

**П.Г. Матюха** (д-р техн. наук, проф.)

**Н.В. Азарова** (асист.)

**А.О. Благодарний** (студ.)

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна

## **ВПЛИВ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ШПИНДЕЛІ ВЕРСТАТА НА НЕПРОДУКТИВНІ ВИТРАТИ АЛМАЗУ ТА НЕВРІВНОВАЖЕНІСТЬ КРУГА**

Досліджено вплив похибки установки шліфувального круга на стандартні фланці без додаткового регулювання положення робочої поверхні круга в радіальному напрямку на виникнення непродуктивних витрат алмазів та збільшення невідновленої сили. Запропонований пристрій для регулювання положення робочої поверхні круга в радіальному напрямку, який забезпечує зменшення невідновленої сили, що виникає при закріпленні круга на шпинделі верстата в 4-5,5 рази.

**похибка установки, шліфувальний круг, витрати алмазів, невідновленість круга**

### **Вступ**

Зменшення собівартості виготовлення продукції та підвищення її якості є передумовою конкурентоспроможності виробництва. На собівартість продукції впливає вартість інструменту, а якість оброблення залежить від наявності вібрацій та їх параметрів, на які впливає невідновленість круга.

Цьому питанню завжди приділялась достатня увага науковців [1],[2], а вимоги до точності виготовлення шліфувальних кругів та до діаметрів посадочних поверхонь круга та фланців наведені в Держстандартах [3], [4].

Разом з цим в літературі відсутні дослідження можливих непродуктивних витрат алмазів та невідновленості круга, які виникають в наслідок установки круга на фланці при використанні всіх вимог, які наведені в роботах [3], [4].

Метою роботи є дослідження впливу похибки закріплення шліфувального круга на шпинделі верстата на непродуктивні витрати алмазу та невідновленість круга, та розробка способів їх зменшення.

### **Основний зміст роботи**

Розглянемо причини виникнення похибки установки шліфувального круга при його закріпленні на шпинделі верстата.

Шліфувальний круг закріплюється на шпинделі верстата за допомогою перехідних фланців. Величина полів допусків на розміри посадочних поверхонь шліфувальних кругів та нерухомих фланців регламентовані в Державних стандартах [3], [4], визначають величину радіального биття, яке виникає як наслідок посадки круга на фланець з гарантованим зазором. Величина радіального биття робочої поверхні круга (РПК) усувається під час правки видаленням певного об'єму алмазовмісного шару, що призводить до непродуктивних витрат алмазів. Визначимо об'єм алмазовмісного шару, який вилучається під час правки з умов забезпечення повного усунення радіального биття (Рис. 1).

$$V_{аш} = \frac{\pi \cdot D_k \cdot B_k \cdot \delta_R}{2}, \quad (1)$$

де  $D_k$  – діаметр шліфувального круга, мм;

$B_k$  – висота шліфувального круга, мм;

$\delta_R$  – величина радіального зазору між поверхнями, що сполучаються, мм.

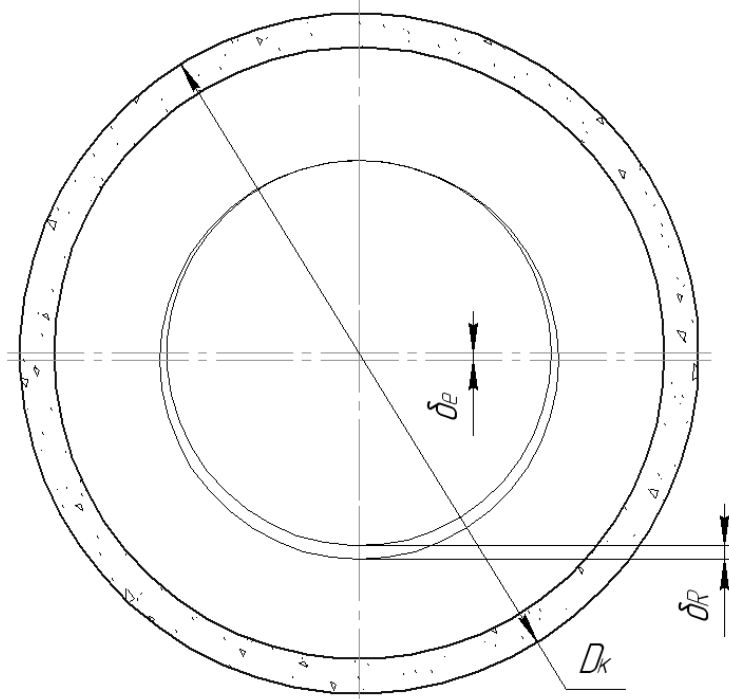


Рис. 1 Розрахункова схема до визначення радіального биття при встановленні круга на фланці

