

**Державна металургійна академія України**

**На правах рукопису**

**Іонова Людмила Іоріївна**

**ОСОБЛИВОСТІ ЕВТЕКТИЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ  
ВИСОКОХРОМИСТИХ ЧАВУНІВ ТА ВИБІР ЇХ СКЛАДІВ,  
ЗАБЕЗПЕЧУЮЧИЙ ВИСОКІ СЛУЖБОВІ ВЛАСТИВОСТІ  
ВІДЛИВОК**

**Спеціальність 05.16.01-**

**Металознавство та термічна обробка металів**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового  
ступеню кандидата технічних наук**

**Дніпропетровськ  
1996**

669.014

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00757053 (R)

Дисертація є  
Робота виконана  
металургійної академії

Науковий керівник

академік НАН України, доктор  
технічних наук, професор  
Таран Юрій Миколаєвич

Офіційні опоненти :

доктор технічних наук, професор  
кафедри  
металофізики Дніпропетровського  
державного університету  
Спірідонова Ірина Миколаєвна,

кандидат технічних наук, завідувачий  
відділом фізичного металоознавства  
ІЧМ НАН України  
Лучкін Володимир Сергійович

Провідне підприємство :

Дніпропетровський завод  
металургійного устаткування

Захист відбудеться "17" декабря 1996р. в  
12<sup>30</sup> годин на засіданні спеціалізованої ради ДОЗ1101 при  
Державній металургійній академії України за адресою: 320635  
м.Дніпропетровськ, пр.Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державної  
металургійної академії України.

Автореферат розісланий "15" ноября 1996 р.

Вчений секретар Ради

доктор технічних наук, професор Сафьян М.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Основою для значної частини асортименту спеціальних сталей та білих вносостійких чавунів служить система Fe-C-Cr. Завдяки гарним службовим властивостям і економічності високохромисті сплави знаходять все більш широке застосування у виробництві деталей змінного металургійного обладнання з відливок. У зв'язку з цим дослідження процесів формування їх структури при кристалізації і підсолідусних температурах має не тільки теоретичне, але й прикладне значення.

В той же час суперечні думки про ліквідусну поверхню діаграми Fe-C-Cr примушують очікувати кристалізації різних по типу та рівню стійкості карбідів хрому в області складів багатьох широко вживаних високохромистих чавунів і сплавів. Між тим, морфологія високохромистих карбідів і евтектик на їх базі відрізняється від другої не менш, ніж від цементита. Крім того залишаються не визначені області існування метастабільних карбідних евтектик та їх можливих переходів у стабільний стан, а значить не повністю використовуються можливості керування структуроутворенням, які дозволяють цілоспрямовано підвищувати службові властивості відливок.

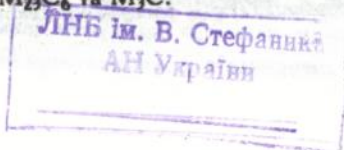
Мета роботи полягала у вивченні механізмів формування структури високохромистих залізовуглецевих сплавів і у практичному застосуванні отриманих результатів до поліпшення службових властивостей відливок із високохромистих чавунів.

Наукова новизна. Запропонована процедура визначення у трикомпонентних системах областей та умов існування (або співіснування зі стабільними) метастабільних подвійних евтек як, не відображених на існуючих діаграмах стану.

Доказана неможливість проходження перітектико-евтектичної реакції  $P + M_{23}C_6 \rightleftharpoons \alpha + M_7C_3$  у системі Fe+C+Cr, при цьому виявлена нерівноважна перітектико-евтектична реакція  $P + M_7C_3 \rightarrow$

$\alpha + M_{23}C_6$ , яка не відноситься ні до стабільної, ні до метастабільної діаграми.

Визначені області часткової та повної метастабільності карбиду  $M_7C_3$  відносно до двох карбідів:  $M_{23}C_6$  та  $M_3C$ .



Побудована гіпотетична діаграма метастабільної рівноваги у системі  $Fe+C+Cr$ , відображуюча утворення евтектики на базі карбіду  $M_3C_2$ .

У сплавах системи  $Fe+C+Cr$  зі співвідношенням  $Cr/C > 15$  виявлені закономірно розташовані у обсязі відливки області з високохромистими евтектиками різного рівня стійкості, а також структури типу половинчатих, у яких співіснують стабільний карбід  $M_{23}C_6$  та метастабільний карбід  $M_7C_3$ .

Досліджено розподілення ванадія між фазами високохромистого чавуну, а також розподілення  $Cr, V, Mn, Si$  та  $Al$  у фазах хромованадійового чавуну.

