

Державний вищий навчальний заклад
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

АЗАРОВА НАТАЛЯ ВІКТОРІВНА

УДК 621.923

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ШЛІФОВАНОЇ ПОВЕРХНІ
З УРАХУВАННЯМ РАДІАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА

05.03.01. – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

ДОНЕЦЬК – 2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі «Металорізальні верстати та інструменти» в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти та науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Матюха Петро Григорович,
Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк,
професор кафедри «Металорізальні верстати та інструменти».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кальченко Віталій Іванович,
Чернігівський державний технологічний університет Міністерства освіти та науки України,
м. Чернігів,
Завідувач кафедри «Інтегровані технології машинобудування і автомобілі»;

кандидат технічних наук, доцент,
Лубенська Людмила Михайлівна,
Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля Міністерства освіти та науки України,
м. Луганськ,
професор кафедри «Технологія машинобудування».

Захист відбудеться 8 квітня 2010 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д11.052.04 у Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, VI корпус, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, II корпус.

Автореферат розісланий 5 березня 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д11.052.04
к.т.н., доцент

Т.Г. Івченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основою випуску конкурентоспроможної машинобудівної продукції є підвищення якості виробів за умов високої продуктивності обробки та низької її собівартості. Рішення цієї задачі можливо шляхом використання високоякісних матеріалів, прогресивних технологій, а також пошуку раціональних режимів обробки. Під час виготовлення виробів із важкооброблюваних матеріалів як чистова операція використовується алмазне шліфування кругами на металевих зв'язках з електроерозійним впливом на робочу поверхню круга (РПК) як на стадії правки, так і в процесі шліфування. Режимми обробки при цьому визначаються або експериментально, або за допомогою теоретичних розрахунків, які ґрунтуються на припущенні щодо абсолютної жорсткості системи «верстат – пристосування – інструмент – деталь» (ВПД). У цьому випадку не враховується вплив коливань системи ВПД, які є завжди в наявності, на розміри одиничних зрізів, а відповідно – і параметри шорсткості обробленої поверхні. В літературі оцінка похибки, яка викликана цим припущенням, відсутня, що може привести до істотної розбіжності теоретично отриманих результатів з даними реальної обробки.

Таким чином, робота, яка спрямована на забезпечення параметрів шорсткості шліфованої поверхні з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, які виникають під час обробки, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до наукового напрямку кафедри «Металорізальні верстати та інструменти» і базується на державних науково-дослідних роботах: «Розвиток теорії шліфування з керуваними діями на робочу поверхню круга з урахуванням зміни її ріжучої здатності» (№ держреєстрації 0106U00110, пріоритетний напрям 10 «Енергозберігаючі технології») та «Теоретичні основи підвищення продуктивності шліфування шляхом керування поточною лімітованою різальною здатністю шліфувального круга» (№ держреєстрації 0108U011255, пріоритетний напрям 6 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі»). Замовник – Міністерство освіти та науки України.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є забезпечення заданих параметрів шорсткості обробленої поверхні за рахунок призначення режимів плоского шліфування з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, які виникають під час обробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наступні основні завдання:**

1. Вивести рівняння траєкторії руху одиничного зерна шліфувального круга відносно деталі для плоского шліфування з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, які виникають під час обробки.

2. Дослідити можливість використання спрощеної траєкторії руху вершини зерна шліфувального круга відносно заготовки для визначення кута контакту та параметрів одиничного зрізу.

3. Дослідити параметри рельєфу алмазних кругів після електроерозійної правки та плоского шліфування з використанням реєстрації даних на ПЕОМ.

4. Розробити математичну модель процесу плоского врізного шліфування, яка враховує радіальні коливання шліфувального круга, що виникають під час обробки.

5. За допомогою розробленої моделі провести дослідження впливу радіальних коливань шліфувального круга, які супроводжують процес обробки, на кількість контактуючих зерен, форму і параметри зрізів під час шліфування одиничним зерном і під час масового різання.

6. Розробити методику розрахунку параметрів шорсткості обробленої поверхні з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, які виникають під час обробки.

7. Розробити й впровадити у виробництво рекомендації щодо режимів обробки важкооброблюваних ванадієвих сталей.

Об'єктом дослідження є процес плоского врізного алмазного шліфування важкооброблюваних матеріалів.

Предметом дослідження є кінематика процесу, форми й розміри одиничних зрізів, які утворюються з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, що виникають під час обробки, та їх вплив на параметри шорсткості шліфованої поверхні.

Методи дослідження: теоретичні методи, які базуються на фундаментальних положеннях теорії різання, математичне моделювання, експериментальні методи. Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів підтверджується попаданням теоретично розрахованих величин у 95% довірчий інтервал для експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Базуючись на висунутих в дисертаційній роботі наукових положеннях, згідно з якими процес врізного шліфування з радіальними коливаннями шліфувального круга, які виникають під час обробки, може розглядатися як процес шліфування зі змінною глибиною різання та може бути представлений як сукупність дискретних актів різання, які виконуються послідовно, у результаті виконаних досліджень *вперше*:

- виведено рівняння траєкторії руху одиничного зерна шліфувального круга відносно деталі для плоского шліфування з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, які виникають під час обробки;

- підтверджено можливість використання рівнянь спрощеної траєкторії руху вершини зерна відносно заготовки для визначення кута контакту і довжини кривої контакту під час плоского шліфування з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга;

- запропоновано критерії існування різних форм зрізу та вплив на них різновисотності зерен і параметрів радіальних коливань круга, що виникають під час обробки, які складають основу математичної моделі процесу плоского врізного шліфування;

- за допомогою математичної моделі проведено дослідження впливу параметрів радіальних коливань шліфувального круга, що супроводжують процес обробки, на кількість контактуючих зерен, форму і параметри зрізів під час шліфування одиничним зерном і під час масового різання;

– розроблено теоретичні основи розрахунку параметрів шорсткості обробленої поверхні та режимів плоского шліфування, які забезпечують задані параметри шорсткості, з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропоновано методики розрахунку й програми для ПЕОМ, які дозволяють розрахувати кількість зерен у контакті, форму і розміри зрізів, які видаляються ними, параметри шорсткості обробленої поверхні та режими шліфування, які забезпечують задані параметри шорсткості, при шліфуванні кругами різних характеристик з урахуванням радіальних коливань РПК.

Розроблено пристрій для дослідження параметрів РПК методом профілографування з реєстрацією даних на ПЕОМ (Патент України на винахід 75483 С2).

Розроблено пристрій для точної установки шліфувального круга на шпинделі верстата, який забезпечує мінімальне радіальне биття РПК (Деклараційний патент України 61436 А).

Розроблено технологічний регламент на технологічний процес плоского врізного алмазного шліфування периферією круга важкооброблюваних ванадієвих сталей.

Рекомендації щодо вибору механічних режимів плоского врізного алмазного шліфування ванадієвих сталей впроваджені на ВАТ «ДонПКТІ» (м. Донецьк) з очікуваним річним економічним ефектом 21000 грн. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні дослідження, які надано в дисертації, виконані автором самостійно. Постановка завдань і обговорення результатів виконувалися спільно з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи розглядалися на науково-технічних конференціях з профілю спеціальності: «Важке машинобудування. Процеси металообробки, верстати, інструменти» (Краматорськ – 2003), «Машиностроение и техносфера XXI века» (Севастополь – 2003), «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве» (Харьков – 2003), «Нові технології, методи обробки та зміцнення деталей енергетичних установок» (Алушта – 2004), «Вібрації в техніці та технологіях» (Вінниця – 2004), «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (Краматорськ – 2005), «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (Краматорськ – 2007).

