



ЗУЗОВ
Игорь Валерьевич
аспирант



ЗУЗОВ
Валерий Николаевич
доктор технических наук,
профессор
кафедры
«Колесные машины»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Моделирование продольного смятия передних лонжеронов кузова легкового автомобиля с учетом наполнителей и инициаторов деформаций

И.В. Зузов, В.Н. Зузов

С помощью программного комплекса ANSYS LS-DYNA исследовано влияние пенного наполнителя лонжеронов легкового автомобиля как сплошных, так и при наличии локальных концентраторов напряжений (отверстия, выштамповки и др.) на его энергоемкость при фронтальном ударе.

Ключевые слова: пассивная безопасность, лонжерон, инициаторы, наполнители, энергоемкость, деформации, перемещения, напряжения.

The article considers the influence of foam fillers for the car frame rails on its power intensity in case of a frontal attack using the ANSYS LS-DYNA software. The quantitative estimation of each factor influence has been evaluated.

Keywords: passive safety, frame rail, initiators, fillers, power intensity, strain, displacement, stress.

Задача обеспечения требуемой энергоемкости передней части легкового автомобиля при фронтальном и косо-фронтальном ударе весьма сложная и многогранная. Как правило у конструктора не так широк диапазон возможностей по изменению конструкции (с учетом компоновки, требований по минимальной массе и др.). В связи с этим применение пенных наполнителей внутри лонжеронов, стоек и других конструктивных элементов, существенно меняющие их жесткостные характеристики и энергоемкость, представляет большой интерес. При их использовании не требуется изменять компоновку, увеличивать толшины и габариты конструкции и, соответственно, массы, и в то же время удается улучшить основные параметры, влияющие на пассивную безопасность автомобиля.

Целью данной работы является исследование поведения тонкостенных труб (элементов лонжеронов легковых автомобилей) при осевом ударе (сжатии) с пенным наполнителем и численная оценка влияния наполнителя как для сплошной конструкции, так и при наличии инициаторов деформаций.

При фронтальном ударе основную долю энергии кузова легкового автомобиля воспринимают лонжероны, которые при этом испытывают осевое сжатие. Для оценки границ применимости конечно-элементных моделей, погрешностей решений в данной работе использо-

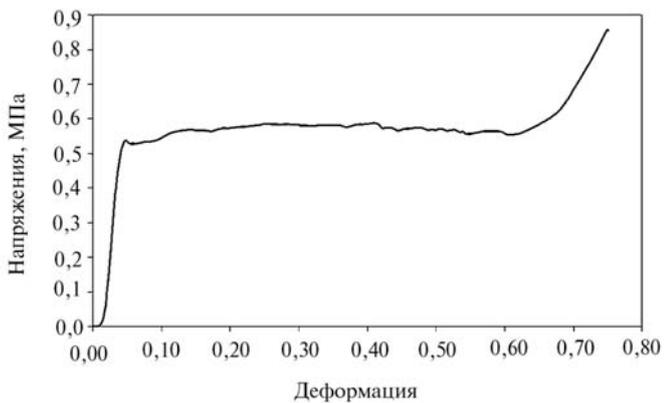
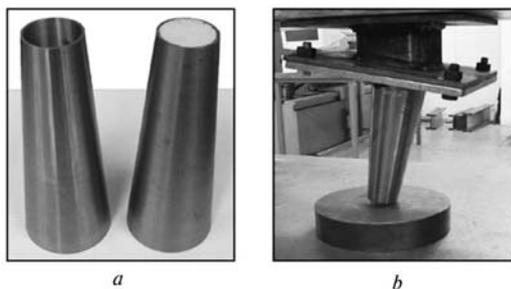