Встановлені деякі загальні закономірності формування структури прискорено охолоджених евтектичних сплавів.

**Практична цінність та реалізація результатів роботи.** Грунтуючись на отриманих у роботі даних про формування структури високохромистих карбідних евтектик, обґрунтован вибір стабільної та двох метастабільних діаграм  $Fe+C+Cr$ , маючих велике значення для багатьох практичних питань металознавства, зокрема для розробки нових матеріалів, та вибору режимів їх термічної обробки. Застосування виявлених загальних закономірностей формування евтектичних структур при прискореному охолодженні дозволяє прогнозувати утворення складних нерівноважних структур в різних евтектичних системах і тим самим значно знизити кількість експериментів, необхідних для визначення кінцевої структури цілої серії сплавів різного складу. Вивчення розподілення додаткових легуючих елементів у фазах хромованадійового чавуну дозволяє раціонально використовувати їх в промислових відливках.

Розроблен варіант оптимального комплексного легування високохромистого вносостійкого сплава для деталей завантажуючого обладнання доменних печей, працюючих в умовах значних ударних навантажень. Відповідно до долевої участі автора економічний ефект від впровадження результатів цих розробок на Челябінському металургійному комбінаті склав 25,6 тис. карбованців (в цінах 1988 р.).

**Апробація роботи.** Матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на: республіканській науково-технічній конференції "Підвищення якості відливок металургійного устаткування та ефективності технологічних процесів їх виробництва" (Дніпропетровськ, 1978 р.); республіканському науково-технічному семінарі

"Процеси плавки ливарних сплавів" (Київ, 1979р.); II Всесоюзній науковій конференції "Закономірності формування структури сплавів евтектичного типу" (Дніпропетровськ, 1982р.); X Українська республіканська науково-технічна конференція "Підвищення якості аналітичного контролю матеріалів металургійного виробництва в XII п'ятиріччі" (Дніпропетровськ, 1986р.); республіканському науково-технічному семінарі "Хром-88" (Київ, 1988р.); науковому семінарі кафедри металознавства Державної металургійної академії України.

**Публікації.** Основний зміст дисертації опубліковано в 6 друкованих роботах.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, 7 глав, висновків, списку літератури (94 назв) та додатків. Робота містить 116 сторінок друкарського тексту, 60 малюнків, 17 таблиць. Обсяг додатків складає 13 сторінок.

**Особистий вклад автора.** Усі результати, що складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно, зокрема ті, котрі складають загальні висновки та наукову новину.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обгрунтовані актуальність роботи, її мета, викладена наукова новина та основні положення, які виносяться на захист.

У **першій главі** проведений аналіз літератури, що присвячена предмету дослідження, на основі чого сформульовані задачі роботи.

У **другій главі** викладена методика досліджень і розглянуті вивчені матеріали.

Об'єктом дослідження служили сплави системи  $Fe+C+Cr$  з вмістом хрому від 10 до 83% і вуглецю від 1 до 4%, котрі виплавлялися в чистих і особочистих шихтових матеріалах в індукційній печі МВП-3М, печі Таммана та вакуумній печі СШВЕ 1.2,5/25Н2. Перегрів розплаву складав 100-150°C. В залежності від дослідницьких задач охолодження сплавів здійснювалось різними способами в інтервалі швидкостей охолодження від 0,2 К/с до 100 К/с. При охолодженні з високою швидкістю розплав методом вакуумної екстракції втягувався у кварцеві трубочки, при повільному охолодженні кристалізувався в алундових тиглях

остигая разом з печєю. Розливання розплаву проводилося в ізложниці різної форми і матеріалу, з основному в кварцеві циліндрові і сталеві клиновидні.

Для вивчення процесу кристалізації в умовах, наближених до рівноважних, застосовувався метод гартування з твердорідного стану.

Мікроструктурний аналіз проводився на оптичних мікроскопах "Nu-2", "Neophot-21", "EpiTip", "Vertival", "Axiomat" германських фірм "Opton" та "Zeiss". Мікроструктуру виявляли тепловим та хімічним травленням. Найбільш ефективним виявився дещо змінений реактив Гросбека, до якого було розроблено власну методику травлення. Растровий електронний мікроаналіз проводився на мікроскопі "JSM-35" японської фірми "JEOL".

Якісний та кількісний рентгеноспектральний мікроаналіз здійснювався на приладі MS-46 французької фірми "Cameca".