Робота в повному обсязі заслуховувалась на розширеному засіданні кафедри «Металорізальні верстати та інструменти» Донецького національного технічного університету.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 25 роботах, з яких 14 – у фахових наукових виданнях ВАК України (з них 3 підготовлено одноосібно, 9 статей і 2 патенти – у співавторстві).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків. Повний обсяг роботи складає 254 сторінки, включаючи 59 рисунків, 22 таблиці, список використаних джерел з 192 найменувань на 20 сторінках та 12 додатків на 36 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі – «Врахування впливу вібрацій на процес шліфування у сучасних дослідженнях» – проведено аналіз сучасних підходів щодо врахування впливу вібрацій на процес шліфування, а також проаналізовано сучасні методики розрахунку розмірів одиничних зрізів і параметрів шорсткості шліфованої поверхні.

На сьогодні існує два напрями досліджень вібрацій при шліфуванні. Перший напрям характеризується використанням вібрацій для підвищення ефективності обробки, другий – розробкою методів боротьби з коливаннями. З позицій якості шліфованої поверхні, навантаження на одиничне зерно радіальні коливання круга, які виникають під час шліфування, є шкідливими і з ними необхідно боротися або, принаймні, враховувати під час розрахунків розмірів одиничних зрізів і параметрів шорсткості.

Існуючі методики розрахунку параметрів комоподібних і сегментоподібних одиничних зрізів характеризуються використанням траєкторії руху зерна відносно заготовки у вигляді кола без урахування переносного руху центру круга. При цьому під час розрахунків параметрів зрізу вплив на них радіальних коливань не враховується.

Існуючі методики розрахунку параметрів шорсткості шліфованої поверхні засновані на припущеннях щодо домінування геометричного чинника у формуванні мікропрофілю шліфованої поверхні, а також абсолютної жорсткості системи ВПД і використовують дані геометрії окремих елементів робочої поверхні круга, характеристики елементарних або приведених ріжучих профілів. З урахуванням кінематики шліфування й характеристик РПК знаходять параметри обробленої поверхні R_{max} , R_z , R_a .

Враховуючи, що амплітуда радіальних коливань круга, які виникають під час обробки, сумірна, а у ряді випадків і перевищує висотні параметри шорсткості шліфованої поверхні, під час розрахунку параметрів шорсткості необхідно враховувати характеристики коливального руху.

У зв'язку з вищевикладеним, поставлено мету і завдання дослідження, які приведені в загальній характеристиці роботи.

У другому розділі – «Методологія досліджень. Обладнання. Оброблювані матеріали. Інструмент» – викладено загальну методологію роботи, описано методики теоретичних і експериментальних досліджень, використане обладнання, пристосування, інструмент і оброблювані матеріали.

Основу методологічного підходу під час проведення досліджень складає виявлення зв'язків «умови обробки – параметри шорсткості», використання математичного моделювання, експериментальних методів зі всебічним статистичним аналізом результатів.

Під час досліджень використовували модернізований для здійснення електроерозійної правки плоскошліфувальний верстат моделі ЗД711АФ11, джерело технологічного струму – блок живлення моделі ІТТ-35. Робоче середовище – 0,3%-ний водний розчин кальцинованої соди. Зразки зі сталі Р6М5Ф3 шліфували кругами 1А1 250×76×15×5 з алмазів марки АС6 на зв'язці М2-01, 100%-ної відносної концентрації та зернистістю 100/80, 160/125, 250/200.

Різновисотність зерен, відстані між ними на РПК і висоту виступання вершин зерен зі зв'язки визначали на оригінальній установці методом профілографування з реєстрацією даних на ПЕОМ (Патент № 75483 С2). Статистичне дослідження параметрів рельєфу здійснювали вибіркоким методом. Визначення висоти алмазоносного шару, видаленого під час електроерозійної правки, і радіального биття РПК здійснювали на установці, що дозволяє знайти вимірювані точки на РПК із похибками: вздовж твірної круга – $\pm 0,005$ мм, перпендикулярно твірній круга – $\pm 0,014$ мм.

Вимірювання товщини, ширини і довжини стружок проводили за допомогою оптичного пристрою мікротвердометра ПМТ-3.

Реєстрацію коливань здійснювали за допомогою аналізатора спектру вібрацій моделі 795М.

Параметр R_a шорсткості обробленої поверхні вимірювали на профілометрі моделі 206. Інші параметри визначали за профілограмами шліфованої поверхні, записаними на профілометрі-профілографі моделі 201 із реєстрацією даних на ПК. Обробку профілограм здійснювали за методикою ДСТУ ISO 12085-2001 на ПЕОМ.

У третьому розділі – «Розробка математичної моделі процесу плоского врізного шліфування з урахуванням радіальних коливань круга» – досліджено кінематику процесу плоского врізного шліфування з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, що виникають під час обробки, і розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити кількість контактуючих зерен, форму і розміри зрізів, які видаляються ними під час масового різання.

Форма і розміри одиничних зрізів, які мають великий вплив на вихідні технологічні показники процесу шліфування, залежать від розташування зерен на поверхні круга і траєкторій відносних робочих рухів алмазних зерен.

Для виведення рівнянь траєкторії руху одиничного зерна шліфувального круга відносно деталі під час плоского шліфування з урахуванням радіальних коливань РПК (рис. 1) скористаємося матричним рівнянням, яке описує складний рух з n обертань і n поступальних переміщень.

Підставивши до рівняння руху значення $n = 1$ і виконавши відповідні перетворення, отримаємо рівняння траєкторії руху одиничного зерна шліфувального круга відносно деталі під час плоского шліфування з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, які виникають в процесі обробки:

$$\begin{cases} x = 0; \\ y = R_k \left[-\cos \varphi_k \right] \pm A \sin \frac{2\pi f R_k}{1000 v_k} \varphi_k; \\ z = R_k \left(\sin \varphi_k \pm \frac{v_d}{60 v_k} \varphi_k \right), \end{cases} \quad (1)$$

де R_k – радіус шліфувального круга, мм; v_k , v_d – швидкість круга, м/с, і швидкість деталі, м/хв, відповідно; A – амплітуда коливань шліфувального круга, мм; f – частота коливань, Гц; φ_k – параметр; верхні знаки відносяться до випадку зустрічного шліфування, нижні – попутного шліфування.

Крива, що описується системою параметричних рівнянь (1), є трохойдою, на яку накладаються синусоїдальні коливання відповідної частоти й амплітуди.

