

Научные тезисы

УДК 669.3:669-17

## КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ЦЕМЕНТИРОВАННОЙ СТАЛИ 12ХН3А

**Мария Александровна Зорина<sup>\*</sup>, Зайра Амантаевна Кубекова,  
Михаил Львович Лобанов**

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

*\* m.a.zorina@urfu.ru*

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию кристаллографических особенностей распада переохлажденного аустенита в цементированной стали 12ХН3А. Методом ориентационной микроскопии установлено, что ориентационные соотношения при  $\gamma \rightarrow \alpha'$  превращении являются промежуточными между ориентационными соотношениями Курдюмова — Закса и Нишиямы — Вассермана. Также рассмотрены ориентационные соотношения, возникающие при перлитном превращении.

**Ключевые слова:** легированная хромоникелевая цементированная сталь, диффузионное фазовое превращение, сдвиговое фазовое превращение, аустенит, перлит, мартенсит, ориентационные соотношения

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (проект МК-5882.2021.4).

Scientific thesises

## CRYSTALLOGRAPHIC FEATURES OF PHASE TRANSFORMATIONS IN CEMENTED STEEL 12ХН3А

**Maria A. Zorina<sup>\*</sup>, Zyra A. Kubekova, Mikhail L. Lobanov**

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, Russia

*\* m.a.zorina@urfu.ru*

**Abstract.** The work is aimed at studying the crystallographic features of the decomposition of undercooled austenite in 12ХН3 А steel after cementation. It was established by EBSD that the orientation relationship during the  $\gamma \rightarrow \alpha'$  transformation are intermediate between the one of Kurdjumov-Sachs and Nishiyama-Wasserman. Orientation relationships arising during pearlite transformation are also considered.

**Keywords:** alloyed chromium-nickel cemented steel, diffusion phase transformation, shear phase transformation, austenite, pearlite, martensite, orientation relationships

**Funding:** the study was carried out with the financial support of a grant from the President of the Russian Federation (project МК-5882.2021.4).

Работа направлена на исследование кристаллографических особенностей распада переохлажденного аустенита в цементированной стали 12ХН3А. В качестве материала исследования использовался образец «свидетель» детали (распорядительный вал) из среднеуглеродистой легированной хромоникелевой стали 12ХН3А после цементации в твердом карбюризаторе. В ходе работы использовалась ориентационная электронная микроскопия, основанная на дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD) и металлографический анализ.

В исследуемом образце стали 12ХН3А после цементации и охлаждения при металлографическом контроле глубины цементированного слоя был выявлен металлургический дефект — полосчатость, который наблюдается как в структуре упрочненного, так и в структуре основного металла (рис. 1).

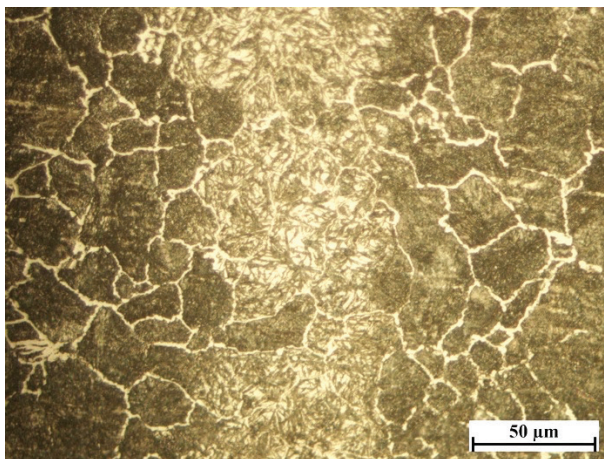


Рис. 1. Структура поверхностного слоя цементированной стали 12ХН3А

В поверхностном упрочненном слое вокруг темных участков выявлена цементитная сетка, которая располагается вдоль границ бывших аустенитных зерен, сами темные области представляют собой мелкодисперсную структуру — перлит, тогда как на светлых участках видна неравновесная структура игольчатого мартенсита. Таким образом, были выявлены полосы, в которых процесс распада аустенита прошел по диффузионному (перлитному) механизму, и полосы, в которых распад аустенита прошел по сдвиговому (мартенситному) механизму.

