

УДК 621.923

**Я. О. Шахбазов***Українська академія друкарства***ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ ПРОЦЕСУ ПРАВКИ  
АБРАЗИВНИХ КРУГІВ МЕТОДОМ ТОЧІННЯ**

*Розглядаються можливості встановлення періодичності правки абразивних кругів алмазними інструментами методом точіння і визначення технологічних умов процесу при шліфуванні.*

При виконанні більшості операцій технологія шліфування передбачає попередню механічну обробку робочої поверхні абразивних кругів для створення певного рельєфу і досягнення різальних властивостей залежно від вимог до процесу шліфування та якості оброблюваної поверхні. Здебільшого процес самозагострювання абразивних кругів є недостатнім для проведення обробки, оскільки не зберігаються геометрична форма і параметри рельєфу їх робочої поверхні. Переваги шліфування можуть бути реалізовані найповніше при створенні умов примусового керування рельєфом робочої поверхні на різних операціях шліфування [2, 4], що особливо важливо при обробці на автоматизованому обладнанні. На підставі даного підходу можна створити різні технологічні способи, які забезпечують високу продуктивність обробки та якість оброблюваної поверхні при шліфуванні. Завдяки зміні режимів формування рельєфу абразивних кругів при їхній технічній підготовці шорсткість оброблюваної поверхні змінюється більш ніж у десять разів.

У роботі [6] показано, що основні чинники, які впливають на якість оброблюваної поверхні при шліфуванні, можна поділити на дві групи. До першої з них слід віднести: технічний стан обладнання, точність і методи налагодження верстатів, характеристику абразивних кругів, режими шліфування та якість мастильно-охолоджувальної рідини. Оскільки стійкість кожного із зазначених чинників втрачається поступово, вони не здатні швидко змінювати результати обробки. До другої групи чинників належать різальні властивості абразивного круга й стабільність підтримування геометричних параметрів різального рельєфу його робочої поверхні за допомогою правки алмазними інструментами. Вони більш нестабільні, швидше втрачають свій початковий стан і частіше вимагають примусового втручання в процес шліфування. Це дозволяє досягти необхідного для шліфування стану робочої поверхні абразивного круга і вихідних параметрів процесу обробки. Разом з тим, від встановлення впливу технологічних режимів процесу правки на кількісні параметри робочого рельєфу абразивних кругів залежать точність теоретичних розрахунків показників якості оброблюваної поверхні і можливості їх прогнозування.

Вирішення цієї проблеми доцільне в двох аспектах:

необхідні дослідження механізму крихкого руйнування поверхневого шару абразивного круга для пошуку технологічних умов формування заданого рельєфу круга;

практичне застосування такого підходу дасть можливість шляхом зміни умов формування рельєфу абразивних кругів поєднувати при обробці в одному технологічному процесі весь діапазон режимів обробки від чорнового до чистового шліфування. Ця проблема актуальна в сучасних умовах малих і середніх підприємств, де обмежена наявність широкої номенклатури верстатів й інструментів для продуктивного та якісного шліфування.

Метою нашої роботи є визначення періодичності правки абразивних кругів алмазними інструментами методом точіння і технологічних умов процесу.

При шліфуванні заготовок деталей машин, особливо в автоматизованому виробництві, для стабільного досягнення шорсткості оброблюваної поверхні необхідне визначення періодичності правки абразивних кругів. Зазвичай цей показник залежить від стійкості рельєфу робочої поверхні абразивного круга в забезпеченні як шорсткості оброблюваної поверхні, так і продуктивності процесу шліфування. Його можна встановити з таких умов. Для зменшення тертя між абразивним кругом і заготовкою та забезпечення їх взаємодії на рівні висоти рельєфу робочої поверхні круга необхідно, щоб максимальна товщина зрізу одним зерном ( $a_z$ ) була менша за висоту рельєфу, яка, у свою чергу, визначається глибиною правки ( $t_n$ ), тобто  $t_n > a_z$ . Період стійкості роботи абразивних кругів зумовлений інтенсивністю зрізання металу. Математична обробка наведених у роботі [4] експериментальних даних дозволила отримати емпіричні залежності періоду стійкості ( $C_i, хв$ ) абразивного круга від інтенсивності зрізання металу ( $G = 1 \dots 10 \text{ см}^3/\text{хв}$ ) при круглому шліфуванні незагартованої і загартованої сталі 45 кругами зернистістю 16, 25 і 40. При шліфуванні незагартованої сталі абразивними кругами на керамічній зв'язці залежності стійкості мають такий вигляд:

