

УДК 621. 785

Е.Г.Терещенко, В.В. Галкин, А.А. Дербенев

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА ПОСЛЕ ВЫСОКОГО ОТПУСКА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Дана оценка влияния режимов высокого отпуска на механические свойства, коррозионную стойкость и состояние структуры на примере коррозионностойкой стали мартенситного класса. Приведены данные о сравнении указанных характеристик после горячего прессования, высокого отпуска, а также отпуска с предварительной закалкой. Показано влияние длительности отпуска на механические свойства и размер зерна.

Ключевые слова: прессованный профиль, мартенсит, карбиды, коррозионное растрескивание, величина зерна, механические свойства.

Цель исследования

Коррозионностойкая высокопрочная сталь 08X15H5Д2Т поставляется с химическим составом, указанным в табл. 1, и принадлежит по структуре после нормализации к классу мартенситных сталей со стареющим мартенситом, при этом содержание остаточного аустенита колеблется от 2 до 10 % [1].

Таблица 1

Химический состав стали 08X15H5Д2Т

Элемент	Fe	Cr	Ni	Cu	Ti	Si	Mn	S	P	C
Содержание	Осн	13,5- 14,8	4,8- 5,8	1,75- 2,5	0,03- 0,15	≤ 0,7	≤ 1,0	≤ 0,018	≤ 0,02	≤ 0,08

Из этой стали изготавливаются многообразные полуфабрикаты – листы, ленты, прокат, поковки, штамповки, которые применяются для изготовления сложонапряженных деталей различного назначения, в основном в авиастроении, в том числе для элементов герметичных емкостей. В соответствии с требованиями чертежей и в зависимости от условий эксплуатации упрочняющая термическая обработка выполняется по двум основным схемам:

1. Закалка + старение. Эта схема обеспечивает предел прочности:

$$\sigma_{\text{в}} = 115 \dots 135 \text{ кгс/мм}^2 \text{ (1128} \dots \text{1324 МПа);}$$

2. Закалка + высокий отпуск для обеспечения предела прочности:

$$\sigma_{\text{в}} = 90 \dots 100 \text{ кгс/мм}^2 \text{ (883} \dots \text{981 МПа).}$$

Обрабатываемость резанием упрочненных полуфабрикатов затруднена, поэтому перед механической обработкой они подвергаются специальному охрупчивающему отжигу при температуре 660–680°C, после которого сталь приобретает структуру, состоящую из мартенсита и многочисленных карбидов типа Cr₂₃C₆, расположенных внутри и по границам зерен.

Целью настоящей работы было сравнение механических свойств, коррозионной стойкости, а также структурных характеристик для установления возможности выбора экономно-оптимального варианта высокого отпуска, обеспечивающего заданные эксплуатационные характеристики стали, термически обработанные с пределом прочности $\sigma_{\text{в}} = 100 \pm 10 \text{ кг} \cdot \text{с/мм}^2$ (981±98 МПа).

Методика исследования

Исследование проводилось на образцах, изготовленных из унифицированного прессованного профиля мартенситно-старееющей стали 08X15H5Д2Т промышленной выплавки, имеющей химический состав, указанный в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав исследуемых образцов

Основные элементы	Cr	Ni	Cu	Ti	C
Содержание	15,5	4,95	2,1	0,13	0,07

Исходное состояние образцов – горячепрессованное, без термической обработки.

Заготовки образцов, размером 12x12x70 и 2,5x15x150, подвергались термической обработке в лабораторных печах типа СНОЛ по заданным режимам, указанным в табл. 3, после чего проводились механические испытания, металлографический анализ и определение коррозионной стойкости.

Режимы термической обработки назначались на основании требований получения заданных чертежом свойств.

Для сравнения приведены также результаты испытаний образцов в исходном состоянии, после специального охрупчивающего отпуска (670°), и после закалки с $t = 950^{\circ}\text{C}$.

Проведение исследований выполнялось по стандартным методикам:

- определение показателей механических свойств $\sigma_b, \sigma_{0,2}, \delta, \psi$ проводилось по ГОСТ 1497; КСЧ – по ГОСТ 9454, измерение твердости НВ – по ГОСТ 9012.

Микроструктура исследовалась на обломках ударных образцов.

Коррозионная стойкость определялась на образцах размером 2x15x150 по ГОСТ 9.901.2 методом коррозионного растрескивания.

Представляла также интерес количественная оценка зеренного состояния стали, которая проводилась по методике, изложенной в [2]. В настоящей работе определялась средняя площадь зерна S_{cp} .

Результаты исследования

Результаты исследований представлены в табл. 2, и на снимках микроструктур (рис. 1–4).

Из приведенных результатов табл. 2 видно, что максимальные значения предела прочности - σ_b , предела текучести - $\sigma_{0,2}$, при наименьших относительном удлинении δ , относительном сужении ψ и ударной вязкости КСЧ, – имеют место в случае, когда образцы подвергнуты закалке с $t = 950 \pm 10^{\circ}\text{C}$, когда большая часть легирующих элементов находится в твердом растворе, а структура стали - мартенсит закалки. В таком состоянии сталь не применяется.

