

Структуроутворення при взаємодії реліту з розплавами самофлюсівних сплавів на основі заліза

А. М. Степанчук, кандидат технічних наук, професор

М. Б. Шевчук

Л. О. Бірюкович, кандидат технічних наук

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

Досліджено вплив температури, часу та розміру гранул на структуру композиційних матеріалів, отриманих при взаємодії реліту з розплавами самофлюсівних сплавів на основі заліза. Встановлено, що між складовими композиційного матеріалу відбувається взаємодія з утворенням вторинних структур, фазовий склад і вигляд яких залежить від температури і часу взаємодії. Змінюючи характеристики вихідних матеріалів та умови отримання композиційних матеріалів можна створювати матеріали з наперед заданим комплексом властивостей.

У багатьох галузях техніки знаходять застосування матеріали стійкі до агресивних середовищ, зокрема, до дії абразивів [1]. У багатьох випадках дія зовнішніх агресивних середовищ розповсюджується тільки на поверхню деталей або окремі її фрагменти у межах допустимого зношування. Підвищити ресурс роботи таких деталей можливо шляхом створення на них покриттів, які мають високу стійкість проти дії агресивних зовнішніх факторів.

Особливе місце займають покриття, які захищають робочі поверхні від абразивного або газоабразивного зношування при наявності ударних навантажень. Часто для їх створення використовують композиційні матеріали (КМ) за участю твердих тугоплавких сполук (ТТС) і їх сплавів та металевої зв'язки [2, 3]. Перспективними є КМ за участю гранул з литих тугоплавких сполук та самофлюсівних сплавів на основі нікелю та заліза, доцільність застосування яких при отриманні зносостійких покриттів показана нами в попередніх роботах та роботах інших авторів [4, 5]. Використання литих тугоплавких сполук, зокрема реліту, зумовлено високою міцністю їх зерен при стискуванні та стійкістю щодо газоабразивного зношування [5]. Самофлюсівні сплави (СФ) при створенні виробів та покриттів з композиційних матеріалів застосовують як металеве зв'язуюче. При цьому більш перспективними є самофлюсівні сплави на основі заліза (СФЗ) [4], які при збереженні властивостей (високої твердості, модуля пружності, зносостійкості), характерних для самофлюсівних сплавів на основі нікелю, мають значно меншу собівартість.

Однією з важливих проблем, яку доводиться вирішувати при розробці нових КМ, є сумісність їх складових. Процеси взаємодії між металевою матрицею і ТТС в значній мірі впливають на кінцеві властивості КМ [2, 3]. Ступінь взаємодії впливає на властивості композиційного матеріалу за рахунок зміцнення того чи іншого компоненту або навпаки, зменшення їх міцності. Властивості вихідних матеріалів також можуть залишатися незмінними [6]. Але обов'язковою умовою є якісний зв'язок

Нові технологічні процеси і матеріали

міжфазних границь. Підвищенню його якості сприяє відсутність градієнту властивостей складових або зменшення його у процесі створення матеріалу [6].

Враховуючи викладене, досліджено процеси взаємодії між гранулами реліту і розплавом СФЗ при створенні за їх участю композиційних матеріалів з метою встановлення фундаментальних засад формування властивостей останніх.

Композиційні матеріали отримували просоченням вібраційно ущільнених гранул реліту розплавом СФЗ. Мікроструктура та хімічний вихідних матеріалів наведені на рис. 1 та в табл. 1. Процес проводили за температур 1100, 1200, 1300 °С ізотермічної витримки протягом 15, 30, 45 хв на повітрі.