Внаслідок того, що статистичний розподіл розмірів при обробленні циліндричних поверхонь підкорюється нормальному закону [5], при розрахунку величини радіального зазору використовуємо середину полів допусків на посадочні розміри круга і фланця

$$\delta_R = |EC| + |ec|, \quad (2)$$

де  $EC$ ,  $ec$  – середина поля допуску розміру посадочного отвору шліфувального круга і посадочної поверхні фланця відповідно, мм.

$$EC = \frac{ES + EI}{2}; \quad ec = \frac{es + ei}{2}.$$

Тут  $ES$ ,  $es$  – верхнє відхилення розмірів посадочних поверхонь круга та фланця, мм

$EI$ ,  $ei$  – нижнє відхилення розмірів посадочних поверхонь круга та фланця, мм

Тоді

$$\delta_R = \frac{|ES| + |EI| + |es| + |ei|}{2}, \quad (3)$$

Після підстановки (3) в (1) будемо мати

$$V_{aui} = \pi \cdot D_k \cdot B_k \cdot \frac{|ES| + |EI| + |es| + |ei|}{4}. \quad (4)$$

Використовуючи величину алмазовмісного шару, який підлягає вилученню під час правки, визначимо масу алмазів, яка знаходиться в цьому об'ємі

$$G = \frac{V_{aui} \cdot 0,878 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot \alpha}, \quad (5)$$

де  $0,878 \cdot 10^{-3}$  – маса алмазів в  $1 \text{ мм}^3$  алмазовмісного шару, г;

$0,2$  – маса одного карата алмазів, г;

$\alpha$  – коефіцієнт, який враховує відносну концентрацію алмазів (при концентрації 100%  $\alpha=1$ ).

З урахуванням вартості 1 карата алмазів, вартість вилучених під час правки алмазів буде дорівнювати

$$C = G \cdot \mathcal{C}, \quad (6)$$

де  $\mathcal{C}$  – вартість одного карата алмазів, грн.

Результати розрахунку витрат алмазів на операції правки для алмазних кругів різних характеристик наведені в таблиці 1.

Як видно з даних, наведених у таблиці 1, непродуктивні витрати алмазів на операції правки залежать від зернистості алмазів та геометричних розмірів шліфувального круга. Для кругів, які досліджувались, непродуктивні витрати знаходяться в межах 1,1 – 9,4 грн.

Неврівноваженість круга при його закріпленні на стандартні фланці виникає в наслідок зміщення центру маси круга відносно осі його обертання і обумовлена ексцентриситетом  $\delta_e$ , величина якого розраховується за формулою.

$$\delta_e = \frac{\delta_R}{2}.$$

Тоді величина неврівноваженої сили, яка обумовлена похибкою установки круга на фланці, може бути розрахована за формулою [1], яка з урахуванням розмірності неврівноваженої сили в системі СІ, набере вигляду.

$$P_H = G_{кр} \cdot \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot \delta_e, \quad \text{Н}, \quad (7)$$

де  $G_{кр}$  – маса круга, кг;

$n$  – частота обертання круга, об/хв.;

$\delta_e$  – ексцентриситет, м.

Масу круга  $G_{кр}$  розрахуємо з використанням об'ємів корпусу, кільця, та алмазовмісного шару (Рис. 2) з урахуванням щільності матеріалів, із яких вони виготовлені, за наступною формулою

Таблиця 1. Вплив похибки закріплення шліфувального круга на фланці на об'єм алмазовмісного шару, який видаляється під час правки та вартість непродуктивних витрат алмазів марки АС6

Шліфувальний круг 1А1	Граничні відхилення отвору круга, мкм		Граничні відхилення поверхні фланця, мкм		Середня величина радіального биття, м, $\delta_R$	Об'єм алмазовмісного шару, який видаляється $\text{мм}^3$	Маса алмазів, які видаляються, карат	Зернистість	Вартість одного карата алмазів*, грн	Вартість непродуктивних витрат алмазів, грн
	Верхнє ES	Нижнє EI	Верхнє es	Нижнє ei						
250×76×15×5	30	0	- 30	- 60	$6 \cdot 10^{-5}$	353,25	1,55	100/80	0,72	1,116
								160/125	0,82	1,271
								250/200	0,91	1,411
300×127×60×5	40	0	- 43	- 83	$8,3 \cdot 10^{-5}$	2345,6	10,297	100/80	0,72	7,413
								160/125	0,82	8,443
								250/200	0,91	9,371

