

Будівельні машини і технологічне обладнання

УДК 69.002

Ю.Д. Абрашкевич, д. т. н., проф.;
Л.Є.Пелевін, к. т. н., проф.;
Рашківський В.П., к. т. н., доцент (КНУБА, Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АБРАЗИВНИХ АРМОВАНИХ КРУГІВ

АНОТАЦІЯ. Розглядається складний напружений стан абразивних армованих кругів внаслідок дії сил, що мають просторовий характер. Наведено алгоритм, що дозволяє визначити напруги, що виникають у крузі від відцентрових, тангенціальних, нормальних і згинаючих сил. Приведено результати експериментальних досліджень міцнісних характеристик матеріалу абразивних кругів.

Ключові слова. Абразив, відцентрові зусилля, випробування, руйнування, дослідження.

АННОТАЦИЯ. Рассматривается сложное напряженное состояние абразивных армированных кругов от действия сил, имеющих пространственный характер. Дан алгоритм определения напряжений, возникающих в круге от центробежных, тангенциальных, нормальных и изгибающих сил. Приведены результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик материала абразивных кругов.

Ключевые слова. Абразив, центробежные усилия, испытания, разрушения, исследования

SUMMARY The difficult tense state of the abrasive reinforced circles from action of forces having spatial character is examined. The algorithm of determination of tensions arising up in a circle from centrifugal, tangential, normal and bending forces is given. The results of experimental researches of descriptions of material of abrasive circles are resulted.

Key words abrasive, centrifugal efforts, tests, destructions, researches.

Вступ

При застосуванні відомих методів зачистки будівельних матеріалів та конструкцій за допомогою абразивного інструмента, ще не вироблено єдиного наукового підходу до процесів, що протікають у зоні контакту інструменту з оброблюваним матеріалом та у самому інструменті, які впливають на працездатність інструменту, а саме: немає обґрунтованої математичної моделі напружено-деформованого стану абразивного інструменту з врахуванням анізотропії його механічних властивостей та умов експлуатації; відсутнє рішення оптимізаційної задачі з розподіленням температури в інструменті з урахуванням теплофізичних характеристик його матеріалу, що значно впливає на його зносостійкість; не визначена картина деформацій, що виникають в інструменті з різними схемами армування від дії відцентрових сил, які впливають на надійність і довговічність інструменту.

Мета дослідження є визначення міцнісних характеристик матеріалу абразивних кругів при дії на них сил, що мають просторовий характер.

Виклад основного матеріалу.

В процесі роботи абразивний армований круг знаходиться в складному напруженому стані внаслідок дії відцентрових, тангенціальних, нормальних і згинаючих зусиль.

Відцентрові зусилля P виникають при обертанні круга і рівномірно розподілені за його об'ємом. Тангенціальні зусилля P_z діють на ріжучій кромці і з'являються в процесі різання між кругом і заготовкою. Нормальні зусилля P_y виникають при різанні і спрямовані за радіусом до центра круга. Згинаючі зусилля F постійно діють при зачищенні і різанні, особливо при роботі ручними шліфувальними машинами. Крім того, при різкому розгоні-гальмуванні круга за рахунок сил інерції виникає дотична напруга.

Для визначення напруги, що виникає в крузі від дії приведених зусиль, досліджувався його напружено-деформований стан.

Поряд з теоретичними дослідженнями напруженого стану круга визначалися його міцнісні характеристики. Для досліджень були вибрані абразивні армовані круги: Д 230х3х22 мм, Д 300х3х32 мм, армовані відповідно двома склосітками, що розташовані по бічних поверхнях круга; Д 400х4х32мм, армовані однією внутрішньою (діаметр 398 мм) і двома зовнішніми (діаметр 230 мм) склосітками; 5П 230х6х22 мм, армовані чотирма склосітками, двома внутрішніми і двома зовнішніми.

Як абразивний матеріал у зазначених кругах застосовувався електрокорунд з номером зернистості 50. Зразки з цих кругів були випробувані для визначення міцнісних характеристик матеріалу круга, таких як модуль пружності, міцність при згинанні та розтягненні, від яких залежить напружений стан інструменту.

Аналіз напруги, що виникає в абразивному армованому крузі під дією відцентрових зусиль, проводився з умови рівноваги пружного круга постійної товщини, що обертася з кутовою швидкістю ω ,

$$\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} (u \cdot r) \right] = - \frac{1-v^2}{E} \cdot \frac{\gamma \cdot \omega^2}{g} r \quad (1)$$

де u - радіальне переміщення точки, що віддалена на відстань r від центра круга, см; E - модуль пружності, кгс/см²; v - коефіцієнт Пуассона (для крихких матеріалів $v = 0,2$); γ - щільність круга, $\gamma = 2,5$ г/см³; g - прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ см/с²; ω - кутова швидкість круга, с⁻¹.

