

24. List, E., Frenzel, J., & Vollstadt, H. (2006). A new system for single particle strength testing of grinding powders. *Industrial diamond review*, 1, 42–47.
25. Petasyuk, G.A. (2009). Diagnostyka morfometrychnykh kharakterystyk poroshkiv nadtverdykh materialiv zasobamy tsyfrovoi obrobky zobrazhen [Diagnostics of morphometric characteristics of powders of superhard materials by means of digital image processing]. *Vidbir i obrobka informatsiyi – Selection and processing of information*, 30 (106). 138–145.
26. Poltoratskiy V.G., Petasyuk G.A., Safonova M.N., et al. (2014). A novel composite abrasive material of unmarketable natural diamond powder. *Journal of Superhard Materials*, 36(2), 136–144.
27. Petasyuk, G.A., & Sirota, Yu.V. (20012). Analytical determination of a number of particles per carat for diamond powders on the basis of an extrapolation-affine 3D grain model. *Journal of Superhard Materials*. 34(3). 200–208.
28. Petasyuk, G.A. (2010). Interpretative and applied aspects of some morphological characteristics of superabrasive powders. *Journal of Superhard Materials*, 2, 128–139.
29. Novikov, N.V., Nikitin, Y.I., & Petasyuk G.A. (2003). Computer-based diagnostic sieve for identification of grit size and grit size distribution in microscopic samples of diamond grits. *Journal of Superhard Materials*, 25(3), 68–78.

УДК 519.7

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-166-169

Т.С. Панасюк, канд. техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська 2, 04074 м. Київ, e-mail: scripse@ukr.net*

ОБЧИСЛЕННЯ ПОТУЖНОСТІ СТРУМУ НАГРІВАННЯ ШЕСТИПУАНСОННОГО АПАРАТУ ВИСОКОГО ТИСКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ANSYS APDL

У даній роботі запропоновано метод обчислення потужності струму нагрівання шестипуансонних апаратів високого тиску при чисельному моделюванні розподілу температури при спонтанному синтезі кристалів алмазу з використанням програмного комплексу ANSYS WORKBENCH і мови програмування APDL. Запропонований метод перевіряється для задачі, яка має аналітичний розв'язок. Також показане добре співпадіння розрахункових даних з експериментальними.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, потужність нагріву, APDL

Завдяки своїм унікальним властивостям кристали алмазу широко використовуються в різних сферах промисловості. Великі і чисті кристали алмазів в природі зустрічаються в недостатній кількості, тому проблема їх штучного виробництва надзвичайно важлива. Для вирощування крупних структурно досконалих кристалів використовують шестипуансонні апарати високого тиску (АВТ) китайського виробництва та метод температурного градієнту [1, 2]. При розробці нових схем спорядження комірок високого тиску основна проблема полягає в відшуканні такої схеми резистивного нагрівання, яка б забезпечувала необхідний розподіл температури в ростовому об'ємі. Зазначений метод надзвичайно вимогливий до значень температури в ростовому об'ємі, а експериментальне визначення температури – доволі складний процес, тому для визначення розподілу температури доцільно застосовувати чисельні методи. Одна з програм, яку доцільно використовувати для таких задач – це програмний комплекс ANSYS WORKBENCH. Нагрів ростової комірки здійснюється змінним

струмом, який пропускається через систему резистивних елементів, під'єднаних до верхнього і нижнього пуансонів АВТ. Програмний комплекс *ANSYS WORKBENCH* не дозволяє отримати значення потужності струму в явному вигляді, але його можна обчислити, використовуючи мову програмування *APDL*.

У даній роботі за допомогою мови програмування *APDL* пропонується метод обчислення потужності нагріву шестипуансонного АВТ і виконується порівняння отриманого значення з даними експерименту.

Спочатку розглянемо випадок мідного проволу радіусом 1 мм і довжиною 100 мм.

Як відомо, потужність електричного струму обчислюється за формулою $P=U^2/R$, де U – електричне напруження, $R=\rho l/S$ – електричний опір, де $\rho=1,75 \cdot 10^{-5}$ Ом·мм – питомий опір міді, $l=100$ мм – довжина провідника, $S=r^2\pi$ – площа перерізу провідника, де $r=1$ мм – радіус провідника. Задамо на торцях проволки електричне напруження $U=5$ В. Тоді потужність струму $P=44879,89$ Вт.