\* Примітка: вартість одного карата алмазів з НДС за даними 2009 року Інституту надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля

Таблиця 2. Маса алмазних шліфувальних кругів різних типорозмірів

Шліфувальний круг	Геометричні розміри складових частин круга, мм							Маса складових частин круга, кг			Загальна маса круга, кг, $G_{кр}$
	$D_{з\ aш}$	$D_{в\ aш}$	$D_{в\ к}$	$D_{ст}$	$B_{к}$	$D_{в\ кор}$	h	$G_{аш}$	$G_{к}$	$G_{кор}$	
250×76×15×5	250	240	192	120	15	76	1	0,419	1,662	0,897	2,978
250×76×60×5					60			1,679	7,415	3,874	12,968
300×76×15×5	15	0,505	1,930		1,538			3,973			
300×76×60×5	60	2,021	8,609		6,734	17,364					
300×127×15×5	300	290	245		15	127		0,505	1,929	1,283	3,717
300×127×40×5					40			1,348	5,640	3,619	10,607

$$G_{кр} = G_{аш} + G_{к} + G_{кор} \quad (8)$$

де  $G_{аш}$  – маса алмазовмісного шару, кг;  
 $G_{к}$  – маса кільця, кг;  
 $G_{кор}$  – маса корпусу, кг.

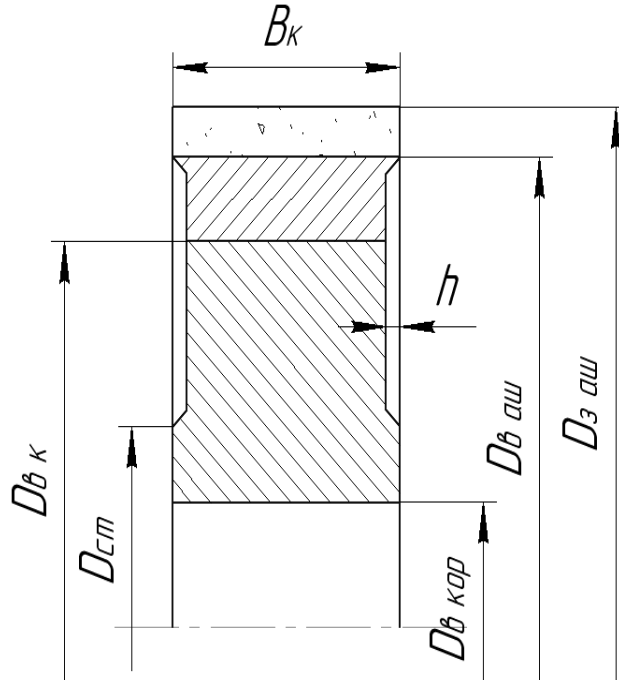


Рис. 2. Складові частини алмазного круга: 1 – алмазовмісний шар; 2 – кільце; 3 – корпус

При 100 %-вій відносній концентрації алмази займають 25% об'єму алмазовмісного шару, а металева зв'язка – 75%. Тоді маса алмазовмісного шару визначиться за формулою

$$G_{аш} = B_{к} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{3\ аш}^2 - D_{в\ аш}^2)}{4} \cdot (0,25 \rho_a + 0,75 \rho_{вш}), \quad (9)$$

де  $B_{к}$  – висота круга, мм;

$D_{3\ аш}$  – зовнішній діаметр алмазовмісного шару, мм;

$D_{в\ аш}$  – внутрішній діаметр алмазовмісного шару, мм;

$\rho_a$  – щільність алмаза ( $\rho_a = 3,25 \cdot 10^{-3}$  г/мм<sup>3</sup> [2]);

$\rho$  – щільність зв'язки (для зв'язки М2-01  $\rho_{зв} = 8,52 \cdot 10^{-3}$  г/мм<sup>3</sup> [2]).

