

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ИНСТРУМЕНТОМ, ОСНАЩЕННЫМ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СВЕРХТВЕРДЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

В. Красник<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ГП "Научно-технический центр "Углеинновация", Киев, Украина

\*Ответственный автор: e-mail [vgkrasnik@ukr.net](mailto:vgkrasnik@ukr.net), тел. +380442371824

## MODELING THE PROCESS OF MINERAL ROCKS CUTTING WITH A TOOL MADE OF POLYCRYSTALLINE SUPERHARD MATERIALS

V. Krasnyk<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>SE "Science and Technical Center "Coalinnovation", Kyiv, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail [vgkrasnik@ukr.net](mailto:vgkrasnik@ukr.net), tel. +380442371824

### ABSTRACT

**Purpose.** To analyze the process of rocks cutting by a tool made of polycrystalline superhard materials (PSM).

**Methods.** Mathematical modeling of rock destruction process.

**Findings.** A model of deformation and fracturing of rock mass under the influence of a tool made of PSM is developed, which makes it possible to calculate the pressure in the zone of the tool contact with the rock and determine the change of the tool surface shape during wear.

**Originality.** The developed model of the PSM interaction with the rock mass takes into account both tool wear and displacement due to the elastic deformation of the rock, formation of the pre-destruction zone and brittle fracture of the rock.

**Practical implications.** It is shown that the shape of the worn out tool surface essentially depends on the ratio of the parameters describing elastic deformation, formation of the pre-destruction zone and brittle fracture of the rock, which can be used to determine the relative role of these processes in cutting various types of rocks.

**Keywords:** *polycrystalline superhard material, rock destruction, mathematical modeling, tool wear, brittle fracture*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В реальном процессе работы породоразрушающего инструмента реализуется механизм разрушения породы посредством отделения стружки, образование зоны предразрушения и износа режущих элементов. Процесс образование зоны предразрушения и износа режущих твердосплавных элементов рассмотрен в работах (Artsimovich, 1985; Cherapanov, 1987). В тоже время механизм разрушения горной породы поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) и закономерности формирования зон разрушения и предразрушения в результате воздействия ПСТМ в процессе резания имеет свои особенности (Glowka, 1989; Joodi, Sarmadivaleh, Rasouli, & Nabipour, 2012; Suprun, Zakorab, Bogdanov, P'nitskaya, & Zaytseva, 2013; Li & Du, 2016). В работах (Tiryaki & Dikmen, 2005; Novoseltseva & Pashkov, 2015; Erarslan & Ghamgosar, 2016;) на основании изучения геометрических параметров шлама, образующегося при бурении по-

род алмазным инструментом, проведено математическое моделирование процесса разрушения породы единственным индентором, которое, однако, не учитывает образование зоны предразрушения при разрушении горной породы.

В работе (Krasnyk, 2016) рассмотрена модель, в которой характер распределения давления в зоне контакта резца и породы обусловлен упругими деформациями под резцом и необратимыми деформациями, связанными с раздавливанием породы в этой зоне вследствие образования зоны предразрушенной поверхности. При этом, возникновение сколов породы, имеющее место в дискретные моменты, является одной из причин наблюдаемого в разрушения осциллирующего характера изменения составляющих силы резания.

Ниже приведена модель взаимодействия ПСТМ с породным массивом, которая учитывает одновременно износ инструмента и перемещения вследствие упругого деформирования породы, образования зоны предразрушения и хрупкого разрушения породы.

Разработка математической модели процесса резания горных пород и изнашивания системы резцов позволяет обосновать интенсификацию процесса разрушения породного массива при бурении инструментом из ПСТМ.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рассмотрим движение резца относительно неподвижной системы отсчета  $x, y, z$ , связанной с разрушаемой породой (Рис. 1).

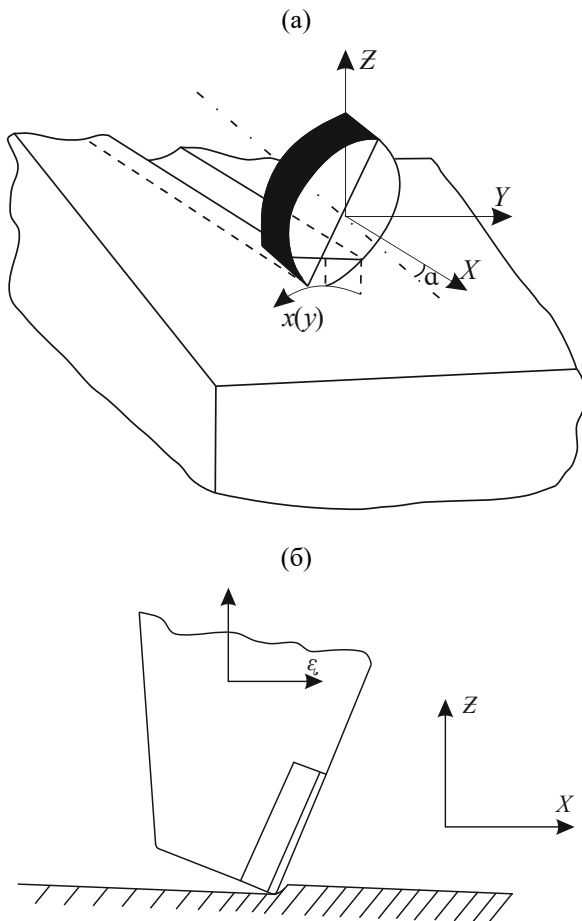


Рисунок 1. Схема для определения контактных характеристик взаимодействия резца, оснащенного ПСТМ, с горной породой

Пусть резец движется вдоль оси  $x$  с постоянной скоростью  $V$  и внедряется в породу (Рис. 1а). Введем также систему отсчета  $\xi, \zeta$ , движущуюся вместе с резцом (Рис. 1б), в этой системе форма резца задается функцией  $f(\xi, t)$ . Исходная форма резца  $f(\xi, 0) = f_0(\xi)$ , изменение формы резца обусловлено его износом. Имеет место следующее соотношение между системами отсчета  $(x, z)$  и  $(\xi, \zeta)$ :

$$x = \xi + Vt; \quad z = \zeta - C(t), \quad (1)$$

где:

$C(t)$  – глубина внедрения резца.

