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технологій шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів шахтних конвеєрів і указані їхні основні недоліки, які полягають головним чином у високій трудомісткості забезпечення необхідних показників точності обробки у зв'язку з низькою жорсткістю елементів технологічної системи при внутрішньому шліфуванні й виникненням значних пружних переміщень. Зроблено висновок про можливість підвищення ефективності обробки за рахунок науково обґрунтованого вибору оптимальної за структурою й параметрами операції внутрішнього шліфування деталей редукторів на основі критерію найменшого основного часу обробки з урахуванням обмеження по точності розміру оброблюваної поверхні, обумовленого виникаючими в технологічній системі пружними переміщеннями.

Проведено аналіз опублікованих у науково-технічній літературі результатів теоретичних і експериментальних досліджень закономірностей формування похибок обробки при шліфуванні, обумовлених пружними переміщеннями, які виникають у технологічній системі. Показано, що на поточний час склалося досить повне уявлення про технологічні можливості й шляхи зменшення пружних переміщень у технологічній системі й відповідно похибок обробки, розроблено теоретичний підхід до визначення найменшого основного часу обробки з урахуванням вимог до параметрів точності оброблюваної поверхні. Показано також, що отримані теоретичні рішення базуються на спрощеному (лінійному) поданні пружних переміщень залежно від часу обробки, тоді як дана закономірність підкоряється більш складній нелінійній залежності. Безсумнівно, це визначає існування нових технологічних можливостей внутрішнього шліфування в плані підвищення точності й продуктивності обробки, що вимагає їхнього подальшого пошуку на основі розробки нового теоретичного підходу до оптимізації структури й параметрів операцій шліфування з урахуванням нелінійності залежності пружних переміщень від часу обробки.

Відзначається, що урахування нелінійності залежності пружних переміщень від часу обробки в балансі переміщень у технологічній системі дає можливість по-новому підійти до встановлення закономірностей виникнення й умов усунення коливань у технологічній системі, зменшуючи, таким чином, похибки обробки й збільшуючи продуктивність процесу. Це робить можливим розробку й впровадження ефективної операції фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів приводів шахтних конвеєрів. На підставі проведеного аналізу сформульовані мета й завдання дослідження, наведені вище.

У другому розділі аналітично визначені умови підвищення точності й продуктивності обробки для спрощеної схеми шліфування деталі, яка рухається по нормалі до робочої поверхні круга з постійною швидкістю V_0 . За основу рішення прийнято теоретичні розробки Новікова Ф.В. і Ковальчука О.М. по визначенню величини пружного переміщення y , яке виникає в технологічній системі. Використовуючи рівняння балансу переміщень у системі $V_0 \cdot \tau = \int_0^{\tau} V(\tau) \cdot d\tau + y$, яке мо-

жна записати диференціальним рівнянням $B \cdot V'(\tau) + V(\tau) = V_0$, і розв'язуючи його для початкової умови $y(\tau = 0) = y_0$, визначена величина y :

$$y = y_{cm} + (y_0 - y_{cm}) \cdot e^{-\frac{\Pi}{y_{cm}} \tau} = y_{cm} + (y_0 - y_{cm}) \cdot e^{-\frac{1}{B} \tau}, \quad (1)$$

де $V(\tau)$ – лінійна швидкість знімання припуску, м/с; τ – час обробки, с; y_0 – початковий натяг у технологічній системі, м; $e=2,72$; Π – припуск, що знімається, м; $y_{cm} = B \cdot V_0$ – величина пружного переміщення в сталому процесі шліфування, м;

$B = \frac{\sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot F$ – постійна часу утворення пружного переміщення в технологічній системі, с; σ – умовне напруження різання, Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коефіцієнт шліфування; P_z, P_y – тангенціальна й радіальна складові сили різання, Н; c – жорсткість технологічної системи в радіальному напрямку, Н/м; $V_{кр}$ – швидкість обертання круга, м/с; F – площа поперечного перерізу оброблюваної деталі, м².

Залежність (1) для $y_0 = 0$ є основою для визначення найменшого основного часу обробки τ з урахуванням обмеження по точності розміру оброблюваної поверхні на операції шліфування з дискретно змінюваною по переходах швидкістю переміщення деталі. При шліфуванні у два переходи τ обчислюється

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{\Pi}{V_1} + \frac{y_1}{V_2} = B \cdot \left(\frac{\Pi}{y_{cm1}} + \frac{y_1}{y_{cm2}} \right), \quad (2)$$

де $\tau_1, \tau_2; V_1, V_2; y_{cm1} = B \cdot V_1, y_{cm2} = B \cdot V_2; y_1$ – відповідно основний час обробки поверхні деталі (с), швидкість переміщення деталі (м/с), пружні переміщення (м) на першому (1) та на другому (2) переходах.

Застосовуючи уточнення на 1-ому переході $\varepsilon_1 = \frac{\Pi}{y_1} = \frac{\tau_1}{B \cdot (1 - e^{-\tau_1/B})}$ і на 2-ому переході $\varepsilon_2 = \frac{y_1}{y_2} = \frac{\tau_2}{B \cdot (1 - e^{-\tau_2/B})}$, з урахуванням сумарного уточнення $\varepsilon_{сум} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2$ і залежності (2), отримано рівняння для визначення основного часу обробки τ :

$$\varepsilon_{сум} \cdot \left[1 - e^{-\frac{(\tau - \tau_1)}{B}} - e^{-\frac{\tau_1}{B}} + e^{-\frac{\tau}{B}} \right] = \frac{1}{B^2} \cdot (\tau \cdot \tau_1 - \tau_1^2), \quad (3)$$

де y_2 – пружне переміщення, яке виникає в технологічній системі на другому переході й визначає точність розміру оброблюваної поверхні, м.

При наявності екстремуму (мінімуму) функції $\tau = f(\tau_1)$ залежність (3) набуває вигляду:

$$\varepsilon_{сум} \cdot \left[-e^{-\frac{(\tau - \tau_1)}{B}} + e^{-\frac{\tau_1}{B}} \right] = \frac{1}{B} \cdot (\tau - 2 \cdot \tau_1). \quad (4)$$

Маємо рішення: $\tau = 2 \cdot \tau_1$, відповідно $\tau_1 = \tau_2$. Звідки $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$, $\varepsilon_{\text{сум}} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 = \varepsilon^2$ і рівняння (4) приймає вид

$$\varepsilon_{\text{сум}} = \frac{\tau_1^2}{B^2 \cdot (1 - e^{-\tau_1/B})^2}. \quad (5)$$

Для $\varepsilon_{\text{сум}} = 5,376$ і відповідно $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon = 2,319$ із (5) визначені екстремальні (мінімальні) значення відносних величин: $\tau_1/B = \tau_2/B = 2$; $\tau/B = 4$, а із (2) – екстремальне значення відношення $\Pi / y_{\text{см1}} = 2$ (рис. 1,а).

