

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ ДОЛОТ. 5. КИНЕТИКА ИЗНОСА

<sup>1</sup>Н.А.Бондаренко, <sup>2</sup>А.Н.Жуковский, <sup>1</sup>В.А.Мечник

<sup>1</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины,  
Киев, ул. Автозаводская, 2, тел. (044) 4675625, e-mail: bond@ism.kiev.ua

<sup>2</sup>Институт математики НАН Украины,  
Киев, ул. Терещенковская, 3, тел. (044) 2346322

Проведен анализ влияния теплофизических и геометрических характеристик сверхтвердого композита, угловой координаты профиля и условий бурения на износ алмазного долота, который позволяет выявить основные факторы, влияющие на кинетику данного процесса. Обсуждаются причины неравномерного износа такого инструмента и показаны пути повышения его износостойкости.

An analysis has been performed of the tool geometry, the super hard composite heat-transfer properties and drilling conditions effect on wear of a diamond drilling bit. It allows to uncover the leading factors affecting flow of a given process. The reasons of the irregular tool deterioration are discussed and the ways of wear resistance growth are shown.

**1. Введение.** В работе [1] решена задача об изнашивании алмазного долота с учетом тепловыделения от трения и специфических особенностей сверхтвердых композитов в процессе бурения скважины. Окончательные выражения представлены в явном виде, что позволяет находить износ долота в произвольный момент времени и анализировать различные факторы, влияющие на протекание данного процесса. Знание и развитие представлений о влиянии физических величин сверхтвердых композиционных материалов на кинетику износа алмазных буровых долот является важным для технологии изготовления таких инструментов с широким спектром свойств, расширения областей их применения и эффективной эксплуатации. Однако, в настоящее время еще не получено решения задачи изнашивания для алмазного долота с полным отражением специфических особенностей сверхтвердых композиционных материалов и микрогеометрии взаимодействующих тел в процессе бурения скважин.

В настоящей работе с использованием решения [1], полученного ранее нами, проведен приближенный расчет износа алмазного долота в процессе бурения песчаника от теплофизических характеристик композита, относительного значения коэффициента теплообмена, концентрации и зернистости алмазов, угловой координаты профиля и условий бурения. Предполагается, что теплофизические свойства покрытия соответствуют аналогичным свойствам композита, из которого изготавливают породоразрушающие вставки, а полусферическое тело моделирует работу исследуемого долота.

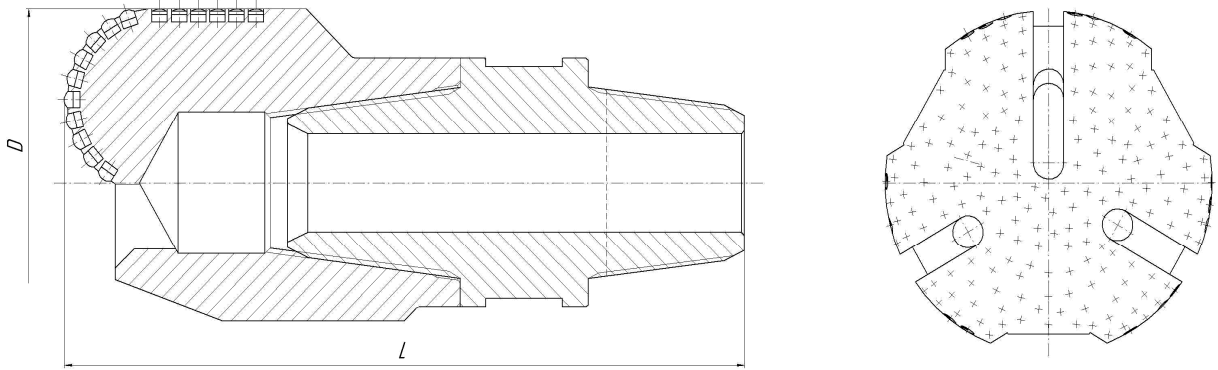
**Цель работы** — выявить основные факторы сверхтвердого композита и параметры бурения на кинетику износа долота.

