

УДК 622.232:519.876.5

В.Н. Павлыш, д-р техн. наук, проф., **В.В. Стеблин**, канд. техн. наук,
С.Е. Топчий, канд. техн. наук, **П.Я. Гродзинский**, канд. техн. наук
Донецкий национальный технический университет, Украина
Луганский научно-технический центр Академии горных наук Украины, Украина
Тел. +38 062 3052301; E-mail: pavlysh@fvti.dgtu.donetsk.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ СОВРЕМЕННЫХ ГОРНЫХ МАШИН

Одним из важных факторов, определяющих эффективность работы горных машин, является качество режущих инструментов их исполнительных органов. В статье приведены результаты теоретических исследований параметров резцов, применяемых при конструировании современных добычных, проходческих и буровых комплексов. Рассмотрены уравнения, описывающие механические и энергетические процессы, построены диаграммы изменения усилий резания по длине резца, выполнен анализ влияния параметров и геометрической формы резца на процесс резания угольного пласта. В результате проведенных исследований обоснованы рекомендации по определению области применения режущих инструментов.

Ключевые слова: процесс, инструмент, параметр, элемент, уравнение.

1. Введение

Повышение энерговооруженности горных машин, комплексов и агрегатов, их производительности, надежности, сортности добываемого угля, темпов проведения выработок, автоматизации производственных процессов невозможны без создания и применения высокоэффективных горных инструментов, поскольку они определяют характер взаимодействия машины с массивом.

Горные инструменты должны удовлетворять жестким требованиям: обладать высокой надежностью (прочностью и износостойкостью), обеспечивать разрушение пород с минимальными затратами энергии, обладать малой металлоемкостью, высокой технологичностью в изготовлении и эксплуатации.

Большой научный и производственный вклад в создание и совершенствование горных инструментов внесли работы ИГД им. А.А. Скочинского, ДонГИПРОУГЛЕМАШ, ДонУГИ, ИГТМ НАН Украины, НГУ, ДонНТУ и др. [1, 2, 3].

Вместе с тем, развитие и модернизация горного оборудования выдвигают новые требования к характеристикам используемых инструментов, что определяет необходимость дальнейших теоретических и экспериментальных исследований. Данная статья посвящена решению одной из таких задач.

Цель работы – установление закономерностей и разработка рекомендаций по применению режущего инструмента с определенными характеристиками для воздействия на угольные массивы различных классов прочности.

2. Основное содержание и результаты работы

Механизм разрушения горной породы резанием, а также его силовые и энергетические показатели зависят от физико-механических свойств горных пород, условий проведения реза, параметров, геометрической формы резца и параметров разрушения [2, 4].

В настоящее время для армирования горных инструментов используют природные и синтетические алмазы.

Природный алмаз – минерал, обладающий самой высокой твердостью среди известных в природе минералов. Его микротвердость по Виккерсу равна 100000 МПа, модуль упругости – 900000 МПа, а прочность на сжатие – всего 2000 МПа. Алмаз стоек против кислот, на него не действует даже царская водка.

Термостойкость алмаза высокая – графитизироваться он начинает при температуре 800...1000°C.

Синтетические алмазы по физическим и химическим свойствам практически не отличаются от природных. Имеются некоторые различия по форме, размеру, термической стойкости.

На основе данных алмазов промышленностью выпускаются геологоразведочные коронки, долота и буровые головки для бурения нефтяных и газовых скважин. Прочность поликристаллических алмазов СВСП составляет 3000...4000 МПа, термостойкость – 1100...1200°C.

Сверхтвердые материалы обладают свойствами синтетических поликристаллических алмазов. Они позволяют изготавливать заготовки режущих элементов различной формы и размеров.

Славутич – сверхтвердый материал, разработанный специально для оснащения буровых инструментов; не уступает природным алмазам по износостойкости, но превосходит их попрочности. Из этого материала могут изготавливаться изделия практически любой формы.

Установлено, что при взаимодействии резца с горной породой перед ее передней гранью формируется уплотненное ядро из мелко диспергированного материала. На переднюю, заднюю и боковые грани резца передается давление разрушаемого угольного или породного массива.

Количественный и качественный характер изменения сил, действующих на резец, представляет большой научный и практический интерес [3, 5].

В первую очередь, это формирующиеся на резце усилия резания Z и усилие подачи (осевое усилие) Y , которые главным образом определяют внешние нагрузки на исполнительном органе машины, а следовательно, и выбор мощности приводов исполнительного органа и механизма подачи машины.

