

УДК 669–158. 81

**Е.В. Николаева, М.А. Костицина**

**E.V. Nikolaeva, M.A. Kostitsina**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **ФОРМИРОВАНИЕ БЕСКАРБИДНОГО БЕЙНИТА В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ**

### **FORMATION OF THE CARBIDE-FREE BAINITE IN CONDITION CONTINUOUS COOLING**

Проведен анализ литературных данных в области исследования структуры бескарбидного бейнита и способов ее получения. Рассмотрены закономерности протекания бейнитного превращения в условиях непрерывного охлаждения с последующим изучением комплекса механических свойств сталей.

**Ключевые слова:** термическая обработка, бескарбидный бейнит, остаточный аустенит, непрерывное охлаждение, бейнитное превращение.

There was produced the analysis of the literature data, which investigated the structure carbide-free bainite, methods for preparing it. The characteristics of the flow of the bainite transformations under continuous cooling, followed by the study of complex mechanical properties of steels.

**Keywords:** heat treatment, carbide-free bainite, residual austenite phase, continuous cooling, bainite conversion.

Проблема использования сталей бейнитного класса для производства ответственных деталей и конструкций в настоящее время является актуальной как в России, так и за рубежом. Такие стали обладают повышенным комплексом характеристик механических и эксплуатационных свойств, технологичны в изготовлении. В настоящее время широко используются стали бейнитного класса для производства железнодорожных рельсов, труб, поскольку возможности дальнейшего улучшения эксплуатационных характеристик рельсов из перлитной стали оказались исчерпаны. Высокие прочностные свойства бейнитных сталей обеспечивают режимы термообработки, при которых формируются феррито-бейнитная, чисто бейнитная или бейнитно-мартенситная структуры.

Бейнитное превращение (промежуточное) переохлажденного аустенита протекает в температурном интервале, расположенном ниже перлитного, но выше мартенситного, когда практически отсутствует диффузия (самодиффузия) железа, но интенсивно протекает диффузия углерода [1, 5]. В результате

такого превращения образуется бейнит, в состав которого могут входить несколько фаз:  $\alpha$ -фаза (бейнитный феррит, несколько пересыщенный по углероду), цементит (карбиды), прослойки остаточного аустенита и мартенсит [2].

Проявлением многообразия бейнитной структуры в зависимости от легирования и особенностей термической обработки стали является возникновение структуры так называемого бескарбидного бейнита, представляющего собой сочетание малоуглеродистого бейнитного феррита и высокоуглеродистого остаточного аустенита [3, 4]. Строение  $\alpha$ -фазы и морфология остаточного аустенита в бескарбидном бейните определяются температурой превращения и степенью легированности стали. Бескарбидный бейнит может быть верхним и нижним, но в любом случае в нем отсутствуют выделения карбидов. Основные структурные составляющие бескарбидного бейнита – бейнитный феррит и остаточный аустенит.

Известно, что наличие в структуре мелкодисперсного бейнитного феррита без выделения карбидов цементитного типа в сочетании со стабильным остаточным аустенитом обеспечивают получение высокого комплекса прочности и вязкости конструкционных сталей, при этом значительная часть углерода стали находится в остаточном аустените, содержание углерода в котором может в несколько раз превышать среднее содержание углерода в стали [2, 5].

Так, в работе [1] исследовали структуру и свойства термически обработанных по одинаковому режиму легированных сталей 10X2H3ГМ, 14X2H2ГМФ, 15X2H3МФ, сравнивали их свойства со среднеуглеродистой сталью 40X2H2МА. Вязкость сталей, легированных кремнием и алюминием, при одинаковом и даже более высоком уровне прочности в три раза выше, чем стали 40X2H2МА, в бейнитной структуре которой содержится значительное количество карбидов цементитного типа. Характерной особенностью структуры бейнита исследованных сталей является существенное обогащение остаточного аустенита по углероду по сравнению с общим содержанием углерода в стали: примерно в 2,5 раза для стали 40X2H2МА, в 4 раза для стали 40X2H2МЮ и в 8 раз для стали 10X2H3ГМ. При этом содержание углерода в остаточном аустените для всех приведенных в ней сталей составляет приблизительно одинаковую величину – 0,8–1,0 % С; количество остаточного аустенита также отличается весьма несущественно для сталей с полностью бескарбидным бейнитом и для стали 40X2H2МА – от 6 до 15 %. Но в случае образования бескарбидного бейнита основная часть углерода находится в остаточном аустените – 72–86 %; при этом стали обладают высокой ударной вязкостью. Для стали 40X2H2МА доля углерода в остаточном аустените составляет всего 15 %, т.е. 85 % углерода находится в феррите и в цементите; при этом ударная вязкость низкая.

Анализ полученных данных в результате проведенного обзора литературы показывает, что изучение структуры бескарбидного бейнита является актуальным на сегодняшний день, именно поэтому для исследования были выбраны

стали, в которых такую структуру представляется возможным получить при непрерывном охлаждении. Целью дальнейших исследований является проведение комплексного изучения фазовых превращений и структуры кремнистых сталей с различным содержанием углерода, двух систем легирования после непрерывного охлаждения в сечениях до 300 мм с подробным изучением механических свойств. Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи: изучить превращения при охлаждении с различной скоростью, оценить содержание остаточного аустенита в структуре сталей, исследовать основные характеристики механических свойств. В качестве материала исследований были выбраны новые, разработанные группой ученых на кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» Пермского национального исследовательского политехнического университета стали с системой легирования ХЗГЗМФС и ХНЗМФС: 25ХЗГЗМФС, 25ХЗГЗМФС2, 45ХЗГЗМФС, 45ХЗГЗМФС2, 25ХНЗМФС, 25ХНЗМФС2, 45ХНЗМФС, 45ХНЗМФС2.

### Список литературы

1. Калетин А.Ю., Рыжков А.Г., Калетина Ю.В. Повышение ударной вязкости конструкционных сталей при образовании бескарбидного бейнита // Физика металлов и металловедение. – 2015. – Т. 116, № 1. – С. 114–120.
2. Bhadeshia H.K.D.H. Bainite in steels. – London: The Institute of Materials, 2001. – 460 p.
3. Калетин Ю.М., Рыжков А.Г., Калетин А.Ю. Влияние кремния и алюминия на свойства конструкционных хромоникелевых сталей с бейнитной структурой // Известия вузов. Черная металлургия. – 1989. – № 6. – С. 96–99.
4. Microstructure-properties relationships in carbide-free bainitic steels / J.C. Hell, M. Dehmas, S. Allain, J.M. Prado // ISIJ International. – 2011. – Vol. 51, № 10. – P. 1724–1732.
5. Структура и свойства конструкционных сталей после термомеханической обработки в бейнитной области температур / В.М. Счастливец, Ю.В. Калетина, М.А. Смирнов, А.Ю. Калетин // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 4. – С. 1–9.

Получено 02.06.2015

**Николаева Екатерина Вячеславовна** – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, механико-технологический факультет, гр. МТО-13м, e-mail: mto@pstu.ru.

**Костицина Мария Анатольевна** – магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, механико-технологический факультет, гр. МТО-13м, e-mail: kosticinam@mail.ru.