В остальных случаях наибольшие значения предела прочности 970...995 МПа и предела текучести 864...877 МПа сталь имеет в состоянии поставки, т.е. после горячего прессования, что может быть объяснено имеющим место «пресс-эффектом», и при этом другие показатели - $\sigma_{0,2}$, δ , ψ - также высокие. Немного ниже лишь относительное удлинение и твердость НВ.

Микроструктура этих образцов - мартенсит и карбиды, расположенные как внутри, так и по границам бывшего аустенитного зерна (рис. 1).

Таблица 3

Результаты механических испытаний образцов после термической обработки

Номер образца	Режим термообработки	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	НВ, d отп.	КСУ, кгс/см ²
1	Отпуск 620 ⁰ С, выдержка 1 ч	917	792	20,0	66,7	3,8	17,70
		931	804	20,0	66,2	3,8	19,70
2	Отпуск 620 ⁰ С, выдержка 2 ч	893	794	20,0	67,8	3,75	19,70
		922	843	19,2	66,6	3,8	20,20
3	Отпуск 620 ⁰ С, выдержка 3 ч	907	789	20,0	66,7	3,85	17,90
		897	789	20,0	67,4	3,8	21,00
4	Отпуск 620 ⁰ С, выдержка 4 ч	907	721	20,0	69,6	3,8	18,90
		888	718	19,2	67,8	3,9	19,20
5	Закалка 950 ⁰ С, выдержка 30 мин, охлаждение в воде, отпуск 610 ⁰ С, выдержка 1 ч	965	867	20,0	65,0	3,6	18,60
		941	828	19,2	65,5	3,7	17,50
6	Закалка 950 ⁰ С, выдержка 30 мин, охлаждение в воде, отпуск 610 ⁰ С, выдержка 2 ч	882	828	20,0	65,5	3,7	19,20
		939	833	20,0	64,4	3,7	19,00
7	Закалка 950 ⁰ С, выдержка 30 мин, охлаждение в воде, отпуск 610 ⁰ С, выдержка 3 ч	916	811	19,2	68,0	3,75	18,50
		931	815	19,2	65,5	3,75	17,80
8	Закалка 950 ⁰ С, выдержка 30 мин, охлаждение в воде, отпуск 610 ⁰ С, выдержка 4 ч	936	804	18,0	66,5	3,75	17,90
		921	815	18,0	65,5	3,7	18,90
9	Отжиг 670 ⁰ С, выдержка 2 ч	911	809	20,0	69,0	3,8	19,50
		931	828	18,0	68,5	3,8	19,80
10	В исходном состоянии	970	864	16,8	68,0	3,65	15,80
		995	877	16,8	67,5	3,65	18,50
11	Закалка с 950 ⁰ С, выдержка 30 мин, охлаждение в воде, выдержка 30 мин	115,0	102	14,0	63,0		13,8
		115,0	103	16,0	63,5		13,0

Высокий отпуск при температуре 620⁰С без предварительной закалки, как следует из табл. 3, приводит, по сравнению с исходным состоянием, к понижению предела прочности до 888...922МПа, предела текучести до 718...843 МПа. При этом наблюдается повышение значений относительного удлинения до 19,2...20%, ударной вязкости до 17,7...21,0 кгс/см², относительного сужения 65,0...68,0 %. Объяснение этому находим в анализе микроструктуры – наблюдается заметное увеличение размеров зерен, т.е. при этих режимах

($t = 620^{\circ}\text{C}$, выдержка 1...4 ч) происходит собирательная рекристаллизация горячепрессованной стали (рис. 2).



Рис. 1. Микроструктура стали в исходном (горячепрессованном) состоянии. Увеличение $\times 340$ S_{cp} 79-84 мкм^2



Рис. 2. Микроструктура стали после отпуска при температуре 620°C без предварительной закалки. Увеличение $\times 340$ S_{cp} 109-138 мкм^2

Структура стали после отпуска 620°C – мартенсит и карбиды Cr_{23}C_6 [1], выделившиеся как внутри зерен, так и в виде сетки по границам аустенитного зерна (рис. 2).

Следует обратить внимание на то, что в этой группе образцов зерна имеют различную форму и неоднородны по размеру.

Изменение свойств можно объяснить, очевидно, процессами собирательной рекристаллизации, проходящей неодинаково и неодновременно [3].

В табл. 3 показана также некоторая зависимость свойств от времени отпуска при температуре 620°C : при увеличении длительности отпуска наблюдается небольшое уменьшение предела прочности, предела текучести при почти неизменных значениях твердости и небольшом понижении относительного удлинения. Это может быть объяснено ростом и коагуляцией карбидной фазы Cr_{23}C_6 .

Образцы, подвергнутые отпуску при температуре 610°C с предварительной закалкой,

показали более высокие по сравнению с режимами 1-4 механические свойства: $\sigma_{в} = 882-965$ МПа; $\sigma_{0,2} = 804-867$ МПа; $\delta = 18-20\%$; $\psi = 65-68\%$ КСУ=17,5-18,9 кгс/см².

