# ЧЕБЫШЕВСКИЙ СБОРНИК

Том 22. Выпуск 5.

УДК 669.111.31

DOI 10.22405/2226-8383-2021-22-5-307-314

# Особенности распада цементита заэвтектоидных углеродистых сталей в различных условиях и состояниях<sup>1</sup>

А. В. Маляров, И. В. Минаев, А. Е. Гвоздев, С. Н. Кутепов, А. А. Калинин, А. Д. Бреки, О. В. Кузовлева, Е. С. Крупицын

**Маляров Андрей Викторович** — Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

 $e ext{-}mail: vascko.andr@yandex.ru$ 

**Минаев Игорь Васильевич** — Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: ivminaev1960@yandex.ru

**Гвоздев Александр Евгеньевич** — доктор технических наук, профессор, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: qwozdew.alexandr2013@yandex.ru

**Кутепов Сергей Николаевич** — кандидат педагогических наук, доцент, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

 $e ext{-}mail: kutepov.sergei@mail.ru$ 

**Калинин Антон Алексеевич** — Тульский государственный университет (г. Тула).

e-mail: antony-ak@mail.ru

**Бреки Александр** Джалюльевич — кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; Институт проблем машиноведения РАН (г. Санкт-Петербург).

e-mail: albreki@yandex.ru

**Кузовлева Ольга Владимировна** — кандидат технических наук, доцент, Российский государственный университет правосудия (г. Москва).

e-mail: kusovleva@yandex.ru

**Крупицын Евгений Станиславович** — кандидат физико-математических наук, Московский педагогический государственный университет (г. Москва).

e-mail: krupitsin@qmail.com

#### Аннотация

В данной работе приведены результаты исследования распада фазы Fe3C при термоциклировании вблизи температуры фазового перехода II-го рода, составляющей 210 °C (точка Кюри цементита). В результате проведенных исследований установлено, что распаду, прежде всего, подвержен структурно свободный цементит третичный, присутствующий в малоуглеродистых сталях. В заэвтектоидных и эвтектоидной сталях цементит как самостоятельная фаза может присутствовать в составе зернистого перлита. Выявлено, что в структуре стали У10 с исходным состоянием зернистого перлита максимальная объемная доля (около 0.8

*Ключевые слова:* термоциклическая обработка, графитовые включения, цементит, перлит, углеродистые стали.

Библиография: 13 названий.

 $<sup>^1</sup>$ Со стороны СПбПУ Петра Великого исследования выполнены в рамках Программы Минобрнауки России «Научный центр мирового уровня» № 075-15-2020-934 , со стороны ИПМаш РАН - в рамках государственного задания № AAAA-A18-118012190023-2.

### Для цитирования:

А. В. Маляров, И. В. Минаев, А. Е. Гвоздев, С. Н. Кутепов, А. А. Калинин, А. Д. Бреки, О. В. Кузовлева, Е. С. Крупицын Особенности распада цементита заэвтектоидных углеродистых сталей в различных условиях и состояниях // Чебышевский сборник, 2021, т. 22, вып. 5, с. 307–314.

## CHEBYSHEVSKII SBORNIK

Vol. 22. No. 5.

UDC 669.111.31

 $DOI\ 10.22405/2226\text{--}8383\text{--}2021\text{--}22\text{--}5\text{--}307\text{--}314$ 

# Features of the decay of cementite of hypereutectoid carbon steels under various conditions and conditions

A. V. Malyarov, I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, S. N. Kutepov, A. A. Kalinin, A. D. Breki, O. V. Kuzovleva, E. S. Krupitsyn

Malyarov Andrey Viktorovich — Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

 $e ext{-}mail: vascko.andr@yandex.ru$ 

Minaev Igor Vasilyevich — Tula State Lev Tolsoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: ivminaev1960@yandex.ru

Gvozdev Alexander Evgenievich — doctor of technical sciences, professor, Tula State Lev Tolsoy Pedagogical University (Tula).

