

DOI: 10.58168/RAuIPP2025_28-35
УДК 629.4.082

Колосов К.С.

магистр 2 курса автомобильного факультета
Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г.Ф. Морозова, РФ

Новиков А.П.

кандидат техн. наук, доцент,
кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени Г.Ф.
Морозова,
РФ

Хрипченко М.С.

кандидат техн. наук, доцент,
кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени Г.Ф.
Морозова,
РФ

Kolosov K.S.

2nd year Master's degree from the Automobile
Faculty of Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Novikov A.P.

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Khripchenko M.S.

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ АВТОМОБИЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

IMPROVING THE PERFORMANCE PROPERTIES OF AUTOMOTIVE ADHESIVE JOINTS THROUGH THE USE OF A NON-DESTRUCTIVE TESTING METHOD

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность создания метода неразрушающего контроля качества клеевых соединений, применяемых в автомобилестроении. Данная возможность обосновывается установлением экспериментальным путем взаимосвязи теплофизических характеристик и внутренних напряжений клеевого соединения.

Abstract. In this paper, the possibility of creating a method of non-destructive quality control of adhesive joints used in the automotive industry is considered. This possibility is justified by experimentally establishing the relationship between the thermophysical characteristics and internal stresses of the adhesive joint.

Ключевые слова: клеевое соединение, теплопроводность, температуропроводность, внутренние напряжения, субстраты, контроль качества.

Keywords: adhesive bonding, thermal conductivity, thermal conductivity, internal stresses, substrates, quality control.

При производстве современных автомобилей, кроме металлов часто используется множество конструкционных материалов: стекло, кожа, пластики, резина, ткани и т.д. Соответственно способы соединения тоже различны. Ос-

новными видами соединений являются: сварные, заклепочные, резьбовые, клеевые.

Что касается клеевых соединений, то необходимо отметить следующее.

Для создания оптимальной фиксации элементов относительно друг друга необходимо учитывать не только свойства этих материалов, но также конструктивные и эксплуатационные особенности сборочных единиц и эксплуатационные свойства автомобиля в целом [1].

Эксплуатационные свойства автомобиля подразделяются на свойства, связанные с движением и незвязанные с движением (рис.1).



Рисунок 1 –Эксплуатационные свойства автомобиля

К основным эксплуатационным качествам клеевых соединений автомобилей относят:

1. Работоспособность в тяжёлых условиях эксплуатации (воздействие низких и высоких температур, агрессивных сред, высокого давления, механических нагрузок и вибрации).
2. Стойкость к коррозии (клеевые составы должны защищать соединения от проникновения влаги и коррозионно-агрессивных веществ).
3. Отсутствие усадки при эксплуатации.
4. Высокую скорость отвердевания.

При производстве, техническом обслуживании и ремонте часто требуется проведение контроля качества выполненных работ.

Контроль качества клеевых соединений в настоящее время с помощью тестирования является важной частью процесса проектирования для операции склеивания [2]. Поставщики клея должны быть готовы проводить на месте тестирование на вашем предприятии для крупных конструкций или тестировать склеивание небольших поверхностей на своих собственных объектах. Лабораторное тестирование и периодические проверки качества помогают обеспечить соответствие продуктов, во время производственных процессов, и стандартами лабораторных испытаний, на самом деле не всегда удобно пользоваться.

Как и большинство технологий, технология склеивания постоянно развивается. Если использовать клеи в качестве метода соединения, то постоянно возникает потребность обращения к поставщику, чтобы узнать, могут ли новые разработки гарантировать необходимую надежность.

Но, если бы иметь компактный прибор, с помощью которого можно было бы провести контроль качества клеевых соединений непосредственно на изделии, то технологический процесс стал бы намного эффективнее и менее затратным.

Чтобы разработать подобный прибор необходимо понимать принцип его работы, который должен основываться на методах, позволяющих через косвенные признаки определять требуемые характеристики.

