

Т.А. Шіхаб, Я.А. Криль, Ю.І. Парайко, П.М. Присяжнюк, Л.Я. Роп'як, В.В. Тирлич

Кінетика просочування Cr_3C_2 марганцевим мельхіором у процесі отримання керметів

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15
тел.(03422) 72-71-77; E-mail: pavlo1752010@yandex.ua*

Для процесу просочування пористих каркасів із Cr_3C_2 із різною морфологією сплавом Cu-Ni-Mn (марка МНМц 60-20-20) була розроблена теоретична модель кінетики просочування на основі закону Дарсі із використанням W- функції Ламберта. Показано, що теоретичні розрахунки з достатньо високою точністю описують експериментальні дані, які були отримані при просочуванні у вакуумі карбідних каркасів із відкритою пористістю 20-40 об.% при 1200 °С. Розрахунки показують, що залежність глибини просоченого шару від середнього розміру карбідних частинок описується кривою з максимумом, який для вказаної системи припадає на ~60 мкм при пористості карбідного каркасу 40 об. %.

Ключові слова: карбід хрому, марганцевий мельхіор, кермет, кінетика просочування, W- функція Ламберта.

Стаття постуила до редакції 17.02.2015; прийнята до друку 15.03.2015.

Вступ

Серед методів порошкової металургії, якими, як правило отримують композиційні металокерамічні матеріали триботехнічного призначення для керметів зі зв'язкою на основі марганцевих мельхіорів найбільш раціонально застосовувати метод просочування попередньо сформованого пористого каркасу розплавом [1] з огляду на його переваги над традиційними методами, а саме :

- можливістю виготовлення виробів складної конфігурації;
- усадка при отриманні виробів просочуванням практично відсутня, що суттєво спрощує технологію їх виготовлення;
- можливістю використання як металевих складових сплавів, порошки яких не виготовляються серійно. При цьому металеві компоненти можуть бути застосовані у вигляді відходів, шламу, стружки і т.п., що суттєво підвищує рентабельність методу;
- простотою технології, яка забезпечується відсутністю трудомістких операцій по змішуванню та розмелюванню вихідних компонентів і використанні стандартного пічного та пресового обладнання;
- низькою тривалістю процесу, яка при правильному підборі компонентів забезпечує

максимально повне збереження їх хімічного складу, а відповідно і властивостей.

- низьким впливом шкідливих домішок (насамперед оксидних фаз), які у процесі проходження фронту розплаву через пористе тіло переносяться на поверхню виробів та у подальшому легко видаляються механічною обробкою.

При виборі технологічних параметрів процесу просочування слід уникати тривалих ізотермічних витримок у системі кераміка – розплав, оскільки вони можуть спричинити суттєве зниження рівня механічних та триботехнічних властивостей виробів через ріст зерна, появу нових фаз та структурних складових. Виходячи із цього **метою** даної роботи було встановлення кінетики просочування пористих скелетів Cr_3C_2 із різною морфологією, розплавом марганцевого мельхіору для встановлення оптимальних технологічних параметрів процесу отримання виробів різних розмірів.

Як вихідний карбідний компонент для досліджень використовували порошки Cr_3C_2 за ТУ 14-22-28-90 та ТУ 6-09-03-10-75 із середнім розміром частинок ~ 6 мкм його хімічний склад наведено у табл. 1 та марганцевий мельхіор марки мельхіор МНМц 60-20-20 за ТУ 48-21-486-75 (далі МНМЦ) хімічний склад якого наведено у табл. 2.

Зразки для дослідження кінетики отримували методом порошкової металургії наступним чином: порошки Cr_3C_2 з середнім розміром частинок ~ 6 мкм

змішували у гравітаційному барабанному змішувачі із пластифікатором: 5 %-ний розчин каучуку СКИ-3

Аналітичний опис кінетики просочування проводився за рівнянням виведеним на основі закону Дарсі для стаціонарного ламінарного потоку рідини,

Таблиця 1

Хімічний склад порошку Cr ₃ C ₂ , мас. %				
Cr не менше	C	Fe	Si	P
86	12-14	0,5	0,3	0,05

