

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ МОДУЛЕЙ ПОДУШЕК БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

А.В. Гонсалес Астуа

andresastua@yandex.ru

Р.Б. Гончаров

goncharov.roman@bmstu.ru

Т.С. Малищук

mts.npc@ya.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Подушка безопасности относится к пассивной системе безопасности автомобиля и является важнейшей (совместно с ремнем безопасности) системой, обеспечивающей защиту водителя и пассажиров при столкновении со статичным или движущимся объектом. Для создания научно-технической, конструкторской и технологической базы производства модулей подушек безопасности для автомобилей различных типов необходимо проведение ряда взаимосвязанных исследований и мероприятий, например определение номенклатуры отечественных материалов и сплавов, а также составов пиротехнических газогенерирующих зарядов для изготовления газогенераторов. Экспериментально определены механические свойства и элементный состав материалов деталей газогенераторов, установлены их отечественные аналоги, а также элементный химический состав пиротехнических газогенерирующих зарядов (основного и вспомогательного) и навески капсуля-воспламенителя. При исследованиях использовались экспериментальная методика натурного охлаждения модулей подушек безопасности для декомпозиции газогенераторов и получения необходимых образцов деталей, методика определения микротвердости образцов материалов для последующей оценки их пределов прочности, а также методики лазерно-атомной эмиссионной, рентгенофлуоресцентной, рентгеновской и инфракрасной спектроскопии, ионной и жидкостной хроматографии, комбинационного рассеяния и ядерного магнитного резонанса для определения элементного состава материалов

Ключевые слова

Модуль подушки безопасности, газогенератор, микротвердость, прочность, элементный состав, спектроскопия

Поступила 19.01.2022

Принята 03.02.2022

© Автор(ы), 2022

Введение. Механические и физические свойства материалов и сплавов, из которых производят детали и узлы газогенератора (ГГ) модулей подушек безопасности (ПБ) различных типов, определяются условиями их механического и теплового нагружения при функционировании исполнительного механизма модуль ПБ–ГГ и технологиями сборки ГГ. При этом необходимо учитывать, что ГГ является наиболее важным и наиболее нагруженным узлом модуля ПБ. Он принадлежит к классу пиротехнических устройств и в соответствии с классификацией ООН относится к 9-му классу опасности по UN 3268¹, т. е. должны безусловно выполняться требования к прочности при функционировании, технологичности при обработке и сборке неразъемного пиротехнического устройства, а также к обеспечению условий безопасного хранения и транспортировки^{2, 3} [1]. Очевидно, что все зависит от применяемых при изготовлении деталей ГГ материалов и сплавов, поэтому определение их номенклатуры — это важная и необходимая составляющая создания научно-технической базы для разработки и производства модулей ПБ.

В настоящей работе исследованы три типовых модуля ПБ — водительская фронтальная ПБ автомобиля (а/м) «Лада Гранта», фронтальная пассажирская ПБ а/м «Лендровер» и боковая ПБ (шторка) а/м «БМВ Х5». Охлаждение типовых модулей ПБ проведено с использованием современного высокоинформативного инструментария экспериментальной физики быстропротекающих процессов. Экспериментальная методика по охлаждению модулей ПБ различных типов и исследованию динамики их функционирования [2, 3] отработана в лаборатории «Физика быстропротекающих процессов» МГТУ им. Н.Э. Баумана на платформе специализированного экспериментального модуля «Исследование ударно-волновых процессов». Указанный модуль состоит из бронекамеры, высокоскоростной камеры PhantomV1210 (максимальная скорость съемки составляет 10⁶ кадр/с), прожекторов подсветки поля съемки ARRID40 и GSVITEC, а также специализированного пульта управления. Параметры высоко-

¹ № ООН 3268 «Устройства безопасности с электрическим инициированием».

² Правила ЕЭК ООН № 114. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения: I. Модуля подушки безопасности для сменной системы подушки безопасности; II. Сменного рулевого колеса, оснащенного модулем подушки безопасности официально утвержденного типа; III. Сменной системы подушки безопасности, устанавливаемой вне рулевого колеса.

³ ISO 12097-2:1996. Транспорт дорожный. Компоненты предохранительных подушек, автоматически заполняемых воздухом. Часть 2. Испытание модулей пневмоподушки.

скоростной съемки установлены в соответствии с предположительным временем процесса (до 40 мс) и скоростью раскрытия ПБ (до 80 м/с): скорость съемки 10^4 кадр/с; период между кадрами (скважность) 100 мкс; время экспозиции 10 мкс; разрешающая способность 1280×720 ; продолжительность съемки 4407 мкс. Характерные фрагменты высокоскоростной съемки процесса накачки и раскрытия ПБ трех типов модулей приведены на рис. 1.

