

O. V. Nogovitsyn, A. S. Dyadyura, I. R. Baranov

Rheological properties of steel at roll casting-rolling

Summary

The rheological properties of steel in liquid, liqui-solid and solid states at roll casting – rolling were analyzed. Based on the experimental data PTIMA (Ukraine) were obtained according to the yield strength for carbon and alloyed steels in the lowstudied interval of temperatures – above $0.8 T_m$, including the solidus and liquid-solid two-phase state of steel. In combination with known researches of liquid steel viscosity, resistance of deformation of the solid metal, the received dependences rather fully describe a rheology of steel at foundry-deformation processes.

УДК 620.1:66.017:669.14

Фазові і структурні перетворення при кристалізації розплаву Fe – W – C

О. В. Мовчан, кандидат технічних наук

А. П. Бачурін, кандидат технічних наук

К. О. Чорноіваненко, кандидат технічних наук

Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ

Досліджено механізми фазових і структурних перетворень, що здійснюються при ізотермічному зневуглецюванні розплаву Fe – W – C. Методом геометричної термодинаміки та металографічним аналізом встановлено евтектичне перетворення $l \rightarrow \gamma + M_6C$, що супроводжується дифузійним перерозподілом карбідоутворюючого елемента перед фронтом кристалізації.

При дифузійній зміні концентрації вуглецю в сплавах системи Fe – Me – C можливе протікання багатofазних перетворень за умови, що на ізотермічному перерізі потрібної діаграми стану присутня трифазна область, обмежена конодним трикутником. Наприклад, навуглецювання феритних сплавів заліза з карбідоутворюючими α -стабілізаторами (вольфрам, молібден, хром, ванадій, титан) викликає перебіг трифазної реакції $\alpha \rightarrow \gamma + \text{карбід}$ [1 – 2]. В результаті формується евтектоїдна структура, яка складається з аустеніту або продукту його перетворення і спеціального карбіду. Від класичного евтектоїда дані структури відрізняє те, що їх утворення стимулюється не зміною температури, а зміною концентрації вуглецю. Встановлено, що при зневуглецюванні зазначена реакція протікає в зворотному напрямку за перитектоїдним механізмом [3]. При ізотермічному зневуглецюванні високовуглецевого розплаву системи Fe – C – карбідоутворюючий елемент можлива кристалізація з утворенням аустеніту і карбіду подібно евтектичному

перетворенню. Кристалізацію за евтектичним механізмом раніше спостерігали при зневуглецюванні розплаву системи Fe – Mo – C [4].

Метою роботи є дослідження механізмів фазових і структурних перетворень при зневуглецюванні розплаву Fe – W – C.

Склад вихідного сплаву визначили, ґрунтуючись на ізотермічний переріз діаграми стану Fe – W – C при температурі зневуглецювання (~ 1200 °С). Було виплавлено синтетичний дослідний сплав з концентрацією вуглецю, близькою до евтектичної – 12 % W, 3,8 % C, залишок – залізо (армко) в печі опору в інертній атмосфері. Потім отриманий зливоч розрізали на зразки необхідних розмірів. Параметри зразків 5×5×5 мм. Зневуглецювання проводили в середовищі вологого водню в два етапи. На першому етапі шляхом зневуглецювання протягом 1 години при температурі нижче плавлення евтектики 1050 °С; на поверхні зразків створювалась тугоплавка оболонка. На другому етапі температуру зневуглецювання підвищували до 1190 °С. При цій температурі серцевина зразка переходила в однофазний рідкий стан, а процес зневуглецювання інтенсифікувався. Після закінчення обробки зразки гартували у воді від температури зневуглецювання. Металографічні дослідження проводили на мікроскопі Neophot-21. Напрями дифузійних потоків вивчали методом геометричної термодинаміки.

Структура сплаву у вихідному стані представлена на рис. 1 а, в ній спостерігається два типи евтектики. Перший тип – аустенітно-карбідна