$$C_{16} = 166G^{-2,37} \times \frac{D_k}{300}; \quad C_{25} = 145G^{-2,25} \times \frac{D_k}{300}; \quad C_{40} = 117,7G^{-2} \times \frac{D_k}{300}, \quad (1)$$

де  $D_k$  — зовнішній діаметр абразивного круга.

При шліфуванні загартованої сталі 45

$$C_{16} = 85,8G^{-2,32} \times \frac{D_k}{300}; \quad C_{25} = 52,2G^{-2} \times \frac{D_k}{300}; \quad C_{40} = 40G^{-1,785} \times \frac{D_k}{300}. \quad (2)$$

Залежно від довжини оброблюваної заготовки вирази (1) і (2) дають змогу визначити кількість таких заготовок за період стійкості абразивного круга та періодичність виконання його правки.

Інтенсивність зрізання металу при шліфуванні можна знайти із залежності

$$G = \pi \cdot d \cdot n_o \cdot t \cdot S_n, \text{ см}^3/\text{хв}, \quad (3)$$

де  $d$  — діаметр оброблюваної заготовки;  $n_o$  — частота обертання заготовки;  $t$  — глибина шліфування;  $S_n$  — поздовжня подача при шліфуванні.

У більшості випадків при шліфуванні на чорнових і чистових операціях інтенсивність зрізання припуску ( $h$ ) знаходиться, в основному, у межах до  $G \leq 10 \text{ см}^3/\text{хв}$ , і тому можна вважати, що реальні режими шліфування відповідають умовам зрізання припуску за рівняннями (1) і (2).

Періодичність виконання операції формування різального рельєфу абразивного круга обчислюємо за рівняннями основного часу на шліфування та періоду стійкості абразивного круга у вигляді [4]

$$T_n = \frac{C_i V_o S_n t}{\pi L h} \quad \text{дет.}, \quad (4)$$

де  $L$  — довжина оброблюваної поверхні;  $V_o$  — швидкість заготовки.

Наприклад, при шліфуванні вала діаметром  $d = 50$  мм, довжиною  $L = 250$  мм кругом зернистістю 25, при частоті обертання деталі  $n_o = 200$  хв<sup>-1</sup>, поздовжній подачі  $S_n = 20$  мм/об і глибині шліфування  $t = 0,01$  мм основний час на шліфування складає  $T_o = 0,63$  хв, а періодичність правки абразивного круга — через кожні чотири вали. Якщо глибину шліфування зменшити до 0,005 мм, то періодичність правки абразивного круга становитиме відповідно 20 деталей, що збігається з експериментальними даними, наведеними в роботі [7].

Однак при шліфуванні відбувається місцевий локальний нагрів металу поверхневого шару заготовки, у деяких випадках температура в місці контакту оброблюваного матеріалу з абразивним кругом може досягати максимуму, що викликає утворення на поверхні припалів. Застосування мастильно-охолоджувальної рідини практично не впливає на температуру, яка виникає в зоні контакту заготовки з абразивним кругом, але відводить тепло з поверхневого шару та запобігає накопиченню тепла в заготовці і підвищенню її температури. Тому одним із заходів попередження термічних дефектів при шліфуванні слід вважати застосування при обробці мастильно-охолоджувальної рідини. Залежно від умов шліфування в роботі [1] наведено рекомендації щодо вибору охолоджувальних рідин і способу їх подачі в зону шліфування.

