



Дослідження площі контакту різальної поверхні круга з деталлю при плоскому торцевому шліфуванні з нахилом осі шпинделя

І. М. Пижов¹⁾, В. Г. Клименко²⁾

¹⁾ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002;

²⁾ Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011

Article info:

Paper received:

11 October 2015

The final version of the paper received:

23 November 2015

Paper accepted online:

10 December 2015

Correspondent Author's Address:

¹⁾ diamet@inbox.ru

²⁾ klim_poltava@mail.ru

Набули подальшого розвитку питання, пов'язані з особливостями контакту робочої поверхні круга з деталлю в умовах плоского торцевого шліфування з попереднім нахилом осі шпинделя. Основна увага приділена площі контакту різальної поверхні круга (РПК) з деталлю, оскільки це значною мірою визначає теплонапруженість у зоні обробки. Показана визначальна роль кута нахилу шпинделя, діаметра круга та глибини шліфування. На основі геометричного комп'ютерного моделювання в середовищі КОМПАС запропонована емпірична залежність, що зв'язує площу контакту РПК з деталлю із зазначеними параметрами і дозволяє на практиці обґрунтовано призначати кут нахилу шпинделя з точки зору забезпечення допустимої площі, а отже, й потрібного рівня температури в зоні обробки.

Ключові слова: верстат, довжина дуги контакту, ширина контакту, обробка на «прохід», багатопрхідне шліфування, глибинна схема обробки, поздовжня подача, довжина контакту круга з деталлю, допустиме значення параметра.

ВСТУП

Відомо, що значна кількість виробів у машинобудуванні та інших галузях промисловості потребує технологічних операцій плоского шліфування. При цьому досить широко використовують верстати, що працюють торцем круга. Серед них особливе місце займають верстати з вертикальним розміщенням шпинделя. Вони можуть мати як обертові, так і прямокутні столи [1 - 3]. Крім того, використовуються двосторонні верстати, на яких можна одночасно обробляти поверхні деталі відразу з обох боків.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Шліфувальні верстати з вертикальним розміщенням шпинделя забезпечують високі показники продуктивності та точності оброблювання при досить низькій шорсткості обробленої поверхні виробів. За умови, що діаметр круга більший, ніж ширина робочого столу, оброблення поверхні проводять, як правило, «на прохід», що сприятливо позначається на значеннях вихідних показників обробки. Такі верстати призначені для шліфування плоских поверхонь в умовах масового та серійного типів виробництва. Відомо, що шліфування торцем круга характеризується відносно великою величиною дуги контакту та поверхні взаємодії круга з деталлю, що обумовлює високі температури в зоні шліфування [1]. Тому

площу контакту можна взяти як параметр для керування теплонапруженістю процесу шліфування. Одним із найбільш ефективних технологічних прийомів регулювання площі контакту РПК із деталлю є попередній нахил осі шпинделя верстата. При чорновому шліфуванні ось шпинделя нахилиють на кут α до чотирьох градусів [1] у горизонтальній площині в напрямку поздовжньої подачі. При чистовій обробці кут зменшують, а на етапі прецизійної обробки він дорівнює нулю [2]. Таким чином, за рахунок нахилу осі шпинделя зменшують площу контакту РПК із деталлю та уникають надмірного нагрівання (а також і деформації) останньої. На практиці це дозволяє досягти значного підвищення продуктивності обробки [1 - 2]. Особливості формування плоских поверхонь при застосуванні схем обробки «на прохід» та в умовах багатопрхідного шліфування детально розглянуто у праці [3]. У той самий час аналіз літературних джерел інформації засвідчив, що дані стосовно визначення площі контакту торцевого круга з деталлю в умовах попереднього нахилу осі шпинделя відсутні. А це не дозволяє технологам повною мірою використовувати переваги схеми обробки з попереднім нахилом осі шпинделя.

Таким чином, питання, пов'язані з установленням впливу параметрів зони контакту торцевих кругів з деталлю на площу, є актуальними.

