

УДК 004.942:62-978

Т. С. Панасюк; А. А. Лещук, д-р техн. наук, В. В. Лысаковский, канд. техн. наук,
С. А. Ивахненко, член-корр. НАН Украины, В. А. Каленчук

Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ШЕСТИПУАНСОННОМ АППАРАТЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Проведено компьютерное моделирование распределения температуры в шестипуансонном АД и установлено влияние на него температуры окружающей среды. Полученные данные показывают, что изменение температуры воздуха от 5 до 35 °С изменяет температуру в отдельных точках камеры высокого давления на 20–70 °С, а вертикальный перепад температуры в ростовом объёме изменяется на 6 °С. Эти результаты прошли экспериментальную проверку и позволяют корректировать программу нагревания ростового объёма с учётом температуры окружающей среды.

Ключевые слова: монокристалл, алмаз, аппарат высокого давления, шестипуансонный аппарат, температура, компьютерное моделирование.

Благодаря уникальным физическим и химическим свойствам высококачественных кристаллов алмаза потребность в их производстве постоянно возрастает. В настоящее время наиболее эффективным способом выращивания крупных кристаллов алмаза является метод температурного градиента, который эффективно адаптирован к шестипуансонным аппаратам высокого давления (АВД) китайского производства [1; 2].

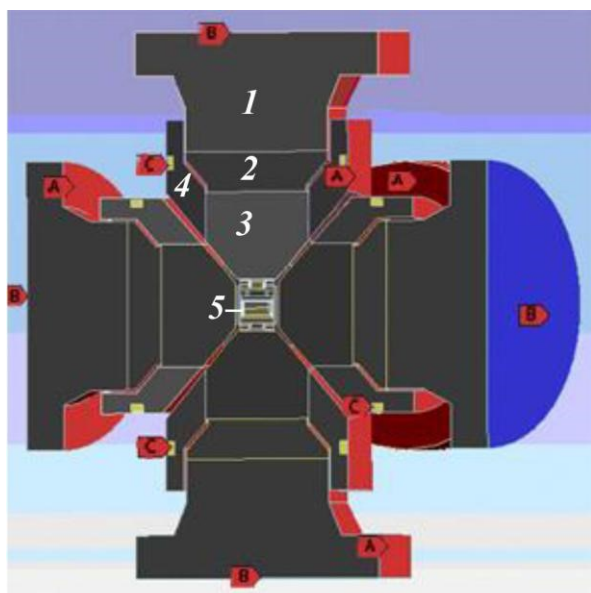


Рис.1. Шестипуансонный АД CS-VII в разрезе плоскостью вертикальной симметрии: 1 – опорная плита; 2 – подкладная плита; 3 – пуансон; 4 – охлаждающе-скрепляющее кольцо; 5 – камера высокого давления

теплопроводности: на участках, где поверхность аппарата контактирует с воздухом (А на рис. 1), задавали экспериментально измеренную температуру, коррелирующую с температурой окружающей

Экспериментальное определение температуры внутри ростового объёма АД затруднительно из-за невозможности размещения в нём термопар. Аналитическое определение температуры путём решения уравнения теплопроводности также проблематично вследствие сложности геометрии и разнообразия граничных условий на поверхности АД. В этой связи температурные поля рассчитывали методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS [3].

Компьютерная модель шестипуансонного АД включала ½ часть объёма аппарата, полученную его рассечением в плоскости вертикальной симметрии (рис. 1).

Граничные условия для задачи электропроводности: на торцевых поверхностях верхнего и нижнего пуансонов (В на рис. 1) задавали значения электрического потенциала таким образом, чтобы расчетная температура в т. Н (см. рис. 2, а) составляла ~ 1400 °С.

Граничные условия для задачи

среды. Так, при температуре воздуха 5 °С температура поверхностей АД составляла 30 °С, а при температуре воздуха 35 °С достигала 80 °С.

На торцах аппарата (В на рис. 1) задавали постоянную температуру: $T = 20\text{--}40$ °С.

