

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-40>

**CRYSTALLOGRAPHIC FEATURES OF $\alpha \rightarrow \gamma$
RECRYSTALLIZATION OF FERRITE ALLOYS DURING
CARBURIZATION**

**КРИСТАЛОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ $\alpha \rightarrow \gamma$
ПЕРЕКРИСТАЛІЗАЦІЇ ФЕРИТНИХ СПЛАВІВ ЗАЛІЗА
ПРИ НАВУГЛЕЦЮВАННІ**

Chornoivanenko K.O.

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine*

Чорноіваненко К.О.

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Movchan K.O.

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine*

Мовчан К.О.

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

На даний час опубліковано велику кількість робіт, пов'язаних з фазовими та структурними перетвореннями при науглецюванні феритних сплавів Fe-Mn [1...4]. В роботі [4] показано, що за певних умов процесу науглецювання плоский фронт $\alpha \rightarrow \gamma$ поліморфного перетворення (PI phase interface) стає нестійким. Він трансформується спочатку в комірчастий (рис. 1 а, б), а потім в дендритний (рис. 1 в). Стійкість плоского ПІ була проаналізована з використанням відомого методу збурень Mullins & Sekerka [5]. Результати загалом відповідають подібним, отриманим при дослідженні кристалізації різних сплавів. Найбільш значущими факторами, що впливають на стійкість плоского фронту, є швидкість його просування, концентрація (мольна частка) α -стабілізатора, а також різниця між рівноважними концентраціями компонентів у фериті та аустеніті [4].

Науглецювання сплавів заліза з карбідотворюючим α -стабілізатором дозволяє отримувати матеріали, поверхневий шар яких має структуру природного композиту. Композит є аустенітною (мартенситною) матрицею, армованою волокнами або пластинами спеціальних карбідів (рис. 1 г). Пластини чи волокна орієнтовані вздовж

потокі вуглецю. Такій структурі науглецьованого шару відповідає особливий комплекс службових властивостей, зокрема висока зносостійкість. Порушення односпрямованості армуючої карбідної фази через розвиток комірчастої структури призводить до зниження або втрати необхідних характеристик.

Детальний розгляд наведених на рис. 1 а, б мікроструктур показує, що при твердофазній перекристалізації комірки ПІ мають виражене кристалічне огранювання. Зростаюча γ -фаза має ГЦК решітку з сімейством щільноупакованих площин типу $\{111\}$, що мають мінімальну поверхневу енергію. Аналіз слідів обмежуючих площин, що лежать у площині шліфу, показав, що саме октаедричні площини $\{111\}$ переважно ограновують комірки ПІ.

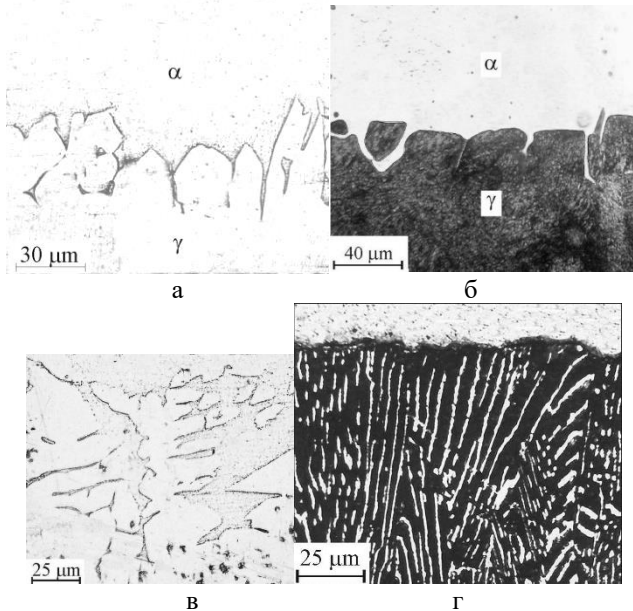


Рис. 1. Структура ПІ сплаву Fe-25%Cr-0,027%Si при науглецьованні

Морфологія комірок залежить від кристалографічного напрямку зростання γ -фази. Зазвичай це один із простих напрямків, що збігається з аксіальною структурою науглецьованого шару. Якщо цей напрямок

близький до $\langle 100 \rangle$, то форма комірки наближається до чотирикутної піраміди з площиною $\{100\}$ в основі. Бічні грані збігаються з площинами $\{111\}$ ГЦК решітки γ -фази. У площині шліфу, таким чином, кут при вершині комірки змінюється від 70° (кут між площинами $\{111\}$) до 90° (якщо перетин проходить через бічні ребра піраміди $\langle 110 \rangle$). Відповідна мікроструктура представлена на рис. 1 а.

