

*Пижов І.М., д.т.н., професор
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Клименко В.Г., аспірант
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ЗАЛИШКОВИХ ГРЕБІНЦІВ ПРИ БАГАТОПРОХІДНІЙ СХЕМІ ТОРЦЕВОГО ШЛІФУВАННЯ З НАХИЛОМ ОСІ ШПИНДЕЛЯ

Виявлено, що в умовах реалізації процесу плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя за багатопрохідною схемою обробки на оброблювальній поверхні утворюються залишкові гребінці. Їх природа в цілому аналогічна залишковим гребінцям, які мають місце при лезовій обробці інструментом з радіусною вершиною. Але відома залежність, наприклад, при точінні не може бути застосована в цьому випадку внаслідок особливостей кінематики процесу обробки. У зв'язку із цим були виконані теоретичні дослідження, що дозволили отримати аналітичні залежності, які пов'язують такий параметр зони контакту різальної поверхні круга з деталлю, як залишкові гребінці в умовах плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя (багатопрохідна схема обробки).

Ключові слова: *параметри зони контакту, залишкові гребінці, кут нахилу осі шпинделя, глибина шліфування, поперечна подача, діаметр круга.*

*Пыжов И.Н., д.т.н., профессор
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Клименко В.Г., аспирант
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ГРЕБЕШКОВ ПРИ МНОГОПРОХОДНОЙ СХЕМЕ ТОРЦЕВОГО ШЛИФОВАНИЯ С НАКЛОНОМ ОСИ ШПИНДЕЛЯ

Обнаружено, что в условиях реализации процесса плоского торцевого шлифования с предварительным наклоном оси шпинделя по многопроходной схеме обработки на обработанной поверхности образуются остаточные гребешки. Их природа в целом аналогична остаточным гребешкам, которые имеют место при лезвийной обработке инструментом с радиусной вершиной. Но известная зависимость, например, при точении, не может быть применена в данном случае в силу особенностей кинематики процесса обработки. В связи с этим были выполнены теоретические исследования, позволившие получить аналитические зависимости, связывающие такой параметр зоны контакта режущей поверхности круга с деталью, как остаточные гребешки в условиях плоского торцевого шлифования с предварительным наклоном оси шпинделя (многопроходная схема обработки).

Ключевые слова: *параметры зоны контакта, остаточные гребешки, угол наклона осей шпинделя, глубина шлифования, поперечная подача, диаметр круга.*

Pyzhov I., DSc, Professor
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
Klimenko V., post-graduate
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

THEORETICAL STUDY OF FORMATION OF RESIDUAL SCALLOPS AT MULTIPLE-PASS SCHEME OF FACE GRINDING WITH SLOPE OF SPINDLE AXIS

The research deals with a special case of flat face grinding, namely processing with preliminary slope of spindle axis. This approach makes it possible to control an important parameter such as the contact area of cutting surface of grinding wheel with a workpiece, and therefore the temperature in grinding area. Ultimately, this is beneficial to the quality of machined surface of the workpiece. An important feature of the process of face grinding with preliminary slope of spindle axis is formation of form deviation on the workpiece surface, and, specifically, its particular form – concavity. In the context of the process of flat face grinding with preliminary slope of spindle axis under conditions of multiple-pass scheme of processing, this leads to the formation of the residual scallops on the machined surface. Their nature is in whole similar to the residual scallops that take place at the edged machining using tool with radiused cutter point. But the known dependence that describes the relationship of the height of residual scallops with processing conditions, for example, at turning can not be applied in this case, due to the peculiarity of kinematics of the machining process. In this connection, theoretical research that make it possible to obtain analytical dependence connecting height of residual scallops with conditions of multiple-pass flat face grinding with preliminary slope of spindle axis have been carried out. In this process the role of the factors such as the angle of preliminary slope of spindle axis, grinding depth, diameter of grinding wheel and transverse feed has been established. Specific role of grinding depth and transverse feed in this process has been established. The value of the former under conditions of multiple-pass processing is a factor limiting the maximum height of residual scallops, and the value of the latter is charged with concrete height of the scallops. In this connection, a special role that played by the ratio of transverse feed with value of the contact width of the wheel cutting surface with the workpiece has been established. This makes it possible in practice to assign the processing conditions that, on the one hand, will guarantees that on the treated surface there will be no areas unaffected with the wheel and, on the other hand, will control the height of the residual scallops. In turn, the width of the contact area of wheel cutting surface with workpiece depends upon the factors such as angle of preliminary slope of spindle axis, grinding depth and diameter of wheel. That is, almost upon the same factors which determine the height of the scallop. It can be considered as a feature of the process. On the basis of the established features of the formation of the residual scallop and the connection of its height with cutting depth, we recommend how to use the proposed analytical dependence in practice in order to eliminate the possibility of errors in the calculations. The correctness of the results obtained on the basis of analytical dependence, and comparing them with the calculations according to the empirical formula was verified using computer geometric simulation in COMPASS software package. The fulfilled study in whole makes it possible to improve the process of flat face grinding and thereby expand its technological capabilities.