Метою цієї статті є встановлення залежності, що зв'язує з умовами обробки площу контакту РПК із

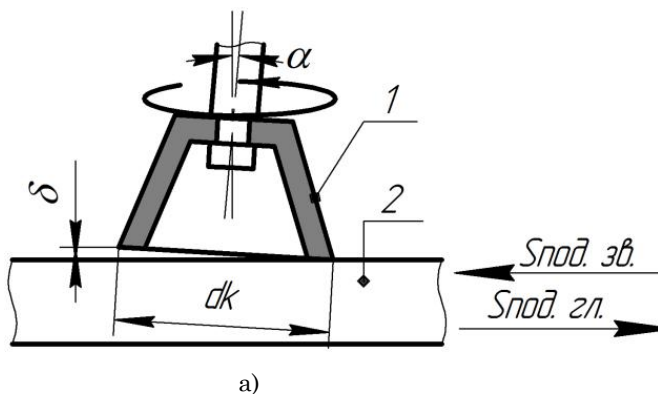
деталлю при плоскому торцевому шліфуванні з попереднім нахилом осі шпинделя.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Залежно від напрямку поздовжньої подачі (Спод. зв. та Спод. гл.) стола верстата відносно напрямку кута нахилу осі шпинделя процес може бути реалізований на практиці як за звичайною (класичною), так і глибинною схемою шліфування (рис. 1 а, б).

На рисунку 2 показані основні параметри зони контакту РПК із деталлю.

Це такі фізичні параметри, як довжина дуги L (рис. 2 а) та довжина контакту РПК W' (рис. 2 б) із



деталлю, що характеризують площу S контакту РПК із деталлю. Довжина W' у міру збільшення значення кута α при незмінній глибині різання t зменшується за законом

$$W' = \frac{t}{\sin \alpha} \quad (1)$$

Ширина зони контакту B' та глибина шліфування t фактично є технологічними показниками зони контакту. Разом зі швидкістю шліфування вони впливають на ефективну потужність процесу обробки.

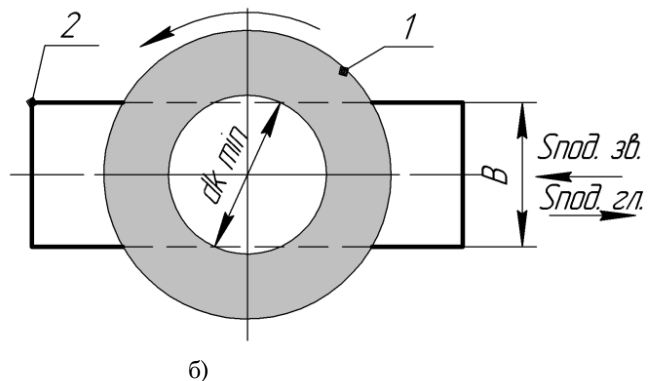


Рисунок 1 - Ілюстрація звичайної (Спод. зв.) та глибинної (Спод. гл.) схем шліфування:
1 - шліфувальний круг; 2 - деталь

Відомо [4], що загальна кількість теплоти, яка виділяється, еквівалентна потужності, що витрачається на процес різання. Оскільки площа впливає на потужність і температуру обробки, то вона може бути взята як фактор, який обмежує значення параметрів зони контакту. Ширину B' необхідно також знати для визначення величини поперечної подачі при багатопрхідному шліфуванні.

Під час обробки плоскої поверхні з конкретною шириною B (рис. 2) на площу контакту РПК із деталлю впливають такі технологічні фактори, як кут нахилу α , глибина шліфування t та зовнішній діаметр круга d_k .

На сьогодні при розв'язуванні конкретних задач комп'ютерне моделювання успішно конкурує з аналітичними методами. Тому в даному випадку для встановлення залежності площі S із зазначеними вище факторами були проведені дослідження шляхом геометричного комп'ютерного моделювання у середовищі КОМПАС [5 - 6].

Наше основне завдання – одержати дослідну модель та з її допомогою визначити ті чи інші параметри, що нас цікавлять.

