

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОРМОЗНОГО ФРИКЦИОННОГО КОМПОЗИТА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.Г. Агбалян, Г.Н. Меликсетян

*Национальный политехнический университет Армении*

В соответствии с требованиями международных стандартов проведены сравнительные экспериментальные исследования работоспособности широко распространенных на рынке запчастей Республики Армения тормозных фрикционных материалов и фрикционного композита типа Бастенит-9, изготовленного из многокомпонентных материалов. Показано, что композит Бастенит-9 имеет более высокую работоспособность, и поэтому его рекомендуется применять в производстве фрикционных накладок дисковых тормозов легковых автомобилей. Высокие фрикционные и износные показатели тормозного фрикционного композита, изготовленного из многокомпонентных материалов, объясняются концепциями усталостно-деламинационной теории износа.

**Ключевые слова:** тормозной фрикционный материал, композит, фрикционная накладка, эффективность торможения, износостойкость, продукты износа.

**Введение.** Как показывает анализ многочисленных публикаций последних лет в области фрикционного материаловедения и опыт эксплуатации тормозных устройств, фрикционные безасбестовые композиционные материалы (ФБКМ) пока еще являются перспективными при изготовлении фрикционных накладок тормозных устройств. При этом более перспективными являются ФБКМ с комбинированными связующими, как материалы с управляемыми свойствами, и для разработки новых композитов следует путем ввода в композиционный состав материала обеспечить уменьшение тормозного пути и шумового спектра, увеличение коэффициента трения в условиях высоких температур и удельных давлений, а также экологическую безопасность окружающей среды [1, 2]. Кроме того, новые материалы должны соответствовать требованиям международных стандартов.

Ранее в Национальном политехническом университете Армении нами был разработан новый ФБКМ типа Бастенит-9 на основе многокомпонентных материалов, обеспечивающий высокие фрикционные и износные характеристики в условиях высоких температур ( $650...750^{\circ}\text{C}$ ) и удельных давлений ( $8 \text{ МПа}$ ) и не содержащий в композиционном составе вредного асбестового волокна [3]. Однако для использования разработанного материала в качестве фрикционных накладок дисковых тормозных устройств легковых

автомобилей следует проверить его работоспособность в соответствии с требованиями международных стандартов [4,5].

**Цель работы.** Целью работы является сравнительная оценка работоспособности ФБКМ типа Бастенит-9 и фрикционных материалов ведущих европейских фирм Texter, Bosh и АТЕ, прошедших испытания согласно требованиям международных стандартов [4].

**Результаты исследования.** Сравнительные испытания выбранных материалов проводились в натурном узле на инерционном стенде ТС-1 [1] в соответствии с параметрами международных стандартов [4]. Режимные параметры и этапы испытаний представлены в табл.1.

Таблица 1

Этапы и режимные параметры стендовых испытаний

№	Этапы испытаний (выходные данные)	Параметр			
		начальная скорость торможения, V, м/с	поверхностная температура накладки, θ, °C	периодич- ность торможения, t, с	количество торможений, Z
1	Приработка	22,2	до 100 °C	—	—
2	Определение потери эффективности торможения (зависимость замедления от числа торможений и температуры при повторнократковременном торможении)	31,9	начальная 50 °C	60	15
3	Определение восстанавливаемости эффективности торможения (зависимость замедления от температуры при постепенном охлаждении)	31,9	начальная θ 15-го торможения 2-го пункта до 100 °C	с охлаждением 50 °C	3  для каждой температуры
4	Определение износостойкости накладок	31,9.. .13,4	начальная- 100 °C, конечная- 200 °C	—	15

Результаты экспериментов по определению потери и восстанавливаемости эффективности торможения (замедления) в зависимости от числа торможений и поверхностной температуры представлены на рис.1.