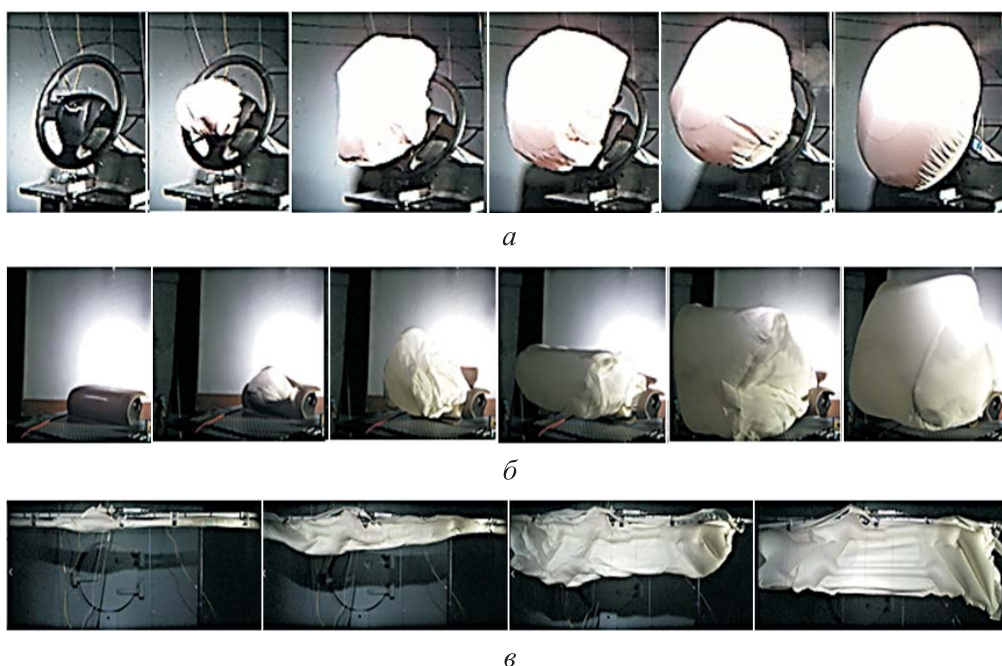


Рис. 1. Характерные фрагменты съемки раскрытия ПБ:
а — водительская ПБ а/м «Лада Гранта»; *б* — пассажирская ПБ а/м «Лендровер»;
в — боковая ПБ (шторка) а/м «БМВ Х5»

Экспериментальные исследования и их результаты. После проведенного охлаждения, практической декомпозиции и последующего синтеза 3D-моделей указанных модулей ПБ экспериментально определяли типы и прочностные характеристики материалов основных деталей ГГ. 3D-модели ГГ модулей водительской фронтальной ПБ а/м «Лада Гранта» с позиционированием деталей, материал которых подлежал определению, пассажирской фронтальной ПБ а/м «Лендровер» с аналогичным позиционированием деталей и боковой ПБ (шторки) а/м «БМВ Х5» с позиционированием двух наиболее нагруженных деталей приведены на рис. 2–4 соответственно. Отметим, что ГГ боковой ПБ относится к ГГ комбинированного типа, в полости корпуса которого находится нейтральный газ под высоким

давлением $\sim 20 \dots 60$ МПа. Поэтому наиболее нагруженными элементами такого ГГ являются его цилиндрический корпус и две торцевые запорные мембраны, которые могут срезаться лишь при срабатывании пиротехнического заряда-активатора с резким скачком давления на $10 \dots 100$ МПа.

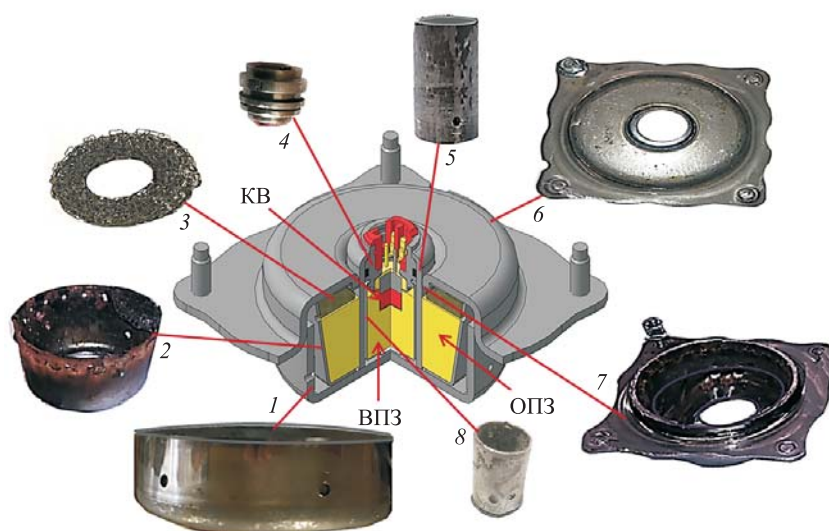


Рис. 2. Газогенератор фронтальной водительской ПБ а/м «Лада Гранта»:

