

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Дитиненко Станіслав Олександрович

УДК 621.923

Підвищення ефективності технології фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2005

Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Техніки та технології” Харківського національного економічного університету Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник – доктор технічних наук
Новіков Федір Васильович,
Харківський національний економічний університет, професор кафедри “Техніки та технології”, м. Харків

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сизий Юрій Анатолійович,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри “Технологія машинобудування і металорізальних верстатів”, м. Харків

кандидат технічних наук, доцент
Осіпов Валерій Анатолійович,
Сумський державний університет, начальник науково-дослідного сектору Сумського державного університету, доцент кафедри “Металорізальні верстати та інструменти”, м. Суми

Ведуче підприємство - ДП Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування Міністерства промислової політики України, м. Харків.

Захист відбудеться “ ____ ” _____ 2005 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. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий “ ____ ” _____ 2005 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков А.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

У машинобудуванні, особливо в авіаційному виробництві, широко застосовуються вироби з твердих сплавів циліндричної форми (вставки, інструменти для обробки матеріалів тиском і різанням і т.д.), до якості обробки яких ставляться високі вимоги. Наприклад, шорсткість обробки циліндричних поверхонь - на рівні $R_a = 0,1$ мкм і менше. При цьому виникає необхідність знімання великих припусків – до 2-х мм на сторону і більше. Застосування традиційних технологій обробки зазначених виробів, що включають операції шліфування абразивними кругами і притирання алмазними пастами, характеризується високою трудомісткістю. В особливій мірі це відноситься до операцій притирання. Тому з метою зниження трудомісткості притирання, а в кращому випадку – виключення її з технологічних процесів обробки необхідно удосконалювати операції шліфування. При цьому необхідні показники якості обробки повинні забезпечуватись на операціях шліфування.

Перспективним напрямком рішення даних задач є застосування технологій шліфування алмазними кругами на металевих зв'язках, що дозволяють підвищити продуктивність і знизити технологічну собівартість обробки. Але, як відомо, дані технології не забезпечують високих показників шорсткості і точності обробки, особливо на операціях круглого зовнішнього шліфування у зв'язку з відносно низькою жорсткістю технологічної системи. Це вимагає розробки нових більш ефективних технологій шліфування алмазними кругами на металевих зв'язках, у тому числі із застосуванням електроерозійної правки, що дозволяють поряд з підвищенням продуктивності та зниженням технологічної собівартості обробки поліпшити шорсткість і точність оброблюваних поверхонь до рівня показників притирання вільним абразивом (алмазними пастами). У зв'язку з цим у роботі вирішується важлива й актуальна задача створення і впровадження ефективного технологічного процесу фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів із застосуванням алмазних кругів на металевих зв'язках.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана відповідно до наукового напрямку кафедри "Техніки та технології" Харківського національного економічного університету в рамках теми "Планування діяльності ВАТ "Світло шахтаря" в умовах реалізації іноваційної стратегії розвитку" (ДР № 0103V008935) і науково-дослідних робіт, що виконуються відповідно до Постанови Міністерства промислової політики України № 154 від 15.07.2002 р. на ДП ХМЗ "ФЕД" (м. Харків). Здобувач брав безпосередню участь у виконанні робіт як відповідальний виконавець.

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності технологічного процесу фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів на основі оптимізації структури і параметрів операції круглого зовнішнього поздовжнього шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці з плосковершинними зернами.

Для досягнення зазначеної мети в роботі поставлені наступні задачі:

- розробити аналітичні моделі для визначення продуктивності операції круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування з урахуванням виникаючих пружних переміщень у технологічній системі на кожному переході операції, шорсткості поверхні, сили різання і технологічної собівартості обробки;
- на основі розроблених аналітичних моделей провести оптимізацію структури і параметрів операції круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування за критеріями найбільшої продуктивності і найменшої технологічної собівартості обробки з урахуванням обмежень по точності і шорсткості оброблюваних поверхонь;
- провести експериментальні дослідження технологічних показників круглого зовнішнього поздовжнього шліфування кругом на металевій зв'язці після його електроерозійної правки і створення площадок на вершинах зерен;
- на основі результатів експериментальних досліджень вибрати оптимальну структуру і параметри розглянутої операції шліфування;
- розробити і впровадити у виробництво новий ефективний технологічний процес алмазної фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів.

Об'єкт дослідження - технологічний процес фінішної обробки циліндричних

поверхонь твердосплавних виробів.

Предмет дослідження - визначення найбільш ефективного варіанта технологічного процесу фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів на основі оптимізації структури і параметрів операції круглого зовнішнього поздовжнього шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці з плосковершинними зернами.

Методи дослідження. Теоретичні методи, що базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, теорії різання матеріалів, опору матеріалів, математичного аналізу і теорії імовірностей; математичне моделювання; експериментальні методи з застосуванням профілографа-профілометра, електронного мікроскопа.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Теоретично обґрунтована й експериментально доведена можливість високопродуктивного знімання великих припусків при одночасному значному зменшенні шорсткості поверхні за рахунок примусового формування площадок на вершинах алмазних зерен, що дозволяє об'єднати попереднє й остаточне шліфування і в ряді випадків виключити трудомістку операцію притирання вільним абразивом з технологічного процесу обробки.
2. Вперше розроблена аналітична модель для визначення продуктивності операції круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування з урахуванням виникаючих пружних переміщень у технологічній системі на кожному переході операції, яка дозволила визначити оптимальну за структурою операцію, забезпечуючу найбільшу продуктивність для заданої точності обробки та включаючу лише перехід виходжування.
3. Отримано аналітичну модель формування шорсткості при круглому зовнішньому поздовжньому алмазному шліфуванні твердосплавних виробів, що вперше дозволила врахувати і кількісно визначити вплив різновисотності зерен, їх імовірної участі у різанні і наявності площадок на вершинах зерен, а також провести класифікацію кінематичних схем шліфування по ознаці часу формування сталої шорсткості поверхні.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень створено ефективний технологічний процес фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів, який забезпечує підвищення продуктивності і зниження технологічної собівартості при виконанні високих вимог по якості оброблюваних поверхонь (параметр шорсткості $R_a = 0,1$ мкм) на операції круглого зовнішнього поздовжнього шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці.