Keywords: parameters of contact area, residual scallops, slope angle of spindle axis, grinding depth, cross-feed, diameter of wheel.

Аналіз схеми торцевого шліфування на прохід (з нахилом осі шпинделя) показав, що в разі обробки широких деталей площа контакту різальної поверхні круга (РПК) з оброблюваною деталлю може мати достатньо великі значення, особливо при використанні кругів великих розмірів із суцільним робочим шаром. У зв'язку із цим розв'язання проблеми може бути пов'язане із застосуванням багатопрхідної схеми обробки [11] з попереднім нахилом осі шпинделя. Особливістю цієї схеми є використання додаткової поперечної подачі S_{non} . Це є ще одним технічним прийомом, який дозволить істотно знизити площу контакту РПК з деталлю.

Один із напрямів удосконалення цього процесу лежить у площині виявлення технологічних особливостей формування макро- і мікропрофілю оброблюваної плоскої поверхні деталі [11]. У наших дослідженнях застосовувався чисто геометричний підхід, тобто вважалось, що глибина різання не впливає на формування профілю деталі, з одного боку, і не враховувався можливий вплив явищ, пов'язаних із проявом дії фізичного чинника (наприклад, пружне відновлення і т.д.), з іншого [12].

У процесі багатопрхідного шліфування на оброблюваній поверхні при кожному проході формуються ділянки з увігнутістю, унаслідок чого на плоскій поверхні утворюються залишкові гребінці певної висоти. При цьому й увігнутість, і залишкові гребінці характеризуються параметром H (рис. 2). Це можна вважати відмінними ознаками такого процесу порівняно з обробкою «на прохід». На рисунку контур шліфувального круга умовно показаний у вигляді кола. Слід зазначити, що, хоча глибина різання безпосередньо і не впливає на зміну параметра H , її роль проявляється в обмеженні граничних значень H . Установлено, що величину H визначають такі чинники, як діаметр круга d_k , кут нахилу шпинделя α і поперечна подача S_{non} . Теоретично поєднання їх величин забезпечує знаходження параметра H в інтервалі значень $0 \leq H \leq t$. Величину поперечної подачі S_{non} зручно виражати в частках ширини оброблюваної поверхні деталі. При цьому необхідно за основу брати не всю ширину B , а її частину B' , яка утворюється при одному проході з глибиною шліфування t , що дозволяє внести визначеність при виборі максимального значення S_{non} . Як видно з рисунка, якщо величина поперечної подачі буде більшою від зазначеної вище частини ширини деталі B' , тобто $S_{non1} > B'$ (рис. 2), то висота H буде максимальною. У такому випадку маємо, що $H = H_{max} = t$. При цьому характерним є те, що на обробленій поверхні будуть залишатися незачеплені кругом ділянки шириною C , що недопустимо (якщо тільки це не передбачено кресленням). Відповідно для усунення такого недоліку значення поперечної подачі має бути обмеженим шириною B' , тобто повинна дотримуватись умова $S_{non2} \leq B'$. Випадок, коли $S_{non2} = B'$ (рис. 2), є теоретично граничним. Тут, як і в попередньому прикладі, $H = H_{max} = t$, однак ділянки з необробленою поверхнею теоретично будуть відсутніми. Як видно з розглянутих рисунків, формування оброблюваної поверхні при багатопрхідному шліфуванні має деяку схожість з утворенням шорсткості при обробці лезовим інструментом у разі, коли в роботі бере участь кругове перехідне лезо певного радіуса [12]. Відмінність полягає в тому, що якщо при точінні поздовжня подача здійснюється безперервно, то при багатопрхідному шліфуванні торцевим кругом її роль ніби виконує поперечна подача, яка відбувається періодично (наприклад, на подвійний хід столу верстата).

