

УДК 629.067

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩИХ БАМПЕРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

И.В. Балабин, проф., д.т.н., В.В. Богданов, доц., к.т.н. / МГТУ «МАМИ»

Д.Ю. Борин, к.т.н. / Dresden University of Technology

Г.В. Степанов / ФГУП «ГНИИХТЭОС»

Д.А. Семеренко / МГУПИ

Бампер — первый конструктивный элемент транспортного средства (ТС), соприкасающийся с препятствием во время удара, который в соответствии с современными требованиями ЕЭК ООН призван защищать не только водителя и пассажиров ТС, но и пешеходов при потенциальном столкновении. Поэтому проведение научно-исследовательских разработок в области применения новых материалов в конструкции бампера для снижения тяжести последствий столкновения представляет собой актуальную задачу. Следует отметить, что бампер прошел шесть этапов «эволюционного» развития, на каждом из которых имел качественные изменения (см. рис. 1).

Магнитоактивный (или магнитореологический) упругий эластомер (МАЭ или МР эластомер) представляет собой взвесь микро или наночастиц магнитомягкого материала, (например, карбонильного железа, обладающего парамагнитными свойствами), запolyмеризованную в упругой матрице (например, на основе силикона или резины). Матрица состоит из двух компонентов на основе низкомолекулярного винила: например, первый компонент $(CH_3)_3SiO\{[(CH_3)_2SiO]_a-[CH_3(H)SiO]_b\}_x-Si(CH_3)_3$ и $(CH_2CH)_3SiO[CH_3SiO]_y-Si(CH_2CH)_3$, а второй компонент $(CH_2CH)_3SiO[CH_3SiO]_y-Si(CH_2CH)_3 + Pt-catalyst$. Различают изотропные и анизотропные МАЭ. Изотропные образцы представляют

собой либо равномерно распределенную в объеме взвесь частиц одного диаметра, либо комбинацию (в равном соотношении) маленьких (менее 10 мкм) и крупных (от 50 до 100 мкм) магнитных частиц. За счёт использования крупных частиц достигается усиление магнитоуправляемых эффектов. В анизотропных образцах магнитные частицы ориентированы в цепочкоподобные структуры, полученные в наведенном магнитном поле в процессе синтеза (полимеризации) образца.

Силы взаимодействия между частицами, возникающие под действием наведенного внешнего магнитного поля, вызывают процессы образования структур и препятствуют механической деформации образца, вследствие чего возрастает его жёсткость, и проявляются другие магнитоуправляемые эффекты.

Среди основных магнитоуправляемых свойств МАЭ можно выделить следующие:

- так называемый магнитореологический эффект (увеличение модуля упругости первого рода в зависимости от приложенного магнитного поля);
- магнитодеформационный эффект (изменение геометрических размеров образца в неоднородном магнитном поле);
- сжатие в переменном магнитном поле;



Рисунок 1. Этапы эволюционного развития бампера

- магнитоэластичный эффект (изменение формы в однородном магнитном поле).

Другим важнейшим свойством МАЭ является эффект памяти формы: если к образцу, помещенному в однородное магнитное поле, приложить внешнее механическое воздействие и тем самым деформировать его, то он приобретает и сохраняет вновь приданную ему форму. При снятии магнитного поля образец вновь принимает первоначальную форму.

Вышеприведённые свойства МАЭ позволяют использовать данный класс смарт-материалов в таких технических конструкциях (в качестве составляющих элементов) как подвески с переменной жесткостью, активные рулевые колонки ТС или активные демпферы, что уже находит серийное применение в автомобилестроении (рис. 2).

Целесообразно использовать МАЭ и в качестве конструктивных элементов бамперов ТС. Разрабатываемая конструкция травмобезопасного энергопоглощающего бампера автомобиля основана на реализации в МАЭ вышеупомянутых эффектов, в особенности, памяти формы и магнитоэластического эффекта, возникающих в используемом в конструкции композиционном материале под действием магнитного поля во время процесса соударения. Использование МАЭ в качестве активного или полуактивного управляемого элемента позволит за счёт изменения магнитоуправляемых свойств (в частности, жёсткости) снизить энергетический уровень процесса соударения, обеспечив тем самым как травмобезопасность пешехода (при столкновении с ТС), так и водителя и пассажиров ТС.

