



Концепция технической диагностики



Анатолий ДУБОВ,
генеральный директор ООО «Энергодиагностика»,
профессор, д.т.н. (Москва)

До недавнего времени главными задачами диагностики были выявление несплошностей-дефектов и оценка их параметров с целью определения степени опасности для объекта. На основе использования современной компьютерной техники мы можем знать о дефекте практически все. Достоверность результатов дефектоскопии за последние 15–20 лет значительно возросла и в ряде случаев при использовании комплексных методов достигает высокого уровня. Но в главном вопросе – оценке эксплуатационной надежности изделий или объектов – она остается практически на прежнем уровне, что уже не соответствует требованиям безопасности.

Причина в том, что дефектоскопия выявляет уже возникшие дефекты материала. Но несплошности, размеры которых превышают некоторую заданную величину, – это конечная стадия деградации материала, и часто время, оставшееся до разрушения конструкции, оказывается слишком малым для предотвращения катастрофы, так как «подрастание» несплошностей деградирующего материала в условиях эксплуатации слабо изучено и зачастую развивается лавинообразно. А если взять усталостные разрушения, то и вовсе нельзя говорить о наличии дефектов в общепринятом смысле.

Поэтому в настоящее время острее актуальность приобретают методы определения и продления безопасного ресурса элементов и конструкций объектов ответственного назначения с учетом реальных условий эксплуатации, часто приводящих к непредсказуемым изменениям свойств материала. Особую опасность представляют объекты, у которых приближился, а в ряде случаев уже наступил срок предполагаемого физического износа оборудования. Таких объектов уже более 60 %, и их количество, к сожалению, быстро растет во всех отраслях промышленности России.

Таким образом, в настоящее время перед специалистами по технической диагностике состояния технических устройств стоит три типа задач:

- обнаружение и определение параметров дефектов;

- определение полей распределения внутренних (остаточных) напряжений и их количественных характеристик;

- определение фактических механических характеристик материала.

При этом необходимо диагностировать 100% материала конструкций, что требует гораздо больших затрат времени и материально-финансовых средств. Однако снижение объемов диагностики, равно как и отсутствие любого из перечисленных видов информации существенно снижает эффективность результатов дорогостоящего обследования ответственных конструкций. Возникает дилемма между двумя вопросами: полнообъемная диагностика или реальная угроза аварии, возможно, с катастрофическими последствиями?

Очевидно, что для решения проблемы требуется разработка общей концепции диагностики – научно обоснованной методологии получения необходимой и достаточной для прогнозирования ресурса сложных объектов информации о состоянии материала конструкций путем оптимального сочетания и последовательно применения различных физических

методов диагностики на основе их взаимодополняющей совместимости.

В настоящее время широко применяется дефектоскопия с поиском недопустимых дефектов, при этом научно обоснованных норм по размерам допустимых дефектов с точки зрения механики разрушения, как правило, нет. Самое главное – распределение рабочих и остаточных напряжений, определяющих надежность технических устройств, и их локализация – до сих пор в широкой практике не контролируется. Также не существует строго определенного порядка и последовательности комплексного применения различных методов и средств неразрушающего и разрушающего контроля для конкретного объекта контроля.

Порядок, объем и периодичность диагностики оборудования, как известно, определяются, с одной стороны, парковым или расчетным ресурсом, повреждаемостью и межремонтным периодом, а с другой – наличием средств и методов контроля и их возможностями.

Только в отдельных наиболее ответственных отраслях промышленности, например в атомной и тепловой энергетике, имеются специальные инструкции о порядке и периодичности контроля и продлении срока службы оборудования. Но даже там существует проблема определения предельного состояния металла и оценки индивидуального ресурса технических устройств.

