

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ТЕРМООБРАБОТКИ НА МАКРОСТРУКТУРУ И ДЛИТЕЛЬНУЮ ПРОЧНОСТЬ СПЛАВА ХН51ВМТЮКФР

*Б.В. Ощепков, Е.Р. Вахитова*

## INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE MACROSTRUCTURE AND LONG-TERM STRENGTH OF THE Ni51Co15Cr11Mo7W6Al4.5Ti2.5V0.5 ALLOY

*B.V. Oschepkov, E. R. Vakhitova*

Представлены результаты работы, проведенной с целью определения путей оптимизации режима термообработки образцов сплава ХН51ВМТЮКФР. Показано, что величина длительной прочности образцов сплава может быть несколько повышена за счет некоторого увеличения температуры нагрева при первой закалке. Описана методика стабилизации длительной прочности сплава.

*Ключевые слова:* никелевые сплавы, термообработка, длительная прочность.

The results of detection the ways to optimize heat treatment conditions of the Ni51Co15Cr11Mo7W6Al4.5Ti2.5V0.5 alloy are presented. It is shown that the long-term strength can be increased by raising the temperature of the first quenching. A method of long-term strength stabilization is described.

*Keywords:* nickel-based heat-resistant alloy, heat treatment, long-term strength.

Испытания образцов сплава ХН51ВМТЮКФР на длительную прочность демонстрируют, что результаты определения этой характеристики даже для образцов одной и той же плавки, вырезанных на соседних участках заготовки (круглый пруток диаметром 32 мм), могут отличаться практически в два раза. Отличия могут быть еще более существенными при сравнении свойств образцов металла разных плавов.

Такой разброс, с одной стороны, свидетельствует о том, что максимально возможные для данного сплава значения длительной прочности, как правило, не достигаются. То есть потенциал свойств металла используется не полностью. С другой стороны, нестабильность длительной прочности сама по себе вызывает нарекания потребителей данной металлопродукции.

Очевидно, что на величину длительной прочности определяющее влияние оказывают микро- и макроструктуры металла, на которые, в свою очередь, сильно влияют условия его термообработки. Необходимо подобрать режим термообработки, способствующий выравниванию и увеличению показателей длительной прочности.

Представленная работа проводилась с целью определения путей оптимизации режима термообработки образцов сплава ХН51ВМТЮКФР.

Для исследования использовался горячекатаный пруток сплава ХН51ВМТЮКФР диаметром 32 мм. Предыдущие исследования прутков этой партии показали, что после стандартной термо-

обработки (нагрев до 1220 °С, выдержка 4 часа, охлаждение на воздухе, нагрев до 1050 °С, выдержка 4 часа, охлаждение на воздухе, старение при 950 °С, выдержка 2 часа, охлаждение на воздухе) наблюдается большая неоднородность структуры по длине прутка и, соответственно, нестабильность результатов определения длительной прочности.

Исследуемый пруток был полностью разрезан на последовательно чередующиеся образцы длиной 72 и 50 мм.

Из заготовок длиной 72 мм после термообработки были изготовлены по 2 образца для испытания жаропрочности. Образцы длиной 50 мм использовались для изучения макроструктуры металла, а также его рентгенографических характеристик.

Замеры температуры в печи, использованной для термообработки, показали, что различие температур в центре печи, у задней стенки и у дверцы не превышает по абсолютной величине  $\pm 2$  °С.

В ходе исследования изучалось:

1. Влияние увеличения температуры первой закалки (на 10 и 20 °С) на макроструктуру и длительную прочность образцов металла.

2. Влияние времени выдержки в ходе первой закалки на макроструктуру и длительную прочность образцов металла. Проверялась целесообразность и возможность не только увеличения, но и уменьшения времени выдержки с целью сокращения продолжительности производственного цикла.

3. Влияние предварительного (перед первой закалкой) нагрева металла на макроструктуру и длительную прочность его образцов.

