

- семинар : тез. докл. – Свалява, Карпаты, 24–28 февраля 2014 г. – К. : АТМ Украины, 2014. – С. 114–115.
19. Зернисті компакти на основі мікропорошків КНБ в структурі робочого шару алмазно-абразивного інструмента / В. І. Лавріненко, Б. В. Ситник, В. Г. Полторацький та ін. // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : междунар. науч.-техн. семинар : тез. докл. – Свалява, Карпаты, 24–28 февраля 2014 г. – К. : АТМ Украины, 2014. – С. 115–117.
20. Зернистые компакты микропорошков КНБ в виде опорных антифрикционных элементов в рабочем слое алмазных кругов / В. И. Лавриненко, Н. В. Новиков, В. Г. Полторацкий и др. // Порошковая металлургия: современное состояние и будущее : тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф. 22–25 апреля 2014 г. – К., 2014. – С. 91–92.
21. Современные пасты и полировальные составы из сверхтвердых материалов в машино- и приборостроении / Г. П. Богатырёва, В. И. Лавриненко, Ю. И. Никитин и др. // Вісн. Чернігів. держ. технолог. ун. – 2001. – № 4 (53). – С. 56–62.

Поступила 16.06.15

УДК 62-987:621.921.34

О. І. Боримський, канд. техн. наук, **Т. О. Пріхна**, доктор техн. наук, **С. Б. Полотняк**, канд. техн. наук, **І. О. Боримський**, **Т. О. Псярнецька**, **В. М. Крикун**, інженери

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ

АПАРАТИ ВИСОКОГО ТИСКУ ТИПУ ЦИЛІНДР-ПОРШЕНЬ ДЛЯ СПІКАННЯ КРУПНОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ ІЗ КОМПОЗИТІВ

Розроблена гама апаратів високого тиску (АВТ) типу “циліндр-поршень” (АВТ ЦП) з об’ємом порожнини високого тиску від 30 до 4200 см³ для створення тисків до 1,2 ГПа і температури до 1500 °С. Апарати призначені для спікання крупногабаритних виробів конструкційного та інструментального призначення – пуансонів для АВТ, різальних пластин, блоків із надпровідної кераміки та ін., які виготовляють із порошкових композитів різного складу. Працездатність АВТ ЦП підтверджена як результатами чисельного моделювання їхнього термо-механічного стану, так і випробуванням апаратів при спіканні виробів із композитів.

Ключові слова: апарат високого тиску типу циліндр-поршень, крупногабаритний виріб, композиційний матеріал, тиск, температура, поле температур, напружено-деформований стан.

Вступ

В різних галузях сучасного виробництва широко використовують вироби конструкційного та інструментального призначення – пуанسونи для АВТ [1, 2], різальні пластини [3], блоки із надпровідної кераміки [4] та ін., виготовлені шляхом високотемпературного спікання із порошкових композитів різного вихідного складу.

В багатьох випадках вироби із композитів спікають під тиском, завдяки чому зменшується їхня пористість, скорочується час спікання та підвищуються фізико-механічні характеристики. Зазвичай тиск при спіканні крупногабаритних виробів із композитів не перевищує 30–80 МПа, при цьому вироби спікають у прес-формах із графіту, використовуючи індукційне нагрівання. Слід відмітити, що вказана вище величина тиску обмежена механічними характеристиками прес-форм.

Для дослідження ефективності спікання композитів при підвищених тисках (до 1,2 ГПа) та високій температурі (до 1500 °С) необхідні спеціальні апарати, здатні працювати при вказаних високих параметрах.

Проведений нами аналіз конструкцій та технічних характеристик апаратів високого тиску (АВТ) різних типів показав, що для спікання крупногабаритних виробів із порошкових композитів при вказаних вище високих тисках та температурі найбільш доцільно використовувати АВТ типу “циліндр-поршень” (АВТ ЦП), які мають найбільш просту конструкцію та зручні у використанні.

В даній роботі представлена гама розроблених нами АВТ ЦП з об’ємом порожнини високого тиску від 30 до 4200 см³ для спікання крупногабаритних виробів із порошкових композитів при тисках до 1,2 ГПа та температурі до 1500 °С.

Методики дослідження

При розробці АВТ ЦП за основу було взято апарат типу “циліндр-поршень” стандартної конструкції, який складається із циліндру, здатного витримувати високий тиск, який створюють в контейнері при спіканні зразків, та 2-х поршнів, за допомогою яких стискають контейнер з розміщеним в його реакційній комірці зразком для спікання.