Экспериментальное исследование включало следующие этапы:

1) выяснение целесообразности применения магнитных эла-



Рисунок 2. Принципиальная схема бампера с эластомером: 1 — жёсткий бамперный брус; 2 — покрытие изменяемой жёсткости из магнитоэластомера; 3 — магнитоэластомерная вставка-крепление изменяемой жёсткости; 4 — лонжерон рамы автомобиля, к которому крепится бампер



Рисунок 3. Блок-схема эксперимента и фрагменты экспериментальной установки



Рисунок 4. Экспериментальные образцы

стомеров в конструкции энергопоглощающих бамперов транспортных средств;

2) исследование процесса деформации МАЭ;

3) исследование поведения МАЭ при ударе в магнитном поле и без него;

4) получение зависимости скорости/ускорения от времени для образцов различной жёсткости, различного химического состава, различной геометрической формы и т.п.

Для ответа на поставленные вопросы были проведены серии экспериментов в соответ-

ствии с блок-схемой, представленной на рис. 3 (слева) и реализованной в испытательном стенде, фрагменты которого приведены на рис. 3 (справа).

В процессе эксперимента образцы (см. рис. 4) на основе винилсодержащего силиконового каучука марки «СИЭЛ» подвергались действию ударной нагрузки с приложенным магнитным полем и при его полном отсутствии. В качестве образцов были использованы 5 различных композитов (с модулями упругости в диапазоне 50–200 КПа). Магнитное поле создавалось постоянным магни-



Рисунок 5. Кинограмма процесса соударения

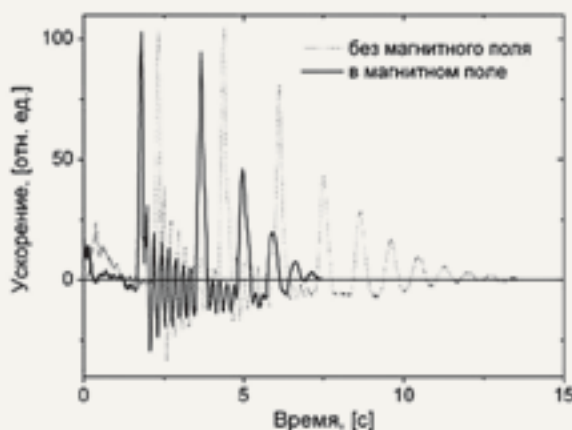


Рисунок 6. Совмещенная диаграмма

том, параметры которого следующие: диаметр 45 мм, высота 12 мм, магнитная индукция на поверхности 250 мТл.

Для приложения ударной нагрузки использовался модернизированный специально под эксперимент маятниковый копёр «МК-30» (демонтирован стандартный боёк маятника, вместо него закреплён стальной уголок; основание станины копра, по которой осуществляется удар, наращено деревянным основанием, которое обеспечивает параллельность соударяемых поверхностей в момент их соприкосновения). Процесс соударения фиксировался на скоростную камеру (для последующего воссоздания кинограммы удара и определения деформаций МР образца). Кроме того, фиксировалось изменение ускорения при помощи датчика

ADXL330 (фирмы Analog Devices), позволяющего измерять ускорения в трёх направлениях. Аналоговый сигнал с акселерометра вышупомянутого датчика преобразовывался с помощью встроенного аналого-цифрового процессора (АЦП) в микроконтроллере at32uc0512 (фирмы ATMEL), откуда сформированный сигнал передавался на компьютер через интерфейс USB. Для раскодирования поступившего сообщения была написана специальная программа на языке C++, которая позволила визуализировать текущее ускорение, записать данные в файл, и выбрать ось, вдоль которой в дальнейшем будут производится измерения.

Для детального изучения процесса деформации образца МАЭ воссоздана кадровая кинограмма всего процесса соударе-

ния, фрагменты которой приведены на рис. 5. Используя кадровое представление процесса соударения и синхронизируя его по времени, может быть построена зависимость деформации от времени для любого исследуемого образца.

Также по результатам обработки сигналов акселерометра — датчика ускорений может быть построена зависимость скорости затухания колебаний для образцов в магнитном поле и без него. Пример такой диаграммы приведен на рис. 6. Как видно из графиков, скорость затухания колебаний для системы с магнитоэластиком в магнитном поле, в среднем, в два раза выше, чем без магнитного поля.

Как показали результаты экспериментальных исследований, образцы из МАЭ при наведённом магнитном поле (структурированное состояние) меняют не только параметры жёсткости в необходимом диапазоне, но и скорость затухания колебаний системы со структурированным эластомером после удара вдвое меньше. Это, в свою очередь, положительно влияет на проблему упругого восстановления (отскока) ТС (или элементов конструкции) после удара. Поэтому применение МАЭ в качестве элементов конструкции бамперов ТС представляется целесообразным.

Поскольку рассматриваемые образцы МАЭ в процессе многочисленных повторных экспериментов хотя и незначительно, но повреждались, представляется целесообразным в реальной конструкции поместить их в тонкую прочную невесомую оболочку, например, из особо прочного тканевого кевларового покрытия.