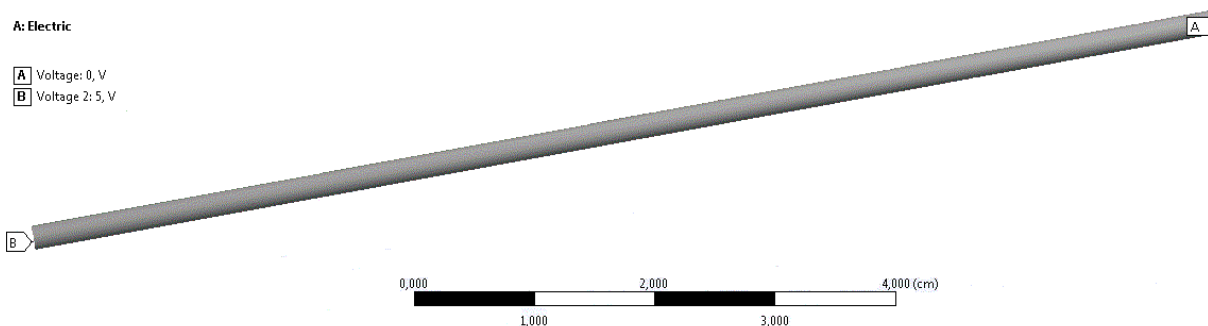


Рис. 1. Загальний вигляд розрахункової схеми дроту

Виконаємо ті самі розрахунки, використовуючи програмний комплекс *ANSYS WORKBENCH* модуль *Electric*. Схематичне зображення проволки довжиною 100 мм наведене на рис. 1. На поверхні *A* (рис. 1) задавали нульовий потенціал. На поверхні *B* (рис. 1) граничну умову задавали, створивши в розділі *Steady-State Electric Conduction* дерева проекту об'єкт *commands* з наступним кодом:

```
nset, all
nset, s,loc,y,0 !вибираємо всі вузли на поверхні B (рис. 1)
cp,2,volt,all !зв'язуємо всі вузли поверхні B (рис. 1) в один вузол n_electrode
n_electrode=ndnext(0)
d, n_electrode,volt,5 !задаємо на вузлі n_electrode потенціал 5 В
nset, all
```

Далі в розділі *Solution* дерева проекту додаємо об'єкт *commands* з наступним кодом:

```
/post26
RFORCE,2, n_electrode,AMPS !отримуємо значенні сили струму
*GET,size,VARI,,NSETS !число кроків навантаження
*dim,CurrArr,array,size !створюється масив необхідного розміру
VGET,CurrArr(1),2 !зберігаємо отримані дані в масив
I=CurrArr(1)
P=I*5 !обчислюємо потужність струму
*CFOPEN, results.txt !створюємо файл results.txt в папці "user_files" проекту !Workbench
*VWRITE,P
Power(P) = %f
```

*CFCLOSE

В результаті отримуємо значення потужності $P=44879$ Вт, тобто розрахована величина потужності струму майже повністю співпадає з аналітичним розв'язком.

Необхідно зазначити, що розрахунки проводились з припущенням, що струм постійний, тоді як на практиці нагрів здійснюється змінним струмом. При змінному струмі виникає скін-ефект і струм при протіканні по провіднику розподіляється не рівномірно, а переважно в поверхневому шарі. Тому можна припустити, що потужність змінного току буде дещо меншою, ніж обчислена тут потужність постійного струму.

Наступним кроком проведемо аналогічні обчислення потужності струму нагрівання шестипуансонного АВТ при спонтанному синтезі кристалів алмазу. Чисельна модель, граничні умови і експериментальні дані для перевірки отриманих результатів детально наведені в роботі [3].

Оскільки в шестипуансонному АВТ струм пропускається через систему резистивних елементів, які з'єднані послідовно (позначені сірим кольором на рис. 2), то сила струму на

