

Интеграл левой части этого равенства представляет квадрат нормы собственных функций (17)  $\Delta_n^2 = \frac{l_1}{2} \bar{\Delta}_n^2$ .

Интегрируя правую часть равенства (18) с использованием собственных функций (10) (13), получим

$$\begin{aligned} v \frac{l_1}{\lambda_1} \left[ \sin \lambda_1 + \xi_1 l_1 (\cos \lambda_1 - 1) + \xi_1 \lambda_1 + \frac{F_2}{F_1} (A \sin \lambda_2 + B (\cos \lambda_2 - 1)) + A \frac{F_1 l_2}{F_2 l_1} \xi_2 \lambda_1 \right] = \\ = v \frac{l_1}{\lambda_1} \Phi_n. \end{aligned} \quad (19)$$

Так из условия (18) находим амплитудное динамическое перемещение нижнего конца стержня

$$u_0 = 2v l_1 \sqrt{\frac{\gamma}{E}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Phi_n}{\lambda_1^2 \bar{\Delta}_n^2}. \quad (20)$$

Зная начальный параметр  $u_0$ , по (10), (13) можно найти уравнения перемещений сечений стержня  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$ , а затем дифференцированием найти внутренние усилия  $N_i = EF_i u_i'(x)$  и напряжения  $\sigma_i(x) = N_i(x) / F_i$ .

Приведенный расчет может быть использован в расчетах бурильных колонн на ударные нагрузки при их опускании в скважину и внезапной остановке нижнего сечения в забое.

### Библиографический список

1. Шевченко Ф. Л. Будівельна механіка. Спеціальний курс. Динаміка пружних стержньових систем.: Навчальний посібник. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2000. с. 292.
2. Справочник. Прочность. Устойчивость. Колебания. Под общей редакцией И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. с.467.

© Шевченко Ф. Л., 2006

УДК 622.24.051.64

Канд. техн. наук БОГДАНОВ Р. К., член-корр. НАНУ ШУЛЬЖЕНКО А. А., канд. техн. наук ЗАКОРА А. П., канд. техн. наук ИСОНКИН А. М., инж. ГАРГИН В. Г., инж. ПАНОВ А. В (ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины)

### ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ АКТМ В ВИДЕ ЦИЛИНДРОВ В БУРОВОМ ИМПРЕГНИРОВАННОМ ИНСТРУМЕНТЕ

Поликристаллические материалы на основе алмаза (ПМА) были созданы в 70-х годах прошлого столетия и в самый короткий срок нашли широкое применение в качестве рабочих элементов в буровом инструменте.

Каркасом ПМА являются зерна монокристаллов алмазов, обладающие рядом определенных физико-механических и теплофизических свойств. Порядок в расположении алмазных зерен и степень их взаимосвязи обуславливают определенные свойства ПМА. Управление процессом формирования структуры ПМА открывает возможности создавать в зависимости от области применения ПМА с требуемым сочетанием твердости, теплопроводности, прочности и т.д.

В настоящее время насчитывается большое количество ПМА, используемых в буровом инструменте. Это - АТП, стратапакс синдрил, геосет и т.д.

В Институте сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля (ИСМ) создан новый композиционный термостойкий материал (АКТМ), в котором для смачивания алмазного каркаса используют кремний. Во время смачивания происходит взаимодействие в системе алмаз-кремний с образованием в межалмазных промежутках карбида кремния. Образование дополнительной связи алмаз-карбид увеличивает общую прочность АКТМ.

Физико-механические свойства и номенклатура изделий алмазного композиционного термостойкого материала представлены в таблицах 1 и 2, соответственно.