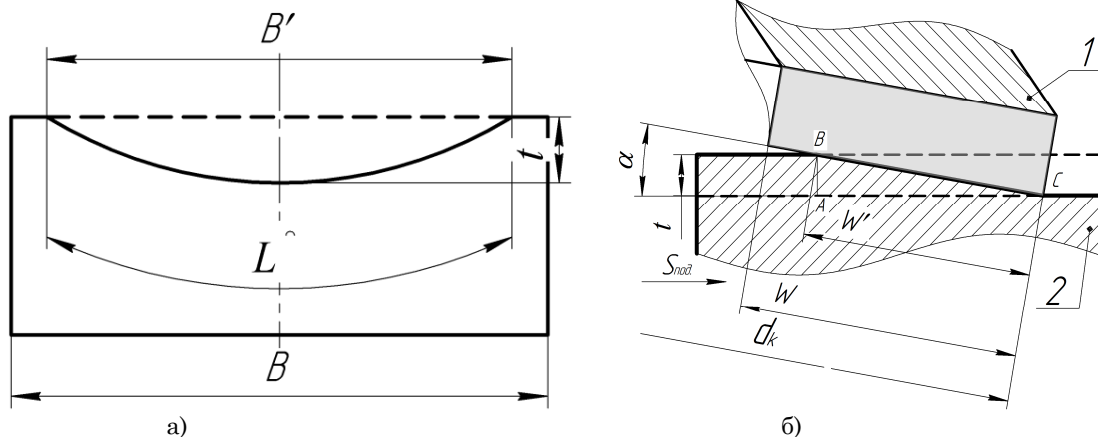


Рисунок 2 - До визначення параметрів зони контакту РПК з деталлю: 1-шліфувальний круг; 2-деталь

Побудова моделі починається з основи – першого формоутворювального елемента. У нашому випадку це частина поверхні деталі, що умовно обробляється. Для одержання таких даних, як площа контакту круга з деталлю, довжина дуги контакту та ін., створюємо ефект обробки поверхні заданої деталі. Для цього у середній площині нашої заздалегідь створеної деталі будемо ескіз (рис. 3 а), що імітує переріз

тієї частини шліфувального круга, яка виконує шліфування в певний момент у даній точці. За допомогою операції «Вирізати обертанням» видаляємо ту частину поверхні деталі, яку обробив круг (рис. 3 б). За допомогою інструментальної панелі «Вимірювання» можна виконати різноманітні вимірювання, зокрема й площі (рис. 4).

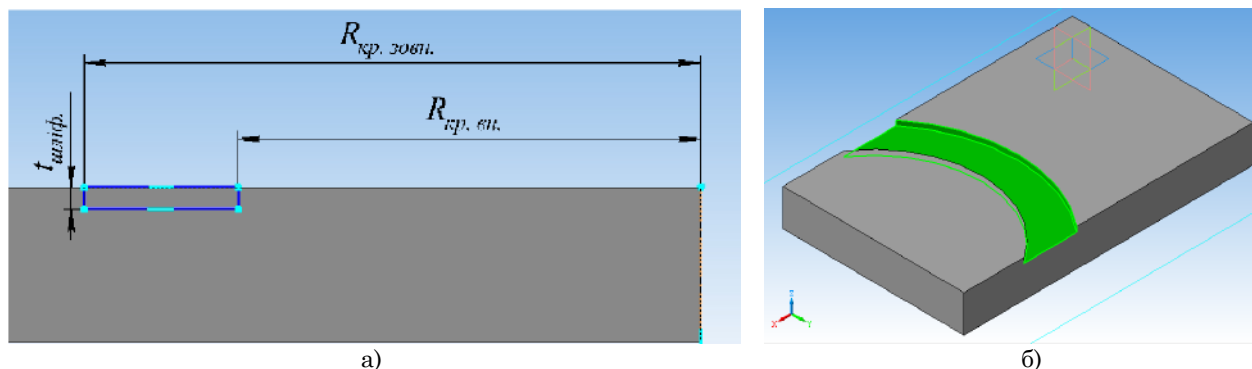


Рисунок 3 - Ескіз шліфувального круга (а) та фрагмент обробленої поверхні (б)