Будем считать, что в области контакта одновременно имеют место упругие смещения  $w(x, t)$  вдоль оси  $z$ , описываемые уравнением:

$$w = (x, t) = k_p(x, t), \quad (2)$$

где:

$p(x, t) > 0$  – контактное давление в точке  $x$  поверхности породы, совпадающее с давлением в точке резца  $\xi = x - Vt$  в момент времени  $t$  ( $p(x, t) = p(\xi, t)$ ), а также необратимые перемещения вдоль оси  $z$ ,  $u(x, t)$ , которые подчиняются соотношению:

$$\frac{du}{dt}(x, t) = \varphi(V)p(x, t). \quad (3)$$

Необратимые смещения характеризуют разрушение породы под резцом вследствие образования зоны предразрушенной поверхности (Рис. 2).

В зависимости от вида функции  $\varphi(V)$  соотношение (3) может описывать различные виды процессов, в частности при  $\varphi(V) \sim V$ , полученное соотношение фактически совпадает с обычно используемым при расчетах законом изнашивания. Конкретный вид зависимости  $\varphi(V)$  должен выбираться с учетом особенностей механизма разрушения породы и ее физико-механических характеристик. Условие контакта резца с породой может быть записано следующим образом:

$$z_0(x) - w(x, t) - u(x, t) = f(x - Vt) - C(t). \quad (4)$$

Перепишем это соотношение в дифференциальной форме с учетом (2) и (3):

$$\varphi(V)p(x, t) + k \frac{dp(x, t)}{dt} = \frac{dC(t)}{dt} - \frac{df(x - Vt, t)}{dt}. \quad (5)$$

В системе координат  $(\xi, \zeta)$  соотношение (5) примет вид:

$$\begin{aligned} \varphi(V)p(x, t) + k \left[ \frac{\partial(\xi, t)}{\partial t} - \frac{\partial p(\xi, t)}{\partial t} V \right] = \\ = \frac{dC(t)}{dt} + \frac{\partial f(\xi, t)}{\partial t} V - \frac{\partial f(\xi, t)}{\partial t} \end{aligned} \quad (6)$$

где:

$p(\xi, t) = p(\xi + Vt, t)$  и приняты во внимание следующие соотношения, полученные с учетом (1):

$$\frac{dp(\xi, t)}{dt} = \frac{\partial p(\xi, t)}{\partial t} - \frac{\partial p(\xi, t)}{\partial \xi} V. \quad (7)$$

Аналогично для формы резца:

$$\frac{df(\xi, t)}{dt} = \frac{\partial f(\xi, t)}{\partial t} - \frac{\partial f(\xi, t)}{\partial \xi} V. \quad (8)$$

Величина  $\frac{\partial f(\xi, t)}{\partial t}$  характеризует изменение формы резца вследствие износа.

На границах области контакта  $a(t)$  и  $b(t)$ :

$$p(a(t), t) = p(b(t), t) = 0. \quad (9)$$

Координата переднего конца площадки контакта  $a(t)$  определяется на основе соотношений (2), (3), (4), (9) следующим образом:

$$z_0(a + Vt) = -C(t) + f(a, t). \quad (10)$$

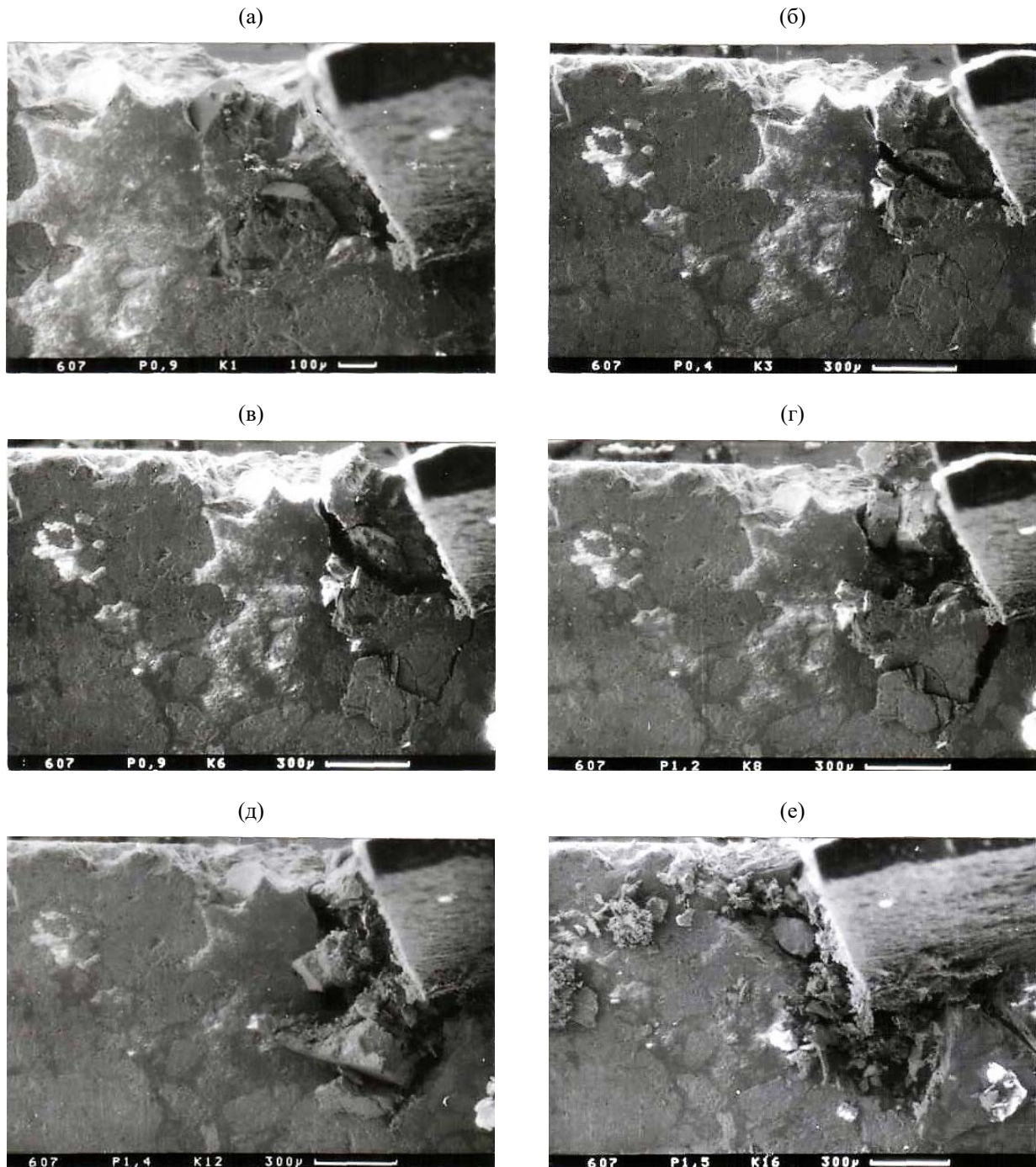


Рисунок 2. Последовательность образования системы микротрещин и зоны предразрушения при резании породы резцами из ПСТМ в зависимости от времени: (а)  $t = 0.05$  с; (б)  $t = 0.1$  с; (в)  $t = 0.15$  с; (г)  $t = 0.2$  с; (д)  $t = 0.25$  с; (е)  $t = 0.3$  с

Начальные условия выбираются в зависимости от характера движения резца. Наряду с упругим деформированием и образованием зоны предразрушения при внедрении инструмента имеет место разрушение породы с образованием стружки.

Образование стружки является одной из причин возникновения осциллирующего характера изменения сил, действующих на инструмент. Ее образование в массиве горной породы происходит вследствие развития трещины, которое начинается вблизи вершины резца. Для моделирования этого процесса примем, что отделение стружки породы происходит в момент времени  $t^*$ , когда горизонтальная состав-

ляющая давления в точке  $\xi^*$  достигает критического значения  $p^*$ , т.е.:

$$p(\xi^*, t^*) = p^* \quad (11)$$

При этом из точки  $x^* = \xi^* + Vt^*$  первоначально развивается трещина. Условно предполагается, что развившаяся трещина представляет собой ломаную линию  $l(x)$  (Рис. 3), угол наклона которой  $\beta$  на каждом определенном отрезке  $[x_i, x_{i+1}]$  длиной  $\Delta x = |x_{i+1} - x_i|$  есть случайная величина, равномерно распределенная на отрезке  $[0; \alpha^*]$ .  $\alpha^* = \frac{\arctan(\partial f(\xi, t))}{\partial \xi}$  представляет угол наклона профиля резца к оси  $x$  в точке  $x^*$ .



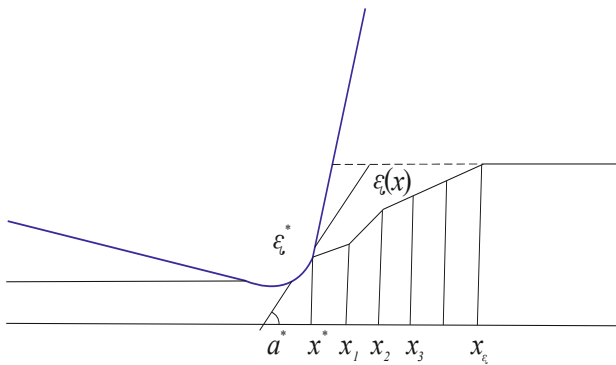


Рисунок 3. Схема распространения трещины при образовании стружки скола

Трещина развивается вплоть до выхода на поверхность в некоторой точке  $x_s$ ,  $l(x_s) = z_0(x_s) \mid t^* = t_0$ . Отделение стружки приводит к изменению формы разрушаемой породы перед резцом:

$$\begin{aligned} z_0(x) \mid t = t^*_{+0} &= l(x), \quad x^* < x < x_s; \\ z_0(x) \mid t = t^*_{+0} &= z(x), \quad \mid t = t^*_{-0} \quad x > x_s. \end{aligned} \quad (12)$$

Для моделирования износа инструмента в процессе резания горной породы используем соотношение, которое обычно применяют для описания абразивного износа (Zhuranska, 2007; Molchanov & Pozharskii, 2012):

$$\frac{df_n(\xi, t)}{dt} = K_w \cdot P_n(\xi, t) \cdot v, \quad (13)$$

где:

$\frac{df_n(\xi, t)}{dt}$  и  $P_n(\xi, t)$  – интенсивность изнашивания и контактное давление по нормали к упругой поверхности трения;

$v$  – скорость относительного перемещения изнашиваемого тела и абразивной среды;

$K_w$  – коэффициент износа.