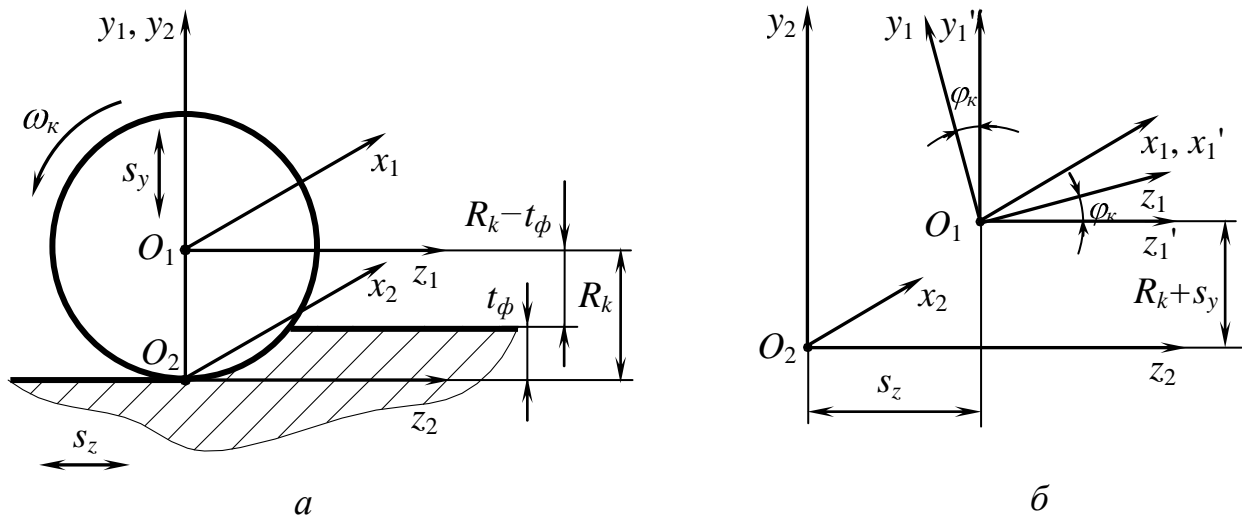


Рис. 1. Положення системи координат $x_1y_1z_1$ в системі координат $x_2y_2z_2$: *a* – у початковий момент часу; *б* – після повороту круга на кут φ_k і поступального переміщення вздовж осі O_2z_2 на величину s_z і вздовж осі O_2y_2 на величину s_y за рахунок коливального руху (t_ϕ – фактична глибина різання)

Після обчислення кута контакту і довжини кривої контакту за формулами, отриманими на базі точної траєкторії (1), а також спрощеної траєкторії у вигляді кола було встановлено, що похибка визначення кута контакту не перевищує 0,07%. Отже, радіальні коливання РПК істотно не впливають на кут контакту за час різання одиничним зерном. Визначення довжини дуги контакту на базі кола в порівнянні з трохойдою за наявності низькочастотних радіальних коливань шліфувального круга має похибку в межах 4 % для зустрічного шліфування та 8 % – для попутного. Тому для визначення параметрів одиничних зрізів під час плоского шліфування в математичній моделі нами будуть використані формули, отримані на підставі спрощеної траєкторії у вигляді кола, а процес врізного шліфування з радіальними коливаннями круга, які виникають під час обробки, буде розглядатися як шліфування зі змінною глибиною різання та як сукупність послідовно здійснюваних дискретних актів різання одиничними зернами, розташованими в перетинах РПК, які перпендикулярні осі круга.

Представимо РПК як сукупність статистично рівнозначних перерізів шліфувального круга площиною, перпендикулярною осі, в яких положення зерен описується центральними кутами між послідовно розташованими зернами α_i , рад, і величиною різновисотності зерен ΔR_i , мм, відносно найбільш виступаючого зерна, вершина якого знаходиться від центру круга на відстані R_0 , мм (рис. 2).

Кінематичні умови утворення різних форм зрізу, отримані з урахуванням умов контакту різновисотно розташованих зерен і параметрів радіальних коливань шліфувального круга, наведені в таблиці 1.

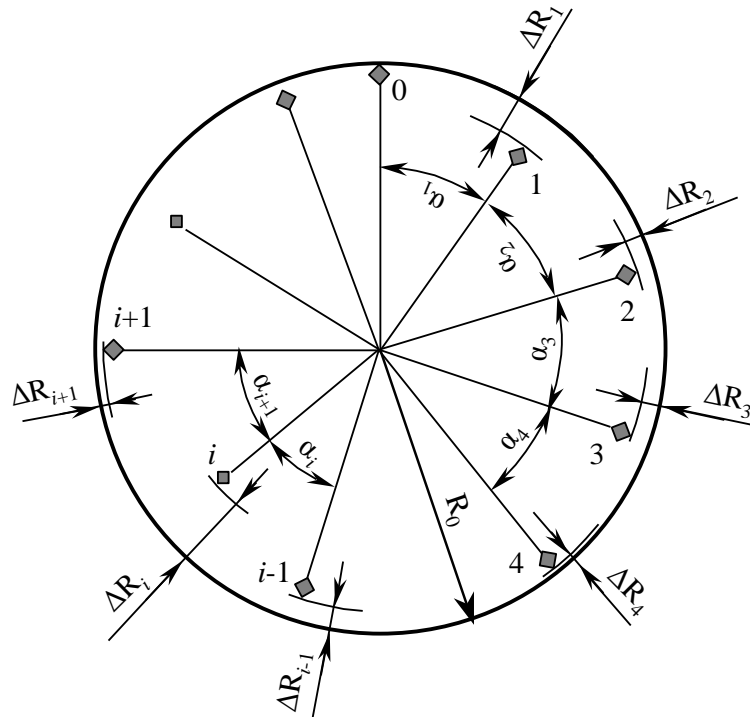


Рис. 2. Розташування зерен у перерізі, перпендикулярному осі шліфувального круга

Таблиця 1

Умови утворення форм зрізів під час шліфування різновисотно розташованими зернами з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга

Переміщення центру круга в горизонтальному напрямі	Різновисотність досліджуваного зерна відносно того, що контактує	Форма зрізу
$0 < S_{z_u} < R_{\kappa} \sin \varepsilon_{\kappa}$	$\Delta R_{uk} \leq \lambda - R_{\kappa}$	Зерно не видаляє оброблюваний матеріал
	$\Delta R_{uk} > \lambda - R_{\kappa}$	Зріз комоподібної форми
$S_{z_u} \geq R_{\kappa} \sin \varepsilon_{\kappa}$	$\Delta R_{uk} \leq A_{y_u} - t_{\kappa}$	Зерно не видаляє оброблюваний матеріал
	$A_{y_u} - t_{\kappa} < \Delta R_{uk} \leq \lambda - R_{\kappa}$	Зріз сегментоподібної форми
	$\Delta R_{uk} > \lambda - R_{\kappa}$	Зріз проміжної форми

Прийняті позначення: κ – індекс контактуючого зерна; u – індекс досліджуваного зерна; t – номінальна глибина шліфування, мм; t_{κ} – глибина шліфування під час роботи контактуючого зерна, мм; t_u – глибина шліфування під час роботи досліджуваного зерна, мм; ε_{κ} – величина кута, відповідної точці виходу контактуючого зерна з оброблюваного матеріалу, рад; λ – відстань від центру шліфувального круга до точки виходу контактуючого зерна з оброблюваного матеріалу, мм; R_{κ} – радіус кола, на якому розташовано контактуюче зерно, мм; R_u – радіус кола, на якому розташовано досліджуване зерно, мм; ΔR_{uk} –

різновисотність досліджуваного зерна u відносно контактуючого зерна k , мм; S_{z_u} – переміщення центра круга в горизонтальному напрямі, мм; A_{y_u} – переміщення центра круга у вертикальному напрямі внаслідок коливань, мм.

Параметри одиничних зрізів визначимо за наступними формулами.

Максимальна товщина комоподібного зрізу:

$$a_{z_{\max u}} = R_u - \sqrt{R_k^2 + A_{y_u}^2 + S_{z_u}^2 + 2A_{y_u}(R_k - t_k) - 2S_{z_u}\sqrt{(2R_k - t_k) \cdot t_k}}. \quad (2)$$

Товщина зрізів проміжної і сегментоподібної форм:

$$a_{z_u} = t_u = R_u - R_k + t_k - A_{y_u} = \Delta R_k - \Delta R_u + t_k - A_{y_u} = \Delta R_{uk} + t_k - A_{y_u}. \quad (3)$$

Довжина зрізу:

$$L_u = R_u \arccos\left(1 - \frac{C_u D_u^2}{2R_u^2}\right) = R_u \arctg \frac{\sqrt{4R_u^2 C_u D_u^2 - C_u D_u^4}}{2R_u^2 - C_u D_u^2}, \quad (4)$$

де C_u – точка входу зерна до оброблюваного матеріалу, D_u – точка виходу.

