

ВПЛИВ АРМУВАННЯ НА БЕЗПЕКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АБРАЗИВНИХ КРУГІВ

Юрій Абрашкевич, Григорій Мачишин, Володимир Тишковець

Київський національний університет будівництва і архітектури
03680, Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна
e-mail: abrashkevich@voliacable.com, ma4chin@ukr.net

REINFORCEMENT EFFECTS ON SAFETY OPERATION ABRASIVE WHEELS

Yuri Abrashkevych, Grygory Machyshyn, Volodymir Tyshkovets

Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotskyu prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680,
e-mail: abrashkevich@voliacable.com, ma4chin@ukr.net

АНОТАЦІЯ. У роботі досліджено руйнування абразивних армованих кругів з різним способом зміцнення склосіткою. Досліджений вплив анізотропії механічних властивостей матеріалу абразивного круга, що дозволяє отримати необхідну інформацію для створення та ефективного використання абразивних армованих кругів.

Ключові слова: абразивне зерно, склосітка, руйнування, абразивний армований круг, інструмент.

АННОТАЦИЯ. В работе исследовано разрушения абразивных армированных кругов с разным способом укрепления стеклосеткой. Исследовано влияние анизотропии механических свойств материала абразивного круга, что позволяет получить необходимую информацию для создания и эффективного использования абразивных армированных кругов.

Ключевые слова: абразивное зерно, стеклосетка, разрушения, абразивный армированный круг, инструмент.

ABSTRACT. Purpose. Tests reinforced abrasive wheels and identify technological defects that affect their reliability. **Methodology/approach.** Experimental determination of safety wheel acceleration is done to speed that more than the working speed. Determining the speed at which the failure occurs circle. **Findings.** The results yield information necessary for the establishment and effective use of the reinforced abrasive wheels. **Research limitations/implications.** The investigations to optimize the methods and ways of processing materials using reinforced abrasive wheels. **Originality/value.** Determining the impact of reinforcement circles the safe operation reinforced abrasive wheel.

Key words. Abrasive grain, glassmesh, destruction, reinforced abrasive wheel, tool.

ВСТУП

Обробка матеріалів різанням із використанням абразивних армованих кругів у поєднанні з привідними ручними або стаціонарними машинами широко поширений технологічний процес, що забезпечує високу продуктивність праці. Ефективність різання та безпека праці робітника пов'язана з міцністю і надійністю різального інструменту.

При взаємодії круга з об'єктом різання інструмент знаходиться в складному напруженому стані, який є результатом дії системи чинників. У площині круга діють відцентрові сили, які викликані обертанням круга з кутовою швидкістю та зусилля від

неврівноваженості круга і сили різання, розподіл яких багато в чому залежить від умов взаємодії.

МЕТА РОБОТИ

Абразивний інструмент, що сприймає в процесі роботи різні по характеру та величині навантаження, повинен володіти достатньою міцністю. Здатність інструмента опиратися навантаженням залежить від таких його характеристик як зв'язка, зернистість абразивних зерен, їх упаковка та наявність зміцнювальних елементів. Визначення виду армування абразивного круга в залежності від режиму його роботи є актуальним питанням.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В результаті теоретичного та експериментального дослідження сил, що діють на інструмент в процесі роботи, було встановлено, що основну небезпеку чинять відцентрові сили, які призводять до виникнення на внутрішньому контурі круга розтягуювальної напруги. Саме вона при високих швидкостях обертання круга викликає в ньому напруги, близькі за величиною до тимчасового опору матеріалу круга [1].

У зв'язку з цим основним методом випробування кругів є надання їм швидкості, що перевищує робочу. Режими випробування кругів на міцність, правила та норми безпечної роботи абразивного інструмента визначено в ГОСТ 12.3.028.

Головним завданням підприємства-виробника є випробування кругів з наступним виявленням технологічних дефектів, що впливають на надійність інструмента. Ці випробування проводяться у кінці процесу виробництва або перед видачею кругів споживачеві [2].