Однако, чтобы разработать метод неразрушающего контроля клеевых соединений необходимо понять физику процесса, а именно, иметь информацию о теплопроводности, температуропроводности и процессе формирования внутренних напряжений клеевого соединения, а также их взаимосвязь [3]. Традиционный подход к методике расчета процессов теплопереноса через клеевые прослойки, когда используются табличные данные теплофизических характеристик клеевой композиции, представляется не корректным.

Целью работы является разработка и обоснование теплового метод неразрушающего контроля качества клеевых соединений.

Для достижения поставленной цели, необходимо было провести экспериментальные исследования по установлению взаимосвязи характера изменения теплофизических характеристик и внутренних напряжений клеевых прослоек [4]. Необходимо отметить, что клеевую прослойку нельзя рассматривать как изотропное тело. Возникшие в процессе склейки внутренние напряжения, дей-

ствующие на растяжение, формируют анизотропное тело с направленно ориентированными элементарными цепями полимера. В этом случае объект, т.е. клеевая прослойка макроскопически анизотропна.

Возвращаясь к блочным полимерам как изотропным телам, можно считать, что наиболее распространенным способом ориентации структурных элементов полимеров является операция вытягивания. При этом степень анизотропии исследуемых свойств охлажденного ниже температуры стеклования полимера определяется не только величиной степени вытяжки, но и скоростью вытягивания, температурой, длительностью пребывания нагретого образца под напряжением, молекулярным весом полимера и др. Другими словами, степень анизотропии определяется всей его термомеханической предисторией. Это в равной мере относится и к клеевым прослойкам [5].

Отсюда становится ясно, что моделирование процессов теплопроводности клеевых прослоек сводится к проведению комплексных экспериментальных исследований теплофизических свойств и внутренних напряжений прослоек.

В качестве объектов исследований использовались синтетические клеи на основе аморфных полимеров. Все используемые клеи применялись для склеивания металлических субстратов.

Использовались следующие клеи на основе аморфных полимеров (ненаполненные):

1. Эпоксидный клей марки ВК-9 с олигомером ЭД-20 и отвердителем в виде низкомолекулярного полиамида ПО-300.
2. Фенолокаучуковый клей марки ВК-13, состоящий из резольного олигомера и карбоксилсодержащего каучука.
3. Фенолокремнийорганический клей марки ВК-18, в состав которого входят фенолоальдегидный олигомер и содержащие титан кремнийорганические соединения.

Для проведения экспериментов использовались ранее созданные и запатентованные установки для определения теплофизических характеристик клеевых прослоек и для исследования внутренних напряжений в клеевых прослойках [6,7].

На рисунке 2 и 3 представлены экспериментальные зависимости характера изменения коэффициента теплопроводности, температуропроводности и внутренних напряжений клеевой прослойки различной толщины в процессе отверждения.

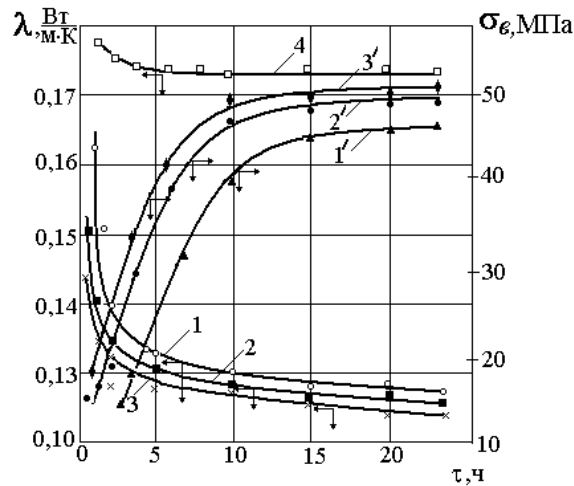


Рисунок 2 – Характер изменения коэффициента теплопроводности (1 - 3) и внутренних напряжений (1' - 3') клеевых прослоек из эпоксидного клея марки ВК-9 (олигомер ЭД-20 + отвердитель полиамид ПО - 300) различной толщины в процессе их отверждения. ($T_{\text{отв.}} = 328\text{K}$, субстраты – сталь 12Х18Н10Т). Толщина прослойки: 1-1' - 0,15мм; 2-2' - 0,5мм; 3-3' - 0,8мм. 4 – поверхности субстратов обработаны антиадгезионной эмульсией

