

УДК 629.039.58

## ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАК МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА ПАРОПРОВОДОВ ТЭС

Каранкевич В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Тарасевич Л.А.

Известно, что в настоящее время в отрасли назревает критическая ситуация в связи с лавинным нарастанием количества энергоустановок, выработавших свой ресурс. Расчетный ресурс паропроводов электростанций, заложенный при их проектировании, практически полностью исчерпан.

В виду того, что в ближайшие годы физически невозможно осуществить техническое перевооружение отрасли, было предложено решение восстановительная термическая обработка (ВТО) основных элементов теплотехнического оборудования. Наиболее полно разработаны и внедрены на электростанциях методы ВТО паропроводов.

Разработка методов ВТО базировалась на комплексных расчетно-экспериментальных работах, выполненных целым рядом специализированных организаций (ВТИ, Фирма "ОРГРЭС" и др.). Важным разделом в этой работе было изучение взаимосвязи между процессом ползучести металла паропроводных труб и накоплением в нем микроповрежденности. Эта взаимосвязь представлена на рисунке 1.

На рисунке хорошо видно, что интенсивность накопления микроповрежденности нарастает по мере приближения к третьей стадии ползучести.

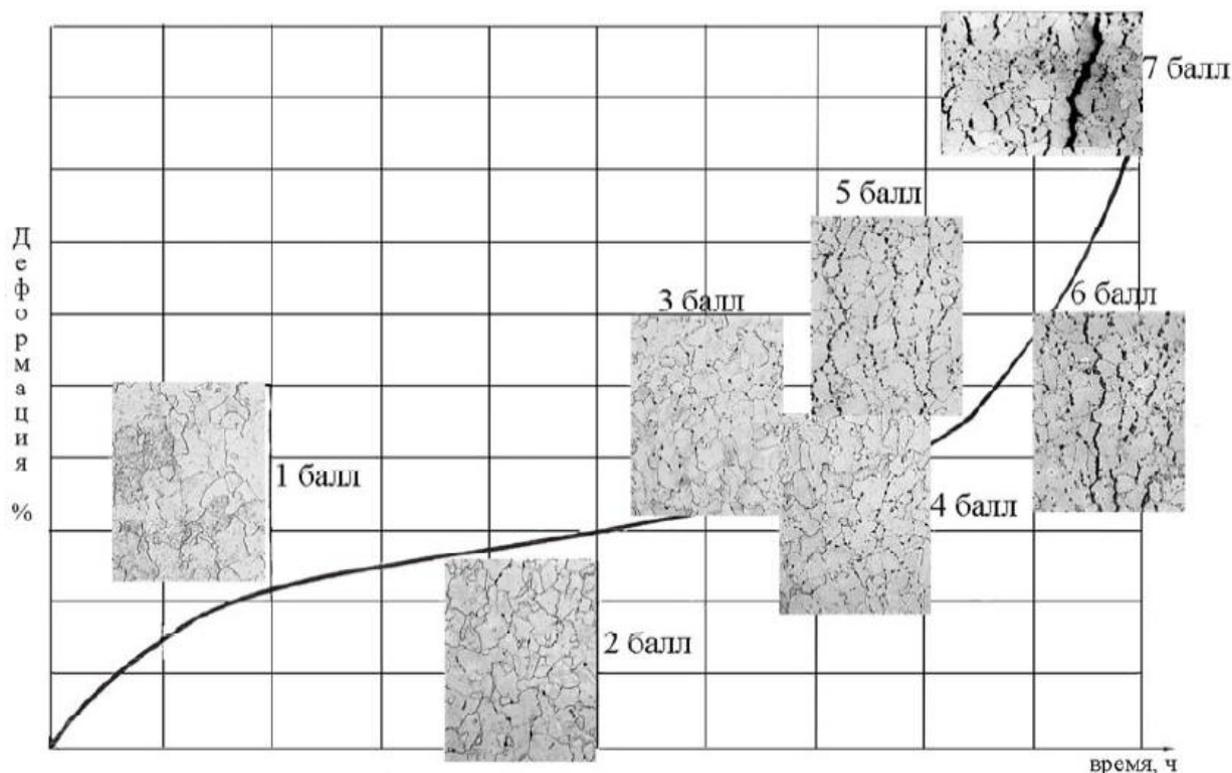


Рисунок 1. Характер накопления поврежденности по мере истощения ресурса эксплуатации

Для идентификации процесса развития микроповреждения структуры металла паропроводных труб в процессе ползучести в условиях длительной эксплуатации была разработана оценочная шкала. На рисунке 2 показана взаимосвязь между выявленной микроповрежденностью, оцененной по баллам упомянутой шкалы, и временем до разрушения металла.

