

УДК 621.91.02:621

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ ДОЛОТ. 3. АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ

<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,  
г. Киев, ул. Автозаводская, 2, тел. (044) 4675625, e-mail: bond@ism.kiev.ua<sup>2</sup>Институт математики НАН Украины, г. Киев, ул. Терещенковская, 3, тел. (044) 2346322

Обсуждаются причины неравномерного распределения температурных полей в алмазном долоте при бурении прочных горных пород для конкретных теплофизических свойств композита, конструктивных особенностей долота и режимных параметров бурения.

The reasons are discussed of the non-uniform temperature distribution in the diamond drilling bit at boring the hard rocks for the particular heat-transfer properties of composite, the drilling bit design philosophy and the operating conditions of drilling.

**1. Введение.** В работе [1] методами конечных интегральных преобразований, разложения по собственным функциям спектральных параметров в уравнении и граничном условии решена нестационарная задача теплопроводности для полусферического тела с покрытием, из которого удален сферический сектор с центром в начале координат. При этом теплофизические свойства покрытия существенно отличаются от аналогичных свойств тела основания. Модель учитывает интенсивное выделение тепла вследствие трения покрытия о полупространство и охлаждение полусферического тела жидкостью по закону вынужденного конвективного теплообмена. В настоящее время еще не получены решения задач теплопроводности с полным отражением специфических особенностей сверхтвердых композиционных материалов и микрогеометрии взаимодействующих тел при бурении скважины алмазным долотом. В представленной работе на основе решения [1], полученного ранее нами, проведен анализ температурных полей в алмазном долоте в процессе бурения прочных горных пород. Предполагается, что теплофизические свойства покрытия соответствуют аналогичным свойствам композита из которого изготавливают породоразрушающие вставки, а полусферическое тело моделирует работу исследуемого долота.

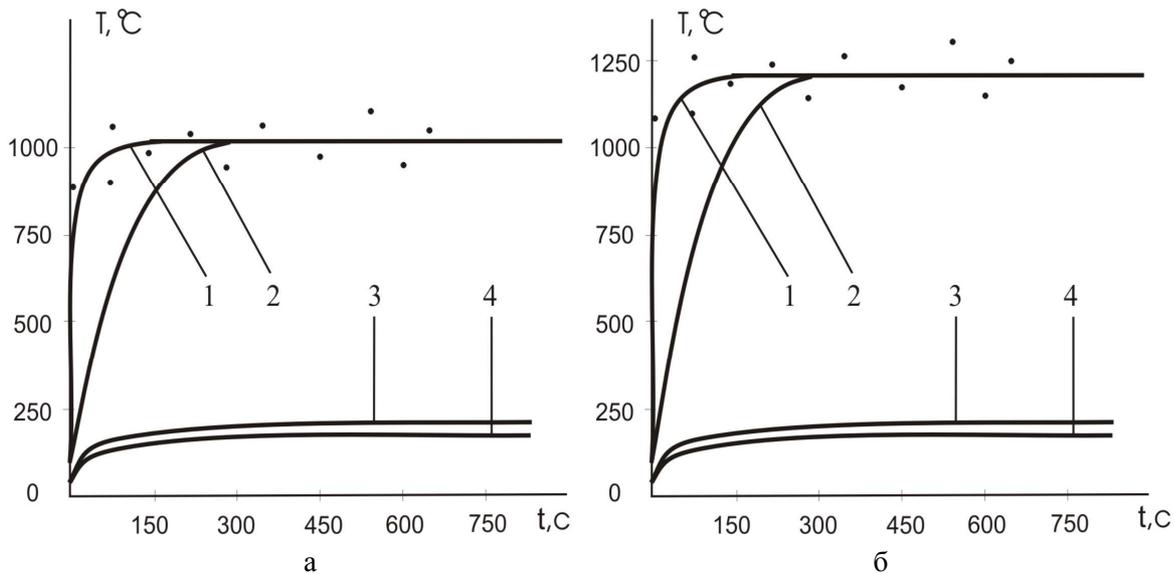
**Цель работы** – выявить основные факторы композиционного материала и параметры бурения, влияющие на температурное поле долота.