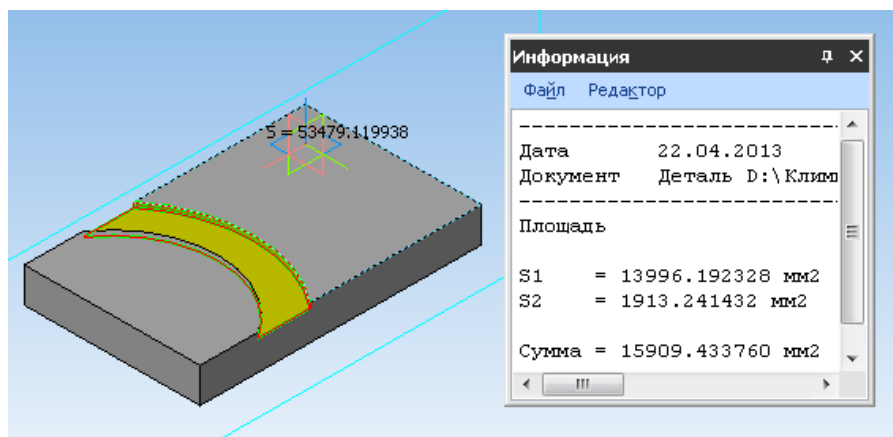


Рисунок 4 - До визначення площі контакту РПК з деталлю

Загальними умовами експерименту було таке: $d_{k \min} = B = 250$ мм, $d_k = d_{k \max} = 400$ мм; $t = 0,05$ мм; $\alpha = 1^\circ$.

Результати моделювання показали, що функції $S = f(\alpha)$, $S = f(d_k)$ та $S = f(t)$ достатньо коректно можна описати степеневими залежностями, які дають наочне уявлення про характер та ступінь впливу факторів на площу.

Математична обробка результатів комп'ютерних експериментів із застосуванням методу найменших квадратів дозволила вивести узагальнену залежність площі контакту S від умов обробки. Ця залежність має такий вигляд:

$$S = 587,10 \cdot \alpha^{-1,49} \cdot t^{1,49} \cdot d_k^{0,49} \quad (2)$$

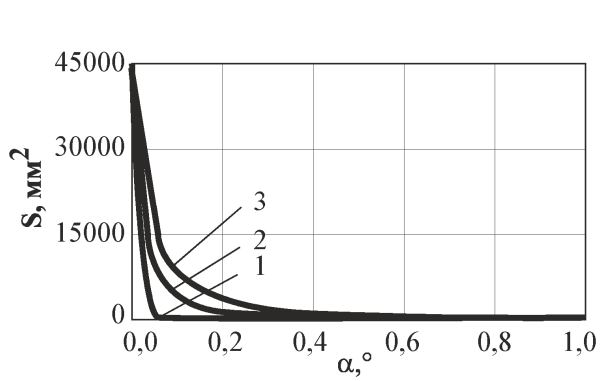
При цьому похибка між експериментальними та розрахунковими даними не перевищує 5 %.

Графіки залежностей, що відображають вплив умов обробки на площу, наведені на рисунках 5 - 6.

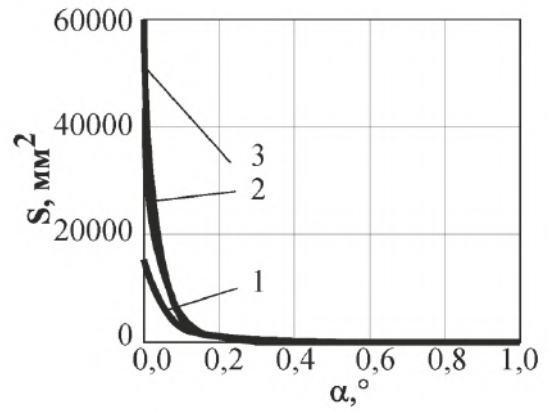
Їх аналіз засвідчує, що попередній нахил осі шпинделя на кут α дозволяє у достатньо широких межах керувати значенням площі S . Найбільш різка зміна площі контакту РПК з деталлю має місце у зоні малих значень кутів попереднього нахилу осі шпинделя ($\alpha < 0,25^\circ$). Завдяки значній площі, у зоні шліфування можуть розвиватися високі температури. Але такі значення кутів α характерні для чистового шліфування, яке, як відомо, реалізується з малими глибинами обробки, що сприяє зменшенню теплопруженості процесу шліфування.

