

УДК 620.191.33

**ЭКОЛОГИЧНЫЕ ХРУПКИЕ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ**
ECOLOGICAL BRITTLE TENSOSENSITIVE COATINGS FOR DEFORMATION
AND STRESS RESEARCH

В. Н. Пермяков, А. Н. Махнёва

V. N. Permyakov, A. N. Makhneva

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Ключевые слова: диагностика; хрупкие тензочувствительные покрытия; трещины; тензочувствительность; тарировочные испытания

Key words: diagnostics; brittle tensosensitive coatings; cracks; tensosensitivity; calibration tests

Для обеспечения промышленной и экологической безопасности машин, агрегатов и аппаратов нефтегазохимической промышленности необходим анализ общего и локального напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых конструкций.

Одним из эффективных направлений решения поставленной проблемы является метод хрупких тензочувствительных покрытий [1].

Метод хорошо зарекомендовал себя при оценке состояния машин, агрегатов и конструкций, имеющих сложное пространственное расположение элементов, многообразие нагрузок и воздействий, большую неравномерность и неопределенность полей напряжений и деформаций на их поверхностях.

Диагностика методом хрупких покрытий заключается в том, что на исследуемую поверхность детали (или узла конструкции) наносят тонкий слой хрупкого покрытия, в котором при нагрузке детали возникают такие же деформации, как и в точках ее поверхности.

Метод хрупких покрытий возник на основе наблюдения за поведением окалины и пленок оксидов на поверхности металла при его ковке и прокатке. Эти естественные покрытия разрушаются путем отслаивания или растрескивания в результате появления больших пластических деформаций. Для улучшения контрастности картины трещин на исследуемую поверхность наносили специальные обмазки, создающие равномерный светлый фон [2].

Первые искусственные хрупкие покрытия применяли для определения зоны пластических деформаций в середине 20-х годов. Однако трещины в таком покрытии могли появиться только при значительных деформациях, соответствующих пластическому течению металла.

Дальнейшие разработки привели к созданию в начале 40-х годов покрытий, позволивших проводить изучение упругих деформаций с помощью неразрушающих методов контроля. В последнее время разработаны керамические хрупкие покрытия, предназначенные для испытаний различных объектов при повышенной температуре. Также известны канифольные, оксидные, стекломалевые и эпоксидные покрытия.

Несмотря на то, что каждое из перечисленных покрытий имеет свой диапазон применения, в связи с высокой токсичностью большинства покрытий существует необходимость разработки новых тензочувствительных покрытий на основе безопасных для человека и окружающей среды компонентов.

В ТюмГНГУ разработан состав хрупкого покрытия на основе карамели — хрупкое покрытие для исследования деформаций и напряжений, выполненное из смеси, содержащей воду и сахар. Технология приготовления покрытия очень проста, не требует высоких затрат. Приготовленная смесь используется сразу же, при помощи лакового нанесения.

В результате проведения ряда экспериментов, в ТюмГНГУ был получен состав нового «экологически чистого» хрупкого тензочувствительного покрытия на основе карамели.

Хрупкое покрытие содержит сахар и лимонную кислоту. Данный состав смешивается при температуре 20–25 °С и влажности до 40 %, в граммах. Последовательность приготовления покрытия: в термостойкий химический стакан отмеряется необходимое количество сахара на электронных весах. При перемешивании добавляют определенное количество лимонной кислоты. После чего данный состав нагревают до 100–120 °С до однородной консистенции.

После приготовления покрытие наносилось на алюминиевые образцы 150×20×0,5 мм.

Образцы подвергались предварительной обработке. Предварительная обработка поверхности представляет собой важный этап, предшествующий нанесению покрытия на поверхность.

Перед нанесением покрытия поверхность образца обезжиривалась ацетоном.

Покрытие наносилось при температуре окружающей среды 25 °С и относительной влажности воздуха 40 %. Приготовленная смесь использовалась сразу же при помощи лакового нанесения. Перед нанесением покрытия поверхность образца нагревалась до 140–150 °С при помощи газовой горелки.

