

Л.Б. Хайруллина

(Тюменский индустриальный университет; e-mail: hairullina.1964@mail.ru)

МЕТОД ОЦЕНКИ И ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Предлагается комбинированный метод оценки и диагностики оборудования нефтегазовых объектов – совмещения методов хрупких тензочувствительных покрытий и акустической эмиссии. Материал может быть полезен при решении проблем нефтегазовых объектов.

Ключевые слова: хрупкое тензочувствительное покрытие, деформация.

L.B. Khairullina

METHOD OF ESTIMATION AND DIAGNOSTICS OF OIL AND GAS OBJECTS EQUIPMENT

It is proposed a combined method of estimation and diagnostics of oil and gas objects equipment – combining the methods of brittle tenso-sensitive coatings and acoustic emission. The material can be helpful in solving the problems of oil and gas objects.

Key words: brittle tenso-sensitive coating, deformation.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 5 мая 2017 г.

Аварийные ситуации на нефтегазовых объектах многообразны и характеризуются большим числом влияющих на них факторов: конструкцией и назначением оборудования, свойствами нефтепродукта, климатом, размером повреждения, давлением и т. д. Отказы на промысловых аппаратах и сосудах наиболее опасные и трудно прогнозируемые.

Во второй половине XX века ситуация на объектах нефтегазового комплекса существенно изменилась: произошло резкое повышение общего уровня нагруженности; давление в сосудах и аппаратах возросло в 5-10 раз и более; снижены запасы статической прочности (по пределу прочности до 2,0-2,5, по пределу текучести до 1,1-1,8); расширилось применение высокопрочных сталей, обладающих незначительным упрочнением в упругопластической области (с отношением предела текучести к пределу прочности 0,7-0,9 и более); диапазон температур расширился – с критических (от -267 до 196 °С) до высоких (от +300 до 1500 °С). Условия внешних воздействий в нефтегазовом комплексе значительно изменились – оборудование стало эксплуатироваться в районах Сибири и Севера (с выраженными низкими климатическими температурами), в заболоченных зонах, в районах с высокой коррозионной агрессивностью, в зонах с повышенной и высокой сейсмической активностью (до 6-9 баллов и выше). Возросли риски природно-техногенных катастроф на нефтегазовых объектах, которые приводят к значительному загрязнению окружающей среды (почвы, воды, воздуха), растительного и животного мира [1].

Появилась необходимость разработки методов оценки и диагностики оборудования нефтегазовых объектов, с целью обеспечения промышленной и пожарной безопасности и жизнеобеспечения работников при нештатных ситуациях.

Выбор наиболее рационального экспериментального метода определения деформаций и напряжений или их сочетания зависит от условий проведения измерений. Экспериментатор выбирает метод исследования с учётом имеющихся возможностей, зная задачу и используя результаты теоретического анализа и расчёта.

Основной принцип диагностики включает:

- последовательные и систематические измерения определённых параметров;
- выявление изменений этих параметров и сравнение их с исходными данными.

В настоящей статье предлагается использовать комбинированный метод диагностики – путём совмещения методов хрупких тензочувствительных покрытий и акустической эмиссии [2].

Для определения картин трещин и иных дефектов в материале конструкции, влияющих на прочность, в машиностроении используют методы диагностики неразрушающего контроля по первичному информативному признаку.

Критерием прочности материала хрупкого покрытия является максимальное растягивающее напряжение, трещина в хрупком покрытии возникает тогда, когда максимальное напряжение в покрытии достигает критического значения [3].

При исследованиях по методу хрупких покрытий внешние нагрузки на покрытие не действуют. Поэтому при нагружении конструкции, в силу малости толщины покрытия, в самом покрытии и на исследуемой поверхности конструкции под покрытием возникает плоское напряжённое состояние. Из-за полной адгезии между тонким покрытием и конструкцией главные деформации в них одинаковы по величине и направлению. При упругом деформировании конструкции направления главных напряжений в конструкции и покрытии также будут одинаковыми [3].

В процессе формирования покрытия (перехода покрытия из жидкого состояния в твёрдое) в нём возникают начальные напряжения всестороннего растяжения. В некоторых случаях начальные растягивающие напряжения могут превысить предел прочности материала покрытия и привести к растрескиванию с образованием трещин, имеющих случайную ориентацию. Однако в большинстве случаев величина начальных напряжений недостаточна для образования трещин в покрытии.

При правильном проведении испытаний, охлаждение происходит очень медленно, так что значительная часть растягивающих напряжений релаксирует.