Розроблений технологічний процес впроваджений на Харківському машинобудівному заводі “ФЕД” при фінішній обробці відповідальних твердосплавних виробів з економічним ефектом 77,388 тис. гривень на рік. Результати теоретичних і експериментальних досліджень роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі “Техніки та технології” Харківського національного економічного університету.

Особистий внесок здобувача полягає в тому, що ним розроблені нові аналітичні моделі продуктивності операції круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування і виникаючих при цьому пружних переміщень. На їх основі зроблена оптимізація структури і параметрів даної операції. Розроблено нові аналітичні моделі шорсткості поверхні, сили різання і технологічної собівартості обробки при круглому зовнішньому поздовжньому алмазному шліфуванні. Теоретично й експериментально встановлені умови істотного зменшення шорсткості циліндричних поверхонь твердосплавних виробів. Обґрунтовано вибір оптимального варіанта технологічного процесу фінішної обробки, що включає лише операцію круглого зовнішнього поздовжнього шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці з плосковершинними зернами і вилучає трудомістку операцію притирання.

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на X, XI і XII Міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м. Харків, 2002-2004 р.р.); V...X Міжнародних науково-технічних конференціях “Фізичні і комп'ютерні технології в народному господарстві” (м. Харків, 2001-2004р.р.); Міжнародній науково-технічній конференції

“100 років виробничої і наукової праці центральної лабораторії ДП “Завод ім. В.А. Малишева” (м. Харків, 2003 р.).

Роботу в повному обсязі заслухано та схвалено на розширених наукових семінарах кафедри “Техніки та технології” Харківського національного економічного університету та кафедри “Технологія машинобудування і металорізальні верстати” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, 2004 р.

Публікації

Основні результати дисертаційної роботи викладені в 11 наукових працях, у тому числі 9 наукових праць у виданнях, рекомендованих ВАК України.

Структура й обсяг дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків і 2 додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 195 сторінок, з них 65 ілюстрацій на 58 сторінках; 21 таблиця за текстом, 4 таблиці на 4 сторінках; 168 найменувань використаних літературних джерел на 17 сторінках; 2 додатки на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено загальну характеристику роботи, у якій обґрунтовані актуальність, новизна і практичне значення отриманих результатів, сформульовані мета і задачі досліджень. Показано особистий внесок здобувача у виконану роботу і результати апробації дисертації.

У першому розділі описані конструкції твердосплавних виробів циліндричної форми, а також вимоги, які ставляться до якості їхнього виготовлення, і типові технологічні процеси обробки циліндричних поверхонь, до яких входять операції круглого зовнішнього шліфування і притирання вільним абразивом на притиральних бабках. Виявлено основний недолік діючих технологічних процесів, які містять надзвичайно високу по трудомісткості операцію притирання в зв'язку з високими вимогами до шорсткості і точності обробки. Виходячи з цього зроблений висновок про можливість підвищення ефективності технологічного процесу шляхом удоскона-

лення операції круглого зовнішнього шліфування – поліпшення шорсткості та точності обробки до необхідного рівня без зниження показників продуктивності і технологічної собівартості обробки. Але вирішити дану задачу, використовуючи відомі рекомендації з абразивного та алмазного шліфування, не вдалося. Це вимагає проведення комплексу теоретичних, а також експериментальних досліджень, оптимізації структури і параметрів операції круглого зовнішнього шліфування та вибору оптимального варіанта технологічного процесу фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів. Як критерії оптимізації розглянуті продуктивність і технологічна собівартість обробки, як обмеження – точність та шорсткість оброблюваних поверхонь, а в якості варіюємих факторів -параметри операції шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці і параметри пружної системи круглошліфувального верстата.

В другому розділі запропоноване нове рішення задачі оптимізації структури і параметрів операції круглого зовнішнього шліфування за критерієм найбільшої продуктивності з урахуванням обмеження по точності обробки. Теоретично показано, що в зв'язку з виникненням у технологічній системі пружного переміщення δ , фактична продуктивність обробки Q_ϕ завжди менша номінальної продуктивності $Q_{ном}$ на величину $\frac{\delta}{\Pi}$ залежності:

$$Q_\phi = Q_{ном} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{\Pi}\right), \quad (1)$$

де $\delta = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$, Π - припуск, що знімається, м; c - приведена жорсткість технологічної системи в радіальному напрямку, Н/м; $K_{ш} = P_z / P_y$ - коефіцієнт шліфування; P_y , P_z - відповідно радіальна і тангенціальна складові сили різання при шліфуванні, Н; σ - умовне напруження різання при шліфуванні, Н/м²; $V_{кр}$ - швидкість круга, м/с.

