

А.В. Фомін, к.т.н., проф.;
О.О. Костенюк; О.А. Тетерятник;
Г.І. Боковня (КНУБА)

КОНСТРУКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИСОКОШВИДКІСНИХ АЛМАЗНИХ РІЗАЛЬНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КОНСТРУКЦІЇ КНУБА З УРАХУВАННЯМ УМОВ ВТОМЛЮВАНОВОГО РУЙНУВАННЯ ҐРУНТІВ

АНОТАЦІЯ. Розглянуті залежності для визначення силових параметрів периферійних алмазних робочих органів і торцевих алмазних органів першого і другого типів. Виконаний аналіз умов, за яких створюється втомлюване руйнування робочого середовища. Отримані формули для розрахунку параметрів розглянутих алмазних робочих органів, що реалізують руйнування робочих середовищ при напруженнях, що дорівнюють межі втомлювальності матеріалу.

Ключові слова: алмазний робочий орган, різальний елемент, швидкісне руйнування, периферійний робочий орган, торцевий робочий орган.

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены зависимости для определения силовых параметров периферийных алмазных рабочих органов и торцевых алмазных органов первого и второго типов. Проведен анализ условий, при которых происходит усталостное разрушение рабочей среды. Получены формулы для расчета параметров рассмотренных алмазных рабочих органов, которые реализуют разрушение рабочих сред при напряжениях, равных пределу усталости материала.

Ключевые слова: алмазный рабочий орган, резательный элемент, скоростное разрушение, периферийный рабочий орган, торцевой рабочий орган.

SUMMARY. Dependences are considered for determination of power parameters of peripheral diamond workings organs and butt-end diamond organs of the first and second types. The analysis of terms which the tired destruction of working environment is created for is executed. Formulas are got for the calculation of parameters of the considered diamond workings organs which will realize destruction of workings environments at tensions, that the limits of tireless material are evened.

Keywords: diamond working organ, cutting element, speed destruction, peripheral working organ, butt-end working organ.

Вступ

Алмазні різальні робочі органи в технологічному процесі розробки робочих середовищ реалізують високі швидкості різання, що знаходяться у діапазоні 20...100 м/с і більше. Автоколивальний характер процесу руйнування робочого середовища за умов високих швидкостей різання призводить до того, що розроблювальний матеріал в зоні різання і в прилеглому до неї об'ємі знаходиться під багатократною дією прямих, відбитих і переломлених хвиль напружень (деформацій). Тобто напружено-деформований стан середовища в зоні різання носить коливально-хвильовий характер, подібний до того, який формується при ударно-вібраційному руйнуванні ґрунтів, що є найбільш ефективним динамічним процесом руйнування робочих середовищ. Такий напружено-деформований стан створює умо-

ви для накопичення в матеріалі втомлювальних деформацій, тому межа міцності робочого середовища значно зменшується. Для ефективного низькоенергоємного руйнування матеріалів конструктивні параметри робочих органів повинні визначатися із системного аналізу їх робочих процесів.

Дане дослідження пов'язане з важливими науковими і практичними завданнями таким чином, що в ньому проведено аналіз кінематичних особливостей робочого процесу розробки міцних матеріалів високошвидкісними алмазними робочими органами і на основі цього аналізу формування конструктивних параметрів швидкісних алмазних робочих органів є актуальним, завдяки чому є можливість підвищити ефективність даних інструментів, знизити енергоємність розробки ґрунтів а також інші ресурсні затрати.

Мета і постановка задачі

В роботах [1-3] започатковано розв'язання проблеми взаємозв'язку між геометричними, кінематичними, силовими і енергетичними параметрами робочих органів ґрунторозробних машин за умов швидкісного (динамічного) робочого процесу. Встановлено, що напружено-деформований стан має коливально-хвильовий характер з кількісними і якісними змінами параметрів робочого середовища, характеру взаємодії робочих органів з ґрунтом, що впливає на їх конструктивні параметри.

