

**Е. М. Луцак\***, **О. О. Бочечка\*\***, **В. М. Ткач,**

**Н. М. Білявина** (м. Київ)

\*edlutsak32@gmail.com

\*\*bochechka@ism.kiev.ua

## **Вивчення взаємодії в системах Си–Ті–алмаз і Со–W–алмаз при змочуванні алмазних полікристалів та просочуванні алмазного нанопорошку УДА в умовах високих тиску і температури**

*Описано закономірності взаємодії алмаз–металічний сплав системою мідь–титан і кобальт–вольфрам в умовах термодинамічної стабільності алмазу. Досліджено можливість металізації алмазних полікристалів і композитів при їх спіканні в апараті високого тиску.*

**Ключові слова:** алмазний нанопорошок, спікання, високий тиск, коефіцієнт просочення.

### **ВСТУП**

Оскільки алмазні моно- і полікристали, які використовують в різних інструментах, як правило, поміщають в металеву матрицю, інформація про змочування і адгезію алмазу щодо металів становить значний інтерес і має велике практичне значення. В роботі розглянуті особливості взаємодії між алмазом і рідкою фазою металу, що є важливим при впаюванні в інструмент алмазних робочих поверхонь. Необхідність такого кріплення при неможливості використання громіздких механічних утримувачів спонукає до пошуку таких металів і сплавів, які забезпечують високу адгезію з алмазом, не погіршують його фізико-механічні властивості і паяються при температурах, що не ведуть до його деградації. З метою виконання поставленого завдання провели експерименти з вивчення взаємодії розплавів кобальт–вольфрам та мідь–титан з алмазним середовищем, зокрема, розглянули змочування ними алмазних полікристалів і композитів при високих тиску і температурі, а також їх просочення через алмазний порошок (ультрадисперсний алмаз (УДА)) під час його спікання при таких самих умовах.

### **МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Міграцію розплавів мідь–титан та кобальт–вольфрам здійснювали при тиску 8 ГПа в діапазоні температур 1500–1900 °С в робочій комірці апарату високого тиску (АВТ) типу “гороїд” шляхом просочення рідкої фази через середовище, утворене при таких умовах алмазним нанопорошком УДА. Комірку високого тиску споряджали таким чином (рис. 1), щоб фіксувати час і глибину просочення.

Як відомо [1], міграція розплавів на основі кобальту при спіканні алмазних порошоків методом просочення в умовах високих тиску та температур на глибину  $l$  за час  $\tau$  описується законом Дарсі [2]:

$$l^2 = 2 \frac{K_{\text{п}}}{\eta} \Delta p \tau,$$

де  $K_{\text{п}}$  – коефіцієнт проникності;  $\eta$  – динамічна в'язкість рідини;  $\Delta p$  – перепад тиску за товщиною зразка. В іншому вигляді цей закон записується як [3]

$$l^2 = k\tau,$$

де  $k = 2 \frac{K_{\text{п}}}{\eta} \Delta p$  – коефіцієнт просочення.

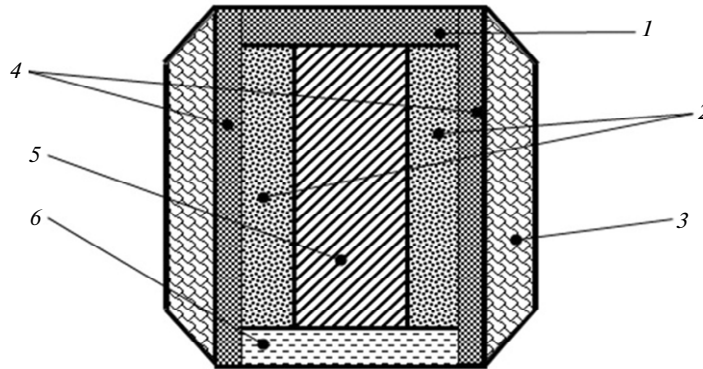


Рис. 1. Спорядження комірки високого тиску при вивченні просочення алмазного нанопорошку розплавом мідь–титан: 1 – графітовий диск; 2 – алмазний нанопорошок; 3 – контейнер з літографського каменю; 4 – графітовий нагрівач; 5 – мідно-титановий сплав; 6 – диск з графітоподібного BN.

Температуру визначали за записаними значеннями потужності електричного струму згідно калібровочного графіка.

Вміст титану в розплаві з міддю і вольфраму в розплаві з кобальтом становив 5, 10, 20, 30 і 50 % (за об'ємом). Час міграції рідкої фази  $\tau$  на задану глибину  $l$  визначали безпосередньо в навантаженому АВТ.