За рекомендацією комітету з шліфувальних кругів залежно від форми і розмірів круга, виду зв'язки та максимальної робочої швидкості випробування може включати пробний пуск (табл. 1) і перевірку запасу міцності [3].

Круг, що обертається, піддається радіальним і дотичним напругам. Ці напруги збільшуються за квадратом колової швидкості.

У табл. 2 наведені значення мінімально-

го запасу міцності залежно від виду приводного пристрою та способу використання інструмента відповідно до рекомендацій комітету з шліфувальних кругів [4]. Випробування для визначення запасу міцності проводяться за допомогою прискорення круга за рахунок збільшення частоти обертання на призначених для цього випробувальних стендах до досягнення мінімальної швидкості, при якій відбувається руйнування.

Запас міцності визначається за залежністю

$$n = (V_{\text{роз}}/V_p)^2, \quad (1)$$

де $V_{\text{роз}}$ – мінімальна швидкість, при якій відбувається руйнування; V_p - максимальна робоча швидкість.

В сучасних технологічних процесах різання матеріалів використовуються абразивні круги без армування з використанням дискових зміцнювальних прокладок, виконаних із склосітки - з однією, двома, трьома чи чотирма склосітками. Усі ручні кутшліфувальні машини працюють з відрізними та зачисними кругами, які зміцнені двома, трьома чи чотирма склосітками. Круги без армування, з армуванням однією, двома і більше склосітками застосовуються на стаціонарних відрізними машинах. Для оцінки впливу зміцнення на міцність кругів з різним видом і характером їх руйнування авторами були проведені спеціальні дослідження. Були виготовлені відрізні абразивні круги Ø300мм на бакелітовій зв'язці з різним способом армування. Визначення

Таблиця 1. Швидкість абразивного армованого круга при пробному пуску
Table 1. Speed reinforced abrasive disk at trial start

Форма круга	Максимальна робоча швидкість V_p , м/с	Коефіцієнт пробного пуску f	Швидкість пробного пуску V_n , м/с	Тривалість пробного пуску t , с
Відрізні круги	63	1,1	70	5
	80		88	
	100		110	
	125		138	
Усі інші форми абразивних шліфувальних кругів	16...40	1,5	24...60	5
	50	1,4	70	
	63	1,3	82	
	80	1,2	96	
	100...160	1,1	110...176	

Таблиця 2. Мінімальний запас міцності шліфувальних кругів
Table 2. Minimum margin grinding wheels

Вид машини	Спосіб використання	Максимальна робоча швидкість V_p , м/с	Мінімальна швидкість, при якій відбувається руйнування $V_{роз}$, м/с	Мінімальний запас міцності n
Стационарні відрізні машини	Примусове центрування	40	70	3,0
		50	87	3,0
		63	109	3,0
		80	139	3,0
Стационарні шліфувальні машини	Шліфування з ручною подачею	50	87	3,0
		63	109	3,0
		80	150	3,5
Шліфувальні машини з ручною подачею	Ручне шліфування	50	87	3,0
		63	118	3,5
		80	150	3,5
Стационарні відрізні шліфувальні машини	Примусове центрування	63	90	2,0
		80	113	2,0
		100	141	2,0
	Відрізання шліфувальним кругом з ручною подачею	80	150	3,5
Відрізні шліфувальні машини з ручною подачею	Ручне відрізання шліфувальним кругом	80	150	3,5
		100	188	3,5

швидкостей обертання, при яких відбувалося руйнування круга, здійснювалося на спеціальному стенді. Система керування стендом дозволяла монотонно підвищувати частоту обертання шпинделя, яка реєструвалася частотоміром.





Круги зі зміцнювальним елементом є тілами, що мають анізотропію механічних

властивостей. Використання як зміцнювальних елементів дисків із склосітки з квадратним осередком зумовлює те, що круги володіють ортотропією механічних властивостей [5].