Теоретично залежно від величини подачі S_{non} такий параметр, як висота H залишкових гребінців на поверхні деталі може визначати в одному випадку відхилення форми, а в іншому – шорсткість обробки. У міру зменшення S_{non} висота гребінців буде відповідно зменшуватися (рис. 2). Тільки при куті нахилу шпинделя $\alpha = 90^\circ$, коли торцевий круг стає периферійним (наприклад, при використанні чашково-циліндричних кругів), справедлива класична формула для визначення висоти залишкових гребінців, наприклад при точінні [12],

$$H = r - \frac{\sqrt{4 \cdot r^2 - S^2}}{2}, \quad (1)$$

де r – радіус при вершині різця, мм; S – поздовжня подача, мм/об.

У нашому випадку (при $\alpha = 90^\circ$) формула (1) має такий вигляд:

$$H = \frac{d_k - \sqrt{4 \cdot \left(\frac{d_k}{2}\right)^2 - S_{non}^2}}{2} = \frac{d_k - \sqrt{d_k^2 - S_{non}^2}}{2}. \quad (2)$$

Оскільки в розглянутому процесі шліфувальний круг нахилений під кутом α , значення якого близьке до нуля, формула (2) дає великі похибки, що робить її практично не придатною для використання. Це вимагає встановлення залежності, придатної для практичного використання в умовах плоского торцевого шліфування з нахилом осі шпинделя.

У роботі [11] ця задача була розв'язана шляхом комп'ютерного геометричного моделювання, що дозволило встановити емпіричну степеневу залежність висоти залишкових гребінців від умов обробки

$$H = 0,003 \cdot \alpha \cdot S_{non}^{2,039} \cdot d_k^{-0,949}, \quad (3)$$

де α – кут нахилу осі шпинделя верстата, $^\circ$; S_{non} – поперечна подача, мм/подв. хід; d_k – зовнішній діаметр шліфувального круга, мм.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Визначено, що в умовах реалізації процесу плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя за багатопрохідною схемою обробки на оброблювальній поверхні утворюються залишкові гребінці. Унаслідок особливостей кінематики процесу обробки відомі залежності не можуть застосовуватися в цьому випадку.

Постановка завдань. У роботі було поставлено завдання отримати аналітичну залежність, яка пов'язує параметр H з наведеними вище факторами.

Мета досліджень – встановлення аналітичної залежності, котра пов'язує висоту залишкових гребінців з умовами багатопрохідного плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя.

Основний матеріал і результати. Поставлена задача була розв'язана нами шляхом теоретичних досліджень. Правильність отриманих аналітичних залежностей перевіряли шляхом комп'ютерного геометричного моделювання [6, 7].

Для цього скористаємося рисунком 3 (Б, див. рис. 1), який являє собою два еліпси, що зміщені один від одного на величину поперечної подачі S_{non} . Тут a та b більша й менша піввісі еліпса відповідно. Тобто еліпси в цьому випадку теж являють собою проекції кіл на профільну площину. Затемнена зона – залишковий гребінець, формулу для розрахунку висоти якого і треба вивести.