Масу кільця розрахуємо за формулою

$$G_{аш} = (B_{к} - 2h) \cdot \frac{\pi \cdot (D_{в\ аш}^2 - D_{в\ к}^2)}{4} \cdot \rho_{ст}, \quad (10)$$

де  $D_{вк}$  – внутрішній діаметр кільця, мм;

$\rho_{ст}$  – щільність матеріалу кільця (для сталі 20  $\rho_{ст} = 7,85 \cdot 10^{-3}$  г/мм<sup>3</sup> [6])

$h$  – глибина розточки на торці круга, мм.

Масу корпусу визначимо за формулою

$$G_{кор} = \left[ (B_{к} - 2h) \cdot \frac{\pi(D_{вк}^2 - D_{вкор}^2)}{4} + 2h \frac{\pi(D_{ст}^2 - D_{вкор}^2)}{4} \right] \cdot \rho_{ал}, \quad (11)$$

де  $D_{вкор}$  – внутрішній діаметр корпусу, мм;

$D_{ст}$  – діаметр ступиці, мм;

$\rho_{ал}$  – щільність матеріалу корпусу (для алюмінію АД  $\rho_{ал} = 2,71 \cdot 10^{-3}$  г/мм<sup>3</sup> [6])

Результати розрахунків маси складових частин різних типорозмірів кругів за формулами (8) – (11) представлені в таблиці 2.

Частота обертання шліфувального круга визначається паспортними даними верстата і для умов, які розглядаються, дорівнює 2230 об/хв.

Неврівноважену силу,  $H$ , яка обумовлена точністю виготовлення круга розраховано з використанням допустимого дисбалансу, який являє собою добуток неврівноваженої сили на її ексцентриситет відносно осі обертання, за формулою

$$P_{нт} = 0,01 \cdot m \cdot \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2, H, \quad (12)$$

де  $0,01 \cdot m$  – допустимий дисбаланс при виготовленні круга [3].

Розрахунки неврівноважених сил, які обумовлені похибкою установки круга на фланці та точністю виготовлення круга розраховані за формулами (7) та (12) і наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Неврівноважені сили, які виникають за рахунок похибок виготовлення та установки кругів на стандартні фланці

Шліфувальний круг 1А1	Маса круга $G_{кр}$ , кг	Частота обертання $n$ , об/хв	Ексцентриситет $\delta_e$ , м	Допустимий дисбаланс [3] кг·м	Неврівноважена сила, Н	
					$P_n$	$P_{нт}$
1	2	3	4	5	6	7
250×76×15×5	2,979	2230	$3 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	4,86	5,22
250×76×60×5	12,968			$26 \cdot 10^{-5}$	21,19	14,16
300×76×15×5	3,973			$10 \cdot 10^{-5}$	6,49	5,44
300×76×60×5	17,364			$36 \cdot 10^{-5}$	28,37	19,61
300×127×15×5	3,718		$4,15 \cdot 10^{-5}$	$10 \cdot 10^{-5}$	8,405	5,44
300×127×40×5	10,608	$22 \cdot 10^{-5}$		23,98	11,98	

Як видно з наведених даних в таблиці 3, величина неврівноваженої сили від похибки закріплення круга як співпадає з неврівноваженою силою, обумовленою точністю виготовлення, так і перевищує її майже в 2 рази.

З метою зменшення величини неврівноваженої сили, обумовленої похибкою установки шліфувального круга на шпинделі верстата за допомогою фланців, запропонований пристрій [7] (Рис.3), який дозволяє встановити РПК з мінімальною величиною

радіального биття незалежно від величини зазору в сполученні посадочних поверхонь круга та фланців.

Пристрій включає в себе нерухомий фланець 1, на якому виконані торцева та посадочна циліндрична поверхні для установки шліфувального круга 2 і рухомого фланця 3 для закріплення круга на нерухомому фланці за допомогою гвинтів 4. На циліндричній поверхні рухомого фланця через  $90^\circ$  в радіальних різьбових отворах розташовані стрижні 5, на яких закріплені Г-подібні елементи 6, виступаюча частина яких контактує з РПК. Г-подібні елементи з'єднані з стрижнями 5 регулюючими гвинтами 7, які мають різьбу з малим шагом. Між торцями стрижнів 5 та Г-подібним елементом 6 розташовані пружини 8, які забезпечують переміщення Г-подібних елементів при викручуванні регулюючих гвинтів 7. На циліндричній поверхні рухомого фланця через  $120^\circ$  виконані радіальні наскрізні різьбові отвори 9, в яких розташовані гвинти 10 для закріплення рухомого фланця на нерухомому в радіальному напрямку.