Реєстрацію початку та кінця просочення здійснювали за характерними змінами струму (рис. 2), які фіксували та передавали на персональний комп'ютер.

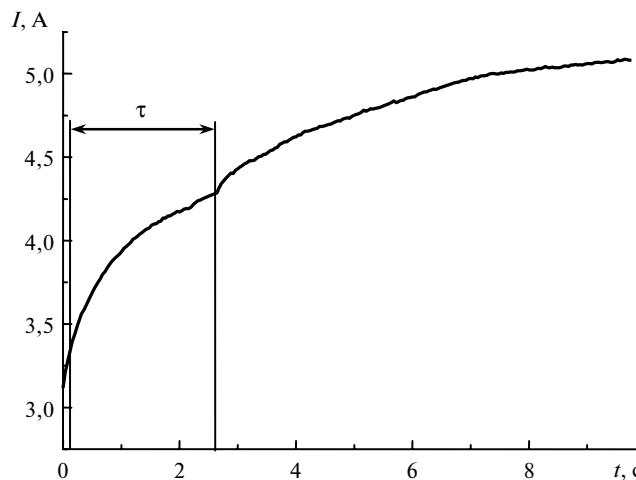


Рис. 2. Зміна струму при просоченні нанопорошку УДА розплавом мідь–титан.

Експерименти зі змочування алмазу розплавами мідь–титан та кобальт–вольфрам проводили при тиску 8 ГПа в АВТ типу “тороїд” при температурах, достатніх для плавлення досліджуваних металевих сумішей і вище. В комірку високого тиску запресовували зразок алмазного полікристалу або композиту і суміш металів для змочування, запресовану в хлорид натрію так, щоб при контакті з алмазом утворювалася крапля в розплавленій солі (рис. 3) [4].

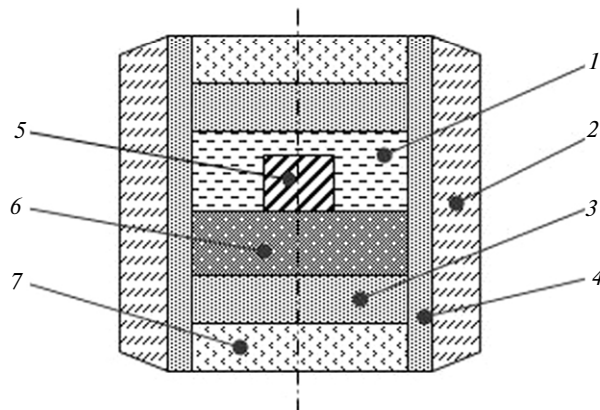


Рис. 3. Схема спорядження комірки високого тиску при вивченні змочування алмазу розплавами металів: 1 – хлорид натрію; 2 – контейнер з літографського каменю; 3 – графітовий диск; 4 – графітовий нагрівач; 5 – метал для змочування; 6 – полікристал алмазу; 7 – пірофілітовий диск.

### РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

За результатами експериментів з просочення алмазного нанопорошку УДА металевими розплавами кобальт–вольфрам і мідь–титан були побудовані температурні залежності коефіцієнта просочення, які описуються рівнянням Ареніуса (рис. 4, а, б):

$$k = k_0 \exp \frac{-E_a}{RT},$$

де  $E_a$  – енергія активації;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – температура.

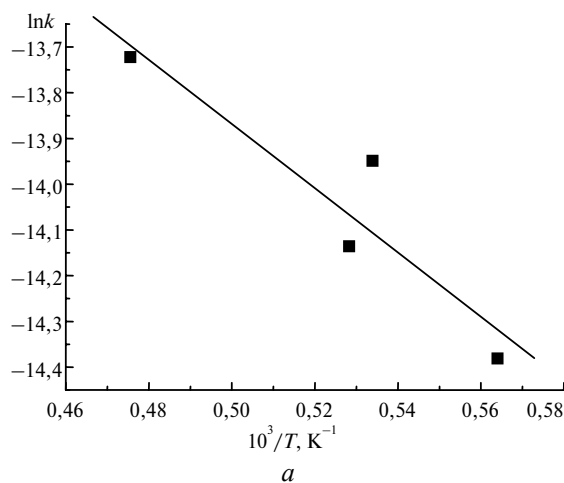


Рис. 4. Температурна залежність коефіцієнтів просочення алмазного нанопорошку УДА металевими розплавами кобальт–вольфрам (а) і мідь–титан (б) в координатах  $\ln k-1/T$ .