Термо-механічний стан АВТ ЦП при створенні високих тисків та температури визначали шляхом чисельного моделювання методом скінченних елементів (МСЕ) із використанням пакетів програм [5–8].

Для створення високого тиску та температури в АВТ ЦП використовували серійні пресові установки для синтезу надтвердих матеріалів силою від 6,3 до 50 МН.

Результати

Для високотемпературного спікання крупногабаритних виробів із порошкових композитів при тисках до 1,2 ГПа та температурі до 1500 °С розроблена та досліджена гама АВТ ЦП з об’ємом порожнини високого тиску від 30 та 4200 см³.

Схема одного із розроблених АВТ ЦП представлена на рис. 1. Апарат включає: циліндр, до

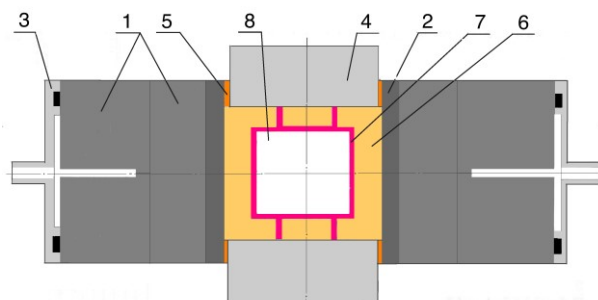


Рис. 1. Схема АВТ ЦП для спікання виробів із порошкових композитів

якого входять багатощаровий блок кілець 1 (в конструкції, представлений на рис. 1, використано двошаровий блок), розрізна втулка 2 та обойма 3; поршні 4; електроізоляційні прокладки 5; контейнер 6 з нагрівачем 7; зразок із композиту 8, встановлений в реакційному об’ємі контейнера.

Кільця багатощарового блоку 1, розрізна втулка 2 та поршні 4 виготовляються із загартованої високоміцної конструкційної сталі (сталі 35ХГСА, 40ХН2МА та ін.), контейнер 6 – із термостійкого електроізоляційного матеріалу з низькою теплопровідністю, елементи нагрівача 7 – із графіту. Для виготовлення елементів

нагрівача перспективно використовувати графітову фольгу, наприклад, марки ТМГ-Ф/В2 ТУ У 26.8-30969031-002-2002.

Через кільцевий паз, виконаний в блоці кілець, в процесі спікання виробів із композитів пропускають воду, що забезпечує охолодження апарату.

Зразки АВТ ЦП з різним об’ємом порожнини високого тиску представлені на рис. 2, а їхні технічні характеристики – в табл. 1.

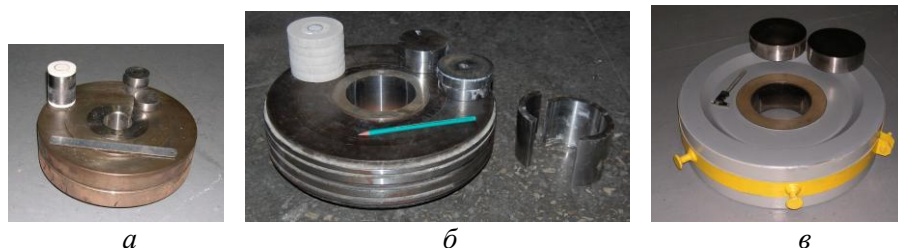


Рис. 2. Фотографії АВТ ЦП з робочим об’ємом 135 (а), 450 (б) та 4200 (в) см³

Розподіл температури в контейнері та в реакційній комірці АВТ ЦП-230 при створенні в центрі комірки температури 1300 °С представлено на рис. 4.

