

Будівельні машини і технологічне обладнання

УДК 623.132.3

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

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ АЛМАЗНИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА ЇХ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ

АННОТАЦІЯ. Проаналізовано умови формування динамічного коливально-хвильового напружено-деформованого стану робочого середовища при розробці його високошвидкісними алмазними інструментами. Описані конструкції алмазних різальних елементів з програмовано-просторовим розташуванням алмазних зерен зі змінною зернистістю, які підвищують ефективність процесу розробки робочих середовищ. Представлено залежності для розрахунку геометричних, силових і енергетичних параметрів робочого процесу алмазного інструмента підвищеної ефективності з використанням теорії динамічного руйнування ґрунтів.

Ключові слова: алмазний робочий орган, різальний елемент, високошвидкісне руйнування, програмоване просторове розташування алмазних зерен, хвилі деформацій (напружень), дотична сила різання, потужність різання.

АННОТАЦИЯ. Проанализированы условия формирования динамического колебательно-волнового напряженно-деформированного состояния рабочей среды при разработке его высокоскоростными алмазными инструментами. Описаны конструкции алмазных резательных элементов с программированно-пространственным размещением алмазных зерен с переменной зернистостью, которые повышают эффективность процесса разработки рабочей среды. Представлены зависимости для расчета геометрических, силовых и энергетических параметров рабочего процесса алмазного инструмента повышенной эффективности с использованием теории динамического разрушения грунтов.

Ключевые слова: алмазный рабочий орган, режущий элемент, высокоскоростное разрушение, программированное пространственное размещение алмазных зерен, волны деформаций (напряжений), касательная сила резания, мощность резания.

SUMMARY. The terms of forming of the dynamic shake-wave tensely-deformed state of working environment are analysed at development its hight-speeds diamond tools. Constructions are described diamond cuttings elements with the programmable - spatial placing of diamond crop with a variable grittiness, which raise efficiency development of working environment process. Dependences are presented for the calculation of geometrical, power and power parameters of working process of diamond tool of enhanceable efficiency with the use of theory of dynamic destruction of soil.

Keywords: diamond working organ, cutting element, hight-speed destruction, programmable spatial placing of diamond crop, waves of deformations (tensions), tangent strenth of cutting, cutting power.

Вступ

Алмазні робочі органи широко застосовуються в будівництві для розробки міцних будівельних матеріалів. Відмінною особливістю робочих процесів алмазного інструмента є високі швидкості взаємодії різальних елементів із середовищем, що розробляється, які вимірюються десятками метрів за секунду. Висока різальна здатність алмазозносних робочих шарів зумовлює значну ефективність їх роботи. Однак є ряд напру-

мів в підвищенні ефективності конструкцій інструмента і їх робочих процесів.

Насамперед треба відзначити, що алмазний інструмент є інструментом динамічної дії внаслідок високих швидкостей різання, – це зумовлює необхідність розглядати процес руйнування робочих середовищ на основі принципів теорії виникнення і розповсюдження хвиль деформацій в матеріалі, що розробляється.

За високих швидкостей різання процес взаємодії різальних елементів із робочим

середовищем можна розглядати як ударний, при якому удари виникають при одиничних сколах ґрунту. Таким чином при різкому навантаженні і знятті його в середовищі виникає і розповсюджується пряма одинична хвиля деформації (напруження). Внаслідок неоднорідностей у ґрунті і у відкритих поверхнях відбувається відбиття і переломлення прямої одиничної хвилі. Враховуючи також дисипативні властивості робочого середовища, за яких амплітуда хвилі зменшується до нуля за три, чотири коливання, внаслідок суперпозиції всіх видів хвиль, можна зробити висновок, що частини ґрунту знаходяться у складному коливальному русі, аналогічному за вібраційного навантаження. З урахуванням останнього зауваження загалом процес швидкісного різання ґрунтів можна кваліфікувати як ударно-вібраційний. Такий спосіб руйнування робочого середовища є найбільш ефективним, що реалізується з найменшою енергоємністю, тому що граничні напруження, за яких матеріал руйнується, значно нижчі за межу міцності матеріалу на стиснення. Це обумовлено накопиченням втомлювальних деформацій, а також виникненням у матеріалі осередків, в яких виникають напруження розтягнення, які є найменшою межею міцності робочого середовища.