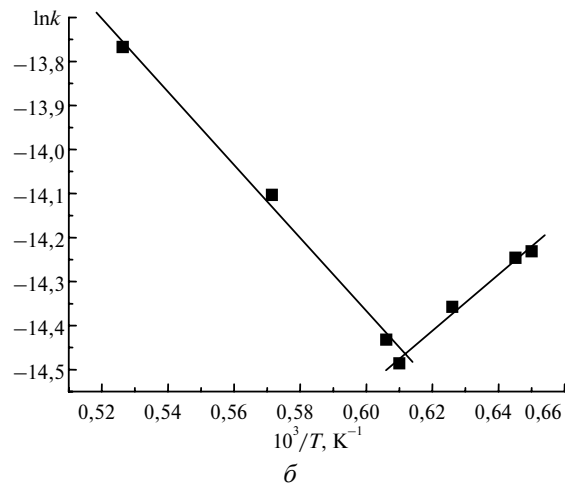


Рис. 4. (Продовження).

При просоченні алмазного нанопорошку УДА розплавом кобальт–вольфрам коефіцієнт просочення зростає зі збільшенням температури. При просоченні розплавом мідь–титан спостерігається дві ділянки вказаної залежності. В інтервалі 1500–1650 °С зі зростанням температури коефіцієнт просочення зменшується. Згідно з даними фазового аналізу (рис. 5) це відбувається через утворення карбідів в порах на контакті рідина–алмаз. Подальше збільшення температури приводить до розпаду карбідів і коефіцієнт просочення починає зростати.

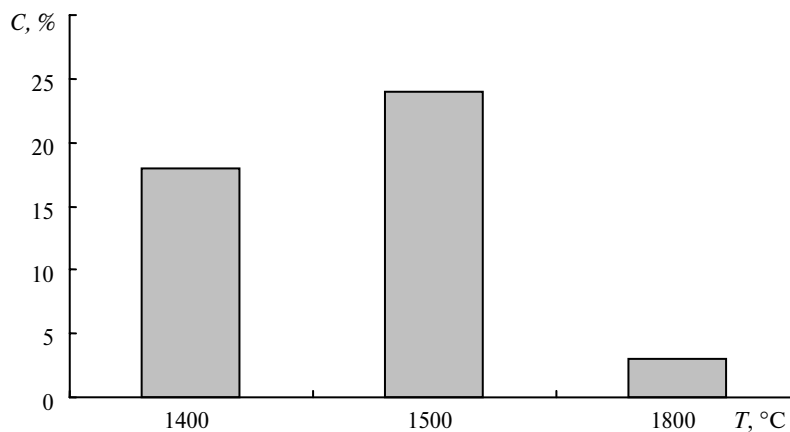


Рис. 5. Залежність концентрації утвореного в процесі просочення TiC в композиті від температури, при якій здійснювалося просочення.

Також було проведено дослідження зміни коефіцієнта просочення в залежності від вмісту титану у розплаві мідь–титан і вольфраму в розплаві кобальт–вольфрам. Встановлено, що зі збільшенням концентрації титану в розплаві з міддю до 50 % (за об'ємом) значення коефіцієнта просочення зростають (рис. 6). Це пояснюється покращенням змочуваності (рис. 7) алмазу розплавом із збільшенням в ньому об'ємної частки титану. При збільшенні концентрації вольфраму у розплаві кобальт–вольфрам теж відбувається покращення змочування алмазу, але внаслідок збільшення в'язкості розплаву [5] коефіцієнт просочення знижується (рис. 8).

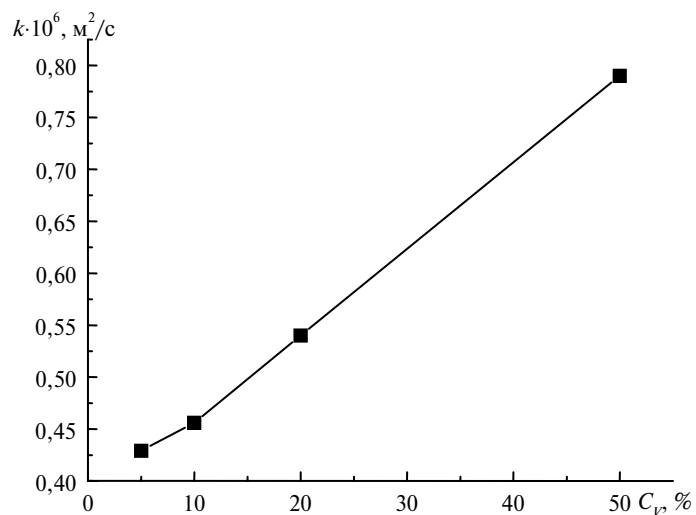


Рис. 6. Залежність коефіцієнта просочення від об'ємної концентрації титану в розплаві з міддю при  $T = 1650$  °С.

