

# Отримання сплавів зі структурою «замороженої емульсії» на базі системи $Cu - (Fe - Cr - C)$

В. В. Христенко, кандидат технічних наук  
О. В. Ушкалова, Д. О. Москалюк

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

*Експериментально досліджена можливість існування розплавів системи  $Cu - (Fe - Cr - C)$  в двофазному стані. Встановлена можливість створення на базі зазначеної системи сплавів зі структурою «замороженої емульсії».*

За результатами теоретичного аналізу [1 – 7] встановлена можливість існування розплавів системи  $Cu - Fe - Cr - C$  в двофазному стані: рідка фаза на основі міді та рідка  $(Fe - Cr - C)$  фаза. Двофазний стан розплавів дозволяє реалізувати якісно нові підходи при розробці сучасних ливарних сплавів нового покоління. Технологічний процес одержання виливків у цьому випадку повинен включати переведення розплаву в стан емульсії та фіксацію такої будови в твердому стані (отримання «замороженої емульсії») [3]. З практичної точки зору стосовно системи  $Cu - (Fe - Cr - C)$  з'являється можливість створення, принаймні, двох класів ливарних сплавів, а саме:

1. Сплави на основі міді, зміцнені  $(Fe - Cr - C)$  дисперсними вкрапленнями, які утворюються в рідкому стані; такі сплави потенційно здатні зберігати високі показники механічних та кондуктивних (тепло- та електропровідності) властивостей при підвищених температурах (аж до температури плавлення основи) [3, 8, 9].

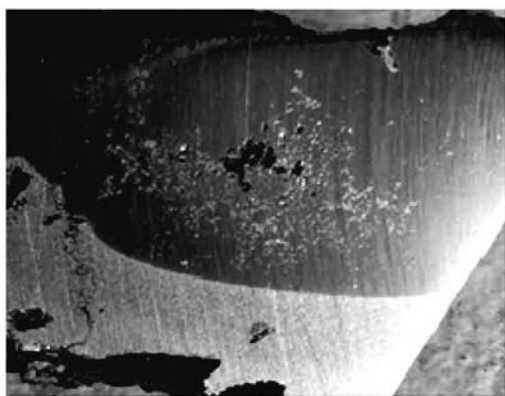
2. Зносостійкі хромисті чавуни, структура яких містить мідні дисперсні вкраплення. Краплі «мідної» фази, розподілені в  $(Fe - Cr - C)$  основі (розплаві хромистого чавуну), можуть стати перешкодами для росту первинних карбідів при кристалізації. Це сприяє їх подрібненню і, як наслідок, поліпшенню оброблюваності матеріалу різанням. Крім того, м'які вкраплення «мідної» фази, які розподілені у твердій основі, здатні істотно поліпшити антифрикційні властивості сплаву [10].

Метою роботи була експериментальна перевірка як можливості існування розплавів системи  $Cu - (Fe - Cr - C)$  в двофазному стані, так і перспектив отримання на її основі сплавів зі структурою типу «замороженої емульсії».

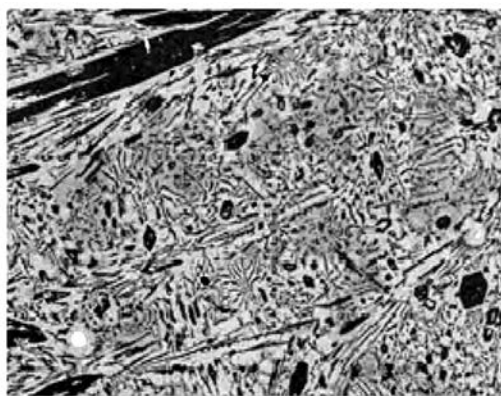
Можливість перебування розплавів системи  $Cu - (Fe - Cr - C)$  у вигляді двох співіснуючих фаз емпірично перевіряли методами седиментаційного і диференціального термічного аналізів.