Рентгеноструктурний аналіз проводили на дифрактометрі ДРОН-2,0 в  $\text{Cu K}\alpha$  випромінюванні з фокусуванням за Бреггом-Брегано.

Математична обробка експериментальних даних проводилась на ЕОМ HP-9835A (американська фірма Hewlett-Packard) з використанням її стандартного математичного забезпечення.

Третя глава присвячена використанню діаграм стану для фазового аналізу евтектичних сплавів, які кристалізуються при прискореному охолодженні.

За допомогою графічного методу екстраполяції рівноважних фазових границь розглянуто два питання. По-перше, вивчалися структури, утворені в результаті двофазної евтектичної кристалізації, в котрих співіснували стабільні та метастабільні фази, які не знаходились в рівновазі одна з одною (далі звані структурами типу половинчатих) та використовувались поняття  $\Delta T$ -температурний інтервал між стабільним і метастабільним ліквідусами первинних ведучих фаз і  $\Delta t_c$  - між стабільною та метастабільною евтектичними горизонталями. Порівняння політермічних перетин цієї системи, в котрій утворюється обмежено метастабільна фаза і простої евтектичної системи, в котрій утворюється нова метастабільна фаза, виявилось більш інформативним, ніж застосований раніше облік різності розчинності первинних фаз різного рівня стійкості в ізотермічних умовах.

Показано, що теоретично у заевтектичному сплаві при утворенні однієї метастабільної фази можливо формування 7 різних варіантів структури

типа половинчатої. Конкретно реалізуємі при литті варіанти залежать від співвідношень між  $\Delta t_p$  і  $\Delta t_e$ . В свою чергу ці інтервали при фіксованому складі сплава залежать від кута нахилу метастабільного ліквідуса ведучої фази.

В загальному випадку при утворюванні нової метастабільної фази більш імовірно формування таких типів "половинчатих" структур, у яких кристалізації метастабільної евтектики і стабільної первинної фази віддається перевага, а при утворюванні обмежено метастабільної фази - навпроти, стабільної евтектики і метастабільної первинної фази.

По-друге, були розглянуті метастабільні подвійні евтектики, котрі у багатокомпонентних системах можуть бути утворені не тільки безпосередньо в результаті метастабільного евтектичного затверднення. Джерелом утворення метастабільної евтектичної структури може бути і невавершеність при прискореному охолодженні стабільних чотирифазних реакцій II класу, пов'язана з повільним плавлінням утворених при попередній кристалізації фаз.

Стабільні подвійні карбідні евтектики, що потрапляють до зони повільно примінаючих перітектико-евтектичних реакцій, за формулою яких утворюється новий тип карбіда (тобто в зону реакції  $P + K_1 \rightarrow \alpha + K_2$ ), опиняються метастабільними нижче площини рівноваги при умові великого ступеня невавершеності реакції. Границі існування цих метастабільних евтектик можуть бути виявлені шляхом екстраполяції стабільних фазових границь трифазної евтектичної області у розташовані нижче підсолідусні області. При цьому метастабільні області такого типу не поширюються цілком на увесь обсяг нижчележачих стабільних областей, що і являється однією з причин, по котрій вони не відображуються в метастабільних діаграмах. Крім того, після неповного проминання реакції метастабільні (нерозчинені) евтектики співіснують зі стабільними в цих же екстрапольованих границях. В цих же межах можлива і трансформація евтектичного метастабільного карбіда в стабільний.

У випадку більшого ступеню невавершеності чотирифазної реакції в усіх сплавах, потрапляючих після затверднення у твердофазну трифазну область, евтектика, що раніше виділилася по трифазній реакції, буде частково метастабільною, а в сплавах, потрапляючих до двофазної області - повністю метастабільною.

У четвертій главі проведено аналіз фазових рівноваг у системі Fe-C-Cr.

Для перевірки типу первинної і евтектичної кристалізації карбідних фаз в умовах, близьких до рівноважних, досліджувались можливо більш повільно затвердненні сплави N1-17, склади яких охоплювали різні первинні області на проекції ліквідуса діаграми Fe-C-Cr.

Було показано, що в залежності від складу сплава утворюються різні типи евтектичних хромистих карбідів: або  $M_{23}C_6$  або  $M_7C_3$  або ж обое типів карбідів одночасно, чого не можна пояснити зокрема ні за допомогою стабільного, ні за допомогою метастабільного варіантів потрійної діаграми.

Металографічний та рентгенівський аналіз сплавів N7 і 8 підтвердив, що в них у литому стані карбід  $M_{23}C_6$  відсутній, але з'являється після відпапу при  $1000^\circ C$ , що свідчить на користь стабільного варіанта потрійної діаграми.