Ориентационный анализ областей с относительно крупными реечными выделениями однозначно показывает, что данная фаза является  $\alpha$ -твердым раствором с ОЦК (ОЦТ) решеткой. Кроме основной фазы в мартенситных пакетах, методика EBSD позволяет определить остаточный аустенит, имеющий ГЦК решетку. В ходе анализа было выявлено, что основное количество остаточного аустенита фиксируется на стыках мартенситных пакетов, а также в малом количестве между рейками мартенсита [1].

Ориентационный анализ позволяет установить, в каких ориентационных соотношениях (ОС) находятся сосуществующие друг с другом фазовые составляющие, выявить точность этих отношений, распределение межзеренных границ по углам разориентации, а также отклонение ОС решеток, существующих фаз от идеальных ОС. Проверка выполнения ОС при мартенситном превращении стали 12ХН3 А показала, что ни ОС Курдюмова — Закса, ни Нишиямы — Вассермана не являются точно выполненными, но стоит отметить, что более точно выполняются ОС Курдюмова — Закса. Зафиксировано отклонение в  $2^\circ$  от идеальных ОС К—3 (рис. 2, а). Тогда как от идеальных ОС Н—В зафиксировано отклонение в  $3^\circ$  (рис. 2, б). Также стоит отметить, что у малого количества кристаллов наблюдаются отклонения до  $20^\circ$ . По-видимому, при мартенситном превращении высокоуглеродистых сталей должны соблюдаться межатомные ОС Гренингера-Трояна, которые, в свою очередь, являются промежуточными между ОС К—3 и Н—В [2].

Анализ полюсных фигур показывает, что в пределах области, соответствующей одному исходному аустенитному зерну, наблюдается одна-единственная и достаточно точная ориентировка аустенита (рис. 3), при этом в мартенситных пакетах можно было наблюдать от 8 до 12 кристаллографических ориентаций мартенситных реек. Наиболее важным научным результатом является то, что ориенти-

ровка феррита в перлитном пакете образовавшаяся в пределах одного и того же аустенитного зерна не принадлежит к семейству ориентировок, получающихся в соответствии с ОС К — З и Н — В. Высокоугловые границы практически не фиксируются в областях, соответствующих перлиту, то есть ориентировка феррита в пределах всего перлитного пакета является одной и той же.

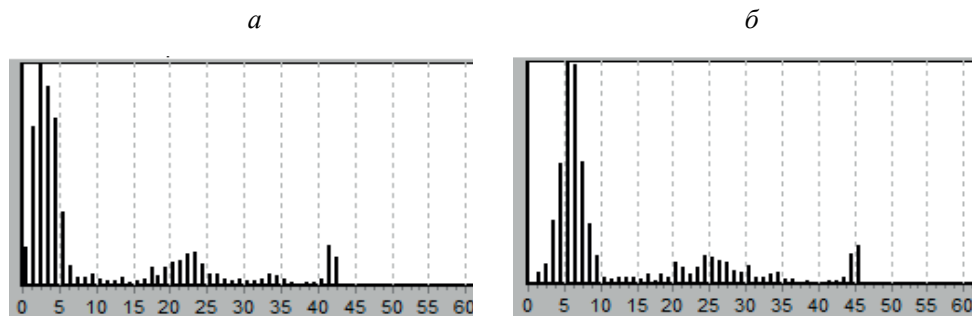


Рис. 2. Распределение по углам отклонений ОС (EBSD) от идеальных: *a* — ОС Курдюмова — Закса; *б* — ОС Нишиямы — Вассермана