Таблиця 2

Хімічний склад сплаву МНМЦ, мас. %				
Cu	Ni	Mn	Fe	Si
58,5-60,1	19,5-21,5	19,5-21,5	до 0,3	до 0,03

(ГОСТ 14925-79 у бензині БР-1 ГОСТ 443-76) протягом 12 год. Кількість пластифікатору становила 30 % від об'єму порошку. Після сушіння отриманої суміші проводилась її грануляція та пресування у заготовки циліндричної форми діаметром 10 мм методом двостороннього холодного пресування у сталевій прес-формі, на робочих поверхнях, якої було сформовано двошарове покриття Al – Al₂O₃ шляхом нанесення шару алюмінію з подальшим мікродуговим оксидуванням верхнього шару. Пресування зразків здійснювали за тиску 300-500 МПа. Сформовані таким чином заготовки попередньо спікали у вакуумній печі СШВ-1,25/25-И1 до досягнення пористості 20-40 %. Після чого проводилось дослідження кінетики просочування пористого на установці, змонтованій на печі СШВЛ (рис. 1) при температурі ~ 1200 °С. Конструкція

що не стискається, яке має вигляд:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{k \Delta P}{\mu h(t) \Pi}, \quad (1)$$

де $\frac{dh(t)}{dt}$ – об'ємна швидкість просочування розплавом; ΔP – перепад тиску; μ – динамічна в'язкість розплаву; h – висота пористого тіла; t – час; k – коефіцієнт проникності, що враховує геометрію капілярів пористого тіла; Π – пористість.

I. Результати та їх обговорення

Рівняння (1) із урахуванням дії гравітації та тиску Лапласа (для “ефективного радіусу” капілярів) набуває вигляду:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{k}{\Pi \mu} \left(\gamma \cos(\Theta) - \rho g \right), \quad (2)$$

де γ – поверхнева енергія марганцевого мельхіору мДж; r_{ef} - ефективний радіус капілярів, м; Θ – контактний кут змочування, град; ρ – питома вага розплаву, Н/м³.

Ефективний радіус капілярів розраховувався згідно з даними роботи [2] за формулою Кармана:

$$r_{ef} = \frac{d_p \Pi}{6(1 - \Pi)}, \quad (3)$$

де d_p – середній розмір частинок пористого каркасу.

Коефіцієнт проникності пористого каркасу (k) з урахуванням даних наведених у [3] розраховувався за формулою:

$$k = \frac{\Pi^3}{K_{koz} S^2 (1 - \Pi)^2}, \quad (4)$$

де K_{koz} – константа Козені, яка залежить за даними [4] від форми капілярів, для сферичної форми частинок її значення – 5, а для колоїд – 4,2. Питома поверхня частинок S у даному рівнянні це відношення площі частинки до її об'єму. Враховуючи результати електронно-мікроскопічних досліджень фрактограми зламу пористого карбідного каркасу (рис. 2) було прийнято: $K_{koz} = 5$; $S = 6/d_c$. ($d_c = 6$ мкм).

Поверхнева енергія сплаву МНМЦ згідно з даними [5] приймалась рівною 1310 мДж/м². Температурні залежності динамічної в'язкості

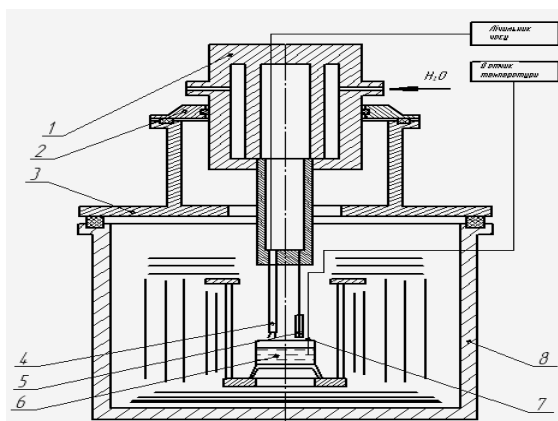


Рис. 1. Установа для визначення кінетики процесу просочування: 1 – полірований водоохолоджуваний рухомий шток, 2 – фланець з вакуумним направляючим ущільненням, 3 – знімна кришка, 4 – керамічна трубка з розділеним контактором, 5 – пористий зразок, 6 – ванна з рідким металевим розплавом, 7 – термопара, 8 – корпус печі СШВЛ.

