В. Ф. Петрова, А. С. Максимова, Е. А. Пожилова

**ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ
ТОНКОЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ 12X17Г9АН4 – Ш**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: tecmat@vstu.ru

В работе представлены результаты исследования влияния различных сред охлаждения при закалке тонколистового проката из коррозионностойкой стали 12X17Г9АН4 – Ш. Исследована микроструктура и микротвердость стали. Проведен статистический анализ полученных результатов.

Ключевые слова: микроструктура, микротвердость, легированный аустенит, закалка, охлаждение, межкристаллитная коррозия, карбиды.

V. F. Petrova, A. S. Maksimova, E. A. Pozhilova

**INFLUENCE HARDENING COOLING ON MICROSTRUCTURE
AND MICROHARDNESS THIN SHEETS OF STEEL 12Cr17Mn9NNi4 – SH**

Volgograd State Technical University

The paper presents the results of a study of the effect of different cooling media during quenching of rolled sheet made of corrosion-resistant steel 12Cr17Mn9NNi4 - SH. The microstructure and microhardness of steel are investigated. A statistical analysis of the results obtained has been carried out.

Keywords: microstructure, microhardness, alloyed austenite, hardening, cooling, intergranular corrosion, carbides.

Введение

В ходе проведения исследования рассматривались различные способы охлаждения при закалке аустенитной нержавеющей стали 12X17Г9АН4 – Ш. Целью закалки было полу-

чить однородно легированный аустенит и избежать выделения карбидов. Отсутствие карбидов хрома в структуре обеспечивает максимальную коррозионную стойкость и снижает склонность к межкристаллитной коррозии.

Материалы и методика эксперимента

Исследование проводилось на образцах, вырезанных из холоднокатаного листа, стали

12Х17Г9АН4 – III после термической обработки (табл. 1). После закалки листы подвергались правке и травлению.

Таблица 1

Режимы термической обработки исследуемых образцов

№ образца	Режим термической обработки
1	Закалка до температуры 1100 °С и охлаждение на воздухе с применением азраторов, до правки и травления
2	Закалка до температуры 1100 °С и охлаждение на воздухе с применением азраторов, после правки и травления
3	Закалка до температуры 1100 °С и охлаждение в воде под двусторонним душем, до правки и травления
4	Закалка до температуры 1100 °С и охлаждение в воде под двусторонним душем, после правки и травления
5	Исходный образец до термообработки

Исследование микроструктуры проводилось на микроскопе Leica DMi8, после электролитического травления полированных образцов в 10 % водном растворе щавелевой кислоты при увеличениях 200 и 500 крат.

Определение размера зерна проводилось согласно ГОСТ 5639–82 методом визуального сравнения видимых под микроскопом зерен с эталонами шкал, с определением номера зерна [1].

Микротвердость всех исследуемых образцов измерялась согласно ГОСТ 9450–76 на микротвердомере ЛОМО ПМТ – 3 с нагрузкой 100 грамм [2].

Был проведен статистический анализ исследования микротвердости. Для значений микротвердости каждого образца были рассчитаны дисперсия, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации

Результаты и их обсуждение

По мнению авторов [3] определяющее значение для изделий, работающих в агрессивных средах, имеет режим термической обработки, который должен обеспечить формирование мелкозернистой и однородной структуры и подавлять выделение избыточных фаз, способствующих образованию трещин при деформации стали.

Определение величины зерна показало, что образец № 1 имеет 5-й балл, а у остальных образцов размер зерна соответствует 4-му баллу.

Исследование показало, что микроструктура всех образцов представляет собой аустенитные зерна с полигональными границами во всех образцах (рис. 1). Разнозернистость не наблюдается, таким образом можно сделать вывод об однородности структуры.

Рис. 1. Микроструктура стали 12Х17Г9АН4 - III, ×200:
а – образец № 5; б – образец № 1; в – образец № 2; г – образец № 3; д – образец № 4

Рис. 2. Микроструктура образца № 4, $\times 500$

При исследовании с большим увеличением видимых изменений не наблюдается, но более отчетливо проявляются «двойники» (рис. 2), их наличие объясняется предыдущей обработкой

давлением – прокаткой листов. По границам зерен не наблюдается выделение карбидов. Отсутствие карбидов хрома в структуре обеспечивает максимальную коррозионную стойкость и снижает склонность к межкристаллитной коррозии [4].