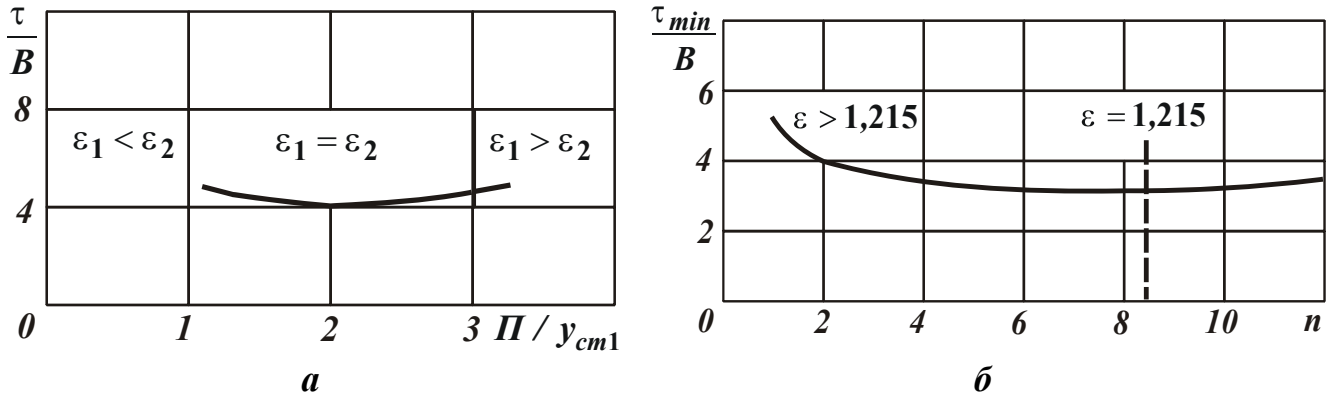


Рис. 1. Залежності відносної величини τ/B від відношення $\Pi / y_{\text{см1}}$ (а) та відносної величини τ_{min}/B від кількості переходів n (б)

Таким же чином визначається відносна величина τ/B при шліфуванні в три й більше переходів. Загальним рішенням є те, що мінімум τ/B досягається при одній і тій же тривалості переходів і одних значеннях уточнення на кожному переході, тобто $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \dots = \varepsilon_n = \varepsilon$; $\varepsilon_{\text{сум}} = \varepsilon_1^n = \varepsilon^n$. Зі збільшенням кількості переходів n відносна величина τ_1/B зменшується, а τ/B змінюється по екстремальній залежності, досягаючи мінімуму при $n=8$ (для $\varepsilon_{\text{сум}} = 5,376$, табл. 1, рис. 1,б).

Таблиця 1

Розрахункові значення ε , τ_1/B і τ/B

n	1	2	3	4	5	6	8	10	12
ε	5,376	2,319	1,75	1,52	1,4	1,32	1,235	1,18	1,15
τ_1/B	5,3	2	1,25	0,91	0,72	0,58	0,435	0,35	0,3
τ/B	5,3	4	3,75	3,64	3,6	3,48	3,47	3,5	3,6

Найменший основний час обробки τ_{min} при шліфуванні в n переходів з урахуванням залежності (1) для $y_0 = 0$ й $y_1 = y$; $x = \Pi / y_{\text{см1}}$ обчислюється за формулою

$$\tau_{\text{min}} = B \cdot n \cdot \frac{\Pi}{y_{\text{см1}}} = B \cdot \frac{\ln \varepsilon_{\text{сум}}}{\ln \frac{\Pi}{y_1}} \cdot \frac{\Pi}{y_{\text{см1}}} = B \cdot \frac{\ln \varepsilon_{\text{сум}}}{\ln \left[\frac{x}{(1 - e^{-x})} \right]} \cdot x. \quad (6)$$

Величина x неоднозначно впливає на τ_{min} . Визначаючи екстремум функції τ_{min} від величини x , отримано рівняння:

$$\ln \left[\frac{x}{(1 - e^{-x})} \right] = 1 - \frac{x \cdot e^{-x}}{(1 - e^{-x})}. \quad (7)$$

Розрахунками одержано: $x = \Pi / y_{cm1} = 0,4$; $y_1 / y_{cm1} = 0,329$. Оптимальне уточнення на переході дорівнює $\varepsilon = \Pi / y_1 = 1,215$, а сумарне уточнення – $\varepsilon_{сум} = 1,215^n$. Для сумарного уточнення $\varepsilon_{сум} = 5,376$ мінімум $\tau_{min} = 0,4 \cdot n \cdot B = 3,2 \cdot B$, де $n = \frac{\ln \varepsilon_{сум}}{\ln \varepsilon} = \frac{\ln 5,376}{\ln 1,215} = \frac{0,68}{0,2} = 8,4$. Значення $\tau_{min} = 3,2 \cdot B$ несуттєво відрізняється від значення $\tau_{min} = 4 \cdot B$, отриманого при $n=2$ і $\varepsilon=2,32$ (рис. 1,б). Отже, майже з однаковою продуктивністю обробки можна шліфування вести в діапазоні $n=2...8$, тобто при зміні уточнення ε в межах $1,215...2,32$.

Для сумарного уточнення $\varepsilon_{сум} = 100$ екстремальна кількість переходів дорівнює $n = \frac{\ln \varepsilon_{сум}}{\ln \varepsilon} = \frac{\ln 100}{\ln 1,215} = 23$, а $\tau_{min} = 0,4 \cdot 23 \cdot B = 9,2 \cdot B$. Розрахунками встановлено, що при $n=4...23$ відносна величина τ / B змінюється несуттєво (у межах $9,2...12$). Тому практично з мінімальним основним часом обробки можна здійснювати шліфування при $n=4...5$ (тобто при $\varepsilon=2,5...3,15$), оскільки подальше збільшення n не дає відчутного ефекту зниження τ / B . Таким чином, враховуючи нелінійність функції $V(\tau)$ в залежності $y = B \cdot V(\tau)$, виконано уточнений розрахунок найменшого основного часу обробки з урахуванням обмеження по точності розміру оброблюваної поверхні при врізному шліфуванні за жорсткою схемою з дискретно змінюваним в часі характером контакту круга з деталлю.

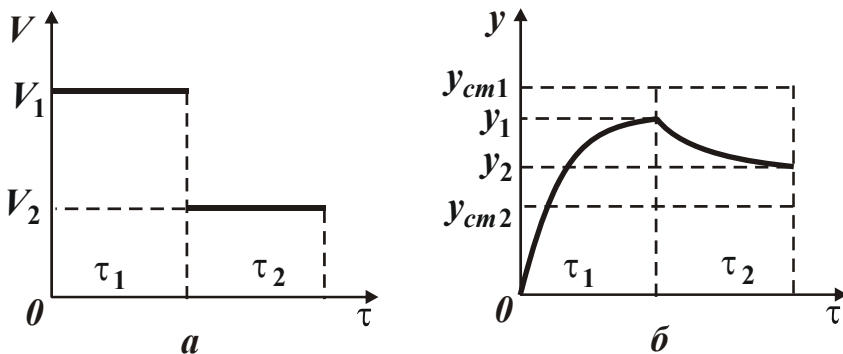


Рис. 2. Характер зміни швидкості V (а) і пружнього переміщення y (б) з часом обробки τ

Для порівняння в роботі отримані аналогічні рішення відносно врізного шліфування за жорсткою схемою з постійним контактом круга з деталлю. Основний час обробки τ на операції шліфування у два переходи (рис. 2) при зніманні припусків Π_1 і Π_2

$$\tau = \frac{\Pi_1}{V_1} + \frac{\Pi_2}{V_2} = B \cdot \left(\frac{\Pi_1}{y_{cm1}} + \frac{\Pi_2}{y_{cm2}} \right). \quad (8)$$

Тут параметри V_1, V_2 й відповідно $y_{cm1} = B \cdot V_1$, $y_{cm2} = B \cdot V_2$ – невідомі. Виразимо залежність (8) відносно y_{cm1} й підставимо отриманий вираз в (1), приймаючи на першому переході $y = y_1$; $y_0 = 0$; $y_{cm} = y_{cm1}$:

$$y_1 = \frac{\Pi_1}{\left(\frac{\tau}{B} + \frac{\Pi_2}{y_{cm2}}\right)} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\tau}{B} + \frac{\Pi_2}{y_{cm2}}\right)} \right]. \quad (9)$$