## Плавлення і кристалізація

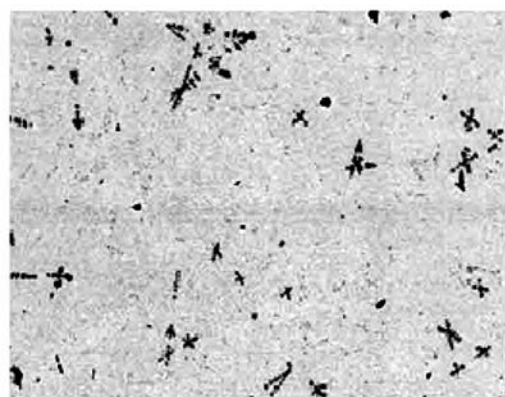
Для проведення седиментаційного аналізу в індукційній печі готували розплав, що складається з 50 % хромистого чавуну (16 % (по масі) Cr і 1,6 % (по масі) C) і 50 % міді. Встановлено, що в процесі витримки (при температурі 1400 °C) без перемішування в розплаві протікають процеси седиментації: мідь зосереджується в донній частині тигля, а хромистий чавун – у верхній. Межа розподілу між «мідною» та «чавунною» фазами чітко виражена (рис. 1 а). Вказаний факт свідчить про те, що при зазначеній температурі розплав перебував у двофазному стані, а за відсутності перемішування через відмінності величин питомої ваги «мідної» та (Fe – Cr – C) фаз відбулося розшарування. Цей висновок також підтверджується результатами дослідження мікроструктур зразків, отриманих всмоктуванням розплаву з донної та верхньої частин тигля (рис. 1 б, в). Результати хімічного аналізу показують, що в рідкій (Fe – Cr – C) фазі розчиняється приблизно 3 % (по масі) міді, а в рідкій фазі на основі міді розчиняється приблизно 2 % (по масі) заліза та до 0,1 % (по масі) хрому. Слід зазначити, що в зразку, відібраному з донної частини тигля, залізо і хром, які були розчинені в основі, при кристалізації виділяються у вигляді дендритів (рис. 1 в).



а



б



в

Рис. 1. Структури зразків, отриманих з підданого седиментації Cu – (Fe – Cr – C) розплаву. а – поздовжній переріз злитка, б – мікроструктура зразка, отриманого всмоктуванням розплаву з верхньої частини тигля, в – мікроструктура зразка, отриманого всмоктуванням розплаву з донної частини тигля. а – х 1, б – х 100, в – х 100.

Висновок щодо двофазного стану розплавів системи Cu – (Fe – Cr – C) також підтверджується результатами диференціального термічного аналізу (ДТА). ДТА піддавали сплави, отримані шляхом введення в розплав міді

## Плавлення і кристалізація

хромистого чавуну, що містить 16 % (по масі) Cr і 1,6 % (по масі) C, а також сплави, отримані введенням міді в розплав хромистого чавуну такого ж складу. Кількість введеної добавки в обох випадках складала 10 % від маси матричного розплаву.

На термографічних кривих чітко ідентифікуються теплові ефекти при температурах 1350 °С, 1295 °С, 1230 °С та 1083 °С. Згідно діаграми стану потрійної системи Fe – Cr – C [11] перші три температури близької, відповідно, до температури ліквідус, температури початку виділення карбіду  $(Cr, Fe)_7C_3$  та температури солідус Fe – Cr – C сплаву зазначеного складу. 1083 °С – температура кристалізації міді. Ці дані свідчать про практично незалежну кристалізацію «мідної» і (Fe–Cr–C) фаз, а, отже, і про двофазний стан Cu – Fe – Cr – C розплавів досліджених складів.

Ще однією необхідною умовою отримання сплавів зі структурою типу «замороженої емульсії» (крім перебування розплаву в двофазному стані) є можливість його переведення в стан емульсії.

Досліджували сплави на основі міді та на основі хромистого чавуну. Сплави на мідній основі містили 5 % (по масі) (Fe – Cr – C) добавки (1,6 % (по масі) C та 16 % (по масі) Cr). Сплави на (Fe – Cr – C) основі отримували шляхом введення в розплав хромистого чавуну (4,4 % (по масі) C та 16 % (по масі) Cr) міді в кількості 5 % від маси чавуну. Емульгування Cu – (Fe – Cr – C) розплаву відбувалося внаслідок електромагнітного перемішування при плавці в індукційній печі. Зразки для досліджень отримували методом гартування з рідкого стану, таким чином при кімнатній температурі фіксували будову, близьку до будови розплаву.