В результате многочисленных исследований было установлено, что для восстановления прочностных свойств металла, отработавшего длительное время в условиях ползучести,

необходимо восстановить исходное состояние микроструктуры и снизить уровень поврежденности металла порами.

Поры в процессе восстановительной термической обработки могут залечиваться спеканием, выпадением вторичных и третичных фаз на свободной поверхности из-за уменьшения растворимости, а также при миграции границ зерен в процессе фазовой перекристаллизации. Ведущим принято считать процесс спекания.

При восстановительной термической обработке необходимо осуществить не только "залечивание" микропор, но и восстановление микроструктуры. При ВТО происходит растворение, а затем вторичное выделение дисперсных упрочняющих фаз и обогащение легирующими элементами твердого раствора. Эффект восстановительной термической обработки в значительной мере зависит от того, на какой стадии осуществлялось восстановление, т.е. насколько велик уровень микроповрежденности металла, при котором проводилась обработка.

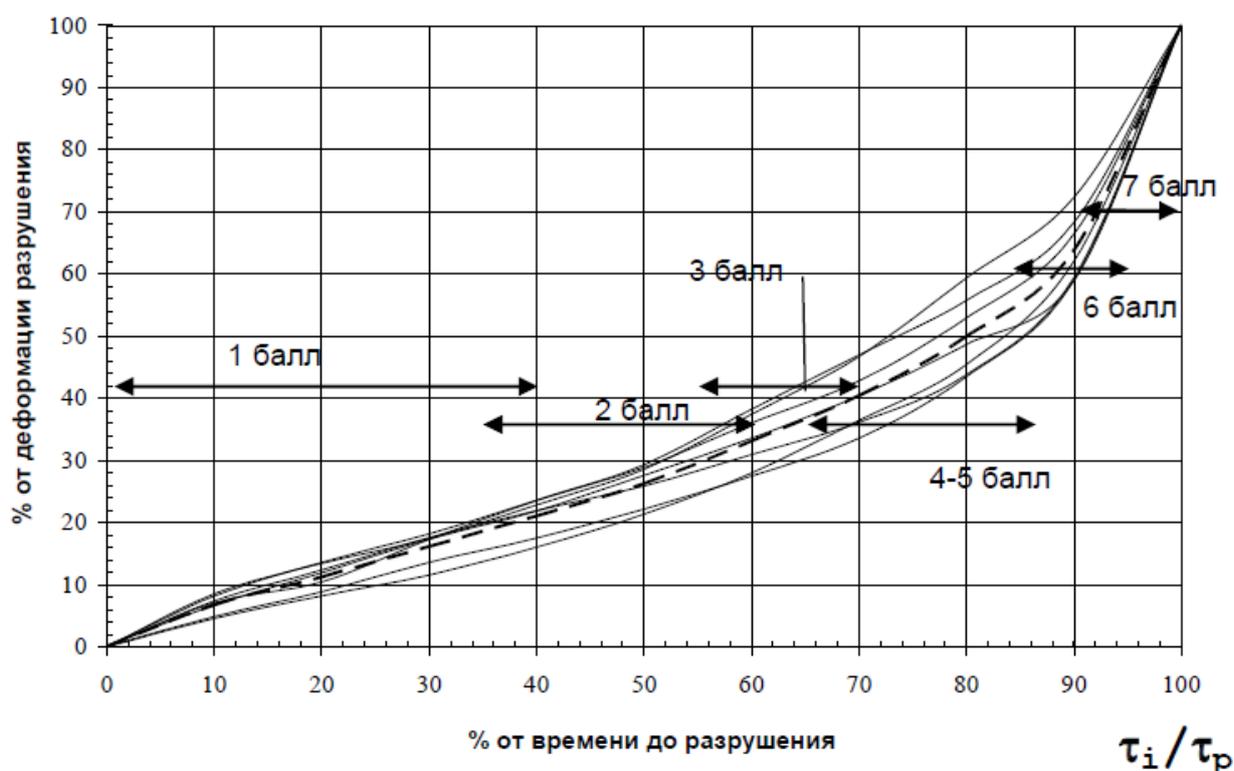
$$\varepsilon_i / \varepsilon_p$$


Рисунок 2. Обобщённая кривая ползучести стали 12X1MФ после длительной эксплуатации