Вибір метастабільного варіанта діаграми, відображаючого утворення евтектики на базі карбіда  $M_7C_3$ , полягав у з'ясуванні наявності або відсутності на ній області виділення первинного карбіда  $M_{23}C_6$ . Достатніми експериментальними доказами на користь її відсутності були:

- 1) виділення надмірного і евтектичного карбіда  $M_{23}C_6$  нижче наявних в літературі варіантів первинної області його існування;
- 2) утворення метастабільного карбіда  $M_7C_3$  у самі й короткій в цих областях;
- 3) підтвердження відсутності реакції  $P + M_{23}C_6 \rightleftharpoons \alpha + M_7C_3$  (1)

Структура сплавів N15 і N18...21 підтвердила положення першого та другого пунктів. Однак найбільш переконливим доказом служив третій пункт.

Дійсно, на сьогоднішній день немає ніяких експериментальних свідчень існування реакції (1), котра дотогож теоретично неможлива в ряду причин:

- а) по перітектико-евтектичній реакції не може утворюватися метастабільна евтектика з карбідом, записаним у правій частині реакції, як було показано в попередньому розділі;
- б) зміст хрому у карбіді  $M_{23}C_6$  повинен бути вищим, ніж у

карбіді  $M_7C_3$  що не відповідає дійсності;

- в) реальна мікроструктура діаметрально протилежна очікуваній по реакції (1).

Для пояснення особливостей мікроструктури ряду високохромистих сплавів запропонована реакція  $\rho + M_7C_3 \rightarrow \alpha + M_{23}C_6$  (2), котра дозволяє правильно врахувати:

- 1) послідовність утворення карбідних евтектик;
- 2) підплавління первинних і евтектичних карбідів  $M_7C_3$  та утворення на них евтектики на базі кубічного карбіду;
- 3) перітектоїдну реакцію  $M_7C_3 + \alpha \rightarrow M_{23}C_6$ ;
- 4) мікроструктурну схожість зі сплавами, у яких проминання перітектико-евтектичних реакцій докavano.

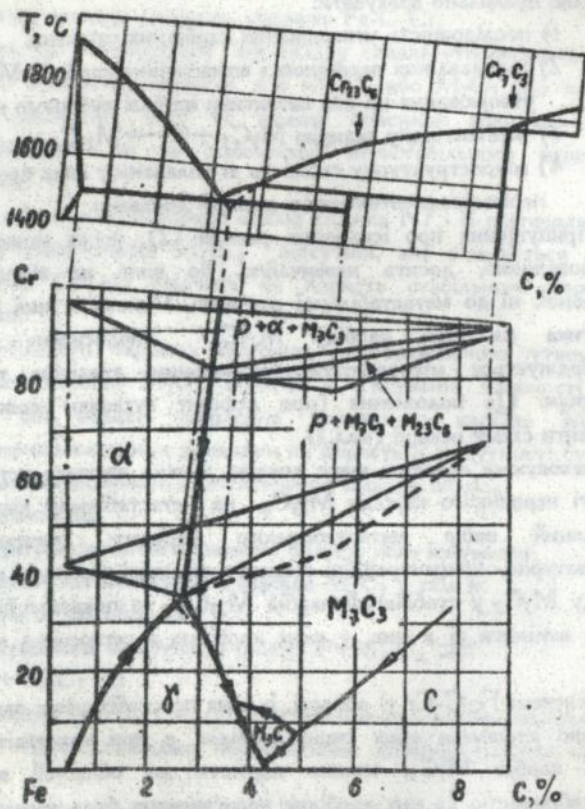
Припущення про існування реакції (2), котра може бути названа нерівноважною, досить незвичайне, бо вона не відноситься ні до стабільної, ні до метастабільної діаграми. Рідина, в якій кристалізується евтектика на базі карбіду  $M_{23}C_6$ , недосичена вуглецем, що підтверджується мікрорентгеноспектральним аналізом тонкої щільної евтектики. Це положення (про дефіцит вуглецю) дозволяє графічно зобразити схему реакції (мал.1).

Ураховуючи наведені вище докази, можна вважати установленим, що області первинного карбіду  $M_{23}C_6$  на метастабільній діаграмі не існує. Зроблений вибір метастабільного варіанту дозволив визначити температурно-концентраційні області можливих переходів метастабільного карбіду  $M_7C_3$  у стабільний карбід  $M_{23}C_6$  та показати їх у ізометрії, а також виділити ті з них, у яких карбідне перетворення не буде іти до кінця.

