

ИНДИКАТОРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Березкина Н.Г., Лейпунский И.О., Ларичев М.Н., Горбачев А.Н. (ИНЭПХФ РАН),
Шенталина Н.Г. (ОАО РГРЭС), Беляков А.В. (ОАО ВТИ),
Бакиров М.Б. (ООО ЦМуР), Lopez G.W. (Northeastern University, USA)

В ходе совместных с НПО «Молния» работ по созданию методов неразрушающего контроля конструкционных и теплозащитных элементов ВКС «Буран» в ИНЭПХФ РАН были разработаны новые методы проникающих веществ, не оставляющие следов дефектоскопических материалов на поверхности деталей после контроля. Отличительная черта этих методов – регистрация выходящих из дефектов диффузионных потоков индикаторного газа (аммиака или углекислого газа) специально разработанными индикаторными бумагами.

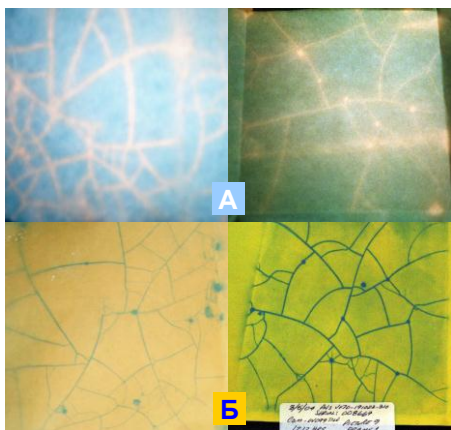


Рис. 1. Результаты контроля лицевой поверхности теплозащитных плиток при помощи углекислого газа (А) и аммиака (Б). Линии и точки – «портреты» трещин и пор в эрозионно-стойком покрытии.

Новые методы применялись для контроля сплошности эрозионно-стойких покрытий на плитках из высокопористого материала, используемых для теплозащиты ВКС «Буран» и «Шаттл» (рис. 1), контроля секций крыла и носка ВКС, в том числе, на стадии изготовления (рис. 2), для поиска локальных течей в уплотнениях створок отсека полезного груза ВКС, приборных отсеков, люков шасси, систем электропитания.

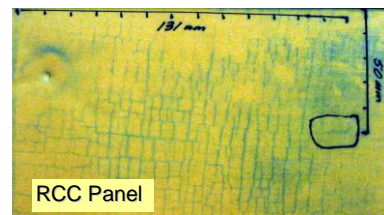


Рис. 2. Результат контроля поверхности детали из С-С материала при помощи аммиака.

По завершении программы «Буран» разработанные методы были усовершенствованы, и область их применения расширена. Наиболее перспективными оказались капиллярно-диффузионный и газо-адсорбционный индикаторный методы, в которых в качестве проникающего вещества используется жидкая или газообразная среда, содержащая аммиак.

Капиллярно-диффузионный метод (КДМ)

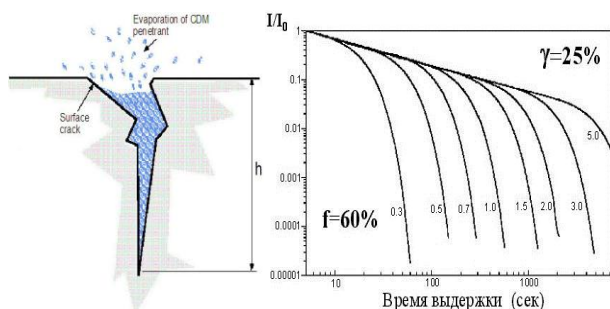


Рис. 3. КДМ: Временные зависимости потоков аммиака из дефектов разной глубины (h , мм) при испарении его из водно-спиртового раствора с содержанием спирта $\gamma=25\%$ при температуре $t=25^\circ\text{C}$ и влажности воздуха $f=60\%$.

подобен методам цветной дефектоскопии (ЦД), но пенетрантом в нем служат легко испаряемые растворы аммиака, а проявляющим покрытием – индикаторная бумага. После испарения жидкости с контролируемой поверхности дефекты работают как диффузионные источники. Кинетика испарения раствора аммиака из дефектов описывается системой одномерных уравнений переноса молекул аммиака и компонентов раствора в жидкости и газе, ее решение позволяет получить зависимости диффузионных потоков аммиака из дефектов разной глубины от времени выдержки на воздухе (рис.3).