Як показано в роботах [1, 7], температура шліфування неоднаково залежить від складових режиму шліфування. При інших рівних умовах з підвищенням поздовжньої подачі і швидкості заготовки вона зростає в значно меншій мірі, ніж при збільшенні глибини шліфування. Тому для запобігання утворенню припалів на оброблюваній поверхні обмежують глибину шліфування й обробку проводять при максимально можливих значеннях поздовжньої подачі та швидкості заготовки. При утворенні припалів швидкість заготовки збільшують. Тому при визначенні режимів процесу шліфування за параметрами шорсткості оброблюваної поверхні і точності розмірів слід ввести обмеження на режим шліфування з перевіркою умов обробки, при яких можна запобігати утворенню припалів.

У роботі [3] пропонується встановити обмеження за потужністю шліфування. За нормативи пропонується прийняти середнє значення питомої потужності шліфування з розрахунку на 1 мм висоти абразивного круга: чорнове шліфування — 0,1 — 0,2 кВт; напівчистове — 0,08 — 0,1 кВт; чистове — 0,04 — 0,07 кВт.

Питому потужність при шліфуванні визначаємо із залежності

$$N = \frac{P_z V_k}{1000 B \eta}, \quad (5)$$

де  $B$  — товщина абразивного круга;  $\eta$  — коефіцієнт корисної дії приводу шліфувального верстата;  $P_z$  — тангенціальна складова сили різання при шліфуванні;  $V_k$  — швидкість абразивного круга.

При визначенні режимів обробки важливо отримати мінімальну собівартість операції шліфування. Стійкість абразивного круга, яка забезпечує якість оброблюваної поверхні та режими шліфування, є основним чинником, що визначає собівартість операції шліфування. Як відомо [4], від стійкості абразивного круга залежать час, який витрачається на правку, і його витрати; від режиму шліфування — основний час, необхідний для зрізання припуску. Тому залежність між стійкістю інструмента і швидкістю зрізання припуску береться за основу для економічної оцінки операції шліфування. Головним показником такої оцінки є собівартість. При визначенні умов шліфування собівартість приймається як функція від стійкості круга та швидкості зрізання припуску. Собівартість операції в даному випадку набуває вигляду суми чотирьох видів витрат:

$$C = C_{30} \Pi G^{-1} + C_{30} \Pi \frac{T_n}{C_m} G^{n-1} + k C_q \Pi G^{m-1} + k \Pi \frac{\pi DBH}{1000 C_m} G^{n-1}, \quad (6)$$

де  $C_{30}$  — заробітна плата з цеховими накладними витратами, що припадає на одну операцію, грн/хв;  $\Pi$  — припуск на обробку в одиницях обсягу металу,  $\text{см}^3$ ;  $k$  — вартість  $1 \text{ см}^3$  корисного обсягу круга, грн/ $\text{см}^3$ ;  $T_n$  — час на правку абразивного круга, хв;  $C_m$  — коефіцієнт, який визначає стійкість круга при  $G=1 \text{ см}^3/\text{хв}$ ;  $C_q$  — коефіцієнт, що визначає витрати круга при  $G=1 \text{ см}^3/\text{хв}$ ;  $H$  — припуск на правку абразивного круга, мм;  $m, n$  — показники степені.

У рівнянні (1) перша складова — заробітна плата верстатника за основний час роботи; друга — заробітна плата верстатника за час, витрачений на правку абразивного круга за операцію; третя — витрати, пов'язані із спрацюванням круга в процесі шліфування; четверта — витрати круга на правку абразивного круга. Три останні складові — непродуктивні витрати, які впливають на собівартість операції шліфування.

Значення коефіцієнтів і показників  $C_m, C_q, m, n$ , отримані експериментальними дослідженнями, наведено в роботі [4], наприклад: для сталі 45 незагартованої —  $C_m = 204$ ;  $C_q = 0,072$ ;  $n = 2,1$ ;  $m = 1,6$ ; для сталі 45 загартованої —  $C_m = 21$ ;  $C_q = 0,072$ ;  $n = 1,7$ ;  $m = 1,6$ . Витрати, пов'язані з амортизацією обладнання та оснащення, електроенергією, та інші, не враховуються, тому що їх величини при розв'язанні цього завдання не змінюються.