Исследование влияния различных режимов термической обработки на свойства перлитных марок сталей, применяемых в теплоэнергетике, показало, что режимы ВТО, идентичные режиму исходной термической обработки, позволяют восстановить структуру, механические свойства и повысить жаропрочность. Изучение кинетики уменьшения количества микропор ползучести в стали 12X1MФ показало, что наиболее полное "залечивание" происходит при температуре 1050 °С. Дальнейшее повышение температуры нагрева при нормализации ограничивается сильным ростом зерна, что в свою очередь ведет к снижению жаропрочности. Чтобы этого избежать при высокой степени микроповрежденности было предложено проводить двойную нормализацию: одну при температуре 1050–1100 °С для заравнивания микропор и гомогенизации аустенита, вторую при 910–950 °С для уменьшения размера зерна. Это предложение и было положено в основу при разработке практической технологии проведения восстановительной термической обработки перлитных марок сталей, применяемых для изготовления паропроводов, работающих в условиях ползучести.

В таблице 1 приводятся результаты механических кратковременных испытаний двух труб из стали 12Х1МФ после эксплуатации и проведения ВТО, а также дополнительной эксплуатации после ВТО. Испытывался металл как прямых участков, так и растянутых частейгиба при комнатной и при рабочей (560°С) температурах.

Таблица 1 – Влияние термообработки на механические свойства при комнатной и рабочей температурах металла гибов и прямых участков труб из стали 12Х1МФ

Металл	Температура испытания, °С	Механические свойства				Состояние металла
		$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{02}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	
Прямого участка	20	43,8	23,3	28,3	69,9	После эксплуатации
		55,0	47,9	21,1	64,5	После термообработки
Ггиба	560	52,3	31,8	22,2	66,0	После ВТО и эксплуатации
		24,0	16,7	35,7	69,2	После эксплуатации
Ггиба	20	40,0	35,6	19,4	71,0	После термообработки
		38,4	30,7	28,2	76,3	После ВТО и эксплуатации
Ггиба	560	45,0	29,9	27,6	59,3	После эксплуатации
		59,3	46,1	22,3	65,2	После термообработки
Ггиба	20	54,0	32,3	27,8	69,7	После ВТО и эксплуатации
		24,8	21,4	29,7	58,9	После эксплуатации
Ггиба	560	39,7	33,0	18,0	52,5	После термообработки
		29,5	22,3	25,3	80,8	После ВТО и эксплуатации
Прямого участка	20	47,0	25,7	26,8	76,0	После эксплуатации
		61,7	37,7	28,5	75,4	После термообработки
Ггиба	560	43,9	23,8	27,0	74,4	После ВТО и эксплуатации
		24,7	16,7	38,2	81,6	После эксплуатации
Ггиба	20	32,0	22,0	32,9	84,1	После термообработки
		38,7	22,8	33,9	73,8	После ВТО и эксплуатации
Ггиба	560	47,5	27,1	29,8	75,3	После эксплуатации
		51,9	38,7	27,7	75,1	После термообработки
Ггиба	20	49,6	30,9	27,2	72,7	После ВТО и эксплуатации
		24,3	17,3	35,8	79,6	После эксплуатации
Ггиба	560	34,0	24,6	29,7	83,5	После термообработки
		32,3	26,6	24,1	68,1	После ВТО и эксплуатации
<b>ТУ 14-ЗР-55-2001</b>	<b>20</b>	<b>45-65</b>	<b>28</b>	<b>19</b>	<b>50</b>	<b>Состояние поставки</b>

Как видно из представленных данных, в результате восстановительной термообработки прочностные свойства при комнатной температуре по сравнению с таковыми в состоянии поставки повышаются. В процессе эксплуатации после ВТО происходит некоторое снижение механических свойств металла, но скорость протекания этих процессов ниже, чем у вновь поставленного металла.

