

ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЕ. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

**А. М. Гурьев^{1,3}, Б. Д. Лыгденов^{2,3}, Ю. П. Хараев²,
А. Д. Грешилов², Е. А. Кошелева¹**

¹ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

² Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

³ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

Рассматриваются теоретические и прикладные вопросы влияния циклических тепловых воздействий при термической обработке на структуру и свойства сталей и сплавов. С применением методов просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа проведен фазовый и структурный анализ борированных сталей.

Ключевые слова: сталь, сплав, термическая обработка, химико-термическая обработка, структура

THERMAL CYCLING. STRUCTURE AND PROPERTIES

**A. M. Guriev^{1,3}, B. D. Lygdenov^{2,3}, Y. P. Kharaev²,
A. D. Greshilov², E. A. Kosheleva¹**

¹ Altai state technical university, Barnaul, Russia

² East Siberia state university of technology and management, Ulan-Ude, Russia

³ Wuhan Textile University, Wuhan, China

The book examines the theoretical and practical questions of the influence of cyclic thermal effects during heat treatment on the structure and properties of steels and alloys. With the application of the methods of transmission electron microscopy and X-ray analysis carried out phase and structural analysis of borated steel.

Keywords: steel, alloy, heat treatment, chemical heat treatment, structure

Актуальная задача современного металлостроения – изыскание новых возможностей изменения комплекса физико-механических свойств металлов в заданном направлении. Решение этой задачи требует совершенствования существующих и создания новых методов обработки металлов. Ее решение в ближайшие годы связывается с интенсивным распространением наряду с другими видами термической и химико-термической обработки, термоциклической обработки (ТЦО) – термической обработки в условиях циклических тепловых воздействий. Под термоциклической обработкой при этом понимают процесс термического

воздействия, осуществляемого посредством непрерывного циклического изменения температуры и сопровождающегося многократными структурными или фазовыми превращениями при нагревах и охлаждениях с заданной скоростью [1–35].

В силу специфики процессов, происходящих в условиях циклических воздействий, при термоциклической обработке возможно изменение и кинетики, и механизмом процессов структурообразования, целенаправленное изменение комплекса свойств сплавов, а, следовательно, надежности и долговечности изделий, из них изготовленных. Научные исследования и практический опыт

применения убеждают в ее перспективности: для повышения конструкционной прочности, пластичности, коррозионной стойкости и других физико-механических свойств сталей и сплавов, снижения склонности к короблению изделий сложной конфигурации.

Большой объем исследований этого направления выполнен для сталей и сплавов, претерпевающих фазовые (α - γ) превращения. Вскрыты закономерности влияния циклических тепловых воздействий на положения критических точек, состояние аустенита и наследование структуры аустенита мартенситом. Применительно к стареющим сплавам на основе цветных металлов проведен ряд исследований по влиянию термоциклирования на легированность твердого раствора и его структуру, главным образом применительно к алюминиевым сплавам, изучено влияние конкретных вариантов термоциклической обработки на структуру и свойства отдельных промышленных сплавов. Фундаментальные разработки, вскрывающие физическую сущность процессов структурообразования при термоциклических воздействиях стареющих сплавов с учетом их специфических особенностей, температурного интервала циклирования, реализующихся при этом механизмов зарождения и взаимодействия дефектов кристаллического строения, немногочисленны. Без вскрытия общих закономерностей структурообразования при обработке этих сплавов в условиях циклических тепловых воздействий, без создания теории термоциклической обработки невозможна разработка научно обоснованных технологических процессов их обработки [2].

Металловедческий подход к решению вопросов такого плана предполагает систематизацию сведений для установления фундаментальных связей между составом, структурой и свойствами металлических материалов. В цепочке состав – структура – свойства звеном, непосредственно определяющим комплекс свойств и эксплуатационные характеристики, является структура, возможности регулирования которой не ограничиваются изменением состава. Комплекс свойств, как правило, формируется при использовании разного вида энергетических воздействий. При

этом состав может рассматриваться как дополнительный фактор, влияющий на характер изменения структуры.

Следует заметить, что время изменяет физическую сущность взаимосвязи структура – свойства, наполняя новым содержанием понятие «структура», в качестве элементов которой могут быть приняты зерна, субзерна, дислокации и их комплексы и т. д. (под «элементом» понимается неделимая на данном этапе исследования часть объекта исследования). Выбранный элемент исследования определяет его научный уровень.