 $e ext{-}mail: gwozdew. alexandr 2013@yandex. ru$ 

Kutepov Sergey Nikolaevich — candidate of pedagogical sciences, associate professor, Tula State Lev Tolsoy Pedagogical University (Tula).

 $e ext{-}mail: kutepov.sergei@mail.ru$ 

Kalinin Anton Alekseevich — Tula state University (Tula).

e-mail: antony-ak@mail.ru

**Breki Alexander Dzhalyulevich** — candidate of technical sciences, associate professor, Saint-Petersburg Polytechnic University of Peter the Great; Institute of Problems of Machine Science of the Russian Academy of Sciences (Saint-Peterburg).

e-mail: albreki@yandex.ru

Kuzovleva Olga Vladimirovna — candidate of technical sciences, associate professor, Russian state University of Justice (Moscow).

e-mail: kusovleva@yandex.ru

Krupitsyn Evgeny Stanislavovich — candidate of physical and mathematical sciences, Moscow Pedagogical State University (Moscow).

 $e ext{-}mail: krupitsin@gmail.com$ 

#### Abstract

This paper presents the results of a study of the decay of the Fe3C phase during thermal cycling near the temperature of the phase transition of the second kind, which is 210 °C (Curie point of cementite). As a result of the conducted studies, it was found that structurally free tertiary cementite, present in low-carbon steels, is primarily susceptible to decay. In pre-eutectoid and eutectoid steels, cementite as an independent phase may be present in the composition of granular perlite. It was revealed that in the structure of steel U10 with the initial state of granular perlite, the maximum volume fraction (about 0.8

Keywords: thermocyclic treatment, graphite inclusions, cementite, perlite, carbon steels.

Bibliography: 13 titles.

#### For citation:

A. V. Malyarov, I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, S. N. Kutepov, A. A. Kalinin, A. D. Breki, O. V. Kuzovleva, E. S. Krupitsyn, 2021, "Features of the decay of cementite of hypereutectoid carbon steels under various conditions and conditions", *Chebyshevskii sbornik*, vol. 22, no. 5, pp. 307–314.

### 1. Основной текст статьи

Рассмотрены актуальные вопросы фазовых переходов I и II рода, связывающих превращение соединение Fe3C в графит при термоциклировании в окрестности точки Кюри цементита, которые имеют определенные теоретическое и прикладное значение. Представлены публикации, в которых нашли отражение результаты полученных научных исследований.

Химическое соединение — цементит является основной упрочняющей фазой в структуре углеродистых сталей и различных сплавов на основе железа. В различных условиях и состояниях цементит является неустойчивой фазой и может превращаться в графитную фазу в различных температурных условиях, что может найти широкое применение в промышленности. Данный вопрос вызывал интерес у многих представителей исторических научных металловедческих школ. Этому вопросу посвящены исследования Д.К. Чернова, А.А. Бочвара, П.П. Аносова, А.П. Гуляева, М.Х. Шоршорова, В.М. Счастливцева, А.Г. Колмакова, Ю.М. Лохтина и др. В данной работе приведены результаты исследования распада фазы Fe3C при термоциклировании вблизи температуры фазового перехода II-го рода, составляющей 210°C (точка Кюри цементита). В результате проведенных исследований установлено, что распаду, прежде всего, подвержен структурно свободный цементит третичный, присутствующий в малоуглеродистых сталях. В заэвтектоидных и эвтектоидной сталях цементит как самостоятельная фаза может присутствовать в составе зернистого перлита.

Исследована сталь марки У10 с разным исходным состоянием. ТЦО проводили по температурному режиму 200-100°C. Образцы предварительно покрывали защитной обмазкой.

Первый образец стали марки У10 имел исходную структуру пластинчатого перлита и  $\coprod_{II}$  (рисунок 1). Общее количество циклов составило — 35.