Потім підставимо залежність (9) в (1), приймаючи на другому переході $y = y_2$; $y_0 = y_1$; $y_{cm} = y_{cm2}$:

$$y_2 = y_{cm2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Pi_2}{y_{cm2}}} \right) + \frac{\Pi_1}{\left(\frac{\tau}{B} - \frac{\Pi_2}{y_{cm2}}\right)} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\tau}{B} - \frac{\Pi_2}{y_{cm2}}\right)} \right] \cdot e^{-\frac{\Pi_2}{y_{cm2}}}. \quad (10)$$

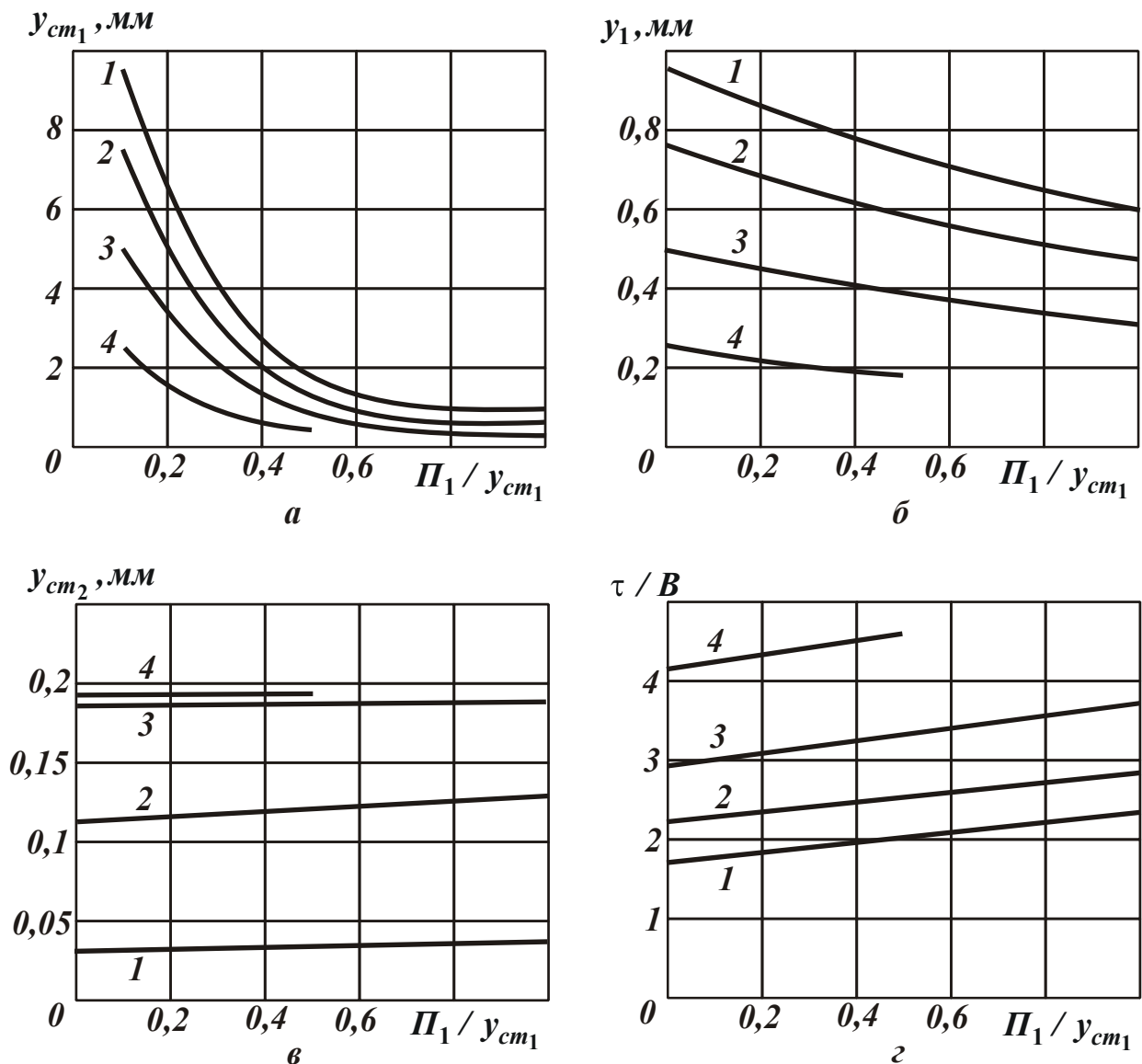


Рис. 3. Залежності параметрів y_{cm1} (а), y_1 (б), y_{cm2} (в) і τ/B (г) від відношення Π_1/y_{cm1} : 1 – $\Pi_1=0,95$ мм; $\Pi_2=0,05$ мм; 2 – $\Pi_1=0,75$ мм; $\Pi_2=0,25$ мм; 3 – $\Pi_1=\Pi_2=0,5$ мм; 4 – $\Pi_1=0,25$ мм; $\Pi_2=0,75$ мм ($\Pi=1$ мм і $y_2=0,186$ мм)

Рівняння (9) і (10) містять лише дві невідомі величини y_{cm2} й τ/B , тому що параметри y_1 й y_{cm1} визначаються на основі залежності (1), розглядаючи $y = y_1$; $y_0 = 0$; $y_{cm} = y_{cm1}$ (рис. 3,а, рис. 3,б). Задаючи y_2 , Π , Π_1 і $\Pi_2 = \Pi - \Pi_1$, на основі рівнянь (9) і (10) можна розрахувати значення y_{cm2} і τ/B (рис. 3,в, рис. 3,г). Як видно, зі збільшенням Π_1 відносна величина τ/B зменшується, досягаючи мінімального значення за умови $\Pi_1 = \Pi$, тобто, коли знімання припуску й формування точності обробки відбувається на другому переході. Перший перехід служить лише для створення в системі пружного переміщення (початкового натягу) величиною $y_1 = \Pi$. Це вказує на ефективність застосування пружної схеми шліфування з початковим натягом у технологічній системі, рівним (1 схема на рис. 4) або кратним (2 схема на рис. 4) величині знятого припуску. При шліфуванні у два переходи, що включає перехід шліфування за жорсткою схемою й перехід шліфування за пружною схемою з початковим натягом у технологічній системі, значно меншим величини знятого припуску (3 схема на рис. 4), відносна величина τ/B й відповідно основний час обробки τ приймають більші значення. Установлено також, що значення τ/B при шліфуванні з постійним у часі контактом круга з деталлю (рис. 4) менше, ніж при дискретному контакті (рис. 1).