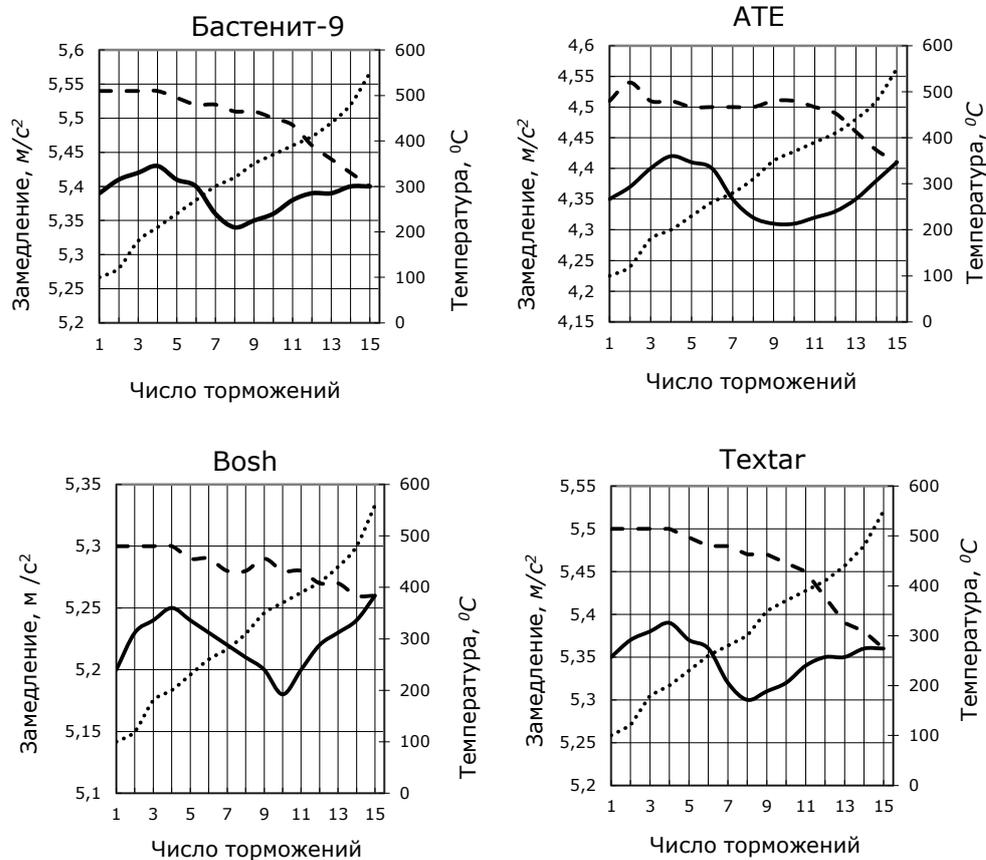


Рис. 1. Зависимости потери (—) и восстанавливаемости (---) эффективности торможения от поверхностной температуры (.....) и числа торможений

Как видно из рисунка, при определении потери эффективности торможения выделяются три основные температурные зоны изменения потери эффективности в зависимости от поверхностной температуры. Первоначально при повышении температуры наблюдается повышение эффективности торможения до  $180...210^{\circ}\text{C}$ , далее происходит ее уменьшение до  $210...320^{\circ}\text{C}$ . С повышением температуры выше  $320^{\circ}\text{C}$  имеет место повторное повышение эффективности торможения. Аналогичные изменения не наблюдаются при определении восстанавливаемости эффективности торможения с уменьшением поверхностной температуры от  $550$  до  $100^{\circ}\text{C}$ . Во всех случаях имеет место повышение эффективности торможения, что связано с изменением свойств тонких поверхностных слоев из-за протекающих механохимических и других изменений [1].

Анализ результатов показывает также, что во всем диапазоне поверхностных температур (100...600 °С) фрикционные накладки, изготовленные из композита типа Бастенит-9, по показателям стабильности эффективности торможения превосходят остальные. В условиях повышения температуры диапазон изменения значений замедления находится в пределах 5,34...5,43 м/с<sup>2</sup>, тогда как для материалов Textar, АТЕ и Bosh аналогичные изменения происходят в пределах 4,21...5,38 м/с<sup>2</sup>. Из рис. 1 видно, что показатели фрикционных накладок из композита Бастенит-9 находятся на более высоком уровне, и амплитуда их колебаний не превышает 15%, что удовлетворяет требованиям стандарта [4, 5]. Кроме того, зона минимальных значений потери эффективности торможения смещена в область более высоких температур, что свидетельствует о высокой теплостойкости композита Бастенит-9.