- 1 — корпус ГГ; 2 — корпус камеры сгорания; 3 — сетка-фильтр; 4 — втулка воспламенительного устройства; 5 — стакан вспомогательного пиротехнического заряда (ВПЗ); 6 — крышка корпуса ГГ; 7 — прижимная шайба; 8 — оболочка-лейнер ВПЗ; ОПЗ — основной пиротехнический заряд; КВ — капсюль-воспламенитель

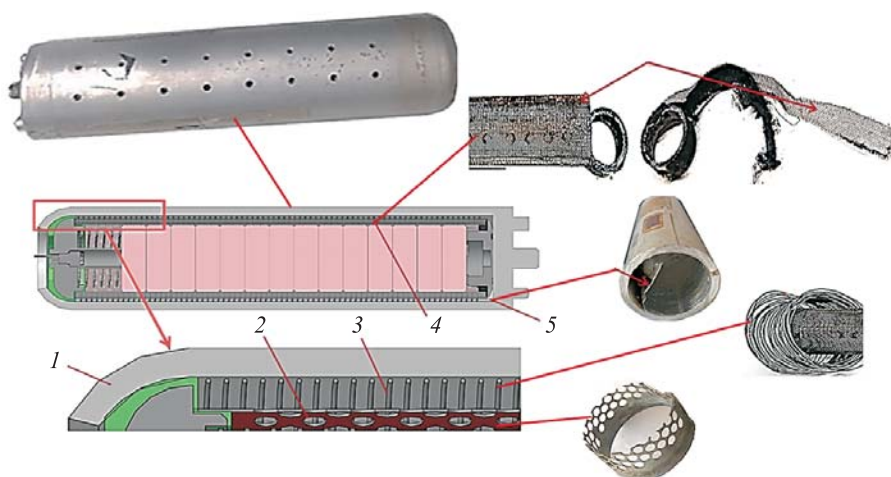


Рис. 3. Газогенератор фронтальной пассажирской ПБ а/м «Лендровер»:

- 1 — корпус ГГ; 2 — лейнер камеры сгорания; 3 — обмоточная проволока камеры сгорания; 4 — сетка-фильтр; 5 — лейнер на внутренней поверхности корпуса ГГ

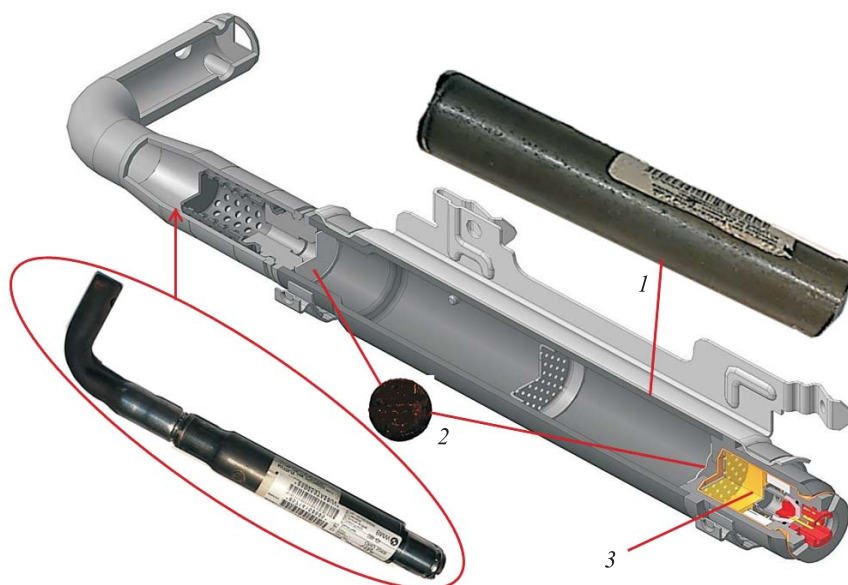


Рис. 4. Газогенератор боковой ПБ (шторки) а/м «БМВ Х5»:

1 — корпус ГГ; 2 — запорные мембраны; 3 — пиротехнический заряд-активатор

Образцы для исследований прочностных характеристик и элементного состава материалов деталей ГГ подготовлены из полученных методом практической декомпозиции деталей охлажденных ГГ (см. рис. 2–4). Для исследования механических свойств и типов материалов деталей использованы два метода: определение микротвердости по Виккерсу HV для оценки механических характеристик исследуемого материала [4]; лазерный атомно-эмиссионный спектральный анализ [5] для определения химического состава пробных образцов исследуемых материалов и последующего установления их соответствия аналогам из перечня марок отечественных материалов.

Микротвердость ряда образцов исследуемых материалов определяли с помощью микротвердомера DuraScan-20. При этом в соответствии с требованиями шероховатость поверхности испытуемых образцов была не более 1200 grit (по системе FEPA), т. е. соответствовала 6-му классу шероховатости по ГОСТ⁴. Результаты измерения микротвердости образцов (см. рис. 2 и 3) приведены в табл. 1 (номер детали в табл. 1 соответствует номеру детали на рис. 2, 3). Для каждой позиции проводили три измерения, а затем вычисляли среднее значение микротвердости. Приведен приблизительный перевод значений микротвердости по шкале Виккерса HV

⁴ ГОСТ 2789–73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики», М., Стандартиформ, 2018.

в значения предела прочности σ_B в соответствии с [6]. Погрешность перевода составляет $\pm 10\% \sigma_B$.

Таблица 1

Результаты измерения микротвердости

Номер детали	Измерение			Среднее значение	σ_B , МПа
	№ 1	№ 2	№ 3		
<i>Материалы ГГ а/м «Лада Гранта»</i>					
1	377	356	–	366	1190
2	200	207	200	202	665
4	332	315	315	321	1065
5	458	446	442	448	1405
6	345	374	380	366	1190
7	242	260	252	251	840
<i>Материалы ГГ а/м «Лендровер»</i>					
1	96,5	92,7	97,3	95,5	< 330
2	304	283	287	291	972
3	527	535	535	532	> 1500

После определения механических свойств исследуемых материалов необходимо установить их элементный состав и марки данных материалов и сплавов. Для этого использована лазерно-атомная эмиссионная спектроскопия (ЛАЭС) — метод атомно-эмиссионного спектрального анализа [5], в котором используются спектры плазмы лазерного пробы (лазерной искры). Лазерный пробой формируется при фокусировке импульсного лазерного излучения на поверхности образца. Для проведения экспериментов применялся лазерный спектрометр LAESMATRIX, у которого диапазон измерения массовых долей элементов находится в пределах $10^{-5} \dots 100\%$, спектральное разрешение составляет не более 0,05 нм, порог обнаружения химических элементов — не более $10^{-6}\%$. Схема эмиссии материала образца под действием лазерного излучения приведена на рис. 5. На извлеченном после исследования образце корпуса ГГ отчетливо видны оплавленные зоны эмиссии материала.

Элементный состав образцов материалов деталей (см. рис. 2–4) приведен в табл. 2–4 (номера деталей в табл. 2–4 соответствуют номерам деталей на рис. 2–4). В последней колонке указаны марки стали или алюминиевого сплава, которые являются приблизительными аналогами материалов, используемых для производства исследуемых образцов материалов деталей ГГ зарубежного производства. Поиск аналогов проводился по материалам справочника [7].

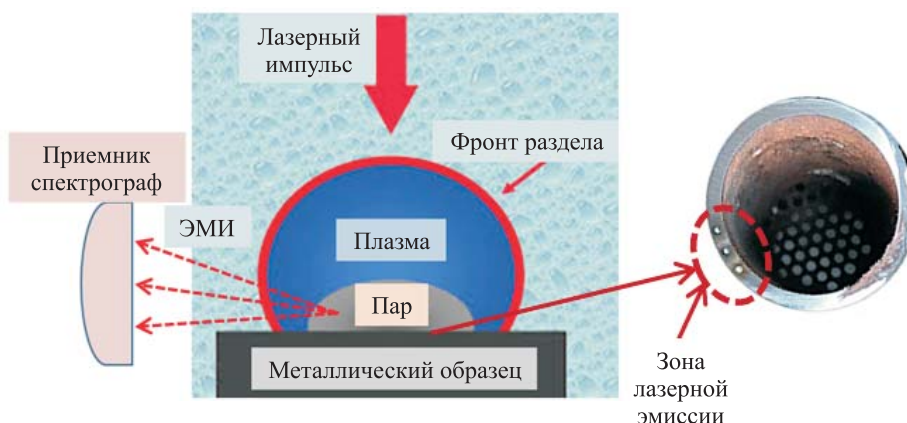


Рис. 5. Схема эмиссии (ЭМИ) исследуемого материала при воздействии импульса лазерного излучения