У системі Fe-C-Cr ті області, в яких по стабільному варіанту діаграми можливо існування обох типів карбідів, а при кристалізації утворився тільки карбід  $M_7C_3$ , можна віднести до областей з частковою метастабільністю (в них карбідне перетворення буде торкатися тільки тої частини карбіду  $M_7C_3$ , котра виділилась замість карбіду  $M_{23}C_6$ ).

Області, в яких по стабільному варіанту повинен виділитися лише тільки один тип карбіда -  $M_{23}C_6$ , а при кристалізації утворився карбід  $M_7C_3$ , являються областями повної (100%) метастабільності.

Схема утворення нерівноважної  
перітектико-евтектичної реакції  
 $P + M_7C_3 \rightarrow \alpha + M_{23}C_6$



Мал. 1

Однак карбід  $M_7C_3$  може бути метастабільним і відносно до карбіду  $M_3C$ . Це може виникати при незавершеності стабільної реакції  $P + M_7C_3 \rightleftharpoons \delta + M_3C$  у межах, окреслених екстраполяцією границь трифазної області  $P + \delta + M_7C_3$  у нижчележачі твердофазні області. Причому у двофазній області карбід  $M_7C_3$  повністю метастабільний, а у трифазній - частково.

З літератури звісно, що у сплавах з вмістом хрому 7...30% була одержана, при високій швидкості охолодження, евтектика на базі карбіду  $M_3C_2$ . Відобразити її кристалізацію можливо за допомогою побудованої у роботі діаграми більш високого рівня метастабільності, гіпотетична поверхня ліквідуса якої здобута поширенням метастабільної реакції  $P \rightleftharpoons (Cr) + Cr_3C_2$  подвійної системи Cr-C на потрібну.

У п'ятій главі розглянуті особливості формування структури високохромистих карбідних евтектик.

Вивчення впливу швидкості охолодження на процес кристалізації проводилося на сплавах N22...26, в яких при постійному вмісті хрому (31%) змінювався вміст вуглецю. Сплави кристалізувалися у кварцевих стаканчиках на повітрі та у сталевих клиновидних ізложницях. По мірі зменшення співвідношення Cr/C здійснювався перехід від наявності у відливках двох типів евтектик (з перевагою стабільної) до формування повністю метастабільної структури. Аналогічним чином одночасно зі зменшенням співвідношення Cr/C у заевтектичних сплавах відбувався перехід до виділення метастабільного первинного карбіду замість стабільного.

В обсязі відливок спостерігався закономірний характер у розподілі зон зі стабільною і метастабільною евтектиками, подібний існуючому у нелегованих чавунах.

У випадку зонального розподілу у циліндричних відливках, утворення зони з метастабільною евтектикою на базі карбіду  $M_7C_3$  з поверхні, при наявності стабільної евтектики на базі карбіду  $M_{23}C_6$  у серцевині, можна порівняти з відбіленою відливкою. Утворення стабільної евтектики з поверхні, а метастабільної - у середині подібно до того, що спостерігається у відливках з оберненим відбілом. Тонка поверхова кірка стабільної евтектики аналогічна сірій кірці в нелегованих чавунах.

Навколо ділянок стабільної евтектики в обсязі відливок утворювалася кайма, в якій відбувалася самосвобільна трансформація метастабільного карбіду у стабільний. Зони самосвобільного карбідного перетворення існували і самостійно, поза зв'язком зі стабільною евтектикою. При відпаді або у процесі охолодження після затверднення відбувалася псевдоморфоза стабільного карбіду по метастабільному, при якій хімічний склад гервінного або евтектичного карбіду відповідав стабільному, а морфологія зберігала метастабільні риси.

При традиційних швидкостях охолодження формування структур типу половинчатих в результаті евтектичного затверднення спостерігалось і в мікроструктурі ряду сплавів зі співвідношенням  $Cr/C > 15$ . Однак для їх отримання в різних сплавах потребувалися різні швидкості охолодження (ступені переохолодження). При цьому базова система Cr-C предвизначала формування "половинчатих" структур цілком визначеного типу, а саме таких, в яких кристалізація первинної стабільної карбідної фази переважається легше, а стабільної евтектики - складніше, оскільки  $\Delta t$  між ліквідусами первинних фаз менш, ніж  $\Delta t$  між евтектиками. Стабільною фазою являвся карбід  $M_{23}C_6$ .