Исходя из этого, процесс взаимодействия резца с породой можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 1. Аналитическими и экспериментальными исследованиями установлено, что на один резец в процессе резания действуют следующие силы: Q_n – усилие, действующее на переднюю грань и перпендикулярное к ней, направленное, в основном, на дробление породы, создание напряженного состояния в массиве и формирование ядра уплотнения; Q_3 – усилие, действующее на заднюю грань резца перпендикулярно к площадке износа по задней грани и вызывающее восстановление упругих деформаций и осевого усилия Y ; Q_6 – усилие, действующее на боковую грань резца перпендикулярно к ней и оказывающее такое же влияние, как и Q_3 . На передней, задней и боковых гранях резца от действия указанных усилий формируются силы трения $m \cdot Q_n$, $m \cdot Q_3$, $m \cdot Q_6$.

Исполнительный орган машины должен работать в таком режиме, чтобы передать на резец усилия Z (резания) и Y (подачи), которые должны быть равны, но противоположно направлены результирующим внешним силам.

Спроектировав силы, действующие на резец, на оси Z и Y прямоугольной системы координат получим:

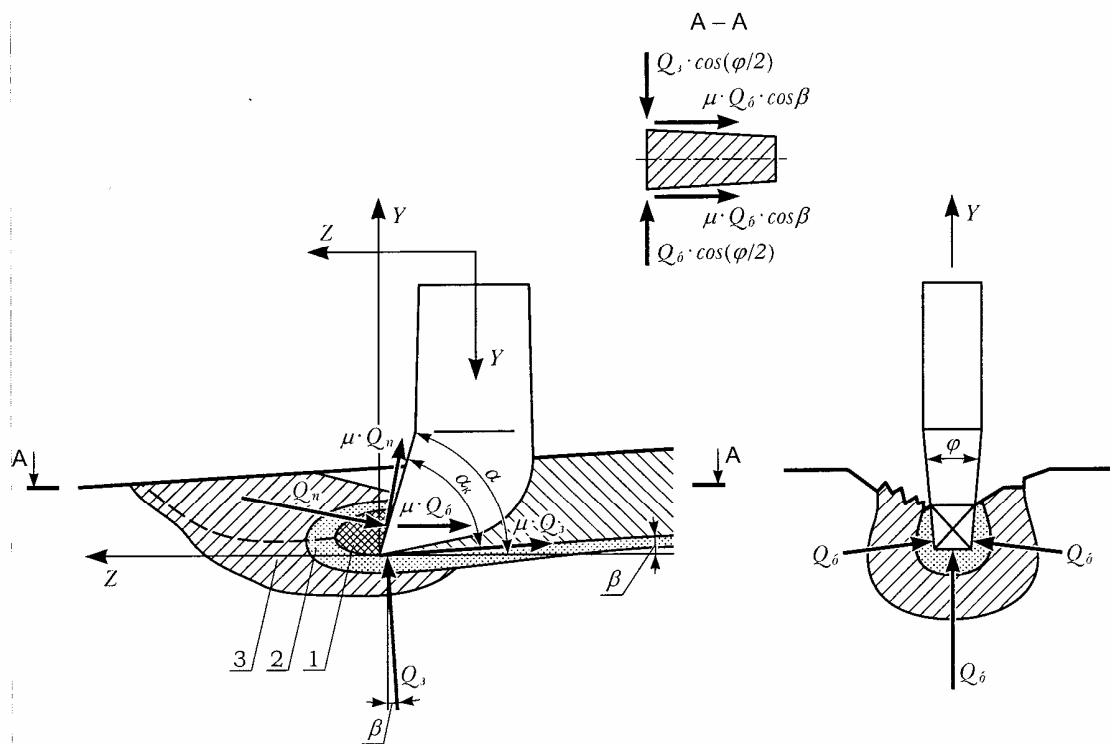


Рис. 1. Схема разрушения горной породы резцовым инструментом

$$Z = Q_n \cdot \sin \alpha - Q_3 \cdot \sin \beta + 2 \cdot \mu \cdot Q_6 \cdot \cos \beta + \mu \cdot Q_3 \cdot \cos \beta + \mu \cdot Q_3 \cdot \cos \alpha; \quad (1)$$

$$Y = Q_n \cdot \cos \alpha + \mu \cdot Q_n \cdot \sin \alpha + Q_3 \cdot \cos \beta + 2 \cdot \mu \cdot Q_6 \cdot \sin \beta + 2 \cdot \mu \cdot Q_6 \cdot \cos \frac{\varphi}{2}, \quad (2)$$

где β – угол между векторами абсолютной скорости движения резца \bar{V}_a и скорости резания \bar{V}_p ;

μ – коэффициент трения резца об уголь или породу;

α – угол резания.