Невирішеною проблемою є врахування втомлювальних явищ, що відбуваються в робочому середовищі при швидкісному руйнуванні міцних матеріалів алмазними робочими органами в умовах просторового розподілення динамічного навантаження на різальні елементи.

Метою роботи є встановлення залежностей для формування конструктивних параметрів низькоенергоємних алмазних робочих органів з просторовими різальними елементами.

Задачею даного дослідження є визначення закономірностей, що визначають вимоги до конструктивних параметрів швидкісних алмазних органів, враховуючи параметри втомлювального руйнування і просторову орієнтацію різальних елементів.

Виклад основного матеріалу

Просторове розподілення навантаження на різальні елементи швидкісних алмазних робочих органів зменшує енергоємність різання матеріалів і призводить до зниження витрат алмазів і матеріалів зв'язки.

На кафедрі будівельних машин КНУБА розроблена конструкція алмазних робочих органів з просторовим розміщенням різальних елементів

Алмазний робочий орган, зокрема для свердління міцних матеріалів (рис. 1) складається з корпусу 1 і робочої частини, яка в свою чергу складається з центральних 2, та груп внутрішніх 3 і 4 та зовнішніх 5 і 6 ріжучих елементів. При обертанні робочого органа відносно своєї осі з кутовою швидкістю ω і поступальному русі зі швидкістю подачі V_p центральні різальні елементи 2, що найбільш висунені в напрямку швидко-

сті подачі, виконують центральну лідируючу прорізь. Інші різальні елементи виконують прорізи, які зміщені відносно центральної лідируючої прорізі. За рахунок того, що група внутрішніх та зовнішніх різальних елементів зміщені в осьовому (проти швидкості подачі) і в коловому і радіальному напрямках в бік внутрішньої і зовнішньої поверхні корпусу, продукти руйнування вільно видаляються в напрямках внутрішньої і зовнішньої поверхонь корпусу. Розташування різальних елементів відносно центральних елементів групами, що чередуються, створює рівномірне навантаження на робочий орган, що зменшує нетехнологічне динамічне навантаження..

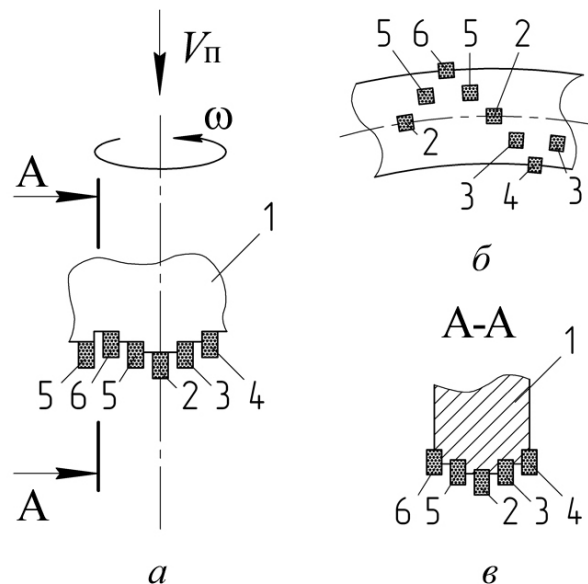


Рис. 1. Схема розташування різальних елементів алмазного робочого органа конструкції КНУБА:

а- розташування різальних елементів на корпусі робочого органа (фронтальна проекція);
б- різальні елементи, вигляд знизу;
в- вигляд поперечного перерізу розташування різальних елементів на корпусі робочого органа

Середня дотична сила F_τ при динамічному руйнуванні робочих середовищ робочим органом визначається з залежності [1]

$$F_\tau = \frac{uk_d S}{2V k_\alpha}, \quad (1)$$

де u – швидкість розповсюдження хвиль деформації (напружень) в робочому середовищі; k_d – питомий опір робочого сере-

довища динамічному руйнуванню; S – сумарна площа контакту різальних елементів, що знаходяться в забої, з робочим середовищем; V – швидкість взаємодії різальних елементів з робочим середовищем; k_α – коефіцієнт, що враховує кут різання різальними елементами робочого середовища.

