

УДК 621.891:620.178.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ И ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА РАБОТУ ГИДРОСИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ

Тимофеева Галина Юрьевна, канд. физ.-мат. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, phizika@madi.ru

Цветков Максим Сергеевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, phizika@madi.ru

Шевченко Владислав Дмитриевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, phizika@madi.ru

Аннотация. Дефекты, наблюдаемые при технологических процессах производства полимерных деталей, достаточно частое явление. Это - трещины, расслоения, поры. Одними из самых распространенных являются дефекты с низкой степенью отверждения полимера. Они оказывают влияние на физико-механические характеристики полимера, снижается теплопроводность, сопротивление материала к действию агрессивных сред. Наличие дефектов такого рода ведет к изменению характера разрушения материала при статическом и усталостном динамическом нагружении.

Новый метод оценки качества полимерных материалов и определения наличия дефектов с помощью инфракрасной термографии был предложен на кафедре ПРАДМ МАДИ. Этот метод неразрушающего контроля является бесконтактным. Авторы исследовали образцы полимеров, помещенных в магнитное поле, с помощью тепловизора Testo-875-1i, работа которого основана на получении теплового изображения в инфракрасной области спектра.

Другая сторона научного исследования - это явление кавитации в гидроузлах автомобиля. Кавитация приводит к падению динамических характеристик гидропривода, уменьшается производительность и точность работы гидроузла автомобиля. Авторы изучили факторы, влияющие на интенсивность кавитации, динамику появления зон кавитации, методы борьбы с кавитацией.

Ключевые слова: полимер; инфракрасная термография; тепловизор; кавитация, гидроузел.

EXPERIMENTAL METHOD FOR ASSESSING THE QUALITY OF POLYMER PARTS AND THE EFFECT OF CAVITATION ON THE QUALITY OF OPERATION OF HYDRAULIC SYSTEMS OF A CAR

Timofeeva Galina, Yu., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, phizika@madi.ru

Tsvetkov Maxim S., student,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, phizika@madi.ru

Shevchenko Vladislav D., student,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, phizika@madi.ru

Abstract. Defects observed in the technological processes of the production of polymer parts are quite common. These are cracks, delamination, pores. Among these defects, the most dangerous are defects with a low degree of polymer cure. They affect the physical and mechanical characteristics of the polymer, reduce thermal conductivity, material resistance to aggressive media, the presence of defects of this kind leads to a change in the nature of the destruction of the material under static and dynamic fatigue loading.

A new method for assessing the quality of polymeric materials and determining the presence of defects using infrared thermography was proposed at the PRADM department of the FDTM faculty. The students got acquainted with the non-contact method of non-destructive testing of polymer samples placed in a magnetic field using a thermal imager. The work of a thermal imager is based on obtaining a thermal image in the infrared region of the spectrum.

Another topical topic of scientific research of the students of the department is the consideration of the phenomena of cavitation in hydraulic systems during the operation of hydraulic systems of a car. Cavitation leads to a drop in the dynamic characteristics of the hydraulic drive, reducing the performance and accuracy of the vehicle's hydraulic system. The authors studied the factors affecting the intensity of cavitation, the dynamics of the appearance of cavitation zones, methods of combating cavitation.

Key words: polymer; infrared thermography; thermal imager; cavitation, hydroelectric unit.

Введение

Применение полимерных материалов в автомобилестроении ведет к снижению массы изделий и деталей, а также к увеличению надёжности и долговечности эксплуатации деталей автомобиля. К уменьшению срока службы автомобиля приводят нарушения технологических процессов при производстве полимерных деталей автомобиля, поэтому важной составляющей любого технологического процесса производства является контроль и управление качеством изделий.

Другая причина снижения надёжности работы автомобиля – кавитация в гидроузлах. Из-за этого явления может произойти полный

вывод из строя оборудования или отдельных узлов гидросистемы за короткие сроки (порядка двух или трех часов работы техники).

Присутствие газа в рабочей жидкости является негативным явлением, приводящим к следующим последствиям: во-первых, это падение динамических характеристик гидропривода. Во-вторых, из-за наличия пузырьков воздуха происходит повышенное трение деталей, а следовательно, и повышается скорость износа агрегата. В-третьих, из-за явления кавитации происходит схлопывание пузырьков, что приводит к повышению температуры рабочей жидкости, что ухудшает её свойства и уменьшает срок службы гидроузлов.

Результаты, проведенных исследований, были доложены в декабре 2019 г. на студенческой научно-практической конференции «Физика. Автомобиль. Дорога».

