



УДК 669.14.018.54

В.В. Глебов, к.ф.-м.н., доцент ФБГОУ ВО «ВГУВТ».

603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5а

В.Г. Пушкин, д.ф.-м.н., проф., ИФМ УрО РАН,

В.М. Блинов, д.т.н., проф., ИМЕТ РАН.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 07X16H4B

Ключевые слова: сталь 07X16H4B, структура, физико-механические свойства, аустенит, мартенсит.

Методами просвечивающей электронной микроскопии изучено влияние термообработки на структуру и механические свойства стали 07X16H4B

Сталь 07X16H4B (табл.1) предназначена для изготовления высоконагруженных деталей судового машиностроения, а также сварных узлов объектов атомной энергетики и химической промышленности [1,2].

Данная сталь относится к сталям мартенситного класса [2] и после термообработки по стандартному режиму (закалка + высокий отпуск, табл.2) характеризуется сочетанием повышенной прочности и удовлетворительной пластичности. Однако с ростом требований по прочностным и пластическим характеристикам к стали 07X16H4B, применяемой для изготовления ответственных деталей судовых энергетических установок возникает необходимость в разработке соответствующих режимов термообработки обеспечивающих требуемый уровень физико-механических свойств.

Поэтому в данной работе методом просвечивающей электронной микроскопии были исследованы структура и фазовый состав стали 07X16H4B в зависимости от режима термообработки. Структуру стали изучали методом тонких фольг на просвечивающем электронном микроскопе JEM-150 [3,4].

Таблица 1. Химический состав стали 07X16H4B, (по ТУ 14-1-3573-83), мас.%

Углерод	Марганец	Кремний	Хром	Никель	Ниобий	Сера	Фосфор	Медь
0,05-0,10	0,20-0,50	≤0,60	15,0-16,5	3,5-4,5	0,20-0,40	≤0,020	≤0,025	≤0,20

Таблица 2. Механические свойства стали 07X16H4B (по ТУ 14-1-3573-83)

Режим термообработки	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	Размер сечения заготовки, мм
Закалка 1050°C, масло + отпск 650°C, 2 часа, возд.	890	740	13	50	88	25 - 30

Механические свойства и размер аустенитного зерна в зависимости от исследуемого режима термической обработки стали 07X16H4B приведены в таблице 3.

Таблица 3. Механические свойства и размер аустенитного зерна стали 07X16H4B в зависимости от режима термообработки

№№	Термообработка	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²	Балл ауст. зерна
1	Гомогенизация 1150°C, 25 час., возд., + 650°C, 3 часа, возд.	1050	807	16	54	0,6	1 - 4

2	Гомогенизация 1100°C, 25 час., возд.,+ 650°C,3 часа, возд.	1070	900	13	55	0,5	1 – 4
3	Гомогенизация 1050°C, 25 час., возд.,+ 650°C,3 часа, возд.	1070	825	16	54	0,7	1 – 4
4	Гомогенизация 1050°C, 5 час., возд.,+ 650°C,3 часа, возд.	1050	780	14	54	0,5	1 – 4
5	Гомогенизация 1150°C, 25 час., возд.,+ закалка 1050°C,4 цикла по 2 часа, масло+650°C, 3 часа, возд.	1080	875	15	54	0,7	6 – 7
6	Гомогенизация 1150°C, 25 час., возд.,+ закалка 1000°C,4 цикла по 2 часа, масло+650°C, 3 часа, возд.	1080	830	16	52	0,6	7

Электронномикроскопические исследования показали что, гомогенизация стали при 1150°C в течение 25 часов перед старением 650°C приводит к равномерному распределению глобулярных карбидов $Cr_{23}C_6$ размером $\sim 100-200$ нм и дисперсных частиц (размером 10-20 нм) карбидов NbC в структуре двухфазной $\alpha+\gamma$ матрице (рис.1).

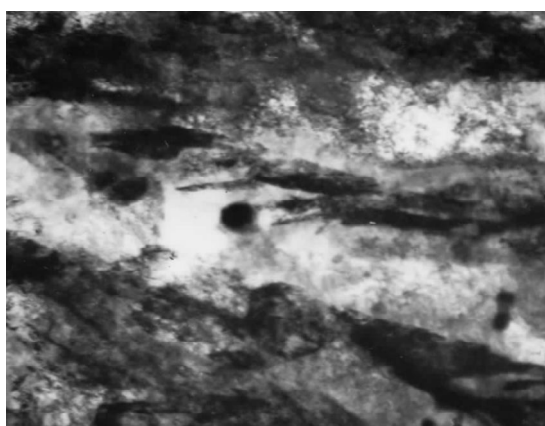
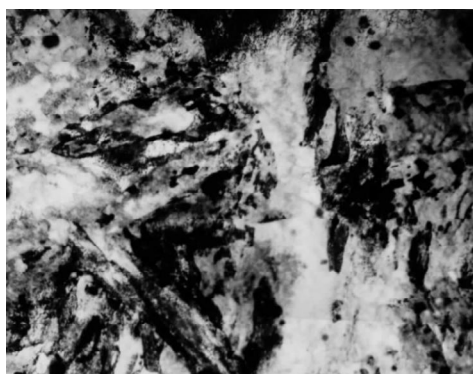


Рис.1. Структура стали 07X16N4Б, гомогенизированной при 1150°C, 25 часов и состаренной при 650°C в течение 3 часов, x20000

Аналогичный характер имеет структура состаренной стали, гомогенизированной при 1100°C, 25 часов (рис.2) и при 1050°C, 25 часов (рис.3).



