

УДК 624.014

МЕТОДОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ. ИНФОРМАЦИОННО-ОБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ, СУЩЕСТВУЮЩИЕ ЗАВИСИМОСТИ

Асп. *Хабалов Т. И.*, доц. *Авсарагов А. Б.*, соиск. *Барсегян Г. Р.*
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)

Приведены причины разрушения металлических конструкций. Проведен анализ существующих методов и средств неразрушающего контроля, диагностики и оценки напряженно-деформированного состояния металлических конструкций, выявлены причины их недостоверности. Теоретически обоснованы инновационные методологические подходы в области диагностики и средств контроля стальных конструкций. Предложен критерий предварительной оценки, позволяющий ранжировать стали по склонности к механо-коррозионным воздействиям без применения коррозионно-активной среды.

Проблема обеспечения надежной и безопасной работы металлических конструкций (МК) с каждым годом становится все более актуальной, так как их старение значительно опережает **темпы** технического перевооружения. Так, в 2000 году износ действующих в России фондов достиг 42,2 % при коэффициенте обновления 1,2 % по сравнению с 5,8 % в 1990 г. и 8,2 % в 1980 г., при этом до 60...80 % металлических конструкций выработали проектные сроки эксплуатации.

В реальных условиях эксплуатации металлические конструкции подвергаются воздействию не только статических, динамических, циклических нагрузок и низких **температур**, но и различных по степени агрессивности коррозионных сред, которые приводят к изменению геометрических характеристик конструкций и физико-механических свойств металла. Кроме того, в элементах и узлах конструкций всегда присутствуют дефекты, полученные при изготовлении, транспортировке, монтаже и эксплуатации, способствующие появлению локальных зон концентрации напряжений (КН), наиболее опасные из которых могут привести к разрушению конструкций.

Учесть все эти факторы расчетными методами не всегда представляется возможным, так как результаты оценки действующих внутренних напряжений в эксплуатирующихся конструкциях с помощью расчетов в ряде случаев значительно расходятся из-за неопределенностей в исходных данных, упрощения расчетной схемы конструкций, выбора методик расчета и изменяющихся условий эксплуатации.

При диагностике технического состояния металлических конструкций все большее внимание уделяется неразрушающим методам контроля, при этом одним из наиболее важных контролируемых параметров является величина внутренних напряжений, определение которой представляет собой достаточно сложную научно-техническую проблему. Поэтому разработке новых неразрушающих методов и методик определения внутренних напряжений в диагностических центрах мира уделяется большое внимание. Проблема определения внутренних напряжений осложняется при работе конструкции в сложном напряженном состоянии, неизвестных механической, химической и структурной предысториях металла, при наличии опасных зон концентрации напряжений.

Наиболее коварной причиной внезапных разрушений объектов являются внутренние остаточные механические напряжения, возникающие в детали, сварном соединении или конструкции в целом. Эти напряжения в сталях могут достигать предела текучести, а в алюминиевых и титановых сплавах 70-80% предела текучести и часто оказываются более опасными в отношении снижения прочности, чем некоторые типы дефектов.

Остаточными напряжениями принято называть такие напряжения, которые существуют и уравниваются внутри твердого тела, жесткого агрегата материалов, сборной или сварной конструкции после устранения причин, вызвавших их 4 Труды молодых ученых № 2, 2013 появление. Эти напряжения всегда внутренние, и их образование всегда связано с неоднородными линейными или объемными деформациями в смежных объемах материала, агрегата или конструкции.

Остаточные напряжения делят на три рода, классифицируя их по протяженности создаваемого ими силового поля:

первого рода – уравнивающиеся в макроскопических объемах (в пределах детали или конструкции);

второго рода – уравнивающиеся в микрообъемах (в пределах кристаллитов структуры металла);

третьего рода – уравнивающиеся в ультрамикроскопических объемах (в пределах кристаллической решетки)

Ранжируя известные методы диагностики состояния материалов по типу физических полей, получаем следующие виды:

- электрические;*
- магнитные;*
- электромагнитные;*
- тепловые;*
- механические.*

При этом такие известные и широко применяемые методы, как *оптические, радиоволновые, рентгеновские, акустические, голографические, капиллярные, методы электрического сопротивления, тензометрические, а также методы муара, сеток, фотоупругости и другие* не исчезли, они заняли свои места в этих пяти видах.

Наиболее распространенный на практике рентгеновский метод использует изменение спектра отраженных лучей, вызываемое изменением частоты колебаний узлов кристаллической решетки и изменением расстояний между узлами или кристаллографическими плоскостями. Информативными параметрами рентгеновского метода являются: интенсивность, положение и ширина дифракционных пиков спектра, определяемые деформацией кристаллической решетки.