**2. Объекты исследований.** В качестве объекта исследования использовали алмазное долото ИСМ–214,3 Т внешним диаметром 214,3 мм, оснащенным буровыми вставками одинаковых размеров (диаметром 10 мм, высотой 10 мм) при начальной толщине алмазосодержащего слоя  $h_a=3$  мм состава алмаз – твердый сплав ВК6. Данные о предыстории входящих веществ, способе приготовления шихты, режимах спекания и конструкции долота приведены в работе [2]. Контрольные расчеты проведены для бурения гранита и песчаника при

следующем варьировании исходных данных: толщина алмазосодержащего слоя до изнашивания  $h_a=3$  мм; коэффициенты теплопроводности алмазов и материала композита  $\lambda_i$  соответственно (Вт/(м·К)), 100–200 и 20–80; относительная концентрация алмазов  $K=75–125$  (3,3–5,5 карат алмазов на 1 см<sup>3</sup> шихты); зернистость алмазов  $3$  (мкм), 500/400 – 1250/1000; относительное значение коэффициента теплообмена  $\alpha$ , (кВт/(м<sup>2</sup>·К)) 0,5–3; угловая координата  $\theta$  (град), 10–90; контактное давление на режущие алмазы  $p$  (МПа), 1–35; линейная скорость вращения  $v$  (м/с), 2,5–5,0; время бурения  $t$  (с), 0,1–1000.

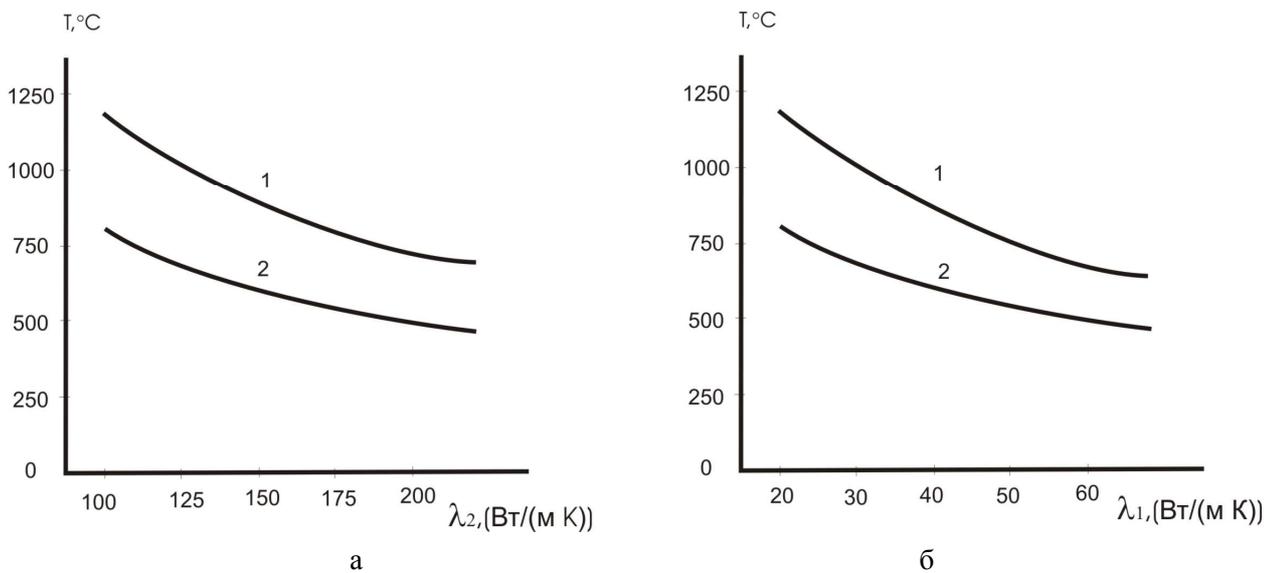
**3. Анализ результатов.** На рис. 1, а, б изображены графики зависимостей поля температур от времени  $t$  при бурении гранита и песчаника, полученные в результате вычислений по предложенному нами в [1] решению. Их анализ показывает, что температурные поля в долоте в зависимости от радиальной координаты  $\rho$  довольно быстро выходят на установившийся температурный режим. При этом контактные температуры при бурении песчаника (рис. 1, б) имеют относительно большие значения по отношению к аналогичному параметру при бурении гранита (рис. 1, а), что является следствием отличия физико-механических характеристик горных пород. Высокая сходимость расчетных данных с экспериментальными значениями работы [3] свидетельствует о точности и адекватности модели [1].