Руйнівна напруга залежить від орієнтації волокон склосітки і при розтягуванні виражається залежністю, яка дозволяє визначи-

Таблиця 3. Результати випробування кругів Ø300мм

Table 3. Results of test discs Ø300mm

Спосіб армування	Відсотковий вміст зміцнювальних елементів в крузі, %	Руйнівна частота обертання ω , об/хв	Межа міцності при розтягуванні σ_r , кг/см ²	Межа міцності при вигині σ_u , кг/см ²
	0	5200	96	10
	3	8000	250	250
	6	10200	300	470
	9	11000	350	400

ти межу міцності для будь-якого напрямку по відношенню до вибраного волокна:

$$\frac{\sigma(\theta)}{\sigma_1} = \frac{1}{\cos^4 \theta + b_k \cdot \sin 2\theta + \sigma_r \cdot \sin^4 \theta}, \quad (2)$$

де $b_k = \frac{\sigma_1 - \sigma_r}{\sigma_{12} - \frac{\sigma_r}{4}}$, $\sigma_r = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$.

У табл. 3 наведені значення міцнісних характеристик прямокутних зразків, вирізаних з кругів при розтягуванні та вигині. Випробування проводилися на розривній машині МРС-50. У табл. 3 представлені результати випробування кругів Ø300мм.

На рис.1 представлений характер руйнування кругів при розриві, який залежить від матеріалу круга та виду напруженого стану. Як видно з рисунка, руйнування відбувається без залишкових деформацій крихким чином. Діючи на неоднорідний матеріал, поле напруги стає також неоднорідним і створює концентрацію напруги в околиці будь-якого дефекту. Досягнення граничної напруги, яку витримує матеріал круга, визначається числом і розміром неоднорідностей, що утворюють порожнини. Це призводить до поширення тріщин. Тріщини

поширюються переважно вздовж зон з меншою щільністю. Визначальну роль тут має швидкість поширення, адже зростаючі тріщини швидше розділяють молекули, чим розривають їх. Завдяки цій напрузі тріщина розповсюджується за рахунок крихкого руйнування із значним розгалуженням. Розрив ланцюгів відбувається не лише в площині тріщини, але і на значній глибині з кожного боку. Осередки руйнування поширюються в напрямі, перпендикулярному розтягуванню. При зустрічі фронтів хвилі руйнування утворюються лінії сколів, що мають форму більш менш правильно окреслених гіпербол. Безладне накладення один на одного великого числа сколів утворює шорстку поверхню руйнування. У перенапружених областях невеликі розриви виникають та розвиваються в ході усього циклу деформації. Вони можуть бути зупинені внаслідок зміцнення волокнами або релаксацією напруги при вершині тріщини.

При збільшенні вмісту зміцнювальних елементів в крузі від 0 до 9% відбувається підвищення міцності круга, в якій основну роль відіграє властивість зв'язуючого та

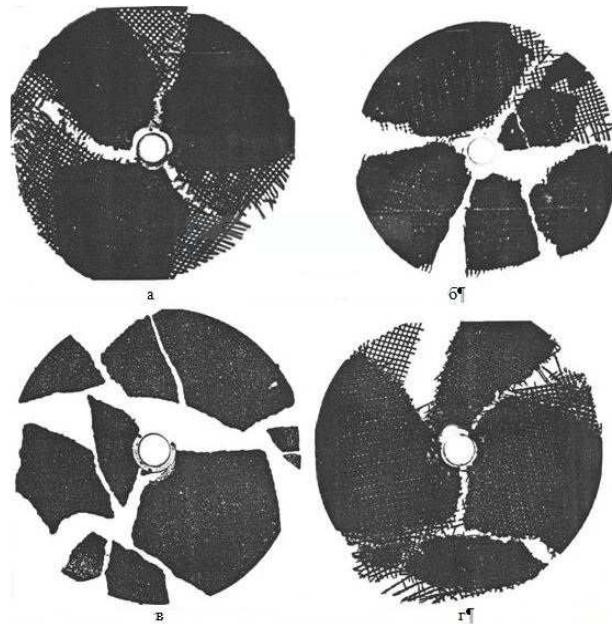


Рис. 1. Руйнування абразивних кругів з різним зміцненням при обертанні під дією відцентрових сил: *а* - зміцнення двома склосітками; *б* - зміцнення однією склосіткою; *в* - без зміцнення; *г* - зміцнення трьома скло сітками