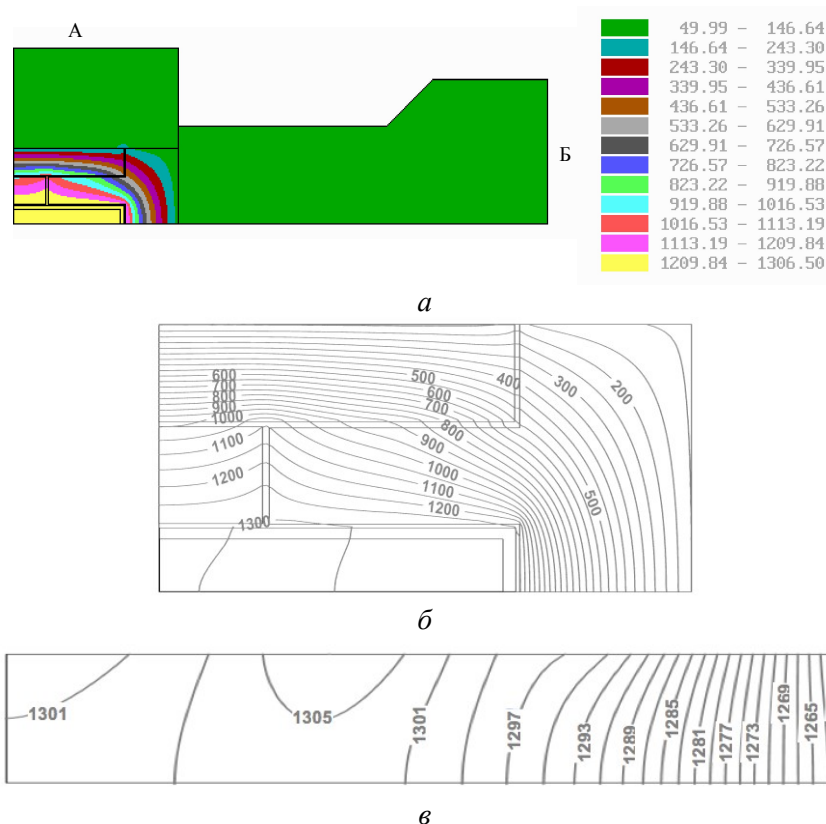


Рис. 4. Розподіл температури в АВТ ЦП-230 (а, ізополіси), контейнері (б, ізолінії) та в реакційній комірці (в, ізолінії) при температурі в центрі реакційної комірки 1300 °С

Як видно із результатів розрахунку, перепад температури в об'ємі реакційної комірки не перевищує 40 °С при створенні в її центрі температури 1300 °С, що є позитивним результатом, враховуючи великий об'єм комірки.

Розрахунок напружено-деформованого стану АВТ ЦП-230

При розрахунках напружено-деформованого стану (НДС) використовували методики, алгоритми та програмне забезпечення для чисельного, методом скінченних елементів, розв'язання контактних термопружнопластичних задач при кінцевих деформаціях [5–7].

Розрахунок НДС проведено для двох схем апарату – апарат без розрізної втулки (осесиметрична задача) – схема 1, та апарат з розрізною втулкою (не осесиметрична задача) – схема 2.

На рис. 5 наведено загальний вигляд циліндра АВТ ЦП-230, що складається з блоку кілець та розрізної втулки.

Матеріал елементів циліндра – сталь 35ХГСА твердістю 50 НРС.

На рис. 6 наведено геометричні розміри та скінченноелементні дискретизації елементів циліндра.

