

УДК 621.78.044.7

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЛИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Н. Пустовойт, В.А. Кузьмина, Ю.В. Долгачев

Донской государственный технический университет

Рассмотрены особенности перлитного превращения в магнитном поле. Произведено сравнение структуры и свойств сталей после термической обработки в магнитном поле и без поля. Применение магнитного поля приводит к повышению дисперсности эвтектоида, изменяет характер процесса выделения избыточных фаз. На основе полученных данных делается вывод, что в магнитном поле оказывается возможным мультипликативное зарождение центров феррита, что связано с преимуществами ферромагнитного состояния феррита и термодинамической невыгодностью образования неферромагнитных фаз.

**Ключевые слова:** перлит, термическая обработка, магнитное поле, ферромагнитные кластеры

Для проведения исследования особенностей перлитного превращения в магнитном поле использовали образцы стали промышленной плавки с содержанием углерода 0,45...1,20 % (рис. 1). Для получения структуры пластинчатого перлита данные образцы нагревали в технически чистом олове до 950°C и после требуемой выдержки переносили в изотермическую микроэлектрованну, помещенную между полюсами электромагнита. Обработку образцов без поля проводили таким же образом при отключенном электромагните.

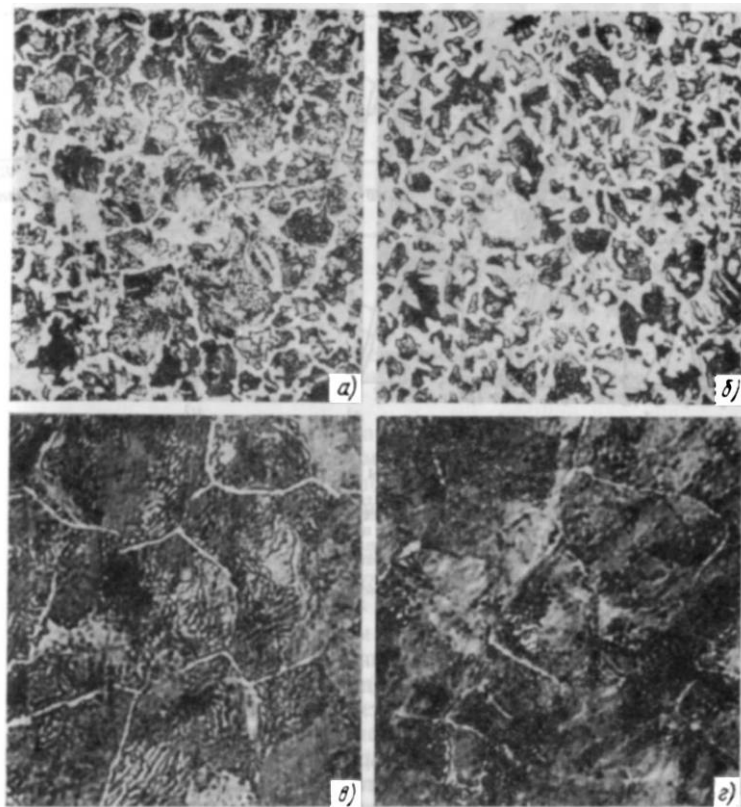


Рис. 1. Микроструктура стали 45 и У12 после изотермического распада аустенита при 680°C:  
а, в – обработка без поля; б, г – обработка в магнитном поле напряженностью 960 кА/м;  
а, б –  $\times 100$ ; в, г –  $\times 500$

На репликах с использованием эмпирических формул Салтыкова [1] были получены значения межпластинчатого расстояния эвтектоида (рис. 3, а). Полученные данные отображают общую тенденцию уменьшения межпластинчатого расстояния в случае распада аустенита в магнитном поле.