Таким чином, у цілому можна зробити висновок, що чим більше значення кута нахилу α , менший розмір діаметра круга d_k та менша глибина шліфування t , тим менші значення площі S будуть мати місце при плоскому торцевому шліфуванні й навпаки. Що стосується параметрів t та d_k , то їх вплив узгоджується з традиційним процесом шліфування торцем круга.

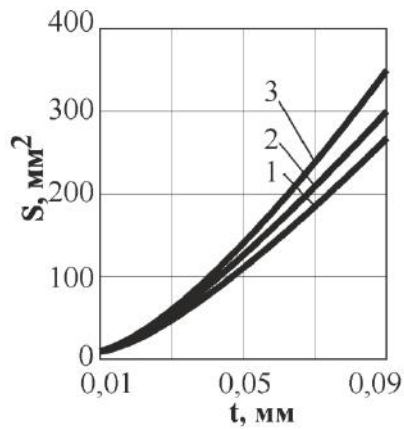




а) 1 - $t = 0,01$ мм; 2 - $t = 0,05$ мм; 3 - $t = 0,09$ мм

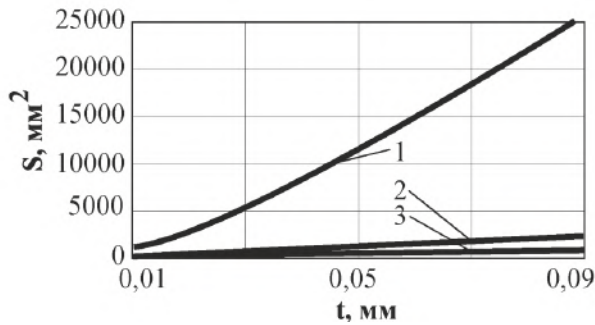


б) 1 - $dk = 300$ мм; 2 - $dk = 400$ мм; 3 - $dk = 500$ мм

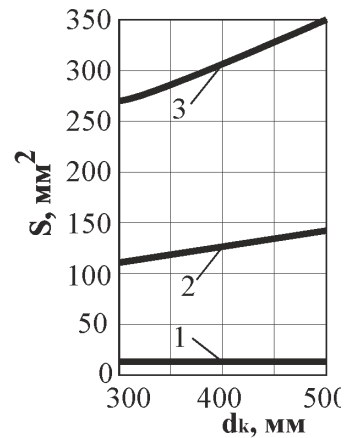


в) 1 - $dk = 300$ мм; 2 - $dk = 400$ мм; 3 - $dk = 500$ мм

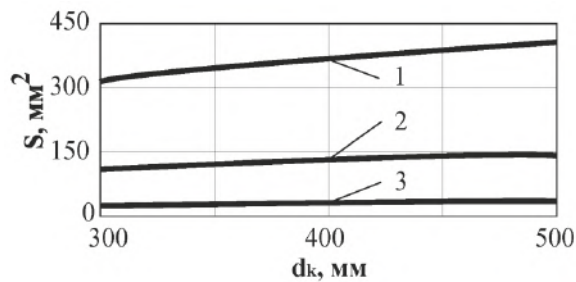
Рисунок 5 - Графіки залежностей $S = f(\alpha, t)$, $S = f(\alpha, d_k)$ та $S = f(t, d_k)$



а) 1 - $\alpha = 0,05^\circ$; 2 - $\alpha = 0,25^\circ$; 3 - $\alpha = 0,5^\circ$



б) 1 - $t = 0,01$ мм; 2 - $t = 0,05$ мм; 3 - $t = 0,09$ мм



в) 1 - $\alpha = 0,50^\circ$; 2 - $\alpha = 1,00^\circ$; 3 - $\alpha = 2,75^\circ$