**Табл 1. Физико-механические свойства АКТМ**

|   |         |  |         |
|---|---------|--|---------|
| 1. Плотность, г/см <sup>3</sup>           | 3,45    | 5. Модуль Юнга, ГПа                                    | 970     |
| 2. Твердость по Кнупу, ГПа                | 50-55   | 6. Теплопроводность, Вт/(м·К)                          | 250-300 |
| 3. Трещиностойкость, МПа·м <sup>1/2</sup> | 10-12   | 7. Износостойкость при правке корундового круга, мг/кг | ~ 4,4   |
| 4. Прочность на сжатие, ГПа               | 2,2-3,1 | 8. Термостабильность, К                                | ~ 1500  |

Как видно из табл. 1, термостабильность материала АКТМ довольно высокая и составляет 1500 К. Это позволяет использовать для изготовления бурового инструмента связки с высокой температурой спекания, что обеспечивает высокую прочность удержания сверхтвердых режущих вставок. Для более прочного удержания в связке вставки из АКТМ необходимо обеспечить надежную связь между АККТМ и матрицей из твердого сплава. Для обеспечения надежной связи между АКТМ и матрицей в некоторых технологиях изготовления вставок предусматривается металлизация АКТМ, или нанесение на него карбидообразующего элемента, например титана, что обеспечивает надежную адгезионную связь между АКТМ и матрицей, или производят спекание твердого сплава совместно со вставками АКТМ.

**Табл. 2. Номенклатура изделий АКТМ для бурового инструмента**

| Наименование | Размеры                         |            |             |            |             |            |             |            |
|--------------|---------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|              | диаметр, мм                     | высота, мм | диаметр, мм | высота, мм | диаметр, мм | высота, мм |             |            |
| Цилиндры     | 1,0                             | 2,0-4,0    | 1,8         | 2,0-4,0    | 3,5         | 4,0        |             |            |
|              | 1,3                             | 2,0-4,0    | 2,0         | 2,0-4,0    | 4,0         | 4,0        |             |            |
|              | 1,5                             | 2,0-4,0    | 2,5         | 2,5-4,0    | 5,0         | 4,0        |             |            |
|              |                                 |            | 3,0         | 3,0-4,0    |             |            |             |            |
| Наименование | диаметр, мм                     | высота, мм | диаметр, мм | высота, мм | диаметр, мм | высота, мм | диаметр, мм | высота, мм |
| Диски        | 13,5                            | 3,5        | 25          | 5          | 25          | 4          | 31          | 4          |
| Наименование | Зернистость                     |            |             |            |             |            |             |            |
| Порошки      | 2500/2000; 2000/1600; 1600/1250 |            |             |            |             |            |             |            |

При добавлении титана в пропитывающий слой образуется пористый слой из TiSi<sub>2</sub>, который тормозит процесс пропитки и способствует улучшению

межкристаллитной связи алмаз-алмаз и, соответственно, повышению прочности композиционного материала. Это указывает на возможность добавления в пропитывающий слой карбидообразующих металлов, приводящих к образованию пористого слоя и, тем самым, уменьшению скорости пропитки.

Вставки АКТМ  $\varnothing 5\text{мм}$  применяются в коронках резцового типа (коронки типа БТ19) [1].

Порошки АКТМ также могут успешно использоваться в импрегнированных коронках [2].

В данной работе представлены результаты исследований по установлению работоспособности вставок АКТМ, диаметр которых менее 2 мм.

Для оснащения бурового инструмента были выбраны вставки АКТМ диаметром 1,3мм и 1,9мм. Вставки предварительно были подвергнуты послойной металлизации молибденом и медью.

Для оснащения вставками АКТМ были выбраны коронки БС01  $\varnothing 59\text{ мм}$ .

Вставки устанавливались в алмазосную матрицу заподлицо с рабочей поверхностью.

Было изготовлено 4 типа инструмента:

- коронка не оснащалась вставками АКТМ;
- в центральной части каждого сектора устанавливалась вставка АКТМ  $\varnothing 1,3\text{ мм}$ ;
- в центральной части каждого сектора устанавливалась вставка АКТМ  $\varnothing 1,9\text{ мм}$ ;
- в каждом секторе устанавливались по одной вставке АКТМ  $\varnothing 1,3\text{ мм}$  и  $1,9\text{ мм}$ .