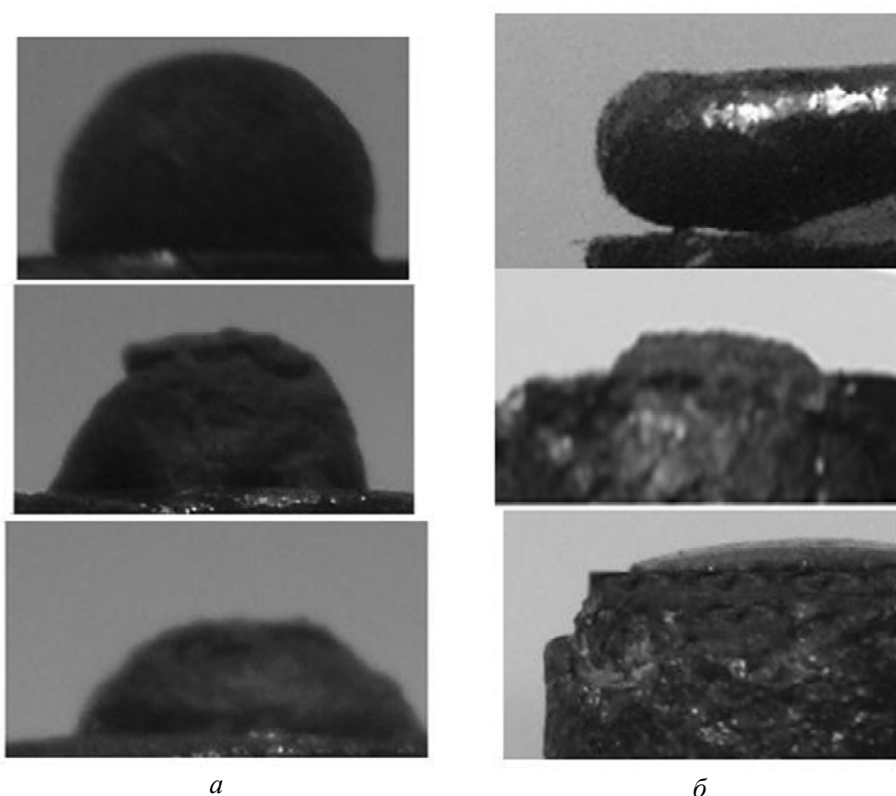


Рис. 7. Зміна кута змочування зі збільшенням концентрації титану в розплаві з міддю при  $T = 1700$  °С (а) і вольфраму в розплаві з кобальтом при  $T = 1900$  °С (б).

Одержані результати дали змогу розробити спосіб металізації алмазного вольфрамвмісного композиту при його спіканні безпосередньо в апараті високого тиску розплавом мідь–титан [6]. Вибір цього розплаву зумовлений тим, що він краще підходить для паяння за стандартною методикою припоєм

ПСР-40 і не містить кобальту, який може знижувати термостійкість алмазно-го полікристалу чи композиту. Вивчення методом локального рентгеноспектрального аналізу зони, що прилягає до контакту метал–алмаз, показало, що в області металізації композиту спад концентрації міді і титану від максимального значення до нуля відбувається в шарі товщиною не більше 100 мкм (рис. 9). Тому композит зберігає свої фізико-механічні властивості.

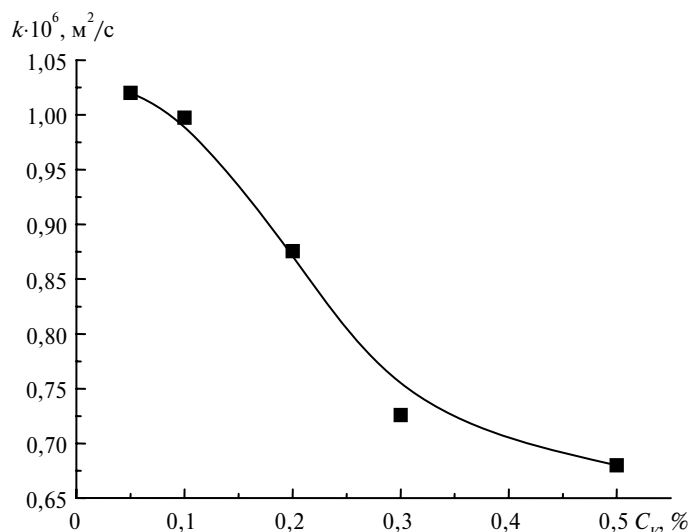


Рис. 8. Залежність коефіцієнта просочення від об'ємної концентрації вольфраму в розплаві з кобальтом при  $T = 1900 \text{ }^\circ\text{C}$ .