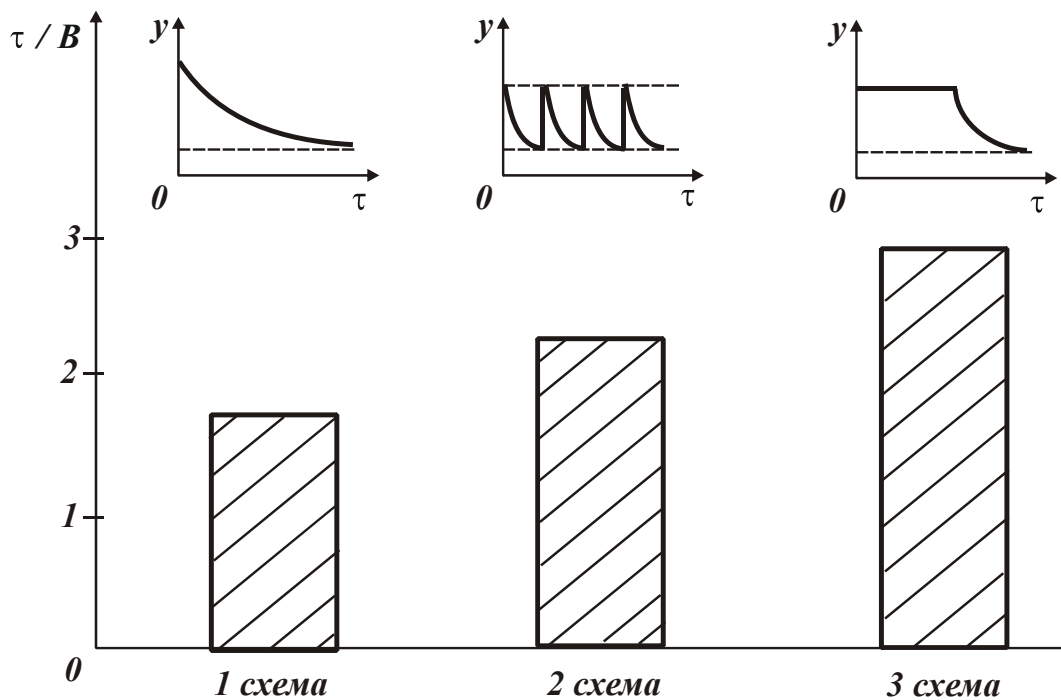


Рис. 4. Діаграма розподілу значень відносної величини τ/B для трьох схем шліфування

У третьому розділі аналітично виявлені умови підвищення точності й продуктивності обробки при внутрішньому шліфуванні. Аналітично визначена величина y при шліфуванні за пружною схемою з початковим натягом у технологічній системі (тобто за схемою виходжування) двома шляхами: на основі інтегрування і простого підсумовування фактичної глибини шліфування по проходах круга:

$$y = y_0 \cdot e^{-\frac{n}{B_1}} ; \tag{11}$$

$$y = y_0 \cdot \varepsilon^{-n}, \tag{12}$$

де $\varepsilon = 1 + \frac{1}{B_1}$ – уточнення на проході; $B_1 = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{дет}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$ – безрозмірний параметр;

H – ширина шліфування (висота круга), м; $V_{дет}$ – швидкість переміщення деталі, м/с; n – кількість проходів круга; y_0 – початковий натяг у технологічній системі, м.

Встановлено, що значення y , розраховані по залежності (11), завжди менші, ніж по залежності (12). Причому, для $B_1 \leq 1$ відхилення значень y збільшується. Доведено, що залежність (12) точніше відображає закономірності формування пружних переміщень у технологічній системі й тому на її основі зроблено розрахунок основного часу обробки $\tau = n \cdot L / V_{дет}$, де L – довжина повздовжнього ходу круга, м. Встановлено, що зі збільшенням кількості проходів круга $n \rightarrow \infty$ й відповідно швидкості переміщення деталі $V_{дет} \rightarrow \infty$ основний час обробки τ безупинно зменшується, асимптотично наближаючись до найменшого значення

$$\tau_{min} = \frac{\sigma \cdot F}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \ln \frac{y_0}{y} . \tag{13}$$

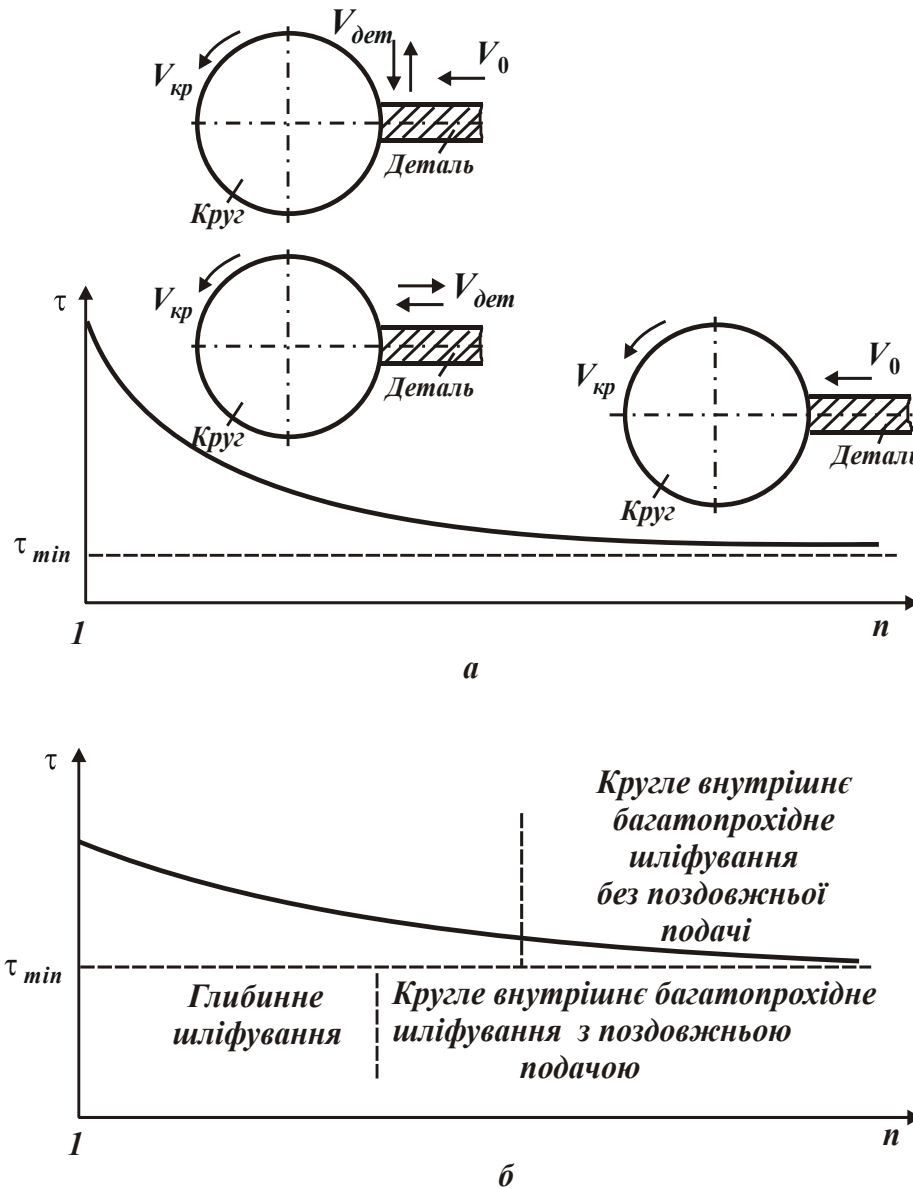


Рис. 5. Характер зміни основного часу обробки τ від кількості проходів круга n при шліфуванні за пружною схемою з початковим натягом у технологічній системі деталі (а) і при круглому внутрішньому шліфуванні (б)

безупинно зменшується, асимптотично наближаючись до найменшого значення

Таке ж значення основного часу обробки $\tau = n \cdot L / V_{dem}$ встановлено на основі залежностей (11) і (1) за умови $y_{cm}=0$. Це вказує на те, що пружна схема шліфування з початковим натягом у технологічній системі й з безперервним у часі зніманням припуску дозволяє реалізувати найменший основний час обробки τ (рис. 5,а). Пружна схема шліфування з дискретним у часі зніманням припуску характеризуються більш високим основним часом обробки τ .