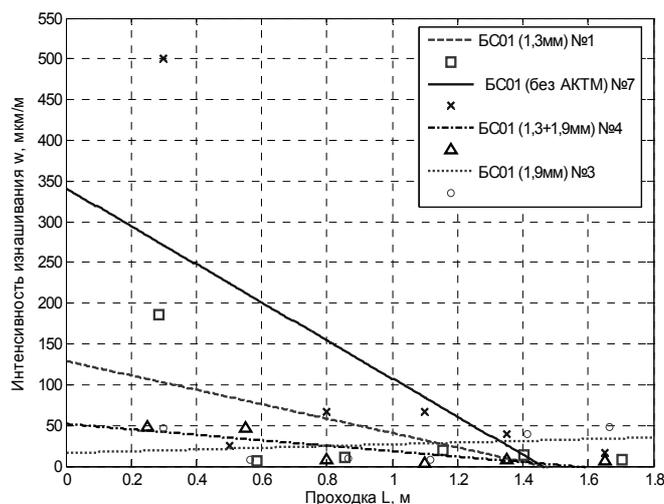
С целью обнажения алмазов на породоразрушающей части матрицы каждая коронка перед началом испытаний была подвергнута электрохимической заточке в растворе NaCl.

Испытания выполнялись в лабораторных условиях при бурении скважин в блоке коростышевского гранита.

Параметры режима бурения: частота вращения  $n = 630\text{ мин}^{-1}$ ; осевая нагрузка  $P = 1000\text{ даН}$ .

Результаты испытаний представлены на рис.1 и 2.

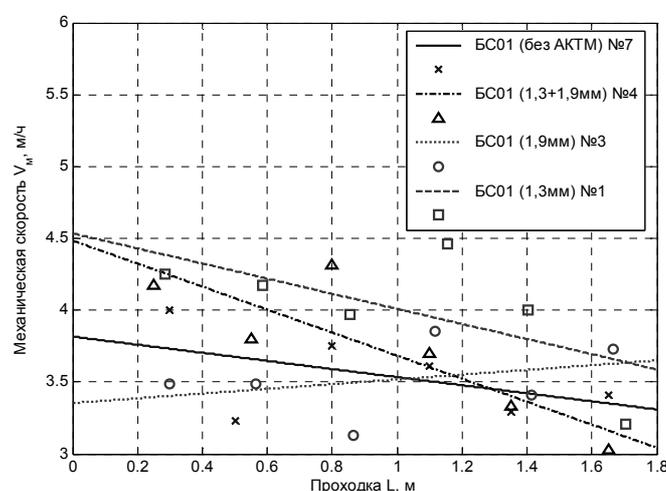
На рис.1 представлены аппроксимированные зависимости изменения интенсивности изнашивания различных типов опытных образцов коронок в зависимости от проходки.



**Рис. 1.** Зависимость интенсивности изнашивания матрицы коронок от проходки

Как видим, с увеличением проходки интенсивность изнашивания коронок, кроме №3, уменьшается. Наибольшая интенсивность изнашивания отмечается у коронки №7 (без АКТМ), наименьшая - у коронки №3 (АКТМ  $\varnothing$  1,9 мм). У коронки №3 имеет место рост интенсивности изнашивания с увеличением проходки. Падение интенсивности изнашивания коронок, на наш взгляд, происходит из-за износа алмазов породоразрушающей части матрицы, образования на них площадок затупления, в силу чего снижается удельная нагрузка на каждое зерно. При меньшей нагрузке алмаз не может, как первоначально, внедряться на ту же глубину в породу, при этом уменьшается количество шлама под торцом матрицы, что приводит к снижению ее интенсивности изнашивания от контакта с уменьшенным количеством частиц шлама. В коронке №3 образование площадок затупления на алмазах происходит менее интенсивно, чем в первом случае, и поэтому на данном отрезке проходки снижение интенсивности изнашивания не наблюдается.

Подобная картина отмечается и при изменении механической скорости бурения в зависимости от проходки (рис.2).



**Рис. 2.** Зависимость механической скорости бурения коронками от проходки

С увеличением проходки механическая скорость бурения опытными коронками, кроме коронок №3, уменьшается. Наибольшей механической скоростью бурения (в рассматриваемых пределах проходки) обладают коронки №1. Наиболее интенсивное падение механической скорости бурения отмечается у коронки №4. У коронки №3, как и в первом случае, в рассматриваемых пределах проходки, отмечается незначительный рост механической скорости бурения.