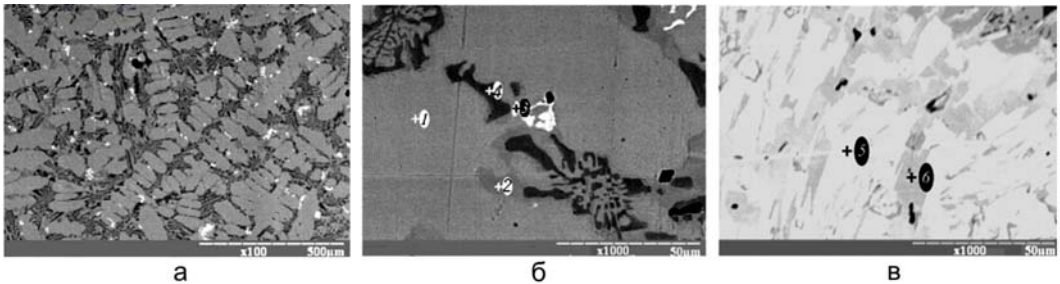


Рис. 1. Структура вихідних компонентів. а, б – СФЗ, в – реліт.

Досліджували структуру отриманих КМ, елементний склад фазових складових, розподіл елементів у зоні взаємодії, проводили мікродюретричні дослідження. Для вивчення структури матеріалів та визначення елементного складу фазових складових застосовували растровий електронний мікроскоп РЕМ-106. Мікродюретричні дослідження проводили вимірюванням мікротвердості за стандартною методикою з використанням мікротвердоміра ПМТ-3 при навантаженні на індентор 100 г і часі витримки при навантаженні 5 с.

Для встановлення впливу кінетичних та температурних параметрів на процеси зміни структури складових КМ були досліджені вихідні матеріали. Встановлено, що мікроструктура СФЗ (рис. 1 а) близька до евтектичної і складається з аустенітної матриці та евтектики, до складу якої входять залізо, нікель, хром, вуглець, кремній та карбобориди типу $Me_2(B,C)$, які можуть бути ідентифіковані як $(Fe,Ni,Cr,Si)_2(B,C)$ [7]. Щодо елементного складу фазових складових СФЗ (табл. 1) можна стверджувати, що його матриця складається з Fe–Ni–Cu сплаву (рис. 1 б, точки 1, 2) та евтектик (точки 2, 4) на основі заліза та карбоборидів хрому, заліза, молібдену і на основі Fe – Мо, відповідно.

Таблиця 1

Результати локального хімічного аналізу вихідних матеріалів

Місце дослідження	Хімічні елементи, % по масі						
	Si	Mo	Fe	Ni	Cr	Cu	W
1	0,43	–	81,09	15,38	0,16	2,94	–
2	0,14	2,67	88,32	7,59	1,26	–	–
3	0,19	47,98	45,87	4,09	1,87	–	–
4	0,06	1,22	94,19	2,45	2,08	–	–
5	–	–	0,74	–	0,04	–	99,22
6	–	–	0,20	–	0,39	–	99,41

Нові технологічні процеси і матеріали

Мікроструктура реліту (рис. 1 в) в основному складається з білої фази, пронизаної сірими голкоподібними включеннями. Вони можуть бути ідентифіковані як суміш фаз WC та W_2C , що узгоджується зі структурою, описаною в літературі [2], та підтверджується експериментально (рис. 1 в, точки 1, 2) і (табл. 1).

Вимірювання мікротвердості показали, що вона знаходиться у межах 22 – 25 ГПа для фазових складових реліту і 8,5 – 9,5 ГПа для матриці СФЗ.

Мікроструктурні дослідження композицій показали, що на ступінь взаємодії реліту з СФЗ впливає температура, розмір гранул, їх форма, склад розплаву та тривалість взаємодії. Отримані композиційні матеріали мають стовідсоткову щільність та гетерофазну структуру (рис. 2).

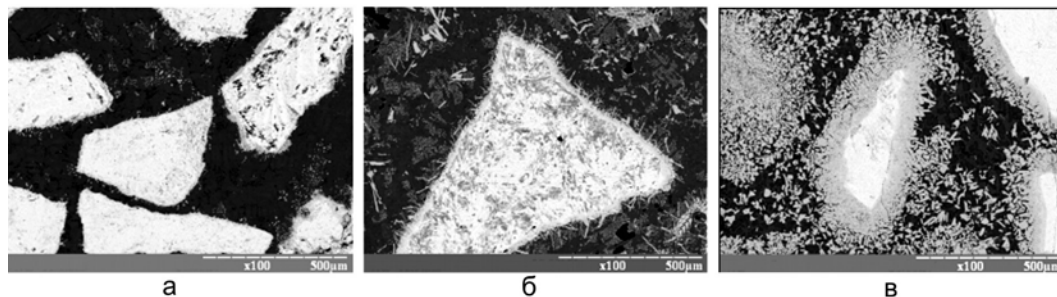


Рис. 2. Зміна структури КМ залежно від температури (час взаємодії 15 хв). а – 1100, б – 1200, в – 1300 °С.

