

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 629.33.004.67

В.Ю. Бойков, канд. техн наук
А.Ф. Ахметзянов

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТРУБЫ СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЯ

В современных условиях мирового экономического кризиса увеличивается процент автомобилей, работающих за пределами нормативных сроков эксплуатации, поэтому возрастает потребность в простых и доступных методах их ремонта. Анализ применяемых технологий при техническом сервисе автомобильной техники показывает, что использование полимерных композиционных материалов является экономически и технически оправданным, так как позволяет значительно снизить затраты на восстановление работоспособности выведенной из строя техники.

С помощью клеевых составов можно восстановить работоспособность деталей и поверхностей без использования дорогостоящего специального оборудования. Такие технологии находят широкое применение в развитых странах (США, Германия, Швейцария), где имеется целая сеть предприятий, производящих большую номенклатуру клеевых составов, которые могут использоваться как на специализированных ремонтных предприятиях (автосервис, автотранспортные предприятия), так и частными пользователями автотранспортных средств [1, 2].

В современных автомобилях имеется целая сеть трубопроводов с разнообразными режимами

работы, при восстановлении герметичности которых применение адгезивов во многих случаях является более целесообразным, чем использование традиционной сварки. Все трубопроводы можно условно разделить на две большие группы: трубопроводы, работающие под давлением (напорные), и безнапорные.

Трубопроводы системы выпуска отработанных газов автомобиля с достаточно большой точностью можно считать безнапорными, однако даже в штатном режиме работы они подвергаются сильному нагреву, вплоть до 500...800 °С в районе выпускного коллектора. Восстановление герметичности данного трубопровода следует производить с помощью высокотемпературного адгезива (например, на основе силиката натрия), иногда с использованием стеклоткани, которая служит для армирования адгезива, придания ему нужной формы и предотвращения его стекания [3, 4]. Данный способ ремонта является не только экономически оправданным, но и часто бывает единственно возможным, так как на трубопроводе, сильно пораженном коррозией, сварку применять нельзя.

Существенным недостатком применения адгезивов является сравнительно небольшая долговечность клеевых соединений. Для того чтобы уве-

личить их срок службы, следует изучить причины и механизмы их разрушения.

Испытания показывают, что в случае с восстановленным при помощи адгезива трубопроводом системы выпуска отработанных газов разрушение клеевой наклейки, как правило, происходит по двум причинам: 1) в результате термических деформаций; 2) вследствие вибрационных нагрузок. Последние особенно опасны, если частоты собственных колебаний клеевой наклейки попадают в диапазон частот колебаний труб системы выпуска отработанных газов в режиме холостого хода и при движении автомобиля [5].

В большинстве случаев ремонтная клеевая наклейка, восстанавливающая герметичность трубы, имеет прямоугольную форму, при этом при небольших линейных размерах наклейки по сравнению с диаметром трубы с достаточно большой точностью наклейку можно считать плоской.

Следует считать клеевую наклейку прямоугольной пластиной (с линейными размерами a и b и толщиной h), которая в пределах упругих деформаций подчиняется закону Гука. Тогда свободные колебания такой пластины описываются уравнением [6]:

$$\rho \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + \frac{D}{h} \Delta^2 \zeta = 0, \quad (1)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (2)$$

где D — жесткость пластины; ζ — перемещение по нормали к плоскости пластины; E — модуль продольной упругости; μ — коэффициент Пуассона; ρ — плотность клеевого состава; Δ — двумерный оператор Лапласа:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}.$$

Общее решение уравнения (1) будем искать в виде

$$\zeta = \zeta_0(x, y) \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (3)$$

где ω — угловая частота собственных колебаний пластины, рад/с; φ_0 — начальная фаза колебаний, рад; t — время, с.

Подставим формулу (3) в (1):

$$\rho \frac{\partial^2 (\zeta_0 \cos(\omega t + \varphi_0))}{\partial t^2} + \frac{D}{h} \Delta^2 \zeta_0 \cos(\omega t + \varphi_0) = 0.$$

После вычисления второй производной

$$-\rho \omega^2 \zeta_0 \cos(\omega t + \varphi_0) + \frac{D}{h} \Delta^2 \zeta_0 \cos(\omega t + \varphi_0) = 0.$$

Разделим обе части уравнения на $\frac{D}{h} \cos(\omega t + \varphi_0)$:

$$\Delta^2 \zeta_0 - \frac{h}{D} \rho \omega^2 \zeta_0 = 0.$$

Используя выражение (2), получим

$$\Delta^2 \zeta_0 - \frac{12(1 - \mu^2)}{Eh^2} \rho \omega^2 \zeta_0 = 0. \quad (4)$$

С учетом обозначения

$$\omega^2 \frac{12\rho(1 - \mu^2)}{Eh^2} = k^4 \quad (5)$$

уравнение (4) приобретает вид

$$\Delta^2 \zeta_0 - k^4 \zeta_0 = 0. \quad (6)$$

Направим оси координат вдоль сторон пластины. Следует считать, что края пластины свободно опираются, тогда граничные условия приобретают вид

$$\text{при } x = 0, a; \zeta = 0, \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} = 0,$$

$$\text{при } y = 0, b; \zeta = 0, \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} = 0.$$

Решение, удовлетворяющее этим условиям:

$$\zeta_0 = A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad (7)$$

где A — амплитуда колебаний; m и n — любые целые числа.