Результаты экспериментов по определению эффективности торможения (замедления) в зависимости от скорости автомобиля и давления в приводе представлены на рис. 2.

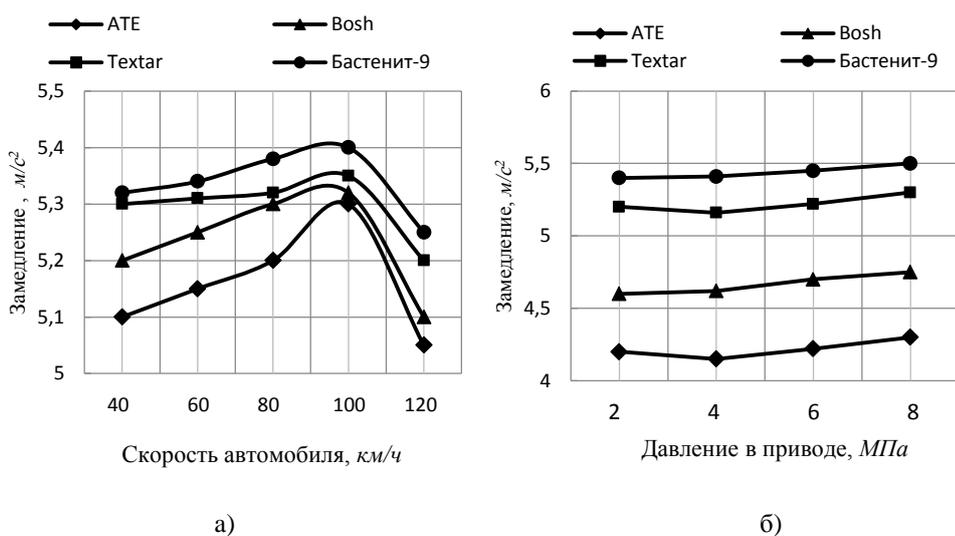


Рис. 2. Зависимости эффективности торможения от скорости автомобиля (а) и давления в приводе (б)

Фрикционные накладки из композита Бастенит-9 имеют более высокие и стабильные показатели по эффективности торможения в зависимости от скорости передвижения автомобиля и давления в приводе и превосходят показатели композитов Textar, АТЕ и Bosh. При этом разница максимальных и минимальных значений замедления для накладок из Бастенита-9 не превышает

0,15 м/с<sup>2</sup>, тогда как для остальных композитов она составляет более 0,21 м/с<sup>2</sup>, что также подтверждает факт стабильности и теплостойкости характеристик работоспособности композита Бастенит-9 по сравнению с другими композитами.

Для определения износостойкости композитов проводились эксперименты согласно методике табл. 1 и измерялись линейные износы фрикционных накладок. Далее, согласно требованиям [4], рассчитывались энергетические износостойкости по формуле

$$I = \frac{A_y \cdot Z^2}{\Delta h \cdot \sum_{i=1}^z t_i} \text{ Дж}/(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм}),$$

где  $A_y$  – удельная работа сил трения при  $Z$  торможениях;  $\Delta h$  – линейный износ фрикционных накладок;  $t_i$  – время при  $i$ -ом торможении.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Износостойкость фрикционных накладок

Композит	Расчетный параметр				
	линейный износ, мм	количество торможений	удельная работа сил трения, Дж	суммарное время торможения, с	износостойкость, кДж/(см <sup>2</sup> · с · мм)
Textar	0,42	15	2820	518,71	2,913
ATE	0,46			527,53	2,615
Bosh	0,47			527,13	2,936
Бастенит-9	0,41			492,12	3,145

По свойствам износостойкости композит Бастенит-9 превосходит аналоги, из которых более износостойким является композит типа Textar.

Таким образом, предлагаемый композит типа Бастенит-9, изготовленный из многокомпонентных материалов, по трибологическим свойствам во всем рабочем температурном интервале превосходит выбранные аналоги, проявляет более устойчивые и высокие характеристики торможения и удовлетворяет требованиям международных стандартов Европейского экономического комитета [4,5].