Відповідно параметри u і k_d визначаються з формули

$$u = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}, \quad (2)$$

де E – динамічний модуль пружності робочого середовища; ρ – щільність робочого середовища; μ – коефіцієнт Пуассона,

$$k_d = \rho V^2 + \varepsilon \sigma, \quad (3)$$

де σ – динамічна межа міцності робочого середовища; ε – гранична відносна деформація робочого середовища.

Для алмазних робочих органів залежність (1) запишеться:

– для периферійних робочих органів

$$F_\tau^{\text{п}} = \frac{uk_d b V_{\text{п}} (1 - \cos \varphi_p)}{2\omega^2 R k_\alpha}, \quad (4)$$

де b – ширина прорізи в робочому середовищі, утвореної робочим органом; $V_{\text{п}}$ – швидкість подачі робочого органа; φ_p – центральний кут різання, що стягується дугою кола лінії різання між точками входу різального елемента в забій і виходу з нього; R – радіус робочого органа;

– для торцевих робочих органів (першого типу) зі швидкістю подачі, що перпендикулярна осі обертання робочого органа (тут $\varphi_p = 2\pi$ і b_m – товщина матеріалу, що знімається робочим органом за один прохід):

$$F_\tau^{\text{т1}} = \frac{uk_d b_m V_{\text{п}}}{\omega^2 R k_\alpha}; \quad (5)$$

– для торцевих робочих органів (другого типу), у яких $V_{\text{п}}$ паралельна осі обертання робочого органа:

$$F_\tau^{\text{т2}} = \frac{uk_d b \pi V_{\text{п}} \cos \beta}{\omega V k_\alpha}; \quad (6)$$

тут β – кут нахилу траєкторії різання до площини, перпендикулярної до осі обертання робочого органа;

$$\beta = \arctg \frac{V_{\text{п}}}{\omega R}. \quad (7)$$

У наведених вище формулах для розрахунку силових параметрів зменшення сили різання у робочих органах конструкції КНУБА відбувається:

– у периферійних робочих органів і торцевих робочих органів другого типу за рахунок зменшення ширини прорізу b (що відбувається внаслідок зниження амплітуди нетехнологічних коливань робочого органа), що є наслідком просторового розподілення навантаження на різальний елемент, а також зменшення площі контакту різальних елементів з робочим середовищем внаслідок несучільної розробки поперечного перетину прорізу.

– у торцевих робочих органів першого типу, внаслідок переваг конструкцій інструментів КНУБА [1], а також за рахунок зменшення стрибкоподібної зміни товщини b_m матеріалу.

Крім того, у всіх робочих органах конструкції КНУБА підвищується якість обробленої поверхні.

В умовах втомлювального руйнування втомлювальні напруження σ_b знаходяться із залежності:

$$\sigma_b^m N = C_b, \quad (8)$$

де m – показник степеня втомлювальної кривої; C_b – стала втомлювальної кривої; N – число циклів навантажень.

За умови, коли $N = N_0$ (N_0 – базове число навантажень; для природного і штучного каменя $N_0 = 5 \dots 15$) σ_b є межою втомлювальності матеріалу.

Число циклів навантажень елемента ґрунту до його сколу знаходиться із залежності

$$N_{\text{ск}} = \frac{l_e}{l_{\text{ск}}}, \quad (9)$$

де $l_{\text{ск}}$ – величина одиночного сколу; l_e – відстань між сусідніми різальними елементами (алмазними зернами в лінії різання).