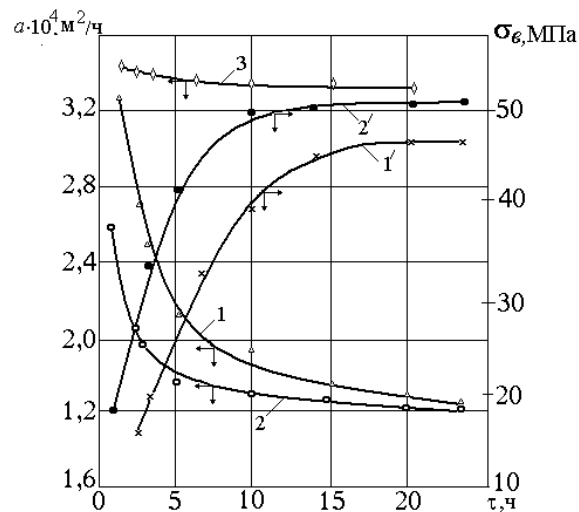


Рисунок 3 – Характер изменения коэффициента температуропроводности (1-2) и внутренних напряжений (1'-2') клеевых прослоек из эпоксидного клея марки ВК-9 (олигомер ЭД-20 + отвердитель полиамид ПО - 300) различной толщины в процессе их отверждения ($T_{\text{отв.}} = 328\text{K}$, субстраты – сталь 12Х18Н10Т). Толщина прослойки: 1,1' - 0,2мм; 2,2' - 0,8мм. 3 – поверхности субстратов обработаны антиадгезионной эмульсией

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. Для рассмотренных разновидностей клеев просматривается явная корреляция между теплофизическими характеристиками и внутренними напряжениями клеевых прослоек. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводно-

сти изменяются в процессе отверждения прослойки антибатно нарастанию внутренних напряжений. Такой характер зависимостей $\lambda = f(\tau)$, $\alpha = f(\tau)$, с одной стороны, и $\sigma_{\epsilon} = f(\tau)$, с другой, подтверждает теоретические посылки работы, основанные на проявлении эффекта анизотропии теплофизических свойств за счет воздействия внутренних напряжений на структурные элементы полимера [8]. Об этом же свидетельствуют данные опытов для клеевых прослоек различной толщины.

Выводы

Специально проведенные исследования влияния масштабного эффекта на внутренние напряжения в клеевых соединениях свидетельствуют о значительном росте последних с увеличением толщины прослоек. Это объясняется возрастанием времени испарения или полимеризации растворителя.

Из графиков приведенных рисунков видно, что с увеличением толщины прослоек растут внутренние напряжения и одновременно снижаются значения теплофизических характеристик прослоек. При этом растет время формирования предельных значений внутренних напряжений и теплофизических характеристик. Такие корреляции остаются неизменными для различных по природе субстратов (Сталь 12Х18Н10Т и Л80).

Таким образом, становится возможным разработка теплового метода неразрушающего контроля качества клеевого соединения.

В данном случае операция по тепловой диагностике соединений на клеях сводится к сообщению теплового импульса на поверхность и регистрации разности температур для двух точек поверхности.

Наличие дефекта в клеевой прослойке устанавливается из сравнения времени наступления максимальной температуры в симметричных точках относительно места возбуждения с помощью зонда, подогреваемого нагревательным элементом [9,10]. Различие в показаниях термопар связано с тем, что дефектная зона оказывает дополнительное термическое сопротивление тепловому потоку.

Список литературы

1. Попов В.М. Теплообмен, через соединения на клеях: монография / В.М. Попов. - М.: Энергия, 1974. – 304 с.
2. Лушникова Е.Н. Тепловая диагностика прочности клеевых соединений теплонапряженных систем в процессе их эксплуатации / Е.Н. Лушникова, А.А. Тиньков // Интеграция фундаментальной науки и высшего лесотехнического образования по проблемам

ускоренного воспроизводства, использования и модификации древесины: сб. науч. тр. / ВГЛТА. - Воронеж, 2000. - Т. 1. - С. 98–99.