У системі Fe-C-Cr можливо також утворення "прихованих" різновидів "половинчатих" структур, при якому частина карбідної фази одного й того ж типу є стабільною, а друга частина - метастабільною. Це може відбуватися тільки в областях часткової метастабільності карбіда  $M_7C_3$  і було показано на прикладі сплава N7.

В шостій главі вивчен міжфазний розподіл елементів та проведено вибір оптимального складу високохромистого зносостійкого проти спрацювання чавуну.

Механічні та службові властивості відливок в значній мірі залежать від розподілу легуючих елементів між фазами чавуну. Удосконалюючи схему легування можна вплинути у вибраному напрямку не тільки на твердий розчин, але і на первинну структуру, аж до зміни типу карбідної фази. Тому у сплавах N28...46 був вивчен розподіл V від 0 до 5% у хромистому чавуні; розподіл Si від 0 до 4%, Al від 0 до 5% і Mn від 0 до 12% між фазами хромованадійового чавуну, а також вплив V, Si, Mn і Al на розподіл хрому між карбідом  $M_7C_3$  та твердим розчином.

Вибір оптимального складу для праці в умовах абразивного зносу і ударних навантажень проводився в трьох марок комплексно-легованих

чавунів з вмістом 1,5...2,0%С і 2,2...2,4%Сг, котрі вивчалися у гартованому, нормалізованому, відпаленому і наклепаному стані. При цьому чавун, додатково легований 2%V, показав досить високу ліквідаційну однорідність та підвищену пластичність, пояснюючюся перетворенням евтектичного метастабільного карбиду  $M_7C_3$  в стабільний карбід  $M_{23}C_6$ . Наклеп у цьому сплаві приводив до відокремлювання та фрагментації тонких карбідних гілок без зруйнування і тріщиноутворення.

В сьомій главі наведені деякі загальні закономірності структуроутворення евтектичних сплавів при прискореній кристалізації.

Особливості формування структури високохромистих сплавів аналізувались у порівнянні зі структуроутворенням швидкоохолоджених сплавів других евтектичних систем, в основному Al-Ge і Fe-C, що дозволило сформулювати ряд загальних закономірностей, спостережаних у процесі їх затверднення:

- а) по мірі збільшення швидкості охолодження при затвердненні в евтектичних сплавах одного й того ж складу можливо послідовне утворення метастабільних фаз різного рівня стійкості;
- б) умовою співіснування стабільних і метастабільних фаз у макро- і мікроструктурі в результаті двофазного евтектичного затверднення є близькість евтектичних точок (тальвегів) стабільного і метастабільного евтектичних рівноваг;
- в) в обсязі однотипних відливків при однакових умовах затверднення спостерігається закономірний характер взаємного розташування областей з евтектиками різного рівня стійкості, визначеними умовами тепловідведення;
- г) при охолодженні відбувається самосвобільна трансформація метастабільних первинних і евтектичних фаз у стабільні фази;
- д) визначені умови приводять до псевдоморфози стабільної евтектики по метастабільній;
- е) на утворення метастабільної структури впливає ступінь евтектичності;
- ж) у багатокомпонентних системах можуть існувати області стабільної рівноваги між фазами, здатними в інших умовах утворювати структури типа половинчатих;

- в) в результаті незавершеності стабільних перітектико-евтектичних реакцій можуть бути утворені структури типу половинчатих, якщо у правій та лівій частинах реакції беруть участь різні карбідні фази.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Близкість стабільної та найближчої з метастабільних евтектичних точок (талевегів) сприяє формуванню мікроструктур типу половинчатих, конкретно реалізуемі варіанти яких залежать від кута нахилу метастабільного ліквідуса ведучої фази та від віддаленності складу сплава від евтектичної точки. В обсязі відливок при цьому розподіл областей в евтектиками різного рівня стійкості носить закономірний характер, визначаємий умовами тепловідведення.

2. В системах Fe-C-Карбідоутворюючий елемент можуть існувати області мстабільних подвійних карбідних евтектик, не відображаемі на метастабільних діаграмах. Такі метастабільні евтектики можуть бути утворені в сплавах, котрі після стабільної двофазної евтектичної кристалізації потрапляють в зону повністю незавершених стабільних перітектико-евтектичних реакцій, по формулі яких утворюється новий тип карбіда. При цьому метастабільні області їх існування, які визначаються за допомогою графічної екстраполяції, не поширюються цілком на весь обсяг нижчележачих стабільних областей.

По конодній площині перітектико-евтектичної рівноваги можна завчасно провістити: температурно-концентраційні границі можливого перетворення метастабільних евтектик, стабільний продукт перетворення і кількість перетвореної фази для кожного сплава.