Анализ влияния постоянного магнитного поля на результаты контроля качества деталей из полимерных материалов методом инфракрасной термографии

В настоящее время неразрушающий контроль качества изделий из полимерных материалов осуществляется следующими методами: акустической эмиссии, компьютерной томографии, радиографии, радиоскопии, термографии, методом ультразвукового контроля.

Наиболее перспективным для контроля качества является метод инфракрасной термографии, который основан на способности нагретых тел превращать часть внутренней энергии в энергию излучения (тепловое излучение). С помощью инфракрасной видеокамеры обычно регистрируется распределение температуры на поверхности тела во время или сразу после нагрева (или охлаждения) контролируемой области [1,2].

На кафедре ПРАДМ использовали метод инфракрасной термографии для определения температурного поля на образцах полимеров с помощью тепловизора Testo-875-1i. [3,4]. Для экспериментального исследования были

изготовлены образцы полимеров путем смешивания эпоксидной смолы и отвердителя. Образцы высыхали в течение суток. Каждый из образцов имел вид диска ($d=30\text{мм}$, $h=3\text{мм}$) со специально созданной по диаметру границей: с одной стороны от границы создавалась область, содержащая 100% (мас.) отвердителя, с другой стороны - область, содержащая 95% (мас.) отвердителя.

Затем образцы подвергались медленному нагреву при помощи лампы накаливания с вольфрамовой нитью в постоянном магнитном поле и вне поля. Регистрация распределения температуры на поверхности образцов в обоих случаях проводилась с интервалом в 1 минуту.

В результате измерений были получены термограммы, программная обработка которых позволила получить графики пространственного распределения температуры в обеих областях с разным содержанием отвердителя. При наличии упорядоченной (кристаллической) структуры в образцах наблюдались зоны затухания световой энергии (затемнение) в магнитном поле. Вне постоянного магнитного поля затухания световой энергии в образце не наблюдалось.

Экспериментально установлено, что в магнитном поле имелся резкий скачок температуры на границе двух областей исследуемого образца с разным содержанием отвердителя. Оказалось, что при отсутствии внешнего постоянного магнитного поля, распределение температуры по поверхности образцов равномерное, и не испытывало скачков.

Кавитация в гидроузлах дорожной техники

Кавитацию в гидроузлах можно наблюдать как в гидротурбинах, на гребных винтах, так и в других различных аппаратах, которые двигаются с большими скоростями.

Кавитация – явление, при котором в рабочей жидкости присутствующие пузырьки воздуха или же растворённого газа расширяются из-за резкого локального падения давления в жидкости, а спустя небольшое

время «схлопываются» из-за замещающих потоков в жидкости около рабочей поверхности узла или же в самой жидкости. Такое схлопывание может приводить к разрушению рабочих поверхностей узла и последующей его поломке [5,6].

Казалось бы, что одно из простых решений – дегазация рабочей жидкости, однако это невозможно по ряду причин: во-первых, это наличие соединений в гидравлической системе, через которые в систему может попадать воздух. Во-вторых, это наличие растворённого газа в рабочей жидкости, процент которой не может опускаться ниже 2% (после длительного отстаивания жидкости). Во время начала работы нерастворённые пузырьки газа, которые находятся в тупиковых зонах гидросистемы, начинают циркулировать по системе вместе с рабочей жидкостью, повышая процент растворившегося в жидкости газа почти в три-четыре раза от изначального объёма. В-третьих, это наличие влаги на уплотнительных соединениях системы, которая при повышении температуры рабочей жидкости (которая может быть довольно высокой), начинает испаряться, повышая процент газовой составляющей. В-четвёртых, во время забора рабочей жидкости из гидробака при его неполном заполнении может образовываться воронка, через которую в рабочую жидкость попадает воздух.

Влияние кавитации можно свести к нулю путём уменьшения количества воздуха в рабочей жидкости, что достигается изменением конструкции или условиями эксплуатации. Для этого необходимо решение следующих технических задач:

1. Установка гидробака выше всасывающей камеры насоса. Данное конструктивное решение позволяет создавать повышенное давление у всасывающей воронки насоса, однако высокая установка гидробака создаёт дополнительные сложности по возврату рабочей жидкости из системы обратно.

2. Увеличение диаметра всасывающего трубопровода. При этом уменьшается скорость жидкости, проходящей через данный участок трубопровода, что приводит к уменьшению силы трения жидкости о поверхность трубопровода. Однако, существует предел увеличения диаметра, связанный с конструктивными особенностями.