установки забезпечує вертикальне переміщення закріпленого зразка по відношенню до дзеркала розплаву. Швидкість просочування за методом “знизу-вгору” визначалася по швидкості збільшення маси зразка.

розплаву та його питомої ваги розраховані з використанням програми *JMatPro* [6] (база даних – *Nickel base superalloy*) наведені на рис. 3. Як видно з рисунку точка ліквідусу сплаву МНМЦ становить 1038 °С, а його в'язкість та питома вага при

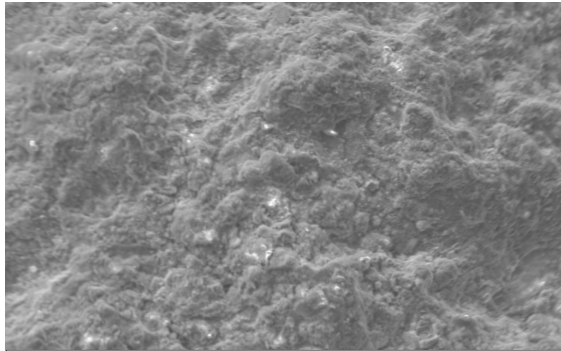


Рис. 2. Морфологія фрактограми зламу пористого каркасу Cr_3C_2 ($\times 2000$).

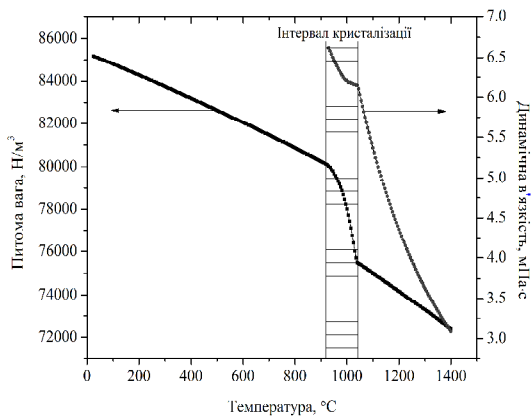


Рис. 3. Температурні залежності динамічної в'язкості та питомої ваги сплаву МНМЦ.

температурі просочування (1200 °С) становлять 4,35 мПа·с та 74161 Н/м³, відповідно.

Після підстановки значень (3) і (4) рівняння (2) набуло вигляду:

$$\frac{dh(t)}{dt} = -\frac{1}{36} \left(\frac{\Pi d_c (r g \Pi d_c h(t) + 6g(-1+\Pi))}{mK_{koz}(-1+\Pi)^2 h(t)} \right), \quad (5)$$

$$h(t) = - \frac{6g \left(LambertW \left(-e^{\frac{1 - 216mK_{koz}g(-1+\Pi)^3 + \Pi T^3 d_c^3 r^2 g^2}{216 mK_{koz}g(-1+\Pi)^3}} \right) + 1 \right) (-1+\Pi)}{g r d_c \Pi} \quad (6)$$

Розраховану за формулою (6) глибину просоченого шару порівнювали із

Рівняння (5) є трансцендентним, тому його розв'язок відносно $h(t)$ для граничних умов $h(0)=0$ проводився із використанням W – функції Ламберта (*LambertW*) [7] вбудованої у систему комп'ютерної алгебри *Maple*. У результаті було отримано рівняння,