**2. Объекты исследований.** В качестве объекта исследования использовали, как и в работах [2–4], алмазные долота ИСМ – 214,3 Т (рис. 1), оснащенные буровыми вставками одинаковых размеров (диаметром 10 мм, высотой

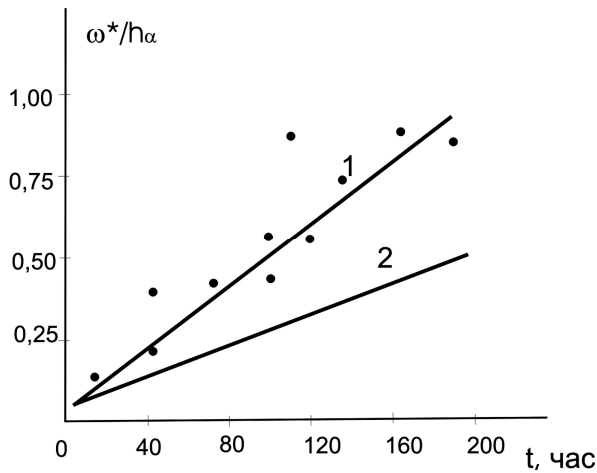
10 мм и начальной толщиной алмазосодержащего слоя  $h_a = 3$  мм) двух различных составов. Буровые вставки первого типа получены на основе исходной шихты (в мас. %) алмаз-твердый сплав ВК6 – долото 1, второго алмаз-твердый сплав ВК6 с добавками в исходную смесь порошков  $\text{CrB}_2 - \text{W}_2\text{B}_5$  (диборид хрома – пентаборид дивольфрама) в малых количествах по отношению к основным компонентам – долото 2. В обоих случаях использовали природные алмазы. Данные о приготовлении шихты, предыстории исходных веществ, режимов спекания и свойств композита приведены в работах [4, 6].

Контрольные расчеты проведены для бурения песчаника при следующей вариации  $\lambda_1$  исходных данных: коэффициенты теплопроводности алмазов  $\lambda_2$  и материала композита (Вт/(м·К)) — соответственно 100–200 и 20–80; относительная концентрация алмазов  $K = 75–125$  (что соответствует 3,3–5,5 карат алмазов на 1 см<sup>3</sup> шихты); зернистость алмазов  $z = 500/400–1250/1000$ ; относительное значение коэффициента теплообмена  $\alpha$ , кВт/(м<sup>2</sup>·К) — 0,5–3,5; угловая координата  $\theta$ , град — 10–80; контактное давление в забое скважины  $p$ , МПа (взяты из расчета осевой нагрузки на долото к суммарной площади режущих алмазов) — 1,0–50; линейная скорость вращения  $v$ , м/с — 2,5–5,0.

**3. Обсуждение результатов.** На рис. 2 приведены графики зависимости износа исследуемых алмазных долот при бурении песчаника от времени, полученные в результате вычислений по предложенному решению [1]. Их анализ показывает, что износ долот 1 и 2 довольно быстро выходит на установившийся квазистационарный режим и существенно зависит от химического состава. Так, при одинаковых значениях концентрации и зернистости алмазов скорость износа алмазного долота 2 более двух раз меньше аналогичного параметра долота 1 (рис. 2, кривые 2 и 1 соответственно). Из анализа этих результатов и данных работ [4, 6] становится



**Рисунок 1** — Конструктивная схема долота ИСМ – 214,3Т (профиль долот имеет биконическую ассиметричную форму с углом наружного конуса 84° и внутреннего – 60°)