Зменшення пружного переміщення δ (визначаючого точність розміру обробки) вимагає зменшення номінальної продуктивності $Q_{ном}$. Але це не ефективно, тому що при цьому зменшується фактична продуктивність обробки Q_ϕ . Як показує практика, ефективніше операцію круглого зовнішнього шліфування виконати в два переходи:

чорнове шліфування і виходжування. Тоді середня фактична продуктивність операції шліфування $Q_{ср}$ визначиться:

$$Q_{ср} = \frac{Q_{ном}}{(1 + \tau_2 / \tau_1)}, \quad (2)$$

де τ_1, τ_2 - тривалість переходів чорнового шліфування і виходжування, с; $\tau_1 = \Pi / S_{ном}$; $S_{ном}$;- поперечна подача, м/хід.

Для визначення тривалості переходу виходжування τ_2 отримане диференціальне рівняння інтенсивності знімання матеріалу з урахуванням пружних переміщень у технологічній системі:

$$\frac{dv}{d\tau} + A \cdot v = B, \quad (3)$$

де $A = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot F}$; $B = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi_1}{\sigma}$; v - об'єм знятого матеріалу, м³; Π_1, Π_2 -

припуски, що видаляються на переходах чорнового шліфування і виходжування, м; F - площа оброблюваної циліндричної поверхні, м².

З урахуванням початкової умови $\delta /_{\tau=0} = \Pi_2$ рішення рівняння (3) має вигляд:

$$Q_{\phi} = Q_{\phi_2} \cdot e^{-\frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \tau}{\sigma \cdot F}}, \quad \delta = \Pi_2 \cdot e^{-\frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \tau}{\sigma \cdot F}}, \quad Q_{\phi_2} = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot \Pi_2}{\sigma}. \quad (4)$$

Основний час операції круглого зовнішнього шліфування:

$$(\tau_1 + \tau_2) = \frac{F}{c \cdot V_{кр}} \cdot \left(\frac{\sigma}{K_{ш}} \right)_1 \cdot \left[\frac{1}{k_2} + z \cdot \ln \left(\frac{k_2}{k_0} \right) \right] = \frac{F}{c \cdot V_{кр}} \cdot \left(\frac{\sigma}{K_{ш}} \right)_1 \cdot \Phi, \quad (5)$$

де $\Phi = \left[\frac{1}{k_2} + z \cdot \ln \left(\frac{k_2}{k_0} \right) \right]$ - безрозмірна функція; $z = \left(\frac{\sigma}{K_{ш}} \right)_2 / \left(\frac{\sigma}{K_{ш}} \right)_1$ - безрозмірний

коефіцієнт, $Z \geq 1$; індекси 1 і 2 відповідають переходам чорнового шліфування і виходжування; $k_2 = \Pi_2 / \Pi$, $k_2 = \delta_0 / \Pi$, δ_0 - точність розміру обробки, м.

Випадок 1 ($z = 1$). З рис. 1,а виходить, що найменше значення безрозмірної функції Φ (визначаючої основний час операції шліфування) досягається за умови $\tau_1 = 0$, тобто оптимальна за структурою операція шліфування включає лише перехід виходжування (і природно, нетривалий перехід створення початкового натягу в техноло-

гічній системі).

Випадок 2 ($z > 1$). Для $z > 1$ безрозмірна функція Φ зі збільшенням коефіцієнта k_2

Рис. 1. Залежність безрозмірної функції Φ від безрозмірного коефіцієнта k_2

($z_1=1$; $z_2=2$; $z_3=3$; $z_4=4$). (а) і залежність основного часу операції шліфування ($\tau_1 + \tau_2$) від припуску P_2 при обробці: 1 – алмазним кругом (1A1 300x25x5 AC6 125/100 M1-10 4) після його електроерозійної правки; 2 – приробленим алмазним кругом (після 10 хвилин роботи); 3 – алмазним кругом із плосковершинними зернами (б). змінюється по екстремальній залежності, проходячи точку мінімуму, виходячи з рис. 1, а. Зі збільшенням z екстремальні значення функції Φ збільшуються і зміщаються в область менших значень k_2 . Це вказує на значний вплив коефіцієнта z (визначаючого ріжучу здатність круга) на структуру операції шліфування. Чим вище ріжуча здатність круга, тим ефективніше більшу частину припуску знімати на переході виходжування. При шліфуванні кругом з відносно низькою ріжучою здатністю, практично весь припуск необхідно знімати на переході чорнового шліфування і лише незначну його частину - на переході виходжування. Теоретичні результати підтверджуються експериментально, рис. 1,б. При шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці M1-10 після його електроерозійної правки (крива 1) час ($\tau_1 + \tau_2$) зі збільшенням припуску P_2 безупинно зменшується, що відповідає кривій $z = 1$ на рис. 1,а. При шліфуванні приробленим алмазним кругом залежність ($\tau_1 + \tau_2$) - P_2 трансформується в екстремальну, що відповідає кривим для $z > 1$ на рис. 1,а. При шліфуванні алмазним кругом після його електроерозійної правки і створення площадок на вершинах зерен (шляхом шліфування алмазним кругом алмазного правлячого олівця) залежність ($\tau_1 + \tau_2$) - P_2 реалізується лише для невеликих значень P_2 . У результаті основна частина припуску видаляється на переході чорнового шліфування. Цим підтверджені теоретичні результати.

Розроблено нові інженерні методики розрахунку оптимальних параметрів операції круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування: тривалості операції і її переходів; величин припусків, що видаляються на кожному переході в залежності від вимог по точності обробки (обумовлені величиною пружного переміщення в технологічній системі) і ріжучою здатністю алмазного круга.