Повышение температуры первой заковки на 10 °С несколько улучшило длительную прочность металла. Так, образцы, вырезанные из различных участков прутка, показали длительную прочность от 53 до 76 часов (в среднем значение длительной прочности составило 61,67 часа при норме 50 часов), в то время как длительная прочность образцов, обработанных по ТУ, составляла от 28 до 68 часов. При этом только два из шести изученных

образцов, обработанных по ТУ, продемонстрировали удовлетворительные значения длительной прочности.

Повышение температуры первой заковки на 20 °С при разном времени выдержки (см. таблицу) ни в одном случае не привело к положительным результатам, несмотря на то, что макроструктура образцов № 16 и 17 (рис. 1) была вполне удовлетворительной.

Варьирование времени выдержки от 2 до 6 часов при 1220 °С не привело к увеличению длительной прочности. Полученная макроструктура суще-

Режимы первой заковки некоторых опытных образцов

Температура первой заковки, °С	Номер образца и время выдержки (часы)				
	№ 11 6	№ 12 5	№ 13 4	№ 14 3	№ 15 2
1220	№ 16 4	№ 17 3	№ 18 2	№ 19 1	

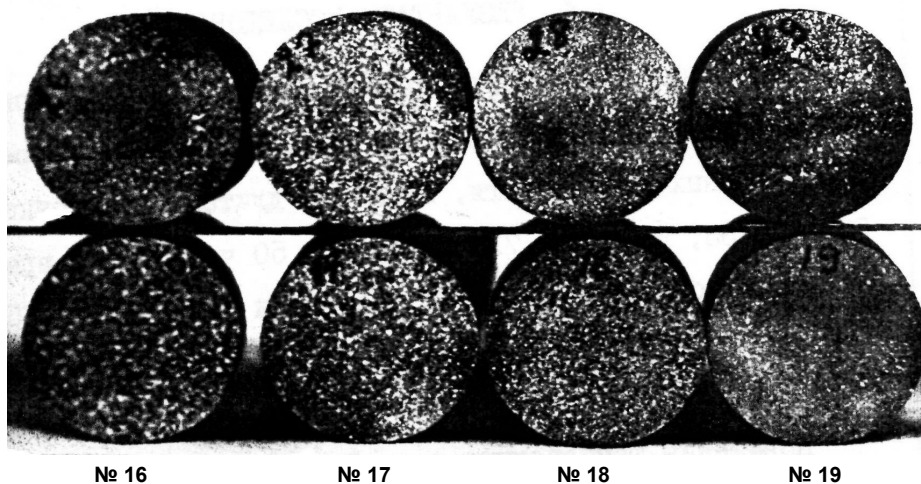


Рис. 1. Фотография, демонстрирующая влияние увеличения температуры первой заковки на 20 °С и различной продолжительности выдержки на макроструктуру образцов сплава ХН51ВМТЮКФР. Нижний ряд – экспериментальные образцы (см. таблицу), верхний – контрольные, прошедшие стандартную термообработку