Для этой группы образцов характерно более заметное изменение свойств с увеличением длительности отпуска.

Микроструктура стали в этом случае также представляет собой мартенсит и карбиды, однако зерна бывшего аустенита заметно мельче и однороднее (рис. 3).



Рис. 3. Микроструктура стали после закалки с температуры 950⁰С и отпуска при температуре 610⁰С. Увеличение $\times 340$ $Sep 56$ μm^2

Значит, при термической обработке по этим режимам произошла полная перекристаллизация стали.

На рис. 4 показаны образцы, термически обработанные по режимам 4 и 8, испытанные на коррозионное растрескивание с последующим загибом до угла 180⁰.

Очевидно, что образцы испытание выдержали.

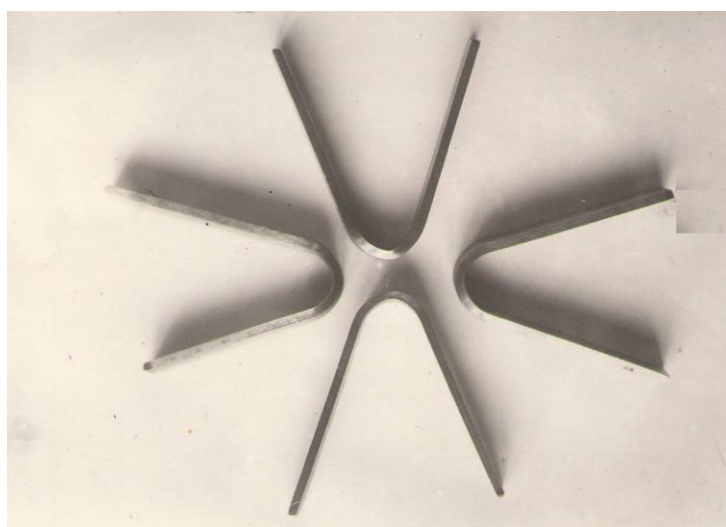


Рис. 4. Вид образцов после испытания на коррозионное растрескивание с последующим изгибом до 180⁰

Выводы

1. Проведено исследование влияния высокого отпуска на структуру, механические свойства и коррозионную стойкость коррозионностойкой высокопрочной мартенсито-старееющей стали 08X15H5Д2Т, находящейся в различных исходных состояниях.

2. Установлено, что наиболее высоким комплексом свойств обладает сталь после термической обработки по режиму: закалка 950⁰С, выдержка 30 мин, охлаждение в воде, отпуск 610⁰С, выдержка 1-2 ч, которая обеспечивает мелкозернистую микроструктуру с однородными зернами.

3. Длительность отпуска понижает прочностные характеристики за счет увеличения размеров и количества карбидной фазы Cr₂₃ C₆.

4. Образцы выдержали испытание на коррозионную стойкость.

Библиографический список

1. **Потак, Я.М.** Высокопрочные стали / Я.М. Потак. – М.: Metallurgy, 1972.
2. **Галкин, В.В.** К вопросу о построении диаграмм рекристаллизации металлов / В.В. Галкин, Е.Г. Терещенко, А.В. Кошелев, А.А. Дербенев // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. №3. С. 43–46.
3. **Арзамасов, Б.Н.** Материаловедение / Б.Н. Арзамасов. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

*Дата поступления
в редакцию 21.11.2013*

E. Tereshenko, V. Galkin, A. Derbenev

HIGH-STRENGTH, WEAR RESISTANCE STEEL OF THE MARTENSITIC TYPE STRUCTURE AND PROPERTIES INVESTIGATION AFTER THE HIGH TEMPERING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R. E. Alexeev

Purpose: Comparison of the mechanical properties, corrosion resistance, and also structural characteristics for the establishment of a possibility of a choice of economical and optimum option of the high tempering providing set operational characteristics of steel, thermally processed with strength was the purpose of the real work $\sigma_B = 981 \pm 98$ МПа.

Design\methodology\approach: Technique Research was conducted on the samples made of the unified pressed profile of martensite-growing old steel 08X15H5Д2Т. Preparations of samples, 12x12x70 and 2,5x15x150 in size, were exposed to heat treatment in laboratory furnaces on the set modes, then mechanical tests, the metalgraphic analysis and determination of corrosion resistance were carried out.

Research limitations\implications: It was established that the highest complex of properties steel after heat treatment on a mode possesses: training 950⁰С, endurance of 30 min., cooling in water, tempering 610⁰С, endurance 60-120 min which provides a fine-grained microstructure with uniform grains. The duration of tempering is lowering the strength characteristics at the expense of increase in the sizes and quantity of the carbide phase Cr₂₃ C₆. The samples were pass the test for corrosion resistance.

Originality\value: The research of the high tempering influence to the structure of the steel, to the mechanical properties, to the size of the austenitic grain and the corrosion resistance of the corrosion-resistant high-strength steel 08X15H5Д2Т being in various initial conditions was conducted.

Key words: pressed block profile, martensite, carbons, corrosion crack formation, grain damnation, mechanical properties.