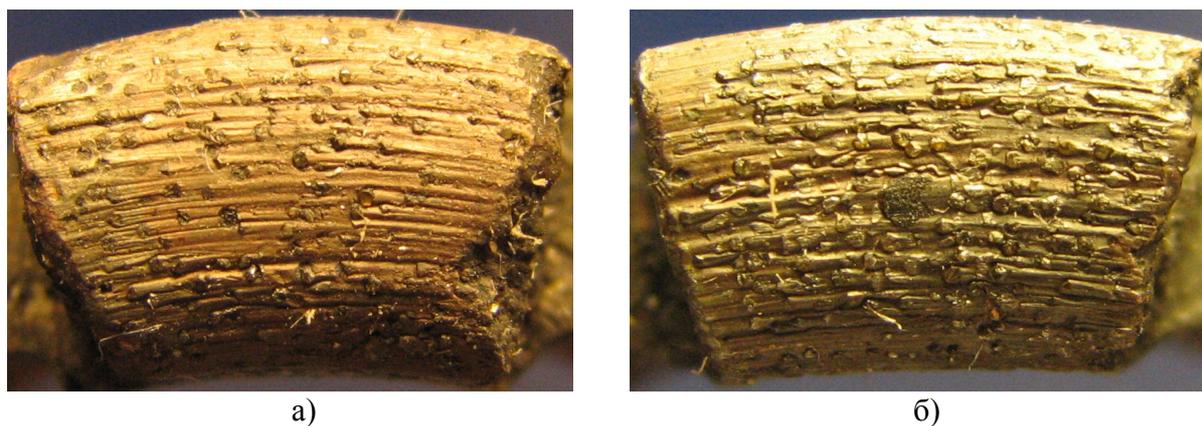
Объяснить изменение механической скорости бурения, как и в первом случае, можно образованием площадок затупления на алмазах.

На рис.3 и 4 представлен характер износа породоразрушающей части секторов коронок после завершения их испытаний.

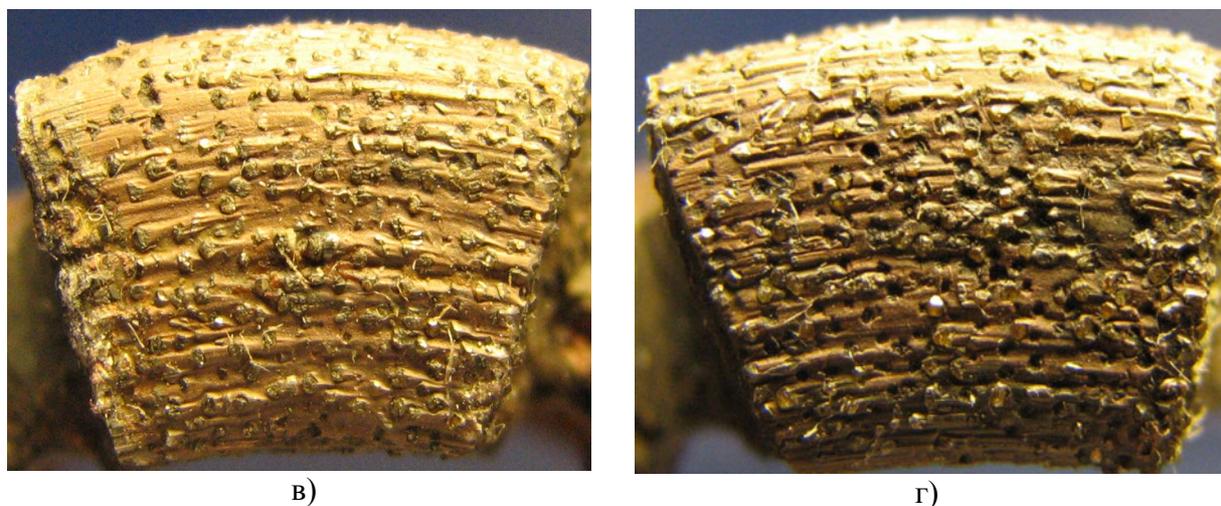
Изучая картину износа, представленную на рис.3 и 4, можно отметить следующее. Алмазы в коронке №7 (рис.3,а) в большинстве своем изношены и имеют значительное количество площадок затупления. Борозды на поверхности контакта матрицы с забоем скважины неглубокие, что свидетельствует об образовании в зоне контакта шлама небольшого размера. Наличие части шлама малого размера свидетельствует о малоэффективности процесса разрушения породы, что подтверждается зависимостью представленной на рис.2.