—, • – расчетные и экспериментальные данные

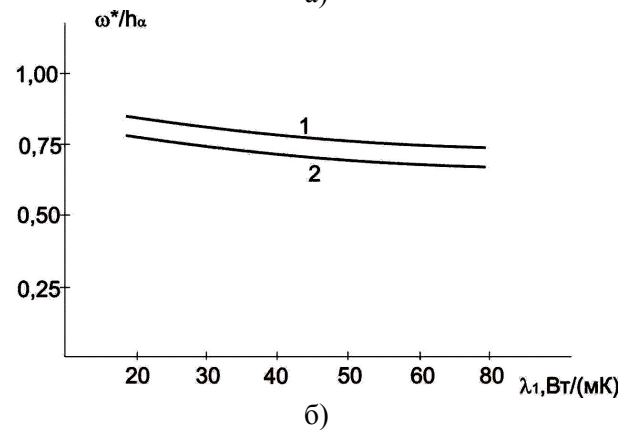
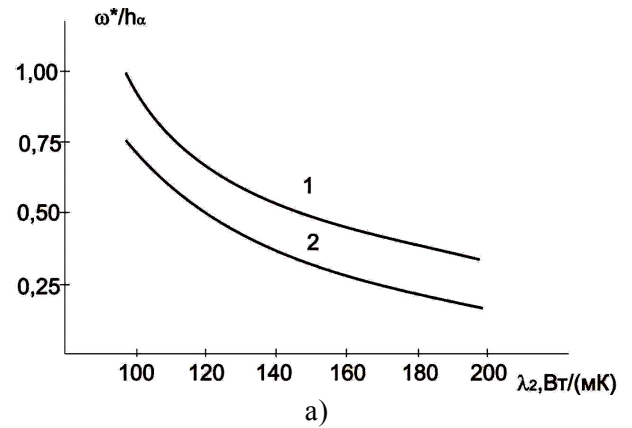
**Рисунок 2** — Зависимости износа долот 1 и 2 от времени бурения

$\lambda_2 = 120 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $\lambda_1 = 40 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $p = 30 \text{ МПа}$ ,  
 $v = 4 \text{ м/с}$ ,  $\theta = 80^\circ$ ,  $\alpha = 1,5 \text{ кВт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ,  
 $K = 100$  и  $3 = 800/630$

очевидным, что действительно введение в исходную шихту добавки диборид хрома  $\text{CrB}_2$  и пентадибора вольфрама  $\text{W}_2\text{B}_5$  улучшает физико-механические свойства и структуру композита и, тем самым, способствует уменьшению износа долота 2. Конечно же, процессы, способствующие уменьшению износа этого долота, имеют совсем иную природу, носят более универсальный характер, не зависящий от конкретных условий, и не учитываются в предложенной модели. Важно здесь то, что такой подход — через коэффициент износа — позволяет давать количественную оценку изнашивания. Высокая сходимость расчетных значений с экспериментальными данными работы [5] свидетельствует о точности и адекватности предложенной модели.

Износ алмазного бурового долота существенно зависит от теплопроводности  $\lambda_1$  составляющих материала композита (рис. 3). Так, при увеличении коэффициента теплопроводности композита  $\lambda_2$  от 100 Вт/(м·К) до 200 Вт/(м·К) наблюдается существенное уменьшение износа

такого инструмента (рис. 3, а). Дальнейшее его увеличение уже не оказывает сильного воздействия, хотя и приводит к незначительному уменьшению износа. Увеличение коэффициента теплопроводности материала корпуса долота  $\lambda_1$  от 20 Вт/(м·К) до 80 Вт/(м·К) практически не влияет на уменьшение износа долота (рис. 3, б).



а –  $\lambda_1 = 40 \text{ Вт/(м·К)}$ , б –  $\lambda_2 = 120 \text{ Вт/(м·К)}$

**Рисунок 3** — Зависимости износа алмазного долота от коэффициентов теплопроводности материала композита (а) и корпуса долота (б) в процессе бурения песчаника

$\theta = 70$  (1) и  $50$  (2) градус для:  $p = 30 \text{ МПа}$ ,  
 $\alpha = 1,5 \text{ кВт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ,  $K = 100$ ,  $3 = 800/630$ ;  
 $t = 200 \text{ час}$ ,  $v = 4 \text{ м/с}$

Из анализа полученных данных следует, что для повышения износостойкости буровых долот необходимо повышать теплофизические характеристики как алмазов, так и составляющие матрицы. В свою очередь, теплопроводность природных алмазов можно увеличить за счет их овализации, то есть использовать специальную обработку, позволяющую уменьшить в них микротрещины и сколы. Увеличение же теплопроводности материала композита алмаз-твердый сплав ВК6 зависит от Р – Т условий спекания, обеспечивающие уплотнение компонентов матрицы и самого контакта алмаз-матрица [2 – 4, 6].