Після двократного інтегрування рівняння (1) отримаємо

$$u = - \frac{1-v^2}{E} \cdot \frac{\gamma \cdot \omega^2}{g} \cdot \frac{r^3}{8} + C_1 \cdot r + \frac{C_2}{r} \quad (2)$$

Напруження, що відповідають переміщенням (2), згідно [1] дорівнюють:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-v^2} \left[C(1+v) - C_2(1-v) \frac{1}{r^2} \right] - \frac{\gamma \cdot \omega^2}{8g} (3+v)r^2; \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-v^2} \left[C(1+v) + C_2(1-v) \frac{1}{r^2} \right] - \frac{\gamma \cdot \omega^2}{8g} (1+3v)r^2.$$

Постійні C_1, C_2 визначимо з граничних умов при $r = a$, $\sigma_r = 0$, а при $r = R_2$, $\sigma_r = 0$.

Після нескладних перетворень отримаємо

$$c_1(1+v) = \frac{1-v^2}{E} \cdot \frac{\gamma \cdot \omega^2}{8g} (3+v) \cdot (R_2^2 + a^2);$$

$$c_2(1-v) = \frac{1-v^2}{E} \cdot \frac{\gamma \cdot \omega^2}{8g} (3+v) \cdot a^2 \cdot R_2^2.$$

Вирази (3) в цьому випадку наберуть вигляду

$$\sigma_r = \frac{\gamma \omega^2}{8g} (3+v) \cdot \left(R_2^2 + a^2 - \frac{a^2 R_2^2}{r^2} - r^2 \right), \quad (4)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\gamma \omega^2}{8g} (3+v) \cdot \left(R_2^2 + a^2 + \frac{a^2 R_2^2}{r^2} - \frac{1+3v}{3+v} r^2 \right).$$

При визначенні напружень від дії тангенціальних зусиль враховувалося, що максимальні напруження виникають так само, як і при дії відцентрових сил, в безпосередній близькості від затискних фланців. Тангенціальні напруження на даному контурі представимо у вигляді

$$r(\theta) = \tau_1 \cdot \varphi(\theta),$$

де τ_1 напруження в точці, що розташована на радіусі $r = R_1$ (див. схему); $\varphi(\theta)$ - безрозмірна функція кута θ .

З умови рівності нулю суми моментів всіх сил відносно центру круга маємо

$$P_z \cdot R_2 = R_1^2 \tau_1 \cdot \int_0^{r\pi} \varphi(\theta) \cdot d\theta.$$

Звідси

$$\tau_1 = \frac{P_z \cdot R_2}{R_1^2 \cdot \int_0^{r\pi} \varphi(\theta) \cdot d\theta}. \quad (5)$$

При цьому враховувалося, що тангенціальні напруження сприймаються найближчою до точки прикладення навантаження половиною контура круга $\left(-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \right)$ і розподілені уздовж неї за параболічним законом

$$\varphi(\theta) = \begin{cases} 0, & \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{3\pi}{2} \\ \frac{4\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)^2}{\pi^2}, & -\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

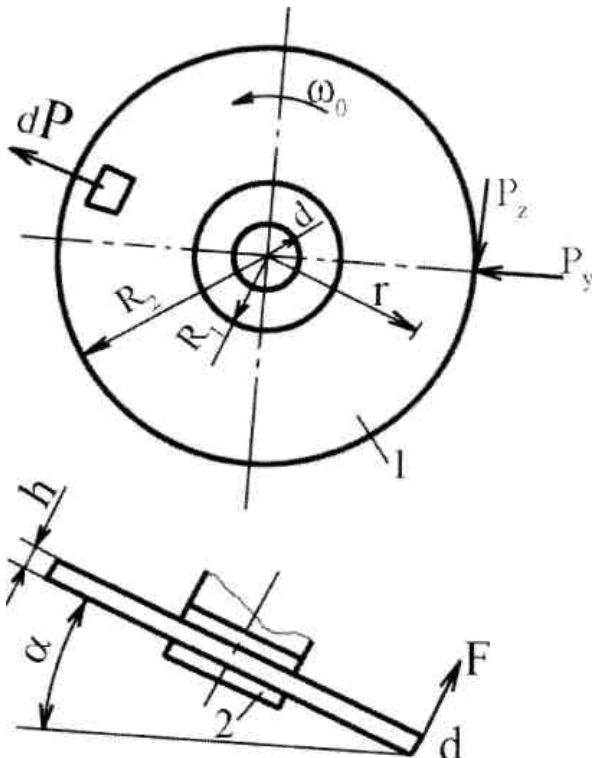


Схема розподілу зусиль, що діють на круг у процесі різання:
1 – круг; 2 – затискуючий фланець

Нормальні зусилля P_y , що діють на круг з боку реакції поверхні, що оброблюється викликають появу стискуючих напружень. Оскільки причиною руйнування крихкого матеріалу є, як правило, розтягальні напруження, нормальні зусилля в розрахунку можна не враховувати.