Предлагаемые методики поверочного расчета на прочность можно условно разделить на четыре группы:

- методики расчета по скорости коррозии металла;

- методики расчета трещиностойкости металла;

- методики расчета на усталость металла;

Надежность и ресурс оборудования в основном определяют зоны концентрации напряжений, обусловленные комплексным действием технологических факторов, конструктивных особенностей узла и рабочими нагрузками



■ методики расчета узлов оборудования, работающего в условиях ползучести.

Все они предлагают низкий уровень допустимых напряжений $[\sigma]$, что является главной недоработкой известных методик. Как правило,

$$[\sigma] \leq \frac{\sigma_{0,2}}{2},$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести металла. Для ответственных конструкций имеется требование в расчетах об уровне $[\sigma] < 0,3 \sigma_{0,2}$.

Между тем практика показывает, что надежность и ресурс оборудования в основном определяют зоны концентрации напряжений (ЗКН), обусловленные комплексным действием технологических факторов, конструктивных особенностей узла и рабочими нагрузками. Уровень фактических напряжений в ЗКН может достигать не только предела текучести, но и разрушающего уровня. Расчетными методами невозможно заранее прогнозировать зоны возникновения площадок скопления дислокаций вследствие концентрации напряжений от рабочих нагрузок.

Кроме того, имеющиеся методики расчета на прочность, как правило, предполагают независимое протекание процессов коррозии, усталости и ползучести, хотя на практике они проходят одновременно и в различном сочетании.

Таким образом, в условиях эксплуатации технических устройств основными источниками повреждений металла являются ЗКН, в которых процессы коррозии, усталости и ползучести протекают наиболее интенсивно. Именно в ЗКН необходимо исследовать в первую очередь структурно-механические свойства металла.

Необходимость 100% обследования оборудования при оценке ресурса хотя и осознана, однако для реализации этой задачи требуются большие затраты времени и материально-финансовых средств. С использованием традиционных методов неразрушающего контроля (УК, рентгена, вихретока, МПД) нужного эффекта не добиться. Например, на современном паровом котле производительностью 1 000 т/час протяженность труб поверхностей нагрева составляет более 500 километров. Обстучать, зачистить и измерить методом УК такое количество труб практически невозможно, и эту работу ни одна электростанция не выполняет. Аналогичные проблемы имеют место при контроле газонефтепроводов, протяженность которых в России достигает сотни тысяч км, в нефтяной и химической отраслях промышленно-

Рис. 1. Структурная схема определения остаточного ресурса оборудования с использованием экспресс-методов



Имеющиеся методики расчета на прочность большей частью предполагают независимое протекание процессов коррозии, усталости и ползучести, хотя на практике они проходят одновременно и в различном сочетании

сти – при контроле большого парка сосудов и трубопроводов, и в других отраслях – при контроле стареющего оборудования и конструкций.

Следует отметить также непригодность традиционных методов НК к определению дефектов на раннем этапе их развития. Все большее количество специалистов начинает понимать, что более опасным во многих случаях, особенно на стареющем оборудовании, является «преддефектное» состояние металла, когда на уровне структуры произошли необратимые изменения, и повреждение из-за усталости может возникнуть внезапно и, как правило, в тех зонах, где оно не ожидается. Уровень чувствительности традиционных методов НК не позволяет выявить «преддефектное» состояние металла.

При оценке ресурса оборудования широко используются методы и средства НК структурно-механических свойств металла – измерение твердости, коэрцитивной силы и других магнитных характеристик металла, взятие «реплик» с целью определения структурных изменений и другие методы.

В настоящее время в России имеется около 20 стандартов неразрушающего и частично разрушающего методов отбора проб. Все они регламентируют механизм взятия проб, но не отвечают на вопрос: «Откуда брать пробу металла?» Поэтому при взятии проб на оборудовании после длительной эксплуатации с целью оценки деградации металла специалисты дают заключение о состоянии металла только в месте взятия пробы. Рас-



Наиболее опасным с точки зрения специалистов является «преддефектное» состояние металла, когда на уровне структуры произошли необратимые изменения, и повреждение из-за усталости может возникнуть внезапно и, как правило, в тех зонах, где оно не ожидается

пространить результаты этого заключения на весь металл объекта контроля и даже отдельного элемента не представляется возможным.

