Пустовойт В.Н., Долачев Ю.В., Нефедов Д.В.
Изменение фазового состава стали 45 после закалки в магнитном поле

*Донской Государственный Технический Университет
(Россия, Ростов-на-Дону)*

doi: 10.18411/lj-12-2018-185

idsp: ljjournal-12-2018-185

Аннотация

В работе был проведен анализ результатов измерения удельных объемов и данных рентгеноструктурного анализа для построения диаграмм фазового состава стали 45, закаленной без поля и в магнитном поле напряженностью 1,6 МА/м. Применена методика количественного структурно-фазового анализа, основанная на уравнениях баланса аддитивных характеристик и свойств сплава и входящих в его состав фаз. Результаты иллюстрируют изменения, обусловленные действием магнитного поля.

Ключевые слова: сталь, закалка, мартенсит, магнитное поле, фазовый состав, фазовый анализ, рентгеноструктурный анализ, удельный объем.

Abstract

In this paper, we analyzed the results of measuring specific volumes and X-ray analysis data for constructing diagrams of the phase composition of steel 45 hardened without a field and in a magnetic field of 1.6 MA / m. The technique of quantitative structural-phase analysis based on the balance equations of additive characteristics and properties of the alloy and its constituent phases was applied. The results illustrate the changes caused by the magnetic field.

Keywords: steel, quenching, martensite, magnetic field, phase composition, phase analysis, X-ray structural analysis, specific volume.

Введение. Мартенситное превращение [1-4] лежит в основе технологических операций закалки и отпуска, которые являются основными способами получения высокопрочного состояния стали. Естественно, что возможная реализация резервов упрочнения в результате использования комбинированной обработки с воздействием энергией внешнего магнитного поля [5-7] представляет особый интерес. Для практического же применения этого необходимо проанализировать результаты измерения удельных объемов и данные рентгеноструктурного анализа для построения диаграмм фазового состава, иллюстрирующих изменения обусловленные действием магнитного поля.

Изменение кинетики мартенситного превращения под действием внешнего магнитного поля [8] и вызванные этим структурные изменения [9] оказывают влияние на механические и физические свойства, а также приводят к изменению фазового состава закаленной стали.

Использованные методики исследования. Результаты измерения удельных объемов и данные рентгеноструктурного анализа использованы для построения диаграмм фазового состава, иллюстрирующих изменения обусловленные действием магнитного поля. С этой целью применена методика количественного структурно-фазового анализа (КСФА) [10], основанного на уравнениях баланса аддитивных характеристик и свойств сплава и входящих в его состав фаз. К аддитивным характеристикам относят массу и объем, уравнения баланса которых (в массовых или объемных долях) имеют вид

$$1 = \sum_{i=1}^n m_i(V_i) \quad (1)$$

где m_i и V_i — соответственно массовая (объемная) доля i -й фазы в сплаве (элемента в i -й фазе).

При использовании уравнения (1) можно, например, определить массу, объем, массовое или объемное содержание i -й фазы в сплаве (элемента в i -й фазе) по известным, полученным экспериментально данным о массе, объеме, массовом или объемном содержании $n-1$ фазы в сплаве (или какого-то элемента в $n-1$ фазе) и объеме, массе всего сплава (или элемента).

Исходными данными для КСФА с использованием аддитивных свойств сплава являются физические свойства единицы массы и объема, уравнения баланса которых имеют вид:

$$\lambda^m(\lambda^V) = \sum_{i=1}^n \lambda_i^m m_i (\lambda_i^V V_i) \quad (2)$$

где λ^m и λ^V — соответственно физическое свойство единицы массы и объема сплава; λ_i^m и λ_i^V — соответственно физическое свойство единицы массы и объема i -й фазы.

Процесс закалки может быть представлен в виде схемы (рис. 1), отражающей изменение фазового состава и распределения углерода [11].

Рис. 1. Схема изменения массы фазового состава (а) и распределения углерода (б) в процессе закалки

Рис. 2. Диаграммы фазового состава (а) и распределения углерода (б) стали 45; 1 — закалка без поля; 2 — закалка в магнитном поле напряженностью 1,6 МА/м

Полученные результаты и их обсуждение. Результаты КСФА стали 45, после закалки без поля и в поле показаны на рис. 2. Полученные данные наглядно иллюстрируют изменения в фазовом составе и распределении углерода по состояниям, вызванные действием магнитного поля, и свидетельствуют об усилении степени расслоения мартенсита по углероду в результате распада твердого раствора («in statu nascendi»).