а)



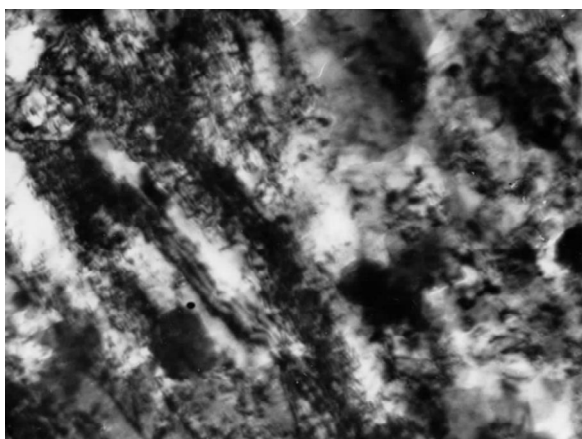
б)

Рис.2 Реечный мартенсит (а) и распределение карбидной фазы (б) в стали 07X16N4Б, гомогенизированной при 1100°C, 25 часов и состаренной при 650°C, 3 часа, x10000

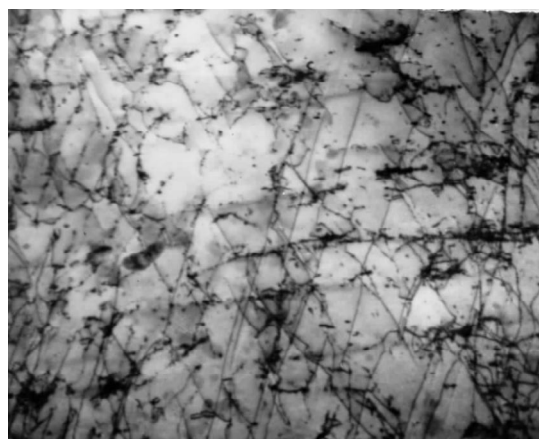


Рис.3. Структура стали 07X16H4Б, гомогенизированной при 1050°C, 25 часов и состаренной при 650°C, 3 часа,увелич. x10000.

Снижение температуры гомогенизации приводит к росту прочностных свойств и некоторому снижению пластичности стали. Размер аустенитных зерен практически не изменяется. В стали , гомогенизированной за более короткое время, 5 часов, карбиды хрома более крупные и неоднородно распределены по объёму зерна (рис.4).



а)



б)

Рис.4. Кристаллы α -мартенсита, крупные карбиды $Cr_{23}C_6$ и дисперсные карбиды NbC (а) и структура глобулярного аустенита с сеткой дислокаций, декорированных карбидами NbC(б), x20000

Также в стали присутствуют отдельные глобулярные зерна аустенита, в которых наблюдаются дисперсные карбиды ниобия рис.4 (б).

Механические свойства стали в результате такой обработки несколько снижаются (табл.3).

Применение циклической гомогенизации (три цикла при 1050°C или 1000°C по 2 часа, охлаждение в масло) после обычной гомогенизации при 1150°C, 25 часов с последующей закалкой в масло от температуры 1050°C, 2 часа или 1000°C, 2 часа, соответственно и старением при 650°C, 3 часа существенно не изменило структурно-морфологический характер распределения α - и γ -фаз в стали рис.5 и 6.

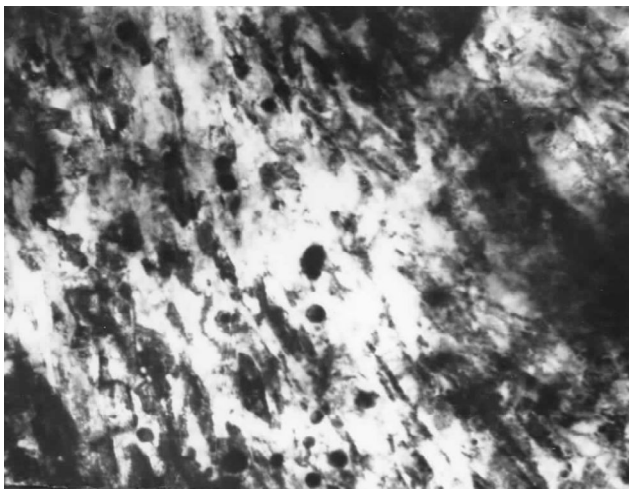
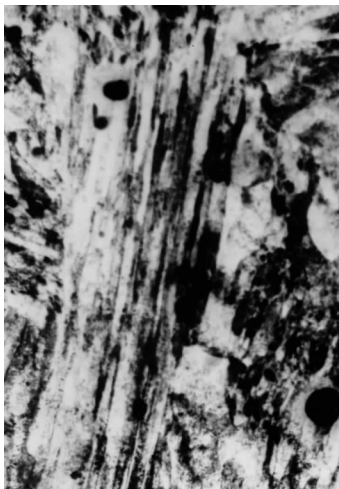


