**Морфология и изменение распределения карбидной фазы при термической обработке стали ШХ15**

***Чжэн Цюань, Иванов С.Г.***

*Алтайский государственный технический университет,*

*факультет специальных технологий, Барнаул, Россия*

E-mail: serg225582@mail.ru

Установлено, что в стали ШХ15 в закаленном состоянии распределение карбидной фазы более равномерное по сравнению с отожженным состоянием, в котором максимальная концентрация выделений карбидов регистрируется по границам зерен. Подсчет содержания карбидной фазы показал, что в закаленном состоянии количество карбидной фазы меньше, чем в отожженном состоянии, что свидетельствует о частичном переходе карбидной фазы в твердый раствор. При последующем резком охлаждении, из твердого раствора кристаллизуется дополнительное количество карбидных частиц. Однако в силу того, что скорость охлаждения достаточно высокая и значительно ограничивает временной интервал диффузии, вырасти до значительных размеров (более 1 мкм) вновь образовавшиеся частицы карбидов не успевают.

\*\*\*

При формировании неблагоприятной микроструктуры сердцевины, общий комплекс эксплуатационных характеристик упрочненного химико-термической обработкой (ХТО) изделия будет невысоким. При этом следует учитывать, что при ХТО значительно изменяется элементно-химический состав поверхностных слоев упрочняемого изделия, следовательно и режимы термической обработки для формирования требуемых свойств поверхности и сердцевины изделия могут не совпадать [1–10].

Проведены исследования процессов диффузионного борирования и сопутствующей термической обработки на структурно-фазовое состояние сердцевины изделий из стали ШХ15. В качестве насыщающей среды была использована обмазка на основе карбида бора [1–10]. Насыщение проводили в камерной печи при температуре 1050°С в течение 1,5 ч. По окончании насыщения, образцы подвергали закалке в масло после небольшого подстуживания 830 °С. Анализ микроструктуры образца из стали ШХ15, подвергнутого комплексному насыщению бором, хромом и титаном при температуре 1050°С и времени насыщения 1,5 ч показал, что на поверхности образца было сформировано диффузионное покрытие, имеющее характерное игольчатое строение и среднюю толщину 57,4 мкм. При медленном охлаждении образца в его сердцевине сформировалась равновесная феррито-перлитная структура с выделением карбидной фазы по границам зерна. При закалке в масле, в сердцевине образца формируется троосто-мартенситная структура. В случае закалки, общий объем карбидной фазы ниже по сравнению с отожжённым состоянием. Это является свидетельством растворения части карбидов и их перехода в твердый раствор при нагреве под закалку и «закреплении» твердого раствора при последующей закалке. Анализ распределения карбидной фазы по размерам показал, что при закалке происходит увеличение общего количества карбидных выделений при незначительном уменьшении среднего размера карбидных частиц. При этом, наиболее радикально рост количества частиц происходит в диапазоне их размеров от 0,7 до 1,5 мкм.

Установлено, что в закаленном состоянии распределение карбидной фазы более равномерное по сравнению с отожженным состоянием, в котором максимальная концентрация выделений карбидов регистрируется по границам зерен. Подсчет содержания карбидной фазы показал, что в закаленном состоянии количество карбидной фазы меньше, чем в отожженном состоянии, что свидетельствует о частичном переходе карбидной фазы в твердый раствор.

Литература

1. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Особенности формирования диффузионного слоя при термоциклическом борировании углеродистой стали / В книге: эволюция дефектных структур в конденсированных средах. сборник тезисов докладов 5-ой Международной школы-семинара. 2000. С. 149-150.
2. Гурьев А.М., Хараев Ю.П. Теория и практика получения литого инструмента Барнаул, 2005. – 205с.
3. Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей Известия высших учебных заведений. Физика. 2000. Т. 43. № 11. С. 269.
4. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей Патент на изобретение RU 2345175 C1, 27.01.2009. Заявка № 2007112368/02 от 03.04.2007.
5. Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Гурьев А.М. Повышение прочности диффузионных карбоборидных покрытий термоциклированием в процессе их получения В сборнике: наука и молодежь - 2007 (НиМ - 2007). Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Наука и молодежь - 2007" (НиМ-2007). 2007. С. 110-112.
6. Иванов С.Г., Куркина Л.А., Грешилов А.Д., Гурьев А.М. Исследование зависимости морфологии диффузионных боридных покрытий на углеродистых сталях от состава и фракции насыщающей смеси Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9. № 4. С. 556-559.
7. Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Гурьев А.М. Влияние добавок легирующих элементов в обмазку на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного насыщения стали Современные наукоемкие технологии. 2010. № 7. С. 170-172.
8. Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев А.М. Оценка скорости диффузии бора и хрома при различных режимах диффузионного упрочнения поверхности стали Ст3 Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9. № 2. С. 248-251.
9. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. Способ упрочнения деталей из штамповых сталей Патент на изобретение RU 2360031 C2, 27.06.2009. Заявка № 2007127587/02 от 18.07.2007.
10. Kazakov A.A., Ryaboshuk S.V., Lyubochko D.A., Chigintsev L.S. Research on the Origin of Nonmetallic Inclusions in High-Strength Low-Alloy Steel Using Automated Feature Analysis. // Microscopy and Microanalysis. 2015. V. 21 № 3. P. 1755-1756. DOI: 10.1017/S1431927615009551
11. Vander Voort, G.F., Pakhomova, O., Kazakov, A. «Evaluation of Normal Versus Non-Normal Grain Size Distributions» Materials Performance and Characterization, https://www.astm.org/ ISSN 2165-3992
12. Kazakov A., Kovalev S. Ryaboshuk S. Metallurgical expertise as the base for determination of nature of defects in metal products. // CIS Iron and Steel Review. 2012. DOI: 10.13140/RG.2.1.4675.3688
13. Kazakov A., Lyubochko D. Nonmetallic Inclusions and Acicular Ferrite in Arc Welds of Pipeline Steels. // Microscopy and Microanalysis. 2015. V. 21 № 3. P. 1749-1750.
14. Kazakov A. Kiselev D. Industrial Application of Thixomet. // Metallography, Microstructure, and Analysis. 2016. P. 294–301. DOI 10.1007/s13632-016-0289-6
15. Kazakov A. A., Kiselev D. Industrial Application of Thixomet. Metallography, Microstructure, and Analysis, 2016, DOI 10.1007/s13632-016-0289-6.