Величина одиночного сколу знаходиться з виразу

$$l_{\text{ск}} = (h_p k_h - a)(\text{ctg} \theta - \text{ctg} \delta), \quad (10)$$

де h_p – глибина різання різальним елементом; k_h – коефіцієнт контакту різального елемента з ґрунтом в залежності від кута різання δ ; $a = h_p(1 - k_{бок})$ – довжина бокових зрізів; $k_{бок} = \frac{h_1}{h_p}$ – коефіцієнт глибини частини прорізу, що розширюється; h_1 – глибина, на якій починається розширення прорізу; $\theta = \frac{\pi}{4} - \frac{\xi}{2}$ – кут між траєкторією різання і переважним напрямком руху елементів стружки; ξ – кут внутрішнього тертя.

Таким чином, з урахуванням геометричних параметрів різання вираз (9) запишеться

$$N_{ск} = \frac{l_e}{h_p(k_h - 1 + k_{бок})(\text{ctg}\theta - \text{ctg}\delta)}. \quad (11)$$

Для торцевих робочих органів другого типу число сколів визначається за аналогічною формулою; але для цих робочих органів глибина різання h_p різальним елементом є сталою і розраховується за формулою

$$h_p = \frac{2\pi V_{\pi}}{z\omega} \cdot \cos\left(\arctg \frac{V_{\pi}}{\omega R_i}\right), \quad (12)$$

де R_i – відстань різального елемента (алмазного зерна) від осі обертання.

В умовах змінної глибини різання (периферійні та торцеві першого типу робочі органи) глибина різання h_p різальним елементом змінна і визначається за формулою

$$h_p = \frac{\varphi_p V_{\pi} \sin \varphi}{\omega}, \quad (13)$$

де φ – змінне значення центрального кута різання, що відповідає конкретному положенню різального елемента (алмазного зерна) в заборі.

Тоді для таких робочих органів число циклів навантажень елементів ґрунту ($N'_{ск}$) до його сколу в першому наближенні визначиться за формулою

$$N'_{ск} = \frac{2\varphi_e R}{l_{ск\varphi} + l_{ск\varphi+\varphi_e}} = \frac{2\varphi_e R}{(h_{\varphi} + h_{\varphi+\varphi_e})(k_h - 1 + k_{бок})(\text{ctg}\theta - \text{ctg}\delta)}, \quad (14)$$

де $l_{ск\varphi}$ і h_{φ} – величина сколу і глибина різання в положенні, коли центральний кут дорівнює φ ; $l_{ск\varphi+\varphi_e}$ і $h_{\varphi+\varphi_e}$ – величина сколу і глибина різання в положенні, коли центральний кут приймає значення $\varphi + \varphi_e$.

Тут φ_e – центральний кут різання, що стягується дугою між сусідніми різальними елементами в лінії різання, і тоді

$$l_e = \varphi_e R_i. \quad (15)$$

Для втомлювального руйнування за сталої величини амплітуди навантажень при одиничних сколах, число сколів $N_{ск}$ повинно відповідати базовому числу сколів N_0 . При змінних амплітудах одиничних навантажень число сколів (навантажень елемента) повинно дорівнювати еквівалентному числу навантажень N_e (сколів), що визначається, в першому наближенні, з виразу

$$\sigma_b \cdot N_0 = \sum_{i=1}^{N_e} \sigma_i, \quad (16)$$

де σ_i – величина амплітуди напруження при i -тому сколі, що визначається з залежності [1]

$$\sigma(x, t) = a \cdot \left(\frac{t}{x}\right)^{\nu-1} + b \cdot \left(\frac{t}{x}\right)^{2\nu} + c \cdot \left(\frac{t}{x}\right)^{\nu(1-R)}, \quad (17)$$

яка характеризує розподіл напружень залежно від координати x , що визначає відстань від різального елемента в напрямку його руху до точки, що розглядається і часу t , у виразі (17) a , b , c , R – параметри, що визначаються характеристиками ґрунту і режимом робочого процесу [1], ν – стала величин, що визначає характер розповсюдження напружень в ґрунті ($\nu = 0$ – при плоскому русі, $\nu = 1$ – при циліндричному русі, $\nu = 2$ – при сферичному русі).