При дослідженні напружень, що виникають від згинаючих зусиль, враховувалося, що круг закріплений жорстко і максимальний згинаючий момент діє на зовнішньому радіусі фланця. У цьому місці при руйнуванні круга виникає тріщина, яка поширюється до зовнішніх крамок круга. Наближений вираз для розподілу напруги може бути отриманий згідно [2] в припущенні, що лінія зламу є нескінченим числом нескінченно вузьких сегментів балки і розподіл напруги за лінією зламу - параболічний

$$\sigma(r) = \sigma_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R_2^2 - R_1^2} \right). \quad (6)$$

За балочної теорії максимальне напруження обчислюється за формулою

$$\sigma_{\max} = \frac{4,5 \cdot F \cdot (d_1 - R_1)}{h^2 \sqrt{R_2^2 - R_1^2}},$$

де F - згинаюче навантаження на круг, кгс; d - точка прикладення навантаження, см; h - товщина круга, см.

Величина згинаючих зусиль залежить від багатьох чинників, зокрема від глибини різання, жорсткості шпиндельного вузла, кваліфікації робітника, і може бути визначена експериментальним шляхом.

При пуску (гальмуванні) абразивного

круга колове прискорення $a_\theta = \frac{d\omega}{dt} \cdot r$ ви-

кликає в перерізах круга $r = \text{const}$ дотичні напруження, які можна визначити з умови рівноваги частини круга, що знаходиться між радіусами r і R_2 . Прирівнюючи до нуля суму моментів всіх сил, прикладених до цієї частини круга, маємо

$$\tau_{r\theta} \cdot 2\pi \cdot r^2 \cdot h = \frac{\gamma h}{g} 2\pi \int_r^{R_2} \frac{d\omega}{dt} \cdot r^3 dr.$$

Звідси

$$\tau_{r\theta} = \frac{\gamma}{4g} \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \frac{R^4 - r^4}{r^2}. \quad (7)$$

Результати дії різних силових чинників підсумовуються і обчислюються відповідні головні напруження. У цьому разі слід враховувати особливості експлуатації кругів. Так, для зачистних кругів, в основному, слід враховувати вплив згинаючих і відцентрових зусиль, а для відрізних – відцентрових і тангенціальних.

При дослідженні міцнісних характеристик кругів з кожного із них механічним шляхом виготовлялися зразки, розміри яких приймалися згідно ГОСТ 4648-71 та ГОСТ 11262-76.

Випробування зразків на згинання проводилися за триточковою схемою навантаження на розривній машині МРС-500 першого класу точності. Швидкість навантаження за процес випробувань витримувалася постійною і дорівнювала 10 мм/хв. Випробування проводилися при температурі

20°C. Водночас проводився запис прогину залежно від навантаження. Враховуючи ці дані і геометричні параметри зразка, для кожного з яких визначали міцність на згин σ_u і модуль пружності при згинанні E .

Паралельно проводилися випробування зразків на розтяг. Зразок закріплювався в затискачах розривної машини МРС-500 за допомогою клинів, що самозатягуються. В процесі випробувань проводився автоматичний запис діаграми розтягу.

Руйнування зразків в процесі проведення випробувань слід визначати як крихке.

Таблиця 1.

Таблиця результатів експериментальних досліджень міцнісних характеристик матеріалу абразивних кругів

Число склосіток (тип круга)	Модуль пружності при згинанні E , кгс/мм ²	Межа міцності при згині σ_u , кгс/мм ²	Межа міцності при розтягу σ_p , кгс/мм ²
1 склосітка (Д400х4х32мм)	130	2,4	0,6
2 склосітки (Д300х3х32мм; Д230х3х22мм)	340	4,9	1,3
3 склосітки (Д400х4х32мм)	240	4,6	1,2
4 склосітки (5П230х6х32мм)	150	3,5	1,1

Висновки

Отримані значення меж міцності при розтягу і згині дозволяють, враховуючи залежності (4–7), визначити граничні значення зусиль, що діють на ріжучий інструмент в процесі експлуатації. Встановлено, що найбільшу міцність мають круги з двома склосітками, розташованими по бічних поверхнях, тобто при товщині абразивної маси 3 мм. Міцність кругів, що досліджувались з внутрішніми склосітками, товщина абразивної маси в яких між сітками складає 2 мм, як видно з наведених даних, більш низька.

Це пояснюється недостатньою адгезією між зв'язкою круга і армуючою сіткою, внаслідок чого круг працює не як єдине ціле. Тому одне із завдань підвищення міцності абразивних армованих кругів пов'язане з поліпшенням адгезії між зв'язкою круга і армуючою склосіткою, а також із розробкою нових конструкцій міцніших склосіток, що дозволяють зменшити їх кількість в абразивному крузі.

Як наслідок проведених досліджень отримані залежності, що дають змогу визначити напруження, що виникають під час роботи з абразивними армованими кругами, намічені шляхи підвищення їх надійності та безпеки.

Література

1. *Феодосьев В.И.* Сопротивление материалов. - М.: Наука, 1979. – 559 с.
2. *Раджагопал, Калтакджан.* Свойства армированных дисков при изгибе. Серия "Конструирование и технология машиностроения", №2, М., "Мир", 1977. – С. 12-18.

Рецензент: О.М.Гаркавенко, к.т.н., доцент (КНУБА, Київ)

Отримано: 01.04.2011 р.