Исходя из рассмотрения геометрии, получаем:

$$v = \frac{V}{\cos(a)}; \quad \frac{\partial f_n(\xi, t)}{\partial t} = \frac{\partial f(\xi, t)}{\partial t \cos(a)}; \quad (14)$$

$$\cos(a) = 1 + \left[ \frac{\partial f(\xi, t)}{\partial \xi} \right]^2, \quad (15)$$

где:

$\alpha$  – угол наклона профиля резца к оси  $x$  в каждой точке  $\xi$ ;

$P_n(\xi, t) = p(\xi, t)$  в случае отсутствия сил трения между резцом и породой.

Тогда изменение формы инструмента вследствие износа определяется следующим соотношением:

$$\frac{\partial f(\xi, t)}{\partial t} = K_w P(\xi, t) \cdot V \cdot \left\{ 1 + \left[ \frac{\partial f}{\partial \xi}(\xi, t) \right]^2 \right\}. \quad (16)$$

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Соотношения (6), (10) – (16) позволяют построить взаимосвязанную модель износа резца при разрушении горной породы. На основе этого построен расчет характеристик нестационарного процесса разрушения при одновременном упругом деформировании породы, образовании зоны предразрушения, отделении стружки и износе резца. Для проведения расчетов была составлена программа, в которой реализуется пошаговая процедура определения контактного давления на основе соотношений (6), изменение формы породы перед резцом вследствие скола стружки рассчитывалось на основе соотношений (11), (12).

Расчет производился в безразмерных единицах. Величины размерности длины были обезразмерены на  $\phi_1/k$ , величины размерности давления – на величину  $\phi_1$ , величины размерности времени – на величину  $\phi_1 V/k$ . В безразмерном виде система уравнений (6), (11), (12) зависит от одного безразмерного параметра  $\phi_1 p^* = p^{\circ}$ .

Расчеты были проведены для резца, оснащенного алмазно-твердосплавной пластиной с передним углом  $-15^\circ$  и радиусом закругления режущей кромки 0.2 мм. Считалось, что в начальный момент контакта не происходит, т.е.  $p(\xi, 0) = 0$ ,  $a(t)$  и  $b(t) = 0$ . Предполагалось, что вначале осуществляется внедрение резца с постоянной скоростью  $c(t) = c_0 t$ ,  $\left( \frac{c_0}{V} = 0.2 \right)$ , затем происходит процесс резания с постоянной глубиной (Рис. 4а).

При этом рассчитывались координаты концов площадки контакта  $a(t)$  и  $b(t)$  и значения вертикальной ( $P_v$ ) и горизонтальной ( $P_g$ ) составляющих силы резания. Поскольку рассматривается плоская задача, то величины  $P_v$  и  $P_g$  имеют смысл силы, действующей на единицу ширины резца.

Проанализируем сначала характер процесса резания без учета изнашивания резца, т.е.  $f(\xi, t) = f_0(\xi)$ . На Рисунке 4б, в, г соответственно представлены графики  $a(t)$ ,  $b(t)$ ,  $P_v(t)$  и  $P_g(t)$ ; расчеты проводились при  $p^{\circ} = 0.84$ ,  $\phi_1/k = 40 \text{ мм}^{-1}$ . В расчетах принималось  $\Delta x = 0.4 \text{ мм}$ . Глубина резания и размер площадки контакта представлены в размерном виде, что дает возможность сопоставить результаты расчета с экспериментальными данными. Как видно из Рисунка 4, вначале имеет место смятие породы без отделения стружки, составляющие силы резания при этом монотонно возрастают, площадка контакта резца с породой увеличивается. Затем, после начала отделения стружки, возникают существенные колебания составляющих силы резания, площадка контакта, несмотря на рост величины внедрения, практически не увеличивается.

После начала отделения стружки при постоянной глубине резания процесс достаточно быстро приобретает квазистационарный характер. Сетка трещин, последовательно возникающих при внедрении и горизонтальном перемещении резца изображена на Рисунке 5а.