После нагрева поверхности раствор покрытия наносился на образец и распределялся с помощью малярного валика. Для уменьшения разброса тензочувствительности необходимо наносить на деталь покрытие равномерной толщины. Следует избегать резкого изменения толщины покрытия на углах и краях деталей. Экспериментом было установлено, что для получения стабильной чувствительности наиболее оптимальная толщина покрытия — ≈ 0,3 мм.

Требуемая толщина слоя покрытия легко контролируется визуально по цвету покрытия. После нанесения покрытие должно быть прозрачным, одинаковой толщины. Цвет покрытия — золотисто-коричневый.

Время застывания покрытия зависит от соотношения сахара и лимонной кислоты в его составе. С уменьшением весового содержания лимонной кислоты в составе покрытия время застывания покрытия сокращается (рис. 1).

Наглядно видно, что время отверждения покрытия мало. Быстрое время отверждения покрытия на основе карамели является одним из его основных преимуществ над другими видами хрупких покрытий.

Большое значение при нанесении покрытия имеет адгезия. Новый состав на основе карамели обладает хорошими адгезионными свойствами. Однако состав с минимальным содержанием лимонной кислоты не дал положительного результата по прочности прилипания покрытия к поверхности. Установлена взаимосвязь между адгезионными свойствами покрытия и его составом: при уменьшении количества лимонной кислоты в составе покрытия адгезионные свойства снижаются.

Основной характеристикой в методе хрупких покрытий является тензочувствительность [1]. По общепринятому определению величиной тензочувствительности хрупкого покрытия является величина главной деформации растяжения на поверхности образца, детали или конструкции в условиях напряженного состояния, при которой в хрупком покрытии возникает первая трещина. Тензочувствительность ϵ^* хрупких покрытий определяют путем проведения тарировочных испытаний на изгиб консольной балки прямоугольного поперечного сечения.

Тензочувствительность определяется по формуле

$$\epsilon^* = 3 \cdot h \cdot f \cdot (l-a) / 2 \cdot l^3, \quad (1)$$

где a — расстояние от крайней трещины до заделки, l — длина, h — высота балки.

При проведении тарировочных испытаний в связи с неоднородностью покрытий происходит значительный разброс значений ϵ^* , поэтому для оценки точности и надежности данных необходимо проводить несколько испытаний.

После того как хрупкое покрытие готово к работе, объект подвергается нагружению. Предварительно измеряются длина и высота балки, причем значением высоты балки принято считать значение собственной высоты балки с учетом слоя покрытия.

В ходе эксперимента был произведен прогиб балки на 2, 4 и 6 мм.

Таким образом, количество испытаний на каждую величину прогиба балки составило 10. После каждого нагружения была произведена регистрация трещин (рис. 2), в ходе которой осуществлялся подсчет общего количества трещин. Затем измерялось расстояние от крайней трещины до заделки.

Трещины в хрупком покрытии имеют V-образную форму, глубина их равна толщине покрытия, а ширина — около 50 мкм. Чтобы лучше наблюдать трещины и особенно их границы, исследуемую поверхность освещают сфокусированным наклонным пучком света, направление которого перпендикулярно к трещинам.

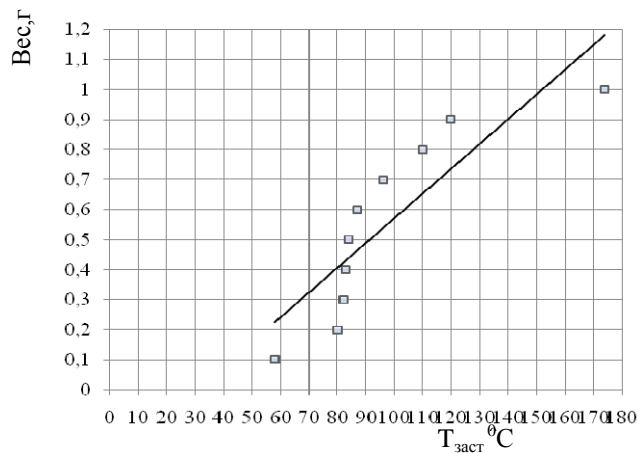


Рис. 1. График зависимости температуры застывания покрытия от весового содержания лимонной кислоты в его составе