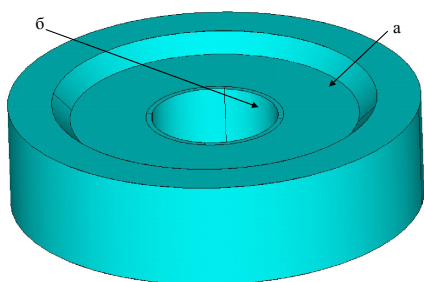


Рис. 5. Циліндр апарату АВТ ЦП-230:
а – корпус; б – розрізна втулка

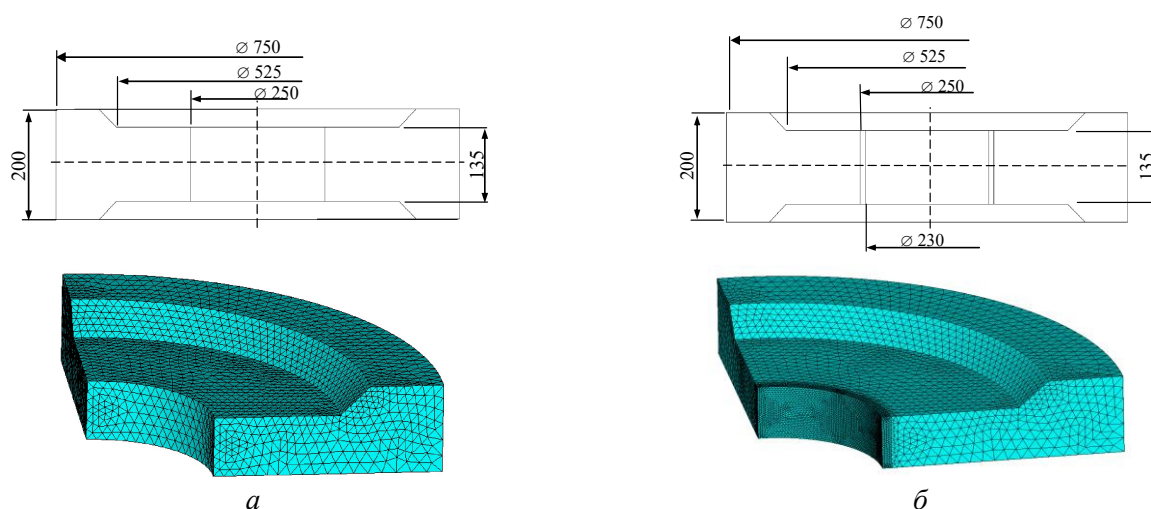


Рис. 6. Геометричні розміри та схеми дискретизації елементів циліндра для схем 1 (а), та 2 (б)

На рис. 7 та 8 наведено розподіл інтенсивності напружень σ_i ($\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}$) та накопиченої пластичної деформації e_i^{pl} у елементах циліндра під дією тиску 1,2 ГПа для розрахункових схем 1 та 2.

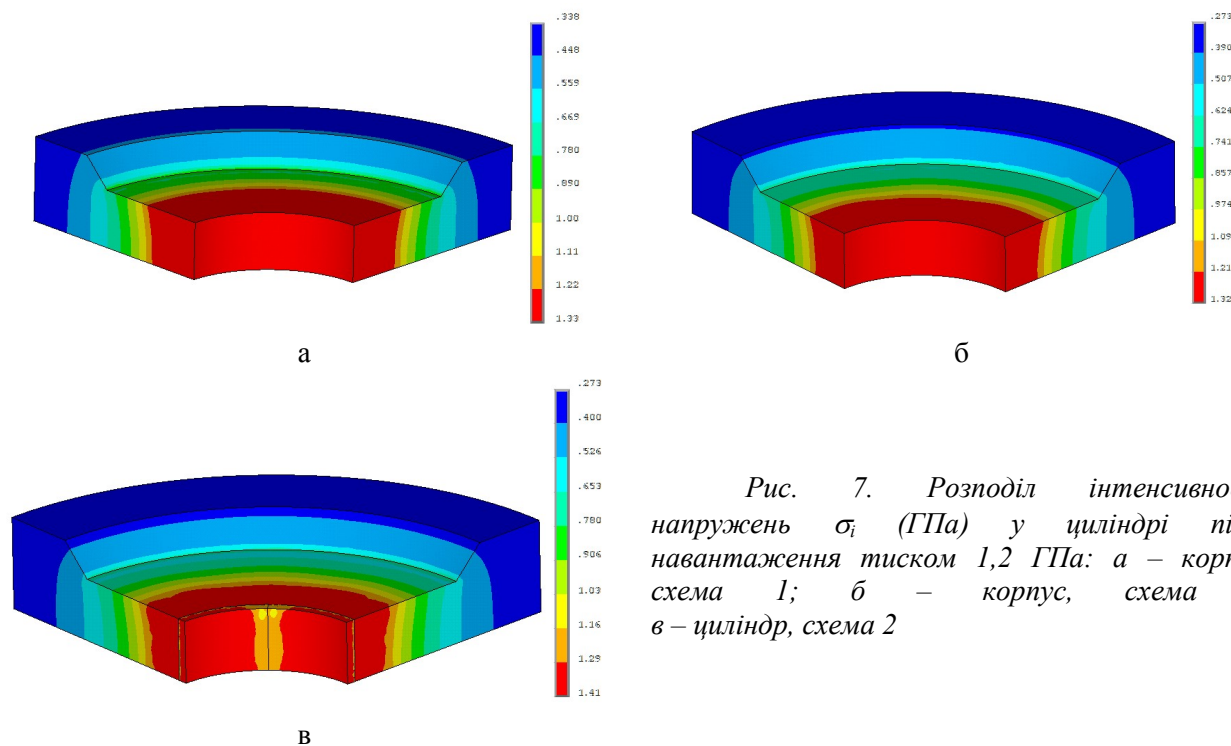


Рис. 7. Розподіл інтенсивності напружень σ_i (ГПа) у циліндрі після навантаження тиском 1,2 ГПа: а – корпус, схема 1; б – корпус, схема 2; в – циліндр, схема 2