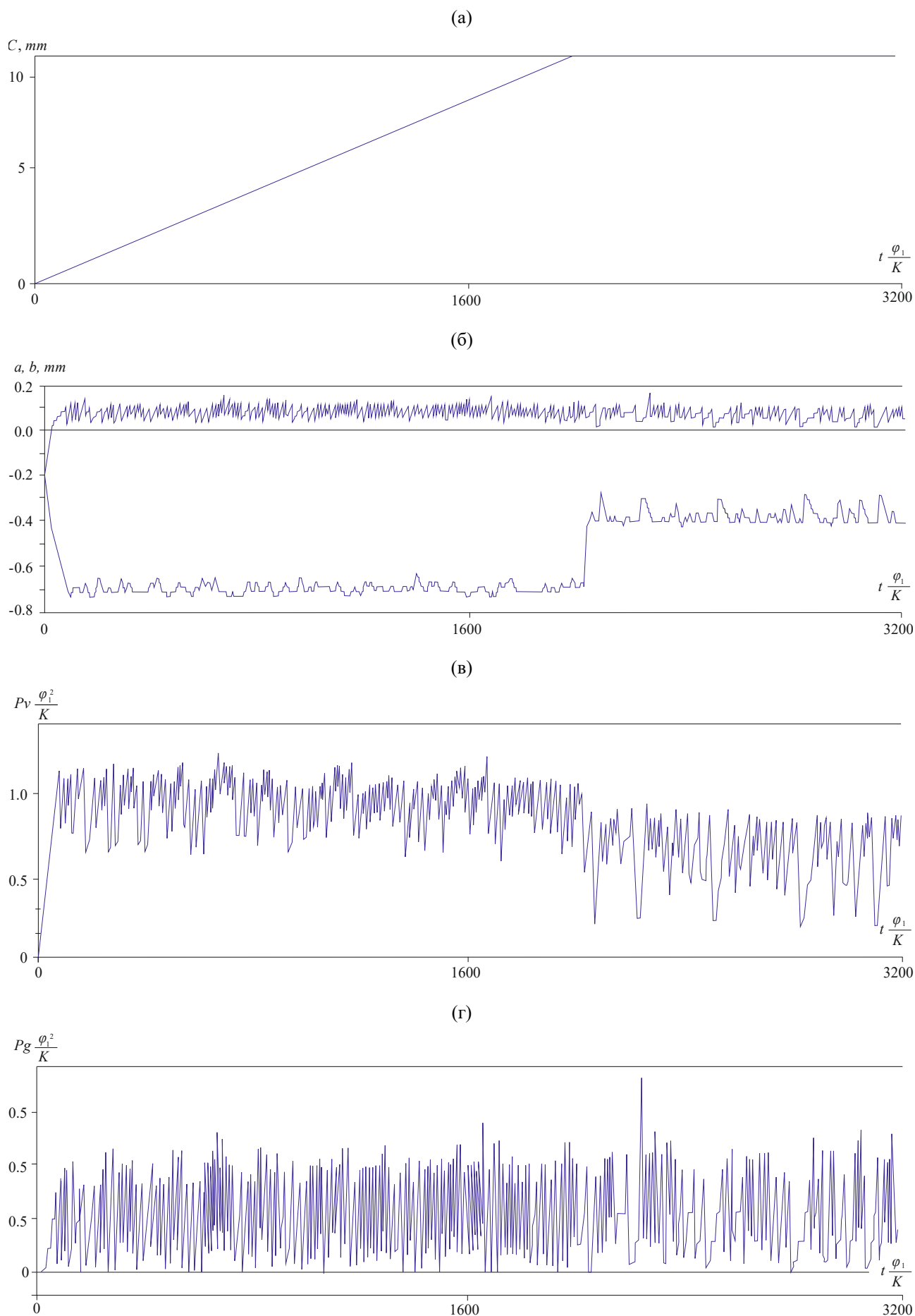


Рисунок 4. Изменение параметров процесса резания при внедрении пластины из ПСТМ

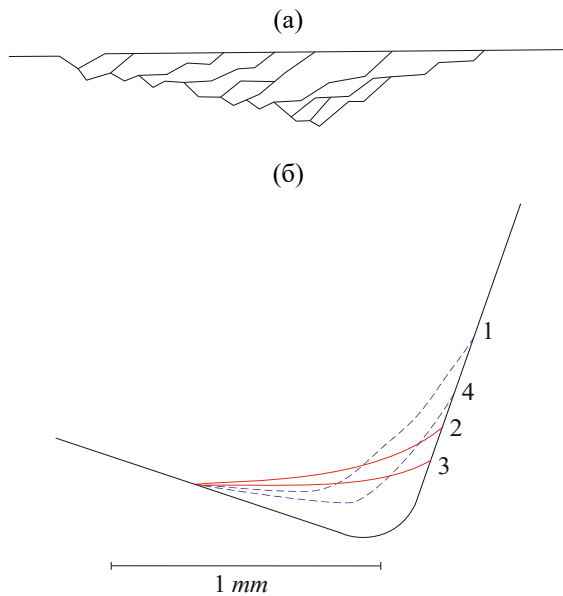


Рисунок 5. Сетка трещин, возникающих при внедрении и перемещении резца (а), форма которого рассчитана для различных параметров модели (б)

Как видно из рисунка, в процессе резания породы отделяются фрагменты различных размеров. Необходимо также отметить, что характеристики процесса резания оказываются чувствительными к изменению скорости  $dc/dt$  внедрения резца. При скачкообразном изменении величины  $dc/dt$  от  $0.2 V$  до нуля (постоянная глубина резания) снижается величина вертикальной нагрузки  $P_v$  (Рис. 4в), частота колебаний анализируемых параметров (Рис. 4б, в, г), а также размер площадки контакта  $a(t) - b(t)$  (Рис. 4б).

Расчет изменения формы резца по мере износа (функции  $f(\zeta, t)$ ) осуществлялся по шагам. Поскольку резание сопровождается быстропеременным изменением нагрузки, для определения интенсивности износа в соотношении (16) использовалась величина осредненного по времени давления в каждой точке, определенная для формы резца, полученной в предыдущем шаге. Такая процедура позволила существенно сократить время счета.

Изменение формы резца в процессе износа приводит к постепенному изменению контактных характеристик, в то время как в отсутствие износа процесс резания может стать квазистационарным.

Характерная форма резца, рассчитанная для различных значений параметров модели, представлена на Рисунке 5б (кривая 1 соответствует  $p^{0*} = 0.84$ ,  $\varphi_1/k = 40 \text{ мм}^{-1}$ ; кривая 2 –  $p^{0*} = 0.28$ ,  $\varphi_1/k = 40 \text{ мм}^{-1}$ ; кривая 3 –  $p^{0*} = 0.14$ ,  $\varphi_1/k = 20 \text{ мм}^{-1}$ ; кривая 4 –  $p^{0*} = 0.28$ ,  $\varphi_1/k = 10 \text{ мм}^{-1}$ ).