Змінні величини, що визначають умови контакту, форму і розміри зрізу, обчислюються за наступними залежностями:

$$\begin{aligned} A_{y_u} &= A \sin \frac{2\pi f R_u}{1000 V_k} \varphi_u; & S_{z_u} &= \frac{V_d R_k}{60 V_k} \varphi_u; \\ \lambda &= \sqrt{R_k^2 + A_{y_u}^2 + S_{z_u}^2 + 2(R_k - t_k)A_{y_u} - 2S_{z_u}\sqrt{2R_k t_k - t_k^2}}; \\ \varepsilon_k &= \arctg \frac{\sqrt{2R_k t_k - t_k^2}}{R_k - t_k}; & \Delta R_{uk} &= \Delta R_k - \Delta R_u. \end{aligned}$$

Де φ_u – кут повороту шліфувального круга.

Основу математичної моделі процесу шліфування складають залежності, що наведені у таблиці 1 і формули (2) - (4), а також наступні припущення: контакт зерна з оброблюваним матеріалом визначається контактом його вершини; подача на врізання здійснюється дискретно; форма деталі є ідеальною площиною; пружні деформації в системі ВПД не враховуються.

Вхідними даними математичної моделі є такі: R_0 – радіус шліфувального круга, мм; v_k – швидкість круга, м/с; v_d – швидкість деталі, м/хв; t – номінальна глибина шліфування, мм; A – амплітуда коливань осі шліфувального круга, мм; f – частота коливань, Гц; ΔR – масив величин різновисотності зерен відносно найбільш виступаючого; α – масив величин кутів між зернами; N – число зерен у масиві.

У процесі моделювання виконуються послідовна перевірка умов контакту зерен з оброблюваним матеріалом, визначення форми зрізу згідно з відповідними умовами їх утворення і розрахунок максимальної товщини й довжини зрізу за спеціально розробленою для ПЕОМ програмою.

У четвертому розділі – «Дослідження положення алмазних зерен на робочій поверхні круга в статиці» – досліджено параметри робочої поверхні круга в статиці.

Для опису робочої поверхні нерухомого круга використовували наступні характеристики: різновисотність зерен відносно найбільш виступаючого зерна, відстань між зернами на робочій поверхні круга та висоту виступання вершин зерен зі зв'язки.

Параметри РПК, які були сформовані електроерозійною правкою й плоским алмазним шліфуванням, визначали методом профілографування з реєстрацією результатів на ПЕОМ. Встановлено, що досліджувані параметри РПК, із вірогідністю 0,95% належать одній генеральній сукупності й не залежать від місця профілографування, а найбільш відповідним для опису розподілу різновисотності зерен на РПК, сформованого дослідженими способами, є розподіл Вейбулла, параметри якого будуть використані для розрахунку параметрів шорсткості шліфованої поверхні.

У п'ятому розділі – «Дослідження впливу радіальних коливань робочої поверхні круга на параметри зрізів і шорсткість обробленої поверхні» – досліджено вплив радіальних коливань РПК, які виникають в процесі обробки, на кількість контактуючих зерен, форму і розміри зрізів під час шліфування одиничним зерном у процесі масового різання. Розраховано параметри шорсткості шліфованої поверхні з урахуванням радіальних коливань РПК.

Встановлено, що зі всіх зерен, які розташовані на РПК та потрапили в переріз площиною, що перпендикулярна осі круга, беруть участь у видаленні матеріалу 0,5 - 11,5 % (якщо глибина шліфування 0,001-0,004 мм) і 1 - 12 % (якщо глибина шліфування 0,005 - 0,020 мм). Зі збільшенням частоти коливань (якщо амплітуда незмінна) кількість контактуючих зерен зростає. Вплив амплітуди коливань на кількість контактуючих зерен за різними частотами різний: якщо частоти низькі (до 450 Гц), зі зростанням амплітуди коливань кількість контактуючих зерен зменшується, якщо частоти високі (понад 450 Гц) – зростає.

Якщо глибина шліфування 0,001 - 0,004 мм, існують частоти, при яких переважаючими є сегментоподібна і проміжна форми зрізу. Якщо глибина шліфування 0,005 - 0,020 мм, найбільш представницькою (50-100%) є комоподібна форма зрізу. Зі збільшенням частоти коливань процентний вміст зрізів комоподібної форми збільшується.

Вплив частоти коливань шліфувального круга в радіальному напрямі на форму зрізу і кількість контактуючих зерен визначається співвідношенням між частотою коливань і частотою контакту зерен, яка визначається відстанню між контактуючими зернами, їх різновисотністю і швидкістю різання.

Математичне очікування товщини зрізу зі збільшенням частоти коливань збільшується, причому глибина шліфування неістотно впливає на середню товщину зрізу. Аналогічно впливає частота коливань і на довжину дуги контакту. Дисперсія розподілів товщини зрізу і довжини дуги контакту зі збільшенням частоти коливань збільшується, причому на частотах понад 140 Гц інтенсивніше. Зі збільшенням амплітуди коливань математичне очікування і дисперсія товщини зрізу зростає, але менш інтенсивно.

Враховуючи описані зміни товщини зрізу, можна стверджувати, що за умови вібрацій з однаковою амплітудою навантаження на одиничні зерна зі збільшенням частоти коливань зростає. Крім того, чим вище частота коливань,

тим більше зміни навантаження. Це в одному випадку може привести до нерівномірного зносу круга, в іншому – при шліфуванні з електроерозійними діями в зоні різання – сприяти дробленню електричних імпульсів і поліпшенню умов їх ініціації в тому випадку, коли розряд виникає в результаті контакту.

Результати розрахунків параметрів і форм зрізів підтверджені дослідженнями розмірів і форм стружок.

Під час розробки методики розрахунку параметрів шорсткості використовували наступні положення: профіль шліфованої поверхні є сукупністю зрізів у поперечному перерізі заготовки, які зроблені зернами, розташованими на ділянках РПК, що приймають участь у формуванні нерівностей цього перерізу; якщо $t_\phi \geq R_{max}$ шорсткість поверхні формується за один прохід, а якщо $t_\phi < R_{max}$ – за декілька проходів; виступи нерівностей розташовані на одній лінії; перекриття зрізів відбувається за умови, коли сумарна ширина зрізів дорівнює ширині шліфування. Під час розрахунку використовували математичну модель шліфувального круга, яка забезпечує сегментоподібний зріз на глибині R_{max} .

В основі методики розрахунку висоти нерівностей профілю шліфованої поверхні лежить визначення сумарної ширини зрізів, утворених зернами, що знаходяться в малих шарах ΔR перерізу деталі, на які розбиваються деталь і ріжучий об'єм круга (рис. 3, 4).