В связи с тем, что распределение легирующих элементов может быть неоднородным по сечению аустенитных зерен (скопление хрома по границам аустенитных зерен) были проведены исследования микротвердости.

По полученным данным построены гистограммы распределения микротвердости (рис. 3). Средняя микротвердость исходного образца, не подвергнутого термообработке, составляет 308,8 HV. Для сравнения примем данное значение за 100 %.

Рис. 3. Микротвердость образцов:
 а – образец № 5; б – образец № 1; в – образец № 2;
 г – образец № 3; д – образец № 4

Гистограммы распределения микротвердости образцов, которые прошли закалку в воде имеют близкие средние значения – 262,2 HV (до правки и травления) и 276,2 HV (после правки и травления) соответственно.

Микротвердость образца прошедшего закалку на воздухе до травления и правки составляет в среднем 319 HV, а микротвердость образца после такой же термообработки, но после травления и правки составляет 302,65 HV.

По значению коэффициента вариации можно судить о степени рассеивания данных в совокупности значений. Если коэффициент вариации:

- менее 10 %, то степень рассеивания незначительна;
- от 10 % до 20 % – степень рассеивания средняя;
- от 20 % до 33 %, степень рассеивания значительна.

Если значение коэффициента вариации более 33 %, то совокупность считается неоднородной [5].

Исходя из полученных данных коэффициента вариации, совокупность измерений каждого образца можно считать однородной, с незначительной степенью рассеивания (табл. 2).

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных

№ образца	Дисперсия D[X]	Среднеквадратическое отклонение σ	Коэффициент вариации V, %
1	273	16	5,2
2	118	11	3,6
3	580	24	9,2
4	350	19	6,8
5	564	24	7,7

Выводы

Микроструктура всех образцов однородна – аустенитные зерна с небольшим количеством «двойников», образовавшихся при деформации.

По границам зерен не наблюдается выделение карбидов.

Микротвердость образца после охлаждения в воде до травления снизилась на 15,1 %, а микротвердость образца после травления снизилась на 10,5 %, по отношению к исходному. Более высокая микротвердость образца прошедшего

правку и травление, объясняется образованием после правки деформационных «двойников» в аустените. Микротвердость образца после охлаждения на воздухе до травления незначительно отличается от исходного (на 3,3 % выше), а после травления на 2 % ниже, чем микротвердость образца, не прошедшего термообработку.

На исходном образце коэффициент вариации достаточно высокий, это связано с тем, что микротвердость структуры, полученной после холодной деформации, является неоднородной.

Максимальное колебание микротвердости и соответственно максимальный коэффициент вариации наблюдается в образцах после охлаждения в воде, что связано с термическими напряжениями, возникающими в процессе охлаждения.

Минимальный коэффициент вариации наблюдается у образцов после охлаждения на воздухе в связи с отсутствием термических напряжений.

Результаты исследования показали, что различное закалочное охлаждение не повлияло на структуру тонколистового проката из коррозионностойкой стали 12X17Г9АН4 – Ш.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 5639–82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. Взамен ГОСТ 5639–65: введ. 01.01.1983 Москва Издательство стандартов, 2003. – 21 с.
2. ГОСТ 9450–76 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. Введ. 01.01.1977. – Москва : Издательство стандартов, 1993. – 30 с.
3. I.O. Bannykh, I.O. Bocharova, T.N. Zvereva. Specific features of structure formation in high-nitrogen austenitic steels in quenching / I.O. Bannykh, I.O. Bocharova, T.N. Zvereva // Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science – Russian Academy of Sciences – 2011.
4. A. N. Rogotovskiy, Rumen Petkov, T.V. Kravchenko. On the problem of liquation of alloying elements in the structure of single-phase austenitic steel / A.N. Rogotovskiy, Rumen Petkov, T.V. Kravchenko // Journal of Chemical Technology and Metallurgy / 50 / 6 – 2015 – 581-584.
5. Мельниченко, А. С. Статистический анализ в металлургии и материаловедении / А. С. Мельниченко. – М. : МИСиС, 2009. – 268 с.
6. Влияние закалочного охлаждения на структуру тонколистового проката из стали 12X17Г9АН4 – Ш / А. С. Максимова / науч. рук. В. Ф. Петрова // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета. Волгоград, 19–22 мая 2020 г. : тез. докл. / Волгоград. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. В. Кузьмин (отв. ред.) [и др.]. – Волгоград, 2020. – 442 с.