При увеличении коэффициента теплопроводности композита  $\lambda_2$  от 100 Вт/(м·К) до 200 Вт/(м·К) наблюдается существенное уменьшение температуры на рабочей поверхности долота. Дальнейшее его увеличение уже не оказывает такого воздействия, хотя и приводит к незначительному уменьшению температуры (рис. 2, а). Отсюда важным для повышения теплопроводности природных алмазов и, как следствие, износостойкости композитов и долота в целом является то, что в процессе приготовления алмазосодержащей шихты нужно использовать не просто сортированные алмазы



—, • — расчетные и экспериментальные данные соответственно

**Рисунок 1 —** Временные зависимости поля температур в алмазном долоте при  $\rho=1,0$  (1),  $0,98$  (2),  $0,8$  (3) и  $0,75$  (4) в процессе бурения гранита (а) и песчаника (б) для:  $p = 30$  МПа,  $v = 4$  м/с,  $\lambda_2 = 120$  Вт/(м·К),  $\lambda_1 = 80$  Вт/(м·К),  $\alpha_1 = 1,5$  кВт/(м<sup>2</sup>·К),  $K = 100$ ,  $З = 800/630$



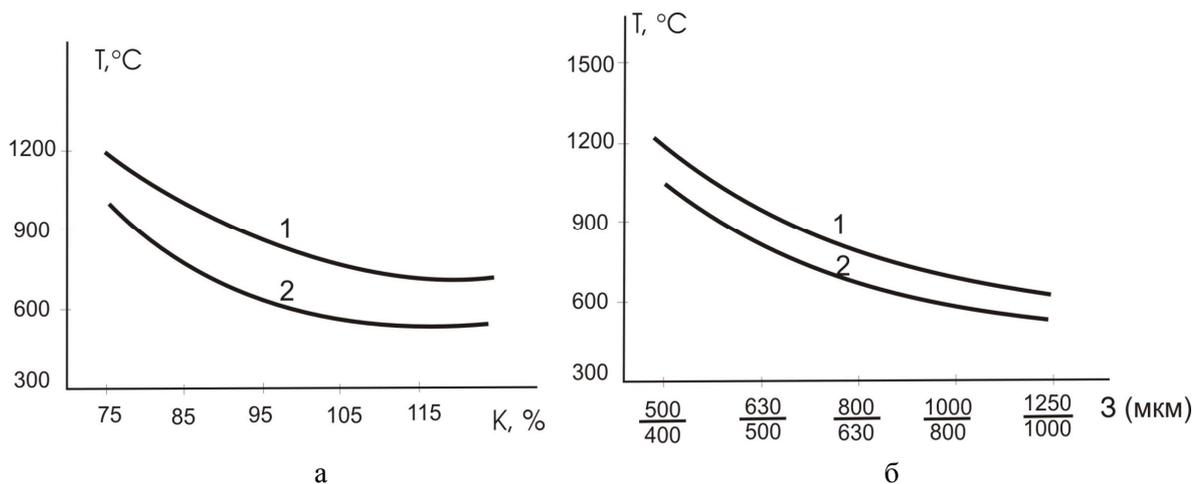
а —  $\lambda_1 = 80$  Вт/(м·К), б —  $\lambda_2 = 120$  Вт/(м·К).

**Рисунок 2 —** Влияние коэффициентов теплопроводности алмазов (а) и композита (б) при  $p = 25$  (1) и  $p = 30$  (2) МПа на контактную температуру в процессе бурения песчаника для:  $\alpha_1 = 1,5$  кВт/(м<sup>2</sup>·К),  $K = 100$ ,  $З = 800/630$ ,  $t = 1000$  с,  $v = 4$  м/с,  $\rho = 1,0$

зернистостью 800/630 – 1000/800, а только овализованные, не содержащие микротрещин и сколов. С точки зрения экономичности, износостойкости и надежности такого инструмента это выгодно. Увеличение же коэффициента теплопроводности материала композита  $\lambda_1$  также оказывает положительное влияние на температурное состояние долота (рис. 2, б). Однако отметим здесь, что теплопроводность композитов состава алмаз – твердый сплав ВК6 главным образом зависит от давления прессования и температуры спекания, увеличение которых на заключительном этапе процесса способствует