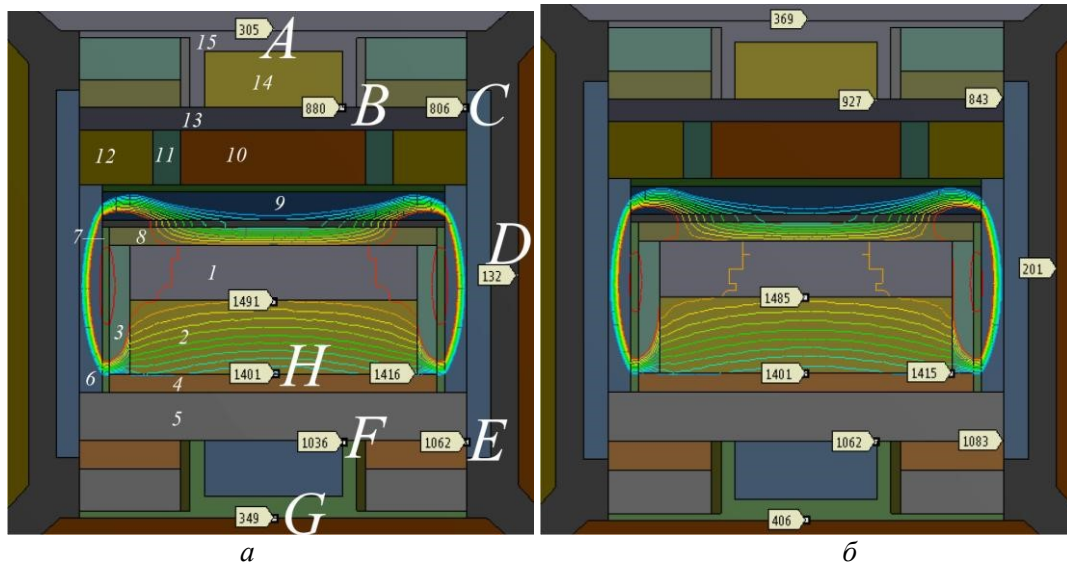


Рис. 2. Распределение температуры и её значения в точках камеры высокого давления: а – при температуре воздуха 5 °С; б – при температуре воздуха 35 °С.

1 – источник углерода; 2 – сплав-растворитель; 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14 – теплоизолирующие элементы; 5, 13 – тепло- и токопроводящие диски; 7, 11, 15 – токопроводы; 9 – композиционный нагреватель

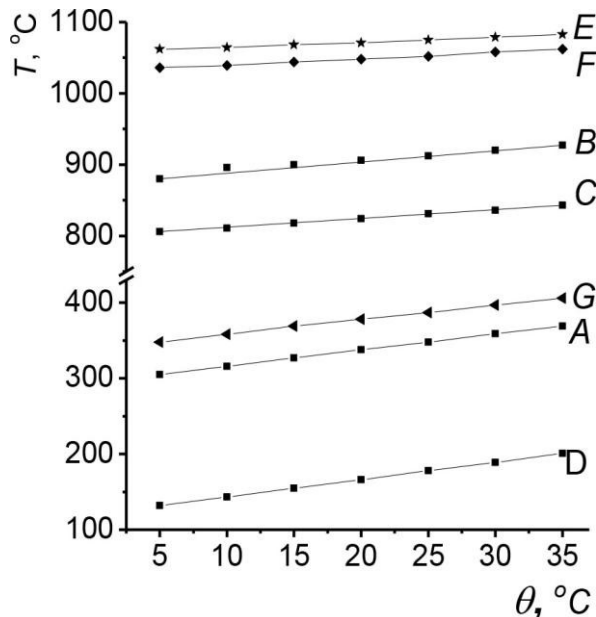


Рис. 3. Зависимость температуры в точках А–Г камеры высокого давления АД (см. рис. 2, а) от температуры воздуха

Вт/(м²·°С), $\alpha = 2440$ Вт/(м²·°С) в каналах охлаждения соответственно верхнего и нижнего пуансонов и боковых.