К механическим методам диагностики свойств материала относятся различные разновидности статических и динамических методов измерения твердости и других механических характеристик материалов, использующих результаты контактного взаимодействия пробного тела – *индентора* и исследуемого материала. Это давно известно и совершенно очевидно.

Но отнесение акустических и, в том числе, ультразвуковых

методов к механическим видам выглядит, мягко говоря, несколько непривычным. Но, в сущности, это справедливо, ведь акустическое поле – это поле механических напряжений, создаваемое тем или иным способом в ограниченном объеме исследуемого материала и вызывающее колебательные или аperiodические смещения частиц материала, т.е. локальные деформации материала. По сути, этот ограниченный деформированный объем материала и является индентером, замечательная особенность которого состоит в том, что он может перемещаться внутри исследуемого материала. Причем размеры деформированной области определяются не параметрами кристаллической решетки (в случае металлов и других кристаллических или поликристаллических материалов) или размерами молекул (в случае аморфных материалов), а длиной волны возбужденного в материале поля и составляют от долей до десятков миллиметров.

Теперь, сравнивая два рассмотренных метода, можно понять, почему результаты измерения внутренних напряжений рентгеновским и акустическим методами просто обязаны быть разными, ведь в первом случае определяющим фактором является деформация на микроуровне, создающая напряжения III-го рода, а во втором – совокупность напряжений I-го и II-го родов. А все эти три рода напряжений, при всей неразрывности связи их между собой, имеют не только существенно разные величины, но разный характер и, часто, разные знаки. Более того, таритруя рентгеновский метод, реагирующий на микродеформации, определяющие напряжения III-го рода, на образцах по усилиям растяжения или сжатия, т.е. фактически по напряжениям I-го рода, допускают грубую принципиальную ошибку, о которой часто и не подозревают.

Исходя из сделанных выводов, в связи с недостаточной эффективностью известных методов неразрушающего контроля кафедрой строительных конструкций Северо-Кавказского горно-металлургического института СКГМИ (ГТУ) ведётся работа по улучшению состояния дел в области диагностики стальных материалов и конструкций.

Началом исследований явилось определение метода, снижающего погрешность результатов диагностики, т.е., позволяющего учитывать все 3 вида напряжений и не допускать вышеупомянутой ошибки. Оценочным параметром, в результате логических выводов, явился именно деформационный параметр.

В середине века в биологии был открыт генетический код, а в физике – открыт динамический хаос и осознана роль, которую играют неустойчивости в природе. Появилась потребность в описании всех явлений в природе с единой точки зрения, или, иными словами, в интеграции наук. Возникло новое научное направление – синергетика.

Руководствуясь понятиями синергетики, мы взглянули на определенную конструкцию и действующие на нее различного рода дестабилизирующие факторы (нагрузка, температура, давление и т.д.) как на «систему информационно-обменных процессов». Рассматривая саму конструкцию как «субъект» системы, факторы влияния – передаваемые субъекту «информацию», а изменение состояния конструкции как «стадию обработки» накапливаемой информации, определение деформационных величин производится механическим способом (датчиками перемещения), что исключает преобразование «первичного» – механического сигнала.

Динамика изменения состояния систем и материалов носит вынужденно-циклический характер в связи с их устойчивым “стремлением” к равновесию в условиях, действующих с определенной ритмичностью и интенсивностью различного рода дестабилизирующих факторов. Определяющей, а потому очень важной является зависимость характеристик цикла: равновесие ↔ неравновесие, или с позиций информационно-обменных процессов: набор информации ↔ обработка информации и уровня равновесности, а точнее состояния материалов. Другими словами можно утверждать, что по динамике изменения деформаций на разных стадиях цикла, есть возможность проведения диагностической оценки состояния материалов.