Рис.5. Структура стали 07X16H4Б после гомогенизации при 1150°С, 25 часов и термоциклированной обработки (3 цикла) при 1050°С, 2 часа с последующей закалкой от 1050°С, 2 часа, в масло и старением при 650°С, 3 часа, x10000

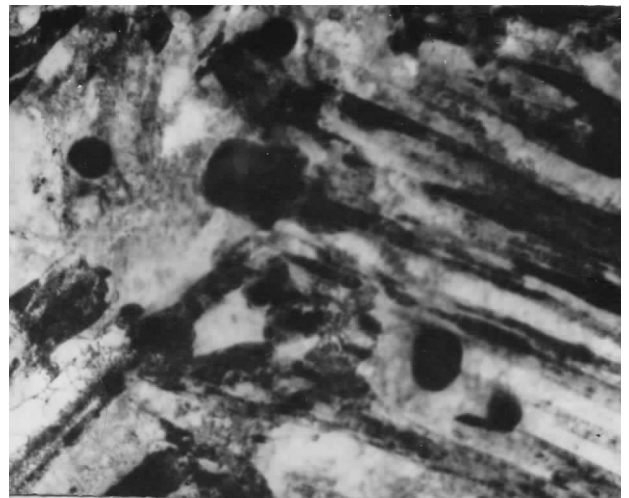


Рис.6. Структура стали 07X16H4Б после гомогенизации при 1150°С, 25 часов и термоциклированной обработки (3 цикла) при 1000°С, 2 часа с последующей закалкой от 1000°С, 2 часа, в масло и старением при 650°С, 3 часа, x20000

Однако, если после циклической гомогенизации и закалки от 1050°С , 2 часа, количество карбидов хрома на границах зерен относительно невелико, то после аналогичной термической обработки при 1000°С, 2 часа, наряду с глобулярными карбидами в матрице было обнаружено значительное количество карбидов хрома и по границам исходных аустенитных зерен рис.7. Это может быть связано с неполным растворением карбидов при циклической гомогенизации стали при 1000°С.



а)



б)

Рис.7. Структура стали 07X16H4Б после гомогенизации при 1150°С, 25 часов и термоциклированной обработки (3 цикла) при 1000°С, 2 часа с последующей закалкой от 1000°С, 2 часа, в масло и старением при 650°С, 3 часа.(а – x20000; б - x40000)

Таким образом, наиболее благоприятное соотношение прочностных и пластических характеристик стали обеспечивается при ее термообработке по режиму 5 (табл.3), что позволяет рекомендовать данный режим термообработки для обеспечения повышенного уровня физико-механических свойств ответственных деталей судового машиностроения.

Следует отметить, что в настоящее время разработана и проходит промышленное опробование азотсодержащая мартенситная сталь 05X16H5AB с высоким уровнем физико-механических свойств ($\sigma_b = 1500$ МПа; $\sigma_{0,2} = 1250$ МПа; $\delta = 20\%$; $\psi = 60\%$) [7].

Список литературы:

- [1] Прутки из коррозионно-стойкой стали марки 07X16H4B и 07X16H4B-Ш. Технические условия ТУ 14-1-3573-83.
- [2] СТ ЦКБ 005.2-2004 Арматура трубопроводная. Металлы, применяемые в арматуростроении. Ч.2, Справочные данные о свойствах материалов.
- [3] Хирш П., Хови А., Николсон Р., Электронная микроскопия тонких кристаллов, М., Мир, 1968, 574 с.
- [4] Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. Физические методы исследования металлов, т.1, под ред. Кишкина С.Т., М., Машиностроение, 1971, 302 с.
- [5] Максимович Г.Г., Мещерякова Т.Н., Третьяк И.Ю., Азбукин В.Г., Павлов В.Н., Длительная прочность и пластичность коррозионно-стойкой мартенситной стали 07X16H4B при температурах 340-450°C, Проблемы прочности, 1978, №12, с.39-42.
- [6] Азбукин В. Г., Башаева Е. Н., Михалева Э. И., Павлов В. Н., Крылова Р. П., Новая высокопрочная свариваемая коррозионно-стойкая сталь для корпусов малогабаритных реакторов и других сосудов давления с рабочей температурой до 350°C, 2 Международная конференция по судостроению- ISC-98, Санкт-Петербург, 24- 26 нояб., 1998, с.192-196
- [7] ГОСТ 5632-2014 «Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. Обозначение».

Effect of heat treatment on the structure and properties of steel 07H16N4B

V.V. Glebov, Ph.D., associate professor FSFEI HE "VSUWT".

603950, Nizhny Novgorod, ul. Nesterov, 5a.

V.G. Pushin, prof., Institute of Metal Physics, Ural Division,

V.M. Blinov, prof., IMET RAS.

Keywords : steel 07H16N4B , structure , mechanical properties , austenite , martensite.

Transmission electron microscopy to study the effect of heat treatment on structure and mechanical properties of steel 07H16N4B.