Результативным для описания структурных состояний металла, как и всякой системы, обменивающейся энергией с окружающей средой, является использование общих положений синергетики. Синергетический подход к проблемам структурообразования в металлических материалах связывает эволюцию дислокационной и субзеренной структуры с реализацией процессов самоорганизации и возникновением диссипативных структур, устойчивых относительно малых возмущений. Сформированный структурный уровень определяет комплекс свойств материала.

Известно, что ХТО сталей при некоторых циклически изменяющихся температурных режимах более эффективна, чем при постоянной температуре насыщения [1].

Основные недостатки традиционных способов ХТО во многом устраняются при совмещении этого процесса с ТЦО. Во-первых, те структурные изменения, которые получаются в результате ТЦО, ускоряют последующую диффузию атомов в металлическом материале и использование ТЦО как предварительной ТО перед обычной ХТО, представляется достаточно перспективным. Во-вторых, проведение ХТО в температурном режиме ТЦО является наиболее эффективным методом интенсификации химического насыщения поверхности деталей при одновременном улучшении их качества. В-третьих, использование ТЦО после ХТО в одном технологическом процессе исправляет перегрев (крупнозернистость) и другие дефекты структуры, получаемые обычно при высокотемпературной ХТО.

В издательстве АлтГТУ вышла в свет

новая монография «Термоциклирование. Структура и свойства». В монографии [35] проанализированы известные закономерности диффузии, формирования структуры сплавов при пластической деформации, тепловых воздействиях и их сочетаний, описаны особенности процессов структурообразования при циклических тепловых воздействиях в сплавах, описаны особенности процессов структурообразования при борировании и карбоборировании при циклических тепловых воздействиях в феррито-перлитных углеродистых и инструментальных сталях с учетом их предварительной обработки.

В основе монографии лежат исследования [3–34], выполненные авторами в Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова, Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления, Томском государственном архитектурно-строительном университете.

В книге с учетом литературных данных и результатов исследований, проведенных авторами, рассматриваются теоретические и прикладные вопросы влияния циклических тепловых воздействий при термической обработке сталей и сплавов, а также диффузионном насыщении бором и углеродом на структуру и свойства поверхностных слоев сталей. Проведен детальный фазовый и структурный анализ борированных по различным режимам сталей, с применением методов просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Исследованы и описаны основные закономерности и механизмы борирования и карбоборирования феррито-перлитной стали.

Монография предназначена для широкого круга специалистов – научных сотрудников и инженеров, занимающихся вопросами разработки и совершенствования технологии термической и химико-термической обработки металлов и сплавов, а также преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области металловедения и физики металлов.

Список литературы

1. Федюкин, В. К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин [Текст] /

В. К. Федюкин, М. Е. Смагоринский – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. – 255 с., ил.

2. Тофпенец, Р. Л. Физические основы термоциклической обработки стареющих сплавов [Текст] / Р. Л. Тофпенец, И. И. Шиманский, А. Г. Анинович, А. Д. Грешилов – Мн.: Навука і тэхніка, 1992. – 190 с.

3. Гурьев А. М. Борирование в условиях циклического изменения температуры [Текст] / А. М. Гурьев, Л. Г. Ворошнин // Международная НТК: Отделочно-упрочняющая технология в машиностроении: Тезисы докладов – Минск, 1994. – С. 100.

4. Гурьев, А. М. Структурные превращения при термоциклическом борировании стали [Текст] / А. М. Гурьев, А. Н. Жданов // В кн.: Эволюция дефектных структур в металлах и сплавах, – Барнаул, 1994. – С. 29–30.

5. Гурьев, А. М. Способ термоциклической обработки инструментальной стали. Патент РФ на изобретение №2078440 / А. М. Гурьев, Л. Г. Ворошнин, Д. П. Чепрасов, А. А. Рубцов

6. Гурьев, А. М. Способ термоциклической обработки углеродистых инструментальных сталей. Патент России №2090629 / А. М. Гурьев, А. М. Кириенко, А. А. Рубцов.

7. Гурьев, А. М. Термоциклическое упрочнение штампового инструмента [Текст] / А. М. Гурьев, Д. П. Чепрасов, А. А. Рубцов // В кн.: Нефть и газ Западной Сибири: тез. докл. Международной научно-технической конференции – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 1996. – С. 16–17.

8. Гурьев, А. М. Кинетика образования диффузионного слоя при борировании инструментальных сталей в условиях циклического изменения температур [Текст] / А. М. Гурьев // В кн.: Создание защитных и упрочняющих покрытий с использованием концентрированных потоков энергии: тез. докл. Всеросс. НТК – Барнаул, 1996. – С. 13.