Как видно из рисунка, характерная форма изношенной поверхности инструмента существенно зависит от механических характеристик породы, которые в данном случае определяют соотношение упругой деформации породы и образующихся зон предразрушенной и разрушенной поверхностей.

Для установления адекватности разработанных математических моделей реальным процессам разрушения был проведен большой объем экспериментальных исследований.

С целью подтверждения принятой при математическом моделировании схемы разрушения горных пород поликристаллическими сверхтвёрдыми материалами исследовался износ алмазно-твердосплавных пластин, образующийся при резании песчано-цементных блоков. На Рисунке 6 представлены резец, оснащенный ПСТМ, и профили алмазно-твердосплавной пластины, полученные в результате резания песчано-цементных блоков через 1, 2, 3, 4, 5 и 7 км пути резания соответственно.

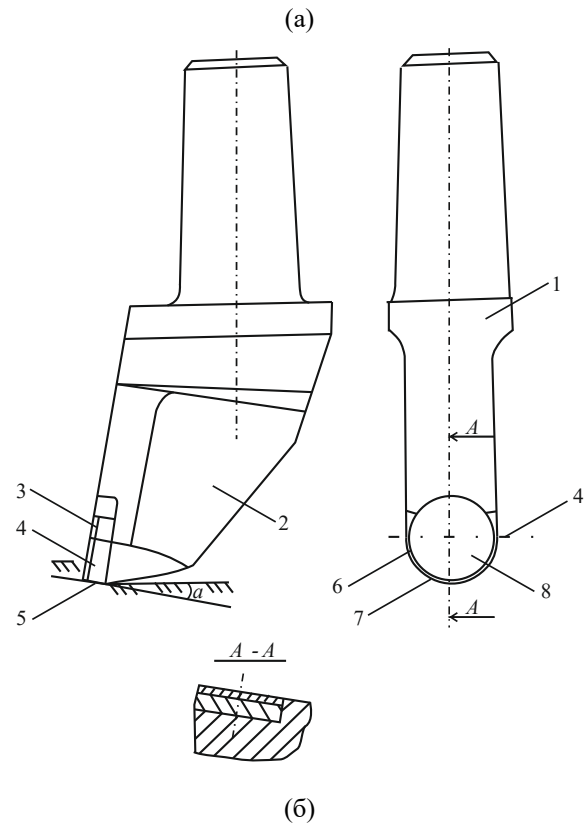


Рисунок 6. Резец, оснащенный ПСТМ (а), и профили износа пластины (б), образующиеся при резании песчаника соответственно после 1, 2, 3, 4, 5 и 7 км пути резания

Сравнение расчетных и экспериментальных профилей резца показывает, что набор параметров модели, соответствующий кривой 2, дает форму изношенной поверхности чрезвычайно близкую к форме резца, определенной экспериментально. Кинетика износа в

этом случае, как показывают расчеты, в деталях воспроизводит кинетику износа реального резца, что свидетельствует о соответствии разработанной модели реальным процессам разрушения горных пород алмазно-твердосплавными пластинами. Поэтому при экспериментальном уточнении исходных параметров созданная математическая модель позволяет прогнозировать изменение не только формы изношенной поверхности поликристалла, но и составляющих силы резания в зависимости от свойств породного массива и является эффективным инструментом исследования процесса резания горных пород ПСТМ, особенно в случаях изучения быстропротекающих процессов, когда экспериментально зафиксировать изменения параметров резания практически невозможно.

Одновременно при изучении разрушения горных пород поликристаллическими сверхтвердыми материа-

лами были проведены оригинальные исследования процесса резания образцов породы на электронном микроскопе. Исследования осуществлялись с помощью специальной тензометрической установки на растровом электронном микроскопе "Camscan-4DV", что впервые позволило непосредственно наблюдать в вакуумной камере при многократном увеличении все стадии процесса разрушения горных пород резцами, оснащенными поликристаллическими сверхтвердыми материалами. При этом необходимым условием изучения кинетики разрушения являлась токопроводность образцов породы. Поэтому в качестве исследуемых материалов при микрорезании использовались сфалерит, галенит и графит, имеющие хорошую токопроводность.

Последовательность образования системы микротрещин и зоны предразрушения при резании галенита резцами из ПСТМ показана на Рисунке 7.