Для цього скористаємося відомим підходом, котрий використовується при виведенні формули для розрахунку висоти залишкового гребінця при лезовій обробці [Ошибка! Источник ссылки не найден.] за умови, коли вершина інструмента (наприклад, різця) виконана у вигляді дуги кола. На підставі схеми, наведеної на рисунку 3, маємо, що

$$H = AB = OB - OA. \quad (4)$$

Підкреслимо, що на рисунку 3 показано крайній випадок, коли $S_{non} = B'$. При цьому висота залишкових гребінців максимальна і теоретично дорівнює глибині шліфування $H = t$. Це надалі буде мати важливе значення з точки зору трактування результатів розрахунків висоти залишкових гребінців.

У формулі (4) відрізок OB являє собою меншу піввісь (b) еліпса, яка є величиною невідомою. Як видно з рисунка 1 (трикутник AOB), її можна визначити, якщо відомі значення більшої піввісі еліпса a та куту нахилу α .

$$OB = b = a \cdot \sin \alpha = \frac{d_k}{2} \cdot \sin \alpha. \quad (5)$$

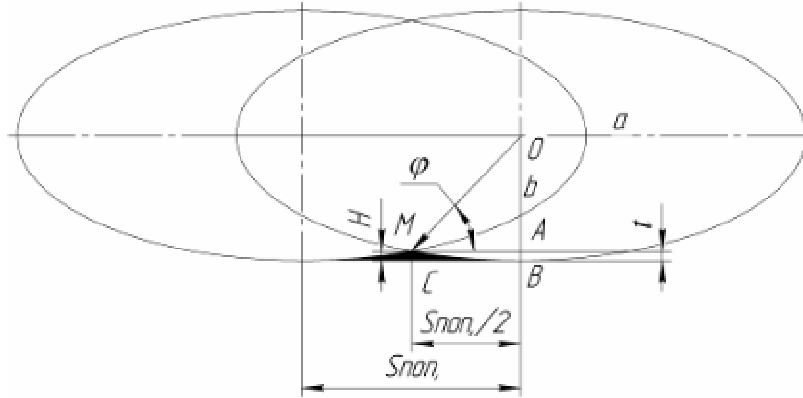


Рисунок 3 – Розрахункова схема для визначення висоти залишкового гребінця

Відрізок OA можна визначити з прямокутного трикутника OAM (рис. 3). Але для цього треба визначити відрізок OM , який (на відміну від відомого випадку [12]) являє собою радіус не кола, а еліпса в точці M (відстань від його центра до цієї точки), тобто є величиною змінною. Така точка збігається з вершиною залишкового гребінця.

Скористаємося канонічним рівнянням еліпса [13]

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

де x та y – координати точки M . У нашому випадку $x = MA = \frac{S_{non.}}{2}$; а $y = OA$.

Тоді з урахуванням рівняння (5) маємо, що

$$\frac{S_{non.}^2}{4 \cdot a^2} + \frac{OA^2}{a^2 \cdot \sin^2 \alpha} = 1$$

або

$$1 - \frac{S_{non.}^2}{4 \cdot a^2} = \frac{OA^2}{a^2 \cdot \sin^2 \alpha}.$$

Розкриваючи це рівняння, отримаємо, що

$$OA^2 = \left(1 - \frac{S_{non.}^2}{4 \cdot a^2}\right) \cdot a^2 \cdot \sin^2 \alpha = \left(1 - \frac{S_{non.}^2}{d_k^2}\right) \cdot \frac{d_k^2}{4} \cdot \sin^2 \alpha.$$

Звідси витікає, що

$$OA = \sqrt{\left(1 - \frac{S_{non.}^2}{d_k^2}\right) \cdot \frac{d_k^2}{4} \cdot \sin^2 \alpha} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(d_k^2 - S_{non.}^2)} \cdot \sin \alpha. \quad (6)$$

Тоді рівняння (4) з урахуванням формул (5) та (6) після нескладних перетворень остаточно буде мати вигляд

$$H = \frac{1}{2} \cdot \left[d_k - \sqrt{(d_k^2 - S_{non.}^2)} \right] \cdot \sin \alpha. \quad (7)$$

У залежності (7) невідомим фактором є величина поперечної подачі, яка повинна, як було сказано вище, узгоджуватися з шириною зони контакту РПК з деталлю. У роботі [10] **Ошибка! Источник ссылки не найден.** встановлено, що значення S_{non} повинне підкорятися нерівності

$$S_{non.} \leq B' \leq 14,92 \cdot t^{0,50} \cdot \alpha^{-0,48} \cdot d_k^{0,50}. \quad (8)$$

Це унеможливорює утворення на поверхні деталі ділянок, які залишаються не зачеплені шліфувальним кругом.