Критерий разрушения, выраженный через максимальные растягивающие напряжения, указывает на то, что разрушение происходит, когда наибольшее главное напряжение в покрытии равно или превышает предел прочности материала покрытия. В точке, где образовалась последняя трещина, сумма начальных напряжений и напряжений от внешней нагрузки равна пределу прочности.

На поверхность исследуемой конструкции наносят тонкий слой хрупкого покрытия, в котором при нагрузке получают такие же деформации, как в точках её поверхности. Когда относительное удлинение (или растягивающее напряжение) в какой-либо точке поверхности конструкции достигает определённой величины, то в связанной с ней точке покрытия возникает трещина, что рассматривается как тензочувствительность покрытия. Деформации и напряжения определяют по трещинам в тонком слое хрупкого материала, наносимого на поверхность изучаемых конструкций, так как при нагружении покрытие деформируется вместе с поверхностью, на которую оно нанесено [3].

При нагружении детали покрытие деформируется вместе с поверхностью, на которую оно нанесено. Когда напряжения в покрытии достигают предела прочности материала покрытия, в нём образуются трещины, перпендикулярные $\sigma_1^Д$ главным напряжениям, деформация $\varepsilon_1^П$ снижается, по сравнению с $\varepsilon_1^Д$, во всех точках покрытия, за исключением поверхности скрепления покрытия и детали (рис. 1).

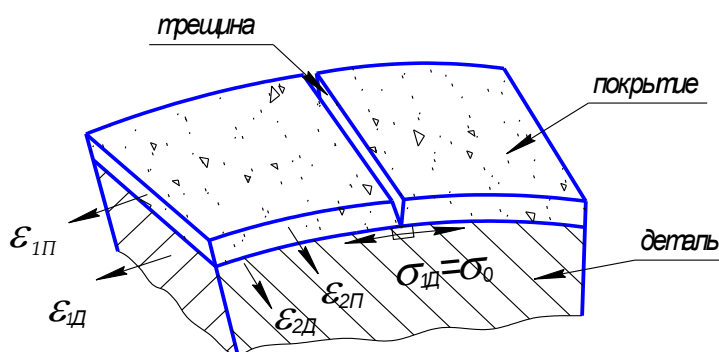


Рис. 1. Образование трещин в хрупком покрытии

Если главные направления деформации в покрытии совпадают с главными направлениями в детали, то трещины в покрытии дают траекторию главных напряжений и деформаций в детали. У конца трещины выполняется условие $\sigma_1^П = \sigma_в^П$ или $\varepsilon_1^П = \varepsilon_0$ (ε_0 – тензочувствительность покрытия по деформациям) [3].

При нагружении детали трещины образуются в зонах растягивающих напряжений. Для определения напряжений и деформаций в зонах сжатия покрытие наносят на нагруженную деталь и получают трещины при разгрузке детали.

Для определения величин напряжений деталь нагружают ступенями. На каждой ступени нагружения проводят линии через концы трещин – изоэнтанты (рис. 2) ("изоэнтанта" по-гречески означает "линия равного удлинения").

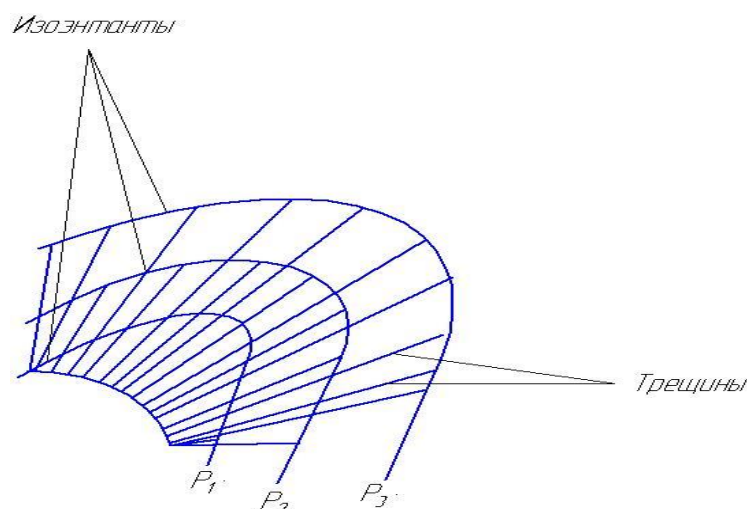


Рис. 2. Схема фиксации картин трещин и границ их распространения на этапах нагружения исследуемой конструкции:
 P_1, P_2, P_3 – максимальные нагрузки на этапах испытания конструкции

Напряжения в точках, расположенных на изоэнтантах при нагрузке P , вычисляются по формуле [3]

$$\sigma_{1i}^D = \varepsilon_0 E_D P / P_i = \sigma_0 / P_i, \quad (1)$$

где ε_0 – тензочувствительность хрупкого покрытия по напряжениям детали;
 P_i – нагрузка, при которой построена изоэнтанта с номером i .