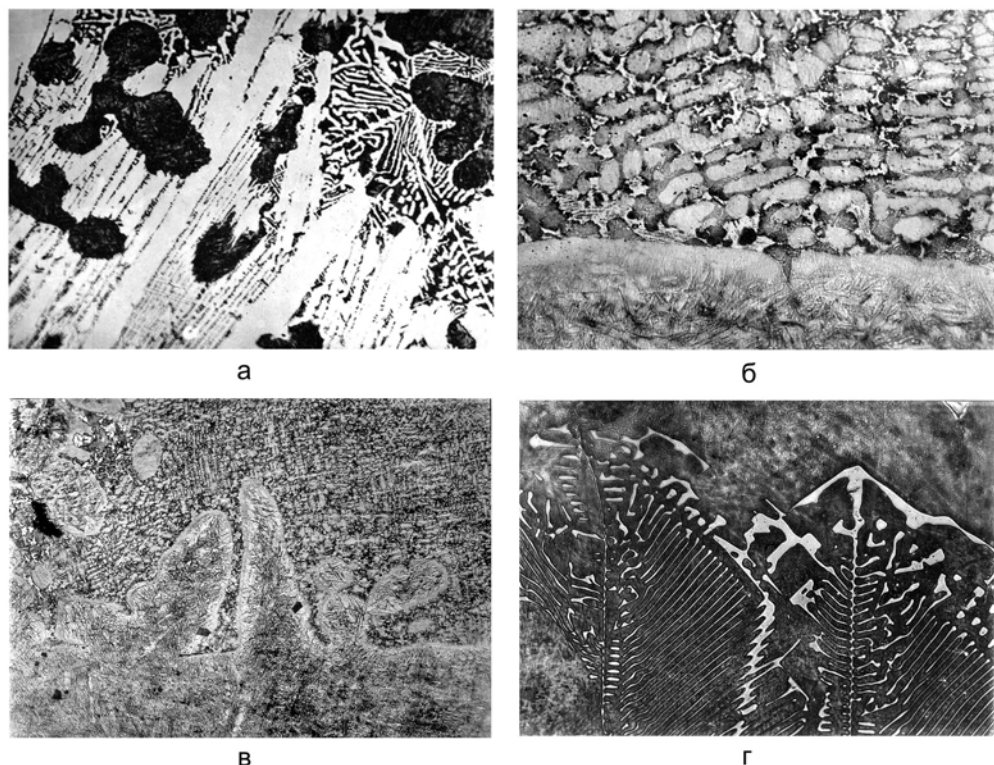


Рис. 1. Мікроструктура дослідного сплаву системи Fe – W – C. а – вихідний стан, б, в – фронт кристалізації, г – закристалізована структура після зневуглецювання. а, б, г – ×500, в – ×200.

евтектика, яка базується на кубічному карбіді M_6C (риб'ячий скелет), що характерно для високовуглецевих сплавів системи Fe – W – C. Другий тип евтектики – ледебурит, який частково складається з грубого конгломерату фаз. В даній роботі особливу увагу приділили процесам, що відбуваються на другій стадії зневуглецювання.

У початковий момент другої стадії обробки (температура 1190 °С) дослідний сплав знаходиться в однофазному рідкому (l) стані (точка 1 на діаграмі стану, рис. 2). В процесі зневуглецювання склад розплаву досягає точки 2 на лінії ac , при цьому спостерігається двофазна рівновага рідини з аустенітом.

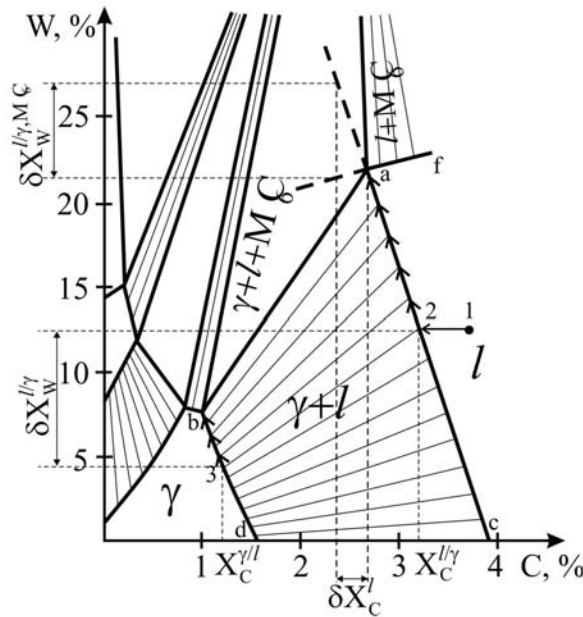


Рис. 2. Схема ділянки ізотермічного перерізу діаграми стану Fe – W – C при температурі 1190 °С.

Подальше збіднення вуглецем сприяє початку кристалізації з утворенням аустеніту. Відповідно до нахилу коноди 2-3, концентрація вольфраму в аустеніті на границі з рідиною $X_W^{l/\gamma}$ менша, ніж у вихідній рідині. Згідно діаграми стану Fe – W – C склад аустеніту на границі з рідкою фазою визначається т. 3, а різниця приграничних концентрацій вольфраму $\delta X_W^{l-\gamma}$ залежить від нахилу коноди 2-3. Таким чином, при кристалізації аустеніту виникає градієнт концентрації вольфраму, що супроводжується

його перерозподілом між твердою і рідкою фазами. Концентрація вольфраму в рідкій фазі в міру зростання дифузійного шару постійно збільшується.

Швидкість просування фронту кристалізації визначається дифузією вуглецю в твердій фазі. Дифузія в рідині і конвекційне перемішування відводять вольфрам від фронту кристалізації зі швидкістю на кілька порядків вище, ніж у твердому стані. По цій причині квазістаціонарний процес, коли концентрація вольфраму в твердій фазі дорівнює його концентрації у вихідному розплаві, не настає. Враховуючи малий розмір зразків, концентрація вольфраму в аустеніті та рідині збільшується відповідно лініям ac і bd на діаграмі (рис. 2).