Дане дослідження пов'язане з важливими науковими і практичними завданнями таким чином, що в ньому представлені розроблені технічні рішення, які підвищують ефективність конструкцій різальних алмазних робочих органів, проведено аналіз їх робочих процесів, на основі якого отримані залежності для розрахунку основних параметрів взаємодії інструмента з робочим середовищем з урахуванням умов динамічного руйнування ґрунтів, що дозволяє зменшити енергоємність розробки матеріалів, знизити витрати алмазної сировини та матеріалів зв'язки і підвищити ресурс робочих органів.

Мета і постановка задачі

У роботах [1-4] започатковано розв'язання проблеми підвищення ефективності конструкцій алмазних різальних ро-

бочих органів і їхніх робочих процесів. Встановлено, що високошвидкісне прикладання навантаження на робоче середовище створює умови ударновібраційного процесу руйнування матеріалів. При цьому напружено-деформований стан середовища має коливально-хвильовий характер зі складним розподіленням напружень, що в кожному осередку ґрунту змінюються в часі за велечиною і напрямком. Такий напружено-деформований стан відповідає і робочим процесам високошвидкісних алмазних різальних робочих органів. Внаслідок хаотичного розташування алмазних зерен на робочій поверхні інструмента в корисній роботі різання приймає участь порівняно незначний відсоток від їх загальної кількості (близько 30...45% – [2] або до 10% – [3]). Значно підвищити кількість працюючих алмазних зерен можна за рахунок програмованого їх розташування в алмазоносному шарі [3]. Підвищити ефективність конструкції алмазного інструмента можна також за рахунок просторового розподілення навантаження на різальні елементи робочого органа [4].

Невирішеною проблемою в конструкціях і робочих процесах алмазних робочих органів є врахування нерівномірності навантаження на різальні елементи в коловому напрямку, а також ефективних рішень в поєднанні з програмованим розташуванням алмазних зерен та їх просторового розташування.

Метою роботи є створення конструкції та встановлення залежностей для визначення параметрів робочого процесу швидкісних алмазних робочих органів з урахуванням нерівномірності навантаження на алмазні зерна в коловому напрямку, програмованого і просторового розташування цих зерен.

Задачею даного дослідження є підвищення ефективності алмазних робочих органів, яке полягає в розробці технічних рішень, що поєднують програмоване і просторове розташування зерен в алмазоносному робочому шарі інструмента, врахуванні нерівномірності навантаження на алмазні зерна і визначенні закономірностей, що ха-

рактикують параметри робочих процесів алмазних інструментів.

Виклад основного матеріалу

Програмоване розташування алмазних зерен в алмазозносному шарі (сегменті) значно збільшує кількість алмазних зерен, що приймають участь у роботі.

За технічного рішення [5] алмазний різальний елемент містить підкладку 1, яку прикріплено до робочого шару 2. Робочий шар, в свою чергу, складається з елементної зв'язки 3 і розташованих у ній циліндричних стрижнів 4, які являють собою низку одиничних алмазних зерен 5, що скріплені робочою зв'язкою 6. Довжина стрижнів дорівнює висоті робочого шару різального елемента. Стрижні мають діаметр, який дорівнює максимальному значенню зернистості алмазних зерен (рис. 1).

Даний різальний елемент буде працювати наступним чином: при русі різального елемента відносно матеріалу, що обробляється, алмазні зерна зрізають стружку матеріалу, утворюючи в ньому проріз.

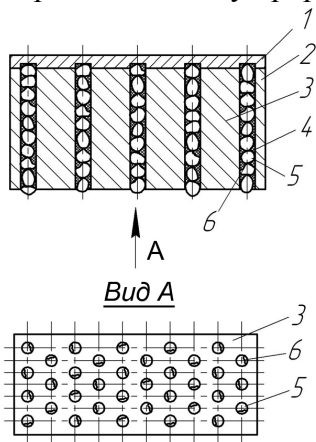


Рис. 1. Алмазний різальний елемент з програмованим розташуванням алмазів

Завдяки програмованому розташуванню одиничних алмазних зерен у робочій зв'язці (тобто у визначеному порядку у вигляді стрижнів) відбувається рівномірне розподілення навантаження на кожне алмазне зерно, що бере участь у процесі різання. Це дозволяє, у свою чергу, виключити різання окремими алмазними зернами недопустимо великої товщини стружки і тим самим виключити надмірно високе навантаження на них, що виключає великі виходи алмазних зерен, а це знижує їх витрати і

підвищує стійкість алмазного різального елемента. Крім того, внаслідок рівномірного розподілення навантаження на алмазні зерна у кожному стрижні, виключається і згладжування їх різальних кромок внаслідок недостатнього навантаження. Алмазні зерна всіх стрижнів, по-перше, будуть знаходитись в роботі а, по-друге, матимуть сформовані різальні кромки, що значно покращує різальні якості різального сегмента і тим самим знижує енергоємність різання (внаслідок виключення витрати енергії на тертя елементної зв'язки та робочої зв'язки по матеріалу, що розробляється, при виконанні алмазних зерен).

