

- Геотехническая механика. — Днепропетровск: ЧП «Авантаж», 2003. — Вып. 45. — С. 131-139.
2. Гоголев А.А., Левит Г.М., Шварц А.Г. // Каучук и резина. — 1989. — № 4. — С. 26-28.
 3. Гоголев А.А., Левит Г.М., Шварц А.Г. // Каучук и резина. — 1989. — № 10. — С. 26-30.
 4. Гоголев А.А., Левит Г.М., Соколов В.Д., Шварц А.Г. // Каучук и резина. — 1994. — № 2. — С. 32-36.
 5. Свойства резиновых смесей и резин. Оценка регулирование, стабилизация. Научное издание / Овчаров В.И., Бурмистр М.В., Тютин В.А., Вербас В.В., Смирнов А.Г., Науменко А.П.; Под общей редакцией В.И. Овчарова. — М: Изд. Дом «САНТ-ТМ». — 2001. — 400 с.

УДК 678.065.004.12

Пачев В.П., Растеряев Ю.К., Агальцов Г.Н.

РЕЗИНА КАК КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ СОВРЕМЕННЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

В статье рассматриваются характеристики основных резин, применяемых при конструировании пневматических шин.

GUM AS A STRUCTURAL MATERIAL OF MODERN PNEUMATIC BUSES

In a paper the performances of the main gums used at constructing of pneumatic buses are considered.

Предварительные замечания. Поскольку пневматическая шина — оболочка вращения с двойкой кривизной, конструкция стенок которой в общем случае состоит из разных изотропных резиновых и различных анизотропных резинокордных слоев, то это делает предельно тяжелым решение задачи расчета ее напряженно-деформированного состояния (НДС), а, значит, и задачи проектирования шины с наилучшим (оптимальным) балансом свойств.

Основные трудности, возникающие при исследовании НДС пневматической шины, заключены, с одной стороны, в проблеме измерения упругих свойств материалов, применяемых в ней, главным образом текстильных и металлических кордов — в силу их анизотропности, а также резин — вследствие их нелинейности. С другой стороны, трудности обусловлены проблемой получения удобных и достаточно точных математических выражений для описания упругих характеристик и законов деформирования слоистых (составных) резинокордных (композитных) стенок шины. Трудности исследования НДС пневматической шины вызываются также ее торообразной формой, поскольку задача сводится к решению дифференциальных уравнений в частных производных с переменными коэффициентами. Наконец, трудности такого исследования обусловлены наличием предварительного напряжения элементов стенок шины и ее бортов от внутреннего давления воздуха, значительными изменениями формы шины и усилий в ее элементах при воздействии на шину локальных внешних нагрузок.

Из-за указанных выше трудностей в течение многих десятилетий разработка пневматических шин осуществлялась методом Томаса Алва Эдисона, когда материалы для кордов и резин подбирались при помощи экспериментов, а конструктивные параметры шины определялись боль-

шей частью способом пробных попыток. Да и по сей день конструирование шин в большинстве случаев осуществляется независимо от рецептуры резиновых смесей и технологии производства кордов, от которых зависят их упругие свойства. Такое положение, по-видимому, объясняется тем, что конструкторам шин хорошо известны, по крайней мере, качественные функции кордных и резиновых компонентов. Резина, обладающая высоким удлинением, выполняет функцию оболочки, содержащей и удерживающей воздух, обеспечивает сопротивление износу, а также сцепление с поверхностью дороги. Корд, обладающий низким удлинением, служит арматурой резины и воспринимает большую часть нагрузок, действующих на шину во время ее эксплуатации. Иными словами, корд придает такие важные свойства шине, как прочность, жесткость и неразрываемость (стабильность конфигурации).

Однако для оптимизации параметров шины на стадии проектирования, а также осуществления прогноза ее НДС и усталостной прочности, необходимо знать как упругие свойства резин и кордов, так и составленных из них резинокордных стенок шины.

Функции и характеристика шинных резин. Для того чтобы обеспечить соответствующие эксплуатационные характеристики диагональным и радиальным шинам, необходимо применять в элементах их конструкций разные резины. Диагональная шина, например, требует использования как минимум пяти различных резин, а для радиальных шин их может потребоваться не менее десяти [1].