У результаті попереднього аналізу було встановлено, що в міру зростання подачі S_{non} висота H теж збільшується, а після того як досягне глибини обробки t , повинна перестати змінюватися. Але розрахунки за формулою (7) при подачах, які перебільшують ширину зони контакту B' , показують, що величина залишкових гребінців H продовжує збільшуватися. Тобто точка M , яка є місцем перетину еліпсів (рис. 4), продовжує зміщуватися в бік осі OO_1 в міру зростання подачі у зоні $S_{non} > B'$. Справа в тому, що в цьому випадку реальне значення висоти залишкових гребінців ($H_{реал.}$, затемнена зона) залишається незмінним (і не повинне перебільшувати глибину шліфування t), а розрахункове ($H_{розн.}$) збільшується (див. рівняння (8)) і чисельно дорівнює тій гіпотетичній величині глибини різання $t_{B'}$, яка відповідає поточному значенню B' (оскільки B' залежить від t), а отже, S_{non} .

Тобто розрахункове значення висоти включає її реальне значення і неіснуючу частину гребінця (H' , заштрихована зона). Таким чином, можна записати, що

$$H_{розр.} = H_{реал.} + H'.$$

Цей підхід буде справедливим і у випадку визначення висоти залишкового гребінця при точінні різцем з радіусною вершиною при використанні великих значень подачі.

Аналіз рисунка 4 показує, що у разі шліфування «на прохід» висота H трансформується у відхилення від площинності (увігнутість) $\Delta = t_{B'}$.

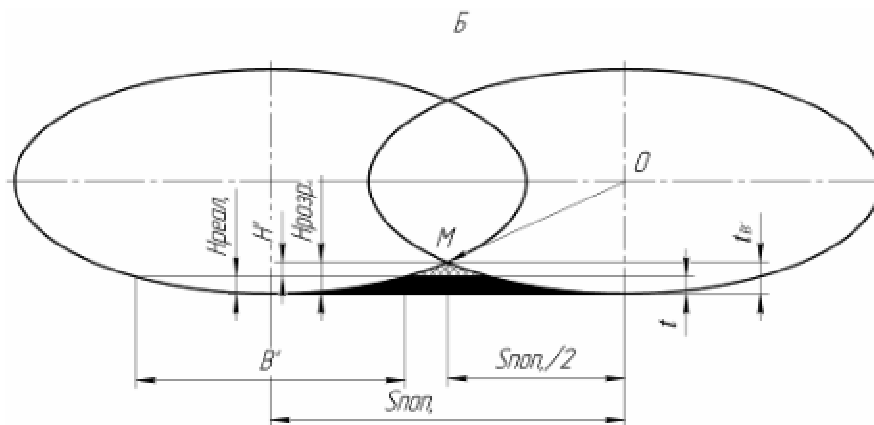


Рисунок 4 – До особливостей визначення висоти залишкових гребінців

Таким чином, при користуванні формулою (7) треба мати на увазі, що в діапазоні поперечних подач $S_{non.} \leq B'$ параметр H являє собою висоту залишкових гребінців (вона не повинна перевищувати глибину обробки t), а в діапазоні подач $S_{non.} > B'$ – увігнутість Δ .

У таблиці наведено фрагмент порівняльних даних за різними способами визначення висоти залишкових гребінців на поверхні деталі.