Закріплення шліфувального круга та точна установка РПК за допомогою запропонованого пристрою виконується наступним чином.

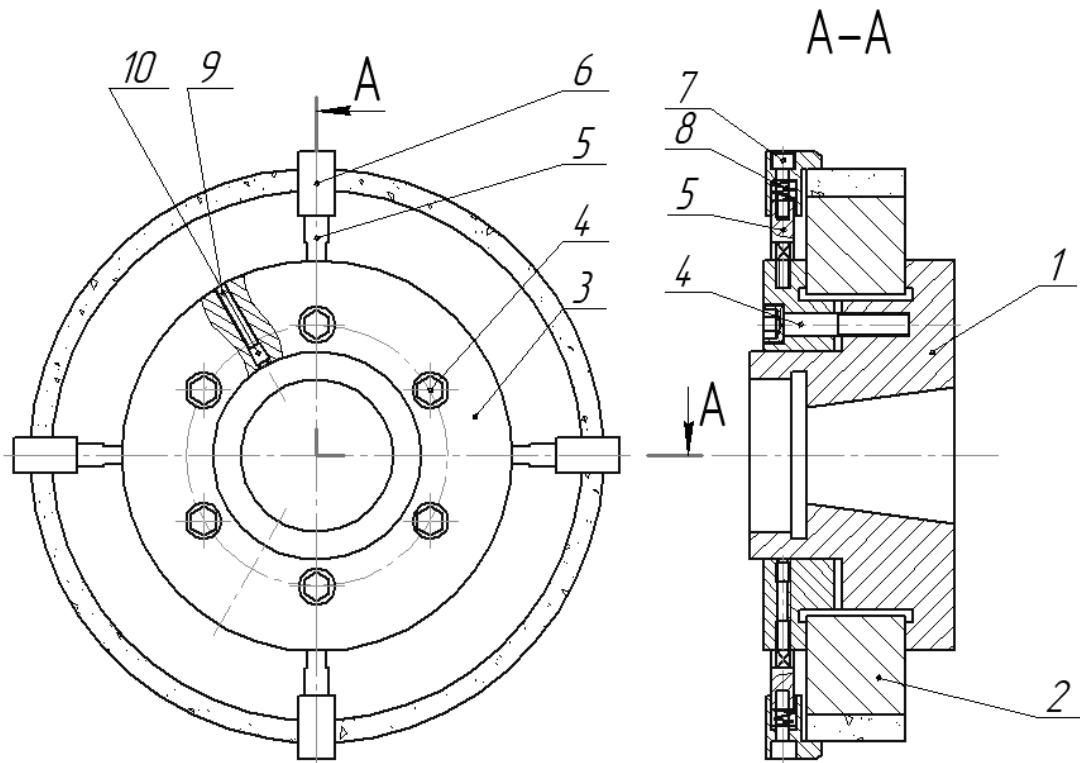


Рис.3. Пристрій для установки шліфувального круга з високою точністю

Після закріплення нерухомого фланця 1 на шпинделі верстата, на посадочну поверхню нерухомого фланця встановлюється шліфувальний круг 2 і за допомогою рухомого фланця 3 та гвинтів 4 закріплюється з таким зусиллям, яке не дозволяє зміщення шліфувального круга відносно нерухомого фланця під дією своєї ваги але може переміщуватись від зусиль, прикладених збоку Г-подібних елементів. Потім рухомий фланець за допомогою гвинтів 10 закріплюється на нерухомому фланці в радіальному напрямку, після чого на нерухомий фланець встановлюються зібрані на стрижнях 5 Г-подібні елементи, які своїми виступаючими частинами вступають в контакт з РПК.



Після визначення радіального биття РПК за допомогою індикатора годинникового типу і його усунення гвинтами 7, шліфувальний круг остаточно закріплюється гвинтами 4, а стрижні з Г- подібними елементами викручуються з рухомого фланцю. Круг готовий до виконання правки з метою забезпечення потрібних параметрів РПК і до шліфування.

Визначимо, наскільки зменшиться в цьому випадку невірноважена сила, яка обумовлена радіальним биттям РПК, якщо воно дорівнює  $15 \cdot 10^{-6}$  м. Розрахунки, які виконані для кругів, які досліджуються, наведені в табл. 4.