Находясь над резцом, уплотнительное ядро изменяет действительную геометрию резца. В результате давления, передаваемого поверхностью ядра, обращенной в сторону обнажения разрушаемого массива, происходит отделение угля или породы. Давление нижней поверхности ядра вызывает смятие и упругое деформирование породы в глубине массива и в подрезочной зоне.

Уплотненное ядро формируется в местах контакта с породой режущих кромок инструмента, являющихся концентраторами напряжений. При перемещении резца площадка его контакта передней грани с породой увеличивается и тем самым в зону разрушения включаются новые участки массива, происходит увеличение объема уплотненного ядра и усилий Q_n и Q_3 вызывающих одновременный рост усилий Z и Y .

Диаграмма, представленная на рис. 2, показывает изменение усилий Z и Y за отдельный цикл резания, в течение которого формируется уплотненное ядро и происходит отделение крупного элемента.

Частичное удаление уплотненного ядра при отделении небольших элементов приводит к тому, что состав ядра не остается стабильным, а на протяжении каждого цикла резания непрерывно меняется.

В точках B'' усилия Z и Y достигают максимального значения и в массиве у вершины ядра образуется зародышевая трещина.

К моменту образования трещины размеры ядра, а также степень диспергирования и уплотнения его материала достигают для данных размеров реза и геометрии инструмента наибольшей величины. Далее ядро играет роль клина, отжимающего элемент угля на свободную поверхность.

После отделения крупных элементов в конце циклов резания усилия в большинстве случаев не падают до нуля, а сохраняют некоторую величину, являющуюся минимальной для последующих циклов резания. Это можно объяснить не нарушением контакта реза с массивом. Таким образом, происходит непрерывное дробление угля или породы.

Незаштрихованная площадь диаграммы представляет собой работу A_{1i} (Дж) по подготовке отделения элемента

