

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ

УДК 669.112.227.34

DOI 10.17223/24135542/4/6

Э.В. Козлов¹, Н.А. Попова^{1,2}, Е.Л. Никоненко^{1,3}

*¹Томский государственный архитектурно-строительный университет
(Томск, Россия)*

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск, Россия)

³Томский государственный политехнический университет (Томск, Россия)

Изменение размера зерна конструкционной стали 20Х2Н4Ф под воздействием нитроцементации

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-48-700198 и в рамках госзадания Минобрнауки России № 3.295.2014/К и № 461.

Методом оптической микроскопии проведено исследование зеренной структуры нитроцементированного слоя конструкционной легированной стали мартенситного класса 20Х2Н4А. Определен размер зерна по мере удаления от поверхности вглубь образца и построен график. Проведено сравнение с исходным (до нитроцементации) состоянием.

Ключевые слова: *сталь; нитроцементация; металлография; размер зерна.*

Введение

Одним из наиболее эффективных способов повышения износостойкости деталей в промышленности является химико-термическая обработка, которая воздействует на поверхностные слои металла [1–2], т.е. на те слои, в которых концентрируются максимальные напряжения, возникают трещины, развиваются процессы износа и коррозии. В отличие от термической обработки химико-термическая обработка изменяет не только структуру, но и химический состав поверхностных слоев. Это позволяет в более широких пределах изменять свойства металлов и сплавов.

В промышленности большое распространение получил процесс нитроцементации – поверхностное насыщение стали одновременно углеродом и азотом в газовой среде. Нитроцементация приводит к существенному изменению прежде всего зеренной структуры материала в слоях, прилегающих к поверхности, на которую было оказано воздействие. Эти изменения хорошо видны уже при небольших увеличениях в металлографическом микроскопе на шлифах, сделанных перпендикулярно обработанной поверхности. Поэтому целью настоящей работы является изучение зеренной структуры и определение размера зерна в конструкционной стали

20Х2Н4А, подвергнутой нитроцементации, по мере удаления от поверхности образца.

Материал и методы исследования

Объектом исследования являлась конструкционная легированная сталь мартенситного класса 20Х2Н4А, используемая для производства нитроцементованных высоконагруженных деталей шестерен для комбайнов «К-500». Химический состав исследуемой стали, соответствующий ГОСТу 4543-71, приведен в таблице.

Химический состав стали 20Х2Н4А, вес. %

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
0,22	0,43	0,23	0,012	0,01	1,35	3,45	0,17	Остальное

После гомогенизации и нормализации сталь была подвергнута высокотемпературной нитроцементации (поверхностное насыщение азотом и углеродом) при температуре 920°C. Последующая термическая обработка состояла в следующем: высокий отпуск при температуре 620°C (1 ч), затем закалка от 820°C в масло и низкий отпуск при 180°C (1 ч).

Исследования выполнены методом оптической микроскопии на микроскопе МИМ-10 при рабочих увеличениях 50, 100 и 380 крат на образцах до и после нитроцементации. Образцы после нитроцементации были вырезаны в двух направлениях: 1) перпендикулярно и 2) параллельно нитроцементованной поверхности. Поверхность образцов для просмотра в оптическом микроскопе готовилась двумя методами: 1) методом химического и 2) методом электрохимического травления. Химическое травление проводилось в 4 %-ном водном растворе азотной кислоты при комнатной температуре, электрохимическое – в 10 %-ном водном растворе соляной кислоты при температуре 20–40°C и плотности тока 0,5 А/см². Химическое травление позволило выявить нитроцементованный слой, электрохимическое – зеренную и внутриверенную структуру вновь образованного слоя и основного металла.

Определение средних размеров зерен проводилось методом случайных секущих по микрошлифам. Средний размер зерен в объеме материала каждого сечения образца и среднеквадратичное отклонение определяли исходя из средних размеров зерен, измеренных по отдельным изображениям микрошлифа [3]. Для каждого сечения в работе было выполнено ~150 измерений.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Изображение поверхности после травления на внутриверенную структуру и границы зерен стали в исходном состоянии представлено на рис. 1, а, функция распределения зерен по размерам – на рис. 1, б. Как видно из рис. 1, в исходном материале присутствует обычная полиэдриче-

ская зеренная структура. Функция распределения зерен имеет типичный для отожженного материала вид, средний размер зерен составляет величину 56 мкм, наиболее вероятный – 70 мкм, дисперсия размера зерен – 19 мкм. Функция распределения зерен – одномодальная.