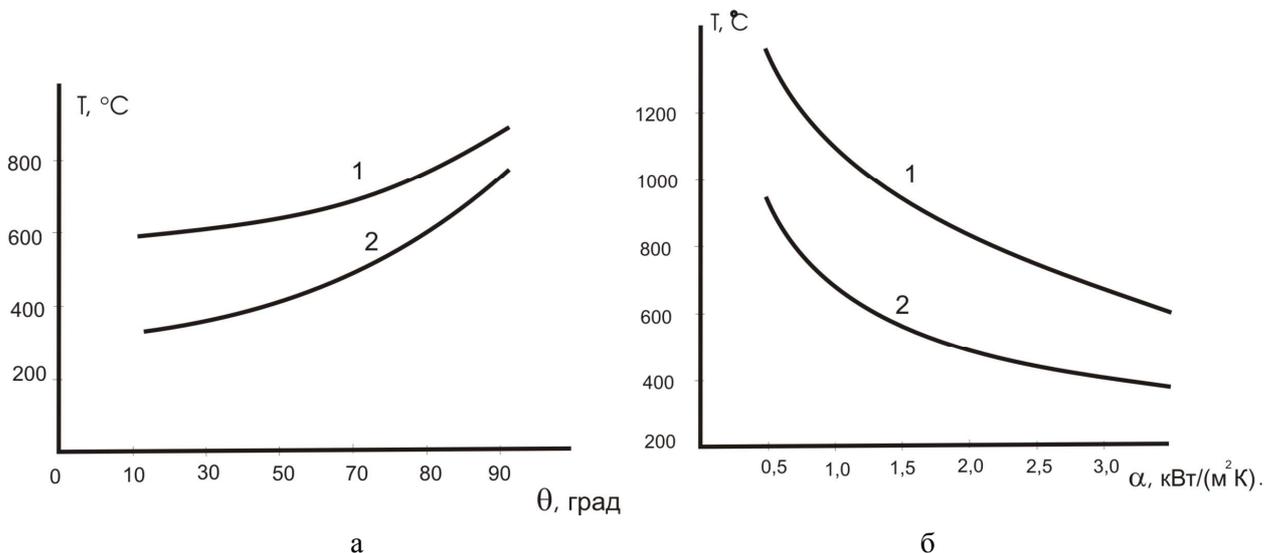
улучшению структуры и механических характеристик за счет хорошей уплотняемости составляющих материала композита [4]. Введение же в исходную шихту теплопроводных порошков металлов, даже в малых количествах по отношению к основным компонентам, может существенно снизить стойкость к окислению и ухудшить прочностные характеристики композита.

Вполне закономерно и адекватно реальным процессам выглядят зависимости температуры рабочей поверхности долота в процессе бурения песчаника от концентрации  $K$  (рис. 3, а) и



$a - Z = 800/630, \quad b - K = 100, \quad \rho = 1,0.$

**Рисунок 3** — Влияние концентрации (а) и зернистости алмазов (б) при  $\theta = 60(1), \theta = 45(2)$  градус на контактную температуру в процессе бурения песчаника для:  $\alpha_1 = 1,5 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), t = 1000\text{с}, v = 4\text{м}/\text{с}, p = 27,3 \text{ МПа}, \lambda_1 = 80 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}), \lambda_2 = 120 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$



**Рисунок 4** — Зависимости температуры рабочей поверхности долота от угловой координаты (а) при  $p = 27,3$  (1) и  $30$  (2) МПа и относительного значения коэффициента теплообмена (б) при  $\theta = 88$  (1) и  $65$  (2) градус в процессе бурения песчаника для:  $K = 100, Z = 800/630$  (те же условия, что и на рис. 3)

зернистости  $Z$  (рис. 3, б) алмазов. Для экономии дорогостоящего сырья (природных алмазов), используемого в возрастающем объеме, целесообразнее использовать в технологии производства таких композитов концентрацию алмазов  $K=100$  зернистостью  $800/630 - 1000/800$ .

Продолжая обсуждать температурное поле в долоте, следует отметить, что температура поверхности существенно зависит от угловой координаты  $\theta$  (рис. 4, а). Увеличение  $\theta$  приводит к росту линейной скорости режущих элементов, что и обуславливает неравномерные распределения температуры на рабочей поверхности и изнашивание инструмента. Из этого следует, что для обеспечения равномерного износа алмазного долота необходимо его

периферийную поверхность (по ходу увеличения угловой координаты) оснащать большим количеством буровых вставок. Температурное поле алмазных долот существенно зависит от относительного значения коэффициента теплообмена  $\alpha$  (рис. 4, б), увеличение которого существенно снижает контактную температуру, что является резервом повышения износостойкости и надежной работы такого инструмента. Последнее обстоятельство напрямую связано с условиями подачи охлаждающей жидкости в забой и конструктивными особенностями промывочных пазов [5].