Анализ и обобщение результатов исследований процессов высокотемпературного фрикционного взаимодействия материалов пар трения тормозных устройств приводят к необходимости выделения двух основных постоянно

действующих факторов [1]: с одной стороны, фактор механохимических и структурных изменений материала рабочего слоя, с другой - фактор действующего напряженно-деформированного состояния. Первый фактор непрерывно и необратимо меняет свойства материала, а второй - способствует разрушению рабочего поверхностного слоя. Каждый из них по-своему влияет на процессы трения и износа и вносит существенные коррективы в трибологические характеристики фрикционного материала в зависимости от температурно-временных и нагрузочно-скоростных параметров.

Термодинамическое состояние продуктов износа выявляет, какой именно из этих факторов является доминирующим. Для определения термодинамического состояния продуктов износа проводились их исследования методом дифференциально-термического анализа. Продукты износа исследуемых композитов весом 25 мг, образовавшиеся при одном полном цикле испытаний, в нагревательной камере дериватографа ОД-102 нагревались со скоростью  $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  по программе до  $1000^{\circ}\text{C}$ . Результаты экспериментальных данных приведены на рис. 3.

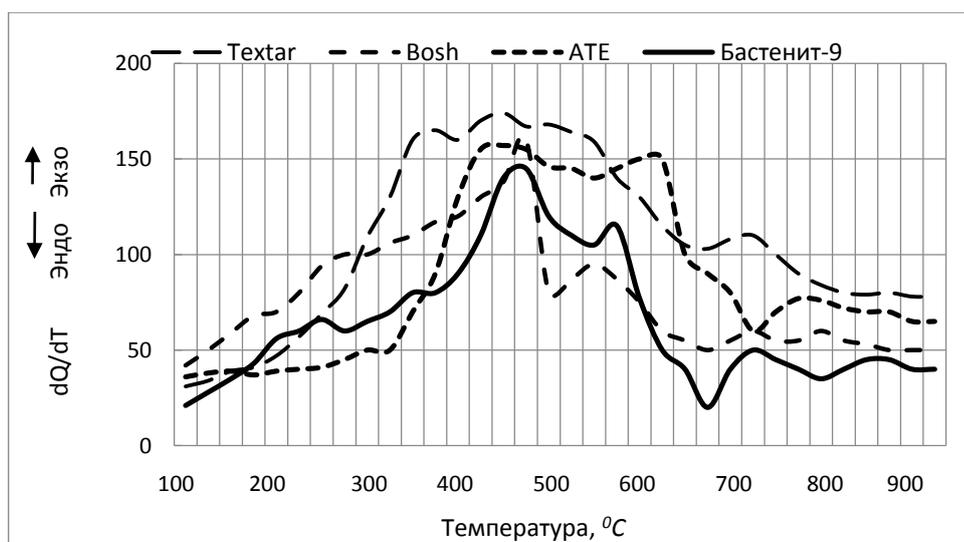


Рис. 3. Кривые дифференциально-термического анализа композитов при нагреве со скоростью  $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  по программе до  $1000^{\circ}\text{C}$

Экзотермический характер кривых показывает, что при нагреве продукты износа отличаются выделением тепла. Это, в свою очередь, указывает на то, что продукты износа находятся в термически неравновесном и активном состоянии.

Объяснить процесс образования продуктов износа, основываясь только на механохимических изменениях, не представляется возможным. Располагая определенной термодинамической активностью, продукты износа могли бы и

дальше поглощать определенную теплоту на поверхности трения, однако они экструдировались из зоны фрикционного контакта в результате растрескивания рабочего слоя под воздействием больших поверхностных напряжений.

Механизм высокотемпературного разрушения поверхностных слоев композитов характеризуется аккумуляцией повреждений в подповерхностном слое, и наиболее полно процесс высокотемпературного изнашивания выбранных композитов объясняется концепциями усталостно-деламинационного разрушения поверхностей трения.