Таблица 2

Стальные образцы (основа Fe)

Номер детали	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	C, %	Марка
<i>Материалы ГГ а/м «Лада Гранта»</i>							
1	0,19	~2	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,1–0,2	12Г2А
2	0,07	0,3	< 0,1	< 0,1			ВСт2кп
3	0,65	0,75	15–17	< 0,1		0,09–0,12	12Х17
4	0,17	~ 2	0,15	0,02		≤ 0,1	12Г2А
5	0,22	~ 1,4	< 0,01	< 0,01			
6	0,24	~ 2					
7	0,10	0,25					
<i>Материалы ГГ а/м «Лендровер»</i>							
2	0,4–0,6	1,6	19–20	8,5–10	0,2–0,3	0,1–0,12	12Х18Н9
3						0,09–0,11	
4							

Таблица 3

Алюминийсодержащие образцы (основа Al)

Номер детали	Mg, %	Cr, %	Mn, %	Cu, %	Fe, %	Si, %	Марка
<i>Материалы ГГ а/м «Лада Гранта»</i>							
8	0,8–1,0	0,12	0,01	0,2	–	–	АД33
<i>Материалы ГГ а/м «Лендровер»</i>							
1	0,9–1,2	0,06	0,01	≪ 0,01	≪ 0,1	0,5–0,7	АК6
5	–	–	–	–	–	–	Технический Al

Материалы ГГ а/м «БМВ Х5»

Номер детали	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	V, %	Al, %	Основа	Марка
1	0,38	1,25	1,12	0,26	0,23	0,11	–	Fe	35ХМФЛ
2	0,6	0,2	28	Основа	–	–	3,2	Ni	ХН70Ю

Отметим, что в табл. 4 единственный элемент, значение которого существенно превышает стандартное для стали 35ХМФЛ, — это молибден (его содержание в исследованном образце корпуса ГГ почти в 2 раза превышает заданное в ГОСТ значение, а именно 0,08...0,12 %). Такая сталь обычно используется для изготовления методом литья ответственных деталей вагоностроения, тяжелого и транспортного машиностроения. Сплав ХН70Ю, из которого изготовлены запорные мембраны, выплавляется в открытых индукционных печах или с применением электрошлакового переплава и обычно используется для производства деталей камер сгорания и форсажных камер.

В целях верификации полученных результатов элементный состав материалов деталей ГГ модуля водительской ПБ а/м «Лада Гранта» (см. рис. 2) определяли также методом рентгенофлуоресцентного анализа [8] на энергодисперсионном спектрометре РЕАН 01.К фирмы АО «Научные приборы». В дополнение к этому использовали комплекс методов сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа на сканирующем электронном микроскопе с рентгеноспектральным микроанализатором JCM-6000 PLUS, а также метод оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Optima 5300DV с рабочим диапазоном длин волн 167...782 нм.

В результате проведенных исследований установлено, что качественный состав материалов корпуса 1 и крышки 6 ГГ, стакана вспомогательного заряда-усилителя 5 и втулки воспламенительного устройства 4 (см. рис. 2) соответствует элементному составу марганцовистой конструкционной низколегированной стали марок 09Г2 и 10Г2, которая применяется при изготовлении элементов сварных конструкций, полученных путем холодной или горячей деформации. Качественный состав металлической сетки-фильтра 3 соответствует элементному составу коррозионно-стойкой жаропрочной стали марок 95Х18 и 12Х17, применяемых при производстве изделий, длительно работающих при повышенных температурах.

Материал тонкостенного лейнера 8 (см. рис. 2), расположенного между корпусом ВПЗ-усилителя и зарядом, по элементному составу представляет собой технически чистый алюминий.

Следовательно, результаты исследований, проведенных на двух независимых лабораторно-испытательных комплексах, практически одинаковые как по маркам сталей для корпусов ГГ и ВПЗ-усилителя (марганцовистая конструкционная низколегированная сталь (09–12) Г2), так и для сетки-фильтра (жаропрочные стали марок 12Х18Н9, 12Х17 или 95Х18). Аналогичное заключение следует из сравнительного анализа результатов, полученных для тонкостенного лейнера (технически чистый алюминий).