Мікроструктура композиційного матеріалу, отриманого при температурі 1100 °С, складається з рівномірно розподілених гранул реліту в матриці з СФЗ (рис. 2 а). При цьому мікроструктура та мікротвердість матеріалу зв'язки та зміцнюючої фази відповідає структурі та мікротвердості вихідних матеріалів. Середня мікротвердість реліту складає 22 – 23 ГПа, а металевої матриці СФЗ – 9,0 – 9,5 ГПа.

При підвищенні температури до 1200 °С відбувається незначна зміна мікроструктури гранул реліту (рис. 2 б). По всьому периметру з'являється темна зона, яка збіднена вольфрамом та збагачена залізом, хромом та нікелем. Поряд з розчиненням гранул реліту (табл. 2, точка 1) відбувається насичення матриці тугоплавкою складовою з утворенням нових фазових складових (табл. 2, точка 2), в порівнянні з вихідними структурами, що також підтверджується зміною хімічного складу новоутворених фаз (табл. 2). Мікротвердість перехідної зони складає 11 – 15 ГПа і монотонно зростає до центру гранули. Можна стверджувати що відбувається поступова зміна фазового складу вихідних гранул реліту з утворенням на границі складного карбиду. Причому частка карбиду вольфраму з наближенням до периферії

Таблиця 2

Вміст елементів у складових структури у відповідних точках

Місце дослідження	Вміст елементів, % по масі					
	Cr	Fe	Cu	Ni	W	Si
1	5,38	25,61	–	21,26	47,25	–
2	0,37	62,48	0,59	35,28	0,55	0,30
3	0,96	1,28	–	0,33	97,42	–
4	5,12	27,59	–	23,74	43,56	–

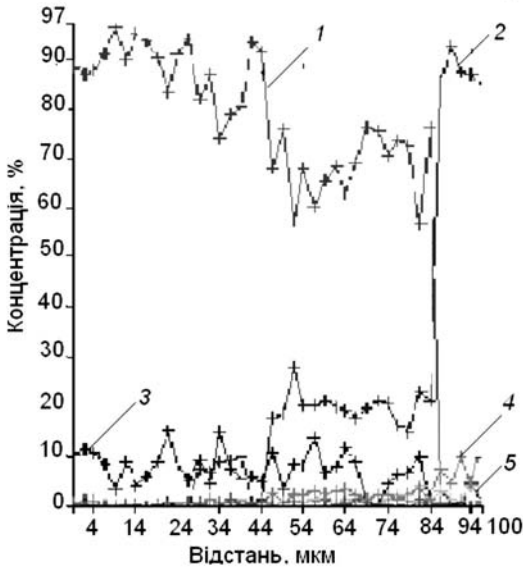
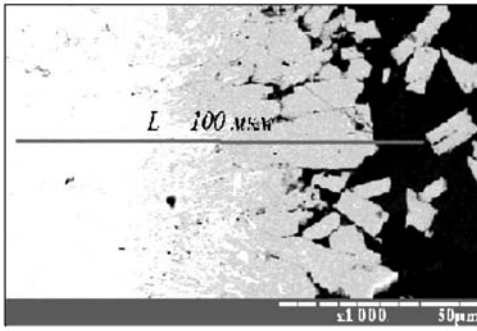


Рис. 3. Розподіл елементів в КМ за участю СФЗ та реліту. 1 – W, 2 – Fe, 3 – Si, 4 – Ni, 5 – Cr.

розплавленому стані. Можна вважа-ти, що у нашому випадку при взаємодії реліту з розплавом СФЗ у першу чергу в ньому буде розчинятись WC.