**Заключение.** Сравнительные экспериментальные исследования работоспособности широко распространенных на рынке запчастей Армении тормозных фрикционных материалов и фрикционного композита типа Бастенит-9, изготовленного из многокомпонентных материалов, показывают, что Бастенит-9 имеет более высокую работоспособность, и поэтому его рекомендуется применять в производстве фрикционных накладок дисковых тормозов легковых автомобилей. Высокие фрикционные и износные показатели тормозного фрикционного композита, изготовленного из многокомпонентных материалов, объясняются концепциями усталостно-деламинационной теории износа.

*Работа выполнена в рамках научных тем базовых научно-исследовательских лабораторий “Трибология” и “Материаловедение и металлургия” НПУА за 2014-2015 гг. при финансовой поддержке ГКН МОН РА.*

#### Литература

1. Фрикционные композиты на основе полимеров / **А.К. Погосян, П.В. Сысоев, Н.Г. Меликсетян и др.**- М.: Информтрибо, 1992.- 218 с.
2. **Մելիքսեթյան Գ.Ն.** Արգելակային շփանյութերի զարգացման հիմնական ուղղությունները // Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2016.- Մաս 2.- Էջ 622-628:
3. ՀՀ Գյուտի արտոնագիր N 2909A.- Շփական բաղադրանյութ / **Ա.Կ. Պողոսյան, Ն.Գ. Մելիքսեթյան, Գ.Ն. Մելիքսեթյան** // ԱՐԴՅՈՒՆԱԲԵՐԱԿԱՆ ՍԵՓԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ, Պաշտ. Տեղ. N1.- Երևան, 2015:
4. **ГОСТ Р 41.13—99** (Правила ЕЭК ООН № 13). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категории М, N и О в отношении торможения.- М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 2006.
5. **ГОСТ Р ИСО 41.13-Н-99.** Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей в отношении торможения.- М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 1999.

*Поступила в редакцию 05.12.2016.  
Принята к опубликованию 14.04.2017.*

**ԲԱԶՄԱԲԱՂԱԴՐԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐԻՑ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ ԱՐԳԵԼԱԿԱՅԻՆ ՇՓԱԿԱՆ  
ԿՈՄՊՈԶԻՏԻ ԱՇԽԱՏՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

**Ս.Գ. Աղբալյան, Գ.Ն. Մելիքսեթյան**

Ըստ միջազգային ստանդարտների պահանջների՝ կատարվել են Հայաստանի Հանրապետության ավտոպահեստամասերի շուկայում լայն տարածում գտած արգելակային շփանյութերի և Բաստենիտ-9 տիպի բազմաբաղադրիչ նյութերից պատրաստված կոմպոզիտի աշխատունակության համեմատական փորձագիտական հետազոտություններ: Ցույց է տրված, որ Բաստենիտ-9-ը ունի ավելի բարձր աշխատունակություն, և առաջարկվում է այն կիրառել մարդատար ավտոմեքենաների սկավառակային արգելակների շփական ներդրակներ պատրաստելու համար: Բազմաբաղադրիչ նյութերից պատրաստված արգելակային շփական կոմպոզիտի շփման և մաշման բարձր ցուցանիշները բացատրվում են մաշման հոգնածային-ապալամինացման տեսությունների դրույթներով:

**Առանցքային բառեր.** արգելակային շփանյութ, կոմպոզիտ, շփական ներդրակ, արգելակման արդյունավետություն, մաշակայունություն, մաշման արգասիքներ:

**INVESTIGATING THE PERFORMANCE OF THE FRICTION BRAKE COMPOSITE  
MADE FROM MULTICOMPONENT MATERIALS**

**S.G. Aghbalyan, G.N. Meliksetyan**

According to the requirements of international standards, comparative experimental studies on the performance of brake friction materials and the friction composite Bastenit-9 made of multicomponent materials and widely used in the market of spare parts in Armenia are conducted. It is shown that Basten-9 has a higher efficiency and that is why it is recommended to be used in the production of friction linings of disc brakes of cars. High friction and wear performance of the composite made from multi-component materials are explained by the concepts of fatigue-delamination wear theories.

**Keywords:** brake friction material, composite, friction lining, braking performance, wear resistance, wear particles.