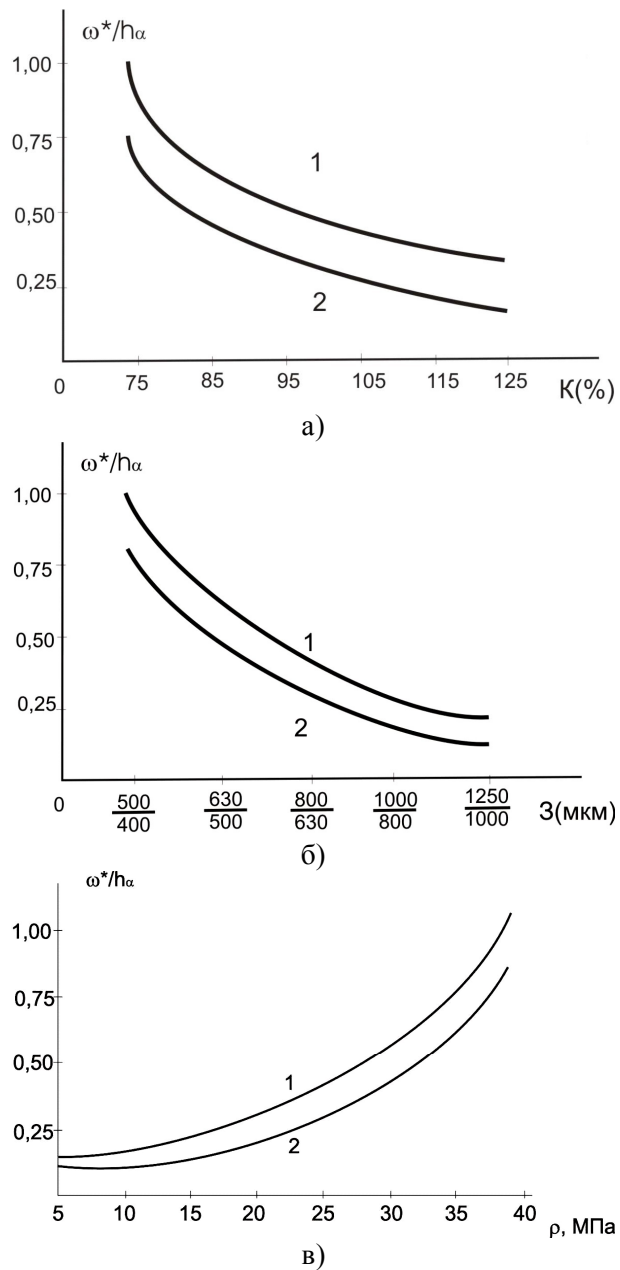
Вполне закономерно и адекватно реальным процессам выглядят зависимости износа долота от концентрации алмазов  $K$  (рис. 4, а), зернистости  $Z$  (рис. 4, б) и контактного давления  $p$  (рис. 4, в). Из полученных результатов (рис. 4, а, б) и стоимости природных алмазов следует, что для повышения износостойкости буровых долот целесообразно использовать в исследуемых композитах концентрацию алмазов  $K = 100$  зернистостью 800/630 – 1000/800. Увеличение технологических режимов бурения приводит к стремительному росту износа долота (рис. 4, в). Это обстоятельство указывает на необходимость оптимизации технологических режимов бурения.