Ранее было отмечено, что основными источниками повреждений оборудования являются ЗКН, возникающие в зонах устойчивых полос скольжения дислокаций и обусловленные действием рабочих нагрузок. Вероятность попасть в эти зоны при отборе проб металла очень низкая. Очевидно, что такую задачу можно решить только при 100% обследовании металла всей поверхности объекта контроля высокочувствительными методами.

Пунктом 21.2 ФНП «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», введенных в действие в январе 2017 года, предписано, что при экспертизе ОПО нужно выполнять техническое диагностирование технических устройств (ТУ). Но определять оптимальное сочетание и последовательность применения различных методов для получения необходимой и достаточной информации о состоянии объекта контроля с учетом индивидуальных конструктивных особенностей различных ТУ и условий их эксплуатации эксперту приходится самостоятельно.

В этой связи необходимо отметить, что еще в 2008 году был опубликован и введен в действие ГОСТ Р 53006-2008 «Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования», разработанный специалистами ТК 132 Росстандарта. К экспресс-методам в данном стандарте отнесены метод акустической эмиссии, метод магнитной памяти металла (МПМ), тепловой контроль и визуально-измерительный контроль (ВИК). Указанные методы позволяют обеспечить 100% обследование и выявление ЗКН, определяющих надежность и остаточный ресурс оборудования и конструкций. Эти задачи обозначены и в национальном стандарте ГОСТ Р 52330-2005.

На рисунке 1 представлена структурная схема определения зон концентрации напряжений и остаточного ресурса оборудования с использованием экспресс-методов.

Выявленные в ЗКН недопустимые дефекты с использованием традиционных методов дефектоскопии (УК, РК, ВК и других), как правило, подлежат удалению. Поверочные расчеты на прочность с оценкой остаточного ресурса предлагается выполнять для ЗКН, остающихся в эксплуатации, с учетом фактиче-

ских структурно-механических свойств металла, выявленных при обследовании в этих зонах.

На основе комплексного диагностического обследования и расчетно-экспертной оценки, рекомендуемых ГОСТ Р 53006-2008, представляется возможным принять одно из решений по обеспечению надежности объекта контроля: ремонт, замена отдельных узлов, продление ресурса с назначенным сроком безопасной эксплуатации или вывод объекта из эксплуатации.

В заключение необходимо отметить следующее. Начиная с 2010 года в соответствии с решением Наблюдательного совета Единой системы оценки соответствия в области промышленной безопасности организована аттестация специалистов НК и экспертов по контролю напряженно-деформированного состояния ТУ. Введено в действие СДОС-05-2010 «Положение об аттестации персонала в области неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния технических устройств».

НОАП НК ООО «Энергодиагностика» имеет аккредитацию, соответствующую СДОС-05-2010, и проводит обучение специалистов контролю напряженно-деформированного состояния. Особое внимание уделяется методу МПМ, как наиболее эффективному методу неразрушающего контроля НДС протяженных и крупногабаритных объектов.

Учитывая все вышеизложенное, предлагается:

- разработать Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению технического диагностирования технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах»;

- подготовить типовую Программу по обучению специалистов в области технического диагностирования и провести аккредитацию НОАП с целью аттестации специалистов по заявкам экспертных организаций и диагностических фирм;

- определить критерии предельного состояния при контроле НДС;

- разработать типовую методологию по техническому диагностированию ТУ для всех классов опасности ОПО, при этом порядок, объем и периодичность технического диагностирования должны определяться индивидуально в соответствии со стандартами предприятий и руководств по безопасности, учетом конструктивных особенностей оборудования, условий эксплуатации и отраслевых задач по обеспечению надежности.