

---

---

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

---

---

## ОСОБЕННОСТИ И НЕДОСТАТКИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТАЦИИ УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ

**А.М. Качуро, кандидат технических наук;**  
**С.Г. Реснянский, кандидат технических наук.**  
**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проведен обзор недостатков методов контроля дефектации узлов и деталей пожарной техники специального назначения, имеющих защитные покрытия. Приведены преимущества вихретокового метода, как наиболее эффективного для проверки деталей с защитными покрытиями.

*Ключевые слова:* ультразвуковой контроль деталей, повышение выявляемости дефектов, вихретоковый метод, экспериментальные исследования выявляемости дефектов, дефектоскоп, способ неразрушающего контроля узлов и деталей, метод голографической интерферометрии

## FEATURES AND DISADVANTAGES OF CONTROL METHODS FAULT DETECTION OF COMPONENTS AND MECHANISMS OF THE FIRE RESCUE VEHICLE

A.M. Kachuro; S.G. Resnyansky.  
Saint-Petersburg university of State fire service EMERCOM of Russia

The paper presents an overview of the shortcomings of the methods of control fault detection of components and parts of fire equipment for special purposes, having a protective coating. The advantages of the eddy current method as the most effective for testing parts with protective coatings.

*Keywords:* ultrasonic inspection of details, increase of detectability of defects, eddy current method, experimental researches of detectability of defects, flaw detector, method of non-destructive control of knots and details, method of holographic interferometry

Многие узлы и агрегаты пожарной техники специального назначения для предохранения от коррозии, вредного воздействия агрессивных сред, высокой температуры и т.п. имеют защитные лакокрасочные, эмалевые, металлические и другие покрытия. Снятие покрытия с детали для проведения контроля и нанесение его вновь – очень трудоемкий процесс, что экономически не выгодно. Поэтому разработка способов контроля изделий без снятия защитных покрытий является задачей весьма актуальной и важной. Целью контроля может быть выявление внутренних или поверхностных дефектов основного металла изделия или же дефектов покрытия (нарушения прочности сцепления покрытия с основой, твердость покрытия и других).

Возможность контроля изделий с защитными покрытиями обуславливается акустическими свойствами материала покрытия и основы, формой и размерами изделия, а также толщиной покрытия и качеством сцепления его с основой.

Опыт показывает, что при проведении контроля деталей с защитными покрытиями специалисты допускают методические ошибки, снижающие его эффективность. Практически при использовании большинства распространенных методов необходимо учитывать специфические особенности подготовки и проведения контроля узлов и деталей с покрытиями.

Возможность проведения ультразвукового контроля (УЗК) изделий с защитными покрытиями обуславливается не только акустическими свойствами материала, из которого изготовлена деталь, но и акустическими свойствами, толщиной и качеством сцепления защитного покрытия с основным металлом.

Например, лопатки компрессоров и турбин некоторых узлов и механизмов пожарно-спасательного автомобиля подвергаются эмалированию. Эмалевое покрытие толщиной до 80 мкм является, в принципе, «прозрачным» для ультразвуковых колебаний, вследствие чего энергетические потери при переходе упругих колебаний от преобразователя в кромку лопатки и искажения ультразвукового луча невелики. Поэтому УЗК деталей, покрытых эмалями, проводят в основном по технологии проверки неэмалированных лопаток.

К главным преимуществам УЗК деталей, покрытых эмалями, относятся:

1. Высокая точность и скорость исследования, а также его низкая стоимость;
2. Безопасность для человека (в отличие, к примеру, от рентгеновской дефектоскопии);
3. Высокая мобильность вследствие применения портативных ультразвуковых дефектоскопов;
4. Возможность проведения УЗК (в отдельных случаях) на действующем объекте, то есть на время проведения УЗК не требуется выведения контролируемой детали/объекта из эксплуатации.
5. При проведении УЗК исследуемый объект не повреждается;

К основным недостаткам УЗК относятся:

1. При ультразвуковой дефектоскопии невозможно дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, так как размер дефекта определяется его отражательной способностью и поэтому по результатам контроля дается эквивалентный размер дефекта (например: имеющиеся в изделии два реальных дефекта одного размера и формы, расположенные на одной глубине, но один из которых заполнен воздухом, а другой шлаком будут давать отраженные импульсы различной амплитуды и, соответственно, оценены как дефекты, имеющие различные размеры). Следует отметить, что, некоторые дефекты в силу их характера, формы или расположения в объекте контроля практически невозможно выявить ультразвуковым методом. Кроме того, затруднителен контроль деталей небольшого размера и толщины, а также деталей, имеющих сложную форму с криволинейными и сферическими поверхностями малого радиуса. Кроме того, при проведении УЗК в отличие от радиографического, как правило, невозможно однозначно охарактеризовать дефект (шлаковое включение, пора, вольфрамовое включение и другие);

2. Трудности при УЗК металлов с крупнозернистой структурой из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука.