Эффект памяти формы МАЭ способен повысить травмобезопасность при столкновении автомобиль-пешеход на небольших скоростях соударения и,

кроме того, может быть использован при реконструкции ДТП такого типа, поскольку даёт наглядное представление — в какой конкретной области автомобиля (какой частью тела) осуществлено столкновение.

По результатам настоящего исследования подана заявка на патент РФ на «Ударозащитное устройство транспортного средства с активной и полуактивной системой демпфирования», принцип работы которого заключается в следующем.

При соударении ТС с каким-либо препятствием (на небольших скоростях, не более 8-16 км/ч) упругое покрытие жёсткого бамперного бруса деформируется, смягчая последствия удара, например, для пешехода (иного объекта соударения). Далее жёсткий бамперный брус воспринимает полученную ударную нагрузку и распределяет её равномерно по всей фронтальной плоскости передней части автомобиля (передавая на лонжероны и далее, на решетку безопасности кузова), после чего в процесс снижения последствий соударения включается магнитоэластомерная вставка-крепление, которая изменяет свое значение жёсткости в сторону уменьшения (например, за счёт подачи различного напряжения на катушку (соленоид), при этом, сигнал на катушку может подаваться в данной ситуации, например, от датчиков системы парк-троник).

При достаточно значительной силе удара (превышает вышеуказанный диапазон скоростей), вставка-крепление с МАЭ изменяет свое значение жёсткости в сторону увеличения — за счёт подачи различного напряжения на катушку (соленоид), причем сигнал на катушку (соленоид) может подаваться в данной ситуации, например, от датчиков стандартной системы активации подушек

безопасности ТС. При таком изменении жёсткости значительно меньше деформируется салон автомобиля, тем самым обеспечивается безопасность водителя и пассажиров.

Система представляет собой не одноразовую конструкцию, поскольку магнитоэластомеры вставки-крепления, будучи помещённые в заданное магнитное поле, полностью восстанавливают свою первоначальную форму.

При фронтальном столкновении — на небольших скоростях (до 8-16 км/ч — диапазон парковки, езды в пробках и т.п.), деформации элементов конструкции автомобиля малы, поэтому, упругое эластомерное покрытие бамперного бруса и магнитоэластомерная вставка-крепление (изменяющая значение жесткости в сторону уменьшения) деформируются таким образом, что сохраняется товарный вид как автомобиля, так и объекта соударения (например, ограждения или другого автомобиля), или, выполняя фактически роль многоразовой подушки безопасности, минимизирует травмируемость пешехода.

При фронтальном столкновении на более значительных скоростях в работу по отнятию энергии включается упругая связь бамперного бруса с кузовом ТС в виде магнитоэластомерных вставок-креплений. Последние, меняя свои параметры жёсткости на за-

данную определённую величину в сторону увеличения, деформируются, отнимая основную часть энергии удара, положительно влияя уже на безопасность самого ТС и находящихся в нем людей.

В качестве перспективных направлений продолжения настоящего исследования нам видится целесообразным предложить следующее:

- провести системное исследование с учетом всей полноты факторов, влияющих на магнитоуправляемые свойства МАЭ;
- исследовать долговечность МАЭ;
- разработать более детальную технологию синтеза сложного композита на основе МАЭ, помещенного в прочную эластичную оболочку, и обладающего минимально возможным весом;
- создать работоспособную экспериментальную конструкцию бампера с элементами МАЭ;
- разработать эффективные устройства наведения магнитного поля, компактные и легко монтируемые в конструкцию автомобиля;
- удержать приоритет Российской научной школы в данном направлении, поскольку в Европе начато активное финансирование подобных исследований (создан Европейский центр композитных материалов — ЕСЕМР на средства Саксонского Банка Развития, 2009-2013 ~25 млн. Евро).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balabin I.V., Bogdanov V.V. Bumper as the impact-safety-device for the car and pedestrains (07 APAC-232). 14th Asia Pacific Automotive Engineering Conference (APAC-14), SAE International, August 5-8, 2007, USA.
2. D.Borin, G.Stepanov, V.Mikhailov, A.Gorbunov. The amping device based on magnetoactive elastomer. Magnetohydrodynamics, Vol.43, 2007.
3. V.Bogdanov, D.Borin, G.Stepanov, A.Andruszkiewicz. Usage of magneto-active elastomers in a bumper of a vehicle for front impact protection. Journal of Physics: Conference Series 149 (2009) 012089
4. Богданов В.В., Борин Д.Ю., Г.В. Степанов, Д.А. Семеренко, В.В. Шабалин. Об использовании МАЭ в конструкциях энергопоглощающих бамперов. Материалы 21 международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов по современным проблемам машиноведения. М., 2009.