Після неповного, часткового проминання чотирифазної реакції метастабільні евтектики співіснують зі стабільними в цих же областях.

3. При визначених умовах затверднення в ряді сплавів Fe-C-Cr зі співвідношенням  $Cr/C > 15$  спостерігаються:

- зональний розподіл областей зі стабільною і метастабільною евтектиками в мікрообсязі відливок, подібний до спостерігаемого у неслгованих відбілених відливках та у відливках в оберненому відбілом;

- мікроструктури типу половинчатих, причому такі їх варіанти, у яких кристалізація первинної карбідної фази в стабільній формі переважається легше, а стабільної евтектики - складніше, що предвизначається базовою системою Cr-C;

- самосвільна трансформація метастабільної карбідної фази у стабільну. При цьому, як і у випадку спеціальної термічної обробки, стабільний карбід успадковує форму метастабільного.

Стабільною фазою є карбід  $M_{23}C_6$ , метастабільною - карбід  $M_7C_3$ .

4. Обгрунтован вибір стабільного варіанту діаграми Fe-C-Cr і метастабільної діаграми I, по котрій кристалізується евтектика ферит-карбід  $M_7C_3$ . Побудована гіпотетична метастабільна діаграма II більш високого рівня метастабільності, відбиваюча утворення евтектики на базі карбіду  $M_3C_2$ . Таким чином, кристалізація високохромистих карбідних евтектик у системі Fe-C-Cr може відбуватися по стабільній діаграмі рівноваги та двом метастабільним.

5. Показана неможливість проминання в системі Fe-C-Cr реакції  $P + M_{23}C_6 \rightleftharpoons \alpha + M_7C_3$ , яка суперечить утворюваній при литті мікроструктурі. Виявлена реакція, у якій приймають участь ті ж фази, але карбіди утворюються в протилежній послідовності. Це нерівноважна перітектико-евтектична реакція  $P + M_7C_3 \rightarrow \alpha + M_{23}C_6$ , яка не відноситься ні до стабільної, ні до метастабільної діаграм. Облік дефіциту вуглецю в рідині, в якій утворюється стабільна евтектика, дозволив графічно зобразити схему формування чотирифазної площини реакції.

6. У відливках з високохромистих чавунів і сплавів карбід  $M_7C_3$  може бути метастабілен відносно до двох карбідів:  $M_{23}C_6$  і  $M_3C$ . Визначені області його часткової та повної метастабільності відносно до цих карбідів. В областях  $P + \delta + M_{23}C_6$ ;  $\delta + M_{23}C_6$ ;  $\alpha + \delta + M_{23}C_6$ ;  $\alpha + M_{23}C_6$ ;  $P + M_{23}C_6$  і  $P + \alpha + M_{23}C_6$  карбід  $M_7C_3$  повністю метастабілен відносно до карбіду  $M_{23}C_6$ ; в областях  $M_{23}C_6 + M_7C_3$ ;  $P + M_{23}C_6 + M_7C_3$  і  $\delta + M_{23}C_6 + M_7C_3$  - частково метастабілен. Ці області зображені в ізометрії.

В області  $\delta + M_3C + M_7C_3$  карбід  $M_7C_3$  буде частково, а в областях  $P + \delta + M_3C$  і  $\delta + M_3C$  - повністю метастабілен відносно до карбіду  $M_3C$ .

7. У високохромистому чавуні коефіцієнт розподілу ванадія між карбідом  $M_7C_3$  і аустенітом складає приблизно 9.

У хромованадійовому чавуні Si і Al розчиняються тільки в аустеніті. Коефіцієнт розподілу Mn між карбідом  $M_7C_3$  і аустенітом у хромованадійовому чавуні практично не відрізняється від одиниці.

Вміст хрому в карбіді  $M_7C_3$  зростає, Si, Al і Mn. В зменшує вміст хрому в  $M_7C_3$ : 1% ванадію зменшує долю хрому в карбіді приблизно на 2%.

8. Порівняльний аналіз систем Fe-C-Cr, Al-Ge, Fe-C і деяких інших дозволив встановити ряд загальних закономірностей, спостережаних у структуроутворенні евтектичних сплавів при прискореній кристалізації.

9. Обгрунтован вибір оптимального складу високохромистого комплексно-легованого чавуна. Ліпші результати по всім дослідженим структурним параметрам показав сплав, додатково легований ванадієм. Висока енергоємність руйнування дозволила рекомендувати його в якості зносостійкого матеріала для деталей завантажувального механізму домених печей, випробовуючих в процесі роботи значні ударні навантаження.