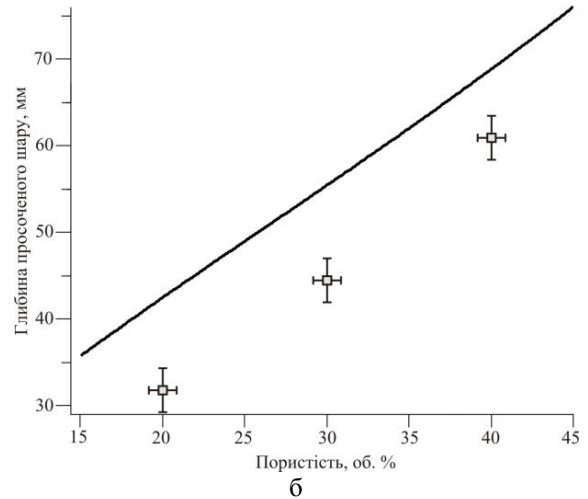
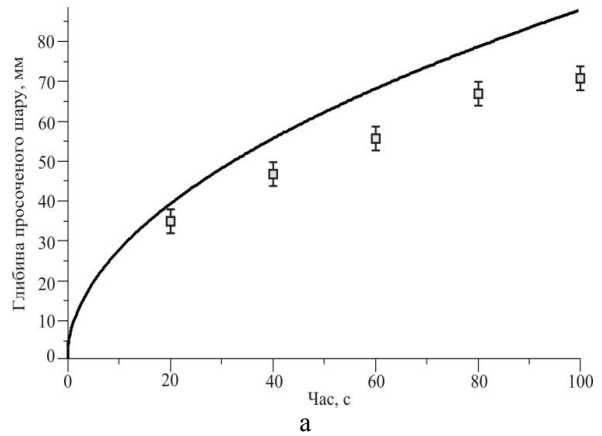


Рис. 4. Залежність глибини просоченого шару каркасу Cr_3C_2 сплавом МНМЦ від часу ($\Pi=40$ об. %) – (а) та від пористості ($t=60$ с) – (б).

яке описує глибину просоченого шару залежно від часу, характеристик морфології пористого каркасу та властивостей розплаву:

експериментальними даними. Результати (рис. 4, а) показують, що ріст глибини просоченого шару залежно від часу описується кривою (формою

близькою до параболічної), яка з достатньо високою точністю описує експериментальні дані. Однак, при збільшенні тривалості процесу відхилення експериментальних і розрахованих значень зростає. Це, ймовірно, викликано зміною геометрії капілярів у результаті збільшенні тривалості контакту розплаву із карбідною фазою, що призводить до її перекристалізації через рідку фазу. Глибина просоченого шару розрахована за рівнянням (6) залежно від пористості описується залежністю близькою до лінійної, при цьому зі збільшенням пористості відхилення розрахункових даних від розрахованих зменшується. Це пояснюється наявністю у міжзеренному просторі каркаса замкнутих порожнин, кількість яких зі зменшенням об'ємного вмісту карбідної фази також зменшується. Користуючись рівнянням (6) можна проводити раціональний вибір режимів просочування для виготовлення композиційних матеріалів, у яких при терті ковзання відбувається формування захисних антифрикційних поверхневих шарів [8, 9, 10].

Використовуючи рівняння (6) можна також прогнозувати глибину просоченого шару залежно від середнього розміру частинок з яких складається

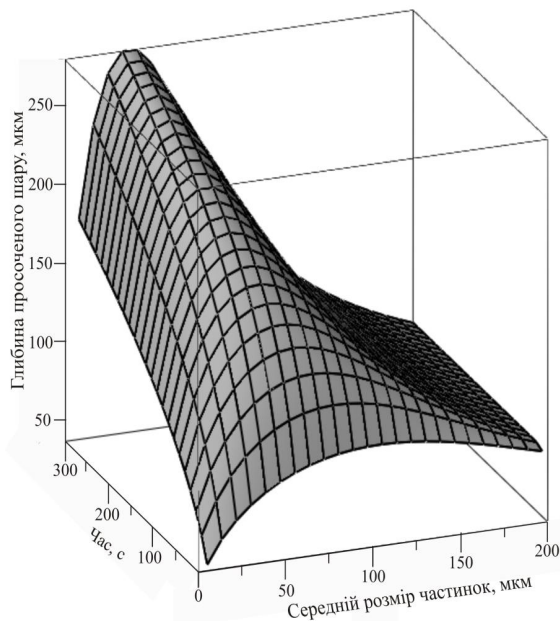


Рис. 5. Залежність кінетики просочування пористого ($P = 40$ об. %) каркасу Cr_3C_2 сплавом МНМЦ від середнього розміру частинок карбідної фази.