9. Гурьев, А. М. Кинетика изменения структуры углеродистой стали в процессе термоциклической обработки [Текст] / А. М. Гурьев, А. М. Кириенко // Тезисы докладов 5-го Международного симпозиума по материаловедению 21–25 сентября 1997 г., Исламабад, Пакистан, 1997. – С. 139.

10. Гурьев, А. М. Кинетика фазовых превращений в литой штамповой стали 45Х2МНФЮ в процессе окончательной термоциклической обработки (ТЦО) [Текст] / А. М. Гурьев, С. А. Земляков // XIV Уральская школа металловедов-термистов «Фундаментальные проблемы физического металловедения перспективных материалов»: Тез. докл. международной НТК. – Ижевск-Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1998. – С. 86–87.

10. Гурьев, А. М. О разработке высокоэф-

фективной технологии термического упрочнения инструментальных сталей [Текст] / А. М. Гурьев // Известия вузов. Черная металлургия. – 2000. – № 2. – С. 25–27.

11. Гурьев, А. М. Особенности формирования структуры диффузионного слоя феррито-перлитной стали при термоциклировании во время борирования [Текст] / А. М. Гурьев, Э. В. Козлов, Л. Н. Игнатенко, Н. А. Попова // В кн.: Труды XXXI междунаро. семинара «Актуальные проблемы прочности» в 2-х частях (26–29 сентября 2000 г., г. Витебск) – Ч. 1. – Витебск, 2000. – С. 204 – 209.

11. Гурьев, А. М. Повышение стойкости холодноштампового инструмента термоциклической обработкой [Текст] / А. М. Гурьев, С. А. Земляков // В кн.: Фундаментальные и прикладные исследования для производства. Международный межвузов. сборник научных статей – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – С. 41–44.

12. Гурьев, А. М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом карбоборировании феррито-перлитной стали [Текст] / А. М. Гурьев, Э. В. Козлов, А. И. Крымских, Л. Н. Игнатенко, Н. А. Попова // Изв. Вузов. Физика. – 2000. – № 11. – т. 43. – С. 60–67.

13. Хараев, Ю. П. Влияние термоциклической обработки на структуру и физико-механические свойства литой стали Р5М5 [Текст] / Ю. П. Хараев, А. М. Гурьев // В кн.: Материалы НПК преподавателей, сотрудников и аспирантов БГСХА, посвященной 55-летию Победы в Великой Отечественной войне – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2000. – С. 78–79.

14. Гурьев, А. М. Физические основы термоциклического борирования сталей [Текст] / А. М. Гурьев, Э. В. Козлов, Л. Н. Игнатенко, Н. А. Попова – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 216 с.

15. Guriev, A. M. Phase composition transformation and transition zone structure formation mechanism in the process of thermocyclic ferrite-perlite steel borating / A. M. Guriev, E. V. Kozlov, N. A. Popova // 7th international symposium on ADVANCED MATERIALS (ISAM-2001) // Book of Abstracts. – 17 – 21 September 2001, Islamabad, Pakistan. – p. 122.

16. Гурьев, А. М. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании феррито-перлитной стали [Текст] / А. М. Гурьев, Э. В. Козлов, А. Н. Жданов, Л. Н. Игнатенко, Н. А. Попова // Изв. Вузов. Физика. – 2001. – № 2. – С. 58–63.

17. Гурьев, А. М. Экономнолегированные стали для литых штампов горячего деформирования и их термоциклическая и химико-термоциклическая обработка [Текст] / Дисс. на

соиск. уч. ст. д. техн. наук. – Томск, 2001. – 487 с.

18. Ligdenov, B. D. New high-effectiv method of chemical thermal treatment of instrumental steels / A. M. Gurjev, M. D. Starostenkov, B. D. Lygdenov // Book of Abstracts China-Russia Seminar on Materials Physics Under Ultra-conditions anshan University, Qin Huangdao, China, November 26 – 29, – 2003 – P. 19.

19. Гурьев А. М. Высокоэффективная технология термоциклического упрочнения конструкционных и инструментальных сталей [Текст] / Гурьев А. М., Шаметкина О. В., Гурьева О. А. [и др.] // Обработка металлов. – 2004. – № 2. – С. 10–12.

20. Гурьев, А. М. Эволюция структурно-фазовых состояний и свойства эвтектоидной стали после окончательной термоциклической обработки [Текст] / А. М. Гурьев, Э. В. Козлов, Ю. П. Хараев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2004. – т. 1, № 2. – С. 61–64.