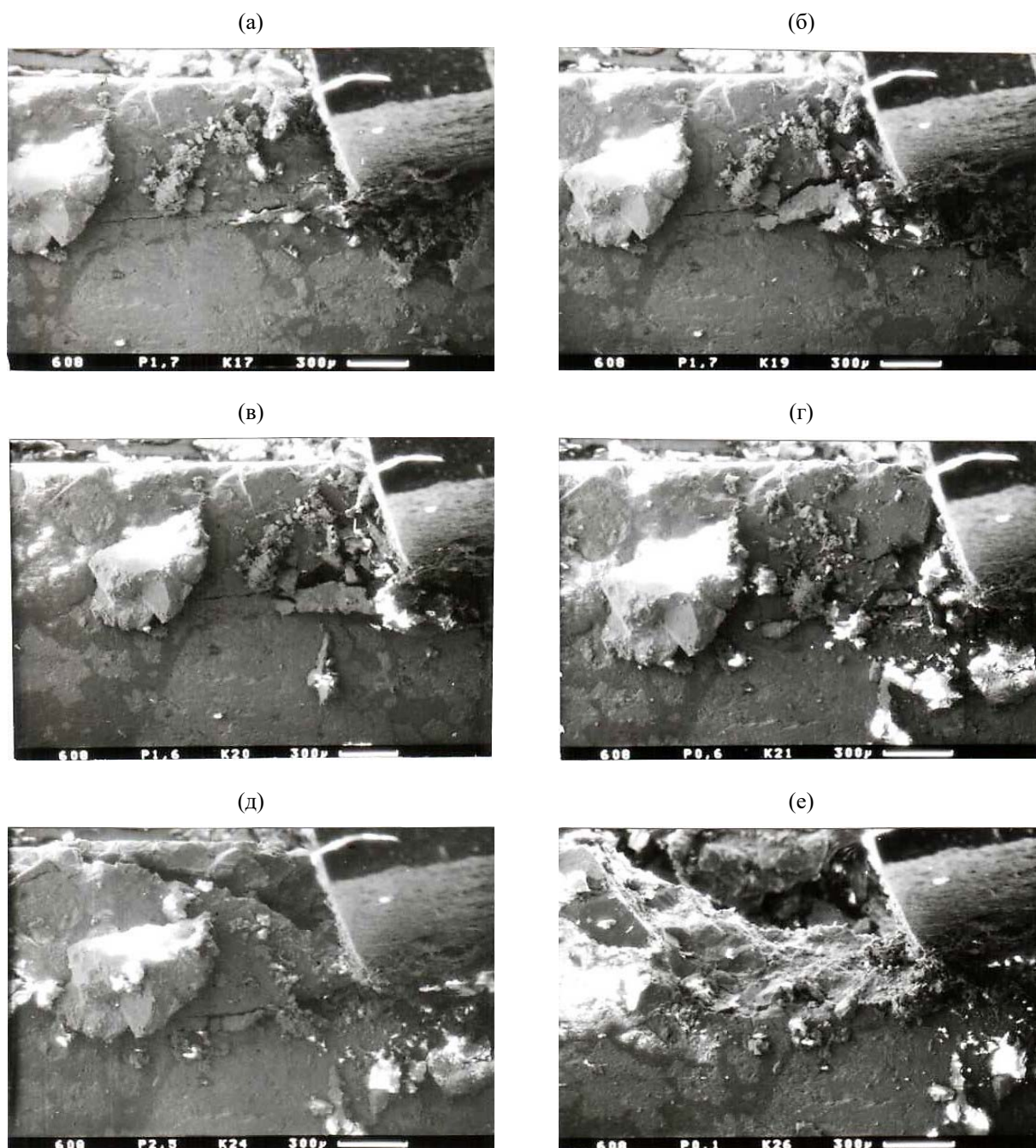


Рисунок 7. Процесс разрушения породы при резании резцами, оснащенными ПСТМ



Как видно из полученных снимков, развитие трещины отрыва происходит вблизи вершины резца, когда тангенциальная составляющая силы резания достигает предельного значения. Одновременно под резцом образуется система трещин, уходящих вглубь породного массива, развитие которых приводит к образованию зоны предразрушенной поверхности. Это подтверждает справедливость предпосылки, положенной в основу разработанной математической модели, о необходимости учета процесса формирования зоны предразрушения.

Регистрация тангенциальной составляющей силы резания позволила проследить за закономерностью образования системы трещин при разрушении горных пород и их взаимосвязью с прилагаемой нагрузкой. При достижении определенного значения силы резания происходит выход магистральной трещины на поверхность, то есть выкол фрагмента породы, в результате чего сила  $P_z$  резко падает.

В дальнейшем происходит повторение цикла с увеличением тангенциальной составляющей силы резания до величины  $P_{zmax}$ , после чего происходит выкол следующего фрагмента породы. В то же время при резании пластичных материалов, например, графита скачкообразного изменения составляющих силы резания не происходит, поскольку в этом случае образуется сливная стружка.

Наблюдения за процессом резания горных пород показало, что при резании резцами из ПСТМ разрушение происходит за счет преимущественного развития горизонтальной трещины сдвига (Рис. 7), в то время как при резании твердосплавными резцами возникновение трещины инициируется преимущественно за счет напряжений сжатия. Т.е. разрушение алмазотвердосплавными пластинами происходит при меньших затратах энергии, что может быть объяснено их уникальными физико-механическими свойствами.

Таким образом, выполненные исследования подтвердили справедливость схемы разрушения горных пород, положенной в основу разработанной математической модели, и впервые позволили зафиксировать процесс возникновения и роста трещин в горной породе в результате воздействия инструмента из ПСТМ. Углубление представлений о механизме разрушения горных пород поликристаллическими сверхтвердыми материалами позволили создать ряд оригинальных конструкций породоразрушающего инструмента, оснащенного поликристаллическими сверхтвердыми материалами.

#### 4. ВЫВОДЫ

Основываясь на установленных контактных характеристиках процесса взаимодействия поликристаллических сверхтвердых материалов с горной породой, впервые построена модель деформирования и разрушения породного массива под воздействием ПСТМ, позволяющая рассчитать величину давления в зоне контакта резца с породой и определить изменение поверхности резца в процессе износа.

Разработанная модель взаимодействия ПСТМ с породным массивом учитывает одновременно износ инструмента и перемещения вследствие упругого

деформирования породы, образования зоны предразрушения и хрупкого разрушения породы.

Показано, что форма изношенной поверхности резца существенно зависит от соотношения параметров, описывающих упругое деформирование, образование зоны предразрушения и хрупкое разрушение породы, что может быть использовано для определения относительной роли этих процессов при резании различных типов горных пород.