Найдем ω из выражения (5):

$$\omega = \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1 - \mu^2)}} k^2. \quad (8)$$

Подставим частное решение (7) в уравнение (6):

$$\Delta^2 \left(A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \right) = k^4 A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}.$$

После применения оператора Лапласа:

$$\Delta \left(\pi^2 \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right] A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \right) =$$

$$= k^4 A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b},$$

$$\pi^4 \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right]^2 A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} =$$

$$= k^4 A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}.$$

Разделим обе части уравнения на $A \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$

и извлечем корень:

$$\pi^2 \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right] = k^2. \quad (9)$$

После подстановки (9) в (8)

$$\omega = \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1 - \mu^2)}} \pi^2 \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right]. \quad (10)$$

Окончательно частота собственных колебаний клеевой наклейки имеет вид

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1 - \mu^2)}} \pi^2 \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right]. \quad (11)$$

Из выражения (11) видно, что, так как m и n — любые целые числа, то клеевая накладка имеет бесконечное множество частот собственных колебаний (гармоник). Следует заметить, что физический смысл имеют лишь натуральные значения m и n , а наибольшую амплитуду имеют низкочастотные гармоники ($m = 1 - 2$, $n = 1 - 2$).

Чтобы обобщить полученные результаты и отвлечься от конкретных размеров наклейки, введем безразмерные параметры: $b/h = d$ и $a/b = c$. При этом толщина клеевого слоя h , как правило, задается технологией склеивания. Выражение (11) будет иметь вид

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Eh^4}{12h^2\rho(1-\mu^2)}} \pi^2 \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right] = \\ &= \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}} \left(\frac{1}{h}\right) \left(\frac{1}{d}\right)^2 \pi^2 \left[\left(\frac{m}{c}\right)^2 + n^2 \right], \\ v &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}} \left(\frac{1}{h}\right) \left(\frac{1}{d}\right)^2 \pi^2 \left[\left(\frac{m}{c}\right)^2 + n^2 \right]. \quad (12) \end{aligned}$$

С помощью программы Mathcad построим графики зависимости (12) v от $b/h = d$ и $a/b = c$ при $d = 10...50$, $c = 1...5$ ($h = 1$ мм).

Теоретические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что частота вынужденных колебаний труб системы выпуска отработанных газов близка к частоте вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Если учесть, что коленчатый вал двигателя вращается со скоростью от 600 до 8000 об./мин, то частота воздействия возмущающей силы на клеевую насадку лежит в диапазоне от 10 до 133 Гц. Наиболее опасный режим работы адгезива возникает при попадании частот собственных колебаний клеевой наклейки в данный диапазон,

так как из-за резонансных явлений амплитуда колебаний наклейки многократно увеличивается, что в свою очередь ведет к многократному увеличению напряжений, которые выходят за предел выносливости адгезива к повторно-переменным нагрузкам, и как следствие — к разрушению клеевого соединения. Путем подбора геометрических характеристик клеевой наклейки следует избегать подобного явления.

Разработанная математическая модель, имитирующая физические процессы при ремонте элементов трубопроводов системы выпуска отработанных газов в автомобилях, позволяет в каждом конкретном случае негерметичности подобрать термостойкий адгезивный материал с оптимальными характеристиками (E , ρ , μ), а также оптимальные геометрические размеры клеевой наклейки для того, чтобы избежать резонанса и тем самым значительно продлить срок службы клеевого соединения.

Список литературы

1. Башкирцев В.И. Ремонт автомобилей полимерными материалами. — М.: За рулем, 1999. — 32 с.
2. Мохов А.И., Бойков В.Ю. Ремонт машин с применением анаэробных и формообразующих полимерных материалов // Механизация строительства. — 2006. — № 9. — С. 9–11.
3. Бойков В.Ю., Башкирцев Ю.В. Экспериментальные исследования распределения температуры в системе выпуска отработанных газов в автомобилях: сб. материалов МНТК «Ресурсосбережение XXI век». — Орел: ОрГАУ, 2006. — С. 147–153.
4. Бойков В.Ю., Сливов А.Ф., Башкирцев Ю.В. Классификация термостойких адгезивов для технического сервиса машин и оборудования в АПК // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Технический сервис в агропромышленном комплексе. — 2004. — № 1(6). — С. 26–31.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т. 7. Теория упругости: учеб. пособие. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: Наука, 1987. — 248 с.

УДК 621.828

А.Г. Пастухов, доктор техн. наук
А.В. Ефимцев

Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина

РАДИАЛЬНЫЙ ЗАЗОР В КАРДАНЫХ ШАРНИРАХ ТРАКТОРА «ДЖОН ДИР» В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Кодной из основных тенденций развития сельскохозяйственной техники относят повышение ее технического уровня и качества, что в первую очередь связано с внедрением инновационных технологий в эксплуатации.

В настоящее время объем, перечень и периодичность работ по техническому обслуживанию (ТО), определяемый нормативными документа-

ми, проводится в обязательном порядке для тракторов, находящихся на гарантийном обслуживании, в остальных случаях владельцы самостоятельно принимают решение о выборе стратегии поддержания работоспособности.

Задача повышения эффективности эксплуатации сельскохозяйственных тракторов связана с совершенствованием методики диагностирова-