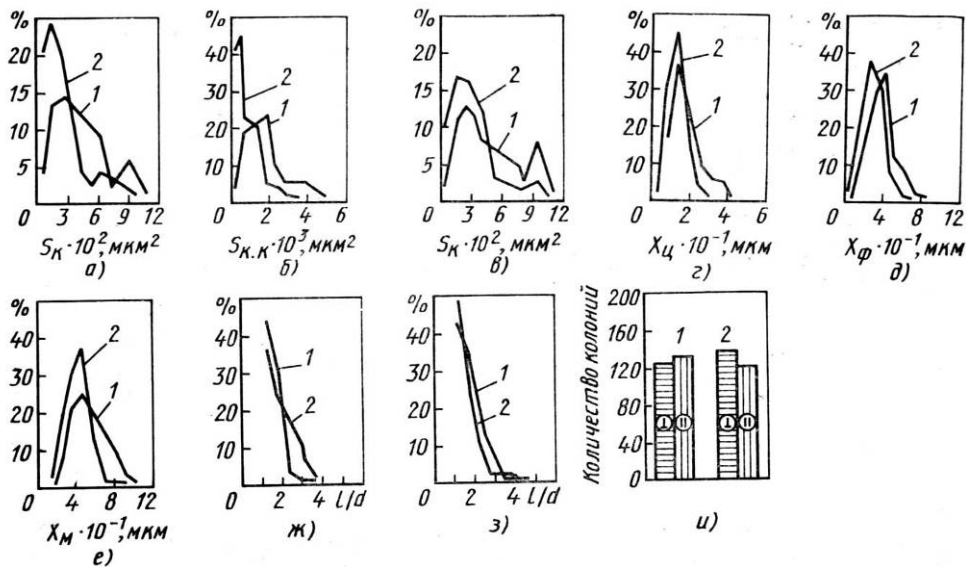


Рис. 2. Полигоны распределения:

- а – площадей сечений колоний эвтектоида, сталь 45;
  - б – площадей сечений коллектива колоний эвтектоида, сталь 45;
  - в – площадей сечений колоний эвтектоида, сталь У8;
  - г – проекций (на плоскость шлифа) толщины цементитных пластин в эвтектоиде, сталь У8 (фольга);
  - д – проекций толщины ферритных пластин в эвтектоиде, сталь У8 (фольга);
  - е – проекций межпластинчатого расстояния в эвтектоиде, сталь У8 (фольга);
  - ж – колоний эвтектоида по форм-фактору  $l/d$ , сталь 45;
  - з – колоний эвтектоида по форм-фактору  $l/d$ , сталь У8;
  - и – ориентация пластин в эвтектоидных колониях относительно длинной оси, сталь 45;
- 1 – без поля, 2 – в магнитном поле.

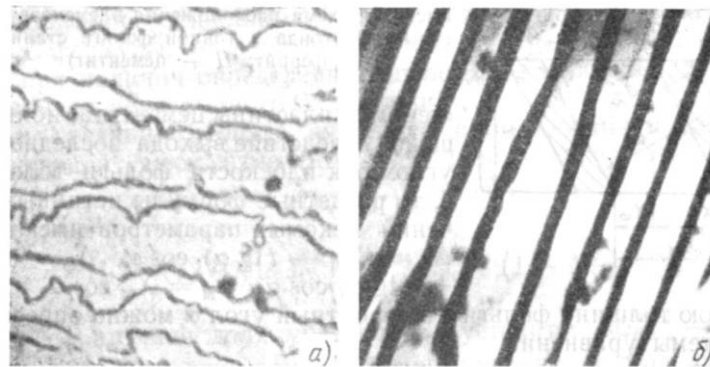


Рис. 3. Электронно-оптические изображения эвтектоида:  
а – сталь 45, реплика,  $\times 7500$ ; б – сталь У8, фольга,  $\times 5400$

При исследовании фольги с использованием расчетов установлено, что дисперсность эвтектоида стали У8 после распада в магнитном поле повышается в 1,3 раза (рис. 3, б).

Анализ форм-фактора колоний эвтектоида (рис. 2, ж, з) и ориентации пластин относительно данной оси колонии (рис. 2, и) показал отсутствие фактически значимого различия модальных значений этих параметров в стали эвтектоидного состава. В связи с этим сделано предположение, что магнитное поле напряженностью до 1 МА/м не оказывает существенного влияния на изменение формы эвтектоидных колоний и не создает условий для их преимущественного, ориентированного развития.

Установленное в работе [2] уменьшение времени эвтектоидного превращения под действием магнитного поля свидетельствует об увеличении средней скорости процесса. Магнитное поле может оказывать значительное влияние на скорость зарождения фаз, входя-

щих в эвтектоид. Гетерогенное образование феррита на границах кристаллов приводит к возрастанию упругой энергии на межфазной поверхности  $\alpha/\gamma$  из-за взаимодействия вектора спонтанного намагниченности  $I_S$  с полем  $H$ , кристаллографической магнитной анизотропии, появления поля напряжений в результате магнитоэластических деформаций. Кроме того, в объеме аустенитного зерна флуктуационно образуются и аннигилируют кластеры с параллельной ориентацией магнитных моментов («рои» спинов). Эти флуктуационные кластеры дальнего ферромагнитного порядка имеют концентрацию и время релаксации, прямо зависящие от действия магнитного поля [3]. Наличие таких несовершенств магнитной природы приводит к локальной анизотропной деформации решетки и снижает в этих микрообъемах энергию образования зародыша критического размера.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что в магнитном поле под влиянием указанных факторов оказывается возможным мультипликативное зарождение центров феррита и как избыточной фазы, и как составляющей эвтектоидной смеси. На стадии распада по эвтектоидной реакции единовременный рост ферритных зародышей из большого числа центров вызывает обогащение ближайших микрообъемов аустенита углеродом и создает условия для массового появления цементитных пластин. Такое интенсивное развитие превращения в начальный период обнаруживается с большей или меньшей точностью определяемой температурой начала реакции, что было установлено в эксперименте.