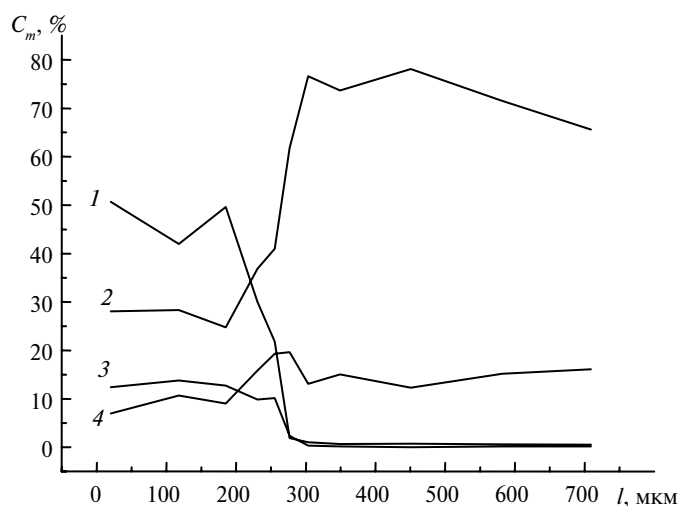


Рис. 9. Розподіл елементів вздовж осьового перерізу металізованого композиту алмаз-карбід вольфраму: Cu (1), C (2), Ti (3), W (4);  $C_m$  – концентрація елементів за масою.

## ВИСНОВКИ

Температурна залежність коефіцієнтів просочення описується рівнянням Ареніуса.

Графік температурної залежності коефіцієнта просочення розплаву мідь–титан має дві ділянки: зниження коефіцієнта просочення до температури

1650 °C і зростання при збільшенні температури, що пояснюється зміною карбідоутворення в порах алмазного брикету.

Встановлено, що зі збільшенням вмісту титану в розплаві мідь–титан і вольфраму в розплаві кобальт–вольфрам до 50 % (за об'ємом) значення крайового кута змочування при сталому значенні температури зменшуються.

Розроблено спосіб металізації алмазного композиту при його спіканні в АВТ при якому глибина проникнення металу в алмазний композит при цьому не перевищує 100 мкм.

*Описаны закономерности взаимодействия алмаз–металлический сплав систем медь–титан и кобальт–вольфрам в условиях термостабильности алмаза. Исследована возможность металлизации алмазных поликристаллов и композитов при их спекании в аппарате высокого давления.*

**Ключевые слова:** алмазный нанопорошок, спекание, высокое давление, коэффициент пропитки.

*The regularities of the diamond–metal alloy interaction of the copper–titanium and cobalt–tungsten systems under diamond thermostability conditions have been considered. The possibility has been studied of the metallization of diamond polycrystals and composites when sintered in a high-pressure apparatus.*

**Keywords:** diamond nanopowder, sintering, high pressure, infiltration coefficient.

1. Бочечка А. А. Миграция жидкой фазы при спекании алмазных порошков методом пропитки в условиях высоких давлений и температур // Сверхтв. материалы. – 1999. – № 2. – С. 17–23.
2. Шейдеггер А. Э. Физика течения жидкостей через пористые среды. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 252 с.
3. Лисовский А. Ф. Миграция расплавов металлов в спеченных композиционных телах. – К.: Наук. думка, 1984. – 256 с.
4. Найдич Ю. В., Шульженко А. А., Андреев А. В. и др. Смачиваемость металлическими расплавами алмаза в области его термодинамической стабильности // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1984. – № 6. – С. 77–79.
5. Бочечка А. А., Гаргин В. Г. Миграция кобальта в алмазный порошок из твердого сплава при высоком давлении. – К.: ИПМ, 1990. – 132 с.
6. Пат. на корисну модель 85042 Україна, МПК В24D 3/02, В22F 3/14. Спосіб отримання двошарового алмазного композиційного матеріалу / Е. М. Луцак, О. О. Бочечка, С. М. Назарчук та ін. – Заявл. 24.04.13; Опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.

Ін-т надтвердих матеріалів  
ім. В. М. Бакуля НАН України

Надійшла 24.12.13