Автором предлагается использовать новые составы хрупких тензочувствительных покрытий на основе искусственных смол [4, 5].

В ходе проведенных экспериментов в качестве основы покрытия используется резорциноформальдегидная смола, которая является продуктом поликонденсации резорцина с формальдегидом в среде этилового спирта, этиленгликоля и водного раствора щелочи.

Резорцин относится к классу соединений фенолов. Фенолоформальдегидные смолы не растворяются в маслах и алифатических углеводородах, что и даёт возможность использовать его в качестве основы покрытия. Взаимодействие фенолов с альдегидами представляет собой реакцию поликонденсации. Её ступенчатый характер позволяет выделить и изучить начальные относительно стабильные продукты [6].

В качестве пластификатора в покрытие вводится карбомидоформальдегидный концентрат, используемый для приготовления лаковых покрытий, представляющий собой водный раствор формальдегида и низкомолекулярных производных конденсации карбамида с формальдегидом. Пластификатор уменьшает межмолекулярное взаимодействие и повышает кинетическую гибкость цепи, что приводит к уменьшению времени структурной релаксации и сдвигу температуры стеклования в область меньших значений.

Кроме того, пластификатор увеличивает свободный объём, что тоже вносит определённый вклад в снижение температуры стеклования.

Карбамидоформальдегидный концентрат имеет аналогию с полимером, в нём происходит молекулярное диспергирование, то есть самопроизвольно образуется истинный раствор пластификатора в полимере. Вводимый в раствор пластификатор также влияет на скорость зародышеобразования роста кристаллов.

Отверждение (превращение жидкой смеси в хрупкое покрытие) происходит в результате химического взаимодействия функциональных групп олигомеров со специально добавляемыми реагентами: отвердителем жидким карбамидоформальдегидного концентрата, который является водным раствором формалина, этиленгликоля и карбоксиметилцеллюлозы.

Процесс отверждения (высыхания) играет важную роль в формировании покрытия. Отверждение происходит в результате химического взаимодействия функциональных групп олигомеров со специально добавляемыми реагентами – отвердителями. Отверждение (высыхание) происходит по механизму поликонденсации. Покрытие переходит в стеклообразное (твёрдое агрегатное) состояние, для которого характерны ближний порядок расположения макромолекул и сильно ограниченная сегментальная подвижность. Образующиеся сшитые (сетчатые) полимеры теряют способность к растворению, а также к необратимым пластическим деформациям. Их физико-механические характеристики повышаются по мере увеличения густоты сетки, снижается кинетическая подвижность отрезков сетки между узлами, повышаются твёрдость, температура размягчения, термостойкость. Таким образом, отвердитель способствует превращению жидкой смеси в лакокрасочное покрытие.

Для сшивания линейных и разветвлённых молекул используют уротропин (гексаметиленetetрамин).

Гексаметиленetetрамин применяется как ускоритель отвердевания. Получается при конденсации формальдегида с аммиаком.

Новое разработанное покрытие при высыхании даёт твёрдую, но хрупкую плёнку, хорошо противостоящую длительности воздействию углеводородов.

По степени упорядоченности элементов надмолекулярных структур полимер (покрытие) относится к группе аморфных.

Аморфные полимеры характеризуются ближним порядком лишь в расположении звеньев. Дальний порядок в расположении звеньев и цепей отсутствует [7].

Физические и химические свойства покрытия зависят от структуры полимера, включающей в себя структуру самой макромолекулы и надмолекулярных образований, возникающих в результате агрегации макромолекулы.

Возможность структурной модификации обусловлена тем, что надмолекулярная структура полимера является подвижной системой, в зависимости от условий одна форма может переходить в другую, то есть происходит направленное изменение свойств (физических и механических) за счёт преобразования надмолекулярной структуры под влиянием физических воздействий при сохранении химического строения макромолекулы.

Структурная модификация осуществляется изменением температурного временного режима структурообразования. Используется метод нормализации, который осуществляется при медленном охлаждении в воздушной среде. Он способствует снижению остаточных напряжений [6].