Ще однією особливістю цієї конструкції є те, що виконання стрижнів довжиною, яка дорівнює довжині робочого шару різального елемента забезпечує роботу цього елемента, до повного зносу робочого шару і покращує їх закріплення в різальному елементі завдяки максимальній глибині заглиблення. Більш того, якість зчеплення стрижнів з елементною зв'язкою суттєво не впливає на роботу стрижнів завдяки великій глибині заглиблення їх у робочий шар аж до моменту, коли в результаті зносу залишається частина стрижня, що має довжину меншу за величину зернистості алмазного зерна – d , а так як в інструментах відношення $h/d > 10...20$ і більше, то практично за весь термін служби різального елемента знос його буде відбуватися тільки у відповідності з фізико-механічними властивостями стрижнів і не буде залежати від міцності утримання його у зв'язці. Це дозволяє використовувати елементну зв'язку з пониженими характеристиками (дешеві ширококорозповсюджені матеріали).

Представлена конструкція дозволяє максимально знизити витрати робочої зв'язки і тим самим максимально зменшити її непродуктивний знос. Адже таке розташування алмазних зерен максимально забезпечує безперервність роботи стрижня у процесі його роботи, що знижує енергоємність різання внаслідок забезпечення рівномірного навантаження алмазних зерен всіх стрижнів, а циліндрична форма стрижня і однакова величина його діаметра з

найбільшою величиною зернистості алмазних зерен, максимально знижує вміст робочої зв'язки в алмазному сегменті.

Просторове розподілення навантаження на різальні елементи можна отримати за рахунок певної форми алмазного сегмента (рис. 2).

Сегмент складається з безалмазного 1 і алмазозного 2 шарів. Безалмазний шар виконаний у вигляді призми з трикутною основою CDE. Алмазозний шар виконаний у вигляді двох призм з паралелограмними основами ABCD і ADEF. Дані призми мають загальну грань, що проектується у поперечному перерізі в лінію AD.

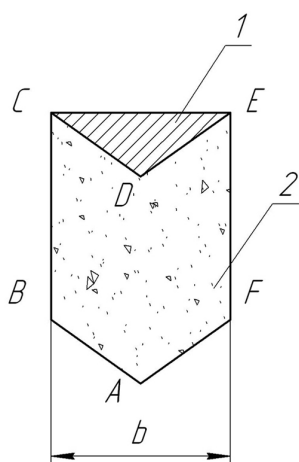


Рис. 2. Алмазний різальний елемент з просторовим розташуванням алмазних зерен

Працює різальний елемент наступним чином. В результаті робочого руху різальний елемент ріже оброблювальний матеріал поверхнею, що проектується в поперечному перерізі в лінію BAF. В результаті того, що довжина лінії BAF більша за товщину різального елемента, площа контакту різального елемента з розроблювальним матеріалом значно більша ніж у різального елемента з поперечним перерізом у формі прямокутника. Внаслідок цього, при такому формуванні зони різання, момент опору перерізу алмазних зерен у прямокутного різального елемента, що зменшує напруження в алмазному зерні і тим самим підвищує його стійкість. Крім того, алмазні зерна розташовані на різній висоті в радіальному напрямку інструмента, що перерозподіляє силу різання, з зосередженої на просторову, що додатково зменшує динамічність наван-

таження і збільшує курсову стійкість інструмента. Виконання безалмазного шару у вигляді призми з трикутною основою призводить до того, що лінії CD і DE паралельні лініям BA і AF. Знос алмазного різального елемента від зовнішніх ліній BA і AF відбувається таким чином, що формується поверхня зносу, паралельна лініям BA і AF аж до повного зносу різального елемента. Кінцева поверхня зносу утворюється лініями CD і BE, що співпадає з лініями безалмазного шару. Таким чином, після повного зносу різального елемента всі алмазні зерна будуть раціонально використані без утворення залишкових невикористаних ділянок алмазозного шару. Всі вказані переваги зменшують нетехнологічну вібрацію і шум, зменшують загальну площу поперечного перерізу, а внаслідок цього зменшують енергоємність робочого процесу і знос алмазів.