Газо-адсорбционный индикаторный метод

(ГАИМ) подобен радиоизотопному газо-сорбционному методу, но рабочим газом в нем служит аммиак, а регистрирующим материалом – индикаторная бумага. Дефекты насыщаются аммиаком из газовой фазы, а при вынесении детали на воздух работают как диффузионные источники. Зависимости потока аммиака от времени из дефектов разной глубины получены при упрощающем условии, что дефекты заполнены сорбентом – состоящим из шариков пористым материалом с открытой пористостью вдоль оси дефекта (рис. 4).

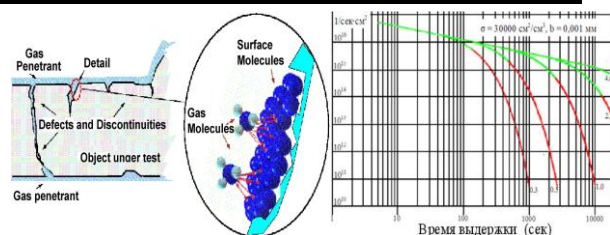


Рис.4. ГАИМ: Временные зависимости потоков молекул аммиака при десорбции его из трещин разной глубины с раскрытием b , содержащих пористые отложения с удельной поверхностью σ , при температуре $t=20^\circ\text{C}$

Формирование портретов дефектов на индикаторной бумаге происходит за счет диффузии аммиака в индикаторной бумаге, сопровождающейся изменением ее цвета при достижении

пороговой величины концентрации аммиака. Цветное пятно становится заметным в тот момент, когда его размер достигает разрешающей способности глаза: точки – 200 мкм, линии – 60 мкм.

КДМ и ГАИМ не уступают по чувствительности методам цветной и люминесцентной дефектоскопии. На рис. 5 приведены примеры выявления всех дефектов на эталонах: панели PSM-5 (MIL-STD-6866, США) для проверки чувствительности цветных и люминесцентных пенетрантов, и на эталоне для проверки уровня чувствительности ЦД Тушинского механического завода (Россия).

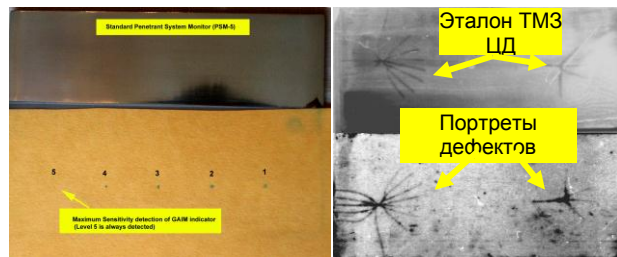


Рис. 5. Портреты дефектов на эталонах на индикаторных бумагах, полученные при помощи ГАИМ (слева) и КДМ

Индикаторные бумаги восстанавливают свои



Рис. 6. Портреты трещин на кромке лопатки авиационного двигателя, полученные через разные промежутки времени (ГАИМ)

свойства после контроля, что позволяет использовать их многократно. Контроль методами КДМ и ГАИМ можно повторять любое количество раз через разные промежутки времени после заполнения дефектов (рис. 6). Пока в дефектах остается аммиак, на индикаторной бумаге будут появляться их портреты. Из мелких дефектов аммиак выходит раньше, чем из глубоких, что позволяет различать дефекты по глубине по изменению картины регистрации их портретов.

Применение усовершенствованных методов КДМ и ГАИМ для контроля металлических деталей показано на примере контроля лопатки авиационного двигателя (рис. 6) и компонентов энергетического оборудования (рис. 7).

Использование разработанных в ИНЭПХФ РАН методов для контроля теплоэнергетического оборудования началось по рекомендации бюро секции «Теплоэнергетика» АН СССР в 1990 г. В результате совместных работ коллективов ИНЭПХФ РАН, ВТИ, Отраслевой службы «Живучесть ТЭС», Костромской ГРЭС и Рязанской ГРЭС была создана **Технология неразрушающего контроля методом «аммиачного отклика деталей» (ДАО-технология)**. При поддержке межотраслевого координационного совета «Живучесть ТЭС». ДАО-технология была внедрена на крупнейших тепловых электрических станциях РАО ЕЭС России со сверхкритическими параметрами пара.