Рис. 1. Зависимость напряжения от деформации материала пены



а

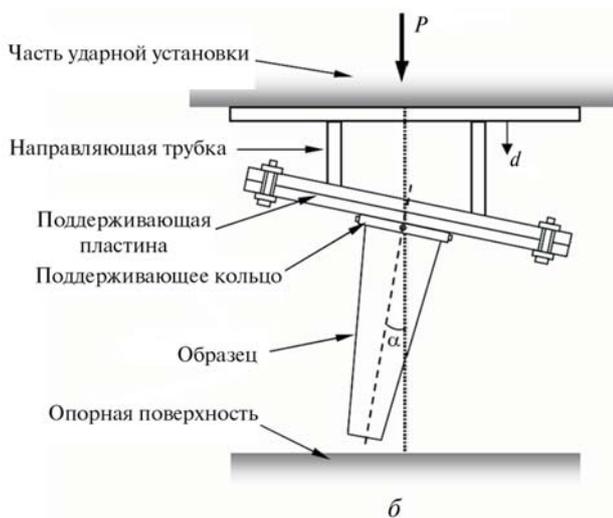


Рис. 2. Экспериментальная установка:
а — общий вид; б — схема

вался эксперимент по осевому сжатию тонкостенной трубки с пенным наполнителем [1] (рис. 2), который соответствует поставленной цели применительно к лонжеронам автомобиля. Материал трубки выбран в соответствии с материалом лонжерона кузова — Ст3. Образец предварительно заполняется полистиролом со следующими механическими характеристиками: плотность $\rho = 40 \text{ кг/м}^3$, модуль Юнга $E = 15,6 \text{ МПа}$. График зависимости напряжения от деформации материала пены представлен на рис. 1. Испытуемый образец представляет собой тонкостенную коническую трубку с конфигурацией, показанной на рис. 3.

θ , град	L , мм	D_b , мм	D_t , мм	h , мм	ρ , кг/м ³
5	150,4	79,9	54,1	2,0	40

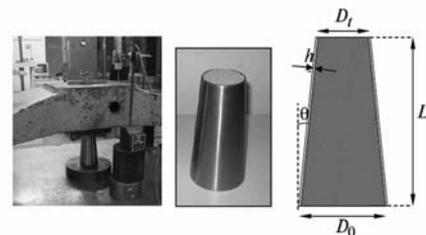


Рис. 3. Геометрические и физические параметры испытуемого образца

Трубка бóльшим основанием крепится к поддерживающей пластине при помощи поддерживающего кольца. Удар выполняется под углом 5° по отношению к вертикальной оси ударной установки со скоростью 10 м/с, масса молота 60 кг. Процесс деформирования показан на рис. 4.



Рис. 4. Процесс деформирования испытуемого образца

Максимальное значение абсолютного перемещения при наличии пенного наполнителя составило 63,3 мм, а при его отсутствии — 115 мм. На рисунке 5 представлен график, отражающий зависимость энергии поглощения (энергоемкость) от перемещения.

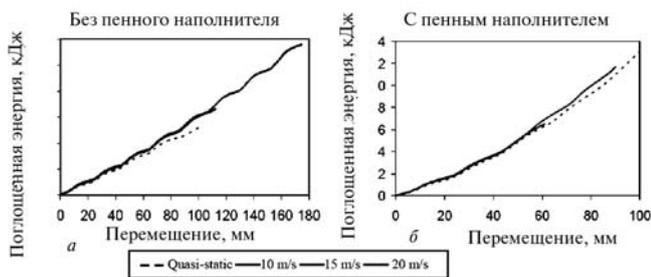


Рис. 5. Зависимость энергии поглощения образца от перемещения:
a — без пенного наполнителя; *б* — с пенным наполнителем

Авторами статьи создана конечно-элементная модель (КЭМ) конической трубки с идентичными геометрическими характеристиками для проведения расчета в программном комплексе ANSYS LS-Dyna. Для описания геометрии тонкостенной трубки применялись конечные элементы типа Shell, а для описания пенного заполнителя — конечные элементы типа Solid, поскольку структура пены имеет объемную цельную геометрию. Для описания материала трубки использовался материал MAT_PLASTIC_KINEMATIC, поскольку он в полной мере описывает характеристики стали. Для описания пенного наполнителя был выбран материал MAT_CRUSHABLE_FOAM, который разработан для быстротекущих процессов и учитывает демпфирование. Итоговая КЭМ, состоящая из 30 тыс. узлов и элементов, показана на рис. 6. Она была составлена с учетом ранее проведенных авторами исследований применительно к ударному смятию трубок без наполнителя [2].

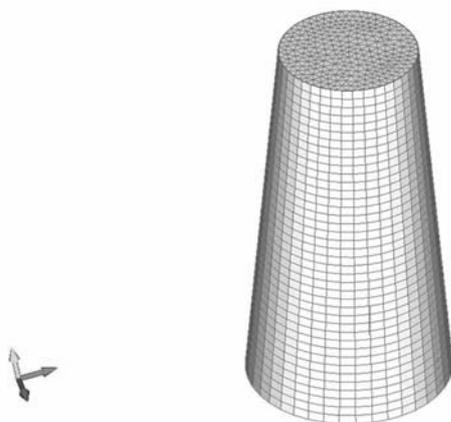


Рис. 6. Конечно-элементная модель трубки с пенным наполнителем

На основе проведенных расчетов выявлено, что сплошная тонкостенная трубка с пенным наполнителем имеет значительно бóльшую энергоемкость (и наименьшее перемещение) и стабильное поведение при ударе, чем без наполнителя. Максимальное расчетное перемещение составило 65 мм. При отсутствии пенного наполнителя энергоемкость конструкции существенно снижается, максимальные перемещения составляют 102 мм. Результаты расчета и сравнение с экспериментальными данными показаны на рис. 7.