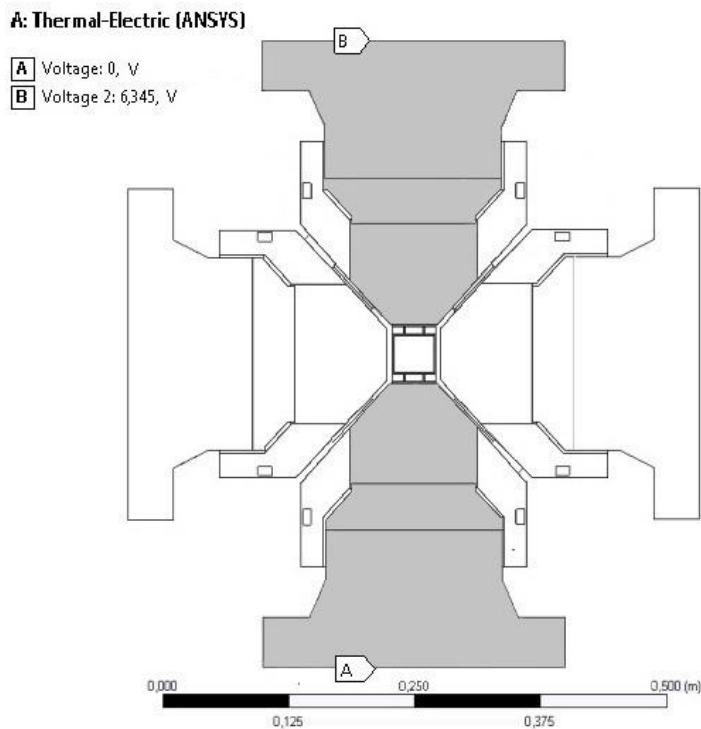


Рис. 2. Загальний вигляд розрахункової схеми шестипуансонного АВТ CS-VII в розрізі площиною вертикальної симетрії

кожному з елементів однакова, і достатньо обчислити силу струму на торці пуансону *A* (рис. 2). Між торцями пуансонів *A* і *B* (рис. 2) задано різницю потенціалів 6,345 В.

Використавши наведені вище APDL вставки при моделюванні розподілу температури в шестипуансонному АВТ при спонтанному синтезі кристалів алмазу, отримали значення потужності струму $P=5993,74$ Вт. В роботі [3] зазначено, що потужність струму нагріву шестипуансонного АВТ під час спонтанного синтезу кристалів алмазу змінюється від 6,2 до 5,8 кВт. Отже, результати комп'ютерного моделювання потужності струму, виконані в середовищі ANSYS WORKBENCH з застосуванням мови програмування APDL, достатньо добре співпали з результатами експерименту. Тому потужність струму нагрівання може виступати ще одним параметром, який на рівні з конфігурацією і складом елементів ростової комірки дозволяє варіювати температуру в точках та градієнти температури в ростовому об'ємі при синтезі кристалів алмазу. Аналогічно можна розраховувати потужність струму при вирощуванні кристалів методом температурного градієнту. Також величина потужності струму нагрівання дозволяє оцінювати економічну складову експериментів.

T. Panasiuk

V. N. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine

**CALCULATION OF THE HEATING CURRENT POWER
OF A SIX-PUNCH HIGH-PRESSURE APPARATUS USING ANSYS APDL**

Due to their unique properties, diamond crystals are widely used in various fields of industry. Large and clean diamonds are found in nature in insufficient quantities, therefore the task of their artificial production is relevant today. The main method of growing artificial diamond crystals is the temperature gradient method. The specified method is extremely demanding on the temperature values in the growth volume. Experimental determination of temperature is a rather complex process, so it is advisable to use computer modeling methods, namely the ANSYS software complex. One of the parameters that allows you to change the temperature in the growth volume is the power of heating six-punch high-pressure devices with alternating current. However, the ANSYS software complex does not allow you to obtain the value of the current power in an explicit form. In this paper, a method of calculating electric current power using the APDL programming language is proposed. The proposed method is tested for a problem that has an analytical solution. A good agreement between the calculated and experimental data is also shown.

Key words: *computer simulation, heating power, APDL*

Література

1. Strong H., Wentorf R. The growth of large diamond crystals. *J. Naturwissenschaften*. 1972. Vol. 59, N 1. P. 1–7.
2. Wentorf R. Some studies of diamond growth rates. *J. Phys. Chem.* 1971. V. 75, N 12. P. 1833–1837.
3. Панасюк Т. С., Лещук А. А., Лысаковский В. В. и др. Компьютерное моделирование условий кристаллизации алмаза в аппаратах высокого давления большого объема. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. Сб. науч. тр. Вып. 16. Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2013. С. 251–257.

Надійшла 08.09.23

References

1. Strong, H., & Wentorf, R. (1972). The growth of large diamond crystals. *J. Naturwissenschaften*, 59(1), 1–7.
2. Wentorf R. (1971). Some studies of diamond growth rates. *J. Phys. Chem.* 75(12), 1833–1837.
3. Panasiuk, T. S., Leshchuk, A. A., Lysakovskiy, V. B., et al. (2013). Komp'yuternoe modelirovanie uslovii krystallizatsii almaza v apparatakh vysokoho davleniia bolshoho obema [Computer modeling of diamond crystallization conditions in large volume high-pressure apparatuses]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications* (16nd Issue, p. 251–257). ISM im. V.N. Bakulia, NAN Ukrainy [in Russian].