Автором исследованы возможности применения метода хрупких покрытий совместно с акустико-эмиссионным методом. Совместное использование методов даёт возможность:

- проведения ранней диагностики, повышения чувствительности покрытия, оперативной обработки данных, наблюдения за процессом трещинообразования в труднодоступных местах, проведения дистанционного контроля измеряемых параметров и длительного мониторинга за исследуемым объектом;

- позволяет регистрировать и проводить анализ акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и разрушения (роста трещин) контролируемых объектов;

- обеспечивает обнаружение и регистрацию развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности;

- обладает весьма высокой чувствительностью к растущим дефектам – позволяет выявить в рабочих условиях приращение трещины порядка долей мм (предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по теоретическим оценкам составляет порядка $1 \cdot 10^{-6}$ мм², что соответствует выявлению скачка трещины протяжённостью 1 мкм на величину 1 мкм);

- обеспечивает контроль всего объекта с использованием одного или нескольких преобразователей [8].

Таким образом, совмещение этих двух методов позволяет эффективно проводить диагностику повреждений конструкции. При росте трещины или любого дефекта, то есть при увеличении их размеров, выделяется энергия в виде волн напряжения или акустической эмиссии. Даже если дефект является микроскопическим, то под действием локального напряжения или деформации он генерирует волны напряжения.

Литература

1. Махутов Н.А., Пермяков В.Н. Механика деформирования и разрушения нефтегазохимических объектов: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. 190 с.
2. Пермяков В.Н., Махутов Н.А., Хайруллина Л.Б. Способ исследования деформаций и напряжений // Изобретения и полезные модели. 2009. № 3.
3. Пригоровский, Н.И., Панских, В.К. Метод хрупких тензочувствительных покрытий. М.: Наука, 1978. 183 с.
4. Хрупкое покрытие на основе искусственных смол: пат. 2313551 РФ / Пермяков В.Н., Махутов Н.А., Хайруллина Л.Б., Паршуков Н.Н. заявитель и патентообладатель ТюмГНГУ; заявл. 27.09.2006; опубл. 27.12.2007. Бюл. № 36.
5. Пермяков В.Н., Хайруллина Л.Б., Паршуков Н.Н. Хрупкое покрытие на основе резорциноформальдегидных смол: пат. 2417241 / заявитель и патентообладатель ТюмГНГУ; заявл. 16.01.2009; опубл. 27.04.2011. Бюл. № 3.
6. Пэйн Г.Ф. Технология органических покрытий. Л.: НТИ Химия, 1959. 290 с.
7. Технология пластических масс / Под ред. Коршака В.В. М.: Химия, 1985. 559 с.
8. Пермяков В.Н. Многоуровневая диагностика штатных и опасных состояний технических объектов: отчёт по проекту. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 160 с.

References

1. Mahutov N.A., Permjakov V.N. Mehanika deformirovanija i razrushenija neftegazohimicheskikh ob'ektov (Mechanics of deformation and destruction of petrochemical facilities): uchebnoe posobie. Tjumen': TjumGNGU, 2003. 190 p.
2. Permjakov V.N., Mahutov N.A., Hajrullina L.B. Sposob issledovanija deformacij i naprazhenij (Method of the study of deformation and strain) // Izobretenija i poleznye modeli. 2009. No 3.
3. Prigorovskij, N.I., Panskih, V.K. Metod hrupkih tenzochuvstvitel'nyh pokrytij (Method testcustomermap fragile coatings). M.: Nauka, 1978. 183 p.
4. Hrupkoe pokrytie na osnove iskusstvennyh smol (Brittle coating based on artificial resins): pat. 2313551 RF / Permjakov V.N., Mahutov N.A., Hajrullina L.B., Parshukov N.N. zajavitel' i patentoobladatel' TjuMGNGU; zajavl. 27.09.2006; opubl. 27.12.2007. Bjul. No 36.
5. Permjakov V.N., Hajrullina L.B., Parshukov N.N. Hrupkoe pokrytie na osnove rezorcinoformal'degidnyh smol (Brittle coating based on resorcine formaldehyde resins): pat. 2417241 / zajavitel' i patentoobladatel' TjumGNGU; zajavl. 16.01.2009; opubl. 27.04.2011. Bjul. No 3.
6. Pjejn G.F. Tehnologija organicheskikh pokrytij (Technology of organic coatings). L.: NTI Himija, 1959. 290 p.
7. Tehnologija plasticheskikh mass (Technology of plastics) / Pod red. Korshaka V.V. M.: Himija, 1985. 559 p.
8. Permjakov V.N. Mnogourovnevaja diagnostika shtatnyh i opasnyh sostojanij tehnicheskikh ob'ektov (Multilevel diagnostics for standard and hazardous states of technical objects): otchjot po proektu. Tjumen': TjumGNGU, 2011. 160 p.