Fig. 1. The destruction of abrasive wheels with different strengthening the rotation by centrifugal forces: *a* - strengthening two fiberglass; *б* - strengthening one fiberglass; *в* - without strengthening; *г* - strengthening three fiberglass

армувальних елементів, зв'язок між абразивною масою і зміцнювальними елементами на межі їх розділу. Деяке зниження міцності спостерігається, коли вміст армувальних елементів більше за 10%. Це обумовлено впливом на напружений стан локальних ефектів у поверхні контакту абразивна маса - волокно, що пов'язано зі зменшенням товщини шару абразивної маси у порівнянні з товщиною волокна.

Як видно з рис. 1, найбільшу кількість осколків при руйнуванні мають круги без зміцнювальних елементів. При зміцненні одним диском склосітки руйнування при обертанні відбувалося по чотирьох вузлових радіусах. Руйнування абразивних кругів армованих двома чи трьома склосітками відбувається по трьох вузлових радіусах, причому таке руйнування характерне для будь-яких розмірів абразивних кругів такого типу армування.

Наведені дані підтверджують той факт, що практично усі абразивні відрізки круги, що працюють у поєднанні з ручними шліфувальними машинами і армовані двома склосітками, мають високу надійність в експлуатації.

Таким чином, міцнісні властивості абразивних кругів визначаються орієнтацією та відсотковим вмістом армувальних елементів, властивостями фенольної зв'язки та зерна і пов'язані з їх молекулярною будовою. Утворені при термообробці міцні молекули мають довжину, яка перевищує їх поперечні розміри. При цьому зміцнення структури відбувається в результаті зшивання лінійного полімеру в тривимірну структуру. Значний вплив чинить упаковка та розмір абразивних зерен. Об'єктивною характеристикою міцності круга служить напружено-деформований стан, що створюється при випробуванні. Наявність такої інформації та її наступний аналіз складає неодмінну умову раціонального використання інструмента.

Відрізки армовані абразивні круги є анізотропними тілами, що володіють ортотропією механічних властивостей через свої конструктивні особливості. Напруги σ_r і σ_θ , що виникають в крузі, характеризують матеріал круга та враховують анізотропію

механічних властивостей круга при обертанні. Їх можливо визначити за такими залежностями:

$$\sigma_r = C(1+k)r^{k-1} + D(1-k)r^{-k-1} - \frac{\gamma\omega^2}{g} \cdot \frac{3+\nu}{g-k^2} r^2, \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = C(1+k) \cdot k \cdot r^{k-1} - D(1-k) \times \\ \times k \cdot r^{-k-1} - \frac{\gamma\omega^2}{g} \cdot \frac{k^2 + 3\nu}{g-k^2} r^2, \quad (4)$$

де C , D - постійні інтегрування, що знаходяться з граничних умов $\sigma_r|_{r=r_1} = 0$,

$\sigma_\theta|_{r=r_2} = 0$; ω - кутова швидкість;

$k = \sqrt{\frac{E_\theta}{E_r}}$ - коефіцієнт анізотропії; γ - пи-

тома сила ваги матеріалу круга; E_θ , E_r - модулі пружності для двох головних напрямів (радіального r і тангенціального θ); ν - коефіцієнт Пуассона.

Напруга перетворюється на нуль при $\rho = (\nu_1/r_1) = 1$ і $\rho = (\nu_2/r_2) = \alpha$, тобто на внутрішньому і зовнішньому контурі диска. Напруга $\sigma_r > 0$ і досягає найбільшої величини при $\rho = \sqrt{\alpha} = \sqrt{r_2/r_1}$. Напруга $\sigma_\theta > 0$ найбільшої величини досягає у внутрішнього краю диска при $\rho = \alpha$. Із порівняння цих напруг отримуємо $(\sigma_\theta)_{\max} > (\sigma_r)_{\max}$. Тому при перевірці міцності круга як по теорії найбільшої дотичної напруги, так і по енергетичній теорії умова міцності має вигляд

$$(\sigma_\theta)_{\max} < [\sigma]. \quad (5)$$

Із наведених залежностей видно, що напруги σ_θ і σ_r зростають зі збільшенням колової швидкості круга $V_r = \omega r$. Окрім швидкості V_r та характеристик матеріалу γ і ν ця напруга залежить тільки від безрозмірних величин ρ і α . Таким чином, в геометрично подібних кругах при одних і тих же значеннях ρ напруги σ_θ і σ_r будуть однакові. Це дозволяє замінити випробування дисків іншого діаметра лабораторними випробуваннями їх моделей.