Порівнюючи дані табл. 4 з даними, які наведені в стовпці 6 табл.3, можна побачити, що закріплення шліфувального круга на фланцях за допомогою запропонованого пристрою забезпечує зменшення невірноваженої сили, обумовленої похибкою закріплення, в 4 – 5 разів, в зв'язку з чим додаткове балансування круга з фланцями не знадобиться.

Крім того повністю виключаються непродуктивні витрати алмазів.

Таблиця 4. Величина невірноваженої сили після закріплення круга на фланці, з величиною радіального биття РПК 0,015 мм за допомогою пристрою

Шліфувальний круг 1А1	Маса круга, кг	Частота обертання круга, об/хв	Ексцентриситет, м	Невірноважена сила, Н
250×76×15×5	2,978	2230	$7,5 \cdot 10^{-6}$	1,21
250×76×60×5	12,968			5,29
300×76×15×5	3,973			1,62
300×76×60×5	17,364			7,09
300×127×15×5	3,717			1,52
300×127×40×5	10,607			4,36

### Висновки

1. Установка шліфувального круга на стандартні фланці без додаткового регулювання положення РПК в радіальному напрямку призводить до виникнення непродуктивних витрат алмазів та збільшення невірноваженої сили.

2. Використання запропонованого пристрою для регулювання положення РПК в радіальному напрямку забезпечує зменшення невірноваженої сили, що виникає при закріпленні круга на шпинделі верстата в 4-5,5 рази, в зв'язку з чим додаткове балансування круга з фланцями не знадобиться.

3. Установка РПК в радіальному напрямку з точністю 15 мкм повністю виключає непродуктивні витрати алмазів, які виникають під час правки при усуненні радіального биття, обумовлене установкою круга на стандартні фланці.

### Список літератури

1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
2. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента. / Ю.М. Ковальчук, В.А. Букин, Б.А. Глаговский и др., под ред Ю.М. Ковальчука. – М.: Машиностроение, 1984. – 288 с.

3. Круги алмазные шлифовальные. Технические условия: ГОСТ 16181-82. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 17 с.

4. Инструмент абразивный. Основные размеры элементов крепления: ГОСТ 2270-78. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1986. – 16 с.

5. Якушев Л.И. Взаимозаменяемость стандартизация и технические измерения: учебник / Л.И. Якушев – 6-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.

6. Краткий справочник металлиста / под ред. А.Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1965. – 1144с.

7. Пристрій для закріплення алмазного круга: патент України на винахід № 61436А В24В45/00 / Матюха П.Г., Азарова Н.В., Полтавець В.В. – № 2003021007; заявлена 05.02.2003; опубл. 17.11.2003. Бюл № 11.

**П.Г. МАТЮХА,  
Н.В. АЗАРОВА,  
А.О. БЛАГОДАРНЫЙ**

Донецкий национальный технический университет

**ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА  
ШПИНДЕЛЕ СТАНКА НА НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ АЛМАА И  
НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЬ КРУГА**

Исследовано влияние погрешности установки шлифовального круга на стандартные фланцы без дополнительного регулирования положения рабочей поверхности круга в радиальном направлении на возникновение непроизводительных потерь алмазов и увеличение неуравновешенной силы. Предложено устройство для регулирования положения рабочей поверхности круга в радиальном направлении, обеспечивающее уменьшение неуравновешенной силы, которая возникает при закреплении круга на шпинделе станка в 4-5,5 раза.

**погрешность установки, шлифовальный круг, потери алмазов, неуравновешенность круга**

**P.G. MATYUHA,  
N.V. AZAROVA,  
A.O. BLAGODARNYI**

Donetsk National Technical University

**INFLUENCE OF THE ERROR OF FASTENING OF THE GRINDING WHEEL ON THE  
MACHINE TOOL SPINDLE ON UNPRODUCTIVE LOSSES OF DIAMOND AND THE  
WHEEL UNBALANCE**

Influence of the error of installation of a grinding wheel on standard flanges without additional regulation of position working surface of the wheel in a radial direction on occurrence on unproductive losses of diamonds and increase of unbalanced force. The device for regulation of position working surface of the wheel in a radial direction, providing reduction of unbalanced force which arises at wheel fastening on machine tool spindle in 4-5,5 times.

**error of installation, grinding wheel, losses of diamond, wheel unbalance**

*Рецензент: к.т.н., ст. викл. Стрелков В.Б.*

*Надійшла до редколегії 05.01.10*