Изменение количества избыточных фаз в магнитном поле связано с преимуществами ферромагнитного состояния феррита и термодинамической невыгодностью образования неферромагнитного цементита.

Применение магнитного поля при термической обработке на структуру пластинчатого перлита приводит к повышению дисперсности эвтектоида и изменяет характер процесса выделения избыточных фаз в сталях неэвтектоидного состава – инициирует выделение избыточного феррита и подавляет выделение избыточного цементита. Такое изменение в структурообразовании перлита повышает характеристики пластичности с одновременным снижением прочности у доэвтектоидных и повышает прочность с уменьшением пластичности у заэвтектоидных сталей. Использование термической обработки в магнитном поле в интервале температур распада, соответствующих образованию структур сорбита и троостита, способствует снижению характеристик разрушения.

### **Список литературы**

1. Салтыков, С.А. Стереометрическая металлография / С.А. Салтыков. – М.: Металлургия, 1976. - 272 с.
2. Бернштейн, М.Л., Пустовойт В.Н. Термическая обработка стальных изделий в магнитном поле / М.Л. Бернштейн, В.Н. Пустовойт. – М.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
3. Пустовойт, В.Н. Особенности протекания мартенситного превращения в стали при закалке в постоянном магнитном поле / В.Н. Пустовойт, Ю.В. Долгачёв // Вестник Донского государственного технического университета, 2007. - Т.7. - №4(35). - С. 459-465.

### **Об авторах**

Пустовойт Виктор Николаевич - доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета (344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), раб. тел.: +7 (863) 273-83-65, [fipm-dstu@mail.ru](mailto:fipm-dstu@mail.ru).

Область научных интересов: гипернеравновесные фазовые переходы в металлах, обработка металлов в магнитном поле, поверхностное упрочнение сталей и сплавов с использованием концентрированных потоков энергии. Имеет более 300 научных публикаций.

Кузьмина Виктория Алексеевна - магистрант кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета (344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), раб. тел.: +7 (908) 510-13-98, [vassilliska@yandex.ru](mailto:vassilliska@yandex.ru).

Область научных интересов: термоманитная обработка. Имеет 2 публикации.

Долгачев Юрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета (344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), раб. тел.: +7 (863) 273-83-65, *yuridol@mail.ru*.

Окончил Дагестанский государственный технический университет в 2007 г. по специальности «Материаловедение в машиностроении». Область научных интересов: термоманитная обработка. Имеет 20 публикации.

## STRUCTURAL FEATURES PEARLITE TRANSFORMATION IN A MAGNETIC FIELD

Pustovoyt V.N., Kuzmina V.A., Dolgachev Yu.V.

Don State Technical University

The features of pearlite transformation in the magnetic field. Comparison of structure and properties of the steel after heat treatment in a magnetic field without a field. Application magnetic field increases the dispersion of the eutectoid, changes the nature of the excess phase separation process, which increases the ductility characteristics with a simultaneous decrease in strength of eutectoid and increases the strength with decreasing plasticity in hypereutectoid steels. On the basis of the experimental data it is concluded that it is possible multiplicative ferrite nucleation centers in a magnetic field, which is associated with the benefits of a ferromagnetic-consisting of ferrite and thermodynamically unfavorable formation of non-ferromagnetic phase.

**Keywords:** pearlite, heat treatment, magnetic field, ferromagnetic nanoclusters

### References

1. Saltykov S.A. *Stereometricheskaya metallografiya* [Stereometric metallography]. Moscow, Metallurgiya, 1976. 272 p.
2. Bernstein M.L., Pustovoyt V.N. *Termicheskaya obrabotka stalnykh izdeliy v magnitnom pole* [Heat treatment of steel parts in the magnetic field]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 256 p.
3. Pustovoyt V.N., Dolgachev Yu.V. Features flow martensite pre-rotation in the steel during quenching in a static magnetic field. *Vestnik DSTU*, 2007, Vol. 7, No. 4, pp. 459-465.

### Authors' information

Viktor N. Pustovoyt - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science, head of the Department "Physical and Applied Materials" at Don State Technical University, *fipm-dstu@mail.ru*.

Research interests: hyper nonequilibrium phase transitions in metals, metals processing in a magnetic field, surface hardening of steels and alloys with the use of concentrated energy flows. It has more than 300 scientific publications.

Victoria A. Kuzmina - undergraduate of the Department "Physical and Applied Materials" at Don State Technical University, *vassillisska@yandex.ru*.

Research interests: thermomagnetic treatment. Has 2 scientific publications.

Yuri V. Dolgachev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Physical and Applied Materials" at Don State Technical University, .

He graduated from the Dagestan State Technical University (2007) in "Materials in mechanical engineering ", *yuridol@mail.ru*.

Research interests: thermomagnetic treatment. He has 20 scientific publications.