На схемі (рис. 2) показані основні умови зменшення тривалості оптимальної за структурою операції шліфування, що включає лише перехід виходжування:

$$\tau = \frac{F}{c \cdot V_{кр}} \cdot \frac{\sigma}{K_{ш}} \cdot \ln \frac{\Pi}{\delta_0}, \quad (6)$$

де $\frac{\sigma}{K_{ш}} = \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{2 \cdot (1 - \eta)}$; $\eta = \frac{x}{(x + H_{max})}$; HV - твердість (по Вікерсу) оброблюваного матеріалу, Н/м²; γ - половина кута при вершині зерна, що ріже, робоча частина якого представлена у формі усіченого конуса; η - безрозмірний коефіцієнт, що враховує ступінь затуплення зерен, змінюється в межах 0...1; x - умовна величина лінійного зносу зерна, м; H_{max} - максимальна товщина зрізу, м.

Розроблено аналітичну модель сили різання при круглому зовнішньому поздовжньому алмазному шліфуванні по жорсткій і пружній схемах з фіксованим радіальним або тангенціальним зусиллям. Теоретично обґрунтовані умови, при яких затуплення зерен, що ріжуть, у меншій мірі впливає на збільшення сили різання при заданій продуктивності обробки. Показано ефективність застосування пружної схеми круглого зовнішнього шліфування з фіксованим тангенціальним зусиллям.

У третьому розділі на основі розробленої аналітичної моделі формування шорсткості циліндричної поверхні при круглому зовнішньому поздовжньому шліфуванні обґрунтовані умови істотного зменшення параметра шорсткості R_{max} :

$$\left[\left(R_{max} + \frac{3 \cdot x}{4} \right)^2 - \frac{x^2}{16} \right] \cdot \sqrt{R_{max}} = \frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет}}{6 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{1}{D_{кр}} + \frac{1}{D_{дет}}}, \quad (7)$$

$$R_{max}^{1,5} \cdot (R_{max} + x) = \frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет}}{6 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{1}{D_{кр}} + \frac{1}{D_{дет}}}, \quad (8)$$

де \bar{X} - зернистість круга, м; m - об'ємна концентрація зерен круга; $V_{дет}$ - швидкість деталі, м/с; $D_{кр}$; $D_{дет}$ - відповідно діаметри круга і деталі, м.

Рівняння (7) отримано з урахуванням, а рівняння (8) – без урахування утворення площадок зносу на вершинах зерен алмазного круга.

При $x=0$ рівняння (7) і (8) приймають вигляд залежності:

$$R_{max} = \bar{R}_{max} = \left(\frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет}}{6 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{1}{D_{кр}} + \frac{1}{D_{дет}}} \right)^{0,4} \quad (9)$$

Установлено, що з усіх параметрів, які входять у рівняння (7) і (8), найбільший вплив на R_{max} має величина x , особливо у випадку утворення на зернах площадок зносу (рівняння (7), рис. 3,а), тобто при різанні плосковершинними зернами. Зі збільшенням величини x можна істотно зменшити параметр R_{max} . Виконані експериментальні дослідження підтвердили теоретичні результати. Установлено, що при шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці 1А1 300х20х5 АС6 125/100 М1-10 4 із плосковершинними зернами параметр шорсткості R_a ($R_a \approx 0.2 \cdot R_{max}$) зменшився з 2,2 до 0,1 мкм, (крива 2, рис. 4). При цьому зміна режимів шліфування, а також обробка кругом, який працював уже деякий час після електроерозійної правки (крива 1, рис. 4), не привели до істотного зменшення шорсткості обробки.

Для створення плосковершинних зерен застосовувалися способи шліфування

Рис. 3. Залежності параметра шорсткості R_{max} від величини лінійного зносу зерна x , отримані на основі: а – рівняння (7); б – рівняння (8); 1 - $\bar{R}_{max} = 3$ мкм; 2 - $\bar{R}_{max} = 5$ мкм; 3 - $\bar{R}_{max} = 7,5$ мкм; 4 - $\bar{R}_{max} = 10$ мкм; 5 - $\bar{R}_{max} = 15$ мкм.

алмазним кругом полікристалічного синтетичного надтвердого матеріалу і алмазного правлячого олівця.

Експериментально

встановлено, що при шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці з плосковершинними зернами з часом спостерігається деяке збільшення параметра шорсткості R_a (крива 2, рис. 4) внаслідок підключення в різання нових більш гострих зерен. Особливо це виявляється при шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці М1 – 01. Застосування більш зносостійкого алмазного круга на металевій зв'язці М1–10 дозволило усунути даний недолік – шорсткість обробки практично стабілізувалася в часі на рівні $R_a = 0,1–0,2$ мкм при зміні глибини шліфування в межах 0,01–0,025 мм.

Рис. 5. Розрахункова схема параметра шорсткості обробки R_a на основі залежності $\varepsilon(y)$.

Рис. 4. Залежність параметра шорсткості обробки R_a від часу шліфування τ : 1 – після електроерозійної правки круга; 2 – після створення площадок на вершинах зерен круга.

роерозійної правки круга; 2 – після створення площадок на вершинах зерен круга.

Зроблено оцінку вірогідності розрахунку шорсткості циліндричних поверхонь при шліфуванні алмазним кругом з гостровершинними і плосковершинними зернами. Для цього спочатку була отримана спрощена аналітична залежність (9) для визначення параметра R_{max} , що враховує умовне одновисотне виступання зерен, потім - уточнені залежності, що враховують різновисотне виступання зерен над рівнем зв'язки та імовірносний характер участі зерен у різанні. Установлено, що у всіх трьох випадках приходимо до однієї і тієї ж залежності (9), відмінність полягає лише в числових коефіцієнтах. Так, розраховане по залежності (9) значення $R_a = 0.2 \cdot R_{max}$ для вихідних даних: $tgy=1$; $m=100$; $\bar{X}=0.1 \cdot 10^{-3}$ м; $V_{кр}=30$ м/с; $V_{дет}=15$ м/хв; $D_{кр}=0,3$ м; $D_{дет}=0,014$ м дорівнює $R_a=0,86$ мкм, розраховане з урахуванням різновисотного виступання зерен над рівнем зв'язки дорівнює $R_a=1,5$ мкм і розраховане з урахуванням імовірносної участі зерен у різанні дорівнює $R_a=2,43$ мкм. Як бачимо, розрахунок по уточнених залежностях веде до збільшення значень R_a . У порівнянні з