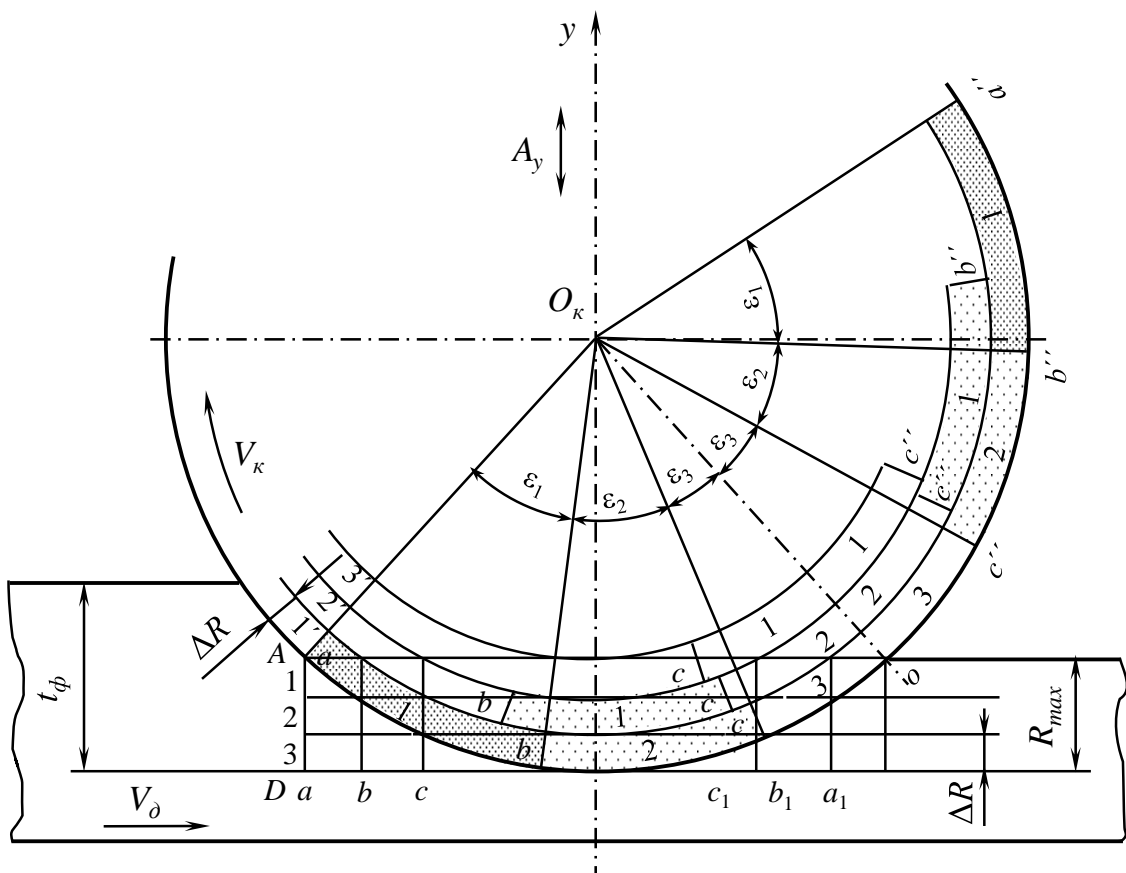


Рис. 3. Схема контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею для випадку, коли $R_{max} \leq t_\phi$

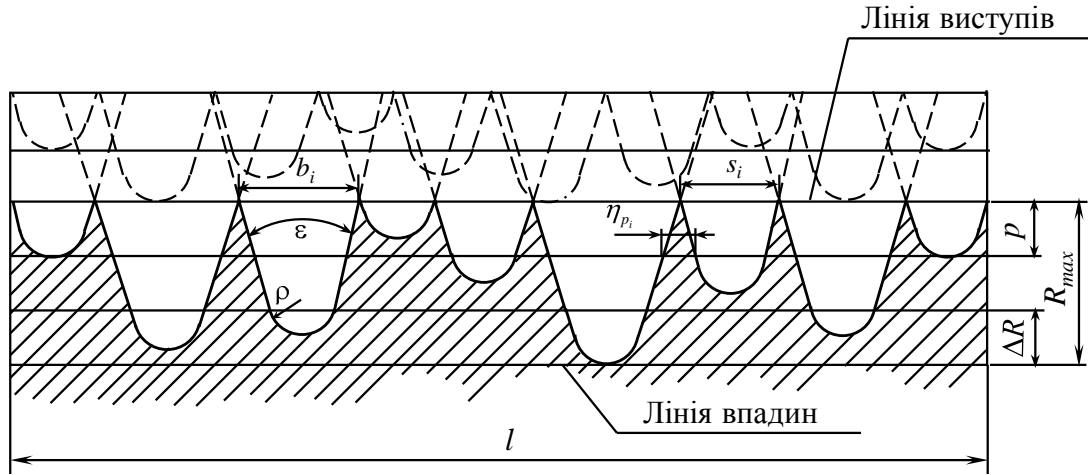


Рис. 4. Схема утворення нерівностей шліфованої поверхні в поперечному перерізі деталі

Умова перекриття зрізів визначається співвідношенням:

$$C \cdot \sum_{i=1}^N F(i\Delta R) \left(\sum_{N_1=1}^{N-i+1} \left(\sqrt{N_1+i-1} - \sqrt{N_1+i-2} \right) \times \right. \\ \times \left[k \left(N_1 \cdot \Delta R - \sum_{j=0}^{N_1+i-2} A_{y_j} \right) \cdot b \left(N_1 \cdot \Delta R - \sum_{j=0}^{N_1+i-2} A_{y_j} \right) + \right. \\ \left. \left. + k \left(N_1 \cdot \Delta R - \left(\sum_{j=1}^N A_{y_j} + \sum_{j=N_1+i}^N A_{y_j} \right) \right) \cdot b \left(N_1 \cdot \Delta R - \left(\sum_{j=1}^N A_{y_j} + \sum_{j=N_1+i}^N A_{y_j} \right) \right) \right] \right] \geq 10^3, \quad (5)$$

де N – кількість досліджуваних інтервалів, $N=1, 2, \dots, K$; i – номери досліджуваних інтервалів, $i=1, 2, \dots, N$; N_l – ділянки поверхні круга, які оброблюють i -ий інтервал, $N_l=1, 2, \dots, N-i+1$; $K = t_{\phi} \cdot 10^3 / \Delta R$ – загальна кількість інтервалів; $F(i\Delta R)$ – значення функції розподілу різновисотності Вейбулла на i -ому інтервалі; A_{y_j} – величина зсуву осі круга в радіальному напрямі, мкм; $b(y)$ – ширина одиничного зрізу, мкм, товщина якого y мкм; $k(y)$ – коефіцієнти, що враховують умови контакту.

Максимальна висота нерівностей профілю визначається як максимальна величина із значень заглиблення зерен на кожному етапі рахунку:

$$R_{\max N} = \max_{i=1, N} \left\{ k \left(i\Delta R - \sum_{j=0}^{i-1} A_{y_j} \right) \cdot \left(i\Delta R - \sum_{j=0}^{i-1} A_{y_j} \right); \right. \\ \left. k \left(i\Delta R - \left(\sum_{j=1}^{i-N} A_{y_j} + \sum_{j=i+1}^N A_{y_j} \right) \right) \cdot \left(i\Delta R - \left(\sum_{j=1}^{i-N} A_{y_j} + \sum_{j=i+1}^N A_{y_j} \right) \right) \right\}, \quad (6)$$

де ΔR – величина інтервалу розрахунку, N – номер інтервалу, на якому сумарна ширина зрізів дорівнює довжині базової лінії.

Якщо $N=K$, а умова перекриття зрізів не виконується, то на даному проході обробки шорсткість поверхні повністю не сформована.

Висоту нерівностей профілю R_z визначимо як суму середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і п'яти найбільших впадин профілю у межах базової довжини. У зв'язку з тим, що виступи нерівностей профілю знаходяться на одній лінії, завдання знаходження R_z зводиться до знаходження середньої глибини не менше п'яти найбільш глибоких зрізів, розташованих у межах базової довжини l .

Середнє арифметичне відхилення профілю R_a можна визначити, використовуючи значення R_z , за наближеною залежністю:

$$R_a = \begin{cases} \frac{R_z}{4}, & R_z \geq 6,3; \\ \frac{R_z}{5}, & R_z < 6,3. \end{cases} \quad (7)$$

Опорну довжину профілю η_p на рівні p визначимо, віднявши від базової довжини профілю сумарну ширину зрізів на цьому рівні:

$$\begin{aligned} \eta_p = l - C \cdot l \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^N F(\Delta R) \sum_{N_1=1}^{N-i+1} \left(\sqrt{N_1+i-1} - \sqrt{N_1+i-2} \right) \times \\ \times \left[k \left(N_1 \cdot \Delta R - \sum_{j=0}^{N_1+i-2} A_{y_j} - p \right) \cdot b \left(N_1 \cdot \Delta R - \sum_{j=0}^{N_1+i-2} A_{y_j} - p \right) + \right. \\ \left. + k \left(N_1 \cdot \Delta R - \left(\sum_{j=1}^N A_{y_j} + \sum_{j=N_1+i}^N A_{y_j} \right) - p \right) \cdot b \left(N_1 \cdot \Delta R - \left(\sum_{j=1}^N A_{y_j} + \sum_{j=N_1+i}^N A_{y_j} \right) - p \right) \right], \end{aligned} \quad (8)$$

де N – номер інтервалу, на якому сталося перекриття зрізів.

Відносна опорна довжина профілю

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Середній крок нерівностей профілю по вершинах s визначимо таким чином $s = l/z_c$, де z_c – сумарна кількість зерен, що беруть участь у формуванні профілю.

$$s = \frac{10^3}{C \cdot \sum_{i=1}^N F(\Delta R) \left(\sqrt{N_1+i-1} - \sqrt{N_1+i-2} \right) \left[k \left(N_1 \cdot \Delta R - \sum_{j=0}^{N_1+i-2} A_{y_j} \right) + k \left(N_1 \cdot \Delta R - \left(\sum_{j=1}^N A_{y_j} + \sum_{j=N_1+i}^N A_{y_j} \right) \right) \right]}, \quad (10)$$

де N – номер інтервалу, на якому сталося перекриття зрізів.

Розрахунок параметрів шорсткості за формулами (6) - (10) виконується за спеціально розробленою програмою на ПЕОМ.

Експериментальна перевірка виконаних розрахунків повністю підтвердила гіпотезу про домінування геометричного чинника у формуванні нерівностей шліфованої поверхні під час алмазного шліфування сталей, а теоретично розраховані параметри шорсткості знаходяться в межах 95%-го довірчого інтервалу для експериментальних величин.

У шостому розділі – «Розрахунок режимів алмазного шліфування по заданій шорсткості поверхні. Впровадження результатів досліджень» – описано пристрій для точної установки РПК на шпинделі верстата, методика розрахунку режимів шліфування, що забезпечують задані параметри шорсткості, приведено рекомендації для умов виробництва.

Запропонований пристрій для установки круга на фланці (Патент № 61436 А) покращує центрування РПК і забезпечує врівноваженість системи «шліфувальний круг – фланці», виключає час для додаткового балансування круга спільно з фланцями та запобігає непродуктивній витраті алмазів.

Розраховано швидкість деталі V_d , виходячи з умов забезпечення висоти нерівностей профілю шліфованої поверхні за наявності низькочастотних радіальних коливань круга (табл. 2).

Таблиця 2

Подовжня швидкість столу шліфувального верстата моделі 3Д711АФ11, що забезпечує задані параметри шорсткості під час обробки кругом АС6 100/80 – 4 – М2 – 01 на режимах: $V_k = 30$ м/с; $f = 37$ Гц; $A = 0,9$ мкм

Задані параметри шорсткості		Подовжня швидкість столу, м/хв
R_z , мкм	R_a , мкм	
8,0	2,0	30,0
6,3	1,6	24,3
5,0	1,0	15,3
4,0	0,8	8,3
3,2	0,63	3,9
2,5	0,50	2,8
2,0	0,40	2,6

Коректність методики розрахунку подовжньої швидкості столу, що забезпечує необхідні параметри шорсткості обробленої поверхні, була підтверджена експериментом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень вирішено важливу наукову і народно-господарську задачу, яка полягає в забезпеченні необхідної якості обробки важкооброблюваних матеріалів шляхом прогнозування параметрів шорсткості шліфованої поверхні з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, що виникають під час обробки.

1. Траєкторією руху одиничного зерна шліфувального круга відносно деталі для плоского шліфування з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, що супроводжують процес обробки, є трохоїда, на яку накладаються синусоїдальні коливання відповідної частоти й амплітуди, як за умови збігу напрямку векторів швидкості деталі і круга, так і за умови їх незбігу.

2. Для визначення кута контакту і довжини кривої контакту під час плоского шліфування з радіальними коливаннями шліфувального круга, які вини-

кають в процесі обробки, можливо використання залежностей, отриманих на підставі спрощеної траєкторії (кола), похибка при цьому не перевищує 5% .

3. Процес врізного шліфування з радіальними коливаннями круга, які виникають під час обробки, на частотах до 1600 Гц може бути представлений як процес шліфування зі змінною глибиною різання.

4. На кількість контактуючих зерен, форму і розміри зрізів впливають глибина шліфування, амплітуда й частота коливань. Зі збільшенням частоти коливань (якщо амплітуда незмінна) кількість контактуючих зерен зростає. За умови збільшення глибини шліфування і частоти коливань процентний вміст зрізів комоподібної форми збільшується.

5. Реєстрація даних про параметри РПК на ПЕОМ, що реалізовується на запропонованому пристрої, дозволяє автоматизувати процес збору й обробки інформації та знизити трудомісткість досліджень на 50%.

6. Під час розрахунку параметрів шорсткості шліфованої поверхні необхідно враховувати переміщення осі шліфувального круга в результаті радіальних коливань за час, відповідний вступу до процесу різання наступного зерна.

7. Розроблена конструкція пристрою для точної установки круга на шпинделі верстата забезпечує зменшення дисбалансу шліфувального круга в процесі обробки, що дозволяє скоротити непродуктивні витрати алмазів і час правки круга на 20% .

8. Результати досліджень упроваджені на ВАТ «ДонПКТІ» (м. Донецьк) з очікуваним економічним ефектом 21000 гривень на рік, а також використовуються в навчальному процесі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК АВТОРА В ПУБЛІКАЦІЯХ У СПІВАВТОРСТВІ

1. Матюха П.Г. Влияние колебаний оси шлифовального круга на условия контактирования абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью / П.Г. Матюха, Н.В. Азарова // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: междунар. сб. научн. трудов. – Донецк: ДонГТУ. – 2002. – Вып. 21. – С. 105-110. *(Автором виведено формули для визначення кута контакту одиночного абразивного зерна шліфувального круга з деталлю з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга)*

2. Матюха П.Г. Влияние колебаний оси шлифовального круга на длину дуги контакта абразивного зерна с деталью / П.Г. Матюха, Н.В. Азарова, В.В. Полтавец // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2002. – Вип. 12. – С. 206-210. *(Автору належить виведення формул для розрахунку довжини дуги контакту при шліфуванні з вібраціями, аналіз отриманих результатів)*

3. Азарова Н.В. Расчет параметров запытообразного среза равновысокими зернами при плоском шлифовании с вибрациями / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2003. – Вип. 13. – С. 58-63. *(Автором виведено формули для розрахунку параметрів комоподібного зрізу рівновисокими зернами при шліфуванні з вібраціями)*

4. Азарова Н. В. Определение параметров единичных срезов при плоском шлифовании с вибрациями с учетом разновысотного положения зерен / Н.В. Азарова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2004. – Вип. 71. – С. 9-16.

5. Матюха П.Г. Влияние радиальных вибраций шлифовального круга на форму среза и число контактирующих зерен / П.Г. Матюха, Н.В. Азарова // Сверхтвердые материалы. – 2004. – №5. – С. 58-64. *(Автором розроблено математичну модель плоского врезного шліфування з вібраціями, виконано розрахунки на ПЕОМ)*

6. Азарова Н.В. Математическая модель плоского врезного шлифования с вибрациями / Н.В. Азарова // Вестник двигателестроения. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич». – 2005. – №1. – С. 119-123.

7. Азарова Н.В. Влияние колебаний оси шлифовального круга на количество контактирующих зерен и форму единичных срезов / Н.В. Азарова // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця. – 2005. – № 4 (42). – С. 12-16.

8. Азарова Н.В. Дослідження параметрів одиничних зрізів при плоскому шліфуванні з вібраціями / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб.наук. праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2005. – №. 12. – С. 49-53. *(Автору належить розробка математичної моделі плоского врезного шліфування з вібраціями для визначення параметрів одиничних зрізів, розрахунки на ПЕОМ, статистична обробка отриманих результатів)*

9. Азарова Н.В. Расчет параметров шероховатости шлифованной поверхности с учетом радиальных колебаний рабочей поверхности круга / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 3. – С. 52-61. *(Автором розроблено методіку аналітичного розрахунку параметрів шорсткості при алмазному шліфуванні з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, виконано розрахунки на ПЕОМ, експериментальні дослідження)*

10. Азарова Н.В. Влияние способа правки алмазного круга на характеристики его рабочей поверхности / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2007. – Вип. 4. – С. 16-20. *(Автором проведено експериментальні дослідження рельєфу РПК, виконано статистичну обробку отриманих результатів)*

11. Азарова Н.В. Удельная себестоимость процесса плоского шлифования ванадиевой быстрорежущей стали кругами из сверхтвердых материалов / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха, В.В. Полтавец // Сверхтвердые материалы. – 2008. – №2. – С. 65-71. *(Автором проведено експериментальні дослідження, математична і статистична обробка отриманих результатів)*

12. Азарова Н.В. Исследование параметров стружки при плоском алмазном шлифовании / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха, В.П. Цокур // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009. – Вип. 6 (154). – С. 9-13. *(Автору*

належить проведення експериментальних досліджень, статистична обробка отриманих результатів)

13. Пат. 61436 А Україна, МПК 7 B24B45/00. Пристрій для закріплення алмазного круга / П.Г. Матюха, Н.В. Азарова, В.В. Полтавець; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет. – № 2003021007; заявл. 05.02.2003; опубл. 17.11.2003, Бюл. № 11. *(Автором запропоновано виконувати регулювання положення РПК безпосередньо на шпинделі верстата)*

14. Пат. 75483 С2 Україна, МПК G01D 7/00. Пристрій для реєстрації рельєфу поверхні абразивних інструментів на металевій зв'язці / П.Г. Матюха, С.В. Константинов, В.П. Цокур, Н.В. Азарова, В.В. Полтавець, О.В. Литвиненко; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет. – № 20040604600; заявл. 14.06.2004; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. *(Автором запропоновано виконувати реєстрацію даних на ПЕОМ)*

15. Рубцов М.В. Определение длины дуги контакта единичного абразивного зерна с деталью при плоском шлифовании с вибрациями / М.В. Рубцов, Н.В. Азарова, О.А. Рубцова // Инженер. Студенческий научно-технический журнал. – Донецк: ДонНТУ. – 2004. – №5. – С. 16-20. *(Автору належить загальне формулювання наукової задачі, аналіз отриманих результатів)*

16. Азарова Н.В. Расчет режимов алмазного шлифования, обеспечивающих требуемую шероховатость обработанной поверхности / Н.В. Азарова, М.В. Рубцов, О.А. Рубцова // Збірник науково-методичних робіт.– Донецьк: ДонНТУ. – 2006. – Вип. 4. – С. 8-12. *(Автором розроблено методику аналітичного розрахунку режимів алмазного шліфування, що забезпечують необхідну шорсткість обробленої поверхні)*

17. Азарова Н.В. Применение численных методов к решению некоторых задач теории резания / Н.В. Азарова // Збірник науково-методичних робіт.– Донецьк: ДонНТУ. – 2009. – Вип. 6. – С. 168-172.

18. Азарова Н. В. Определение параметров запытообразных срезов при плоском шлифовании с вибрациями с учетом разновысотного положения зерен / Н.В. Азарова // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. трудов междунар. научн.-техн. конф., 8-14 сент. 2003 г., Севастополь. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – Т 1. – С. 6-10.

19. Матюха П.Г. Влияние вибраций на параметры запытообразных срезов / П.Г. Матюха, Н.В. Азарова // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: труды 8-й междунар. научн.-техн. конф., 28-30 сент., Харьков. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2003. – С. 149-151. *(Автору належить виведення формул для розрахунку параметрів комоподібного зрізу при шліфуванні з вібраціями, розрахунки на ПЕОМ)*

20. Литвиненко А.В. Автоматизация ввода параметров рабочей поверхности алмазного круга для определения законов распределения разновысотности вершин зерен /А.В. Литвиненко, С.В. Константинов, Н.В. Азарова // Современные металлорежущие системы машиностроения: материалы 5-й Всеукраинской студенческой научн.-техн. конф., 29 марта – 1 апр. 2004 г., Донецк. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – С. 67-69. *(Автором розроблено методику проведення експе-*

риментальних досліджень параметрів рельєфу РПК методом профілографування з реєстрацією даних на ПЕОМ)

21. Азарова Н.В. Дослідження параметрів одиничних зрізів при плоскому шліфуванні з вібраціями / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали III між нар. наук.-техн. конф., 31 трав. – 3 черв., Краматорськ / Під заг. ред. В.Д. Ковальова. – Краматорськ, 2005. – С. 6. *(Автору належить розробка математичної моделі плоского врізного шліфування з вібраціями для визначення параметрів одиничних зрізів, розрахунки на ПЕОМ, статистична обробка отриманих результатів)*

22. Азарова Н.В. Дослідження впливу радіальних вібрацій на форму та параметри одиничних зрізів при плоскому шліфуванні / Н.В. Азарова // Математична культура інженера: формування, вплив на професійну діяльність. Матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 31 трав. – 2 черв., Донецьк. – Донецьк, 2005. – С. 65-66.

23. Азарова Н.В. Автоматизація збору інформації о параметрах робочей поверхності алмазного круга / Н.В. Азарова, С.В. Константинов, П.Г. Матюха // Навчання математики в сучасних умовах: матеріали 2-ої міжнар. наук.-метод. конф., 23-25 трав. 2007 р., Донецьк. – Донецьк: РВВ ДонНТУ, 2007. – С. 99-100. *(Автором розроблено методуку проведення експериментальних досліджень параметрів рельєфу РПК методом профілографування з реєстрацією даних на ПЕОМ)*

24. Азарова Н.В. К вопросу об определении параметров рабочей поверхности алмазного шлифовального круга / Н.В. Азарова, М.В. Рубцов, О.А. Рубцова // Навчання математики в сучасних умовах: матеріали 2-ої міжнар. наук.-метод. конф., 23-25 трав. 2007 р., Донецьк. – Донецьк: РВВ ДонНТУ, 2007. – С. 101-102. *(Автору належить загальне формулювання наукової задачі, аналіз отриманих результатів)*

25. Азарова Н.В. Влияние способа правки алмазного круга на характеристики его рабочей поверхности / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали V міжнар. наук.-техн. конф., 4-7 черв. 2007 р., Краматорськ / Під заг. ред. В.Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2007. – С. 3. *(Автору належить проведення експериментальних досліджень рельєфу РПК, статистична обробка отриманих результатів)*

АНОТАЦІЯ

Азарова Н.В. Забезпечення параметрів шорсткості шліфованої поверхні з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – ДНВЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2010.

Дисертацію присвячено забезпеченню необхідної якості обробки важкооброблюваних матеріалів за рахунок призначення режимів обробки, які дозволяють отримати задані параметри шорсткості шліфованої поверхні з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, які виникають під час обробки.

Встановлено, що траєкторією руху одиничного зерна шліфувального круга відносно деталі під час плоского шліфування є трохойда, на яку накладаються синусоїдальні коливання відповідної частоти і амплітуди, як за умови збігу напрямку векторів швидкості деталі та круга, так і за умови їх незбігу. Для визначення параметрів одиничних зрізів під час плоского шліфування в математичній моделі використано формули, отримані на підставі спрощеної траєкторії – кола (похибка при цьому не перевищує 5%), а процес шліфування з радіальними коливаннями круга, які супроводжують процес обробки, розглядається як процес шліфування зі змінною глибиною різання.

Розроблено математичну модель процесу плоского врізного шліфування, на базі якої проведені дослідження впливу параметрів радіальних коливань шліфувального круга, що супроводжують процес обробки, на кількість контактуючих зерен, форму і розміри зрізів під час шліфування одиничним зерном і під час масового різання. Встановлено, що зі збільшенням частоти коливань (якщо амплітуда незмінна) кількість контактуючих зерен зростає; за умови збільшенні глибини шліфування і частоти коливань процентний вміст зрізів комоподібної форми збільшується.

Розроблено методику розрахунку параметрів шорсткості обробленої поверхні з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга, яка дає можливість визначити механічні режими, що забезпечують задані параметри шорсткості, та пристрій для закріплення шліфувального круга на шпинделі верстата з високою точністю, який дозволяє скоротити непродуктивні витрати алмазів і ліквідувати неврівноваженість круга разом з фланцями.

Результати досліджень впроваджено на ВАТ «ДонПКТІ» (м. Донецьк). Очікуваний економічний ефект – 21000 гривень на рік.

Ключові слова: алмазне шліфування, одиничні зрізи, шорсткість поверхні.

АННОТАЦИЯ

Азарова Н.В. Обеспечение параметров шероховатости шлифованной поверхности с учетом радиальных колебаний шлифовального круга. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01. – Процессы механической обработки, станки и инструменты. – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2010.

Диссертация посвящена решению актуальной задачи обеспечения требуемого качества обработки труднообрабатываемых материалов путем назначения режимов обработки, которые позволяют получить заданные параметры шероховатости шлифованной поверхности с учетом возникающих при обработке радиальных колебаний шлифовального круга.

В основе методологического подхода при проведении исследований лежит выявление связей «условия обработки – параметры шероховатости», использование математического моделирования, экспериментальных методов с всесторонним статистическим анализом результатов.

Установлено, что траекторией движения единичного зерна шлифовального круга относительно детали при плоском шлифовании с учетом возникающих при обработке радиальных колебаний шлифовального круга является трохоида, на которую накладываются синусоидальные колебания соответствующей частоты и амплитуды. Радиальные колебания РПК не оказывают существенного влияния на угол контакта за время резания единичным зерном, а определение длины дуги контакта на базе окружности по сравнению с трохойдой при наличии низкочастотных радиальных колебаний шлифовального круга вносит погрешности в пределах 4 % для встречного шлифования и 8 % – для попутного. Поэтому процесс шлифования с возникающими при обработке радиальными колебаниями круга рассматривается как шлифование с переменной глубиной резания.

Для исследования влияния радиальных колебаний шлифовального круга на количество контактирующих зерен, форму и размеры срезов при шлифовании единичным зерном и при массовом резании разработана математическая модель процесса плоского врезного шлифования, учитывающая радиальные колебания шлифовального круга, возникающие во время обработки. Основу математической модели процесса шлифования составляют кинематические условия образования различных форм среза, полученные с учетом условий контактирования разновысотных расположенных зерен и параметров радиальных колебаний шлифовального круга, зависимости для определения размеров единичных срезов, полученные на основании упрощенной траектории – окружности. В процессе моделирования выполняется последовательная проверка условий контактирования зерен с обрабатываемым материалом, определение формы среза с помощью соответствующих критериев и расчет максимальной толщины и длины среза по специально разработанной для ПЭВМ программе.

При выполнении расчетов использовали сведения о расположении зерен в сечении РПК плоскостью, перпендикулярной оси круга: разновысотность зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстояние между зернами на рабочей поверхности круга и величину выступания зерен из связки. Параметры РПК, сформированные электроэрозионной правкой и алмазным шлифованием, определяли методом профилографирования с регистрацией результатов на ПЭВМ. Установлено, что наиболее подходящим для описания распределения разновысотности зерен на РПК, сформированного исследованными способами, является распределение Вейбулла, параметры которого использовались при расчете параметров шероховатости шлифованной поверхности.

С помощью разработанной модели процесса шлифования исследовано влияние радиальных колебаний РПК на количество контактирующих зерен, форму и размеры срезов при шлифовании единичным зерном в процессе массового резания. Установлено, что с увеличением частоты колебаний при неизменной амплитуде количество контактирующих зерен растет, при увеличении глубины шлифования и частоты колебаний процентное содержание срезов пятообразной формы увеличивается. Результаты расчетов параметров и форм срезов подтверждены результатами исследований размеров и форм стружек.

Разработана методика расчета параметров шероховатости обработанной поверхности с учетом радиальных колебаний шлифовального круга. При расчете использовали математическую модель шлифовального круга, обеспечивающую сегментообразный срез на глубине R_{max} .

Экспериментальная проверка выполненных расчетов показала, что теоретически определенные параметры шероховатости находятся в пределах 95%-го доверительного интервала на экспериментальные величины.

Предложенная методика расчета параметров шероховатости обработанной поверхности с учетом радиальных колебаний шлифовального круга позволяет определить скорость детали V_d , исходя из условий обеспечения высоты неровностей профиля шлифованной поверхности, при наличии низкочастотных колебаний.

Технологический регламент на процесс плоского врезного шлифования периферией круга труднообрабатываемых ванадийсодержащих сталей и конструкция устройства для закрепления шлифовального круга на шпинделе станка с высокой точностью, позволяющего сократить непроизводительные потери алмазов и ликвидировать неуравновешенность круга совместно с фланцами, внедрены на ОАО «ДонПКТИ» (г. Донецк). Применение технологического регламента в производственных условиях позволяет сократить непроизводительные потери алмазов и время на правку круга на 20 %. Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 21000 грн. в год.

Ключевые слова: алмазное шлифование, единичные срезы, шероховатость поверхности.

SUMMARY

Azarova N.V. Providing of parameters of roughness of the grinded surface taking into account the radial vibrations of grinding wheel. – The Manuscript.

Dissertation on the competition of scientific degree of candidate of engineering sciences on specialty 05.03.01 – Processes of machining, machines and tools. – SHEE «Donetsk National Technical University», Donetsk, 2010.

Dissertation is devoted the decision of actual task of providing of the required quality of machining of hard-to-cut materials by means of determination of parameters of roughness of the grinded surface taking into account the radial vibrations of grinding wheel.

It is developed the mathematical model of process of the flat infeed grinding with the radial vibrations of grinding wheel, on the base of which of influence of parameters of vibrations on the amount of contacting grains, form and sizes of cuts at grinding and mass cutting by single grain is researched.

The method of determination of parameters of roughness of the machined surface is developed taking into account the radial vibrations of grinding wheel. The method includes the calculation of the mechanical conditions, providing required parameter of roughness.

It is developed the recommendations on diamond grinding conditions of hard-to-cut vanadium steels for using in industry.

Keywords: diamond grinding, single cuts, roughness of surface.