ВНЕДРЕНИЕ ДАО-технологии: Костромская ГРЭС, Рязанская ГРЭС, Ставропольская ГРЭС, Березовская ГРЭС, Сургутская ГРЭС, Экибастузская ГРЭС, ВТИ, Урал ВТИ, Кировэнергоремонт, Тюменьэнергоремонт, Хабаровскэнерго.

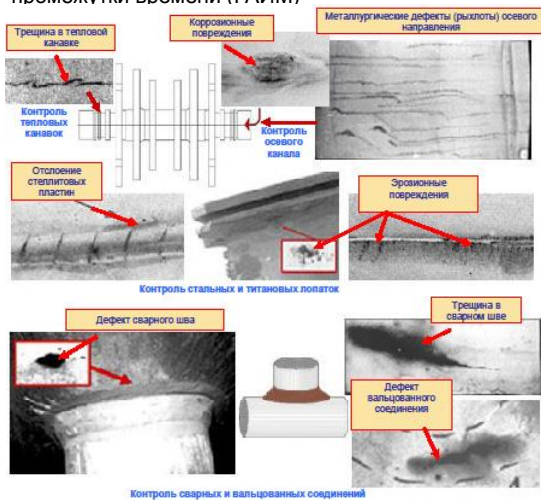


Рис. 7. Примеры применения методов КДМ и ГАИМ для контроля энергетического оборудования.

Основные публикации:

- Beriozkina N.G., Larichev M.N., Leipunsky I.O., Eremin G.L., Dergunov N.N. Indicator capillary-diffusion method for non-destructive defectoscopy of composite materials. Proceedings of Moscow International on Composite Conference, (November 14-16, 1990), Ed. Fridljander I.N., Elsevier, London and New - York, pp. 773-777, 1990.
- Березкина Н.Г., Еремин Г.Л., Ларичев М.Н., Лейпунский И.О., Маклашевский В.Я. «Капиллярно-диффузионный и газо-адсорбционный методы неразрушающего контроля материалов», Известия РАН, «Энергетика», 1996, №6, стр.98-112.
- Beriozkina N.G., Leipunsky I.O., Maklashevsky V.Ya. USA Patents №5795712 (1998), №6087179 (2000).
- Березкина Н.Г., Лейпунский И.О., Ларичев М.Н., Еремин Г.Л., Кашук В.В., Волков И.М. Seal testing of RSV «BURAN» compartments. Труды 3 Международного аэрокосмического конгресса, IAC'2000, 23-27 августа 2000 года, Москва, Россия. МФП МГАТУ, 2004.
- Березкина Н.Г., Ларичев М.Н., Лейпунский И.О., Коннов В.В., Еремин Г.Л., Упадышев А.Б. Gas indicator methods for testing of continuity of erosion- protective coatings of thermal protection tiles of RSV «BURAN». Труды 3 Международного аэрокосмического конгресса, IAC'2000, 23-27 августа 2000 года, Москва, Россия. МФП МГАТУ, 2004.

6. И.О. Лейпунский, Н.Г. Березкина, М.Б. Бакиров, С.М. Клещук. Применение метода аммиачного отклика для определения сквозных дефектов на образцах труб, вырезанных из парогенераторов АЭС с ВВЭР. 6-ой международный симпозиум по горизонтальным парогенераторам, г. Подольск, 22-24 марта 2004 г. www.gidropress.podolsk.ru
7. Березкина Н.Г., Лейпунский И.О., Беляков А.Н., Горбачев А.Н, Шепталина Н.Г. Применение методов аммиачного отклика деталей для неразрушающего контроля элементов оборудования ТЭС. «Известия Академии наук. Энергетика», №3, стр. 135-150, 2008.
8. Lopez, G.W., Berezkina, N.G., Leipunsky, I.O. Gas-Adsorption Indicator Method for NDT and Surface-Defect Characterization, American Society for Testing of Materials (ASTM) International, Journal of Materials Performance and Characterization, V. 1, № 1, 2012, p.13, Published Online: <http://www.astm.org>