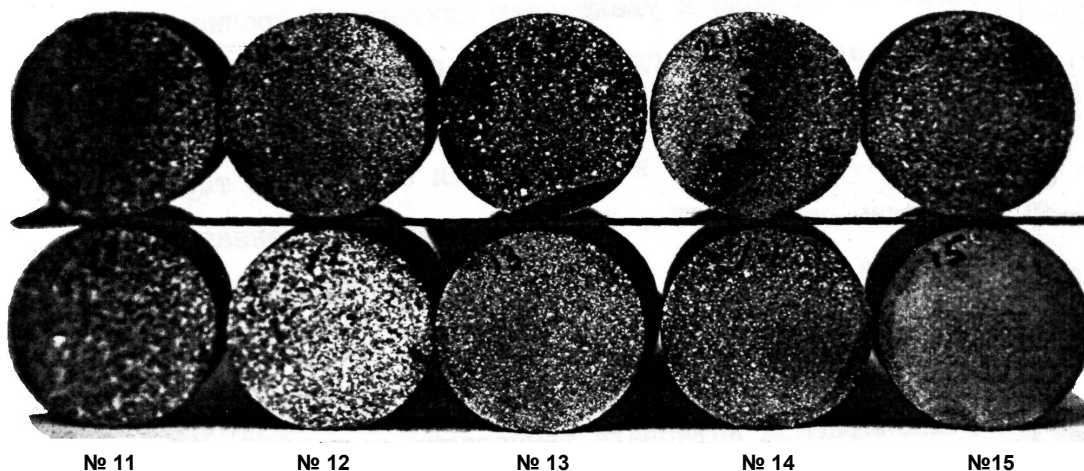
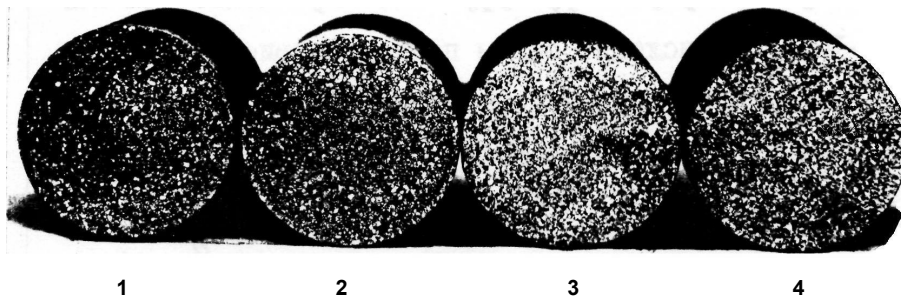


Рис. 2. Фотография, демонстрирующая влияние продолжительности выдержки при первой заковке на макроструктуру образцов сплава ХН51ВМТЮКФР. Нижний ряд – экспериментальные образцы (см. таблицу), верхний – контрольные, прошедшие стандартную термообработку



**Рис. 3.** Макроструктура образцов сплава предварительно нагретых и выдержанных перед первой закалкой: 1 – при температуре 1060 °С в течение 4 часов; 2 – при температуре 1060 °С в течение 6 часов; 3 – при температуре 1070 °С в течение 4 часов; 4 – при температуре 1070 °С в течение 6 часов

ственно неоднородна (рис. 2) и разброс значений длительной прочности образцов очень велик.

Для определения влияния предварительного нагрева на длительную прочность металла образцы сплава ХН51ВМТЮКФР выдерживались при температурах 1030, 1050, 1060, 1070, 1080 и 1090 °С в течение 1–6 часов, после чего следовала стандартная термообработка.

Исследование полученных таким образом образцов металла показало, что при температурах 1060–1070 °С и выдержке 4 часа и выше происходит значительное улучшение макроструктуры – резко уменьшается разнородность металла (рис. 3).

Следствием предварительного нагрева стала и стабилизация длительной прочности. Для восьми испытанных образцов величина этого параметра составила от 53 до 62 часов (в среднем 56,13 часа, что несколько меньше, чем у образцов, обработанных без предварительного нагрева). Результаты рентгенографического исследования сплава, под-

вергнутого нагреву до температур 1060–1070 °С с последующей выдержкой в течение 4 часов, подтвердили существенное изменение кристаллической структуры металла. Необходимо отметить, что другие, важные с точки зрения эксплуатации, характеристики сплава после проведенной обработки остаются в пределах нормы.

#### **Выводы**

1. Представлены данные, указывающие на то, что величина длительной прочности образцов сплава ХН51ВМТЮКФР может быть несколько повышена за счет увеличения температуры нагрева до 1230 °С при первой закалке.

2. Показано, что длительную прочность сплава ХН51ВМТЮКФР можно стабилизировать нагревом и выдержкой металла при 1060–1070 °С перед проведением стандартной термообработки.

**Обобщение и анализ результатов работы осуществлены в рамках проекта, поддержанного РФФИ, грант № 11-08-12046-офи-м-2011.**

*Поступила в редакцию 30 августа 2012 г.*