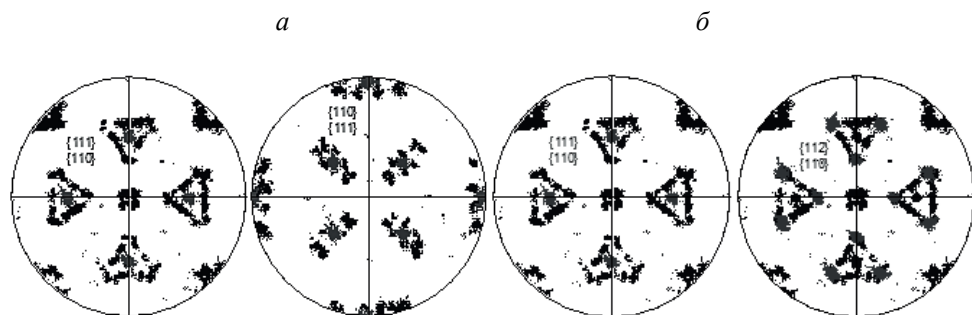


Рис. 3. ППФ с наложением  $\gamma$ -фазы на  $\alpha'$ - фазу в области с мартенситным превращением, в соответствии с идеальными ОС: *a* — ОС Курдюмова-Закса; *б* — ОС Нишиямы — Вассермана

Далее был проведен анализ кристаллографических соотношений между фазами  $\gamma$ — $\alpha$  и  $\alpha$ - $\text{Fe}_3\text{C}$  в перлитной области исходного аустенитного зерна. В ходе исследования было выявлено, что между  $\alpha$ - $\text{Fe}_3\text{C}$  фазами не выполняются классические ОС. Зафиксированы отклонения от 10 до 30°, что наглядно можно увидеть при сравнении ориентаций между фазами  $\gamma$ — $\alpha$  и  $\alpha$ - $\text{Fe}_3\text{C}$ .

В результате анализа ППФ для фаз в перлитной области были установлены следующие закономерности. ОС феррита в перлите не соответствуют ни одной ориентации, полученной из ОС К-З или Н-В. Ориентировки феррита в перлите имеют следующие ОС с аустенитом:  $\langle 100 \rangle_\gamma \parallel \langle 113 \rangle_{\alpha\text{п}}$ ;  $\langle 111 \rangle_\gamma \parallel \langle 111 \rangle_{\alpha\text{п}}$ ;  $\langle 110 \rangle_\gamma \parallel \langle 112 \rangle_{\alpha\text{п}}$ .

Зафиксировано, что аустенит и цементит при перлитном распаде связаны следующими ОС:  $\langle 100 \rangle_\gamma \parallel \langle 110 \rangle_{\text{Fe}_3\text{C}}$ ;  $\langle 110 \rangle_\gamma \parallel \langle 111 \rangle_{\text{Fe}_3\text{C}}$ ; приблизительно  $\langle 103 \rangle_\gamma \parallel \langle 113 \rangle_{\text{Fe}_3\text{C}}$ . Показано, что в перлите феррит и цементит связаны следующими ОС:  $\langle 110 \rangle_{\text{Fe}_3\text{C}} \parallel \langle 112 \rangle_{\alpha\text{п}}$ ;  $\langle 103 \rangle_{\text{Fe}_3\text{C}} \parallel \langle 103 \rangle_{\alpha\text{п}}$ .

### Список источников

1. Особенности структуры и кристаллографии реечного мартенсита конструкционных сталей / В. М. Счастливцев, Д. П. Родионов, Ю. В. Хлебникова, И. Л. Яковлева // *Металлы*. 2001. № 5. С. 32–41.
2. Исследование специальных разориентаций в реечном мартенсите низкоуглеродистой стали методом ориентационной микроскопии / М. Л. Лобанов, Г. М. Русаков, А. А. Редикульцев, С. В. Беликов [и др.] // *Физика металлов и металловедение*. 2016. Т. 117, № 3. С. 266.

### References

1. The structural and crystallographic features of the lathy martensite of structural steels / V. M. Schastlivtsev D. P. Rodionov, Yu. V. Khlebnikova, I. L. Yakovleva // *Metals*. 2001. No. 5. P. 32–41.
2. Investigation of Special Misorientations in Lath Martensite of Low Carbon Steel Using the Method of Orientation Microscopy / M. L. Lobanov, G. M. Rusakov, A. A. Redikul'tsev, S. V. Belikov [et al.] // *The Physics of Metals and Metallography*. 2016. Vol. 117. No. 3. P. 254–259.