Результаты проведенных исследований были использованы при создании ряда новых конструкций породоразрушающего инструмента, оснащенного поликристаллическими сверхтвердыми материалами.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность проф. И.Г. Горячевой, к.ф.-м.н. О.Г. Чекиной за консультации при разработке модели разрушения горных пород инструментом из ПСТМ. Результаты статьи были получены без финансовой поддержки какого-либо фонда или проекта.

#### REFERENCES

- Artsimovich, G.V. (1985). *Mekhano-fizicheskie osnovy sozdaniya porodorazrushayushchego instrumenta*. Novosibirsk: Nauka.
- Cherepanov, G.P. (1987). *Mekhanika razrusheniya gornykh porod*. Moskva: Nedra.
- Erarslan, N., & Ghamgosar, M. (2016). An Innovative and Effective Approach to Hard Rock Cutting. *Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future*, (1). <https://doi.org/10.1201/9781315388502-158>
- Glowka, D.A. (1989). Use of Single-Cutter Data in the Analysis of PDC Bit Designs: Part 1 – Development of a PDC Cutting Force Model. *Journal of Petroleum Technology*, 41(08), 797-849. <https://doi.org/10.2118/19309-pa>
- Joodi, B., Sarmadivaleh, M., Rasouli, V., & Nabipour, A. (2012). Simulation of the Cutting Action of a Single PDC Cutter Using DEM. *Petroleum and Mineral Resources*, (81), 143-150. <https://doi.org/10.2495/pmr120131>
- Krasnyk, V. (2016). Designing Cutting Tools of Mining Machines for Coal Auger Mining. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 13-19. <https://doi.org/10.15407/mining10.03.013>
- Li, H., & Du, E. (2016). Simulation of Rock Fragmentation Induced by a Tunnel Boring Machine Disk Cutter. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(6), 1-11. <https://doi.org/10.1177/1687814016651557>
- Molchanov, A.A., & Pozharskii, D.A. (2012). Galin's Problem for a Spatial Elastic Wedge. *Mechanics of Solids*, 47(1), 34-39. <https://doi.org/10.3103/s0025654412010037>
- Novoseltseva, M.B., & Pashkov, E.N. (2015). Prospects for Further Rock Cutting Mechanisms Development. *Applied Mechanics and Materials*, (756), 47-52. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.756.47>
- Suprun, M.V., Zakorab, A.P., Bogdanov, R.K., Il'nitskaya, G.D., & Zaytseva, I.N. (2013). *Naukovi Pratsi DonNTU. Seriya "Hirmycho-Heolohichna"*, 2(19), 253-256.
- Tiryaki, B., & Dikmen, A.C. (2005). Effects of Rock Properties on Specific Cutting Energy in Linear Cutting of Sandstones by Picks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 39(2), 89-120. <https://doi.org/10.1007/s00603-005-0062-7>
- Zhupanska, O.I. (2007). On the Analytical Approach to Galin's Stick-Slip Problem. A Survey. *Journal of Elasticity*, 90(3), 315-333. <https://doi.org/10.1007/s10659-007-9145-x>



#### ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Анализ процесса резания горных пород инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ).

**Методика.** Математическое моделирование процесса разрушения горных пород.

**Результаты.** Разработана модель деформирования и разрушения породного массива под воздействием инструмента, оснащенного поликристаллическими сверхтвердыми материалами, позволяющая рассчитать величину давления в зоне контакта резца с породой и определить формоизменение поверхности резца в процессе износа.

**Научная новизна.** Разработанная модель взаимодействия инструмента из поликристаллических сверхтвердых материалов с породным массивом учитывает одновременно износ инструмента и перемещения вследствие упругого деформирования породы, образования зоны предразрушения и хрупкого разрушения породы.

**Практическая значимость.** Результаты проведенных исследований были использованы при создании ряда новых конструкций породоразрушающего инструмента, оснащенного поликристаллическими сверхтвердыми материалами.

**Ключевые слова:** поликристаллические сверхтвердые материалы, разрушение горных пород, математическое моделирование, износ инструмента, хрупкое разрушение

#### ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Аналіз процесу різання гірських порід інструментом з полікристалічних надтвердих матеріалів (ПСТМ).

**Методика.** Математичне моделювання процесу руйнування гірських порід.

**Результати.** Розроблено модель деформування й руйнування породного масиву під впливом інструменту, оснащеного полікристалічними надтвердими матеріалами, що дозволяє розрахувати величину тиску в зоні контакту різця з породою і визначити формозміну поверхні різця у процесі зносу.

**Наукова новизна.** Розроблена модель взаємодії полікристалічних надтвердих матеріалів з породним масивом враховує одночасно знос інструменту та переміщення внаслідок пружного деформування породи, утворення зони передруйнування і крихкого руйнування породи.

**Практична значимість.** Результати проведених досліджень були використані при створенні ряду нових конструкцій породоруйнуючого інструменту, оснащеного полікристалічними надтвердими матеріалами.

**Ключові слова:** полікристалічні надтверді матеріали, руйнування гірських порід, математичне моделювання, зношування інструменту, крихке руйнування

#### ARTICLE INFO

Received: 19 June 2017

Accepted: 17 September 2017

Available online: 30 September 2017

#### ABOUT AUTHORS

Viacheslav Krasnyk, Doctor of Technical Sciences, General Director of SE "Science and Technical Center "Coalinnovation", 46 Paladina Ave., 2, 03164, Kyiv, Ukraine. E-mail: [vgkrasnik@ukr.net](mailto:vgkrasnik@ukr.net)