

УДК 669.14.018.295:539.38

Е. А. Яковлева^{*}, Г. Д. Мотовилина, Е. И. Хлусова

НИЦ «Курчатовский институт» — ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург

^{*}*npk3@crism.ru*

ИССЛЕДОВАНИЯ СКЛОННОСТИ К ДЕФОРМАЦИОННОМУ СТАРЕНИЮ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

В связи с расширением областей применения высокопрочных сталей, представляет интерес оценка возможности деградации их свойств. В работе проведены исследования по выявлению склонности к старению высокопрочных судостроительных сталей, показано, что судить о проявлении склонности к деформационному старению следует не только по изменению значений работы удара, но и по изменению прочностных и пластических характеристик и виду диаграмм растяжения.

Ключевые слова: деформационное старение, высокопрочные стали, хладостойкие стали, закалка, отпуск

E. A. Iakovleva, G. D. Motovilina, E. I. Khlusova

STUDY OF TENDENCY TO DEFORMATION AGEING OF HIGH-STRENGTH SHIPBUILDING STEELS

Due to expansion of application areas of high strength steels, estimation of possibility of their properties degradation is of interest. Investigations are conducted in revealing of ageing tendency of high strength shipbuilding steels. It was shown that to judge on occurrence of a tendency to a deformation ageing should not only be by changing of values of impact energy, but also by changing strength and plastic characteristics and by appearance of tension diagrams.

Key words: deformation ageing, high-strength steels, cold-resistant steels, quenching, tempering

При изучении склонности к деформационному старению были проанализированы имеющиеся данные по механическим свойствам высокопрочных хладостойких сталей с нормируемым пределом текучести 620, 690 и 750 МПа. Обработка заготовок выполнялась

по следующему режиму: предварительная деформация растяжением 3 или 5 %, отпуск при 250 °С в течение 1 часа. Было выявлено, что судостроительные высокопрочные стали не проявляют склонности к деформационному старению: работа удара после механического старения для образцов, испытанных при той же температуре (–60 °С), снижается не более чем на 27 %. В ряде работ о склонности высокопрочной стали к деформационному старению предлагается судить об этом по изменению прочностных и пластических характеристик. Этот метод представлен, как более наглядный [1; 2].

Для проведения исследований был выбран листовой прокат из высокопрочной стали марки РСЕ500W толщиной 80 мм, изготовленной по ГОСТ Р 52927–2015, сталь поставлялась после закалки с высоким отпуском при температуре 650 °С в течение 8 часов. Для сравнения заготовки подвергались повторной закалке с отпуском.

Закалку заготовок проводили в воде после аустенизации при температуре 900 °С в течение 30 минут. Затем часть заготовок была подвергнута отпуску при температурах 450, 550, 650 °С в течение 2 часов и механическому старению с предварительной деформацией 3 % и последующим отпуском при 250 °С. Из заготовок после обработки были вырезаны образцы на ударный изгиб и растяжение.

Результаты определения механических свойств после дополнительных термических обработок приведены на рисунке.

В закаленном состоянии значения работы удара составили ~35 Дж, временное сопротивление — 1250 МПа, а предел текучести — 1050 МПа. Старение после закалки привело к повышению значений временного сопротивления на 100 МПа, предела текучести — на 300 МПа, равномерное удлинение снизилось до нуля.

После отпуска при температуре 450 °С механические свойства незначительно изменяются по отношению к свойствам в закаленном состоянии. С повышением температуры отпуска до 550 °С значения работы удара повышаются до 124 Дж, а временное сопротивление снижается до 890 МПа. После отпуска при 650 °С значения работы удара возросли до 170 Дж, значения прочностных характеристик (как временного сопротивления, так и предела текучести) снизились до 740 МПа.