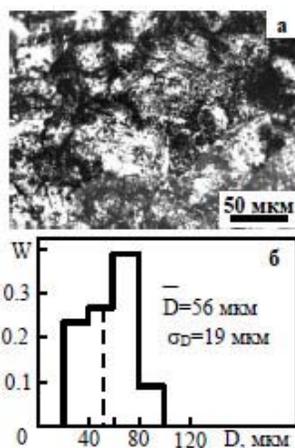


Рис. 1. Изображение микроструктуры стали 20X2H4A в исходном состоянии (а) и распределение зерен по размерам (б)

Выше мы отмечали, что нитроцементация стали приводит к созданию нитроцементованного слоя вблизи поверхности образца. Структура слоя по мере удаления от поверхности образца меняется. Изменяется и зеренная структура слоя. Схематически зеренная структура нитроцементованного слоя исследуемой стали по мере удаления от поверхности образца (перпендикулярное сечение образца) представлена на рис. 2, а, а её изображение, полученное методом оптической микроскопии, – на рис. 2, б.

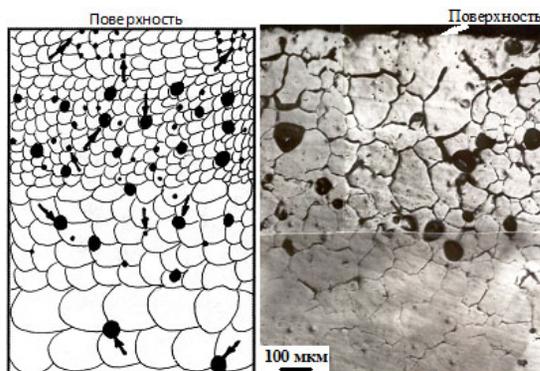


Рис. 2. Схематическое (а) и оптическое (б) изображения зеренной структуры в нитроцементованном слое стали 20X2H4A по мере удаления от поверхности в глубину образца. Стрелками (а) указаны выделения, хорошо различимые на оптических шлифах; линиями – границы зерен. Перпендикулярное сечение образца

Из рис. 2 хорошо видно, что по мере удаления от поверхности в глубь образца вид зеренной структуры изменяется. Изменяется и размер зерен. Хорошо видны также границы зерен, декорированные карбидами. Несомненно, что на всю глубину нитроцементованного слоя большой вклад дает диффузия углерода и азота по границам зерен.

Картина зеренной структуры стали после нитроцементации, полученная в оптическом микроскопе на различных расстояниях от поверхности с образцов, вырезанных параллельно нитроцементованной поверхности, представлена на рис. 3.

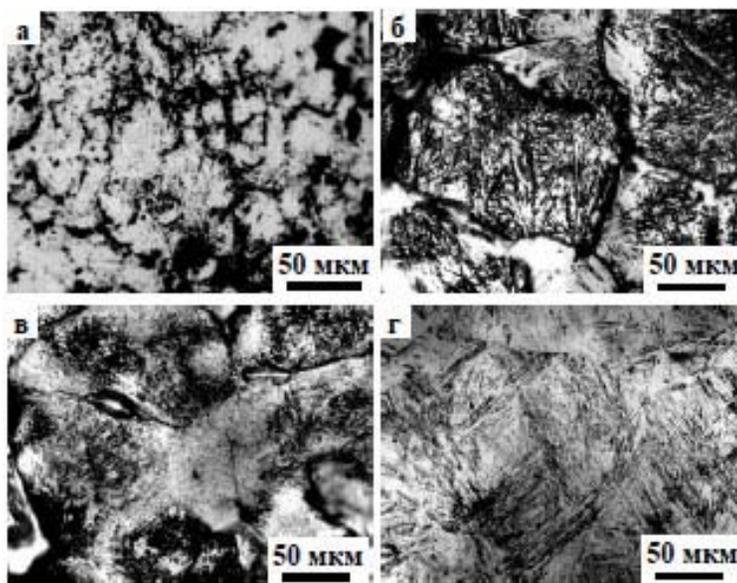


Рис. 3. Изображения микроструктуры стали 20Х2Н4А после нитроцементации на различных расстояниях от поверхности в сечении, параллельном нитроцементованной поверхности образца:
а – поверхность; *б* – 0,2 мм; *в* – 1,1 мм; *г* – 2,1 мм от поверхности

Как видно из представленных фотографий, размеры зерен по мере удаления в глубь материала изменяются сложным образом. Это подтверждают проведенные измерения, выполненные непосредственно в оптическом микроскопе и представленные на рис. 4, а также распределения зерен по размерам, полученные для разных расстояний от нитроцементованной поверхности (рис. 5).