експериментальним значенням $R_a=1,9$ мкм (отриманим після електроерозійної правки алмазного круга), урахування різновисотного виступання зерен над рівнем зв'язки дає занижене (у межах 20%), а урахування імовірносного характеру участі зерен у різанні дає завищене (у межах 27%) значення R_a (стосовно

Рис. 6. Три принципові схеми формування шорсткості поверхні при шліфуванні: 1, 2, 3 – оброблюваного зразка в радіальному, тангенціальному і поздовжньому напрямках, 4 – шліфувальний круг.

експериментальним даним отриманим при шліфуванні алмазним кругом після його електроерозійної правки). Установлена також збіжність у межах 10 % розрахункових і експериментальних значень шорсткості при шліфуванні алмазним кругом із плосковершинними зернами. Дані результати дозволили вперше кількісно оцінити

вплив зазначених вище трьох факторів на умови формування шорсткості циліндричних поверхонь при шліфуванні і наблизити розрахункову схему до реальної.

На основі установленної імовірносної функції $\alpha(y)$, що описує відносну опорну довжину мікропрофілю обробленої поверхні (рис. 5), з умови рівності площ 1 і 2, обмежених виступами і впадинами і середньою лінією $a=y$, зроблений уточнений розрахунок параметра шорсткості обробки R_a . Аналітично встановлено, що відношення R_{max} / R_a змінюється в межах 4...5, що добре погоджується з практикою шліфування і свідчить про вірогідність розробленої аналітичної моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь.

Зроблено класифікацію кінематичних схем шліфування периферією круга по ознаці часу формування сталої шорсткості поверхні. Теоретично показане існування трьох принципових схем, обумовлених кінематикою руху оброблюваної поверхні стосовно робочої поверхні круга (у радіальному, тангенціальному і поздовжньому, з боку торцевої поверхні круга, напрямках), які істотно відрізняються часом формування сталої шорсткості поверхні, рис. 6.

Установлено, що найбільшим часом формування шорсткості поверхні при шліфуванні характеризується третя схема, а найменшим – перша. Тому найменша шорсткість поверхні досягається при шліфуванні по третій схемі, а найбільша – при шліфуванні по першій. Друга схема (включає плоске, кругле зовнішнє і внутрішнє шліфування) займає проміжне положення.

У четвертому розділі обґрунтований вибір оптимального варіанта технологічного процесу фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів за критеріями найбільшої продуктивності і найменшої технологічної собівартості обробки з урахуванням обмежень по точності та шорсткості оброблюваних поверхонь. Показано, що необхідні значення точності розміру (менше 10 мкм) і шорсткості обробки ($R_a = 0,1$ мкм) досягаються при значенні безрозмірного коефіцієнта $\eta = 0,91$. Таке велике значення безрозмірного коефіцієнта η , що наближається до граничного ($\eta=1$), обумовлено утворенням на вершинах зерен значних площадок – довжиною 30 мкм і більше. Шліфування алмазним кругом після електроерозійної правки забезпечує невеликі значення коефіцієнта ($\eta \rightarrow 0$) у зв'язку з високою гостротою ріжучих

зерен круга.

Установлено, що збільшення коефіцієнта η від 0 до 0,91 у результаті утворення площадок на вершинах зерен відповідає зменшенню середньої продуктивності операції круглого зовнішнього шліфування тільки в 2 рази, рис. 7,а. При цьому потужність шліфування зросла незначно – усього в 2 рази, тобто алмазний круг на металевій зв'язці з плосковершинними зернами має досить високу ріжучу здатність, дозволяє одночасно забезпечити високопродуктивне знімання оброблюваного матеріалу і зменшити шорсткість R_a обробки з 2,0 мкм до значень 0,1–0,2 мкм.

Рис. 7. Значення продуктивності Q та шорсткості обробки R_a при шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці (із плосковершинними та гостровершинними зернами після електроерозійної правки) (а) і залежність технологічної собівартості C від безрозмірного коефіцієнта η (б).

Таблиця

Порівняння варіантів технологічного процесу фінішної обробки циліндричної поверхні спеціальної твердосплавної розвертки (діаметр – 20 мм, довжина – 30 мм, припуск що знімається – 1 мм)

№ варіанту	Операція круглого зовнішнього поздовжнього шліфування	Операція притирання алмазною пастою	Час обробки, хв.
1	Алмазний круг 1А1 300х20х5 АС6 125/100 М1–10 4 із плосковершинними зернами; $R_a = 0,1$ мкм; $\tau = 2$ хв.	Немає	2
2	Алмазний круг 1А1 300х20х5 АС6 125/100 М1–10 4 після електроерозійної правки; $R_a = 1,0$ мкм; $\tau = 1$ хв.	Припуск – 0,02 мм; $R_a = 0,1$ мкм; $\tau = 4$ хв.	5
3	Алмазний круг 1А1 300х20х5 АС4 100/80 В2–01 4;	Припуск – 0,02 мм; $R_a = 0,1$ мкм;	7

	$R_a = 0,4 \text{ мкм}; \tau = 3 \text{ хв.}$	$\tau = 4 \text{ хв.}$	
--	---	------------------------	--

Зроблено аналіз технологічної собівартості обробки на операції шліфування на основі отриманої аналітичної залежності, що враховує дві статті витрат які змінюються, зв'язані з заробітною платою робітника і витратою алмазних кругів. Теоретично встановлено, що зі збільшенням безрозмірного коефіцієнта $\eta \rightarrow 1$ технологічна собівартість обробки C безупинно зменшується, рис. 7,б. Це свідчить про можливість реалізації для встановлених умов шліфування ($\eta = 0,91$) практично мінімального значення C .