У деяких випадках, коли для виробництва важливі не умови мінімуму собівартості, а умови максимуму продуктивності шліфування, особливо, коли ця операція є вузьким місцем і затримує виконання програми, для знаходження значення  $G$ , що відповідає максимуму продуктивності, розглядаються лише перші дві складові рівняння (6) без урахування решти.

Основними технічними вимогами на механічну обробку, які передбачаються конструктором при розробленні креслень деталей, є якість оброблюваної поверхні й точність розмірів. У процесі механічної обробки

разом із забезпеченням якості оброблюваної поверхні необхідно досягти і відповідної точності розмірів, які, у свою чергу, залежать від режимів правки абразивного круга та шліфування. Тому значення режимів правки абразивного круга і шліфування приймаються як вихідні чинники, що забезпечують необхідні шорсткість оброблюваної поверхні і точність розмірів деталей. Тоді завдання визначення режиму шліфування для забезпечення якості оброблюваної поверхні слід виконувати в такій послідовності:

скласти рівняння, які визначають технічні обмеження на режим шліфування за можливостями шліфувального верстата;

встановити математичний вигляд функції, що визначає мету оптимізації;

знайти оптимальний режим шліфування, розглянувши технічні обмеження і функцію оптимізації.

Для забезпечення необхідних шорсткості оброблюваної поверхні і точності розмірів відносно зміни значень технологічних чинників правки абразивного круга та шліфування слід передбачити обмеження щодо:

шорсткості оброблюваної поверхні —  $R_z^* \geq R_z(S, t, S_n, V_d, V_k)$ , де  $R_z^*$  — шорсткість поверхні деталі, передбачена технічними вимогами;

точності деталі —  $\delta^* \geq \delta$ ; де  $\delta^*$  — допуск на розмір деталі;  $\delta$  — похибки, пов'язані з пружними деформаціями технологічної системи;

потужності шліфування з умови запобігання утворенню припалів на оброблюваній поверхні;

співвідношення подачі при правці ( $S$ ) і ширини контакту кристала алмаза з робочою поверхнею абразивного круга з умови забезпечення неперервності процесу правки абразивного круга —  $S \leq 2t_n \cdot \operatorname{tg}(\gamma_a / 2)$ , де  $t_n$  — глибина правки абразивного круга;  $\gamma_a$  — кут при вершині кристала алмаза;

частоти обертання шпинделя шліфувального верстата —  $n_{max} \geq \frac{1000V_k}{\pi D_k} \geq n_{min}$ , де  $n_{max}$  і  $n_{min}$  — найбільша і найменша частоти обертання;