На участках внутренней водяной системы охлаждения (поверхности каналов С на рис. 1) задавали условие конвективного теплообмена с водой по закону Ньютона: $h = \alpha(T - \Theta)$, где h – плотность теплового потока, α – коэффициент теплоотдачи; T – искомая температура; Θ – температура окружающей среды. При этом α рассчитывали по формуле [4] $\alpha = 0,023\lambda Re^{0,8} Pr^{0,33}/D$, где $\lambda = 0,60$ Вт/(м·°С) – теплопроводность воды; $Re = \rho V/D\mu$ – число Рейнольдса, $\rho = 998,2$ кг/м³ – плотность воды, V – скорость воды, $D = 2wh/(w+h)$ – эквивалентный диаметр поперечного сечения канала с водой; $w = 0,007$ м – ширина поперечного сечения канала; $h = 0,014$ м – высота поперечного сечения канала; $\mu = 0,0010015$ Па·с – динамический коэффициент вязкости воды; $Pr = 6,9$ – число Прандтля [5].

Так как расход воды в системе охлаждения верхнего и нижнего пуансонов составляет 5,5 л/мин, боковых – 3,8 л/мин, при этом скорость воды $V = Q/S$ (где Q – расход воды в канале; S – площадь поперечного сечения канала), коэффициент теплоотдачи $\alpha = 3952$

Электро-, теплофизические свойства материалов конструкционных элементов АВД подробно описаны в [6, 7].

Из результатов анализа следует, что если температура воздуха изменяется от 5 до 35 °С, температура в точке *E* повышается на 70 °С, в точках *A* и *F* – примерно на 60 °С, в точках *B* и *C* – на 37–47 °С, в точках *D* и *E* – на 26–20 °С (рис. 3). При этом вертикальный перепад температуры в ростовом объёме уменьшится на 6 °С (рис. 4), а горизонтальный не изменится. Мощность нагревания уменьшается по линейному закону на 3 % (рис. 5).

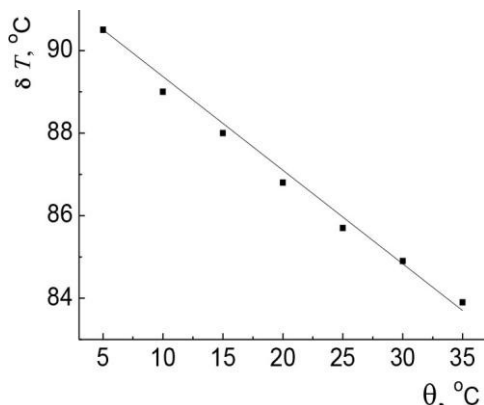


Рис. 4. Изменение вертикального перепада температуры в ростовом объёме в зависимости от температуры окружающей среды

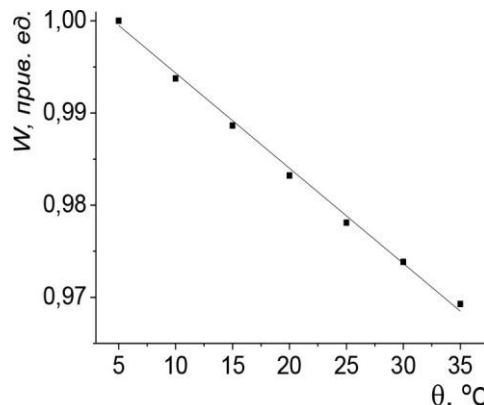


Рис. 5. Изменение мощности нагрева АВД в зависимости от температуры окружающей среды

Полученные результаты испытаны при выращивании монокристаллов алмаза методом температурного градиента с использованием прессовой установки CS-VII при усилии 27 МН, температуре 1400–1450 °С, давлении 5,7 ГПа и температуре окружающей среды 15–35 °С. Установлено, что наиболее оптимальные результаты относительно качества выращенных кристаллов получены при температуре окружающей среды не более 25 °С. При дальнейшем повышении температуры воздуха рост кристаллов на затравках прекращается. При этом затравочные кристаллы растворяются в сплаве растворителя до насыщения сплава углеродом. По нашему мнению это связано с тем, что такое повышение температуры воздуха приводит к изменению распределения тепловых полей в камере высокого давления что и подтверждается в расчётах.