Рисунок 6 - Графіки залежностей $S = f(t, \alpha)$, $S = f(d_k, t)$ та $S = f(d_k, \alpha)$

На основі формули (1) маємо, що величина кута α при конкретних значеннях d_k , t та допустимій величині площі контакту РПК із деталлю $[S]$ (наприклад, із точки зору допустимого рівня температури шліфування) повинна підлягати такій нерівності:

$$\alpha \geq -1,49 \sqrt{\frac{[S]}{587,10 \cdot t^{1,49} \cdot d_k^{0,49}}} \quad (3)$$

Це дозволяє на практиці для конкретної технологічної операції (чорнова, чистова) при відомих значеннях діаметра круга та глибини достатньо точно визначити мінімально допустиме значення кута α , при якому площа контакту РПК із деталлю, а отже, й температура в зоні обробки будуть знаходитися у допустимих межах. Це дасть можливість уникнути браку шліфованих виробів із цієї причини.

Зв'язок площі контакту РПК із деталлю може бути встановлений шляхом теоретичних розрахунків [4, 7] або експериментальних досліджень.

ВИСНОВКИ

Таким чином, виконані розробки дозволили виявити залежність між площею контакту РПК з деталлю та умовами обробки при плоскому торцевому шліфуванні з попереднім нахилом осі шпинделя. Встановлено, що:

1. Попередній нахил осі шпинделя на кут α дозволяє у достатньо широких межах керувати значенням площі.
2. Найбільш різка зміна площі контакту РПК із деталлю має місце у зоні малих значень кутів попереднього нахилу осі шпинделя ($\alpha < 0,25^\circ$).
3. Чим більше значення кута нахилу α , менший розмір діаметра круга d_k та менша глибина шліфування t , тим менші значення площі S будуть мати місце при плоскому торцевому шліфуванні й навпаки.

4. Запропонована узагальнена експериментальна залежність для практичних розрахунків кута нахилу осі обертання шпинделя залежно від діаметра круга, глибини шліфування та допустимого значення площі створює передумови для подальшого розширення технологічних можливостей процесу плоского торцевого шліфування.

ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ДАНІЙ ГАЛУЗІ

Надалі становить значний інтерес установлення взаємозв'язку між температурою шліфування та площею контакту РПК із деталлю як при застосуванні МОТС, так і без неї.

Це дасть можливість повною мірою скористатися на практиці результатами теоретичних досліджень, пов'язаних з особливостями контакту РПК із деталлю при шліфуванні з попереднім нахилом осі шпинделя.

Investigation of the contact area of the wheel working surface and the workpiece at a flat face grinding with axial tilting of spindle

Ivan N. Pyzhov¹⁾, Vitally G. Klimenko²⁾

¹⁾ National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 21, Frunze Str, Kharkiv, Ukraine, 61002;

²⁾ Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 24, Pershotravnevyi avenue, Poltava, Ukraine, 36011

Issues related to the peculiarities of a contact between the wheel working surface and the workpiece in a flat face grinding with axial tilting of spindle were further developed. Basic attention is given to the contact area of a wheel and a workpiece because it largely determines the thermal stress in the grinding zone. The paper shows the determinative roles of the angle of a spindle axial tilting, the wheel diameter and the grinding depth. Based on the geometric computer modeling in the KOMPAS environment, empirical dependence of the contact area on the specified parameters is offered. That allows determining the reasonable angle of an axial tilting of spindle to ensure the allowable area and, consequently, the temperature level in the grinding zone.

Keywords: machine, arc length of contact, contact width, through-feed grinding, multistep grinding, deep cut-map, length feed, length of a contact between wheel and workpiece, parametric allowable value.

