

УДК 678.4.046

А.О. Несиоловский, ассистент; М.Е. Соловьев, профессор
Ярославского государственного технического университета

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРОВ АДГЕЗИИ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ОБКЛАДОЧНЫХ РЕЗИН

The research deals with the regularities of the influence of the adhesion of modifiers on the elastic properties and on a structure of the coating-type rubber for create a correct calculated model of all-steel tire deflected mode. This model allow to records a changing properties of rubber component during exploitation.

Создание конкурентоспособных шин – это одна из наиболее актуальных проблем, которой совместно занимаются кафедра «Химии и технологии переработки эластомеров» Ярославского государственного технического университета и Ярославский шинный завод.

До настоящего времени проектировщики создавали шины эмпирически, базируясь на имеющемся опыте. Для создания конкурентоспособной продукции необходимо конструировать шины, долговечность которых в условиях эксплуатации можно было бы спрогнозировать. В связи с развитием компьютерной техники прогнозирование напряженно-деформированного состояния покрышки в условиях эксплуатации стало возможным за счет применения метода конечных элементов. Этот метод реализован в универсальном конечно-элементном пакете «ANSYS», который считается одним из наиболее мощных по своим вычислительным возможностям.

В методе конечных элементов рассматриваемая сплошная среда расчленяется воображаемыми линиями на конечные элементы произвольной формы и строится идеализированная среда, физические свойства которой должны как можно ближе соответствовать свойствам реальной сплошной среды. Поэтому одно из основных требований, предъявляемых к данному методу, – это применение корректных физических моделей, позволяющих в полной мере учесть свойства материалов, т. е. создание моделей с использованием точно оцененных упругих констант применяемых сред и с исследованным характером изменения этих констант в процессе эксплуатации покрышки.

В настоящее время наиболее перспективными покрышками считаются металлокордные, но их слабым звеном является система резина – металл, поскольку при динамических режимах нагружения покрышки граница раздела резина – металл является местом концентрации перенапряжений, на котором вследствие значительного различия упругих характеристик контактирующих элементов образуются дефекты в виде отслоения. В процессе эксплуатации они развиваются, приводя к разрушению системы. До настоящего времени при составлении рецептур обкладочных резин появления этих дефектов старались избежать, применяя модификаторы адгезии в виде солей металлов переменной валентности, но при этом не учитывали их влияние на изменение упругих свойств и структуры резины в процессе динамического утомления.

Серийно применяемым модификатором на Ярославском шинном заводе является промышленно выпускаемый нафтенат кобальта. Но недавно одна из фирм, занимающихся разработками химикатов, предложила аналогичную продукцию, к тому же более дешевую – октоат кобальта. Для корректных выводов о возможности промышленного использования разработанного продукта необходимо было провести сравнительный анализ модификаторов.

Таким образом, задачей исследования явилась комплексная оценка влияния модификаторов адгезии на упругие свойства и структуру резин обкладочного типа с целью дальнейшего создания корректной расчетной модели напряженно-деформированного состояния металлокордной покрышки, позволяющей в полной мере учесть изменение свойств резиновой составляющей в процессе эксплуатации.

В качестве объектов исследования использовались обкладочные резиновые смеси на основе натурального каучука и синтетического изопренового каучука СКИ-3, содержащие в качестве промоторов адгезии нафтенат кобальта и октоат кобальта. Шифры резин: Н – на основе натурального каучука без промоторов адгезии; Н-НК – на основе натурального каучука с нафтенатом кобальта; Н-ОК – на основе натурального каучука с октоатом кобальта; С – на основе СКИ-3 без промоторов адгезии; С-НК – на основе СКИ-3 с нафтенатом кобальта; С-ОК – на основе СКИ-3 с октоатом кобальта.

На первом этапе испытаний было оценено влияние модификаторов адгезии на прочностные свойства резин в процессе динамического утомления. Резиновые образцы подвергались циклической одноосной деформации растяжения при амплитуде деформации 150%. Далее образцы вылеживались в течение 24 ч, а затем при скоростях испытания 6, 60 и 600 мм/мин определялись зависимости напряжение – деформация. На рис. 1 видно, что резины, содержащие модификаторы адгезии, характеризуются более высокой прочностью неутомленных образцов и меньшим снижением прочности в процессе динамического утомления, а также большей долговечностью по сравнению с немодифицированными резинами. Причем резины, содержащие октоат кобальта, отличаются лучшими прочностными характеристиками, чем резины, содержащие нафтенат кобальта. Полученные зависимости напряжение – деформация были аппроксимированы на основании методики по уравнениям состояния, полученным из разложения в ряд упругого потенциала резины по инвариантам тензора деформации. Это позволило нам с помощью специально разработанной программы оценить равновесные упругие константы исследуемых резин, которые в дальнейшем будут использованы для моделирования напряженно-деформированного состояния металлокордной шины.

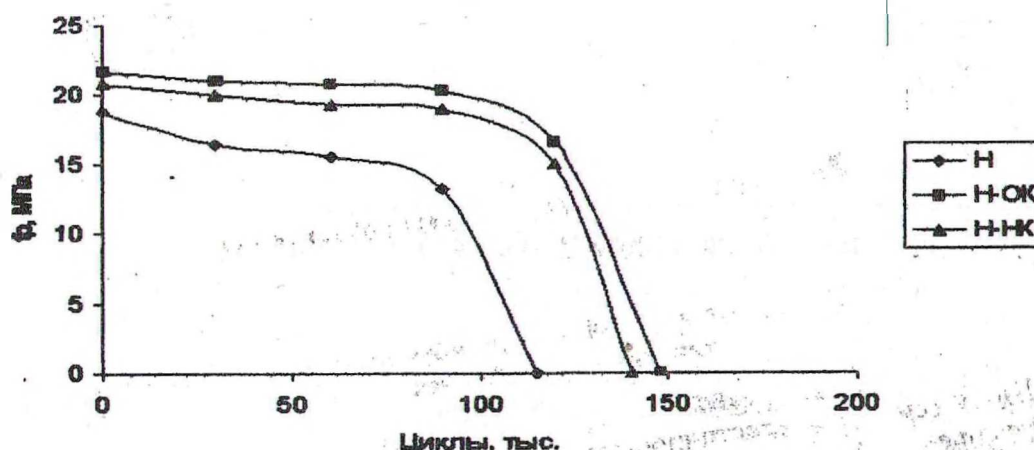


Рис. 1. Зависимость условной прочности (f_p) от числа циклов динамического утомления

Следующим шагом стала оценка влияния модификаторов адгезии на структурные параметры сетки обкладочных резин в процессе динамического утомления. Исследование проводилось по методу золь-гель анализа. Из рабочей части утомленных в преды-

дущем испытании образцов вырезались квадратики размером 1 см^2 . Образцы помещали в аппарат Сокслета и экстрагировали ацетоном в течение 18 ч. По истечении этого времени образцы высушивали до постоянной массы и взвешивали. Для извлечения золь-фракции сухие образцы помещали в экстрактор, заполненный растворителем, который по параметру растворимости близок к каучуку – в рассматриваемом случае это толуол. Экстрагирование продолжали в течение 18 ч. Далее набухшие образцы взвешивали и сушили до постоянной массы. По этим данным рассчитывали равновесную степень набухания, которая характеризует содержание растворимой золь-фракции и, следовательно, позволяет оценить степень сшивания в образце. Чем меньше равновесная степень набухания, тем выше степень сшивания. На рис. 2 показано, что резины, содержащие модификаторы адгезии, характеризуются более высокой степенью сшивания. Также видно, что при динамическом утомлении модифицированных образцов уменьшается степень набухания резин, следовательно, в них происходит дополнительное сшивание. Отсюда можно предположить, что при утомлении модифицированных резин в процессе разрушения сетки образуются радикалы, и при дальнейшем утомлении образцов идет частичное сшивание сетки по радикальному механизму. Полученные данные коррелируют с предыдущими опытами, показавшими, что резины, содержащие модификаторы адгезии, характеризуются более высокой прочностью и меньшим ее снижением в процессе динамического утомления, а также большей долговечностью. Причем у образцов, содержащих октоат кобальта, степень сшивания оказывается выше, чем у образцов, содержащих нафтенат кобальта, что коррелирует с результатами прочностных испытаний.

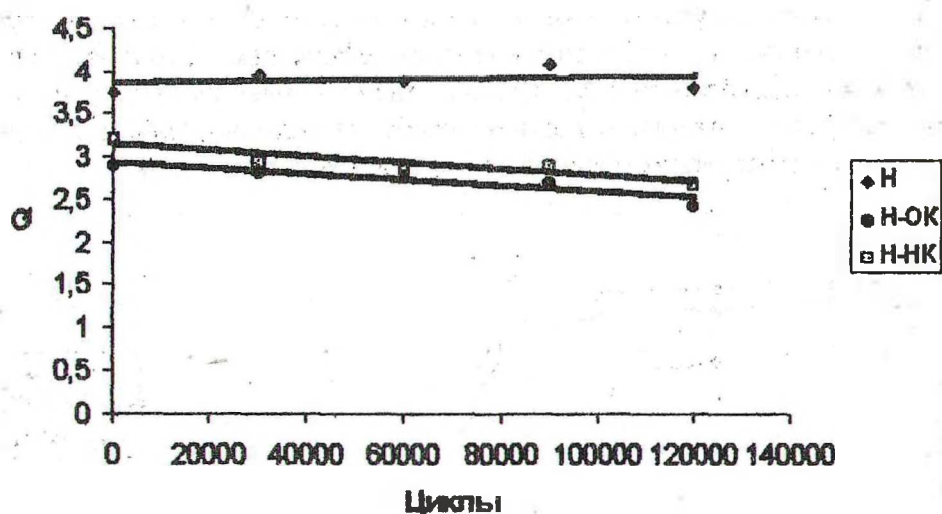


Рис. 2. Зависимость равновесной степени набухания (Q) от числа циклов динамической деформации

Резины, содержащие модификаторы адгезии, характеризуются большей твердостью по Шору (рис. 3) и эластичностью по отскоку (рис. 4), что свидетельствует о структурирующем действии модификаторов. Причем октоат кобальта обладает большим структурирующим воздействием, чем нафтенат кобальта. Эти данные коррелируют с прочностными испытаниями и с данными по набуханию.

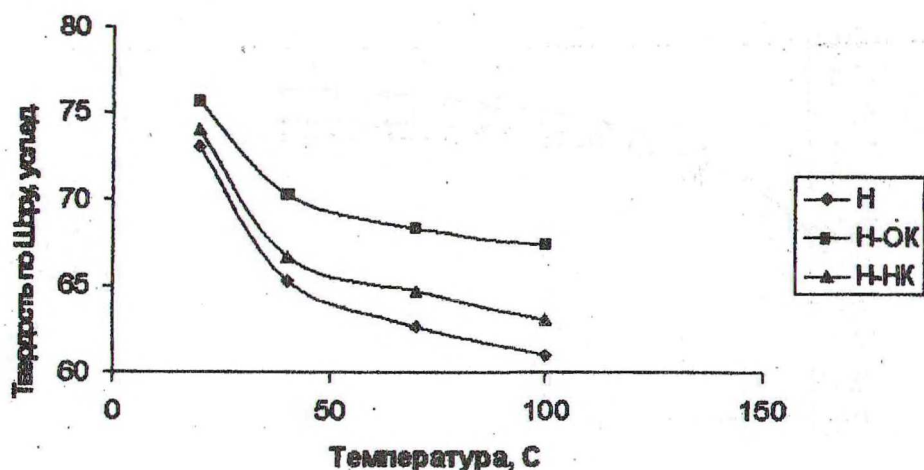


Рис. 3. Зависимость твердости по Шору от температуры испытания

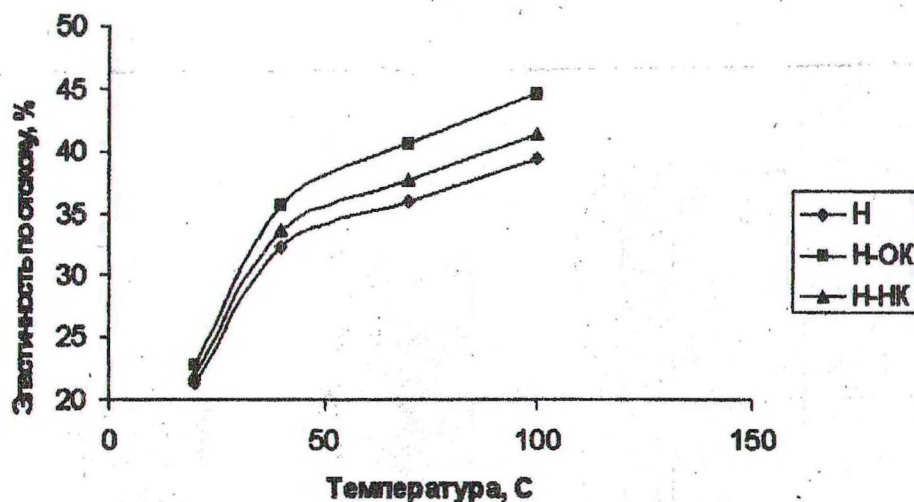


Рис. 4. Зависимость эластичности по отскоку от температуры испытания

Одной из основных проблем, возникающих при составлении рецептур шинных резин, является их теплообразование, которое в процессе эксплуатации может привести к разрушению покрышки. В связи с этим актуальной является проблема уменьшения теплообразования шинных резин. Поэтому в комплексную оценку влияния модификаторов адгезии на структуру резин должно входить определение величины теплообразования. Испытания проводились в условиях постоянства амплитуды напряжения, что соответствует реальным условиям эксплуатации покрышки. Зависимость температуры торца образца от времени испытания приведена на рис. 5, а гистограмма зависимости температуры внутри образца от типа испытываемых резин дана на рис. 6. Из них видно, что резины, содержащие модификаторы адгезии, характеризуются меньшим теплообразованием, что обусловлено большими значениями модулей. Причем теплообразование образцов, содержащих октоат кобальта, меньше, чем у образцов, содержащих нафтенат кобальта. Эти данные коррелируют с данными предыдущих испытаний.

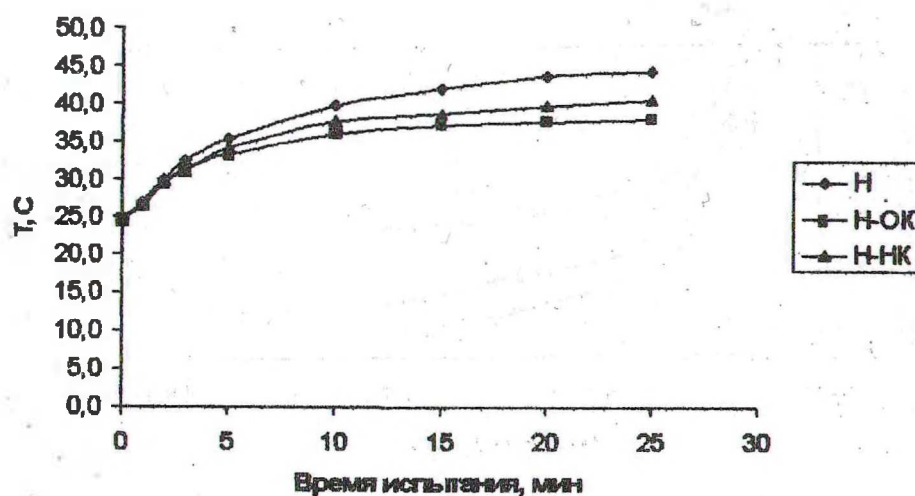


Рис. 5. Зависимость температуры торца образца (Т) от времени проведения испытания

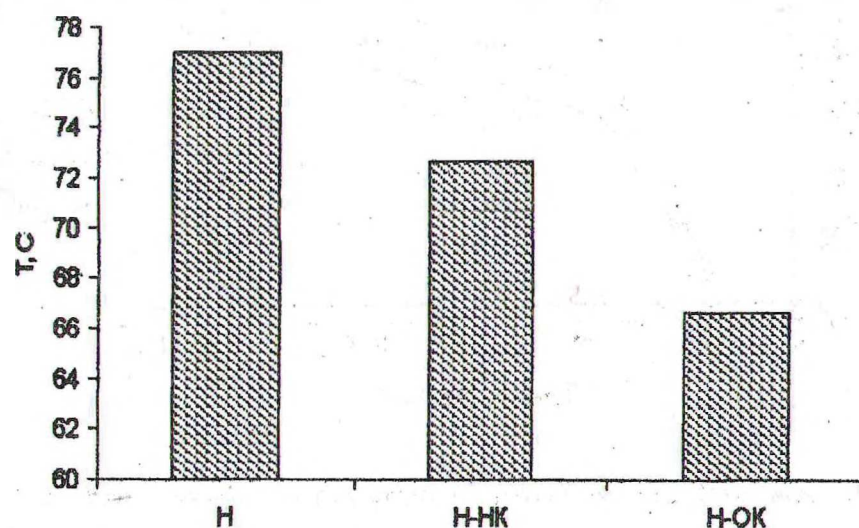


Рис. 6. Температура внутри образца (Т) после проведения испытания

К тому же, как показали проведенные нами ранее исследования по оценке прочности связи в системе резина – металл в процессе динамического утомления, резино-металлические образцы, содержащие октоат кобальта, характеризуются большей прочностью, чем образцы с нафтенатом кобальта.

Таким образом, по результатам комплексной оценки влияния модификаторов адгезии на упругие свойства и структуру резин в процессе динамических испытаний можно сделать вывод о структурирующем действии модификаторов и рекомендовать октоат кобальта для промышленного применения.