3. Подготовка поверхности контроля к контролю для ввода ультразвуковых волн в металл, а именно: очистка поверхности контроля от загрязнений, отслаивающейся окалины, ржавчины, брызг расплавленного металла и так далее и создание необходимой шероховатости поверхности не хуже Rz 40 и волнистости не более 0,015, так как даже небольшой воздушный зазор между пьезоэлектропреобразователем (ПЭП) и изделием может стать непреодолимой преградой для распространения ультразвуковых волн;

4. Необходимость нанесения на контролируемый участок изделия после его зачистки непосредственно перед выполнением контроля контактных жидкостей (специальные гели, глицерин, машинное масло и другие) для обеспечения стабильного акустического контакта.

Если толщина эмалевого покрытия больше 0,08 мм, то при контроле концевой импульс от торца пера может отсутствовать. Это свидетельствует о непрозвучиваемости лопатки, а, следовательно, и о невозможности контроля такой лопатки ультразвуковым методом.

Различные покрытия, а также загрязнения на поверхности деталей, подвергаемых контролю капиллярными методами, могут перекрывать полости дефектов или полностью заполнять их. Они приводят к снижению интенсивности окраски проникающей жидкости, ухудшению ее капиллярных свойств, способствуют образованию окрашенного либо люминесцирующего фона и после нанесения проявляющей краски вызывают появление ложных дефектов. Все это ведет к снижению достоверности контроля.

Лакокрасочное покрытие заполняет полости только тех поверхностных дефектов, которые возникли до его нанесения. Полости усталостных трещин, возникших на окрашенных деталях, эластичный слой покрытия, как правило, перекрывает (пленка покрытия разрешается только при образовании крупных трещин). Растрескавшееся и набухшее под воздействием проникающей жидкости покрытие создает после нанесения проявителя ложные дефекты и окрашенный или светящийся фон. Поэтому перед капиллярным контролем лакокрасочное покрытие надо полностью удалять с поверхности проверяемых деталей.

Гальваническое покрытие создает ложные дефекты при наличии в нем повреждений: рисок, царапин, вмятин (медное, цинковое, кадмиевое покрытие), растрескиваний (хромовое, никелевое покрытие) и так далее. Его можно не удалять перед контролем в том случае, если целью контроля является обнаружение относительно крупных трещин, а также при поиске дефектов в самом гальваническом покрытии. Для обеспечения наиболее высокой чувствительности и достоверности контроля основного материала деталей гальванические покрытия следует удалять.

Пористые оксидные покрытия, окрашиваясь проникающей жидкостью, создают фон и ложные дефекты, что затрудняет обнаружение мелких действительных дефектов в основном материале. Плотные покрытия практически не окрашиваются проникающей жидкостью и не влияют на выявляемость трещин, образовавшихся после оксидирования. Мелкие трещины, образовавшиеся до оксидирования, при большой толщине оксидной пленки (20...100 мкм) могут быть закрыты [1].

Оксидная пленка, образующаяся на алюминиевых деталях при эксплуатации, как правило, не приводит к ухудшению выявляемости поверхностных дефектов. Пленка на стальных деталях, деталях из жаропрочных, магниевых, титановых, ниобиевых сплавов и вольфрама препятствует обнаружению дефектов. Особенно снижает эффективность контроля оксидная пленка, возникающая на стенках трещин у их выхода на поверхность детали. Объем продуктов окисления превышает объем неокисленного металла, поэтому окислы закупоривают устье дефектов.

Пленка на стальных деталях, деталях из жаропрочных, магниевых, титановых, ниобиевых сплавов и вольфрама препятствует обнаружению дефектов. Особенно снижает эффективность контроля оксидная пленка, возникающая на стенках трещин у их выхода на поверхность детали. Объем продуктов окисления превышает объем неокисленного металла, поэтому окислы закупоривают устье дефектов.

Оксидная пленка на деталях из стали, жаропрочных сплавов и других материалов перед капиллярным контролем должна быть удалена.

При выборе способа снятия покрытия и очистки деталей от загрязнений необходимо руководствоваться соответствующими методическими рекомендациями и установить, какие вещества могут остаться на поверхности детали и повредить нормальному процессу выявления дефектов. В некоторых случаях полости дефектов загрязняются снимаемыми

с поверхности деталей веществами или веществами, применяемыми или образующимися при очистке. Такие вещества также следует удалять из полостей дефектов. Тогда подготовку деталей к контролю выполняют последовательно различными способами так, чтобы в результате в полостях дефектов оставались вещества, легко удаляемые при прослушивании [2].

Одним из факторов, существенно влияющих на чувствительность контроля магнитопорошковым методом, является толщина немагнитного покрытия. При наличии немагнитного покрытия на поверхности проверяемой детали чувствительность метода уменьшается.

Для повышения выявляемости дефектов под слоем хрома толщиной до 50 мкм на малогабаритных объектах контроля целесообразно применять метод осмотра поверхности детали без извлечения ее из суспензии. Для этого деталь укладывают на латунную сетку, размещают суспензию и опускают в нее деталь на глубину 2...3 см. Через 10...15 с деталь поднимают к поверхности суспензии так, чтобы осматриваемая поверхность была на глубине 1...3 мм. Поверхность детали осматривают через этот слой суспензии. Если на поверхности детали накопилось большое количество порошка, то его смывают, слегка покачивая деталь в суспензии. При таком методе осмотра отсутствует смывающее действие жидкости, ее поверхностное натяжение, поэтому обеспечивается четкое выявление мелких трещин, которые обычным методом выявить не удастся [3].