Відповідно до долевої участі автора, економічний ефект від впровадження хромованадієвого сплава на Челябінському металургійному комбінаті склав 25,6 тис.крб.(в цінах 1988р.).

#### Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:

1. Распределение легирующих элементов в хромистом чугуна / Ионова Л.Ю., Калинушкин Е.П., Иванов В.Х., Савич А.И.// Повышение качества отливок металлургического оборудования и эффективности технологических процессов их производства: Тез.докл.науч.-техн.конф. - Днепропетровск, 1978. -С.47-48.

2. Отбеливаемость высоколегированных чугунов / Потапов В.А., Дукельский Ю.М., Ионова Л.Ю. и др.// Повышение качества отливок металлургического оборудования и эффективности технологических процессов их производства: Тез.докл.науч.-техн.конф. - Днепропетровск, 1978. -С.48-49.

3. Распределение легирующих элементов в хромованадиевом белом чугуна / Ионова Л.Ю., Калинушкин Е.П., Иванов В.Х. и др.// Процессы плавки легчайших сплавов.-Киев: ИПЛ АН УССР, 1979. -С.126-130.

4. Снаговский Л.М., Ионова Л.Ю., Конобрицкая О.И. Структура и фазовый состав эвтектик высокохромистых железоуглеродных сплавов // Повышение качества аналитического контроля материалов металлургического производства в XII пятилетке: Тез. докл. X Укр. респ. науч.-техн. конф. - Днепропетровск: ДМетИ, 1986. - С. 102.

5. Ионова Л.Ю. Структура высокохромистых железоуглеродистых сплавов // Проблемы металлургического производства. - Киев: Техника, 1990. - ДМетИ. - Вып. 101. - С. 106-108.

6. Таран-Жовнир Ю.Н., Ионова Л.Ю. Неравновесная кристаллизация хромистокарбидных эвтектик в системе Fe-C-Cr // Доклады АН Украинской ССР. - 1991. № 10. С. 98-101.

### АННОТАЦИЯ

Ионова Л.Ю. Особенности эвтектической кристаллизации высокохромистых чугунов и выбор их составов, обеспечивающий высокие служебные свойства отливок. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 "Металловедение и термическая обработка металлов". Государственная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, 1996.

Защищается научная работа, содержащая результаты исследований структурообразования высокохромистых карбидных эвтектик в отливках для металлургического производства. В системе Fe-C-Cr определены области частичной и полной метастабильности карбида  $M_7C_3$  по отношению к карбидам  $M_{23}C_6$  и  $M_3C$ ; обнаружена неравновесная перитектико-эвтектическая реакция  $Ж + M_7C_3 \rightarrow \alpha + M_{23}C_6$ ; построена гипотетическая диаграмма метастабильного равновесия, отражающая образование эвтектики на базе карбида  $M_3C_2$ ; предложен оптимальный состав износостойкого высокохромистого чугуна для работы в условиях ударных нагрузок. Установлены некоторые общие закономерности формирования структуры эвтектических сплавов при ускоренном затвердевании.

**Ключевые слова:** Эвтектика, диаграмма стабильного и метастабильного равновесия, высокохромистые карбиды, перитектико-эвтектическая реакция, устойчивость метастабильных фаз.

## ABSTRACT

Ionova L.Yu. The specialities of eutectic solidification of high-chromium cast irons and choice of their compositions, securing high service properties of cast irons. Thesis for a Candidate of science degree on speciality 05.16.01 - "Physical metallurgy and heat treatment of metals", State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, 1996.

Thesis presenting results of research the formation of structure high-chromium carbides eutectics in the cast irons for metallurgy. In the Fe-C-Cr system defined the regions of partly and fully metastability of the carbide  $M_7C_3$  regarding the carbides  $M_{23}C_6$  and  $M_3C$ ; discovered non-equilibrium peritectic-eutectic reaction  $L + M_7C_3 \rightarrow \alpha + M_{23}C_6$ ; constructed the hypothetical diagram of metastable equilibrium, reflecting the formation of eutectic based on carbide  $M_3C_2$ ; proposed the optimum composition of high-chromium resistant to abrasion cast iron for the blow loads work. Directioned some general regulations of the structure formation of eutectic alloys in the speeding up solidification.

**Key words:** eutectic, the diagram of stable and metastable equilibrium, high-chromium carbides, peritectic-eutectic reaction, the resistance of metastable phases.

*Ionova*

num. DTY 3AK. 2226-100.

436108

AB 36.052