После старения увеличились значения временного сопротивления и предела текучести на 50–300 МПа в зависимости от температуры старения (рис. а, б): после отпуска при 450 °С — до 1278 МПа. Относительное удлинение после старения снизилось в среднем на 5 %, а равномерное относительное удлинение после всех режимов отпу-

ска и дополнительного старения становится равным нулю (рис. в), при этом относительное сужение не изменяется (рис. г), как и работа удара (рис. д). Во всех случаях после старения стали на диаграммах зафиксировано появление зуба текучести, а кривая имеет параболический вид, что связано с относительно слабым закреплением дислокаций примесными атомами [3]

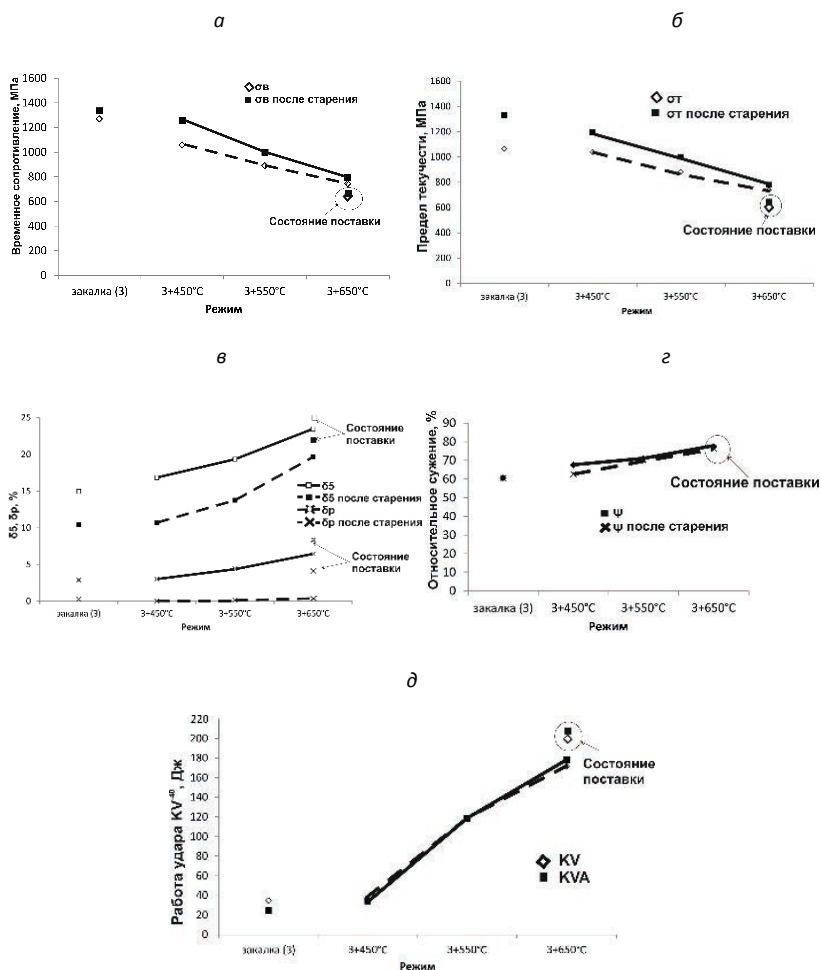


Рис. Результаты определения зависимости механических свойств стали марки PCE500W после дополнительных термических обработок от температуры отпуска:

а — временное сопротивление, б — предел текучести, в — относительное и равномерное удлинение, г — относительное сужение д — работа удара;
 (--- — после старения; — — после закалки)

Проведенные исследования показывают, что:

— повторная закалка высокопрочных судостроительных сталей с отпуском при 650 °С способствует повышению значений временно-го сопротивления, предела текучести и незначительному снижению значений работы удара и относительного удлинения по сравнению с состоянием поставки;

— старение привело к снижению равномерного удлинения до 0%, что свидетельствует о протекании процессов, связанных с недостаточной продолжительностью отпуска;

— о проявлении склонности к деформационному старению для высокопрочной легированной стали следует судить не по изменению работы удара, а по изменению прочностных и пластических характеристик, отображенных на диаграммах.

Литература

1. Деформационное старение высокопрочных сталей / Н. Г. Орехов [и др.] // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1969. № 10. С. 46–52.

2. Потак Я. М. Высокопрочные стали // Серия «Успехи современного металловедения». М. : *Металлургия*, 1972. С. 208.

3. Деформационное старение в сталях / В. М. Фарбер [и др.]. Екатеринбург : *Изд-во Урал. ун-та*, 2018. 72 с.