Мікротвердість металевої матриці (СФЗ) КМ отриманих за температури 1200 °С, ще більше зменшується і у середньому складає 7,4 – 8,1 ГПа. Це може бути зумовлено тим, що підвищення температури активує процеси проникненням заліза та хрому в матеріал гранул (табл. 2, точки 1, 4) і утворення складних карбідів за їх участю і участю вольфраму.

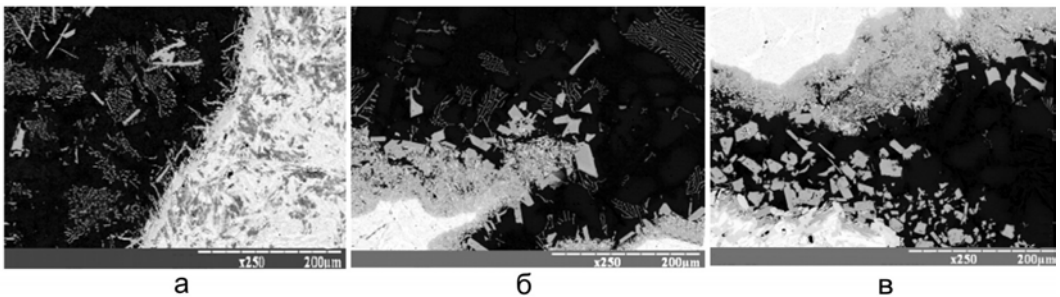


Рис. 4. Залежність структури КМ від часу просочення при температурі 1200 °С. а – 15, б – 30, в – 45 хв.

зменшується, що підтверджується розподілом елементів в зоні контакту (рис. 3).

З результатів аналізу елементного складу (табл. 2), рентгенофазового аналізу та на основі літературних даних [2, 3] можна стверджувати, що утворена нова фаза є складним карбідом типу M_6C (або $M_{12}C$) – $W_3(Fe, Cr)_3C$, що також узгоджується з псевдобінарним перетином WC – Fe(Ni) потрійних діаграм стану W – C – Fe(Ni, Cr) [8].

При дослідженні мікроструктури (рис. 2, 4) зафіксовано, що при взаємодії реліту з СФЗ відбувається розчинення переважно однієї його фазової складової. Це може бути зумовлено тим, що при взаємодії з металами тріади заліза (Fe, Co, Ni) карбіди перехідних металів виступають, як донори електронів [9]. При цьому донорна здатність карбідів збільшується зі збільшенням нелокалізованої частки електронів в них. Тому, якщо порівнювати карбіди вольфраму WC та W_2C , то за рахунок того, що частка нелокалізованих електронів у карбіді W_2C нижча, ніж у WC [9], останній має підвищену схильність до контактної взаємодії з металами як у твердій фазі, так і в

При підвищенні температури до 1300 °С структура КМ продовжує еволюціонувати за рахунок інтенсифікації дифузійних процесів та масопреносу (рис. 3 в). Ширина зони взаємодії реліт – СФЗ значно збільшується, а кількість вторинної фазової складової, ідентифікованої нами як складний карбід $W_3(Fe,Cr)_3C$, зростає і розміщується практично по всьому об'єму металевої матриці. Мікротвердість перехідної зони монотонно зменшується від мікротвердості чистого реліту до 12 – 16 ГПа на межі з матеріалом матриці. Також має місце зменшення вмісту заліза, нікелю, хрому по ширині зони взаємодії в глибину гранули реліту. Мікротвердість матриці зменшується у порівнянні з мікротвердістю вихідного СФЗ і складає 6,5 – 7,0 ГПа.

Дослідження впливу розміру фракції реліту на процеси взаємодії показують, що при його зменшенні вони інтенсифікуються (рис. 5). Кількість вторинних фаз в металевій матриці зростає. Це може бути зумовлено збільшенням їх питомої поверхні.