У випадку, коли напрям зростання наближається до $\langle 111 \rangle$, площина $\{111\}$ орієнтована переважно паралельно РІ. Тоді комірка має плосковершинну морфологію. В іншому випадку різко зростає капілярний тиск у γ -фазі на вершині комірки. Це призводить до зменшення рівноважної концентрації M_e на РІ та необхідності дифузійного перенесення M_e вздовж фронту. Бічні поверхні комірок також ограновані площинами $\{111\}$, а самі комірки є похилою призмою (рис. 1 б).

З одного зерна α -фази можуть зростати два і більше стовпчастих кристала γ -фази. Отже, кристалічні решітки вихідної і зростаючої γ -фаз орієнтовані відносно один одного випадковим чином. В ОЦК решітці вихідної α -фази площинами найменшої енергії є сімейство площин $\{110\}$. Якщо одна з обмежувальних площин $\{111\}$ зростаючої γ -фази виявляється паралельною $\{110\}$ α -фази, сумарна енергія РІ різко знижується. При цьому збільшується швидкість зростання цієї грані. Зростання обмежувальної площини відбувається з максимальною швидкістю, якщо $\{111\}\gamma$ і $\{110\}\alpha$ взаємно орієнтовані за одним із варіантів орієнтаційного співвідношення Курдюмова – Закса, наприклад, $(111)\gamma \parallel (011)\alpha$, $[10-1]\gamma \parallel [1-11]\alpha$. Збільшення швидкості зростання однієї з площин, що ограновують призму призводить до того, що структура РІ стає подібною до видманштеттової.

Таким чином, проведено дослідження стаціонарної $\alpha \rightarrow \gamma$ перекристалізації при ізотермічному науглецюванні феритного сплаву заліза з комірчастою структурою міжфазної границі. Детальне вивчення мікроструктури фронту трансформації показує, що комірки РІ мають виражену кристалічну ограновання під час твердофазної перекристалізації.

Перелік використаних джерел

1. Movchan O.V., Chornoivanenko K.O. Phase and Structural Transformations of High-Carbon Alloy of the Fe–V–C System During Chemical-Thermal Processing and Deformation. *Metallophysics and Advanced Technologies*, 2019. 41. No.1. pp. 251–261.

2. Бачурін А.П., Мовчан О.В., Педан Л.Г. Чотирифазна реакція $\alpha \rightarrow \gamma + M_6C + M_{23}C_6$ при науглецюванні сплавів Fe-Mo-Cr і Fe-W-Cr. *Металознавство та обробка металів*, 2001. № 1-2. с. 18-21.

3. Мовчан О.В., Черноіваненко К.О. Закономірності формування трифазного композиту при науглецюванні сплавів системи Fe-W-V-C. – *Металургійна та гірничорудна промисловість*, 2019. № 5-6. с. 76-83.

4. Movchan O.V., Chornoivanenko K.O. Analysis of the Stability of $\alpha \rightarrow \gamma$ Plane Front of Recrystallization in Ferritic Alloys During Carburization. *Metallophysics and Advanced Technologies*, 2019. 41. No.1. pp. 13-25. <https://doi.org/10.15407/mfint.41.01.0013>

5. Mullins W. W., Sekerka R.F. Stability of a planar interface during solidification of a dilute binary alloy. *J. Appl. Phys.*, 1964. № 35. P. 444-451. <https://doi.org/10.1063/1.1713333>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-41>

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USING WASTE OF METALLURGICAL ENTERPRISES WITH THE PURPOSE OF RESOURCE AND ENERGY SAVING

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ З МЕТОЮ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Yaholnyk M.V.

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Ягольник М.В.

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Fedorov R.F.

*student (group 136-22-1a),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Федоров Р.Ф.

*студент гр. 136-22-1а,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

На сучасному ринку, конкуренція надзвичайно висока, і підприємствам необхідно постійно підвищувати ефективність