Временное сопротивление разрыву  $\sigma_b$  при рабочей температуре после восстановительной термической обработки заметно возрастает за счет насыщения твердого раствора легирующими элементами и в ряде случаев превышает значения, характерные для металла в исходном состоянии. Предел текучести  $\sigma_{02}$  при рабочей температуре после восстановительной термической обработки имеет выраженную тенденцию к повышению.

Пластические свойства при рабочей температуре в результате проведения восстановительной термической обработки несколько снижаются, оставаясь на достаточно высоком уровне.

Испытания на длительную прочность металла элементов паропроводов из сталей 12Х1МФ и 15Х1М1Ф после длительной эксплуатации и после ВТО показали, что жаропрочность восстанавливается полностью, а в некоторых случаях даже превышает исходный уровень (рисунок 3).

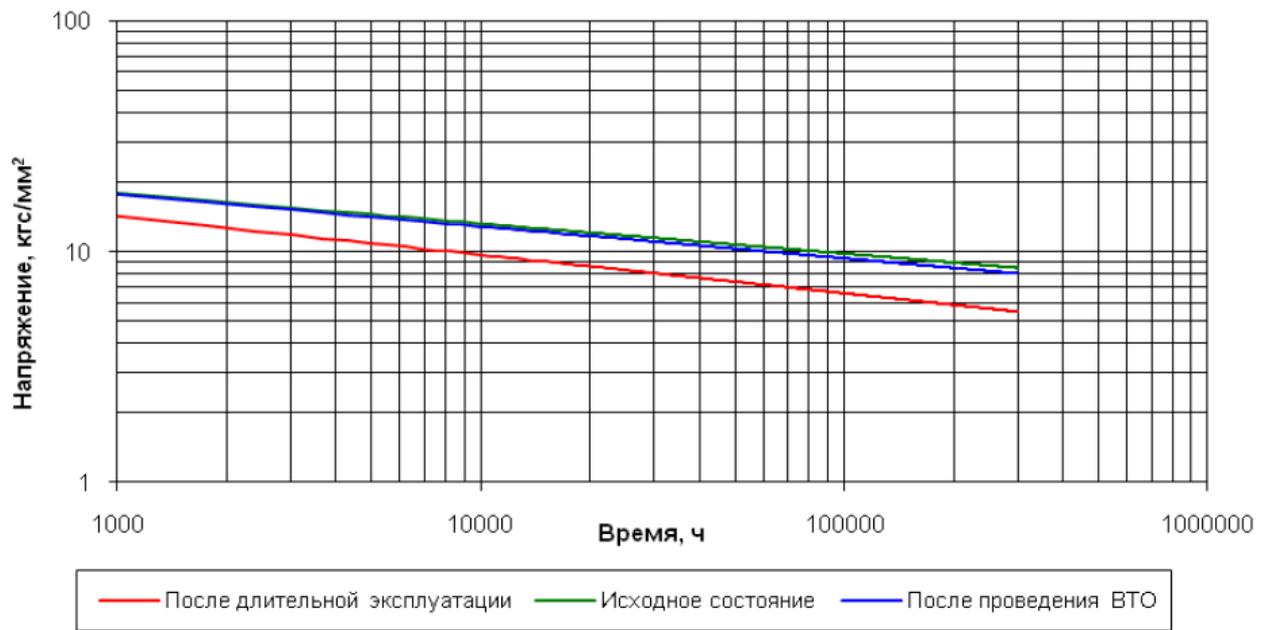


Рисунок 3. Жаропрочные свойства стали 12Х1МФ при 550°C

По результатам комплексных расчетно-экспериментальных исследований установлено, что режимы ВТО могут быть различными в зависимости от состояния металла, марки стали, типоразмера труб, степени микрповрежденности и конструкции элемента паропровода, который подвергается ВТО. Корректировка режима термической обработки позволяет получить полное восстановление микроструктуры и свойств металла до требований, которые предъявляются к нему в состоянии поставки.

Реальная практическая наработка восстановленных паропроводов на ряде электростанций без каких-либо претензий к качеству металла на сегодня превышает 15 лет.