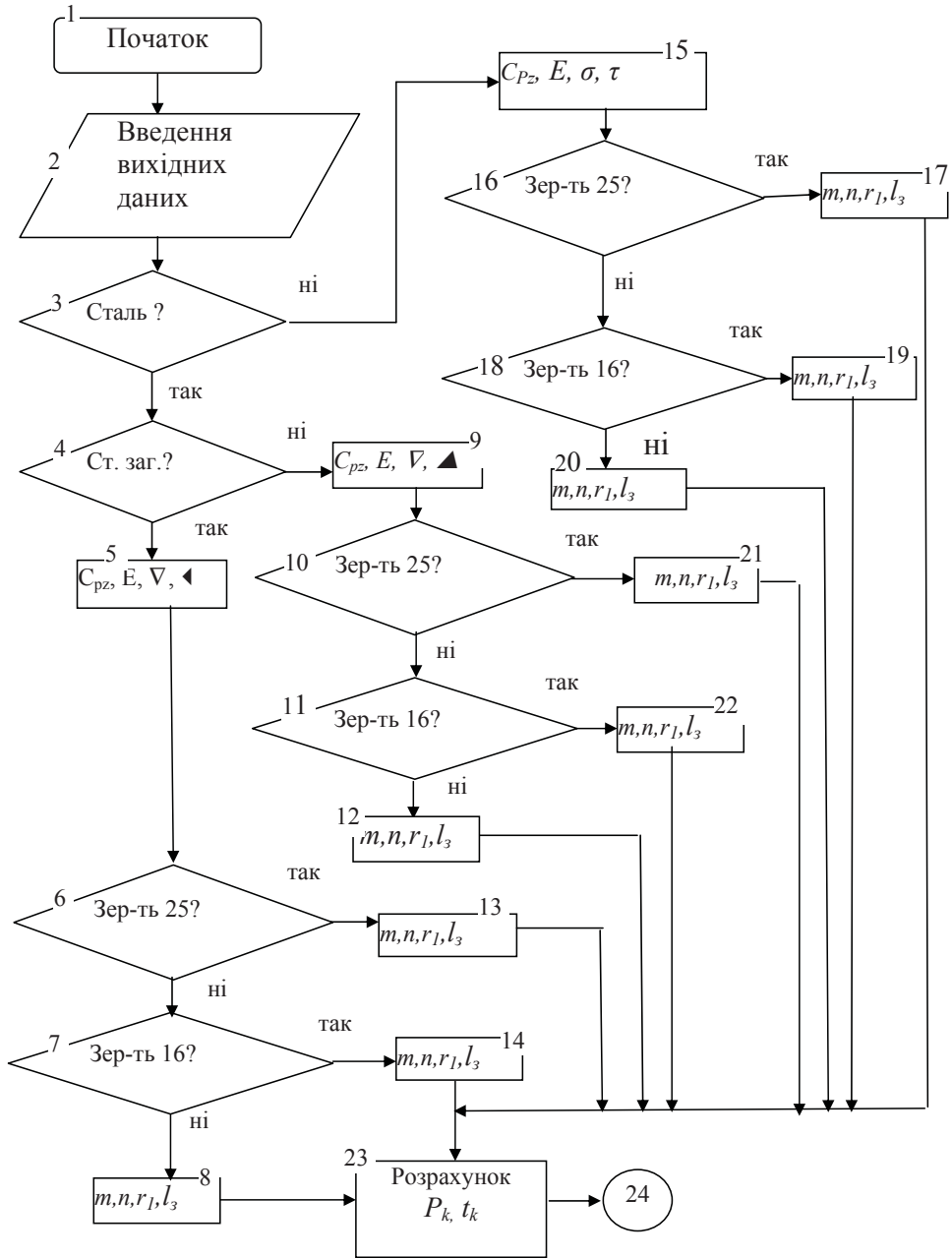
частоти обертання заготовки — де  $n_{max}^*$  і  $n_{min}^*$  — найбільша і найменша частоти обертання заготовки деталі за даними шліфувального верстата;

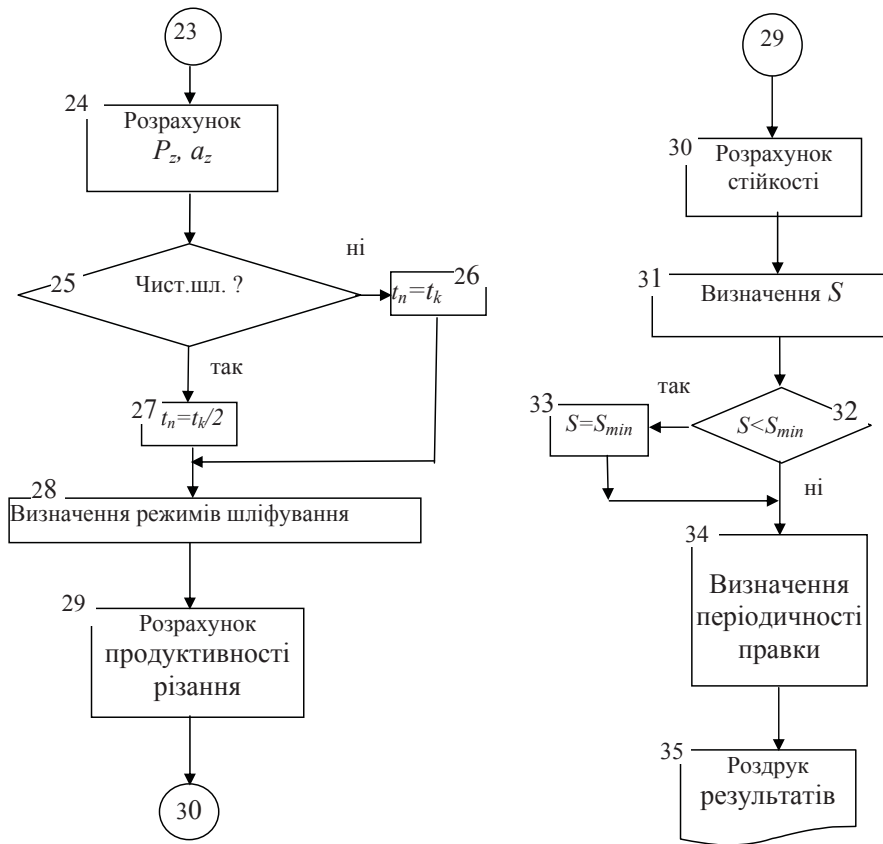
поздовжньої подачі —  $S_{max} \geq S \geq S_{min}$ , де  $S_{max}$  і  $S_{min}$  — найбільша і найменша подача за даними шліфувального верстата;