Характер износа коронки №1 (рис.3,б) отличается от характера износа коронки №7. Количество целых алмазов на поверхности трения в первом случае больше, чем во втором, и борозды более глубокие. Можно констатировать, что вставка защищает алмазы и процесс разрушения породы происходит более эффективно. Это также подтверждается и зависимостями на рис.2.

Характер износа сектора на рис.4,а в значительной степени близок к характеру износа, представленного на рис.3б. По интенсивности изнашивания (см. рис.1) коронка №3 наиболее стабильна и как видно из рис.4,а площадки заполировки на алмазах практически отсутствуют.



**Рис. 3.** Характер износа породоразрушающей части секторов коронок №7 (а) и №1 (б)



**Рис. 4.** Характер износа породоразрушающей части секторов коронок №3 (а) и №4 (б)

На рис.4,б представлен характер износа коронки №4 ( $\varnothing 1,3 \text{ мм} + \varnothing 1,9 \text{ мм}$ ). На поверхности матрицы, контактировавшей с породой, наблюдается большое количество лунок от вырванных из нее алмазных зерен. Это свидетельствует о работе коронки такой конструкции в режиме вибрации. На последнем этапе испытаний отмечается самая низкая работоспособность коронки №4 (см. рис.1 и 2), по сравнению с другими инструментами.

Анализируя результаты исследований, можно отметить, что наиболее работоспособными являются буровые коронки, оснащенные наравне с алмазами АС160Т, вставками АКТМ Ø 1,3 мм (№1) и вставками АКТМ Ø 1,9 мм (№3).

#### **Выводы**

1. Поликристаллический материал на основе алмаза АКТМ, изготовленный в виде цилиндров Ø 1,3 мм и Ø 1,9 мм, способен эффективно разрушать твердые породы в инструментах истирающего типа (импрегнированные коронки).

2. Наиболее эффективно разрушает твердые горные породы буровая импрегнированная коронка, оснащенная алмазами АС160Т в комбинации со вставками АКТМ Ø 1,3 мм.

#### **Библиографический список**

1. **Богданов Р. К., Загора А. П., Исонкин А. М.** Алмазный инструмент для бурения в породах средней твердости. Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Випуск 96, Донецьк, ДонНТУ, 2005, с.61-68.

2. **Богданов Р. К., Загора А. П., Исонкин А. М.** Буровой инструмент из алмазного композиционного термостойкого материала. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения/Сборник научных трудов. – Вып..7, - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2004, с.18 - 21.

© *Богданов Р.К., Шульженко А.А., Загора А.П., Исонкин А.М., Гаргин В.Г., Панов А.В., 2006*

УДК 622.24.05.(031)

Канд. техн. наук **СИРИК В. Ф.**, инж. **ЛУЦИК А. С.**, инж. **ЯРОШ Д. И.**, инж. **БЕССОНОВ И. Ю.** (ООО «Днепропетровский завод бурового оборудования»)

#### **СКВАЖИННЫЙ АМОРТИЗАТОР**

Бурение твердых горных пород шарошечными долотами сопровождается вибрациями, генерируемыми при ударах зубьев шарошек или твердосплавных вставок о забой скважины. Вибрации могут достигать значительных значений и приводить к преждевременному износу опор шарошек, аномальному износу вооружения и поломкам деталей вращателя и мачты бурового станка.

Применение амортизаторов имеет конечной целью повышение стойкости долота, элементов бурильной колонны, увеличение срока службы наземного оборудования, увеличение проходки за рейс и повышение эффективности бурения в целом. Особенно эффективно применение амортизаторов при высокооборотном бурении скважин турбобуром, электробуром, а также при использовании долот с герметизированной опорой, сальниковые уплотнения которых быстро выходят из строя при больших знакопеременных нагрузках и не выносят вибраций и значительных толчков.

Исследованиями фирмы «Кристенсен» [1] установлено, что при бурении крепких трещиноватых горных пород амплитуда виброколебаний может достигать 100 мм. возникающие циклические нагрузки могут превышать осевую нагрузку на долото в 4 раза.