Залежність (13) справедлива при круглому внутрішньому шліфуванні як з поздовжньою, так і без поздовжньої подачі. У першому випадку параметр F визначає всю площу оброблюваної поверхні отвору $F = \pi \cdot D_{dem} \cdot l$, а в другому випадку – лише частину площі $F = \pi \cdot D_{dem} \cdot H$ (D_{dem} , l – відповідно діаметр і довжина оброблюваного отвору, м). Оскільки на верстаті можна реалізувати значно високі значення швидкості обертання деталі V_{dem} в порівнянні зі швидкістю поздовжньої подачі $S_{позд}$, то, виходячи з отриманого рішення, при круглому внутрішньому шліфуванні без поздовжньої подачі можна домогтися менших значень τ (рис. 5,б). В цьому полягає ефективність застосування схеми круглого внутрішнього шліфування послідовними врізаннями – з радіальною подачею уступами.

Залежність (13) дає можливість визначити умови зменшення основного часу обробки τ при круглому внутрішньому шліфуванні з низькою жорсткістю технологічної системи. Умови реалізації: зменшення умовного напруження різання σ , збільшення швидкості обертання круга $V_{кр}$ і обробка поверхні за пружною схемою шліфування з початковим натягом у технологічній системі y_0 , кратним величині знятого припуску P .

Установлено, що від залежностей (11) і (12), справедливих для пружної схеми шліфування з початковим натягом у технологічній системі, можна перейти до залежностей для визначення величини пружного переміщення y при шліфуванні за жорсткою схемою:

$$y = y_{cm} \cdot (1 - e^{-\frac{n}{B_1}}) ; \quad (14)$$

$$y = y_{cm} \cdot (1 - \varepsilon^{-n}), \quad (15)$$

де $y_{cm} = B_1 \cdot t$ – величина пружного переміщення, що виникає в сталому процесі шліфування, м.

У цьому випадку основний час обробки τ , який характеризує перехідний процес при шліфуванні за жорсткою схемою, такий же, як і при шліфуванні за пружною схемою з початковим натягом у технологічній системі, і описується залежністю (13). У зв'язку із цим, підвищити ефективність обробки в даних умовах можна за рахунок створення в технологічній системі натягу, рівного величині y_{cm} , виключаючи перехідний процес із технологічного циклу обробки деталі. Це досягається застосуванням пружної схеми багатопрхідного шліфування з фіксованим радіальним зусиллям.

У роботі аналітично обґрунтовані умови виникнення й шляхи усунення коливань при шліфуванні. Запропоновано рівняння коливань приведеної маси m

від дії радіальної складової сили різання $P_y = \frac{\sigma \cdot Q(\tau)}{K_{ш} \cdot V_{кр}}$, сили пружності системи $-c \cdot y$ і сили опору $-k_1 \cdot \dot{y}$ з урахуванням балансу переміщень у технологічній системі, де $Q(\tau)$ – фактична продуктивність обробки, м³/с; k_1 – коефіцієнт опору.

При шліфуванні деталі, що рухається по нормалі до робочої поверхні круга зі швидкістю V_0 , рівняння коливань із урахуванням співвідношень $Q(\tau) = F \cdot V(\tau)$ і $V(\tau) = V_0 - \dot{y}$ та їх рішення для початкових умов $y(\tau = 0) = 0$ і $\dot{y}(\tau = 0) = V_0$ приймають вид:

$$\ddot{y} + \frac{(k_1 + c \cdot B)}{m} \cdot \dot{y} + \frac{c}{m} \cdot y = \frac{c}{m} \cdot B \cdot V_0; \quad (15)$$

$$y = y_{cm} \cdot \left[1 - e^{-\alpha \cdot \tau} \cdot \left(\cos \beta \tau - \frac{(1 - \alpha \cdot B)}{\beta \cdot B} \cdot \sin \beta \tau \right) \right], \quad (16)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{(k_1 + c \cdot B)}{2m}; \quad \beta = \sqrt{\frac{c}{m} - \frac{(k_1 + c \cdot B)^2}{4m^2}}; \quad B = \frac{\sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot F; \quad y_{cm} = B \cdot V_0.$$

Аналіз залежності (16) показує, що приведена маса m виконує загасаючі коливання. Щоб виключити коливання в технологічній системі в початковий момент обробки й забезпечити стабільне протікання процесу шліфування, необхідно домогтися від'ємного значення підкореневого вираження параметра β . Це досягається за рахунок збільшення $c \cdot B$. Отже, реалізація статично несталого в часі процесу шліфування ($V(\tau) < V_0$) сприяє підвищенню сили опору в системі й зниженню рівня коливань.

При шліфуванні з дискретно змінюваною в часі швидкістю переміщення деталі (при багатопрохідному внутрішньому й плоскому шліфуванні) рівняння коливань із урахуванням $Q = H \cdot V_{дем} \cdot t_{\phi}$ і $t_{\phi} = t - y$ і його рішення для початкових умов $y(\tau = 0) = 0$; $\dot{y}(\tau = 0) = 0$ приймають вид

$$\ddot{y} + \frac{k_1}{m} \cdot \dot{y} + \left(\frac{c}{m} + \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{дем}}{K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot m} \right) \cdot y = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{дем} \cdot t}{K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot m}; \quad (17)$$

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot H \cdot V_{дем}} \right)} \cdot \left[1 - e^{-\alpha \cdot \tau} \cdot \left(\cos \beta \tau - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \sin \beta \tau \right) \right], \quad (18)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{k_1}{2m}; \quad \beta = \sqrt{\frac{c}{m} (1 + B_1) - \frac{k_1^2}{4m^2}}; \quad B_1 = \frac{\sigma \cdot H \cdot V_{дем}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}.$$

Залежність (18) описує характер зміни в часі амплітуди загасаючих коливань. Для виключення коливань у початковий момент обробки необхідно забезпечити від'ємне значення підкореневого вираження параметра β шляхом зменшення безрозмірного параметра B_1 за рахунок реалізації статично сталого в часі процесу шліфування, коли фактична й номінальна глибини шліфування рівні. Це досягається створенням у системі статично рівноважного стану, при якому $P_y = c \cdot y$, наприклад, при шліфуванні за пружною схемою з фіксованим радіальним зусиллям

P_y або при виходжуванні (рис. 6). Показано, що при переміщенні оброблюваної деталі по нормалі до робочої поверхні круга ймовірність усунення коливань у технологічній системі більша, ніж при переміщенні оброблюваної деталі по дотичній до робочої поверхні круга.