Необхідно відзначити, що на початковій стадії кристалізації фази розділені відносно плоскою міжфазною поверхнею (рис. 1 б). Зі збільшенням концентрації вольфраму на фронті кристалізації плоский фронт кристалізації стає нестійким, на ньому з'являються виступи (рис. 1 в), які потім трансформуються в дендрити. Стійкість плоского фронту можна оцінити, використовуючи як основу метод, запропонований Маллінзом і Секеркою [5]. При нанесенні на фронт кристалізації синусоїдального збурення з нескінченно малою амплітудою, в рідині з'являється тангенціальний потік вольфраму. У

результаті стає можливим зростання амплітуди збурення. При досягненні рідини складу точки *a* на діаграмі стану (рис. 2) в процесі знеуглецювання, термодинамічно можливою стає одночасна кристалізація аустеніту і карбіду M_6C , що супроводжується перерозподілом компонентів між фазами. Екстраполяція ліній, які розділяють рідку і двофазні $l + \gamma$ і $l + M_6C$ області на діаграмі, на величину збіднення рідини вуглецем δX_C^l визначає різницю концентрацій вольфраму в рідині на міжфазних границях з аустенітом і карбідом M_6C ($\delta X_W^{l/\gamma, M_6C}$). Зазначений градієнт концентрації забезпечує перерозподіл вольфраму між аустенітом і карбідом, зростаючих кооперативно. Механізм спільного зростання подібний класичній евтектичній кристалізації, що відбувається при охолодженні. Структура після спільної кристалізації аустеніту і карбіду представлена на рис. 1 г. Як видно, морфологія евтектики $\gamma + M_6C$, що закристалізована в ізотермічних умовах при знеуглецюванні, аналогічна структурі, яка отримана при кристалізації в процесі охолодження розплаву системи Fe – W – C, тобто представляє собою евтектику типу «риб'ячий скелет». Різниця в диференціюванні структурних складових пояснюється різною швидкістю просування фронту $l \rightarrow \gamma + M_6C$ кооперативного перетворення.

Одержані в роботі результати досліджень дозволяють, на підставі встановлених закономірностей фазових перетворень, структуроутворення та впливу режимів хіміко-термічної обробки визначити технологічні параметри, що необхідні для одержання матеріалів зі структурою природного композиту поверхневого шару, зміцнених карбідними волокнами, з метою підвищення фізико-механічних характеристик литого металообробного інструменту та економії дефіцитних матеріалів.

Таким чином встановлено, що в процесі знеуглецювання розплаву системи Fe – W – C відбувається його кристалізація, що супроводжується перерозподілом вольфраму між твердою і рідкою фазами. Показано, що в зразках кінцевих розмірів склад рідини перед фронтом кристалізації при дифузійній зміні складу безперервно змінюється згідно ізотермічного перерізу діаграми стану. При досягненні концентрації розплаву «рідкої» вершини конодного трикутника $l + \gamma + M_6C$ стає можливим нонваріантне $l \rightarrow \gamma + M_6C$ перетворення, подібне евтектичному, яке відбувається при охолодженні. Морфологія двофазної структури $\gamma + M_6C$, отриманої в результаті знеуглецювання, аналогічна евтектиці, закристалізованій при охолодженні.

Література

1. Бунин К.П. Формирование пластинчато-стержневых карбидо-аустенитных колоний при насыщении сплава Fe – W – Cr – V – Mo углеродом // Изв. вузов. Черн. металлургия. – 1973. – № 2. – С. 123 – 126.
2. Мовчан В.И. Рост карбидных волокон при диффузионном науглероживании железных сплавов // МиТОМ. – 1983. – № 9. – С. 19 – 21.
3. Мовчан А.В. Механизм перитектоидоподобного превращения при

- обезуглероживании быстрорежущей стали // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2012. – Вып. 64. – С. 262 – 266.
4. Мовчан А.В. Эвтектикоподобная кристаллизация при обезуглероживании высокомолибденистого чугуна // Теория и практика металлургии. – 2011. – № 1 – 2. – С. 40 – 41.
5. Mullins W.W. Stability of a planar interface during solidification of a dilute binary alloy // J. Appl. Phys. – 1964. – № 35. – P. 444 – 451.

Одержано 22.10.13

А. В. Мовчан, А. П. Бачурин, Е. А. Черноиваненко

**Фазовые и структурные превращения при кристаллизации
расплава Fe – W – C**

Резюме

Исследованы механизмы фазовых и структурных превращений при изотермическом обезуглероживании расплава Fe – W – C. Методом геометрической термодинамики и металлографическим анализом установлено эвтектическое превращение $l + \gamma + M_6C$, которое сопровождается диффузионным перераспределением карбидообразующего элемента перед фронтом кристаллизации.

A. V. Movchan, A. P. Bachurin, E. A. Chernoiivanenko

**Phase and structural transformations during crystallization
of Fe –W – C melt**

Summary

The mechanisms of phase and structural transformations carried out under isothermal decarburization of Fe – W – C melt have been investigated. The eutectic transformation $l + \gamma + M_6C$, which is accompanied by the diffusion redistribution of carbide-forming elements ahead of the solidification front was revealed by method of geometric thermodynamics and metallographic analysis.