Извлеченные из корпуса неохолощенного ГГ в процессе декомпозиции ОПЗ и ВПЗ и содержащее КВ (см. рис. 2) также были подвергнуты элементному анализу с использованием комплекса современных методик.

Ионный состав смесевых веществ исследовали на ионном хроматографе модели ICS-5000+. Хроматограф обеспечивает высокочувствительную (до 1 нг/мл) жидкостную хроматографию [9] для разделения катионов и анионов на ионообменниках низкой емкости. Это дает возможность определять большое число неорганических и органических ионов с высокой селективностью для малых объемов анализируемой пробы (не более 2 мл образца) в широком диапазоне определяемых концентраций (от 1 нг/мл до 10 000 мг/л).

В целях определения основных компонентов (с содержанием более 10 % (масс.)) смесевых веществ использован инфракрасный фурье-спектрометр модели Nicolet iS50, предназначенный для измерения содержания различных органических и неорганических веществ в твердых, жидких и газообразных образцах.

Как дополняющий инфракрасную спектроскопию, использован метод комбинационного рассеяния света (Раман-спектроскопия) [10] на спектрометре «ИнСпектр R532/20/1200» (РФ), который позволяет определять химический состав веществ в момент получения, использования и поставки. Идентификация вещества происходит в режиме реального времени путем сравнения уникального спектра колебаний молекул (молекулярных «отпечатков пальцев») со спектрами комбинационного рассеивания света стандартных образцов, хранящихся в базе данных.

Исследование методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с методом масс-спектрометрии в целях обнаружения энергонасыщенных органических соединений проводилось на жидкостном хроматографе модели Agilent 1100 с масс-спектрометром модели 6320 IonTrapLC/MS. Жидкостная хроматография с масс-спектрометрией — широко распространенный метод химического анализа, сочетающий физическое разделение жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией. Жидкостная хроматография разделяет смеси нескольких компо-

нентов, а масс-спектрометрия обеспечивает структурную идентичность отдельных компонентов с высокой чувствительностью.

Исследование энергонасыщенных органических веществ методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) проводили на спектрометре AvanceIII с рабочей частотой 600 МГц на ядрах ^1H . Подобно инфракрасной спектроскопии метод ЯМР выявляет информацию о молекулярном строении химических веществ, но при этом обеспечивает более полную информацию, чем инфракрасная спектроскопия, в том числе позволяет записывать спектры промежуточных частиц химических реакций.

Результаты проведенного анализа привели к следующим выводам.

1. Основной пиротехнический заряд представляет собой механическую смесь нитратов аммония NH_4NO_3 , калия KNO_3 и стронция $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ с диаммониевой солью 5,5'-бистетразола, что составляет 80 и 20 % (масс.) соответственно, а его объем равен $\sim 37 \text{ см}^3$. Нитраты аммония и калия широко используются в качестве высокоазотистых составов для ГГ модулей ПБ [11], а нитрат стронция, видимо, добавлен в пиротехнический заряд, потому что разлагаясь в пламени, он выделяет кислород, т. е. является дополнительным окислителем. Диаммониевая соль 5,5'-бистетразола также является высокоазотистым соединением, однако достоверных сведений о параметрах генерации азота при горении соли в доступных литературных источниках не содержится.

2. Вспомогательный пиротехнический заряд состоит из смеси нитрата калия KNO_3 (~ 70 % (масс.)) с 5-аминотетразолом NH_4CNH_2 (~ 20 % (масс.)) и металлическим молибденом игловидной формы (~ 10 % (масс.)), а его объем составляет $\sim 6 \text{ см}^3$. Здесь также использованы высокоазотистые соединения — нитрат калия и 5-аминотетразол, который при нагреве разлагается с выделением 80 % азота. Молибден обычно добавляется в пиротехнические заряды для снижения их чувствительности к трению при механических нагрузках.

3. Капсоль-воспламенитель, срабатывающий от напряжения бортовой электроцепи автомобиля и воспламеняющий вспомогательный заряд-усилитель, содержит воспламенительный пиротехнический заряд: смесь перхлората калия KClO_4 (~ 50 % (масс.)) и циркониевого порошка (~ 50 % (масс.)), а объем этой смеси равен $\sim 0,5 \text{ см}^3$. Цирконий, присутствующий в смеси, — это горючее, имеющее высокую скорость горения и самую высокую температуру горения (4650°C) среди металлических горючих, перхлорат калия — это сильный окислитель. Сочетание этих элементов обеспечивает стабильное и быстрое воспламенение вспомогательного заряда-усилителя.