Каждая резина имеет свои физические и механические характеристики в зависимости от того, где она применяется: в протекторе, подканавочном слое, боковине, слоях корда каркаса, слоях корда брекера, внутреннем подкладочном (герметизирующем) слое, наполнителе борта, бортовом кольце, бортовой ленте. Поэтому каждая резина шины имеет свои функции.

Шинные резины представляют собой сложные смеси, состоящие из таких полимеров, как натуральный и синтетический каучуки в сочетании с другими химическими ингредиентами — наполнителями, ускорителями, пластификаторами, вулканизирующими агентами, активаторами вулканизации, противостарителями (антиоксиданты, антиозонанты и различные воска). Уже наличие одного из таких ингредиентов как углеродная сажа, говорит о сложности состава резиновой смеси, ибо существует порядка тридцати углеродных саж, которые регулируют упругие свойства, эластичность по отскоку и сопротивление истиранию резин. Поэтому ингредиенты, смешанные с теми или иными полимерами в разных количествах и различных сочетаниях дают практически неограниченное количество резиновых смесей.

Залог успеха пневматической шины представляет вулканизация резиновых смесей, ибо в процессе вулканизации сырые термопластические

резиновые смеси в композитной структуре шины превращаются в высокоэластичные резины, которые химически и механически скрепляют элементы шины в единую монолитную конструкцию.

Умение подобрать рецептуру резиновых смесей для различных элементов шины в соответствии с условиями их работы и одновременным сохранением как физической, так и химической совместимости их в конструкции шины, отвечает за многие эксплуатационные свойства пневматических шин.

В шинной промышленности пока нет общепризнанного мнения о том, какое количество различных резин необходимо использовать в пневматической шине и каков должен быть их состав. Однако при изучении литературы по шинам из разных источников, становится очевидным, что многие изготовители либо в результате физических измерений, либо в результате экспериментов, пришли к необходимости задавать определенные значения характеристикам отдельных резиновых компонентов пневматической шины.

Основные функции резин в пневматической шине достаточно очевидны.

Резина, используемая при изготовлении протектора, должна обеспечивать хорошую характеристику трения при любых дорожных условиях. Она должна быть прочной и эластичной, чтобы свести к минимуму возможность порезов, проколов, разрывов, трещин и защитить корпус пневматической шины от повреждающих ударов. Протекторная резина должна оказывать высокое сопротивление разрастанию трещин. Наконец, она должна иметь низкие механические гистерезисные потери. Иными словами, протекторная резина должна быть «холодной» при эксплуатации, поскольку более низкие рабочие температуры обеспечивают шине более длительную работоспособность и прочность. Эти требования для грузовых шин лучше всего выполняются при использовании двух различных резиновых смесей, выборочно расположенных в протекторе. Такое распределение резиновых смесей получило название: конструкция «беговая дорожка — подканавочный слой».

Конструкция «беговая дорожка — подканавочный слой» принята как способ снижения температуры в угловой зоне шины, то есть самого горячего участка. Этот способ особенно важен для крупногабаритных и сверхкрупногабаритных пневматических шин, у которых протектор имеет существенную толщину.

Важную роль в резине протектора имеют усиливающие наполнители (тип и пропорции). В настоящее время наиболее широко используются высоко дисперсионный технический углерод (сажа) типа HAF (High Abrasion Furnace) и ISAF (Intermediate Super Abrasion Furnace), который обеспечивает необходимую прочность и эластичность, несколько лучшую износостойкость, сопротивление разрастанию трещин.

Резина каркаса пневматической шины должна образовывать прочные связи с применяемым кордом. Текстильные корда дополнительно покрываются связующим составом. Прочность и долговечность такой резины должны быть достаточными для того, чтобы изолировать нити корда и удерживать их в заданных положениях. Однако эта резина должна быть достаточно мягкой и обладать высоким удлинением, чтобы, с одной стороны, дать возможность для некоторого изменения угловой ориентации нитей корда при деформации шины, а, с другой стороны, обеспечить равномерное распределение сдвиговых деформаций и поглощение (точнее будет сказать — существенное уменьшение) сдвиговых напряжений, особенно при локальных ударах. Резина каркаса служит в качестве изоляции между слоями корда, предохраняя его нити от перетирания. Для того чтобы противостоять циклической изгибной деформации, резина каркаса шины должна обладать высокой усталостной прочностью. Очень важно, чтобы эта резина сохраняла адекватные физические свойства и долговечность при возникающих в процессе эксплуатации температурах внутри шины. Следовательно, резина каркаса шины должна обладать низкими механическими потерями энергии.