Встановлено, що структура досліджених зразків являє собою «заморожену емульсію» з дисперсною фазою, утвореною на основі введеної добавки (рис. 2 а, 3 а). В зразках, отриманих заливкою розплаву в металевий кокіль, коалесценція і седиментація вкраплень дисперсної фази також не отримують помітного розвитку, тому структура «замороженої емульсії» зберігається (рис. 2 б, рис. 3 б).

У структурі хромистого чавуну мідні вкраплення, розподілені в (Fe – Cr – C) основі, є перешкодою для росту первинних карбідів при кристалізації (особливо чітко цей ефект виявляється в структурі

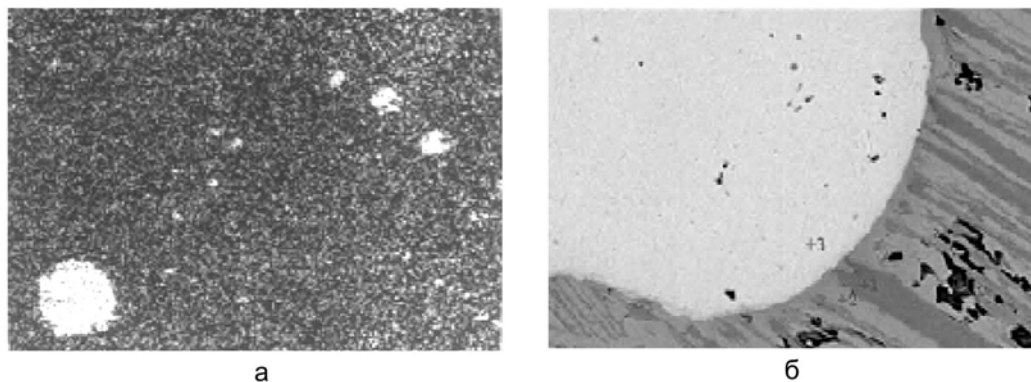


Рис. 2. Структура зразка зі сплаву, отриманого введенням в розплав хромистого чавуну (16 % Cr, 4,4 % C) 5 % міді. а – гартування з рідкого стану, б – заливка в кокіль. а – х 200, б – х 1570.

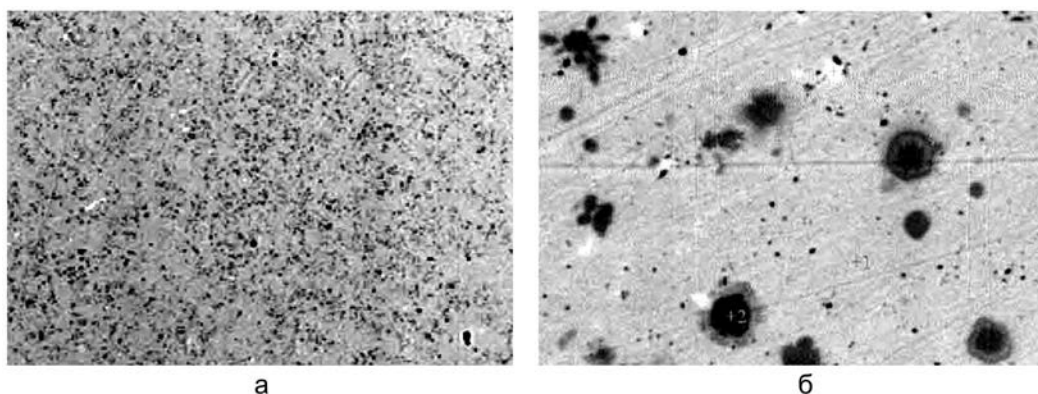


Рис. 3. Структура зразка зі сплаву, отриманого введенням в розплав міді 5 % хромистого чавуну (16 % Cr, 1,6 % C ). а – гартування з рідкого стану, б – заливка в кокиль. а – х 100, б – х 3930.