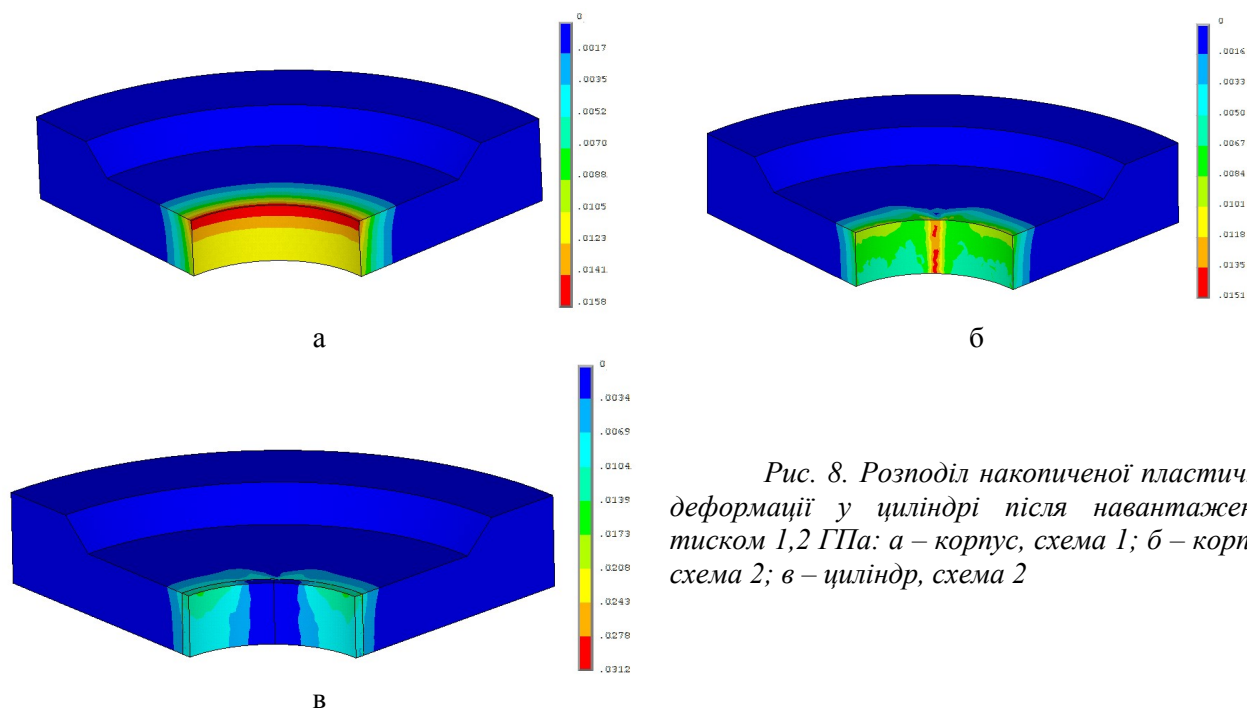


Рис. 8. Розподіл накопиченої пластичної деформації у циліндрі після навантаження тиском 1,2 ГПа: а – корпус, схема 1; б – корпус, схема 2; в – циліндр, схема 2

АВТ ЦП розглянутих конструкцій пройшли випробування з позитивними результатами при спіканні композитів. Встановлено, що завдяки наявності розрізної втулки контейнери з встановленими в них зразками із композитів не руйнуються при випресовці, що важливо при проведенні досліджень.

Висновки

1. Розроблена гама АВТ ЦП з об'ємом порожнини високого тиску від 30 до 4200 см³ для створення тисків до 1,2 ГПа і температури до 1500 °С, надійних в експлуатації та зручних в обслуговуванні.

2. Завдяки оснащенню АВТ ЦП розрізною втулкою покращується напружено-деформований стан циліндра при створенні високого тиску та забезпечується випресовка контейнера із розміщеним в ньому зразком після процесу спікання без руйнування.

3. Наявність гама АВТ ЦП з різним об'ємом порожнини високого тиску забезпечує можливість використовувати апарат з оптимальним об'ємом порожнини в залежності від вимог експерименту.

Разработана гамма аппаратов высокого давления (АВД) типа "цилиндр-поршень" (АВД ЦП) с объемом полости высокого давления от 30 до 4200 см³ для создания давлений до 1,2 ГПа и температуры до 1500 °С. Аппараты предназначены для спекания крупногабаритных изделий конструкционного и инструментального назначения – пуансонов для АВД, режущих пластин, блоков из сверхпроводящей керамики и др., которые изготавливают из порошковых композитов различного состава. Работоспособность АВД ЦП подтверждена как результатами численного моделирования термо-механического состояния АВД, так и испытанием аппаратов при спекании изделий из композитов.