показують, кінетика росту глибини просоченого шару залежно від середнього розміру частинок описується кривою з максимумом, який для системи Cr_3C_2 – МНМц припадає на розмір ~ 60 мкм. Наявність максимуму на кривих зумовлена тим, що у процесі просочування діють два “конкуруючі” фактори, а саме: тиск Лапласа, який при збільшенні розмірів частинок зменшується та коефіцієнт проникності, який при цьому зростає та призводить до посилення дії гравітаційної складової.

Таким чином, для кожних конкретних умов просочування методом “знизу–вгору” існує середній розмір частинок, при якому суперпозиція дії гравітації та тиску Лапласа призводить до наявності максимуму величини глибини просоченого шару при заданій тривалості процесу.

Висновки

1. Показано, що для системи Cr_3C_2 – марганцевий мельхіор марки МНМц 60-20-20 кінетика просочування із достатньо високою точністю описується рівнянням виведеним на основі закону Дарсі та розв'язаним за допомогою W -функції Ламберта, яке дозволяє проводити вибір оптимальних режимів отримання виробів із керметів даної системи.
2. Встановлено, що оптимальний розмір частинок пористого ($P = 40$ об. %) карбідного каркасу із Cr_3C_2 , який необхідний для забезпечення максимальної швидкості росту просоченого сплавом марки МНМц 60-20-20 шару становить ~ 60 мкм.

Шіхаб Т.А. – аспірант кафедри зносостійкості та відновлення деталей;

Криль Я.А. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри зносостійкості та відновлення деталей;

Парайко Ю.І. – кандидат технічних наук, доцент кафедри нафтового обладнання;

Присяжнюк П.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри зносостійкості та відновлення деталей;

Роп'як Л.Я. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології нафтогазового машинобудування;

Тирлич В.В. – старший викладач кафедри вищої математики.

- [1] Л. И. Тучинский, Композиционные материалы, получаемые методом пропитки (Металлургия, Москва, 1986).
- [2] A.M. Lorenz, E.M. Sachs Solid Free Form Fabrication Symposium (The University of Texas at Austin, Austin, 2001).
- [3] E. Scheidegger, The physics of flow through porous media (3rd ed.) (University of Toronto Press, Toronto, 1974).
- [4] П.М. Присяжнюк, Я.А. Криль, Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий (НАН Украины, Большая Ялта, 2010).

- [5] Yu.D. Myshko, A.V. Klibus, M.N. Gapchenko, N.Ya. Ishchuk. Powder Metall. Met. Ceram. 13(9), 731 (1974).
- [6] JMatPro practical software for materials properties [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.sentesoftware.co.uk/jmatpro.aspx> – Назва з титул. екрану. – Мова. англ.
- [7] А.Е. Дубинов, И.Д. Дубинова, С.К.Сайков W-функция Ламберта и ее применение в математических задачах физики (ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, 2006).
- [8] Maple 2015 - Technical Computing Software for Engineers [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.maplesoft.com/products/maple/> – Назва з титул. екрану. – Мова. англ.
- [9] Ю.І. Парайко Фізика і хімія твердого тіла 8(1), 182 (2007).
- [10] Л. Я. Роп'як, І.П. Шацький, М. В. Маковійчук, Оцінка міцності двошарового покриття під локальним навантаженням (Міжвузівський збірник «Наукові нотатки», Луцьк, Вип. 50. 2005.).

T.A. Shihab, Ya. A. Kryl' Yu. I. Paraiko, P. M. Prisyazhnyuk, L. Ya. Ropyak,
V.V. Turluch

Infiltration Kinetics of Cr_3C_2 by Manganese Cupronickel in the Process of Obtaining Cermets

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine*

A theoretical model of infiltration kinetics based on the Darcy's law which was evaluated by W – Lambert function has been established for Cu-Ni-Mn alloy (grade MNMts 60-20-20) during melt infiltration into Cr_3C_2 porous skeletons with different morphology. It is shown, that theoretical calculations are in good correlation with experimental data obtained by pressureless infiltration of carbide preforms with open porosity 20-40 vol. % at 1200 °C. Calculations shows that infiltration height dependence on the average size of carbide particles is described by curves with a maximum which corresponds to~ 60 μ m for specified system with carbide skeleton porosity of 40 vol. %.

Key words: chromium carbide, manganese cupronickel, cermet, infiltration, Lambert W-function.