Поєднавши програмоване і просторове розташування алмазних зерен отримаємо конструкцію алмазного сегмента (рис. 3).

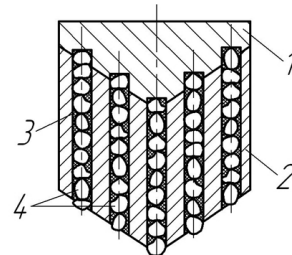


Рис. 3. Алмазний різальний елемент з програмовано-просторовим розташуванням алмазних зерен

У робочому процесі алмазного робочого органа найбільшому навантаженню підлягають алмазні зерна в передній частині алмазного сегмента, що знаходяться на границі з радіальним пазом корпусу. В цій частині сегмента виникає ударне навантаження і несприятливі геометричні параметри з найбільшою глибиною різання. При цьому навантаження знижується до тильної частини і при нераціональній довжині сегмента, зернистості алмазних зерен і відносній концентрації алмазів у тильній частині сегмента різання матеріалу відсутнє, а відбувається непродуктивне тертя сегмента об робоче середовище, викликаючи підвищен-

ня енергоємності процесу, зносу зв'язки і алмазних зерен.

Враховуючи нерівномірність навантаження на алмазні зерна по довжині (у колітовому напрямку) остаточно можна прийняти конструкцію алмазного сегмента зі змінною зернистістю (рис. 4).

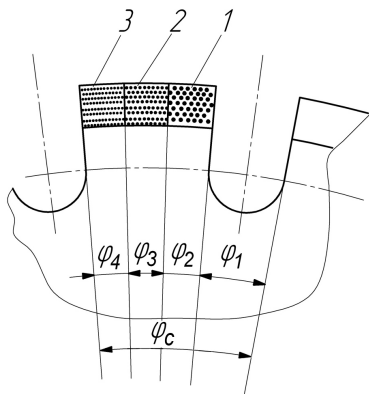


Рис. 4. Алмазний сегмент зі змінною зернистістю

Особливістю конструкції є розділення алмазного сегмента на три частини, при цьому зернистість алмазних зерен зменшується від першої до третьої частини, що відповідає характеру зменшення величини навантаження на сегмент.

Таким чином, для визначення параметрів робочого процесу алмазних робочих органів із сегментом зі змінною зернистістю середня сумарна дотична сила опору робочого середовища руйнуванню, що діє на робочий орган, визначається за методикою визначення параметрів процесу при динамічному руйнуванні робочих середовищ [1]

$$P_d = \frac{uk_d S}{2Vk_\alpha}, \quad (1)$$

де u – швидкість розповсюдження хвиль деформації (напружень) у робочому середовищі; k_d – питомий опір робочого середовища динамічному руйнуванню; S – сумарна площа контакту різальних елементів, що знаходяться у забої, з робочим середовищем; V – швидкість взаємодії різальних елементів з робочим середовищем; k_α – коефіцієнт, що враховує кут різання.

Складові залежності (1) визначаються за формулами:

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

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

$$k_d = \rho V^2 + \epsilon \sigma,$$

де ϵ – гранична відносна динамічна деформація; σ – динамічна межа міцності матеріалу при руйнуванні (визначається для конкретних конструкцій робочих органів і умов робочого процесу)

$$S = \frac{bV_\Pi(1-\cos\varphi_p)}{\omega}, \quad (2)$$

тут b – сумарна ширина різальних елементів в проекції на поперечну площину прорізу; V_Π – швидкість подачі робочого органа; φ_p – центральний кут, що стягується дугою кола лінії різання між точками входу робочого органа в забій і виходу із забою; ω – кутова швидкість обертання робочого органа.

Розрахункова потужність розробки робочих середовищ

$$N_d = \frac{uk_d bV_\Pi(1-\cos\varphi_p)}{2\omega k_\alpha}. \quad (3)$$

Сумарна максимальна дотична сила на алмазний сегмент за методикою [1]

$$P_c = \frac{uk_d b a_c}{2Vk_\alpha \varphi_c R} \int_{l_p-l_c}^{l_p} \sin\left(\frac{l}{R}\right) dl, \quad (4)$$

де l_c – крок розташування сегментів, $l_c = \varphi_c R$, (див рис. 4); $a_c = \frac{\varphi_c V_\Pi}{\omega}$ – подача на сегмент, тобто переміщення робочого органа в напрямку швидкості подачі; φ_c – кутовий крок розташування сегментів; R – радіус робочого органа; $l_p = \varphi_p R$ – довжина лінії різання в забої.