потужності приводу абразивного круга —  $N_e \geq \frac{P_z V_k}{1000 \eta_s}$ . Значення тангенціальної складової сили шліфування визначаємо за емпіричним рівнянням

$P_z = C_{Pz} V_d^{0,7} S_n^{0,7} t^{0,6}$ , де  $C_{Pz}$  — коефіцієнт, який характеризує матеріал заготовки й інші умови шліфування (22 — для загартованої сталі, 21 — для незагартованої і 20 — для чавуну).

Блок-схема алгоритму визначення умов шліфування наведена на рисунку.





Блок-схема алгоритму розрахунку технологічних умов правки абразивних кругів методом точіння

У блок-схемі алгоритму введення вихідних даних по верстату, абразивному кругу, радіусу ( $r_1$ ) кристала алмаза, оброблюваному матеріалу і режимах шліфування виконується в блоці 2. Блоки 3, 4, 9, 15 визначають фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу та коефіцієнт при тангенціальній силі різання, а 6, 7, 10, 11, 16 та 18 — зернистість абразивного круга.

У блоках 8, 12–14, 17–22 залежно від зернистості абразивного круга розраховуються радіус абразивного зерна, коефіцієнт і показник степені рівняння періоду стійкості, відстань між активними зернами абразивного круга ( $l_3$ ), у блоці 23 — величина сили руйнування абразивного зерна за рівнянням [3]

$$P_K = 112 r_2 + 23,2 r_2^2, H \quad (7)$$

та критична глибина взаємодії кристала алмазу й абразивного зерна, при якій відбувається об'ємне руйнування зерна абразивного круга за рівнянням [5]

$$t_K < \frac{9 (r_1 + r_2) P_K}{8 \pi r_1 r_2 \sigma_K}, \quad (8)$$



де  $r_2$  — середньостатистичний радіус абразивного зерна;  $\sigma_k$  — контактна міцність матеріалу абразивного зерна ( $\sigma_k = 36,5 \sigma_p$  [5];  $\sigma_p$  — міцність матеріалу абразивного зерна на розтяг.

У блоці 24 розраховується товщина зрізу одним абразивним зерном і тангенціальна складова сили різання, у блоках 25–27 залежно від операції шліфування вибирається допустима глибина правки абразивного круга. Виходячи з умов забезпечення якості оброблюваної поверхні визначаються режими шліфування, у блоці 29 — продуктивність процесу обробки, яка відповідає передбаченим умовам процесу шліфування. У блоці 30 встановлюється стійкість абразивного круга при заданих технологічних параметрах процесу шліфування. У блоках 31–33 виконується розрахунок та вибір поздовжньої подачі однокристалного алмазного інструмента при правці абразивного круга, після чого в блоці 34 визначається періодичність виконання правки абразивного круга. На блок-схемі алгоритму позначення  $m$  і  $n$  відповідають коефіцієнту і показнику степені рівняння (6).