Продолжая обсуждать причины изменения износа алмазного бурового долота следует отметить, что износ существенно зависит от угловой координаты  $\theta$  (рис. 5, а). Это связано, в первую очередь, с различными скоростями скольжения режущих элементов на поверхности долота, что и приводит к неравномерному изнашиванию. Для обеспечения равномерного износа инструмента требуется его периферийную рабочую поверхность (по ходу увеличения угловой координаты) оснащать большим количеством буровых вставок. На кинетику износа существенное влияние оказывает относительное значение коэффициента теплообмена  $\alpha$  (рис. 5, б) и скорости вращения  $v$  (рис. 5, в). Увеличение коэффициента теплообмена  $\alpha$  способствует уменьшению износа долота за счет снижения термических воздействий и выносу разрушенной горной породы из забоя скважины. Увеличение же скорости вращения  $v$  долота приводит, наоборот, к росту температуры на рабочей поверхности и, как следствие для данной конструкции инструмента, к росту износа (рис. 5, в).

**Заключение.** Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Износ алмазных буровых долот является следствием процессов, происходящих как на контакте взаимодействующих поверхностей, так и при спекании сверхтвердого композиционного материала.

2. Выявлено, что износ алмазного долота существенно зависит от теплопроводности материала композита, концентрации и зернистости алмазов и предыстории кристаллов алмаза, угловой координаты профиля, относительного



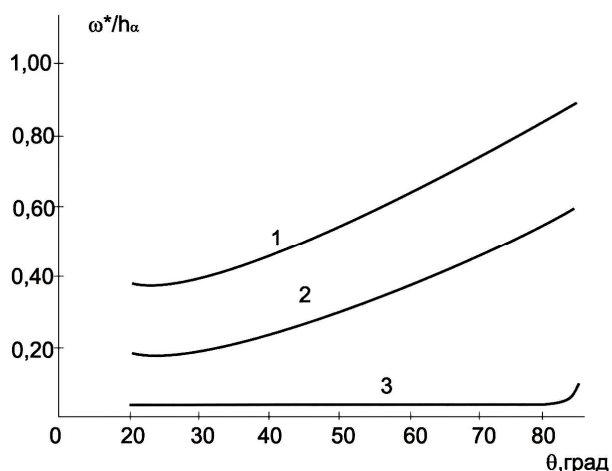
а –  $Z = 800/630$ ,  $p = 30$  МПа; б –  $K = 100$ ,  $p = 30$  МПа; в –  $Z = 800/630$ ,  $K = 100$

**Рисунок 4 — Влияние концентрации алмазов (а), зернистости (б) при  $\theta = 50^\circ$  (1) и  $\theta = 35^\circ$  (2) и контактного давления (в) при  $\theta = 66^\circ$  (1) и  $\theta = 50^\circ$  (2) на износ алмазного долота в процессе бурения песчаника  $\alpha = 1,5$  кВт/(м<sup>2</sup>·К),  $t = 200$  час,  $v = 4$  м/с,  $\lambda_2 = 120$  Вт/(м·К),  $\lambda_1 = 40$  Вт/(м·К).**

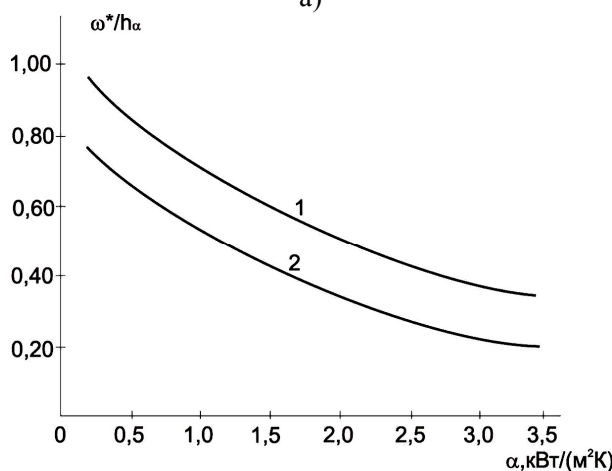
значения коэффициента теплообмена и параметров бурения.

3. Причинами неравномерного износа долота являются различные скорости, контактные температуры и давления на рабочей поверхности инструмента.