Следовательно, вихретоковый метод – один из наиболее эффективных для проверки деталей с неметаллическими покрытиями, а также определения толщины этих покрытий. Для названных двух методов необходимо только чтобы не было грубых дефектов лакокрасочного покрытия, вызывающих перекося преобразователей, из-за того, что покрытия не влияют на результаты контроля радиационными методами.

В современных агрегатах пожарной техники специального назначения на детали наносят металлические, металлокерамические или керамические защитные покрытия плазменным, детонационным, газоплазменным и другими газотермическими методами. Пока не накоплено достаточного практического опыта дефектации деталей с новыми покрытиями, однако выполненные экспериментальные исследования выявляемости дефектов на образцах и деталях с напыленными покрытиями позволяют привести некоторые рекомендации [4].

Трещины в основном материале узлов, не прошедшие через слой металлического покрытия толщиной 50...80 мкм, вихретоковыми дефектоскопами типа ВД-92НП и ВД-90НП не выявляются вследствие экранирующего действия покрытия. Трещины, распространяющиеся только в слое покрытия, вихретоковыми дефектоскопами не выявляются из-за небольшой глубины [5].

На поверхности нешлифованных покрытий, нанесенных плазменно-дуговым методом напыления, выявление трещин и пор капиллярными методами затруднено из-за наличия сильного окрашенного маскирующего фона. На шлифованной поверхности таких покрытий выявляются трещины длиной более 0,1 мм. Шероховатость покрытия, нанесенного ионно-плазменным методом, обнаружению трещин капиллярными методами не препятствует. На деталях и образцах с покрытием из оксида циркония трещины в покрытии и в основном материале капиллярными методами обнаружить невозможно из-за сильного маскирующего фона.

В заключение необходимо подчеркнуть, что снятие покрытия с детали для проведения контроля и нанесение его вновь – очень трудоемкие, экономически не выгодные процессы. Поэтому разработка и применение эффективных способов неразрушающего контроля узлов и деталей без удаления защитных покрытий является актуальной и важной задачей. Наряду с более детальной проработкой возможностей и особенностей применения традиционных методов неразрушающего контроля, для решения этой задачи следует изучать и использовать новые методы: голографической интерферометрии, контактный теплотермический, газосорбционный радиоизотопный и другие [6–8].

## Литература

1. Генералов А.С., Мурашов В.В., Далин М.А., Бойчук А.С. Диагностика полимерных композитов ультразвуковым реверберационно-сквозным методом // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 1. С. 42–47.
2. Троицкий В.А. Ультразвуковой контроль. Дефектоскопы, нормативные документы, стандарты по УЗК. Киев: Феникс, 2006. 224 с.
3. Ланге Ю.В. Акустические низкочастотные методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций. М.: Машиностроение, 1991. 272 с.
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // *Труды XIV Всерос. науч.-техн. конф. АКТ-2013*. Воронеж: Элист, 2013. С. 287–291.
5. Тензометрия в машиностроении: справ. пособие. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
6. Виноградов А.В., Москвин В.Н. Системный подход к проектированию многофункциональных преобразователей для неразрушающего контроля // *Тез. регион. науч.-практ. конф. «Транссиб-99»*. Новосибирск, 1999. С. 240–241.
7. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. СПб.: Издательство «СВЕН», 2014.
8. Ложкова Д.С., Далин М.А. Оценка достоверности автоматизированного ультразвукового контроля типовых сплавов с использованием математического моделирования // *В мире неразрушающего контроля*. 2014. № 4 (66). С. 15–19.

## О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ ДЫМООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ

**А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;**

**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент;**

**А.А. Пермяков, кандидат педагогических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Исследованы факторы, влияющие на интенсивность дымообразования пожарной нагрузки. Установлена связь между оптической плотностью и дымообразующей способностью дыма. Проанализированы результаты экспериментального исследования при горении различных видов пожарной нагрузки в зависимости от максимального значения оптической плотности дыма. Произведен анализ возможности использования кинетического подхода при измерении коэффициента дымообразования на основе измерений скорости потери массы в процессе горения образца. Предложено применение метода наименьших квадратов при графической интерпретации результатов измерений.

*Ключевые слова:* дымообразующая способность, горение пожарной нагрузки, дальность видимости на пожаре, низкотемпературный пиролиз, оптическая плотность дыма, пламенное горение, поглощающая способность, пожарная нагрузка

## ON METHODS OF FIRE LOAD SMOKE GENERATION ABILITY ESTIMATION

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov; A.A. Permyakov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Researched factors that affect intensity of the fire load smoke generation. We established relationship between the smoke optical density and the smoke generation ability. The results of an experimental research of the maximum value of the smoke optical density of various types