$$A_{1i} = \frac{Z_{\max} \cdot l_{2i}}{2}, \text{ (Дж)}, \quad (3)$$

а заштрихованная – работу собственно отделения

$$A_{3i} = \frac{Z_{\max i} \cdot l_{2i}}{2}, \text{ (Дж)}. \quad (4)$$

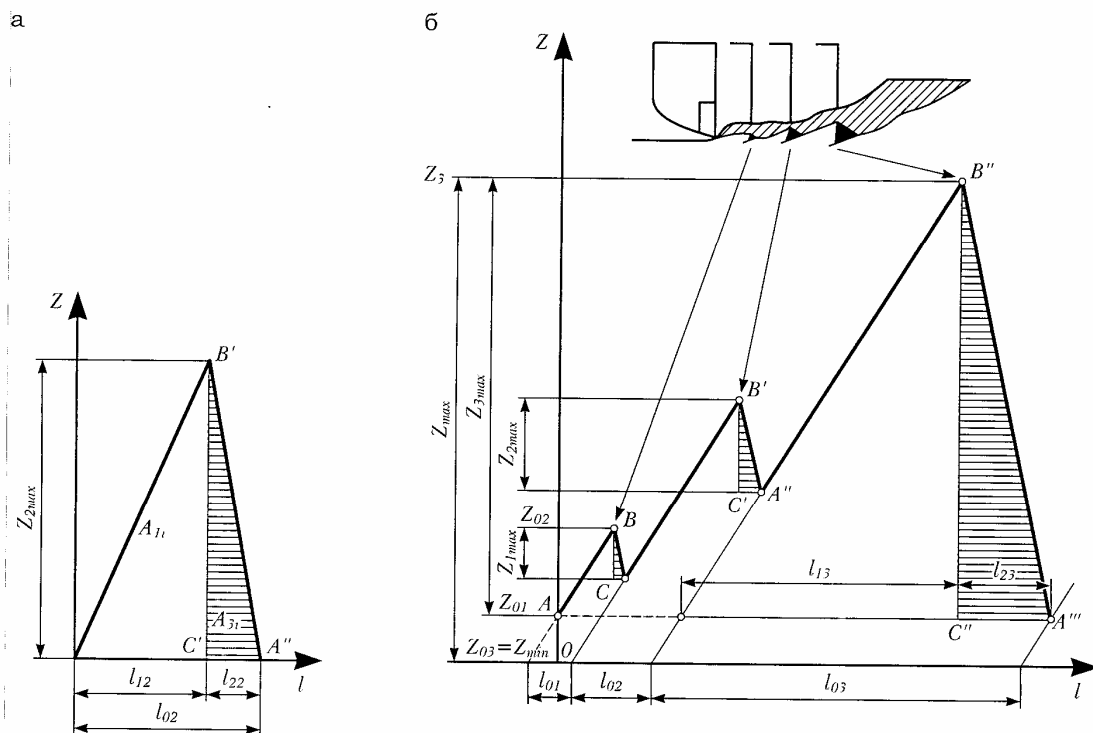


Рис. 2. Диаграмма изменения усилий резания

В этом процессе неизбежно затрачивается работа на диспергирование материала и трение инструмента, которая численно равна сумме площадей параллелограммов под треугольниками элементарных циклов

$$A_{2i} = \sum_{i=1}^n l_{0i} \cdot Z_{0i}, \text{ (Дж)}. \quad (5)$$

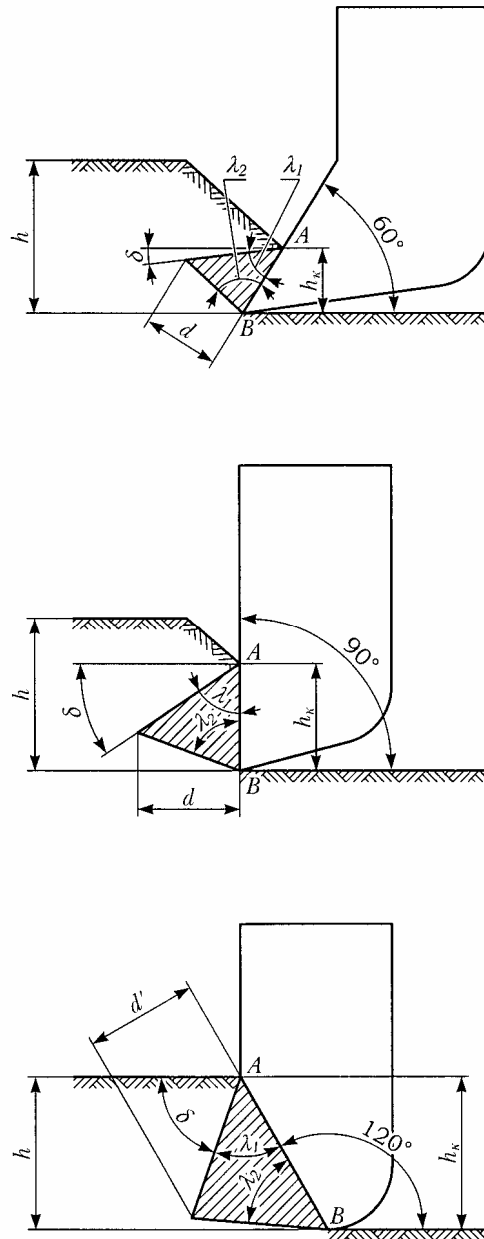


Рис. 3. Схемы резания различными типами резцов

Эффективность процесса резания определяется из выражения

$$\eta_p = \frac{A_{1i} + A_{3i}}{A_{1i} + A_{2i} + A_{3i}}, \quad (6)$$

а среднее значение усилия резания Z_{cp} (Н) при этом будет

$$z_{cp} = \frac{2 \cdot A_p}{l}, \quad (7)$$

где A_p – работа, затрачиваемая на отделение крупного элемента с предшествующим сколом мелких,

$$A_p = \sum Z_{\max i} \cdot \frac{l_{1i} + l_{2i}}{2}.$$

3. Общие выводы и рекомендации

Исследования показали, что увеличение угла резания α вызывает рост усилия резания, так как высота контакта h_k передней грани резца с разрушаемым массивом возрастает. Качественная картина не зависит от глубины резания h (рис. 3), где d – высота уплотненного ядра.

Задний угол резца γ оказывает влияние на величину усилий Z и Y только при изменении в пределах $0 \dots 10^\circ$. С увеличением угла γ до 10° усилия снижаются и далее практически стабилизируются. Применение резцов с задними, равно как и боковыми, углами $\varphi / 2$ меньше 10° нецелесообразно.