Ключевые слова: аппарат высокого давления типа цилиндр-поршень, крупногабаритное изделие, композиционный материал, давление, температура, поле температур, напряженно-деформированное состояние.

The range of the "cylinder piston" type high-pressure apparatuses (HPA CP) with a volume of a cavity of a high pressure from 30 to 4200 cm³ for creations of pressure to 1,2 GPa and temperature up to 1500 °C is developed. Devices are intended for sintering of large-size products of constructional and tool applications – punches for HPA, the cutting plates, blocks from superconducting ceramics, etc. which are made from powder composites of various structures. Workability of HPA CP is confirmed both by results of a numerical simulation of thermo-mechanical

condition of HPA, and test of devices at sintering of products from composites.

Key words: piston-cylinder high pressure apparatus, large-sized compact, composite material, high pressure, high temperature, temperature field, stress-strain state.

Література

1. Shuangmeng Zhai, Eiji Ito. Recent advances of high-pressure generation in a multianvil apparatus using sintered diamond anvils // *Geoscience Frontiers*. – 2011. – Vol. 2. – Issue 1. – P. 101–106.
2. Osamu Ohtaka, Masaru Shimono, Naoyuki Ohnishi at al. HIP Production of Diamond-SiC Composites and Their Application to High-Pressure Anvils // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 2004. – Vol. 143–144. – P. – 587–591.
3. Бурков П. В. Горячее прессование сплавов TiC-NiTi с нагревом ТВЧ // *Вестник КузГТУ*. – 2008. – № 5. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/goryachee-pressovanie-splavov-tic-niti-s-nagrevom-tvch>.
4. T. Prikhna, W. Gawalek, M. Eisterer at al. The effect of high-pressure synthesis on flux pinning in MgB₂-based superconductors // *Physica C: Superconductivity*. – 2012. – Vol. 479. – P. 111–114.
5. Полотняк С. Б. Методика чисельного моделювання процесів мартенситних фазових перетворень у малих обсягах матеріалів при деформуванні на алмазних ковадлах // *Сверхтв. матеріали*. – 2008. – № 2. – С. 13–28.
6. Лавриков С.А. Программный комплекс для моделирования процессов контактного взаимодействия твердых тел // *Артиллерийские ствольные системы, боеприпасы, Сб. трудов 2 Междунар. конф., Киев, 27-29 окт. 1998.* – Киев, 1998. – С. 36–51.
7. Idesman A. V. and Levitas V. I. Finite element procedure for solving contact thermoplastic problems at large strain, normal and high pressures // *Comp. Meth. in Appl. Mech. And Eng.* – 1995. – 126. – P. 39–66.
8. Лещук А. А. Термомеханика спонтанной кристаллизации алмазов в аппаратах высокого давления: дис. ... д-ра техн. наук. – Киев, 2004. – 324 с.

Поступила 12.06.15 г.

УДК 620.22–621.921.34

М. О. Азаренков, акад. НАН України¹; **В. А. Мечник**², **М. О. Бондаренко**²,
Е. С. Геворкян³, доктори технічних наук, **О. М. Мельник**³, канд. техн. наук, **В. О. Чишкала**¹,
кандидати технічних наук, **С. В. Литовченко**, д-р техн. наук¹, **М. О. Кузін**, канд. техн. наук⁴

¹Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Україна

²Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

³Українська державна академія залізничного транспорту, Україна, м. Харків

⁴Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту
ім. ак. В. Лазаряна, Україна

ВПЛИВ СПОСОБУ СПІКАННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ АЛМАЗ–(Fe-Cu-Ni-Sn)

Досліджено структуру та властивості композиційних матеріалів алмаз–(Fe-Cu-Ni-Sn), отриманих гарячим пресуванням за температури 20–800 °С та тиску 0,5–40 МПа і спіканням в прес-формі у печі в середовищі водню за температури 800 °С упродовж 1 год з гарячим допресовуванням за різного тиску. Структурні, хімічні, морфологічні та трибологічні властивості композитів визначено дифракцією рентгенівських променів, фотоелектронною рентгенівською спектроскопією, растровою та просвічувальною електронною мікроскопією, методами «штифт на крузі» і випробуванням на зносостійкість. Встановлено, що зносостійкість композиту за гарячого пресування порівняно із спіканням у прес-формі в печі з гарячим допресовуванням підвищується у 2,4