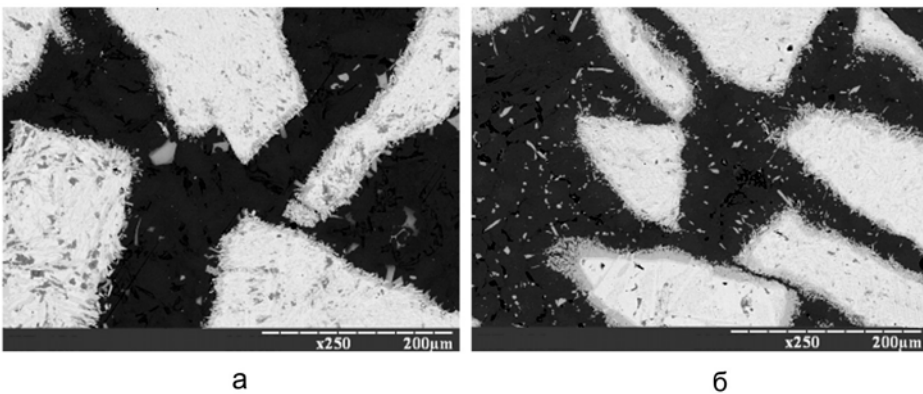


Рис. 5. Вплив середнього розміру гранул на структуру КМ при часі взаємодії 15 хв. а – 358, б – 258 мкм.

Також помітна залежність процесів структуроутворення від форми гранул реліту. Більш інтенсивно відбувається розчинення гранул в місцях вершин з гострими кутами (великою кривизною) (рис. 5 б). Це пояснюється більшим вмістом дефектів кристалічної будови в цих місцях, що сприяє активуванню дифузійної рухливості атомів. Крім того, зміна кривизни поверхні буде приводити до зміни хімічного потенціалу, який може бути визначений за формулою [10]:

$$\Delta\mu \approx \frac{1}{R}, \quad \text{де } R - \text{радіус кривизни.}$$

Зменшення радіусу кривизни (збільшення кривизни) поверхні приводить до збільшення хімічного потенціалу і, як наслідок, до більшої активності таких поверхонь гранул.

Встановлено також, що ступінь взаємодії реліту з розплавом СФЗ залежить, при інших однакових умовах, від часу ізотермічної витримки. З його збільшенням еволюція мікроструктури відбувається так само, як і при збільшенні температури. При збільшенні тривалості ізотермічної витримки до 30 хв в структурі КМ поряд з початковими дендритними утвореннями в СФЗ, які виникають після взаємодії протягом 15 хв (рис. 4 а), починають формуватись кристали більш правильної форми (рис. 4 б).

При збільшенні часу витримки до 45 хв (рис. 4 в) в структурі металевої матриці (СФЗ) в основному присутні кристали складного рівноважного карбїду $W_3(Fe,Cr)_3C$, що швидше за все, пов'язане з більшим насиченням розплаву СФЗ тугоплавою складовою композицією (табл. 2).

Висновки На процес формування структури КМ за участю реліту та СФЗ впливають температура та тривалість процесу просочення, характеристики гранул твердої складової.

При просоченні гранул реліту розплавом СФЗ відбуваються процеси взаємодії, які супроводжуються переважним розчиненням карбіду вольфраму WC в розплаві СФЗ та збагаченням його вольфрамом. Як наслідок в структурні КМ утворюються нові фазові складові – складні карбіди типу M_6C (або $M_{12}C$) – $W_3(Fe, Cr)_3C$. Спостерігається також зворотне розчинення заліза та хрому в реліті. Як наслідок на межі фаз утворюються перехідна зона з плавною зміною хімічного складу та твердості. Збільшення температури, часу просочення та зменшення розміру гранул реліту сприяє інтенсифікації цих процесів.

Змінюючи характеристики вихідних матеріалів та умови отримання КМ за участю реліту та СФЗ, можна отримувати їх із заданою структурою та властивостями і, як наслідок, необхідними експлуатаційними характеристиками.