Следовательно, основу ВПЗ и ОПЗ составляют высокоазотистые соединения, которые в настоящее время являются наиболее распространенными компонентами для производства пиротехнических зарядов, используемых в ГГ модулей ПБ [11–15].

Заключение. В результате экспериментального определения механических характеристик и элементного состава материалов основных деталей ГГ трех типов модулей ПБ, а также элементного состава ОПЗ, ВПЗ и КВ с достаточной степенью достоверности установлены аналоги отечественных марок сталей для изготовления корпусов ГГ, сетки-фильтра, корпуса вспомогательного заряда-усилителя, тонкостенных лейнеров и запорных мембран, а также состав пиротехнических зарядов (газогенерирующих составов) и КВ. Результаты проведенных исследований и анализа позволяют сформулировать перечень марок отечественных материалов и сплавов, а также газогенерирующего пиротехнического заряда для производства ГГ модулей ПБ в России.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Балабин И.В., Богданов В.В. Подушка как элемент обеспечения безопасности и ее эволюционные этапы инкорпорирования в конструкцию автомобиля. *Автомобильная промышленность*, 2019, № 2, с. 21–25.
- [2] Котиев Г.О., Петюков А.В., Гонсалес Астуа А.В. Экспериментально-теоретический метод исследования особенностей функционирования модулей подушек безопасности автомобиля. *Труды НАМИ*, № 2, с. 15–24.
DOI: <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2021-2-15-24>
- [3] Андреев С.Г., Бойко М.М., Селиванов В.В. Экспериментальные методы физики взрыва и удара. М., ФИЗМАТЛИТ, 2013.
- [4] Давиденков Н.Н. Механические свойства и испытание материалов. М., Книга по Требованию, 2017.
- [5] Фриш С.Э. Техника спектроскопии. М., Книга по Требованию, 2013.
- [6] Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. М., Машиностроение, 2001.
- [7] Драгунова Ю.Г., Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов. М., Машиностроение, 2015.
- [8] Афонин В.П., Комяк Н.И., Николаев В.П. и др. Рентгенофлуоресцентный анализ. Новосибирск, Наука, 1991.
- [9] Конюхов В.Ю. Хроматография. М., Лань, 2012.
- [10] Погорелов В., Лизенгевич А., Кривенко Б. Раман-спектроскопия процессов релаксации в жидкостях. Саарбрюккен, Lambert Academic Publ., 2016.
- [11] Мельников В.Э. Современная пиротехника. М., Наука, 2014.
- [12] Алешин В.В., Широкова Г.Н. Пиротехнические составы для получения азота на основе азидов. *Химическая физика*, 1999, т. 18, № 2, с. 72–79.

[13] Neutz J., Ebeling H., Hill W., et al. Gas generators for deep drawing. *Propellants Explos. Pyrotech.*, 2002, vol. 27, no. 3, pp. 175–178.

DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-4087\(200206\)27:3<175::aid-prep175>3.0.co;2-1](https://doi.org/10.1002/1521-4087(200206)27:3<175::aid-prep175>3.0.co;2-1)

[14] Балабин И.В., Богданов В.В. Конструкция подушек безопасности и основные принципы механизма ее срабатывания. *Автомобильная промышленность*, 2019, № 4, с. 15–18.

[15] Гонсалес Астуа А.В., Гончаров Р.Б., Петюков А.В. Метод расчета на прочность корпуса газогенератора автомобильной подушки безопасности. *Вестник МАДИ*, 2022, № 1 (68), с. 3–11.

Гонсалес Астуа Андрес Виктор — студент кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Гончаров Роман Борисович — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Малищук Тарас Сергеевич — аспирант кафедры «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Гонсалес Астуа А.В., Гончаров Р.Б., Малищук Т.С. Экспериментальный анализ элементного состава материалов для изготовления газогенераторов модулей подушек безопасности автомобиля. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2022, № 2 (141), с. 75–88. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2022-2-75-88>

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF ELEMENTAL COMPOSITION OF MATERIALS USED TO MANUFACTURE GAS GENERATORS FOR VEHICLE AIRBAG MODULES

A.V. Gonsales Astua

andresastua@yandex.ru

R.B. Goncharov

goncharov.roman@bmstu.ru

T.S. Malishchuk

mts.npc@ya.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The airbag is a part of the Supplementary Restraint System; along with the safety belt, it is the most important system that protects the driver and passengers if the vehicle collides with static or moving objects. Certain interrelated studies and measures are required so as to develop scientific, technical, design and technological foundations