На основе результатов различных экспериментов установлено, что для углей и пород вплоть до средней крепости и при глубинах резания до 15 мм применение резцов шириной менее 6 мм, а при глубинах 20...25 мм – шириной менее 10 мм нецелесообразно, с точки зрения стойкости инструмента. При разрушении крупным сколом, когда глубина достигает 100мм и более, целесообразно соблюдать соотношение $b = (0,2 \dots 0,3) \cdot h$.

Увеличение переднего угла в положительной области оказывает влияние на процесс разрушения аналогично влиянию уменьшения угла резания.

Угол заострения резца δ определяет прочность его головки. Износ резцов вызывает более интенсивный рост осевого усилия по сравнению с усилием резания.

4. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили обосновать следующие выводы и рекомендации.

1. Установить закономерности процесса взаимодействия резца исполнительного органа с разрабатываемым угольным массивом.
2. Разработать зависимости и построить диаграмму изменения усилий резания по длине резца.
3. Разработать рекомендации по применению резцов с заданными характеристиками к воздействию на массивы с различной степенью прочности.

Список литературы:

1. Горные машины и комплексы для подземной добычи угля: монография / Под общ. ред. проф. С.С. Гребенкина // [С.С. Гребенкин, А.В. Агафонов, В.В. Косарев и др.]. – Донецк: «ВИК», 2006. – 353 с.

2. Теория и практика проектирования систем угольных шахт, процессов подземных горных работ и забойного оборудования с применением математического моделирования: монография / [С.С. Гребенкин, В.Н. Павлыш, В.Д. Рябичев и др.]; под общ. ред. Гребенкина С.С. и Павлыша В.Н. – Донецк: «ВИК», 2011. – 390 с.

3. Справочник горного инженера угольной шахты с крутым (крутонаклонным) залеганием пластов / [С.С. Гребенкин, С.В. Янко, В.Н. Павлыш и др.]; под общ. ред. С.В. Янко и С.С. Гребенкина. – Донецк: «ВИК», 2011. – 420 с.

4. Гребенкин С.С. Теоретические основы проектирования кинематических систем механизированных крепей для тонких крутых и крутонаклонных угольных пластов / С.С. Гребенкин, В.Н. Павлыш; под общ. ред. А.Д. Алексева // Физико-технические проблемы горного производства. Физика и механика горных процессов на больших глубинах: сборник трудов Института физики горных процессов НАН Украины. – 2008. – вып.11. — С. 81-88.

5. Conceptual bases of the organizational and technological providing ecologically of safe mining production / [Sergey Grebyonkin, Victor Ryabitchev, Vladimir Pavlysh, Artem Tishchenko, Yuriy Tishchenko] // ТЕКА: an international journal on motorization, vehicle operation, energy efficiency and mechanical engineering, vol.12 No 3. – Polish Academy of Sciences Branch in Lublin, 2012. – p. 35-40.

Надійшла до редакції 15.02.2014

В.М. Павлыш, В.В. Стеблін, С.Є. Топчий, П.Я. Гродзинський

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ВИКОНАВЧИХ ОРГАНІВ СУЧАСНИХ ГІРНИЧИХ МАШИН

Одним з важливих факторів, що визначають ефективність роботи гірничих машин, є якість різальних інструментів їх виконавчих органів. У статті наведено результати теоретичних досліджень параметрів різців, що застосовуються при конструюванні сучасних видобувних, прохідницьких та бурових комплексів. Розглянуто рівняння, що описують механічні та енергетичні процеси, побудовані діаграми зміни зусиль різання впродовж різця, виконано аналіз впливу параметрів і геометричної форми різця на процес різання вугільного пласта. В результаті проведених досліджень обґрунтовано рекомендації щодо визначення області застосування різальних інструментів.

Ключові слова: процес, інструмент, параметр, елемент, рівняння.

V.N. Pavlysh, V.V. Styeblyn, S.Y. Topchiy, P.Ya. Grodzinskiy

INVESTIGATION OF CHARACTERS OF CUTTING TOOLS OF EXECUTIVE ELEMENTS OF MODERN MINING MACHINES

The quality of cutting tools of executive elements is one of the most important factor of effective action of mining machines. The article is devoted to presentation of results of theoretical investigation of parameters of cutters, used for construction of modern mining and drilling equipment. The equations of mechanical and energy processes are considered, the diagrams of changing of forces during cutting are constructed, the analysis of influence of parameters and geometrical form of the cutter on cutting process is provided. As the result of investigation the recommendations for using cutting tools were grounded.

Key words: process, tool, parameter, element, equation.