Література

1. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Aiguo Liu, Mianhuan Guo, Minhai Zhao. Microstructures and wear resistance of large WC particles reinforced surface metal matrix composites produced by plasma melt injection. // Surface Coatings Technology. – 2007. – 201. – P. 7978 – 7982.
3. Hans Berns. Comparison of wear resistant MMC and white cast iron. // Wear. – 2003. – 254. – P. 47 – 54.
4. Степанчук А.М., Шевчук М.Б., Незабитовський Д.Г. Зносостійкість товстошарових покриттів з композицій реліт – самофлюсівний сплав. // Наукові нотатки (ЛДТУ). – 2011. – Випуск 31. – С. 169 – 175.
5. Степанчук А.М., Прутуляк А.С., Чубарук Л.В. Стійкість проти газоабразивного зносу деяких плавлених карбідів та їх сплавів. // Наукові нотатки (ЛДТУ). – 2008. – Випуск 23. – С. 420 – 429.
6. Современные композиционные материалы / Под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. – М.: Мир, 1970. – 672 с.
7. Нечипоренко А. А., Степанчук А. Н., Лобода П. И. Самофлюсующиеся сплавы на основе железа. // Адгезия расплавов и пайка материалов. – 1992. – № 3. – С. 94 – 98.
8. Панов В. С., Чувилин А. М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. – М.: МИСИС, 2001. – 428 с.
9. Самсонов Г. В., Прядко И.Ф., Прядко Л.Ф. Конфигурационная модель вещества. – Киев: Наук. думка, 1971. – 232 с.
10. Гегузин Я. Е. Физика спекания. – М.: Наука, 1984. – 312 с.

Одержано 21.03.12

А. М. Степанчук, М. Б. Шевчук, Л. О. Бирюкович

Структурообразование при взаимодействии релита с расплавами самофлюсующихся сплавов на основе железа

Резюме

Исследовано влияние температуры, времени и размера гранул на структуру композиционных материалов, полученных при взаимодействии релита с расплавами самофлюсующихся сплавов на основе железа. Установлено, что между составляющими композиционного материала происходит взаимодействие с образованием вторичных структур,

как со стороны релита, фазовый состав которых зависит от температуры и времени взаимодействия. Изменяя характеристики исходных материалов и условия получения композиционных материалов, можно получать их с заданной структурой, свойствами, необходимыми эксплуатационными характеристиками.

A. M. Stepanchuk, M. B. Shevchuk, L. A. Biriukovich

Structure formation at the interaction WC_p– self-fluxing alloys based on iron

Summary

The influence of temperature, time and size of granules on the structure of composite, material obtained by liquid-phase sintering WC_p– self-fluxing alloys on the iron base. It is studied that between the initial components chemical interaction and consequently change the microstructure formed with complex carbides of M₆C/M₁₂C type take place. It is shown the changes in the material matrix and in the WC_p granules. Thus, changing the characteristics of source materials and conditions of obtaining composition materials can provide a given structure and properties and, consequently, the necessary performance.

УДК 538.65:536.421.4:538

Розподіл міді у сплаві Al – 3,5 % Cu при накладанні постійного магнітного поля на розплав, що твердне

О. В. Середенко, кандидат технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Показано, що у сплаві Al – 3,5 % Cu постійне магнітне поле з індукцією 0,25 Тл збільшує, а з 0,50 Тл зменшує концентрацію міді в зернах алюмінію. Дія магнітного поля на вміст міді мінімальна у центрі зерна і максимальна на його периферії.

Сплави системи Al – Cu є базовими для ряду високоміцних та антифрикційних матеріалів. Дія постійних магнітних полів на сплави, що кристалізуються, вивчається з метою керування розміром та орієнтацією дендритів [1 – 6]. Розподіл легуючого компонента в сплаві – один з факторів, який суттєво впливає на його властивості. У роботі [6] вказано на можливість перерозподілу міді в сплавах на основі алюмінію під впливом слабого магнітного поля. Збільшення вмісту міді у зернах алюмінію під впливом сильного магнітного поля відмічено у джерелах [7, 8]. В даній роботі дослідження проводили на сплаві Al – 3,5 % Cu (по масі) з метою встановлення особливостей розподілу міді у зернах та міжзеренних об'ємах сплаву під впливом слабого постійного магнітного поля.

Досліджуваний сплав (3,5 % міді, ~ 0,3 % домішок, решта алюміній) виплавляли в печі електроопору в алундовому тиглі. Після термочасової обробки при температурі 800 °C протягом 10 хв тигель з розплавом розташовували в зазорі електромагніту, де