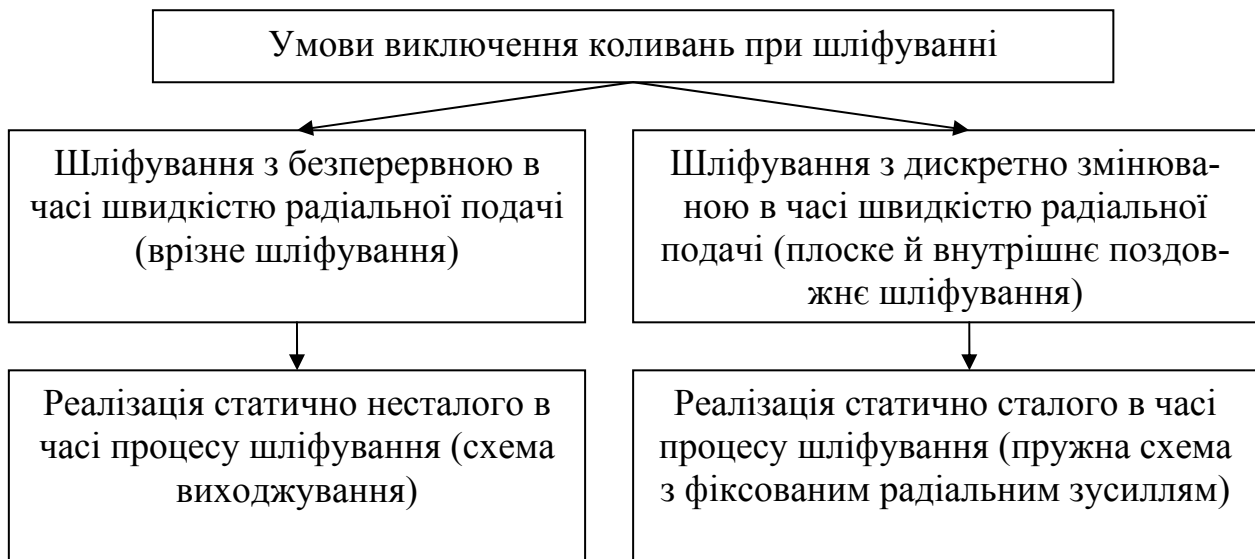


Рис. 6. Структурна схема умов виключення коливань при шліфуванні

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень, розробки й впровадження у виробництво ефективних операцій фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів приводів шахтних конвеєрів. Для цього оброблялися отвори діаметром 100 мм і висотою 150 мм сателітів редуктора зі сталі 18ХГН2МФБ твердістю $HRC\ 57\text{...}63$ абразивним кругом 100x20x62 25А 25 СМ1 8 із режимом шліфування: $V_{кр} = 35$ м/с; $V_{дет} = 30$ м/хв; $S_{прод} = 1,5$ м/хв; тривалість поздовжнього ходу круга 7 с.

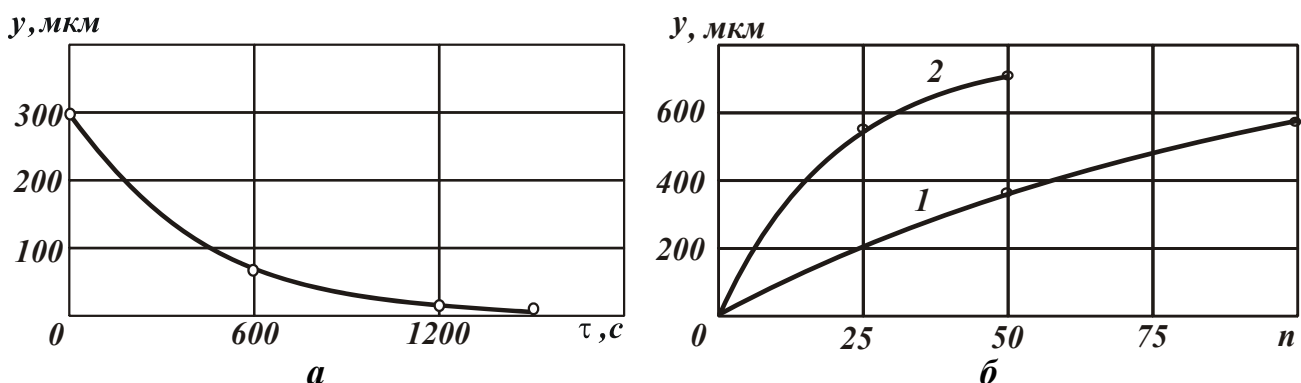


Рис. 7. Залежності пружного переміщення y від часу обробки τ при виходжуванні (а) і від кількості проходів круга n при шліфуванні за жорсткою схемою (б): 1 – $t=0,01$ мм; 2 – $t=0,02$ мм

Експериментально встановлено (рис. 7), що утворення пружних переміщень у технологічній системі при шліфуванні узгоджується з аналітичними залежностями. При цьому параметри B і B_1 не залежать від часу обробки й при внутрішньому

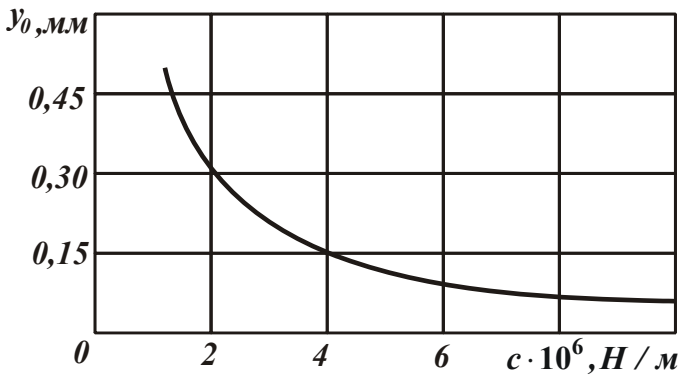


Рис. 8. Залежність граничних значень початкових натягів y_0 від жорсткості технологічної системи c

умовах весь припуск доцільно знімати за пружною схемою шліфування з початковим натягом (рис. 8), рівним або кратним величині припуску, що знімається (тобто за схемою виходжування з відключеною радіальною подачею).

Експериментально встановлено, що при зніманні припуску 0,5 мм на сторону обробку ефективно виконувати в 3 переходи за пружною схемою шліфування створенням в технологічній системі початкових натягів на кожному переході, рівних відповідно 0,25 мм, 0,25 мм, 0,02 мм. У цьому випадку продуктивність обробки збільшується до 2 разів і забезпечуються вимоги по точності розміру (у межах 10 мкм) і шорсткості ($R_a < 0,63$ мкм) оброблюваної поверхні, фактично виключаються коливання в системі. На оброблених поверхнях відсутні припикання й мікротріщини. На 30 % знижуються витрати абразивних кругів у зв'язку зі зменшенням їхнього зношування. Експериментально встановлено, що застосування нового варіанта обробки дозволяє до 2 разів зменшити час охолодження оброблюваної деталі після шліфування (яке здійснюється без знімання нагрітої деталі з верстата) з метою усунення її термопружних деформацій і підвищення точності обробки. Це узгоджується з теоретичними рішеннями, виходячи з яких кількість

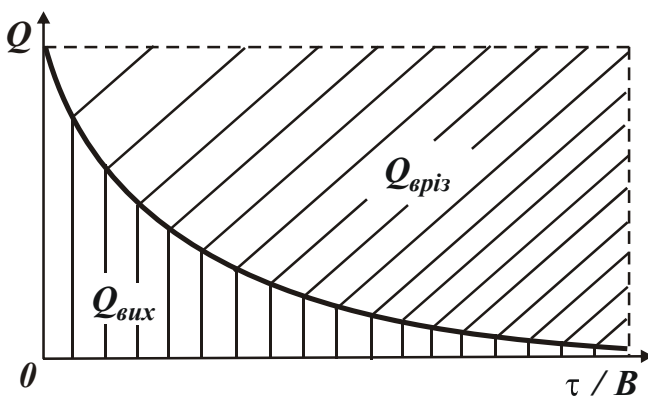


Рис 9. Залежність кількості виділяемого тепла $Q_{вих}$ при виходжуванні і $Q_{вріз}$ при врізному шліфуванні від відносної величини τ / B

тепла $Q_{вих}$ (рис. 9), що виділяється при шліфуванні за схемою виходжування, до 3-х разів менше, ніж при врізному шліфуванні за жорсткою схемою ($Q_{вріз}$). Причому, зі збільшенням відносної величини τ / B відношення $Q_{вих} / Q_{вріз}$ зменшується.