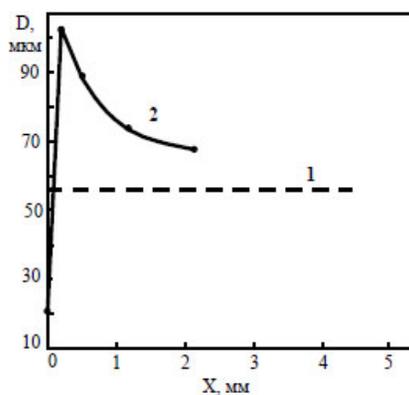


Рис. 4. Средние размеры зерен (D) на разных расстояниях (X) от нитроцементованной поверхности стали до (1) и после (2) нитроцементации

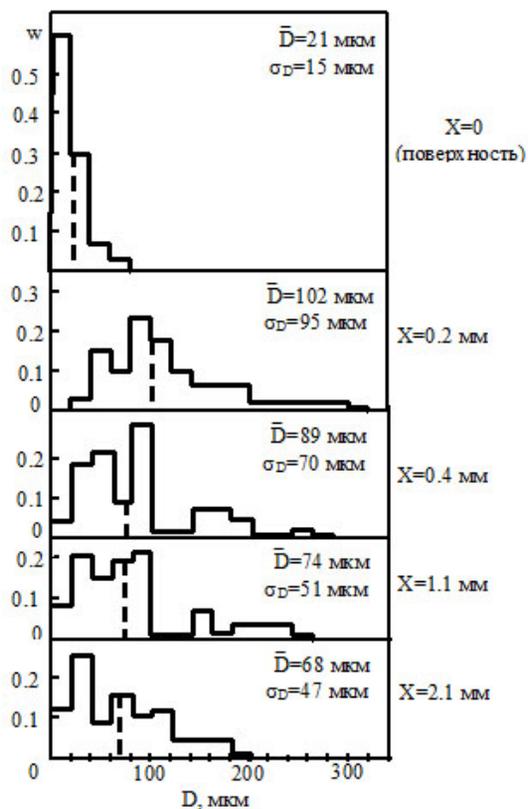


Рис. 5. Распределение зерен по размерам в стали 20X2H4A после нитроцементации (X – расстояние от поверхности образца)

Из рис. 4 видно, что на поверхности нитроцементованного образца средний размер зерен имеет минимальное значение, затем он быстро возрастает и на глубине ~200 мкм становится наибольшим.

После этого размер зерен убывает, и в конце слоя его значение сравнивается со средним размером зерна основного металла, приближаясь к исходному. Подобные результаты отмечались и ранее [4–5]. Отметим, что для прочностных свойств стали 20Х2Н4А [6] разнородность имеет важное значение. Еще раз подчеркнем, что все изменения в зеренной структуре исследованной в работе стали 20Х2Н4А связаны с интенсивной диффузией углерода и азота по границам зерен в ходе нитроцементации.

Заключение

На основании проведенных исследований зеренной структуры в конструкционной стали 20Х2Н4А, подвергнутой нитроцементации, установлено, что нитроцементация приводит к резкому измельчению зерна вблизи поверхности образца. По мере удаления от поверхности в глубь образца средний размер зерна вначале быстро возрастает, и на глубине 0,2 мм от поверхности превышает исходное значение практически в 2 раза, затем убывает, приближаясь к исходному состоянию образца.