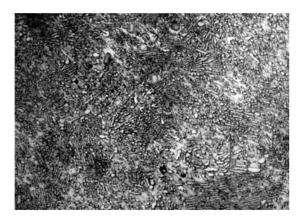


Рис. 1: Микроструктура стали марки У10 с исходным состоянием пластинчатого перлита и Ц $_{II}$ , ×1000 [1]

После тридцати пяти циклов структура стали марки У10 практически не изменилась — пластинчатый перлит и Ц<sub>II</sub> (рисунок 2). Такую же картину имеем в исследуемой нами стали марки У12. Обнаружены только отдельные темные включения в перлитных зернах.

Второй образец стали марки У10 имел исходную структуру зернистого перлита (рисунок 3). Общее количество циклов составило — 35. В этом случае отмечено появление графитных включений (рисунок 4). Включения расположены равномерно по поверхности шлифа.

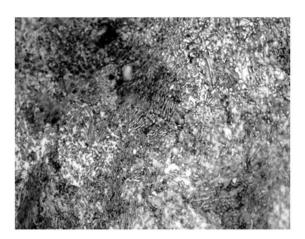


Рис. 2: Микроструктура стали марки У10 с исходным состоянием пластинчатого перлита и Ц $_{II}$  после 35 циклов,  $\times 1000$  [1]

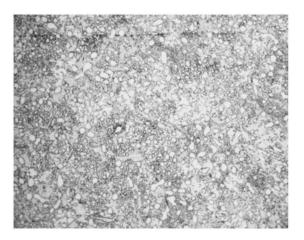


Рис. 3: Микроструктура стали марки У10 с исходным состоянием зернистого перлита,  $\times 1000~[1]$ 

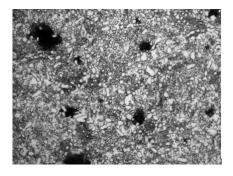


Рис. 4: Микроструктура стали марки У10 с исходным состоянием зернистого перлита после 35 циклов,  $\times 1000$  [1]

Таким образом, рассматривая стали с различными исходными состояниями, можно говорить о том, что исходное состояние существенно влияет на образование графита.

Объединим результаты ТЦО, полученные по всему спектру сталей с повышенным содержанием углерода со структурой зернистого перлита (таблица, рисунок 4).

Таблица	1:	Параметры	включений	графита,	полученного	для	различных	сталей	В	процессе
ТЦО										

Марка стали	Объемная доля графита, %	Средний размер, мкм	Фактор формы		
У8А	0,042	3,201	0,754		
У10	0,758	7,629	0,482		
У12	0,071	5,342	0,783		

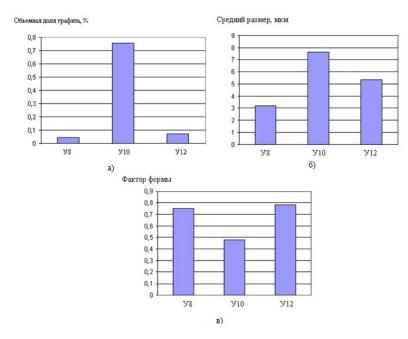


Рис. 5: Параметры включений графита эвтектоидной и заэвтектоидной стали: а — объемная доля; б — средний размер; в — фактор формы [1]

Таким образом, анализируя полученные данные, можно говорить о том, что максимальные объемная доля и средний размер графитовых включений наблюдается в стали марки У10 (рисунок 5 а, б). В отличие от ранее исследуемых доэвтектоидных сталей форма графитовых включений имеет хлопьевидный характер.

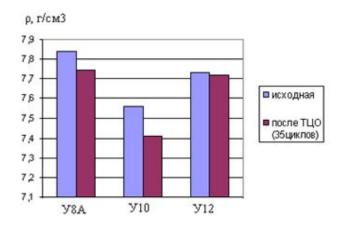


Рис. 6: Изменение плотности в заэвтектоидных сталей У8А, У10, У12 [1]

Итак, распадаться, способен только структурно свободный цементит (либо  $\coprod_{III}$  в доэвтектоидных сталях, либо присутствующий в виде зернистого перлита в сталях с повышенным содержанием углерода). Как и в рассмотренных ранее случаях, появление графита приводит к падению плотности образца (рисунок 6).