Каркасные резины радиальных металлокордных пневматических шин отличаются по составу из-за существенного отличия жесткостных и прочностных характеристик текстильного и металлического корда и еще более возрастающего отличия этих характеристик резины и металлокорда. К ним применяются более высокие требования по прочности связи с кордом. Однако ситуация упрощается тем, что каркас этих шин состоит, как правило, из одного слоя металлокорда.

Резина брекера радиальных пневматических шин.

Брекер радиальной пневматической шины — основной силовой элемент. Он находится в самом термонапряженном месте шины (в основном грузовых и особенно крупногабаритных и сверхкрупногабаритных), поэтому к составу брекерных резин таких шин применяются очень высокие требования по прочности, прочности связи с металлокордом, сопротивлению старению, теплообразованию и др.

Наличие по краям брекера в месте с самой большой толщиной и, как правило, с самой высокой температурой, обрезанных концов заставляет производителей шин применять дополнительные меры по изоляции кромок брекера другими резинами. Эти резины помимо всех выше перечисленных требований должны обладать повышенным сопротивлением к проколу, которое достигается, например, добавлением в смесь коротких текстильных волокон.

Резина боковин пневматических шин. Вследствие более высокой окружной податливости, циклы деформаций, действующие на боковины радиальных шин, отличаются от циклов деформаций в диагональных шинах и поэтому резины боковин радиальных шин приготавливаются таким

образом, чтобы обеспечить повышенную усталостную прочность и сопротивляемость разрастанию порезов (трещин) по сравнению с характеристиками резин для диагональных шин.

Все резиновые смеси для боковин подбираются так, чтобы они могли противостоять усталости, разрастанию порезов (трещин), старению. Для того чтобы получить этот баланс характеристик, в смеси добавляются антиоксиданты, антиозонанты, парафины и сажи, которые выбираются таким образом, чтобы получить низкий модуль и гистерезис. В резиновых смесях применяются также каучуки, устойчивые к окислению и воздействию озона, поскольку боковина должна обладать соответствующей стойкостью и должна быть защищена от атмосферного старения.

При изготовлении бортов пневматических шин легковых и грузовых автомобилей применяют обычно синтетические резиновые смеси, однако для достижения необходимых эксплуатационных качеств радиальных шин часто применяют большее количество натурального каучука.

Внутренний подкладочный (герметизирующий) слой резины.

Большинство производителей используют низкую газопроницаемость бутилкаучука и/или регенерированного бутилкаучука для изготовления внутреннего герметизирующего слоя бескамерных пневматических шин. По этой же причине камеры для камерных пневматических шин изготавливаются из бутилкаучука или галогенированного бутилкаучука, в зависимости от интенсивности режима эксплуатации. Применяемые в этих резинах типы сажи обеспечивают низкий модуль и удовлетворительную технологичность.

Резина — конструкционный материал. Резина как конструкционный материал имеет ряд характерных особенностей в свойствах, которые отличаются от свойств обычных конструкционных материалов.

Первая характерная особенность — это упругая деформативность резины, которая на несколько порядков выше, чем у металлов или даже у дерева.

Вторая и наиболее характерная особенность резины заключается в ее способности восстанавливаться при больших (в несколько сот процентов) деформациях после удаления напряжений.

Третья характерная особенность резины состоит в том, что сопротивление разрыву и модуль упругости ее довольно низкие, а график зависимости относительной деформации от напряжения нелинейный при больших относительных деформациях.

Четвертая характерная особенность резины — это отсутствие площадки текучести на графике «напряжение — относительная деформация» в отличие от большинства обычных конструкционных материалов.

Пятая характерная особенность резины состоит в том, что она имеет хорошую усталостную стойкость и очень высокую способность

запасать (поглощать) энергию. Например, если обратиться к работе [2], то можно увидеть, что пружинная сталь способна запасать всего лишь 0,29 Дж/г материала, тогда как вулканизованный натуральный каучук запасает 44,0 Дж/г материала. Вследствие этого обстоятельства резина представляет собой материал, идеально подходящий для изготовления пружин, шин и устройств виброизоляции всех типов.