Keywords

Airbag module, gas generator, microhardness, strength, elemental composition, spectrometry

for producing airbag modules for various vehicle types: for example, determining the range of suitable domestic materials and alloys, as well as the compositions of pyrotechnic gas-generating charges to manufacture gas generators. We experimentally evaluated mechanical properties and elemental composition of materials that gas generator parts consist of, which allowed us to establish their domestic analogues. We determined the elemental chemical composition of pyrotechnic gas-generating charges (main and auxiliary) and the primer igniter charge. We used the following methods in our work: an experimental full-scale airbag module deactivation method for subsequently decomposing gas generators to obtain the necessary sample parts to investigate; a method for determining the microhardness of material samples to subsequently evaluate their ultimate tensile strengths; finally, laser-induced breakdown spectroscopy, X-ray fluorescence spectrometry, X-ray and infrared spectroscopy, ion and liquid chromatography, Raman spectroscopy and nuclear magnetic resonance to determine the elemental composition of materials

Received 19.01.2022

Accepted 03.02.2022

© Author(s), 2022

REFERENCES

- [1] Balabin I.V., Bogdanov V.V. Airbag as the element of constructive safety and its main evolutionary stages of incorporation in the vehicle's design. *Avtomobil'naya promyshlennos'*, 2019, no. 2, pp. 21–25 (in Russ.).
- [2] Kotiev G.O., Petyukov A.V., Gonsales Astua A.V. Experimental-theoretical method for studying the vehicle airbag modules functioning. *Trudy NAMI*, no. 2, pp. 15–24 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2021-2-15-24>
- [3] Andreev S.G., Boyko M.M., Selivanov V.V. *Eksperimental'nye metody fiziki vzryva i udara* [Experimental methods of explosion and impact physics]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2013.
- [4] Davidenkov N.N. *Mekhanicheskie svoystva i ispytanie materialov* [Mechanical properties and material testing]. Moscow, Kniga po Trebovaniyu Publ., 2017.
- [5] Frish S.E. *Tekhnika spektroskopii* [Spectroscopy technics]. Moscow, Kniga po Trebovaniyu Publ., 2013.
- [6] Anur'yev V.I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya. T. 1* [Handbook of mechanical engineer designer. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001.
- [7] Dragunova Yu.G., Zubchenko A.S. *Marochnik staley i splavov* [Steels and alloys grade guide]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2015.
- [8] Afonin V.P., Komyak N.I., Nikolaev V.P., et al. *Rentgenoflourestsentnyy analiz* [X-ray fluorescence analysis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991.

- [9] Konyukhov V.Yu. *Khromatografiya* [Chromatography]. Moscow, Lan' Publ., 2012.
- [10] Pogorelov V., Lizengevich A., Krivenko B. Raman-spektroskopiya protsessov relaksatsii v zhidkostyakh [Raman spectroscopy of relaxation processes in liquids]. Saarbrücken, Lambert Academic Publ., 2016.
- [11] Mel'nikov V.E. *Sovremennaya pirotehnika* [Modern pyrotechnics]. Moscow, Nauka Publ., 2014.
- [12] Aleshin V.V., Shirokova G.N. Pyrotechnic compositions for nitrogen production based on azides. *Khimicheskaya fizika*, 1999, vol. 18, no. 2, pp. 72–79 (in Russ.).
- [13] Neutz J., Ebeling H., Hill W., et al. Gas generators for deep drawing. *Propellants Explos. Pyrotech.*, 2002, vol. 27, no. 3, pp. 175–178.
DOI: [https://doi.org/10.1002/1521-4087\(200206\)27:3<175::aid-prep175>3.0.co;2-1](https://doi.org/10.1002/1521-4087(200206)27:3<175::aid-prep175>3.0.co;2-1)
- [14] Balabin I.V., Bogdanov V.V. Design of airbags and basic principles response its mechanism. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2019, no. 4, pp. 15–18 (in Russ.).
- [15] Gonsales Astua A.V., Goncharov R.B., Petyukov A.V. The method of strength calculation of the automobile airbag gas generator body. *Vestnik MADI*, 2022, no. 1 (68), pp. 3–11 (in Russ.).

Gonsales Astua A.V. — Student, Department of Wheeled Machines, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Goncharov R.B. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer, Department of Wheeled Machines, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Malishchuk T.S. — Post-Graduate Student, Department of High-Precision Airborne Devices, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Gonsales Astua A.V., Goncharov R.B., Malishchuk T.S. Experimental analysis of elemental composition of materials used to manufacture gas generators for vehicle airbag modules. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2022, no. 2 (141), pp. 75–88 (in Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2022-2-75-88>