Несоответствие данных микроскопического анализа и результатов определения объемной доли графита по уменьшению плотности обусловлено спецификой использованных методик.

Полученные результаты опубликованы в отечественных и зарубежных изданиях [1]-[13].

## СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Структурные и фазовые превращения углеродистых сталей в различных условиях и состояниях: монография: 2-е изд., испр. и доп. / А. В. Маляров, А. Е. Гвоздев, И. В. Минаев, И. В. Тихонова.; под ред. д-ра техн. наук, проф. А. Е. Гвоздева. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. 278 с.
- 2. Распад цементита углеродистых сталей при термоциклировании / О. В. Кузовлева, И. В. Тихонова, Н. Е. Стариков, А. Е. Гвоздев // Производства проката. 2008. № 8. С. 36-37.
- 3. Влияние температурного диапазона термоциклической обработки на распад цементита в углеродистых сталях / И. В. Тихонова, А. В. Маляров, А. Е. Гвоздев, Н. Е. Стариков // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 10. С. 39-41.
- 4. Гетерогенное зарождение графита в углеродистых сталях при распаде цементита в процессе ТЦО вблизи точки А0 / А. Е. Гвоздев, А. Г. Колмаков, А. В. Маляров, Н. Н. Сергеев, И. В. Тихонова // Материаловедение. 2013. № 10. С. 48-52.
- 5. Влияние элементов графитизаторов на распад цементита при термоциклической обработке вблизи A0 углеродистых сталей / А. Е. Гвоздев, А. Г. Колмаков, А. В. Маляров, Н. Н. Сергеев, И. В. Тихонова // Материаловедение. 2013. № 11. С. 43-45.
- 6. Гвоздев А. Е. Условия проявления нестабильности цементита при термоциклировании углеродистых сталей / А. Е. Гвоздев, А. Г. Колмаков, А. В. Маляров, Н. Н. Сергеев, И. В. Тихонова, М. Е. Пруцков // Материаловедение. 2014. № 10. С. 31-36.
- 7. Экстремальные эффекты прочности и пластичности в металлических высоколегированных слитковых и порошковых системах /А. Е. Гвоздев // Монография. 2019. С. 476.
- Breki A. D. Application of generalized pascal triangle for description of oscillations of friction forces / A. D. Breki, A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov // Inorganic Materials: Applied Research. — 2017. — T. 8. — № 4. — C. 509-514.
- 9. Вариант определения максимального пластического упрочнения в инструментальных сталях / Г. М. Журавлев, А. Е. Гвоздев, А. Е. Чеглов, Н. Н. Сергеев, О. М. Губанов // Сталь. 2017. № 6. С. 26-39.
- 10. Многоуровневый подход к проблеме замедленного разрушения высокопрочных конструкционных сталей под действием водорода/ В. П. Баранов, А. Е. Гвоздев, А. Г. Колмаков, Н. Н. Сергеев, А. Н. Чуканов// Материаловедение. 2017. № 7. С. 11-22.
- 11. Триботехнические свойства композиционного материала «алюминий-углеродные нановолокна» при трении по сталям 12Х1 И ШХ15 / А. Д. Бреки, Т. С. Кольцова, А. Н. Скворцова, О. В. Толочко, С. Е. Александров, А. Г. Колмаков, А. А. Лисенков, А. Е. Гвоздев, Ю. А. Фадин, Д. А. Провоторов // Материаловедение. 2017. № 11. С. 37-42.