Блок-схема алгоритму використана для розрахунку технологічних режимів процесу правки абразивних кругів однокристалним алмазним інструментом. Глибину взаємодії однокристалного алмазного інструмента та його поздовжню подачу для різноманітних умов шліфування розраховували на персональній ЕОМ. Для зручності користування рекомендаціями режими формування рельєфу наведено в табличній формі, а не в формі номограм або графіків. Одержані результати для абразивних кругів твердістю СМ2 і вище подано в таблиці.

**Технологічні параметри процесу правки абразивних кругів  
з електрокорунду однокристалними алмазними інструментами  
при чистовому шліфуванні**

№ з/п	Зернистість круга	Розмір алмаза, мм	Глибина правки $t$ , мм	$S_1$ , мм/об. ( $\gamma_a = 110^\circ$ )	$S_2$ , мм/об. ( $\gamma_a = 90^\circ$ )	$S_3$ , мм/об. (сфера)	$S_3/S_1$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	0,2	0,01	0,029	0,02	0,080	2,80
2	20	0,2	0,01	0,029	0,02	0,089	3,13
3	25	0,2	0,015	0,043	0,03	0,122	2,86
4	32	0,2	0,015	0,043	0,03	0,139	3,23
5	40	0,2	0,02	0,057	0,04	0,179	3,13
6	16	0,25	0,01	0,029	0,02	0,080	2,80
7	20	0,25	0,01	0,029	0,02	0,089	3,13
8	25	0,25	0,01	0,029	0,02	0,100	3,50
9	32	0,25	0,015	0,043	0,03	0,139	3,23
10	40	0,25	0,015	0,043	0,03	0,155	3,62
11	16	0,4	0,01	0,029	0,02	0,080	2,80
12	20	0,4	0,01	0,029	0,02	0,089	3,13
13	25	0,4	0,01	0,029	0,02	0,100	3,50



Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8
14	32	0,4	0,015	0,043	0,03	0,139	3,23
15	40	0,4	0,015	0,043	0,03	0,155	3,62
16	16	0,5	0,005	0,014	0,01	0,057	3,96
17	20	0,5	0,01	0,029	0,02	0,089	3,13
18	25	0,5	0,01	0,029	0,02	0,100	3,50
19	32	0,5	0,01	0,029	0,02	0,113	3,96
20	40	0,5	0,01	0,029	0,02	0,126	4,43

Таким чином, проведені дослідження як теоретичного, так і експериментального характеру дозволяють уперше запропонувати технологічні умови, у тому числі в підсистемі САПР, процесу правки абразивних кругів з урахуванням комплексу параметрів процесу шліфування та використати їх при складанні технологічної документації на різних операціях шліфування.

1. Абразивная и алмазная обработка материалов / Под ред. д-ра техн. наук А. Н. Резникова. — М.: Машиностроение, 1977. 2. Королёв А. В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А. В. Королёв. — Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1975. 3. Лурье Г. Б. Шлифование металлов / Г. Б. Лурье. — М.: Машиностроение, 1967. 4. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. — М.: Машиностроение, 1979. 5. Шахбазов Я. О. Наукові і технологічні основи формування різального рельєфу шліфувальних кругів з метою підвищення ефективності обробки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук. — Х., 2007. 6. Ящерицын П. И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей / П. И. Ящерицын. — Мн.: Наука и техника, 1971. — 212 с. 7. Ящерицын П. И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П. И. Ящерицын, М. Л. Ерёмченко, Е. Э. Фельдштейн. — Мн.: Высшая шк., 1990.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ПРАВКИ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ МЕТОДОМ ТОЧЕНИЯ**

*Рассматриваются возможности установления периодичности правки абразивных кругов алмазными инструментами методом точения и определения технологических условий процесса при шлифовании.*

## **DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL TERMS OF PROCESS OF CORRECTION OF ABRASIVE CIRCLES BY THE METHOD OF SHARPENING**

*There are examined possibilities of periodicity establishment of abrasive wheels correction by diamond instruments by the method of sharpening and determination of polishing process technological terms.*

*Стаття надійшла 22.05.08*