Визначають напруження одиничного сколу з урахуванням, що $x_{i+1} - x_i = l_{скi}$, де $l_{скi}$ – величина i -того сколу.

Таким чином розраховані параметри створюють умови, що кожний елемент робочого середовища руйнується при напруженнях, що дорівнюють межі витривалості матеріалу, завдяки чому значно зменшується енергоємність робочого процесу.

В подальших розрахунках знайдемо відстань між різальними елементами в лінії різання за формулою:

– для торцевих робочих органів другого типу

$$l_e^{T2} = N_e h_p (k_h - 1 + k_{\text{бок}}) \cdot (\text{ctg}\theta - \text{ctg}\delta); \quad (18)$$

– для периферійних і торцевих робочих органів першого типу

$$l_e^{T1} = 0,5 N_e (h_\phi + h_{\phi+\phi_e}) \times (k_h - 1 + k_{\text{бок}}) (\text{ctg}\theta - \text{ctg}\delta). \quad (19)$$

Відстань між алмазними зернами в лінії різання розраховується за формулою, мм

$$l_3 = \frac{d}{0,23\sqrt[3]{K}}, \quad (20)$$

де d – середній діаметр зерна (зернистість), мм; K – відносна концентрація алмазних зерен.

Виходячи із вищенаведеного, параметри робочих органів d і K знаходяться при сумісних розв'язках рівнянь (12), (13), (16), (17), (18), (19) і (20).

Висновки

Напружено-деформований стан при швидкісному різанні алмазними робочими органами формує умови втомлювального руйнування, при якому робоче середовище руйнується за напружень, що дорівнюють межі втомлювальності при базовому числі навантажень за сталої величини амплітуди одиничних навантажень. Величина одиничного сколу є сталою у торцевих робочих органів другого типу і змінною у периферійних і торцевих робочих органів першого типу. Амплітуда напружень навантажень від одиничних сколів робочого середовища є змінною для всіх типів алмазних робочих органів і тому число сколів, яке необхідне для зниження міцності робочого середовища до межі втомлювальності середовища, буде відрізнятися від базового. Потрібне для цього еквівалентне число сколів визначається з урахуванням фізичних характери-

стик та геометричних параметрів робочого середовища, а також закономірностей розподілення напружень в робочому середовищі.

Відстань між різальними елементами в лінії різання визначається за отриманими залежностями таким чином, що при переміщенні різального елемента на цю відстань ґрунт між сусідніми елементами піддається числу циклів навантажень, що відповідають базовому або еквівалентному числу, а зернистість (середній діаметр зерна) і відносна концентрація алмазів розраховуються за такими наведеними формулами, що забезпечують виконання цієї умови.

Перспективними в подальших дослідженнях є визначення оптимальних залежностей між параметрами алмазних робочих органів для зниження енергоємності процесу і витрат алмазної сировини і збільшення ресурсу алмазних робочих органів в цілому.

Література

1. *Робочі процеси землерийної техніки: Навчальний посібник* / Л.Є. Пелевін, А.В. Фомін, О.О. Костенюк, Г.І. Боковня – К.: КНУБА, 2006, 172 с.
2. *Визначення силових і енергетичних параметрів ґрунторуйнуючих робочих органів типу конусна фреза* / Фомін А.В., Костенюк О.О., Тетерятник О.А. – Зб. "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини", вип.63. Респ. межвід. науково-технічн. Збірник. Київ, 2004, С. 3-15.
3. *Визначення параметрів ґрунторозробних робочих органів з урахуванням характеристик зруйнованого середовища і втомлювального руйнування* / Фомін А.В., Костенюк О.О., Тетерятник О.А., Боковня Г.І. – Зб. "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини", вип.71. Респ. межвід. науково-технічн. Збірник. Київ, 2008, С. 20-23.

Рецензент: І.В. Русан, к.т.н., доцент (КНУБА)

Отримано: 7.12.2009 р.