заевтектичних чавунів – рис. 2 б). Структура Cu – (Fe – Cr – C) сплавів на базі міді являє собою основу з практично чистої міді, в якій розподілені (Fe – Cr – C) вкраплення (рис. 3 б). Зазначена особливість дає можливість отримувати дисперснозміцнені сплави з вкрапленнями, які утворюються в рідкому стані. Такі сплави потенційно здатні зберігати високі показники механічних і кондуктивних властивостей при нагріванні аж до температури плавлення основи.

Таким чином експериментально підтверджено теоретично встановлений факт можливості перебування розплавів системи Cu – Fe – Cr – C в двофазному стані. Емпірично встановлена можливість емульгування розплавів зазначеної системи та отримання литих структур типу «заморожена емульсія». Отримано експериментальні свідчення того, що наявність мідних вкраплень в структурі хромистих чавунів сприяє подрібненню первинних карбідів.

Практично доведено можливість отримання дисперснозміцнених сплавів на основі міді з (Fe – Cr – C) вкрапленнями зміцнювальної фази, які утворюються в розплаві.

### Література

1. Кириевский Б.А., Христенко В.В. О взаимной растворимости и образовании области несмешиваемости металлов в жидком состоянии // *Металл и литье Украины*. – 1999. – № 1 – 2. – С. 12 – 15.
2. Кириевский Б.А., Христенко В.В. Перелом Е.В. Влияние третьего элемента на параметры области несмешиваемости в жидком состоянии в системе Cu – Cr // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2000. – 22, № 8. – С. 19 – 27.
3. Кириевский Б.А., Христенко В.В. Перспективные методы дисперсионного упрочнения сплавов на основе меди для изготовления электродов контактной сварки // *Наука та інновації*. – 2005. – 1, № 6. – С. 84 – 90.
4. Христенко В.В., Руденко М.А., Кириевский Б.А. Особенности строения расплавов системы Cu – Fe // *Процессы литья*. – 2009. – № 3 – С. 63 – 68.

5. Христенко В.В., Руденко М.А., Кириевский Б.А. Уточнение строения расплавов системы Cu – Fe методом термодинамического анализа // Процессы литья. – 2009. – № 6. – С. 16 – 22.
6. Христенко В.В., Руденко М.А., Ушкалова О.В. Структура расплавов системы Cu – Cr // Процессы литья. – 2012. – № 6. – С. 62 – 65.
7. Христенко В.В., Руденко М.А., Ушкалова О.В. Об ограниченной взаимной растворимости компонентов в расплавах бинарных металлических систем монотектического типа // Процессы литья. – 2012. – № 5. – С. 13 – 19.
8. Кириевский Б.А., Христенко В.В., Трубоченко Л.Н. Литые дисперсноупрочненные медные сплавы на основе монотектических систем // Металлургия машиностроения. – 2008. – № 4. – С. 20 – 24.
9. Кириевский Б.А., Христенко В.В. Создание новых и усовершенствование существующих сплавов системы Cu – Cr – Fe – C с улучшенными свойствами // Металлургия машиностроения. – 2002. – № 5 (8). – С. 24 – 30.
10. Христенко В.В., Ушкалова О.В., Трубоченко Л.Н. Зносостійкі сплави системи (Fe – Cr – C) з поліпшеними властивостями // Матеріали науково-практичної виставки-конференції «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология». – Киев: ФТИМС НАН Украины, 12 – 14 декабря 2011. – С. 293 – 294.
11. Химущин Ф. Ф. Нержавеющие стали. – М.: Металлургия, 1967. – 798 с.

Одержано 21.12.15

**В. В. Христенко, О. В. Ушкалова, Д. А. Москалюк**

### **Получение сплавов со структурой «замороженной эмульсии» на базе системы Cu – (Fe – Cr – C)**

#### **Резюме**

Експериментально досліджено можливість існування расплавов системи Cu – (Fe – Cr – C) в двухфазном состоянні. Показано можливість створення на базі вказаної системи сплавів со структурою «замороженої емульсії».

**V. V. Khristenko, O. V. Ushkalova, D. O. Moskaliuk**

### **Prospects for obtaining of alloys with “frozen emulsions” structure on Cu – (Fe – Cr – C) system basis**

#### **Summary**

The possibility of Cu – (Fe – Cr – C) melts existence in two-phase state has been experimentally investigated. The possibility of alloys with “frozen emulsions” structure creation on this system basis has been demonstrated.