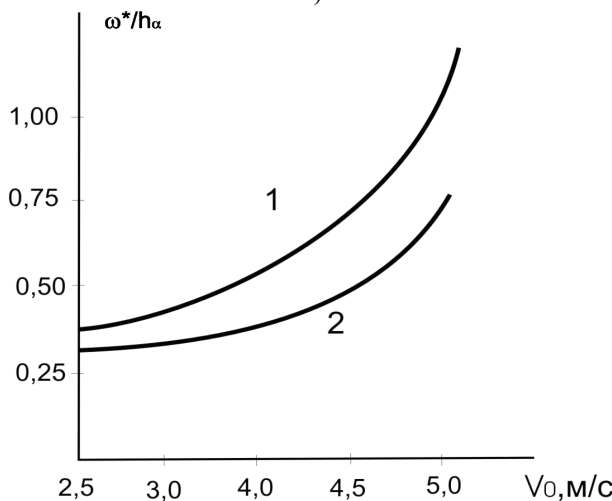
4. Износ алмазного долота существенным образом зависит от химического состава составляющих матрицы композита. Было показано, что введение  $SiB_2 - W_2B_5$  в исходную шихту уменьшает износ долота более двух раз.



а)



б)



в)

а)  $\alpha = 1,5 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ,  $v = 4 \text{ м}/\text{с}$ ;

б)  $t = 200 \text{ час}$ ,  $v = 4 \text{ м}/\text{с}$ ;

в)  $t = 200 \text{ час}$ ,  $\alpha = 3,0 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

**Рисунок 5** — Влияние угловой координаты (а) при  $t = 200$  (1), 100 (2) и 0,5 (3) час, относительного значения коэффициента теплообмена (б) при  $\theta = 85$  (1) и 66 (2) градус и скорости вращения (в) при  $\theta = 66$  (1) и 50 (2) на износ долота в процессе бурения песчаника

$\lambda_2 = 120 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $\lambda_1 = 40 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $K = 100$ ,  
 $Z = 800/630$ ,  $p = 30 \text{ МПа}$

5. Для более глубокого исследования причин изменения износа и происходящих явлений вокруг этого процесса требуется совершенствование и развитие предложенного подхода. Однако полученные результаты могут быть использованы для оценки износа алмазных долот в процессе бурения и в технологии изготовления такого инструмента.

**Обозначения**

$\lambda_1, \lambda_2$  – коэффициенты теплопроводности композита и корпуса долота соответственно;  $\alpha$  – значение коэффициента относительного теплообмена;  $K$  и  $Z$  – относительная концентрация алмазов и зернистость соответственно;  $\rho$  и  $\theta$  – сферические координаты;  $v$  – скорость скольжения;  $t$  – время бурения;  $p$  – контактные давления;  $h_a$  – высота алмазосодержащего слоя,  $\omega^*$  – текущий износ.

**Литература**

1 Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Исследование износа алмазных буровых долот. 4. Уравнение изнашивания // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 4(21). – С. 16–19.

2 Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Исследование износа алмазных буровых долот. 1. Свойства, классификация и особенности рассматриваемой проблемы // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 1(18). – С. 49–56.

3 Новиков Н.В., Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Влияние диффузии и химических реакций на структуру и свойства буровых вставок. 1. Кинетическое описание систем  $C_{\text{алмаз}} - \text{ВК6}$  и  $C_{\text{алмаз}} - (\text{ВК6} - \text{СтВ}_2 - \text{W}_2\text{B}_5)$  // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8. – №2. – С. 99–106.

4 Новиков Н.В., Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Кинетические константы и их связь со структурой и свойствами композитов состава алмаз – матрица сплав ВК6 // Доповіді НАН України. – 2005. – №10. – С. 97–103.

5 Арцимович Г.В. Механические основы создания породоразрушающего бурового инструмента. – Новосибирск: Наука. – 1985. – 320 с.

6 Новиков Н.В., Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Структура и свойства буровых вставок, спеченных методом горячего прессования // Доповіді НАН України. – 2005, №3. – С. 93–97.