3. Попов В.М., Новиков А.П., Журавец М.А. Повышение эффективности работы термоэлектрических кондиционеров для кабин лесозаготовительных машин // Межвуз. сб. науч. тр. - Воронеж, 2001. - С. 22.

4. Попов В.М., Атаманов С.Г., Новиков А.П., Кондратенко И.Ю. К вопросу формирования контактного термосопротивления в длительно - нагружаемых соединениях // Вестник ВГТУ, сер. Энергетика, 2001. - Вып. 1.

5. Попов В.М., Новиков А.П., Кондратенко И.Ю. Разработка технологии создания теплопроводящих клеевых прослоек и пленок на основе полимеров. // Материалы отчетных конф. Минобразования РФ по науч.- техн. прогр. «Научные исследования высшей школы в области приоритетных направлений науки и техники». – М.: 2001. - С. 121.

6. Новиков А.П. Теплопроводность тонкослойных неметаллических материалов (ТПМ). // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: Меж. вуз. сб. научн. трудов. - Воронеж: ВГЛТА, 2002. - С. 157 – 160.

7. Тиньков А.А. Повышение надежности и качества клеевых соединений в авиационных конструкциях / А.А. Тиньков // чтения: сб. материалов международной молодежной научной конференции (10 – 11 ноября 2004 г). - Казань 2004. - С.33 – 24.

8. Волькенштейн В.С. Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов. – Л.: Энергия, 1971. - 145 с.

9. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. – М.: Энергия, 1977. - 328 с.

10. Ванин Г.А. Композиты в машиностроении // Вестник машиностроения. - 1988. - №12. – С. 38 – 40.

References

1. Popov V.M. Heat transfer through joints on adhesives: monographs / V.M. Popov. - M.: Energy, 1974. – 304 с.

2. Lushnikova E.N. Thermal diagnostics of the strength of adhesive joints of thermally stressed systems during their operation / E.N. Lushnikova, A.A. Tinkov // Integration of fundamental science and higher forestry education on the problems of accelerated reproduction, use and modification of wood: collection of scientific papers / VGLTA. Voronezh, 2000. Vol. 1. - pp. 98-99.

3. Popov V.M., Novikov A.P., Zhuravets M.A. Improving the efficiency of thermoelectric air conditioners for cabins of logging machines // Interuniversity Collection of Scientific Papers, Voronezh, 2001, p. 22.

4. Popov V.M., Atamanov S.G., Novikov A.P., Kondratenko I.Yu. On the formation of contact thermal resistance in long-term loaded joints // VGTU Bulletin, ser. Energetika, 2001.- Issue 1.

5. Popov V.M., Novikov A.P., Kondratenko I.Y. Development of technology for creating thermally conductive adhesive layers and films based on polymers // Materials of the reporting conferences. Ministry of Education of the Russian Federation for Scientific- technical. progr. "Scientific research of higher education in the field of priority areas of science and technology." – M.: 2001. - p. 121.

6. Novikov A.P. Thermal conductivity of thin-layer nonmetallic materials (TPM) // Mathematical modeling, computer optimization of technologies, parameters of equipment and

control systems of the forest complex: Inter-university collection of scientific papers. Voronezh: VGLTA, 2002. - pp. 157-1160.

7. Tinkov A.A. Improving the reliability and quality of adhesive joints in aircraft structures / A.A. Tinkov // Readings: collection of materials of the International Youth scientific conference (November 10-11, 2004). Kazan, 2004. - pp. 33-24.

8. Volkenstein V.S. The high-speed method for determining the thermophysical characteristics of materials. L.: Energiya, 1971. - 145 p.

9. Shlykov Yu.P., Ganin E.A., Tsarevsky S.N. Contact thermal resistance. - Moscow: Energiya, 1977. - 328 p.

10. Vanin G.A. Composites in mechanical engineering // Bulletin of mechanical Engineering. - 1988. - No. 12. – pp. 38-40.