Стадии набора информации соответствует период изменения действующих напряжений (σ_i) в большую или меньшую сторону,

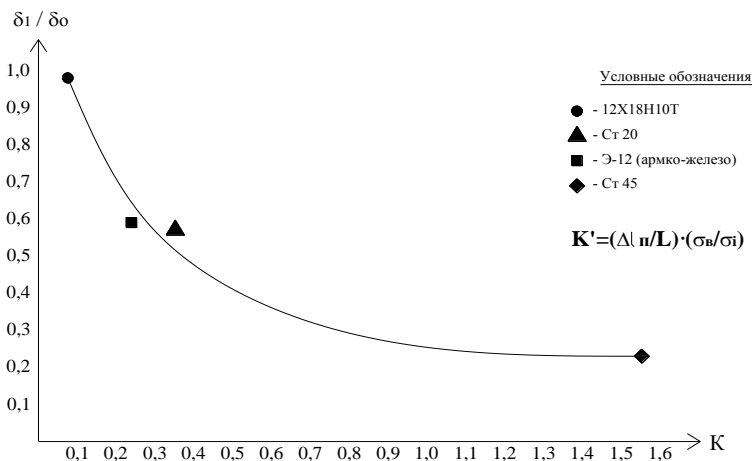
а стадии обработки – период, когда $\sigma_i = \text{const}$. При этом применительно к стальным материалам, исследованных нами, на стадии набора протекают как упругие, так и соответствующие пластические деформации, а на стадии обработки – исключительно пластические, известные как деформации последствий (т.н. явления ретардации). Особо следует выделить закономерность: чем выше уровень равновесности материала (лучше состояние), тем быстрее протекают стадии накопления и обработки информации (при определенных условиях, к примеру, когда скорость накопления равна скорости обработки – стадия обработки может отсутствовать вообще), а значит, в итоге суммарная величина деформаций на всех участках механического воздействия уменьшается. Надо учитывать, что абсолютная величина деформации содержит в себе интегральную информацию о сталях: их составе, способах изготовления и обработки, уровне и режиме воздействий: механических, температурных, механо-коррозионных и др.

В результате проведенного ряда экспериментов (несмотря на распространенное и признанное убеждение о невозможности определения склонности материала к коррозии вне активной среды) на созданной малогабаритной испытательной установке был выявлен и предложен критерий предварительной оценки K' , позволяющий ранжировать стали по склонности к механо-коррозионным воздействиям без применения коррозионно-активной среды. Данный критерий основан на экспериментально доказанной неразрывной зависимости между склонностью той или иной марки стали к коррозии и величиной прилагаемой нагрузки, необходимой для первого пластического сдвига.

Для подкрепления данных выводов были проведены специальные механо-коррозионные испытания образцов из тех же сталей в коррозионной среде: $3\% \text{NaCl} + 0,5\% \text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} + \text{CO}_2$ (барботаж), вызывающей общую коррозию. Оценку стойкости сталей вели по изменению пластических характеристик (δ) – отношению конечной величины относительного удлинения (δ_1) к величине исходной пластичности (δ_0)

$$\delta = \delta_1 / \delta_0.$$

В результате была подтверждена работоспособность критерия K' : динамика изменения K' закономерно увязывалась с изменением пластичности сталей.



Взаимосвязь между изменением пластичности различных марок сталей после коррозионных испытаний с параметром « K ».

Установлено существование устойчивых зависимостей деформационных параметров образцов сталей с их коррозионно-механической стойкостью. Деформация трактуется в работе как реакция объекта на разнообразные деструктивные воздействия (механические, температурные и др.), аккумулирующая, в том числе и информацию о его текущем состоянии, а следовательно, о параметрах сопротивляемости. При выбранных условиях экспериментально-теоретической регистрации и обработке данной информации предполагаются возможности диагностирования исследуемых систем, а также оценки их склонности к влиянию подобного вида повреждающих факторов.

Подобный, координально новый подход к вопросу диагностики, на наш взгляд, исключит проблемы достоверного измерения характеристик напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов, как следствие – позволит оценивать истинное состояние конструкции и прогнозировать ее остаточный ресурс в рабочих условиях.

Планируется дальнейшая разработка данных методов с более глубокими идеологическим, математическим и физическим обоснованиями, путем учета дополнительных информационных потоков и фиксации деформаций во времени.

Проведенные исследования являются своего рода базой для продолжения работы по поиску новых, еще более эффективных и надежных критериев как предварительной, так и текущей оценки с учетом влияния таких важных факторов, как предварительная обработка сталей, циклические условия нагружения, термомодеформационный цикл сварки и так далее, что в дальнейшем позволит расширить объём использования деформационных параметров в области диагностики стальных материалов и конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. М.: ОА «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ», 1997.
2. *Горицкий В.М.* Диагностика металлов. М.: Metallurgizdat, 2004.
3. *Олемской А.И.* Синергетика конденсированной среды, 2003.
4. *Авсарагов А.Б.* Диагностика стальных материалов и конструкций по деформационным параметрам. Владикавказ. 2010.
5. *Авсарагов А.Б., Танделов Л.Ч.* Циклодинамика деформационных явлений в сталях – параметрический ресурс диагностики. Владикавказ, 2008.