Усиление распада мартенсита при закалке в магнитном поле приводит к увеличению количества углерода, связанного с дефектами, для всех исследуемых сталей и образованию высокодисперсных частиц карбидной фазы в сплавах с температурой $M_n > 200^\circ\text{C}$.

Известно, что перераспределение углерода в мартенсите в процессе закалочного охлаждения обусловлено как высокой диффузионной подвижностью атомов углерода, так и плотностью и распределением дефектов кристаллического строения [11]. В связи с этим в микрообъемах «раннего» мартенсита полученного закалкой в магнитном поле, время пребывания которого при относительно высоких температурах (в районе M_n) достаточно велико в связи с мультипликативным зарождением и уменьшением охлаждающей способности закалочных жидкостей, высокая диффузионная подвижность углерода реализуется в виде выделений высокодисперсных частиц промежуточного карбида. В «позднем» мартенсите, полученном при обработке в поле, образовавшемся из пластически деформированного (значительным количеством «раннего») аустенита наблюдается увеличение доли атомов углерода, образующих сегрегации на дефектах кристаллического строения.

Заключение. Мультипликативное зарождение кристаллов мартенсита в районе M_n , а также снижение под действием поля охлаждающей способности закалочных жидкостей в интервале $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения увеличивает длительность пребывания значительного количества «раннего» мартенсита магнитной закалки в районе относительно высоких температур. Это способствует протеканию процессов распада твердого раствора, вследствие чего наблюдается усиление сегрегации углерода на структурных дефектах и выделение высокодисперсных карбидных частиц, т. е. увеличение степени распада мартенсита по двухфазному механизму, возникновение тонкого расслоения по углероду. В результате закалки в магнитном поле фиксируется структурное состояние, свойственное стали после обычной закалки и отпуска при $120 - 150^\circ\text{C}$.

1. Пустовойт В.Н., Долгачёв Ю.В. Проблемы зарождения при мартенситном превращении в стали // Вестник Донского государственного технического университета. 2013. Т. 13. № 1-2 (70-71). С. 5-24.
2. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. К вопросу о местах зарождения мартенсита
3. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. № 23 (150). С. 110-114.
4. Салынских В.М., Щербакowa Е.Е., Арёфьева Л.П. Улучшение механических свойств пружин из стали 65Г изотермической закалкой // Молодой исследователь Дона. 2018. № 2 (11). С. 77-80.
5. Pustovoyt V.N., Dombrovskii Yu.M., Dolgachev Yu.V. Structural identification of the phenomenon of "white zone" // Metal Science and Heat Treatment. 2017. Т. 59. № 1-2. С. 3-7.
6. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. Особенности протекания мартенситного превращения в стали при закалке в постоянном магнитном поле // Вестник Донского государственного технического университета. 2007. Т. 7. № 4 (35). С. 459-465.
7. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. Технология бездеформационной закалки в магнитном поле тонкостенных деталей кольцевой формы // Вестник Донского государственного технического университета. 2011. Т. 11. № 7 (58). С. 1064-1071.
8. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. Зарождение мартенсита в условиях сверхпластичности аустенита и воздействия внешнего магнитного поля // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 2 (181). С. 114-120.
9. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В., Рожкова В.М. Энергетические особенности образования зародышей мартенсита и кинетика гамма-альфа перехода при действии внешнего магнитного поля // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2015. № 5 (160). С. 131-135.
10. Пустовойт В.Н., Долгачев Ю.В. Особенности структуры мартенсита, полученного при закалке стали в магнитном поле в температурном интервале сверхпластичности аустенита // Металловедение и термическая обработка металлов. 2011. № 11 (677). С. 3-7.
11. Белоус М.В. Превращения при отпуске стали / М.В. Белоус, В.Т. Черепин, М.А. Васильев. — Москва: Металлургия, 1973. — 199 с.
12. Пустовойт В.Н. Физические и технологические основы термической обработки в магнитном поле: автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук / Академия наук Белорусской ССР, Физико-технический институт. Минск, 1980.