Таблиця 1 – Порівняльні дані за різними способами визначення висоти гребінців H

d_k , мм	100	150	250	350	500
Комп'ютерне моделювання $H_{км}$, мм	0,06	0,040	0,024	0,017	0,012
Ступенева залежність $H_{сз}$, мм	0,06	0,040	0,025	0,018	0,013
Аналітична залежність $H_{аз}$, мм	0,06	0,040	0,024	0,017	0,012

Загальні умови: $\alpha = 1,5^\circ$; $t = 0,09$ мм; $S_{non} = 30$ мм/подв.х.

Ці дані свідчать про те, що як аналітична формула (7), так і ступенева залежність (3) дають практично однакові результати, які збігаються з даними комп'ютерного геометричного моделювання. Тому обидві залежності мають право на використання залежно від конкретних обставин.

Слід зазначити, що знання такого параметра процесу обробки, як висота залишкових гребінців має важливе практичне значення при розробленні технологічних операцій плоского торцевого шліфування у складі конкретного технологічного процесу виготовлення виробу. Мають на увазі те, що цей факт треба враховувати при розрахунку припусків для чистової і прецизійної стадій шліфування. А це дає змогу технологу визначити кількість проходів із глибиною t на етапі прецизійної обробки з метою забезпечення технічних вимог креслення [10].

Виконані дослідження дозволили сформулювати такі **висновки**:

1. Отримана аналітична залежність, підтверджена результатами комп'ютерного геометричного моделювання, може бути використана для розрахунків величини залишкових гребінців, а також увігнутості плоскої поверхні деталі при багатопрохідному плоскому торцевому шліфуванні з нахилом осі шпинделя.

2. Дослідження підтвердили правомірність використання на практиці ступеневої залежності, отриманої раніше, але порівняно з нею аналітичні залежності справедливі у більш широких діапазонах параметрів, які характеризують умови обробки.

3. Отримана залежність для розрахунку величини залишкових гребінців має практичне значення при призначенні припусків на обробку й, особливо, для прецизійних стадій шліфування.

Література

1. Dressing of Grinding Wheels / T. Tawakoli, A. Rasifard, M.J. Jackson, J.P. Davim // *Machining with Abrasives, Springer-Verlag. – Berlin, Heidelberg, 2011. – 230 p.*
2. Toenshoff H.K. *Basics of Cutting and Abrasive Processes* / H.K. Toenshoff, B. Denkena // Springer-Verlag. – Berlin, Heidelberg, 2013. – 210 p.
3. Klocke F. *Manufacturing Processes 2 Grinding, Honing, Lapping, Springer-Verlag* // F. Klocke. – Berlin, Heidelberg, 2009. – 185 p.
4. Malkin S. *Grinding Technology Theory and Applications of Machining with Abrasives* / S. Malkin, C. Guo // 2nd Edition, Industrial Press Inc., 2008. – 202 p.
5. Маталин А. А. *Технология машиностроения* / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
6. Лурье Г. Б. *Шлифовальные станки и их наладка* / Г. Б. Лурье, В. Н. Комиссаржевская. – М. : Высшая школа, 1972. – 416 с.
7. Наерман М. С. *Справочник молодого шлифовщика* / М. С. Наерман. – М. : Высшая школа, 1985. – 207 с.
8. Лоскутов В. В. *Шлифовальные станки* / В. В. Лоскутов. – М. : Машиностроение, 1976. – 191 с.

9. *Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. – Т.1 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение-1, 2003. – 944 с.*
10. *Пижов І. М. Дослідження ширини контакту різальної поверхні круга з деталлю при плоскому торцевому шліфуванні з нахилом осі шпинделя / І. М. Пижов, В. Г. Клименко // Журнал інженерних наук, наук. журн. Сум. держ. ун-ту. – Суми: Видавництво СумДУ. – 2015. – Т. 2. №1. – С. А10 – А15.*
11. *Пижов І. М. Деякі особливості багатопрохідного плоского торцевого шліфування / І. М. Пижов, В. Г. Клименко // Резание и инструмент в технологических системах: міжнар. науч.-техн. зб. – Харків, 2014. – Вип. 84. – С. 201 – 210.*
12. *Исаев А. И. Микрогеометрия поверхности при токарной обработке / А. И. Исаев. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1950. – 108 с.*
13. *Александров П. С. Лекции по аналитической геометрии / П. С. Александров. – М. : Главная редакция физматлитературы, 1968. – 911 с.*
14. *Пижов І. М. Дослідження особливостей формування відхилень від площинності при плоскому торцевому шліфуванні / І. М. Пижов, В. Г. Клименко // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – С-ль, 2014. – Вип. 151/2014. – С. 134 – 139.*

References

1. *Dressing of Grinding Wheels / T. Tawakoli, A. Rasifard, M.J. Jackson, J.P. Davim // Machining with Abrasives, Springer-Verlag. – Berlin, Heidelberg, 2011. – 230 p.*
2. *Toenshoff H.K. Basics of Cutting and Abrasive Processes / H.K. Toenshoff, B. Denkena // Springer-Verlag. – Berlin, Heidelberg, 2013. – 210 p.*
3. *Klocke F. Manufacturing Processes 2 Grinding, Honing, Lapping, Springer-Verlag // F. Klocke. – Berlin, Heidelberg, 2009. – 185 p.*
4. *Malkin S. Grinding Technology Theory and Applications of Machining with Abrasives / S. Malkin, C. Guo // 2nd Edition, Industrial Press Inc., 2008. – 202 p.*
5. *Matalin A. A. Tehnologiya mashinostroeniya / A. A. Matalin. – L. : Mashinostroenie, 1985. – 496 s.*
6. *Lure G. B. Shlifovalnyie stanki i ih naladka / G. B. Lure, V. N. Komissarzhevskaya. – M. : Vysshaya shkola, 1972. – 416 s.*
7. *Naerman M. S. Spravochnik molodogo shlifovschika / M. S. Naerman. – M. : Vysshaya shkola, 1985. – 207 s.*
8. *Loskutov V. V. Shlifovalnye stanki / V. V. Loskutov. – M. : Mashinostroenie, 1976. – 191 s.*
9. *Spravochnik tehnologa-mashinostroitelya: v 2-h t. – Т.1 / pod red. А. М. Dalskogo, А. G. Suslova, А. G. Kosilovoy, R. K. Mescheryakova. – М. : Mashinostroenie-1, 2003. – 944 s.*
10. *Pyzhov I. M. Doslidzhennia shyryny kontaktu rizalnoi poverkhni kruha z detalliu pry ploskomu tortsevomu shlifuvanni z nakhyлом osi shpyndelia / I. M. Pyzhov, V. H. Klymenko // Zhurnal inzhenernykh nauk, nauk. zhurn. Sum. derzh. un-tu. – Sumy: Vydavnytstvo SumDU. – 2015. – Т. 2. №1. – S. А10 – А15.*
11. *Pyzhov I. M. Deiaki osoblyvosti bahatoprokhidnoho ploskoho tortsevoho shlifuvannia / I. M. Pyzhov, V. H. Klymenko // Rezanye y ynstrument v tekhnolohycheskykh systemakh: mizhnar. nauch.-tekhn. zb. – Kharkiv, 2014. – Vyp. 84. – S. 201 – 210.*
12. *Isaev A. I. Mikrogeometriya poverhnosti pri tokarnoy obrabotke / A. I. Isaev. – M.-L. : Izd-vo AN SSSR, 1950. – 108 s.*
13. *Aleksandrov P. S. Lekcii po analiticheskoy geometrii / P. S. Aleksandrov. – М. : Glavnaya redakciya fizmatliteratury, 1968. – 911 s.*
14. *Pyzhov I. M. Doslidzhennia osoblyvostei formuvannia vidkhylen vid ploshchynnosti pry ploskomu tortsevomu shlifuvanni / I. M. Pyzhov, V. H. Klymenko // Visnyk SevNTU: zb. nauk. pr. Seriia: Mashynopryladobuduvannia ta transport. – S-l, 2014. – Vyp. 151/2014. – S. 134 – 139.*

© Пижов І. М., Клименко В. Г.
Надійшла до редакції 31.03.2016