Порівняння трьох варіантів технологічного процесу фінішної обробки циліндричної поверхні спеціального твёрдосплавного інструменту (двох запропонованих і базового варіанту, приведених у таблиці) показало, що за критерієм найбільшої продуктивності обробки ефективно застосування першого варіанту. Вилучення з технологічного процесу операції притирання дозволяє також істотно знизити технологічну собівартість обробки. Для реалізації даних умов шліфування розроблена спеціальна технологія підготовки алмазного круга до роботи, що включає балансування круга, його електроерозійну правку для остаточного усунення биття (у межах 10 мкм) і якісного розкриття алмазоносного шару, а потім утворення на вершинах зерен площадок.

Розроблений технологічний процес фінішної обробки циліндричних поверхонь твёрдосплавних виробів впроваджений на Харківському машинобудівному заводі “ФЕД” з економічним ефектом 77, 388 тис. грн. у рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі отриманих нових науково обґрунтованих результатів вирішена важлива й актуальна науково-практична задача створення ефективного технологічного процесу фінішної обробки циліндричних поверхонь твёрдосплавних виробів шляхом оптимізації структури і параметрів операції круглого зовнішнього поздовжнього шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці з плос-

ковершинними зернами.

1. Розроблені аналітичні моделі для визначення продуктивності операції круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування з урахуванням виникаючих пружних переміщень у технологічній системі на кожному переході операції, шорсткості поверхні, сили різання і технологічної собівартості обробки. На підставі аналізів вперше розроблених аналітичних моделей продуктивності операції круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування і пружних переміщень у технологічній системі, що виникають на кожному переході, проведена оптимізація структури та параметрів розглянутої операції шліфування за критерієм найбільшої продуктивності обробки з урахуванням обмеження по точності оброблюваних поверхонь, що дозволила установити оптимальні співвідношення припусків, які видаляються на кожному переході. Теоретично доведено, що оптимальною за структурою є операція шліфування, яка включає лише перехід виходжування. Для її реалізації необхідно на початку обробки створити натяг у технологічній системі, рівний або кратний величині припуску, що знімається. Найбільш ефективною областю застосування даного технічного рішення є технологічні операції круглого зовнішнього поздовжнього шліфування з недостатньо жорстким кріпленням оброблюваного виробу на верстаті.

2. Теоретично й експериментально встановлено, що структура операції шліфування залежить від ріжучої здатності алмазного круга. Чим вона вище, тим більше повинен бути припуск, що видаляється на переході виходжування, і менше – на переході чорнового шліфування. При використанні алмазного круга з гостровершинними зернами (після його електроерозійної правки), що має високу ріжучу здатність, може бути здійснена оптимальна за структурою операція шліфування, яка має лише перехід виходжування.

3. Розроблено нові інженерні методики розрахунку оптимальних параметрів операцій круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування: тривалості операцій і їхніх переходів; величин припусків, що знімаються на кожному переході в залежності від вимог по точності обробки (обумовлені величиною пружного переміщення в технологічній системі) та ріжучої здатності алмазного круга.

4. Зроблено класифікацію кінематичних схем шліфування периферією круга по

ознаці часу формування сталої шорсткості поверхні. Теоретично показане існування трьох принципових схем, обумовлених кінематикою руху стосовно робочої поверхні шліфувального круга (у радіальному, тангенціальному та поздовжньому, з боку торцевої поверхні круга, напрямках), які істотно відрізняються часом формування сталої шорсткості. Теоретично встановлено, що найменша шорсткість поверхні досягається при шліфуванні по третій схемі, а найбільша – при шліфуванні по першій схемі. Друга схема (включає плоске, кругле зовнішнє і внутрішнє шліфування) займає проміжне положення.

5. Розроблено нову аналітичну модель формування шорсткості циліндричних поверхонь при круглому зовнішньому алмазному шліфуванні з урахуванням різновисотного виступання гстрровершинних і плосковершинних зерен, що ріжуть, над рівнем зв'язки круга та імовірного характеру участі зерен у різанні. Встановлено, що урахування різновисотного виступання зерен, що ріжуть, над рівнем зв'язки круга приводить до заниженого (у межах 20%), а урахування імовірного характеру участі зерен у різанні - до завищеного (у межах 27%) значення шорсткості (стосовно експериментальних даних, отриманим при шліфуванні алмазним кругом після його електроерозійної правки). Установлена також збіжність у межах 10 % розрахункових і експериментальних значень шорсткості при шліфуванні алмазним кругом із плосковершинними зернами.

6. Теоретично й експериментально показано, що умовою істотного зменшення шорсткості циліндричних поверхонь твердосплавних виробів при круглому зовнішньому алмазному шліфуванні є забезпечення утворення на зернах, що ріжуть, значних площадок шляхом попереднього шліфування алмазним кругом (після його електроерозійної правки) полікристалічного надтвердого матеріалу або алмазного правлячого олівця. Експериментально встановлено, що при цьому параметр шорсткості R_a зменшується з 2,0 до 0,1–0,2 мкм. Це відкриває нові технологічні можливості фінішної алмазної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів.