На основі отриманих результатів розроблені ефективні технологічні операції фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів приводів шахтних конвеєрів, які підвищують точність і продуктивність обробки й стабільно забезпечу-

ють вимоги по точності і якості оброблюваних поверхонь. Економічний ефект від впровадження в основне виробництво ВАТ Харківський машинобудівний завод "Світло шахтаря" розроблених операцій склав 112338 гривень на рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі отриманих нових результатів вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення якості й продуктивності обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів на фінішних операціях шляхом оптимізації їхньої структури й параметрів.

1. Теоретично обґрунтовані закономірності формування похибок обробки поверхонь деталей редукторів, обумовлених пружними переміщеннями в технологічній системі, для різних схем шліфування, включаючи жорстку, пружну й схему виходжування при дискретному й безперервному в часі характері знімання припуску. На цій основі визначені умови зменшення основного часу обробки при заданій точності оброблюваної поверхні, які обумовлені переходом від дискретного до безперервного характеру знімання припуску.

2. Встановлено мінімальний основний час обробки в залежності від кількості переходів при шліфуванні з дискретним характером знімання припуску. При цьому доведена незначимість зміни основного часу обробки в широкому діапазоні зміни уточнення ($\varepsilon=1,215\dots3,150$), внаслідок чого можна виконувати шліфування за чотири-п'ять переходів, зменшуючи трудомісткість обробки при забезпеченні необхідної (заданої) точності оброблюваної поверхні.

3. Теоретично обґрунтовані умови підвищення точності й продуктивності обробки при внутрішньому шліфуванні з пониженою жорсткістю технологічної системи. Вони полягають у зменшенні енергоємності обробки, збільшенні швидкості обертання круга й зніманні припуску за пружною схемою шліфування з початковим натягом, рівним або кратним величині знятого припуску, тобто за схемою виходжування з відключеною радіальною подачею.

4. Доведено, що зменшити основний час обробки при внутрішньому шліфуванні за пружною схемою з початковим натягом, рівним або кратним величині знятого припуску, можна за рахунок суттєвого збільшення швидкості обертання оброблюваної деталі або швидкості поздовжньої подачі. У зв'язку із цим теоретично обґрунтована ефективність застосування схеми внутрішнього шліфування послідовними врізаннями – з радіальною подачею уступами, – яка по продуктивності перевершує в два-три рази схему внутрішнього поздовжнього багатопрохідного шліфування. Це пов'язано з можливістю реалізації значно високих значень швидкості обертання оброблюваної деталі в порівнянні зі значеннями швидкості поздовжньої подачі.

5. Аналітично описані умови виникнення й шляхи усунення коливань при шліфуванні. Доведено, що при багатопрохідному шліфуванні за жорсткою схемою виникнення коливань пов'язано зі статично несталим у часі процесом шліфування, коли фактична глибина шліфування менша номінальної глибини шліфування. Показано, що реалізувати умову рівності фактичної й номінальної глибин шліфування й таким чином усунути виникнення коливань у технологічній системі мож-

на шляхом застосування шліфування за пружною схемою з фіксованим радіальним зусиллям і схемою виходжування.

6. Експериментально встановлено, що пружні переміщення у технологічній системі при внутрішньому шліфуванні узгоджуються з аналітичними залежностями, описуваними експонентними функціями. Параметр B_1 , який є в усіх залежностях для визначення величини пружного переміщення, не залежить від часу обробки. Доведено, що при внутрішньому шліфуванні цей параметр до 100 разів більший, ніж при круглому зовнішньому і плоскому шліфуванні у зв'язку з відносно низькою жорсткістю технологічної системи при внутрішньому шліфуванні.

7. Експериментально встановлено, що при внутрішньому поздовжньому шліфуванні за жорсткою схемою деталей редукторів величина пружного переміщення із часом обробки необмежено збільшується, що вимагає періодичного застосування процесу виходжування і значно знижує продуктивність обробки. Тому в даних умовах доцільно знімання припуску виконувати за пружною схемою шліфування шляхом періодичного створення в технологічній системі початкових натягів, кратних величині припуску, що знімається.

8. Експериментально встановлено, що при зніманні припуску 0,5 мм на сторону при шліфуванні внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів приводів шахтних конвеєрів обробку ефективно виконувати в три переходи шляхом створення в системі початкових натягів на кожному переході, відповідно 0,25 мм, 0,25 мм, 0,02 мм. При цьому продуктивність обробки збільшується до двох разів і забезпечуються вимоги по якості, точності розміру (у межах 10 мкм) і шорсткості ($R_a < 0,63$ мкм) оброблюваної поверхні. Майже у два рази скорочується час на охолодження оброблюваної деталі після шліфування без її знімання з верстата для усунення термопружних деформацій і підвищення точності обробки.

9. Економічний ефект від впровадження в основне виробництво ВАТ Харківський машинобудівний завод "Світло шахтаря" розроблених операцій фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів приводів шахтних конвеєрів склав 112338 гривень на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ковальчук А.Н. Повышение долговечности деталей шахтных редукторов / А.Н. Ковальчук, Р.А. Бережной, А.В. Черненко // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2009. – Вип. 80. – С. 143-148.

2. Ковальчук А.Н. Расчет и анализ шероховатости поверхности при алмазном шлифовании / А.Н. Ковальчук, Р.А. Бережной, В.В. Нежебовский // Вісн. НТУ "ХПІ". Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 2. – С. 60-67.

3. Бережной Р.А. Оптимизация структуры и параметров процесса съема припуска при плоском шлифовании, включающем этап выхаживания / Р.А. Бережной // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – Вып. 76. – С. 9-14.

4. Бережной Р.А. Повышение точности и производительности обработки на этапе выхаживания при шлифовании / Р.А. Бережной // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Серія: машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009. – Вип. 6 (154). – С. 14-19.

5. Новиков Ф.В. Повышение точности и производительности механической обработки / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2009. – Вип. 81. – С. 29-38.

6. Новиков Ф.В. Исследование условий возникновения и путей устранения колебаний при шлифовании / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь. – 2009. – Вып. 11. – С. 264-270.

7. Новиков Ф.В. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования плоских и внутренних цилиндрических поверхностей деталей / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной // Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 101. – С. 28-39.

8. Новиков Ф.В. Выбор оптимального варианта операции шлифования по критериям производительности и точности обработки / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь. – 2010. – Вып.12. – С. 140-147.

9. Новиков Ф.В. Интенсификация финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей зубчатых колес / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной, С.А. Дитиненко, Е.И. Иванов // Вісн. НТУ “ХПІ”. Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2010. – № 53. – С. 68-75.

10. Бережной Р.А. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования по критерию точности обработки / Р.А. Бережной // Труды 15-й Междунар. науч.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2009. – С. 124-137.

11. Бережной Р.А. Механика формирования погрешностей обработки при шлифовании и пути их уменьшения / Р.А. Бережной, А.Н. Ковальчук, Е.Ю. Бенин, А.В. Черненко // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энерго-сбережении: материалы науч.-техн. конф., Одесса – Киев: АТМ України. – 2009. – С. 6-10.

12. Бережной Р.А. Влияние характера контакта круга с обрабатываемой деталью на точность и производительность обработки при выхаживании / Р.А. Бережной // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: материалы I Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 1. – Курск. гос. техн. ун-т, Курск. – 2009. – С. 29-33.