21. Гурьев, А. М. Термоциклическое и химико-темоциклическое упрочнение инструментальных сталей [Текст] / А. М. Гурьев, Л. Г. Ворошнин, Ю. П. Хараев, Б. Д. Лыгденов, О. А. Гурьева [и др.] // Ползуновский вестник. – 2005. – № 2. – С. 36–43.

22. Гурьев, А. М. Упрочнение литой быстрорежущей стали термоциклической обработкой [Текст] / А. М. Гурьев, Ю. П. Хараев, М. А. Гурьев // Современные наукоёмкие технологии. – 2005. – № 10. – С. 79–81.

23. Гурьев, А. М. Циклическое тепловое воздействие при термической и химико-термической обработке инструментальных сталей [Текст] / А. М. Гурьев, Л. Г. Ворошнин, Ю. П. Хараев, Б. Д. Лыгденов, Е. В. Черных // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2005. – т. 2. – № 3. – С. 37–45.

24. Guriev, A. M. The research of diffusion processes in tool steels at a cyclic thermal influence / Guriev A. M., Kharaev Y. P., Lygdenov B. D. // VII Miedzynarodowa Konferencja Naukowa «Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii i inzynierii materialowej» 02 czerwca 2006.- Czestochowa: Politechnica Czestochowska. – P.202–205.

25. Гурьев, А. М. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии [Текст] / А. М. Гурьев, Ю. П. Хараев, О. А. Гурьева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – № 3. – 2006. – С. 65–66.

26. Гурьев, А. М. Процесс диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии [Текст] / А. М. Гурьев, Ю. П. Хараев, Б. Д. Лыгденов, О. А. Гурьева // Современные проблемы и перспективы металлургии и машиностроения: тез. междунаро. науч.-практ. конф.,

5–6 мая 2006 г. – Монголия. Улан-Батор, 2006. – С. 41–42.

27. Хараев, Ю. П. Термоциклическое упрочнение литой стали 25НЗ электрошлакового переплава [Текст] / Ю. П. Хараев, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев // Новые материалы. Создание, структура, свойства: труды VI Всероссийской школы-семинара с международным участием. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – С. 94–97.

28. Малькова, Н. Ю. Поиск оптимальных условий химико-термоциклической обработки литой стали методом математического моделирования [Текст] / Н. Ю. Малькова, Е. В. Черных, Б. Д. Лыгденов, А. Ц. Мижитов, И. А. Гармаева, А. М. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2006. – т.3. – № 3. – С. 26–32.

29. Власова, О. А. Повышение прочности диффузионных карбоборидных покрытий термоциклированием в процессе их получения [Текст] / О. А. Власова, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев, Е. А. Кошелева, А. М. Гурьев // Наука и молодежь – 2007: IV Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. – С. 65–67.

30. Гурьев, А. М. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхности стальных изделий бором, титаном и хромом [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, С. Г. Иванов, О. А. Власова, Е. А. Кошелева, И. А. Гармаева, М. А. Гурьев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2007. – Т. 4. – № 1. – С. 30–35.

31. Гурьев, А. М. Термоциклическое борирование как метод повышения прочности инструментальных сталей [Текст] / А. М. Гурьев, О. А. Власова, Б. Д. Лыгденов [и др.] // Ползуновский альманах – № 1 – 2. – 2007. – С.85–88.

32. Гурьев, А. М. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей [Текст] /

А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. А. Попова, Э. В. Козлов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – 256 с.

33. Гурьев, А. М. Фазовый состав и механизм образования диффузионного слоя при борировании сталей в условиях циклического теплового воздействия [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Э. В. Козлов, И. А. Гармаева, О. А. Власова, С. Г. Иванов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – № 1. – С. 20–27.

34. Гурьев, А. М. Диффузионные покрытия сталей и сплавов [Текст] / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, И. А. Гармаева – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – 221с.

35. Лыгденов, Б. Д. Термоциклирование. Структура и свойства [Текст] / Б. Д. Лыгденов, Ю. П. Хараев, А. Д. Грешилов, А. М. Гурьев. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – 251 с.

Гурьев Алексей Михайлович^{1,3} – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой

Лыгденов Бурьял Дондокович^{2,3} – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой;

e-mail: lygdenov59@mail.ru

Хараев Юрий Петрович² – д.т.н., профессор

Грешилов Анатолий Дмитриевич² – к.т.н., доцент, декан Машиностроительного факультета (МСФ)

Кошелева Елена Алексеевна¹ – к.т.н., доцент

¹ ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия

² ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (ВСГУТУ)», г. Улан-Удэ, Россия

³ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай