

К. В. Вишнеvский, доц., канд. техн. наук;  
Т. Ю. Савицкая, науч. сотр. (БГТУ, г. Минск);  
А. С. Антонов, доц., канд. техн. наук (ГрГУ, г. Гродно);  
А. Г. Баннов, доц., д-р хим. наук  
(НГТУ НЭТИ, г. Новосибирск, Российская Федерация)

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИННЫХ РЕЗИН**

Метод динамического механического анализа (ДМА) применяется для исследования вязкоупругих свойств материалов (модуля упругости  $E'$ , модуля потерь  $E''$ , комплексного модуля  $E^*$ , тангенса угла механических потерь  $\tan \delta$ ) в зависимости от времени, температуры или частоты при различных осциллирующих нагрузках. Измерения проводятся согласно DIN 53513, ASTM D 5992-96, ASTM D 4065, ASTM D 5024 на приборе DMA GABO Eplexor 500N.

Сущность метода заключается в следующем: к образцу, размещенному между двух параллельных пластин, прикладывают динамическую сжимающую нагрузку. Вынужденная деформация образца осуществляется при фиксированной частоте с линейным изменением температуры или при переменной частоте (значительно ниже собственной резонансной частоты колебаний образца) в изотермических условиях. В процессе испытания измеряют модуль упругости (и/или модуль потерь) и тангенс угла механических потерь материала при сжатии.

Модуль упругости пропорционален максимальной энергии, запасенной во время цикла нагружения, и является мерой жесткости вязкоупругого материала. Модуль потерь пропорционален энергии, которая рассеивается (теряется) во время цикла нагружения. Тангенс угла механических потерь ( $\tan \delta$ ) – это отношение динамического модуля механических потерь к динамическому модулю упругости при сдвиге или, иными словами, отношение модуля вязкости к модулю упругости. По сути своей угол  $\delta$  характеризует механические потери, т.е. долю механической энергии, перешедшую в тепло, или долю рассеянной энергии за цикл деформации в единице объема.

Метод динамического механического анализа позволяет получить информацию об изменении механических характеристик ( $E'$ ,  $E''$  и  $\tan \delta$ ) под действием динамической нагрузки (определенной силы при определенной частоте) и контролируемой температуры. Графики модуля упругости, модуля потерь, комплексного модуля и тангенса дельта (тангенса угла механических потерь) в зависимости от частоты,

времени или температуры демонстрируют существенные переходные стадии термомеханических свойств полимерных систем.

Требование низких гистерезисных потерь резин является одним из важнейших факторов для шин, эксплуатируемых в условиях повышенных нагрузок и температур, влияние оказывает и состояние дорожного покрытия. Для крупногабаритных шин, эксплуатирующихся с большим плечом пробега теплообразование и, следовательно, гистерезисные потери в деталях шины становятся фактором, определяющим надежность и долговечность. Уменьшение теплообразования в шине резко повышает ее долговечность. Нагрев шины показывает интенсивность внутреннего трения и возможное снижение прочности материалов и связи между деталями шины.

Для исследования упруго-гистерезисных свойств эластомерных композиций, применяемых для изготовления разных деталей шины, был использован метод динамического механического анализа, позволяющий зафиксировать значения модуля упругости и модуля потерь при постоянной скорости нагрева в установленном интервале температур под действием на образец нагрузки с определенной частотой и силой. По значению показателя «тангенс угла механических потерь при температуре +70°C, который характеризует соотношение между вязкой и эластичной составляющими, т.е. долю механической энергии, перешедшую в тепло за счет разогрева внутренних слоёв резины, может быть оценен вклад в теплообразование отдельных элементов шины. Чем тангенс ниже, тем меньше теплообразование.

Испытания исследуемых резин были проведены на DMA GABO Eplexor 500N в режиме сжатия цилиндрических резиновых образцов размером (10,0x10,0) мм при частоте 11 Гц с постоянным повышением температуры от +55 °C до +75°C (шаг 5°C), скорость нагрева 2 К/мин, предварительная нагрузка на образец 7,5 Н, статическое усилие 0,5600 МПа, динамическое усилие 0,5000 МПа.

Исследованы серийные (образец 1), а также опытные (образец 2) рецептуры резиновых смесей для подканавочного слоя радиальных ЦМК шин.

Результаты определения упруго-гистерезисных свойств исследуемых резин подканавочного слоя представлены в таблице.

Результаты динамического механического анализа показали, что более низкие гистерезисные потери при температуре +70°C в подканавочном слое имеет опытный образец. Снижение на ~14% доли механической энергии, переходящей в тепло, в опытном образце в сравнении с серийным получено в основном за счёт снижения модуля потерь, которое составило ~30% и на 20% модуля накопления – сниже-

ние  $E''$  в 1,8–2,0 раза. В результате, снижение комплексного модуля  $E^*$ , позволяющего характеризовать упруго-гистерезисные свойства двумя независимыми показателями ( $E'$  – характеризует только упругость и  $E''$  – только внутреннее трение), составило ~20%.

**Таблица – Результаты динамического механического анализа образцов резин подканавочного слоя**

№ испытания	Наименование резиновой смеси	Температура, °С	Модуль накопления, $E'$ , МПа	Модуль потерь, $E''$ , МПа	$\tan \delta$
1	образец 1	60	5,2455	0,5780	0,1102
		<b>70</b>	<b>5,0320</b>	<b>0,5181</b>	<b>0,1030</b>
2	образец 2	60	3,9200	0,3634	0,0634
		<b>70</b>	<b>3,7905</b>	<b>0,3291</b>	<b>0,0868</b>

Таким образом, внесение корректировок в рецептуру резин позволило снизить потери при деформации и тем, самым уменьшить теплообразование в объеме резин. При этом, применение метода динамического механического анализа позволило комплексно оценить упруго-гистерезисных свойства эластомерных композиций, применяемых для изготовления деталей шин без полноценных испытаний с производством опытных партий.

УДК 662.749.319+665.948.1:66.095.26-097

Е. М. Осипёнок, ассист.,  
 Д. В. Прищепенко, ст. преп., канд. техн. наук;  
 А. И. Юсевич, доц., канд. хим. наук;  
 И. В. Войтов, ректор, д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### **СИНТЕЗ И СВОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМОЛ НА ОСНОВЕ СКИПИДАРА И $C_9$ – $C_{11}$ –ФРАКЦИИ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА**

В настоящее время ведущим процессом нефтехимической промышленности для производства непредельных мономеров является пиролиз углеводородного сырья. Однако при пиролизе помимо основных продуктов – этилена и пропилена – в достаточно большом количестве, до 40 мас. %, образуются побочные жидкие продукты. Повышение экономической ценности отходов возможно за счет их использования для получения новых видов продукции [1].

Одним из основных применений тяжелой смолы пиролиза является синтез нефтеполимерной смолы, используемой в качестве мягчителя в шинной промышленности вместо инден-кумароновых каменноугольных смол. Нефтеполимерные смолы характеризуются высо-