13. Бережной Р.А. Выбор оптимальной схемы съема припуска при врезном шлифовании с учетом ограничения по точности размера обрабатываемой поверхности / Р.А. Бережной // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. – Курск. гос. техн. ун-т, Курск. – 2010. – С. 246-252.

14. Пат. 92206 Україна, В 65 G 23/00. Пристрій для натягування ланцюга / Поволоцький В.М., Бережний Р.А., Висоцький Г.В., Ковальчук О.М., Леусенко А.В., Меєркова О.В. – № 2008 10723; заявл. 28.08.2008; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.

Бережний Р.А. Підвищення ефективності фінішної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2011.

Дисертація присвячена розробці ефективних операцій шліфування внутрішніх циліндричних поверхонь деталей редукторів. У роботі одержала подальший розвиток математична модель визначення найменшого основного часу обробки з урахуванням обмеження по точності оброблюваної поверхні для різних схем шліфування при дискретному й безперервному в часі характері знімання припуску. Доведено, що при дискретному характері знімання припуску основний час обробки завжди більше й лише в умовах значної багатопрохідності при шліфуванні стає порівняним з основним часом обробки, що досягається при безперервному характері знімання припуску. Доведено незначність зміни основного часу обробки в широкому діапазоні зміни уточнення (1,215...3,15) при дискретному характері знімання припуску, що дозволяє шліфування виконувати за кілька переходів, зменшуючи тим самим трудомісткість обробки при забезпеченні заданої точності оброблюваної поверхні. Теоретично обґрунтовані умови підвищення точності й продуктивності обробки при внутрішньому шліфуванні з відносно низькою жорсткістю технологічної системи, які складаються в зменшенні енергоємності обробки, збільшенні швидкості круга й здійсненні знімання припуску шляхом періодичного створення в технологічній системі натягів, кратних величині припуску, що знімається. Виявлено причини виникнення коливань при плоскому й внутрішньому шліфуванні, які пов'язані зі статично нерівноважним станом технологічної системи, і на цій основі обґрунтовані умови їхнього усунення, що складаються в реалізації пружної схеми шліфування.

Ключові слова: внутрішнє шліфування, технологічна система, пружні переміщення, математична модель, точність обробки.

Бережной Р.А. Повышение эффективности финишной обработки внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2011.

Диссертация посвящена разработке эффективных операций шлифования внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов. В работе получила дальнейшее развитие математическая модель определения наименьшего основного времени обработки с учетом ограничения по точности обрабатываемой поверхности для различных схем шлифования при дискретном и непрерывном во времени характере съема припуска. Доказано, что при дискретном характере съема припуска основное время обработки всегда больше и лишь в условиях значительной многопроходности при шлифовании становится соизмеримым с основным временем обработки, достигаемым при непрерывном характере съема припуска.

Доказана незначительность изменения основного времени обработки в широком диапазоне изменения уточнения (1,215...3,15) при дискретном характере съема припуска, что позволяет шлифование производить за несколько переходов,

уменьшая тем самым трудоемкость обработки при обеспечении заданной точности обрабатываемой поверхности.

Теоретически обоснованы условия повышения точности и производительности обработки при внутреннем шлифовании с относительно низкой жесткостью технологической системы, которые состоят в уменьшении энергоемкости обработки, увеличении скорости круга и осуществлении съема припуска путем периодического создания в технологической системе натягов, кратных величине снимаемого припуска.

Теоретически установлено, что по производительности обработки схема внутреннего шлифования последовательными врезаниями – с радиальной подачей уступами превосходит схему внутреннего продольного многопроходного шлифования в связи с возможностью реализации более высоких значений скорости вращения обрабатываемой детали по сравнению со значениями скорости продольной подачи.

Выявлены причины возникновения колебаний при плоском и внутреннем шлифовании, связанные со статически неравновесным состоянием технологической системы, и на этой основе обоснованы условия их устранения, состоящие в реализации упругой схемы шлифования.

Проведены экспериментальные исследования параметров точности и производительности обработки, позволившие проверить и уточнить полученные теоретические решения.

Экспериментально установлено, что образование упругих перемещений в технологической системе при шлифовании подчиняется полученным аналитическим зависимостям, описываемым экспоненциальными функциями. Установлено также, что при внутреннем шлифовании по жесткой схеме в связи с низкой жесткостью технологической системы величина упругого перемещения с течением времени обработки неограниченно увеличивается. Это требует осуществления периодического выхаживания, что резко снижает производительность обработки. Поэтому в данных условиях весь припуск целесообразно снимать по упругой схеме шлифования (выхаживания) с начальным натягом в технологической системе, кратным величине удаляемого припуска. Применение данной схемы шлифования позволяет существенно повысить производительность обработки, что согласуется с теоретическими решениями.

Экспериментально установлено, что при съеме припуска 0,5 мм на сторону при шлифовании внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов приводов шахтных конвейеров эффективно обработку производить в три перехода, реализуя упругую схему шлифования с созданием начальных натягов в системе на каждом переходе, равных соответственно 0,25 мм; 0,25 мм; 0,02 мм.

При этом производительность увеличивается до 2 раз и обеспечиваются требования по точности размера (в пределах 10 мкм) и шероховатости ($R_a < 0,63$ мкм) обрабатываемой поверхности, фактически отсутствуют колебания в системе. Также до 2 раз уменьшается время охлаждения обрабатываемой детали после шлифования, которое осуществляется без съема нагретой детали со станка с целью устранения ее термоупругих деформаций и повышения точности обработки. Это свидетельствует об уменьшении выделяемого при резании тепла и температуры шлифования.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований положены в основу разработки и внедрения эффективных операций шлифования внутренних цилиндрических поверхностей деталей редукторов приводов шахтных конвейеров, позволивших повысить точность и производительность обработки.

Ключевые слова: внутреннее шлифование, технологическая система, упругие перемещения, математическая модель, точность обработки.

Berezhnoy R.A. Increasing the efficiency of finishing treatment of internal cylindrical surfaces of reducer parts. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.02.08 – engineering technology. - Odessa National Polytechnical University, Odessa, 2011.

The thesis is devoted to the development of effective operations of internal grinding cylindrical surfaces of reducer parts . In this context, the further development of mathematical model determining the minimum main time of treatment taking into account to the limitation on the accuracy of the treated surface for various schemes of grinding in discrete and continuous time nature of the removal allowance has been shown in this work. It is proved that the discrete nature of the removal allowance the main time of treatment is always less and only with considerable multipass for grinding becomes comparable with the main time of treatment, which is achievable under the continuous nature of the removal allowance. It is proved a minor change of the main time of treatment in a wide range of refinement (1,215...3,15) for the discrete nature of the removal allowance, which allows to make grinding for a few transitions, thereby reducing the complexity of treatment while ensuring a specified accuracy of the treated surface. The conditions of increasing of accuracy and productivity of treatment for internal grinding with a relatively low rigidity of the technological system are grounded theoretically and which consist in reducing the energy intensity of treatment, increasing the speed of circle and the implementation of the removal allowance through the periodic creation of a technological system tightness, the multiple of value of removable allowance. The causes of fluctuations in the flat and internal grinding are exposed which connected with static non-equilibrium state of the technological system and on this basis the conditions of their removal are grounded, consisting in the implementation of an elastic grinding scheme. On this basis the effective operations of grinding of the internal cylindrical surfaces of reducer parts of conveyors' drives allowing to improve the accuracy and productivity of treatment.

Keywords: internal grinding, technological system, elastic displacements, mathematical model , accuracy of treatment.