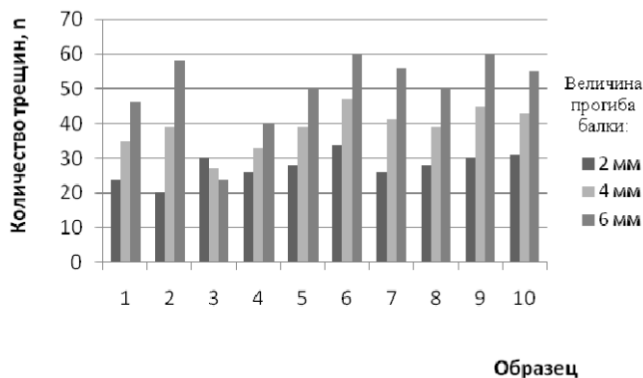


Рис. 2. График зависимости количества трещин от величины прогиба балки

После проведения эксперимента был осуществлен расчет тензочувствительности хрупкого покрытия по формуле (1). Диапазон тензочувствительности хрупкого покрытия на основе карамели составляет $(1\div 3) \cdot 10^{-4}$.

График зависимости величины тензочувствительности от величины прогиба балки представлен на рис. 3.

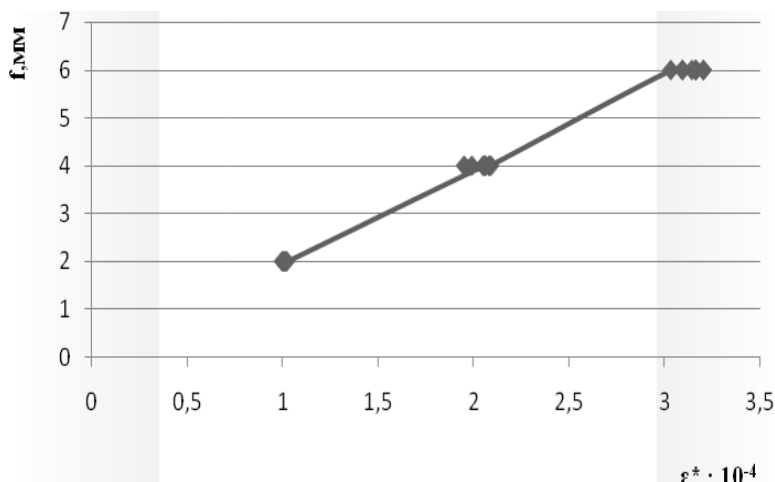


Рис. 3. График зависимости величины тензочувствительности от величины прогиба балки

С целью определения погрешности лабораторных измерений была сделана выборка получаемых числовых характеристик для трех результатов величины прогиба балки. Максимальная относительная погрешность результатов лабораторных расчетов тензочувствительности хрупкого покрытия составила 17 %.

Таким образом, в ходе проведения ряда экспериментальных исследований было установлено, что новое хрупкое покрытие на основе карамели обладает хорошими адгезионными свойствами, стабильной тензочувствительностью, имеет простую технологию приготовления и нанесения, а также является безопасным для человека и окружающей среды.

Список литературы

1. Махутов Н. А., Пермяков В.Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов. – Новосибирск: Наука, 2005. – 516 с.
2. Пермяков В. Н., Махутов Н. А., Хайруллина Л. Б. Анализ напряженно-деформированного состояния оборудования нефтегазохимических заводов и трубопроводного транспорта в условиях эксплуатации // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – № 2. – С. 69-74.

Сведения об авторах

Пермяков Владимир Николаевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел.: 8(3452)390343, e-mail: v.n.permyakov@mail.ru

Махнёва Арина Николаевна, аспирант, ассистент кафедры Техносферная безопасность, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)283023, e-mail: anfisa_goncharova5@mail.ru

Information about the authors

Permyakov V. N., Doctor of Engineering, professor, head of the chair «Technosphere safety», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452) 390343, e-mail: v.n.permyakov@mail.ru

Makhneva A. N., postgraduate, assistant lecturer of «Technospheric safety» department, Tyumen State oil and Gas University, phone 8(3452)283023, e-mail:arina_makhneva@mail.ru