При експлуатації абразивних кругів у ряді випадків спостерігається їх руйнування, викликане причинами, залежними від

умов різання, дій оператора, характеристик інструмента та особливостей керування приводним пристроєм. Основні види руйнування кругів при експлуатації з вказівкою можливих причин, що викликають вихід з ладу інструмента, можливо представити наступним переліком.

Злам круга, косий розріз:

- неправильне закріплення заготовки;
- втрата стійкості круга внаслідок його малої жорсткості;

- велике зусилля різання;

- діаметр фланця менше діаметра отвору в крузі;

- неправильне керування приводним пристроєм.

Різальна поверхня круга пошматована (локальне руйнування периферії круга):

- використання круга для чорнової обробки;

- неправильне закріплення заготовки, внаслідок чого вона пружинить;

- неправильне керування приводним пристроєм.

Виривання центрального отвору в крузі:

- неправильне закріплення;

- використання круга для чорного шліфування;

- дефекти у фланцях

- відрізним кругом робиться торцеве шліфування під кутом.

Виривання абразивних зерен по периферії різальної кромки:

- високе притискне зусилля;

- малий кут між кругом і поверхнею, яку обробляють.

ВИСНОВКИ

Приведені спостереження дозволяють оптимізувати методи та способи обробки матеріалів із застосуванням відрізних або обдирних кругів, а також виключити можливі причини руйнування кругів з практики технологічних операцій при різанні матеріалів.

Результати досліджень руйнування кругів з різним способом зміцнення, аналіз впливу анізотропії механічних властивостей матеріалу абразивного круга дозволяють отримати необхідну інформацію для

створення та ефективного використання абразивного інструмента.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Механізація* трудомістких процесів / Ю.Д. Абрашкевич, В.М. Смірнов, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський. – Київ: КНУБА, 2006. – 180 с.
2. *ГОСТ 12.3.028-82*. Система стандартів безпеки праці. Процеси обробки абразивним і ельборовим інструментом. Вимоги безпеки.
3. <http://www.koround.ru/root/files/specs/abrazivnii/gost-3060-86>
4. <http://shlif.by/uploads/KatalogP1.pdf>
5. *Абрашкевич Ю. Д.* Підвищення експлуатаційних показників абразивного інструменту / Ю. Д. Абрашкевич, Л. Є. Пелевін, А. Г. Поліщук. // *ГБДММ*. – 2012. – №80. – С. 30–37.

REFERENCES

1. *Abrashkevich Ju.D., Smirnov V.M., Pelevin L.Є., Rashkivs'kij V.P., 2006.* Mehanizacija trudomistkih procesiv [Mechanization of labor-intensive processes], Kiev, KNUCA, 180. – (in Ukrainian)
2. *GOST 12.3.028-82.* Sistema standartiv bezpeki praci. Procesi obrobki abrazivnim i el'borovim instrumentom. Vimogi bezpeki. [System safety standards . The process of handling abrasive tool and elborovym . Safety requirements].
3. <http://www.koround.ru/root/files/specs/abrazivni/gost-3060-86>.
4. <http://shlif.by/uploads/KatalogP1.pdf>.
5. *Abrashkevich Ju.D., Pelevin L.Є., Polishhuk A.G., 2012.* Pidvishhennja ekspluatacijnih pokaznikov abrazivnogo instrumentu [Improving operational performance abrasive tools]. *Girnichy, bedivelni, dorozhni ta meliorativni machine* [Mining, construction, road and melioration machines], No 80, 30–37. – (in Ukrainian)