7. Експериментально встановлено, що алмазні круги на металевих зв'язках М1–01 і М1–10 із плосковершинними зернами мають досить високу ріжучу здатність при тривалому періоді обробки (до 30 хв.). При цьому, з часом шліфування шорст-

кість обробленої поверхні трохи збільшується – у більшій мірі при шліфуванні алмазним кругом на металевій зв'язці М1–01 і в меншій мірі при шліфуванні алмазним кругом на більш міцній металевій зв'язці М1–10.

8. Проведено порівняння технологічних параметрів операцій круглого зовнішнього алмазного шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці з гостровершинними (після його електроерозійної правки) і з плосковершинними зернами. Встановлено, що у другому випадку продуктивність обробки в 2 рази, а шорсткість обробки в 10 разів менше, ніж у першому випадку при заданій точності обробки. Потужність шліфування при цьому збільшилася усього в 2 рази. Це дозволяє ефективно об'єднати попереднє й остаточне шліфування в одну операцію з забезпеченням високих показників шорсткості, точності і продуктивності обробки, що не вимагає застосування наступної трудомісткої операції притирання.

9. Теоретично встановлено, що найбільший вплив на технологічну собівартість обробки робить величина лінійного зносу зерен. З її збільшенням технологічна собівартість обробки безупинно зменшується. Цим показано, що штучне створення на ріжучих зернах площадок забезпечує істотне зниження технологічної собівартості обробки в порівнянні зі шліфуванням алмазним кругом з гостровершинними зернами після його електроерозійної правки.

10. Показано, що за критеріями найбільшої продуктивності і найменшої технологічної собівартості обробки з урахуванням вимог по шорсткості і точності більш ефективним є варіант технологічного процесу, що включає лише операцію круглого зовнішнього шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці з плосковершинними зернами.

11. Розроблений ефективний технологічний процес фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів алмазними кругом на металевих зв'язках впроваджений на Харківському машинобудівному заводі “ФЕД” з економічним ефектом 77,388 тис. гривень на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дитиненко С.А. Обоснование условий уменьшения шероховатости обработки при шлифовании // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2001. – Вып. 5. С. 77-80.

2. Гуцаленко Ю.Г., Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Повышение эффективности алмазного электроэрозионного шлифования // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2002. – Вып. 61. С. 35-39.

Здобувачеві належить теоретичне обґрунтування високопродуктивних схем алмазного шліфування з фіксованим радіальним або тангенціальним зусиллям.

3. Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Теоретический анализ путей повышения точности и качества алмазно-абразивной обработки // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2002. – Вип. 10. С. 197-201.

Здобувачеві належать результати теоретичних і експериментальних досліджень пружних переміщень та шорсткості обробки при алмазному шліфуванні.

4. Дитиненко С.А., Гуцаленко Ю.Г., Новиков Ф.В. Условия повышения чистоты обработки при шлифовании алмазными кругами на металлических связках // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2003. – Вып. 64. С. 69-74.

Здобувачеві належить методика розрахунку шорсткості поверхні при круглому зовнішньому алмазному шліфуванні з урахуванням зносу зерен та експериментальна перевірка теоретичних результатів.

5. Погребной Н.А., Шевченко С.М., Ткаченко В.П., Дитиненко С.А. Качество обработки твердых сплавов на основе карбида вольфрама при алмазном шлифовании // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 18. С. 183-190.

Здобувачеві належать результати експериментальних досліджень параметрів якості обробки при алмазному шліфуванні твердих сплавів інструментального призначення.

6. Дитиненко С.А. Кинематические схемы формирования шероховатости поверхности при шлифовании // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – Вип. 1(8). С. 34-42.

7. Дитиненко С.А. Параметрическая оптимизация цикла круглого наружного продольного алмазного шлифования специальных твердосплавных инструментов // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2004. – Вип. 26. С. 61-70.

8. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Оптимизация структуры и параметров операции круглого наружного алмазного шлифования твердосплавных поверхностей // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – Вип. 2(9). С. 155-160.

Здобувачеві належать методики розрахунку пружних переміщень, продуктивності обробки, припусків, що знімаються на переходах шліфування і виходжування.

9. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Повышение качества обработки при круглом наружном алмазном шлифовании специальных твердосплавных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2004. – Вып. 67. С. 74-85.

Здобувачеві належать результати експериментальних даних шорсткості обробки, теоретичний аналіз впливу різних факторів алмазного шліфування на шорсткість обробки.

10. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Технология и теория прецизионной обработки твердосплавных инструментов алмазными кругами на металлических связках // Труды 8-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С. 34-39.

Здобувачеві належать методика розрахунку і експериментальні дані шорсткості обробки при круглому зовнішньому алмазному шліфуванні.

11. Дитиненко С.А., Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии прецизионной обработки твердосплавных цилиндрических поверхностей // Труды 9-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2004. – С. 7-11.

Здобувачеві належать результати теоретичних і експериментальних досліджень продуктивності, собівартості, точності та шорсткості обробки циліндричних поверхонь.

АНОТАЦІЇ

Дитиненко С.О. Підвищення ефективності технології фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут” – Харків – 2004.

Дисертація присвячена розробці ефективного технологічного процесу фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів. Для цього розроблені аналітичні моделі продуктивності та основного часу переходів операції круглого зовнішнього поздовжнього алмазного шліфування, що включає переходи чорнового шліфування і виходжування, а також розроблена аналітична модель величини пружного переміщення, що утворюються на кожному переході операції шліфування. На їхній основі проведена оптимізація структури і параметрів розглянутої операції шліфування. Розроблено аналітичну модель сили різання при круглому зовнішньому шліфуванні і показані шляхи її зменшення. Проведено експериментальні дослідження з перевірки та уточнення отриманих теоретичних рішень.