Проведено комп'ютерне моделювання розподілу температури в шестипуансонному АВТ і встановлено вплив на нього температури навколишнього середовища. Отримані дані показують, що зміна температури повітря від 5 до 35 °С змінює температуру в окремих точках камери високого тиску на 20–70 °С, а вертикальний перепад температури в ростовім обсязі змінюється на 6 °С. Ці результати пройшли експериментальну перевірку і дозволяють коригувати програму нагріву ростового обсягу з урахуванням температури навколишнього середовища.

Ключові слова: монокристал, алмаз, апарат високого тиску, шестипуансонний апарат, температура, комп'ютерне моделювання.

The computer simulation of the temperature distribution in the six-punches AHP and found influence on him ambient temperature. These data indicate that changes in the air temperature from 5 to 35 °C changes the temperature at separate points high pressure chamber at 20–70 °C, while the vertical temperature gradient in the growth volume is changed to 6 °C. These results have been pilot-tested and allow you to adjust the heating program volume growth, taking into account the ambient temperature.

Key words: single crystal diamond, high-pressure, the six-punches machine, temperature, computer simulation.

Литература

1. Компьютерное моделирование условий кристаллизации алмаза в аппаратах высокого давления большого объема / Т.С. Панасюк, А.А. Лешук, В.В. Лысаковский и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его

- изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Ин-т сверхтв. материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2013. – Вып. 16. – С. 251–257.
2. Кинетика роста монокристаллов алмаза в шестипуансонном аппарате высокого давления / В.В. Лысаковский, Н.В. Новиков, В.В. Нагорный и др. // там же, 2014. – Вып. 17. – С. 209–212.
 3. Бруйка В.А. Инженерный анализ в Ansys Workbench: Уч. пособ. Ч. 1 – Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 271с.
 4. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
 5. Варгафник Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
 6. Свойства конструкционных материалов на основе углерода : Справ. / Под ред. В.П.Соседова. – М.: Металлургия, 1975. – 336 с.
 7. Теплопроводность твёрдых тел: Справ. / Под ред. В.С. Охотина. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 320 с.

Поступила 23.06.15

УДК 004.65:62-987:025.4.06

К. З. Гордашник, канд. техн. наук; **В. Н. Колодницкий**, канд. физ.-мат. наук; **Е. М. Чистяков**,
В. Н. Кулаковский, кандидаты технических наук; **Т. А. Сороченко**, **М. В. Дубенко**

Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

АППАРАТЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА КАК МНОГОУРОВНЕВАЯ ПОДСИСТЕМА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ «СТМ», РАЗРАБОТАННАЯ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГО-ТЕЗАУРУСНОГО АНАЛИЗА

На основе онтолого-тезаурусного анализа разработана многоуровневая подсистема предметной области «Сверхтвёрдые материалы», в которой представлены типы и элементы конструкций аппаратов высокого давления, используемые при статическом синтезе (НРНТ) сверхтвёрдых материалов.

Ключевые слова: онтология, тезаурус, интеллектуальный анализ, база знаний, сверхтвёрдые материалы, аппараты высокого давления, статический синтез.

В настоящее время наиболее перспективной научно-технической информацией практически во всех предметных областях являются онтологии и онтолого-тезаурусные системы [1; 2].

Онтологии – модели данных с двумя специфическими особенностями. Во-первых, онтологии строятся на основе совместного понимания специалистами предметной области. Такое понимание представляется соглашением экспертов относительно понятий и отношений в предметной области. Во-вторых, онтологии используют способ представления, который может обрабатываться компьютерными программами (т. е. записываются с использованием формальных языков), что позволяет компьютерам работать с онтологиями. К таким действиям относятся передача онтологий между компьютерами, хранение онтологий, проверка согласованности онтологий, формирование логических выводов на основе и с помощью онтологий.

Модель онтологии – это система логических соотношений, каждое из которых имеет смысловое содержание, с которым согласно большинство экспертов (специалистов предметной области), а вся система – суть представления знаний предметной области.

Основные концепции исследования онтологии предметной области следующие:

– при построении концептуальной модели используют предметные знания в виде набора понятий и связывающих их отношений; каждое понятие имеет имя и атрибуты (неотъемлемые свойства объекта или явления, в отличие от случайных преходящих его состояний), каждый атрибут – значение;