Исследование площади контакта режущей поверхности круга с деталью при плоском торцевом шлифовании с наклоном оси шпинделя

И. Н. Пыжов¹⁾, В. Г. Клименко²⁾

¹⁾ *Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002;*

²⁾ *Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36011*

Получили дальнейшее развитие вопросы, связанные с особенностями контакта рабочей поверхности круга с деталью в условиях плоского торцевого шлифования с предыдущим наклоном оси шпинделя. Основное внимание уделено площади контакта режущей поверхности круга (РПК) с деталью поскольку это в значительной степени определяет теплонапряженность в зоне обработки. Показана определяющая роль угла наклона шпинделя, диаметра круга и глубины шлифования. На основе геометрического компьютерного моделирования в среде КОМПАС предложена эмпирическая зависимость, связывающая площадь контакта РПК с деталью с указанными параметрами и позволяющая на практике обоснованно назначать угол наклона шпинделя с точки зрения обеспечения допустимой площади, а следовательно, и нужного уровня температуры в зоне обработки.

Ключевые слова: станок, длина дуги контакта, ширина контакта, обработка на «проход», многопроходное шлифование, глубинная схема обработки, продольная подача, длина контакта круга с деталью, допустимое значение параметра.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лурье Г. Б. Шлифовальные станки и их наладка / Г. Б. Лурье, В. Н. Комиссаржевская. – М.: Высшая школа, 1972. – 416 с.
2. Наерман М. С. Справочник молодого шлифовщика. / М. С. Наерман. - М.: Высш. шк., 1985. - 207 с.
3. Kunderák J. Some Features of the Surface Micro- and Macroprofile Formation at Flat Face Grinding with Spindle Axis Inclination / J. Kunderák, V. Fedorovich, I. Pyzhov, A. Markopoulos, V. Klimenko // Applied Mechanics and Materials; 2015; Vols. 809 – 810; pp. 45 - 50, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.809-810.45, Trans Tech Publications, Switzerland.
4. Сайт журнала «Наука и образование». Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/606036.html>.

5. Киндрук М. КОМПАС-3D V10 на 100 % / М. Киндрук – Питер: Санкт-Петербург, 2009. - ISBN 978-5-388-00375-1. - 559 с.
6. Грабченко А. И. Компьютерне моделювання зони контакту торцевого круга з деталлю на плоскошліфувальних верстатах / А. И. Грабченко, І. М. Пижов, В. Г. Клименко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ; 2013. – С. 62.
7. Сипайлов В. А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В. А. Сипайлов. -М.: Машиностроение, 1978. - 167 с.

REFERENCES

1. Lur'e, G. B. & Komissarzhevskaya, V.N. (1972). Shlifoval'nye stanki i ih naladka [Grinding machines and their adjustment]. Moskva, Vysshaya shkola [in Russian].
2. Naerman, M.C. (1985). Spravochnik molodogo shlifovshchika [Handbook for beginners in grinding]. Moskva, Vysshaya shkola [in Russian].
3. Kunderák J., Fedorovich V., Pyzhov I, Markopoulos A, Klimenko V. Some Features of the Surface Micro- and Macroprofile Formation at Flat Face Grinding with Spindle Axis Inclination / Applied Mechanics and Materials, Vols. 809 - 810 (2015), pp. 45 - 50, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.809-810.45, Trans Tech Publications, Switzerland.
4. Sajt zhurnala «Nauka i obrazovanie». Nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman [Website of the journal "Science and Education". Scientific publication MSTU. NE Bauman]. Retrieved from <http://technomag.bmstu.ru/doc/606036.html> [in

- Russian].
5. Kindruk, M. (2009). KOMPAS-3D V10 na 100 % [KOMPAS-3D V10 at 100%]. Sankt-Peterburg, Piter [in Russian].
6. Grabchenko, A.I., Pizhov, I.M., & Klimenko, V.G. (2013). Komp'yuterne modelyuvannya zoni kontaktu tortsevogo kruga z detallyu na ploskoshlifival'nih verstatah [Computer modeling of the contact area of a circle with the mechanical parts on surface grinding machines]. Heavy engineering. Problems and prospects of development. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii - Proceedings of the international scientific conference (p. 62). Kramators'k [in Ukrainian].
7. Sipajlov, V.A. (1978). Teplovye protsessy pri shlifovanii i upravlenie kachestvom poverhnosti [Thermal processes in grinding and management of surface quality]. Moskva, Mashinostroenie [in Russian].