Виконано класифікацію різних схем шліфування периферією круга по кінематичній ознаці по часу формування сталої шорсткості поверхні. Розроблено аналітичну модель формування шорсткості циліндричної поверхні на операції круглого зовнішнього поздовжнього шліфування. Теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена можливість істотного зменшення шорсткості поверхні при круглому зовнішньому шліфуванні за рахунок застосування штучно створених на вершинах зерен алмазного круга на металевій зв’язці значних площадок. Приведено результати комплексних експериментальних досліджень шліфування циліндричних поверхонь твердосплавних виробів. Показано, що за критеріями найбільшої продуктивності

сті і найменшої технологічної собівартості обробки більш ефективним є варіант технологічного процесу, який включає лише операцію круглого зовнішнього шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці з плосковершинними зернами, що забезпечує виконання високих вимог по шорсткості та точності обробки. Розроблено ефективну промислову технологію фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів і зроблена оцінка економічної ефективності від її впровадження у виробництво.

Ключові слова: технологічний процес, операція шліфування, шорсткість обробки, технологічна собівартість обробки.

Дитиненко С.А. Повышение эффективности технологии финишной обработки цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт” – Харьков – 2004.

Диссертация посвящена созданию эффективного технологического процесса финишной обработки цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий. Для этого разработаны аналитические модели производительности и величины упругого перемещения, образующегося на каждом переходе операции круглого наружного продольного алмазного шлифования. На их основе проведена оптимизация структуры и параметров рассматриваемой операции шлифования по критерию наибольшей производительности с учетом ограничения по точности обработки. Доказано, что структура операции шлифования зависит от режущей способности алмазного круга. Чем она выше, тем больше должен быть припуск, удаляемый на переходе выхаживания, и меньше – на переходе черного шлифования. При использовании алмазного круга с островершинными зернами (после его электроэрозионной правки), который характеризуется высокой режущей способностью, может быть осуществлена оптимальная по структуре операция шлифования, включающая лишь переход выхаживания.

Разработаны новые инженерные методики расчета оптимальных параметров опе-

рации круглого наружного продольного алмазного шлифования: продолжительности операции и переходов; величин припусков, которые снимаются на каждом переходе в зависимости от требований по точности и режущей способности алмазного круга.

Разработана аналитическая модель силы резания при круглом наружном шлифовании и показаны пути ее уменьшения. Проведены экспериментальные исследования по проверке и уточнению полученных теоретических решений.

Выполнена классификация различных схем шлифования периферией круга по кинематическому признаку времени формирования установившейся шероховатости поверхности. Разработана аналитическая модель формирования шероховатости цилиндрической поверхности на операции круглого наружного продольного шлифования, которая впервые позволила учесть влияние разновысотности зерен, вероятностного характера участия их в резании и наличия площадок на вершинах зерен. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность высокопроизводительного съема относительно больших припусков при одновременном существенном уменьшении шероховатости поверхности при круглом наружном шлифовании за счет принудительного формирования площадок на вершинах алмазных зерен. Это позволяет объединить предварительное и окончательное шлифование, а в ряде случаев исключить трудоемкую операцию доводки свободным абразивом из технологического процесса обработки.

Приведены результаты комплексных экспериментальных исследований алмазного шлифования цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий. Показано, что по критериям наибольшей производительности и наименьшей технологической себестоимости обработки более эффективным является вариант технологического процесса финишной обработки, включающий лишь операцию круглого наружного шлифования алмазным кругом на металлической связке с плосковершинными зернами, обеспечивающий выполнение высоких требований по шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей. Разработана эффективная промышленная технология финишной обработки цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий и произведена оценка экономической эффективности от ее внедрения в производство.

Ключевые слова: технологический процесс, операция шлифования, шероховатость обработки, технологическая себестоимость обработки.

Ditinenko S.A. Efficiency increase technology of finishing hard alloyed products having cylindrical surfaces - Manuscript.

Thesis to compete the scientific degree in technical sciences as to 05.02.08 – speciality – machine – building technology National technical university “ Kharkov polytechnical institute ” - Kharkov - 2004.

Thesis are devoted to the development of the efficiency increase technology of finishing hard alloyed products having cylindrical surfaces. Labour productivity analytical models and the main time transition operations of round outer linear diamond grinding, which include transition of rough and fine polishing and also the analytical model of the elastic transition occurred on each transition under grinding have been developed. On their basis the structure optimization and the parameters of considered grinding is put forward.

Cutting force analytical model under round outer grinding is grounded and the ways to decrease it are shown. Experimental researches for checking and specification of obtained theoretical solutions using diamonds disks on the metallic rolls and their electric erosion levelling have been carried out.

Different grinding classification schemes by disk periphery as to kinematic sign of forming roughness surface have been put forward. Analytical model of grinding roughness in cylindrical surface under round outer liner grinding operation is developed.

The possibility to decrease greatly surface roughness under outer grinding at the expense to use specially treated (electric erosion levelling and by diamond levelling stick turning) of the diamond disk on the metallic rolls having approximately the same level of cutting levels of rolls has been grounded and experimentally proved. Complex experimental researches results of finishing hard alloyed products having cylindrical surfaces are set. It is grounded that the criterion of the greatest productivity and the least technological cost grinding is the variant of such technological process, including only operation of outer round grinding of the metallic bund basic (after its electric erosion levelling and turning by a grinding levelling stick), providing the fulfilment of high requirements as to the

roughness and turning accuracy. Effective industrial technology of finishing hard alloyed products having cylindrical surfaces has been developed and economic efficiency from its introduction into production has been carried out.

Key words: technological process, operation of grinding, a roughness of processing, the technological cost price of processing.