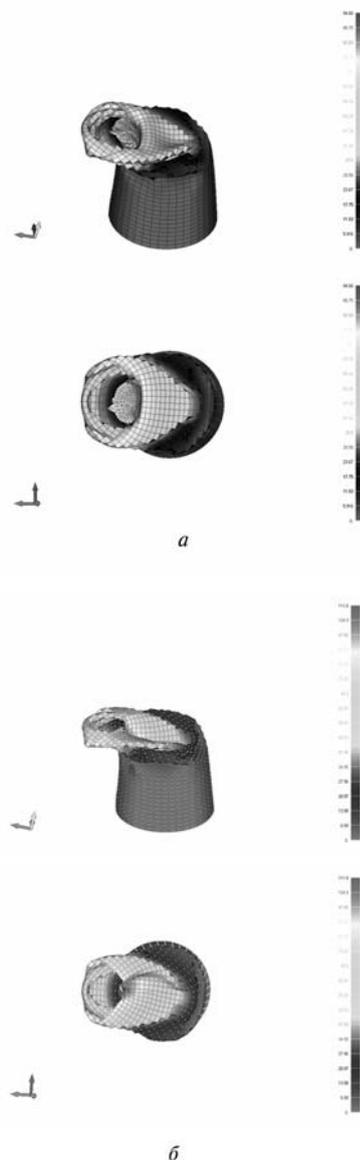


Рис. 7. Деформированные трубки:
a — с пенным наполнителем;
б — без пенного наполнителя

Сравнение значения энергоемкости трубок и перемещений в них, полученные экспериментально и расчетным путем, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения энергоемкости и перемещений в трубках при осевом ударе

Расчетная модель	Энергоемкость, кДж/м		Перемещение, м		Погрешность, %
	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет	
С пенным наполнителем	4,74	4,61	0,063	0,065	2,7
Без пенного наполнителя	2,97	2,60	0,115	0,102	11

В работе [2] был проведен подробный анализ тонкостенных трубок квадратного поперечного сечения с различными инициаторами деформаций и при отсутствии пенного наполнителя. На основе полученных результатов были выбраны трубки с инициаторами деформаций, которые характеризовались наименьшей энергоемкостью и наибольшей нестабильностью поведения конструкции во время деформации (трубки с четырьмя отверстиями диаметром 20 мм и трубка с внешними выштамповками). Для них был выполнен расчет с аналогичными параметрами, но с наличием пенного наполнителя. Результаты расчета (рис. 8) показали, что пенный наполни-

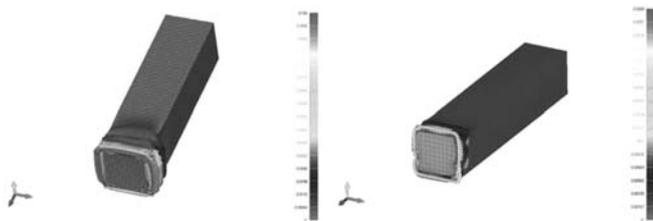


Рис. 8. Прямоугольные трубы с пенным наполнителем при ударном смятии

тель не только существенно увеличивает энергоемкость конструкции, но и повышает стабильность поведения конструкции за счет увеличения общей жесткости. В таблице 2 представлены расчетные значения энергоемкости и перемещений в различных трубках при осевом ударе.

Таблица 2

Расчетные значения энергоемкости и перемещений в различных трубках при осевом ударе

Расчетная модель	Энергоемкость, кДж/м		Перемещение, м	
	С двумя отверстиями диаметром 20 мм	С тройными внешними выштамповками	С двумя отверстиями диаметром 20 мм	С тройными внешними выштамповками
С пенным наполнителем	131,72	37,28	0,03	0,106
Без пенного наполнителя	19,20	20,16	0,21	0,196

Выводы

1. Предложенная КЭМ обеспечивает моделирование с приемлемой для инженерных расчетов точностью (погрешность до 11%).
2. Использование пенного наполнителя позволяет значительно повысить энергоемкость сминаемых труб (в 1,6 раза) и уменьшить деформации (в 1,8 раз).
3. Использование пенного наполнителя позволяет существенно уменьшить влияние инициаторов деформаций (см. табл. 1).

Литература

1. Ahmad Z. Impact and Energy Absorption of Empty and Foam-filled Conical Tubes. School of urban development Queensland University of technology. 2009.
2. Зузов И.В. Моделирование продольного смятия передних лонжеронов кузова легкового автомобиля с учетом инициаторов деформаций // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 1. С. 34—37.

Статья поступила в редакцию 15.12.2012