- 12. Гвоздев А. Е., Журавлёв Г. М., Кузовлева О. В. Основы формирования состояния высокой деформационной способности металлических систем // Тула: Изд-во ТулГУ, 2018.-382 с. ISBN 978-5-7679-4063-9.
- 13. Особенности работы, процессы упрочнения, структура, свойства и качество зубчатых колёс привода агрегатов двигателей внутреннего сгорания: монография / А. П. Навоев, А. А. Жуков, С. Н. Кутепов, А. Е. Гвоздев // Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. 212 с. ISBN 978-5-7679-4086-8.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Structural and phase transformations of carbon steels in various conditions and states: monograph: 2nd ed., Rev. and add. / A. B. Malyarov, A. E. Gvozdev, I. V. Minaev, I. V. Tikhonov.; ed. Dr. tech. Sciences, prof. A. E. Gvozdev. Tula: Publishing house of TulSU, 2020. 278 p.
- The decomposition of cementite of carbon steels during thermal cycling / O. V. Kuzovleva, I. V. Tikhonova, N. E. Starikov, A. E. Gvozdev // Production of rolled products. 2008. No. 8. S. 36-37.
- 3. Influence of the temperature range of thermal cycling treatment on the decomposition of cementite in carbon steels / I. V. Tikhonova, A. V. Malyarov, A. E. Gvozdev, N. E. Starikov // Blank production in mechanical engineering. 2010. No. 10. S. 39-41.
- 4. Heterogeneous nucleation of graphite in carbon steels during the decomposition of cementite in the process of TCT near the point A0 / A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov, A. V. Malyarov, N. N. Sergeev, I. V. Tikhonov // Materials Science. 2013. No. 10. S. 48-52.
- Influence of elements of graphitizers on the decomposition of cementite during thermal cycling treatment near A0 carbon steels / A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov, A. V. Malyarov, N. N. Sergeev, I. V. Tikhonov // Materials Science. 2013. No. 11. S. 43-45.
- Gvozdev A. E. Conditions for the manifestation of cementite instability during thermal cycling of carbon steels / A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov, A. V. Malyarov, N. N. Sergeev, I. V. Tikhonova, M. E. Prutskov // Materials Science. 2014. No. 10. S. 31-36.
- 7. Extreme effects of strength and plasticity in high-alloy metal ingot and powder systems / A. E. Gvozdev // Monograph. 2019.S. 476.
- 8. Breki A. D. Application of generalized pascal triangle for description of oscillations of friction forces / A. D. Breki, A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov // Inorganic Materials: Applied Research. 2017. T. 8. No. 4. S. 509-514.
- 9. Variant of determining the maximum plastic hardening in tool steels / G. M. Zhuravlev, A. E. Gvozdev, A. E. Cheglov, N. N. Sergeev, O. M. Gubanov // Steel. 2017. No. 6. S. 26-39.
- Multilevel approach to the problem of delayed fracture of high-strength structural steels under the influence of hydrogen / V. P. Baranov, A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov, N. N. Sergeev, A. N. Chukanov // Materials Science. — 2017. — No. 7. — S. 11-22.
- 11. Tribotechnical properties of the composite material "aluminum-carbon nanofibers"during friction against steels 12Kh1 and ShKh15 / A. D. Brecky, T. S. Koltsova, A. N. Skvortsova, O. V. Tolochko, S. E. Alexandrov, A. G. Kolmakov, A. A. Lisenkov, A. E. Gvozdev, Yu. A. Fadin, D. A. Provotorov // Materials Science. 2017. No. 11. S. 37-42.

- 12. Gvozdev A. E., Zhuravlev G. M., Kuzovleva O. V. Fundamentals of the formation of a state of high deformation capacity of metal systems // Tula: Publishing house of Tula State University, 2018.—382 p. ISBN 978-5-7679-4063-9.
- 13. Features of work, hardening processes, structure, properties and quality of gear wheels for drive units of internal combustion engines: monograph / A. P. Navoev, A. A. Zhukov, S. N. Kutepov, A. E. Gvozdev // Tula: Publishing house of Tula State University, 2019.212 p. ISBN 978-5-7679-4086-8.

Получено 03.09.2021 г. Принято в печать 21.12.2021 г.