3. Оптимизация разводки трубопровода. За счёт изменения разводки, а именно минимизирования числа мест (количество как прямых колен, так и количество крутых изгибов), где происходит завихрение жидкости, можно уменьшить влияние кавитации.

4. Увеличение площади поперечного сечения или формы всасывающего трубопровода. Данный метод позволяет без внесения значительных изменений в конструкцию гидропривода существенно снижать негативное влияние кавитации. Например, скошенное под 30° входное отверстие исключает вихревые потоки на кромке отверстия.

5. Увеличение давления в гидробаке. Такое решение позволяет исключить явление кавитации на кромке всасывающего трубопровода, однако вынуждает устанавливать компрессор с регулировкой газа для поддержания давления в гидробаке.

6. Создание «питающих» линий во всасывающем трубопроводе. Данное конструктивное решение позволяет создавать во всасывающей линии избыточное давление за счёт струй жидкости от «питающей» линии, что позволяет значительно уменьшить влияние кавитации.

7. Изменение типа рабочей жидкости. При изменении типа рабочей жидкости можно добиться того, что во время эксплуатации вязкость рабочей жидкости будет уменьшаться, что будет приводить к уменьшению сопротивления жидкости, а также уменьшению падения давления во всасывающей камере. Это позволяет увеличить КПД гидропривода.

Заключение

1. В результате проведенных экспериментов был сделан вывод о применимости, простоте и доступности метода инфракрасного излучения для определения наличия дефектов с низкой степенью отверждения полимера в деталях автомобиля.
2. Кавитация, как явление, должна учитываться при проектировании гидроузлов дорожной техники. Однако уменьшение влияния кавитации является довольно сложной технической задачей.

Список литературы

1. Зорин, В.А. Дефектация деталей из дисперсно-наполненных полимерных материалов методом инфракрасной термографии / В.А. Зорин, Н.И. Баурова, Е.А. Косенко // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2017. – №2. – С. 22-25.
2. Косенко, Е.А. Применение инфракрасной термографии при распознавании подпленочной коррозии // Е.А. Косенко, В.А. Зорин, Н.И. Баурова // Коррозия: материалы, защиты. – 2019. – № 1. – С. 43-47.
3. Zorin, V.A. Features of Research on the Thermophysical Properties of Road-Building Materials / V.A. Zorin, N.I. Baurova, E.A. Kosenko // Polymer Science - Series D. – 2018. – Vol. 11 (1). – P. 72-76.
4. Zorin, V.A. Detection of defects in components made of dispersion-filled polymeric materials by the method of infrared thermography / V.A. Zorin, N.I. Baurova, E.A. Kosenko // Polymer Science - Series D. – 2017. – Vol. 10 (3). P. 241-243.
5. Каверзина, А.С. Повышение работоспособности гидравлического привода улучшением всасывающей способности насосов: дис. ... канд. техн. наук / Каверзина А.С. – Красноярск, 2004. – 130 с.
6. Скрицкий, В.Я. Эксплуатация промышленных гидроприводов / В.Я. Скрицкий, В.А. Рокшевский. – М.: Машиностроение, 1984. – 176 с.

References

1. Zorin V.A., Baurova N.I., Kosenko E.A. *Vse materialy. EHnciklopedicheskij spravochnik*, 2017, no. 2 pp. 22-25.
2. Kosenko E.A., Zorin V.A., Baurova N.I. *Korroziya: materialy, zashchity*, 2019, no. 1, pp. 43-47.
3. Zorin V.A., Baurova N.I., Kosenko E.A., *Polymer Science - Series D*, 2018, vol. 11 (1), pp. 72-76.
4. Zorin V.A., Baurova N.I., Kosenko E.A., *Polymer Science - Series D*, 2017, vol. 10 (3), pp. 241-243.

5. Kaverzina A.S. *Povysheniye rabotosposobnosti gidravlicheskogo privoda uluchsheniyem vsasyvayushchey sposobnosti nasosov* (Improving the performance of the hydraulic drive by improving the suction capacity of the pumps), Ph.D. thesis, Krasnoyarsk, 2004, 130 p.
6. Skritsky V.Ya., Rokshevsky V.A. *Ekspluatatsiya promyshlennykh gidroprivodov* (Operation of industrial hydraulic drives), Moscow, Mashinostroyeniye, 1984, 176 p.

Рецензент: А.Ф. Смык, д-р физ.-мат. наук, проф., МАДИ