На рис. 5 построены зависимости температур рабочей поверхности долота при бурении песчаника от контактного давления  $p$  (рис. 5, а)

и скорости скольжения (рис. 5, б). Их анализ показывает, что увеличение технологических режимов бурения приводит к стремительному росту температуры рабочей поверхности алмазного долота. Последнее обстоятельство ука-

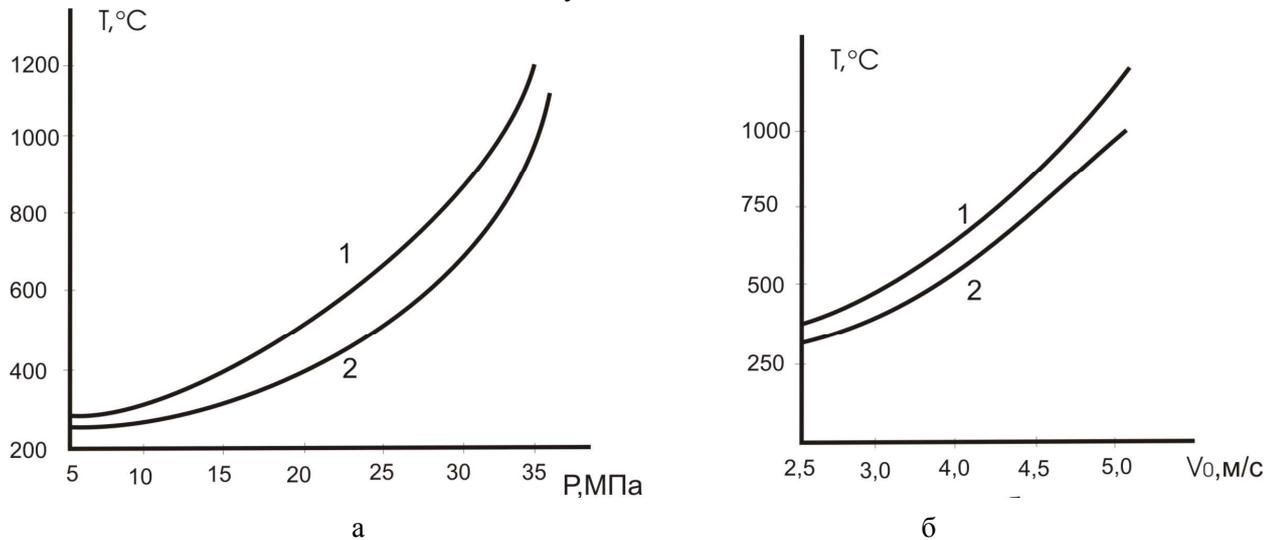


Рисунок 5 — Влияние давления (а) и линейной скорости вращения (б) при  $\theta = 85$  (1) и  $66$  (2) градус на температуру рабочей поверхности долота (условия те же, что и на рис. 4)

зывает на целесообразность использования рациональных режимов бурения, которые могут обеспечить существенное уменьшение износа дорогостоящих инструментов за счет снижения температурных воздействий на материал композита.

**Заключение.** Проведенные в работе исследования показывают, что температурное поле в алмазном долоте существенно зависит от физико-механических свойств алмазов и композита, относительного значения коэффициента теплообмена, режимов бурения, радиальной и угловой координаты профиля. Полученные результаты представляют научный интерес и имеют прикладное значение для определения геометрических и теплофизических характеристик алмазосодержащих композитов, технологии их спекания и оптимизации режимов бурения.

**Обозначения:**

$\lambda_i (i=1,2)$  – коэффициенты теплопроводности композита и алмазов;  
 $p$  – контактные давления;  
 $v$  – скорость скольжения;  
 $\alpha$  – коэффициент относительного теплообмена;  
 $K$  и  $3$  – относительная концентрация и зернистость алмазов;  
 $\rho$  и  $\Theta$  – сферические координаты;  
 $t$  – время бурения.

**Литература**

1. Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Исследование износа алмазных буровых долот. 2. Нестационарное температурное поле // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 2(19). – С. 54-59.
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. Арцимович Г.В. Механофизические основы создания породоразрушающего бурового инструмента. – Новосибирск: Наука, 1985. – 320 с.
4. 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.
5. Квач В.В. О классификационных признаках буровых долот ИСМ истирающего типа, оснащенных сверхтвердыми композиционными материалами // Буровой инструмент из сверхтвердых материалов: Сб. науч. трудов. – .: ИСМ АН УССР. – 1986. – С. 56-60.