

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Поповой Ирины Павловны

«Исследование сопротивления разрушению сплава базовой композиции 45X25H35C2Б и разработка методов оценки работоспособности реакционных змеевиков высокотемпературных установок пиролиза», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (машиностроение)

Надежность работы высокотемпературных установок пиролиза определяется ресурсом змеевиковых систем, эксплуатация которых производится в условиях высоких температур (900-1070°C), внутреннего давления (до 0,7 МПа), периодического разогрева и охлаждения змеевиков.

В ЦНИИ КМ «Прометей» разработаны и запатентованы жаропрочные сплавы марок 45X26H33C2Б2 и 45X26H33B5C2Б, обеспечивающие при эксплуатации длительную прочность труб до 10^5 часов (≈ 15 лет). В то же время довольно часто уже через 4-30 тыс. часов работы трубы выбраковываются из-за недопустимого формоизменения; при этом служебные свойства материала практически не ухудшаются, а науглероживание и повреждения приповерхностных слоев незначительные.

Для адекватной оценки долговечности труб необходимо оценивать состояние материала с учетом роста трещины до некоторой предельно допустимой величины.

Таким образом, цели диссертационной работы: установление наиболее вероятных причин преждевременного выхода из строя труб змеевиков установок пиролиза; расчетно-экспериментальное исследование сопротивления разрушению сплава базовой композиции 45X25H35C2Б при температурах 900-1000°C; разработка метода оценки ресурса реакционных труб с учетом особенностей эксплуатации – являются актуальными, обладают научной новизной и практической значимостью.

В процессе выполнения работы, судя по автореферату, решены следующие задачи:

- сформулированы критерии оценки предельных состояний реакционных труб в соответствии с основными механизмами их повреждения;
- выполнены расчетно-экспериментальные исследования свойств по сопротивлению разрушению основного металла и металла шва при температурах 900-1000°C;
- проведены численные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) реакционной трубы для различных режимов эксплуатации;
- разработана методология оценки предельных состояний реакционных змеевиков.

Результаты работы использованы при разработке технических условий «Змеевики радиантные двухкамерной печи пиролиза этановой фракции производительностью 32 т/ч по сырью установки ЭП-300 завода «Мономер» ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», на основании которых в НПЭК ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» спроектированы и изготовлены реакционные трубы и комплекты змеевиков для первой отечественной двухкамерной печи пиролиза. На основании выполненных работ и полученных результатов изготовлены секции радиантных змеевиков, а также змеевики в сборе для ОАО «Сибур-Нефтехим» и ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», согласованные с Ростехнадзором.

Достоверность расчетных результатов, полученных с помощью программного модуля MSC.Marc, подтверждается сравнением с тестовыми расчетами. Кроме того, автором проведена верификация корректности определения S^* - интеграла в экспериментах в соответствии с методиками, представленными в стандартах RCC-MR и ASTM E 1457-02.

Достоверность допущений, сделанных в разработанной модели, подтверждается экспериментальными исследованиями физико-механических свойств и микроструктуры металла центробежно-литых труб, отработавших в составе реакционного змеевика установки производства этилена ЭП-300.

Судя по автореферату, основные результаты работы были доложены на конференциях:

- XI международная конференция «Проблемы материаловедения при проектировании, изготовлении и эксплуатации оборудования АЭС» (г. Пушкин, 2010);

- 6-я российская конференция «Методы и программное обеспечение расчетов на прочность» (с. Дивноморское, 2010);
 - 7-й межотраслевой семинар «Прочность и надежность оборудования» (г. Звенигород, 2011)
 - XII международная конференция «Проблемы материаловедения при проектировании, изготовлении и эксплуатации оборудования АЭС» (г. Пушкин, 2012);
- а также на семинарах в ЦНИИ КМ «Прометей» и на секциях НПЭК Научно-технического совета ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»,
- и опубликованы в 8-ми научных статьях в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК.

Таким образом, автором в процессе выполнения работы:

- разработана методика оценки ресурса реакционных змеевиков установок пиролиза на основе анализа возможных механизмов повреждения и предельных состояний реакционных труб по критериям длительной прочности, деформационной способности и циклической прочности;
- определены основные характеристики для расчета прочности и долговечности реакционных труб при рабочих температурах в диапазоне 900-1100°C;
- установлены закономерности повышения температуры трубы за счет закоксованности в течение рабочего пробега. Предложена методология расчета НДС с учетом роста слоя кокса;
- определены условия, при которых необходимо учитывать термические напряжения для оценки НДС и прочности реакционных труб:
- разработана методика определения скорости роста трещины применительно к трубным элементам змеевиков в условиях ползучести на основе C^* -интеграла. Получена зависимость $\frac{da}{dt}(C^*)$ для сплава 45X26H33C2B2 и металла шва Св-40X26H32C2Б при температурах 900 и 1000°C;
- проведено сопоставление экспериментальных и расчетных зависимостей и показано, что для расчета скорости роста трещины может быть использован инженерный метод, основанный на концепции референсных напряжений на основе C_s^* -параметра. При расчете C_s^* -параметра для получения наиболее адекватных прогнозов по скорости роста трещины необходимо учитывать вклад неуставившейся стадии ползучести;
- разработана методика оценки допускаемых размеров трещиноподобного дефекта в материале реакционной трубы, а также времени безопасной эксплуатации трубы с трещиной при стационарном режиме пиролиза;
- показано, что нормативный расчет на прочность, не учитывающий специфические условия работы печей пиролиза, может привести к неконсервативной оценке ресурса реакционных труб;
- рекомендации по оптимизации режимов эксплуатации литых изделий, разработанные в рамках диссертации, используются в ООО «СИБУР-Кстово», что подтверждено Актом использования результатов диссертационной работы.

По материалу работ, изложенному в автореферате, следует сделать следующие замечания:

1. Определение ресурса в часах, на наш взгляд, требует пояснения, т.к. для механизмов ползучести и усталости измерение реальных (физических) наработок до наступления предельного состояния различно;
2. В автореферате не освещены достаточно сложные законы суммирования повреждений в результате процессов ползучести и усталости.
3. На стр. 11 автореферата в качестве критерия длительной прочности на стадии зарождения трещины предлагается величина

$\sigma = (\sigma_{10^5}^T)_{\min}$ или $\sigma = (\sigma_{10^5}^T)/1,5$. Из автореферата не ясно, как эту величину использовать для многоосного напряженного состояния.

Судя по автореферату считаем, что рассматриваемая работа удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Попова Ирина Павловна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (машиностроение).

Научный консультант отдела прочности,
доктор физико-математических наук, профессор

Ю.Г. Коротких

Инженер-конструктор отдела прочности,
кандидат технических наук

В.А. Пахомов

Подписи Ю.Г. Коротких, В.А. Пахомова заверяю.

Главный ученый секретарь
АО «ОКБМ Африкантов»,
доктор естественных наук



А.В. Беспалов