Інтегруючи вираз (4) отримаємо

$$P_c = \frac{uk_d b a_c}{2Vk_\alpha \varphi_c} (\cos(\varphi_p - \varphi_c) - \cos\varphi_p), \quad (5)$$

Підставивши в (5) вираз a_c і враховуючи, що $V = \omega R$, отримаємо

$$P_c = \frac{uk_d b V_{\Pi}}{2k_{\alpha} \omega^2 R} (\cos(\varphi_p - \varphi_c) - \cos \varphi_p).$$

Аналогічно для частин сегмента:

– першої

$$P_1 = \frac{uk_d b V_{\Pi}}{2k_{\alpha} \omega^2 R} (\cos(\varphi_p - \varphi_1 - \varphi_2) - \cos \varphi_p); \quad (6)$$

– другої

$$P_2 = \frac{uk_d b V_{\Pi}}{2k_{\alpha} \omega^2 R} (\cos(\varphi_p - \varphi_3) - \cos \varphi_p); \quad (7)$$

– третьої

$$P_3 = \frac{uk_d b V_{\Pi}}{2k_{\alpha} \omega^2 R} (\cos(\varphi_p - \varphi_4) - \cos \varphi_p). \quad (8)$$

Треба відзначити, що сумарна максимальна дотична сила, що діє на алмазний сегмент, менша за суму P_1 , P_2 і P_3 , тому що ці сили розділені у часі.

Максимальна сила, що діє на алмазне зерно визначиться [1]

$$P_{зр} = \frac{uk_d \varphi_{зр} b_{зр} V_{\Pi} \sin \varphi_p}{2\omega^2 R k_{\alpha}},$$

де $b_{зр}$ – ширина алмазного зерна; $\varphi_{зр}$ – кутовий крок розташування алмазних зерен.

Висновки

Високі швидкості взаємодії алмазних різальних елементів з робочим середовищем формують динамічний коливально-хвильовий напружено-деформований стан у ньому, що зумовлює необхідність застосування для розрахунку параметрів робочого процесу методу динамічного руйнування робочих середовищ.

Програмоване розташування алмазних зерен у сегменті значно збільшує таку їхню кількість, які одночасно приймають участь у роботі і зрівноважує навантаження на одиничні зерна. Це дозволяє підвищити стійкість різального елемента, знизити енергоємність різання та витрати алмазів і дорогих матеріалів зв'язки, а також підвищити якість поверхні, що обробляється.

Просторове розташування алмазних зерен розподіляє навантаження на різальний елемент, що знижує нетехнологічну вібрацію і шум при роботі алмазного робочого органа.

Конструкція алмазного різального елемента зі змінною зернистістю дозволяє зрівноважити навантаження на алмазні зерна, враховуючи нерівномірність навантаження по довжині різального елемента.

Отримані залежності для розрахунку параметрів робочого процесу програмованого різального елемента зі змінною зернистістю з урахуванням динамічного руйнування робочих середовищ дозволяє формувати ефективні процеси руйнування ґрунтів.

Напрямок подальших досліджень щодо підвищення ефективності конструкцій алмазних робочих органів і їх робочих процесів полягає у встановленні закономірностей розташування різальних елементів на робочому органі з метою зниження енергоємності різання.

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. *Ю.И. Сычѳв, Ю.Я. Берлин Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню. Учебник для средних проф. – техн. училищ.* – М.: Стройиздат, 1985. – 312с.
3. *Б.В. Жадановский. Механическая обработка бетона и железобетона алмазным инструментом.* – М.: Стройиздат, 1982. – 112с.
4. *Конструктивні характеристики високошвидкісних алмазних робочих органів конструкції КНУБА з урахуванням умов втомлюваного руйнування ґрунтів.* / Фомін А.В., Костенюк, О.О., Тетерятник О.А., Боковня Г.І. – Зб. "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини", вип.74. Респ. межвід. науково-технічн. Збірник. Київ, 2009, с. 69-73.
5. *Фомін А.В., Костенюк, О.О., Черковський М.В., Москотін Д.О., Тимошенко В.В.* Алмазний різальний елемент (шар). Деклараційний патент на винахід. UA 636651A, 15.01.2004, Бюл.№1

Рецензент: Л.Є. Пелевін, к.т.н., професор (КНУБА, Київ)

Отримано: 24.06.2010 р.