Литература

1. Козлов Э.В., Малиновская В.А., Попова Н.А., Сизоненко Н.Р. Формирование градиентных структурно-фазовых состояний в конструкционной стали при нитроцементации и термической обработке // Тяжелое машиностроение. 2005. № 11. С. 26–28.
2. Козлов Э.В., Малиновская В.А., Попова Н.А., Игнатенко Л.Н., Сизоненко Н.Р. Влияние нитроцементации на структуру стали 20Х2Н4А // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2005. Т. 2, № 3. С. 85–89.
3. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М. : Металлургия, 1970. 376 с.
4. Кальнер В.Д., Ковригин В.А., Старокожев Б.С., Юрасов С.А. Комплексное насыщение стали углеродом, азотом и кислородом // МиТОМ. 1977. № 9. С. 15–17.
5. Анащенко В.Н., Гуляев А.П. Нитридное упрочнение чистого железа и сплавов на его основе // МиТОМ. 1980. № 1. С. 5–10.
6. Виноград М.И., Ульянина И.Ю., Файвилевич Г.А. О механизме роста зерна аустенита в конструкционных сталях // МиТОМ. 1975. № 1. С. 5–11.

Авторский коллектив:

Попова Наталья Анатольевна, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. кафедры физики Томского государственного архитектурно-строительного университета (г. Томск, Россия). E-mail: natalya-porova-44@mail.ru

Козлов Эдуард Викторович, доктор физ.-мат. наук, профессор Томского государственного архитектурно-строительного университета (г. Томск, Россия). E-mail: kozlov@tsuab.ru

Никоненко Елена Леонидовна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики Томского государственного архитектурно-строительного университета (г. Томск, Россия). E-mail: vila-tomsk44@mail.ru

E.V. Kozlov¹, N.A. Popova^{1,2}, E.L. Nikonenko^{1,3}

¹*Tomsk State University of Architecture and Building (Tomsk, Russian Federation)*

²*Institute of Strength Physics and Material Science SB RAS (Tomsk, Russian Federation)*

³*National Research Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation)*

Grain size in the type 0,2C-2Cr-4Ni-1V steel modified using carbonitriding treatment

The paper presents the results of electronic microscopy investigations of the type 0,2C-2Cr-4Ni-1V martensitic steel grained structure modified by carbonitriding treatment technique. The grain size is determined moving from the surface into the sample; the relevant dependence plot is presented herein. A comparison is given for the sample before and after carbonitriding treatment.

Keywords: steel; nitrocarburizing; metallography; grain size.

References

1. Kozlov Ye.V., Malinovskaja V.A., Popova N.A., Sizonenko N.R. Formirovanie gradientnyh strukturno-fazovyh sostojanii v konstrukcionnoi stali pri nitro cementacii i termicheskoj obrabotke [Formation of gradient structural-phase states in the structural steel with heat treatment and nitriding]. *Tjazeloe mashinostroenie* [Heavy engineering J.]. 2005;11:26–28. In Russian
2. Kozlov Ye.V., Malinovskaja V.A., Popova N.A., Ignatenko L.N., Sizonenko N.R. Vlijanie nitro cementacii na strukturu stali 20H2N4A [Effect of nitriding on the structure of the steel 20H2N4A]. *Fundamentalnye problemy sovremenno materialovedenija* [Basic Problems of Material Science]. 2005;2(3):85–89. In Russian
3. Saltykov S.A. *Stereometricheskaja metallografija* [Stereometric metallography]. Moscow: Metallurgija; 1970. 376 P. In Russian
4. Kal'ner V.D., Kovrigin V.A., Starokozhev B.S., Yurasov S.A. Kompleksnoe nasyschenie stali uglerodom, azotom i kislorodom [Complete saturation of steel with carbon, nitrogen and oxygen]. *Metallovedenie I termicheskaya obrabotka metallov* [Metal Science and Heat Treatment]. 1977;9:15–17. In Russian
5. Anashenko V.N., Guljaev A.P. Nitridnoe uprochnenie chistogo zheleza i splavov na ego osnove [Nitride hardening of pure iron and its alloys]. *Metallovedenie I termicheskaya obrabotka metallov* [Metal Science and Heat Treatment]. 1980;1:5–10. In Russian
6. Vinograd M.I., Ul'janina I.YU., Faivilevich G.A. O mehanizme rosta zerna austenita v konstrukcionnyh staljah [On the mechanism of austenite grain growth in structural steels]. *Metallovedenie I termicheskaya obrabotka metallov* [Metal Science and Heat Treatment]. 1975;1:5–11. In Russian

Information about authors:

Popova Natalia A. PhD in Technical Science, Senior Researcher, Department of Physics, Tomsk State Architectural University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: natalya-popova-44@mail.ru

Kozlov Eduard V. Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Tomsk State Architectural University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: kozlov@tsuab.ru

Nikonenko Elena L. PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Physics, Tomsk State Architectural University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: natalya-popova-44@mail.ru