Резина, как и все полимеры, является вязкоупругим материалом, т.е. характеризуется ползучестью, релаксацией напряжений [3-5], а также диссипацией энергии (выделением тепла), обусловленной явлением гистерезиса.

Следующей характерной особенностью резины является то, что ее физико-механические характеристики изменяются в зависимости от температуры быстрее, чем характеристики большинства традиционных конструкционных материалов. Они также зависят от угловой частоты колебаний, что показали Вильямс, Ландел и Ферри в работе [6] и Дж. Ферри в работе [7]. Причем, увеличение угловой частоты колебаний оказывает на физико-механические характеристики резины такое же влияние, как понижение температуры.

К счастью, в интервале температур, в котором работают в шине резины, изменения их модулей упругости невелики. Кроме того, гистерезис резин уменьшается с повышением температуры. Одна из характеристик шины, а именно сопротивление качению, несколько снижается в период начального разогрева вследствие снижения тангенса угла механических потерь при росте температуры.

Еще одной характерной особенностью резин является то, что их физико-механические свойства непостоянны. В частности, модуль упругости и гистерезис зависят от траектории относительной линейной деформации и старения образца. Что касается старения, то современные резины лучших мировых производителей шин изменяют свои физико-механические характеристики несущественно вследствие старения в пределах всего интервала времени их эксплуатации. Однако траектория относительной линейной деформации является важным фактором. Причем, картина еще более усложняется вследствие того, что поведение разных резин шины является обратимым в различной степени в зависимости от времени и температуры.

Влияние траектории относительной линейной деформации на поведение резины рассматривали Муллинз [8] и Пэйн [9]. Они обнаружили, что все резины разупрочняются под действием повторных циклов деформации. Этот эффект более заметен в резинах, армированных сажей, причем эффект проявляется тем сильнее, чем выше содержание армирующей сажи. Это является одной из причин необходимости прикатки шин до выполнения на них соответствующих измерений. Прикатка шины при умеренных условиях позволяет в некоторой степени достичь равно-

весного состояния, как кордов, так и резин, а это значительно повышает долговечность шины в эксплуатации. Прикатанная при умеренных условиях шина не будет разрушаться так быстро при тяжелом режиме испытаний, как не прикатанная шина [10].

Динамический модуль упругости резин всегда больше статического [11]. Отношение динамического модуля упругости к статическому модулю упругости может изменяться от значения несколько большего единицы и до значений 2 и более; в первую очередь это зависит от явления гистерезиса в резине. Гистерезис, в свою очередь, зависит от типа полимера, содержания и типа сажи, интенсивности вулканизации, температуры при испытаниях и других факторов. Подробно это было продемонстрировано в работе Студебекера и Битти [12].

Теплопроводность является важным показателем с точки зрения эксплуатационных характеристик шины. Это обусловлено выделением энергии при циклическом деформировании шины во время ее вращения с локальными внешними нагрузками. Резина имеет низкую теплопроводность, поэтому генерируемая внутри шины тепловая энергия, с существенными затруднениями отводится к наружной поверхности, где может происходить рассеивание тепла. Если тепло из толстых участков шины отводится в недостаточной степени, то может наблюдаться преждевременное разрушение этих участков вследствие термической деструкции материала.

К сожалению, следует констатировать, что теплопроводность резины снижается с ростом температуры. Присутствие сажи, оказывает компенсирующее влияние на теплопроводность.

Ранее уже было сказано, что для обеспечения необходимых физико-механических характеристик разным частям шины, их производителями были разработаны различные резины. Даже без учета фактора стоимости, получить оптимальное сочетание всех необходимых характеристик очень трудно, если вообще возможно. Поэтому, когда оптимизируется одна характеристика конкретной резины, то остальными характеристиками, в некоторой степени, приходится пренебрегать, а иногда и жертвовать. Каждая резина в результате таких действий будет представлять собой наилучший компромисс с точки зрения важных характеристик или оптимизируемых характеристик.

В этом смысле для протекторной резины наиболее желательными являются хорошие показатели сопротивления истиранию, сопротивления заносу на мокрой и сухой дороге, сопротивления разрастанию трещин, а также низкий гистерезис. Немаловажное значение имеет сопротивление старению.

Если выполняется подканавочный слой, то для него важным является низкий гистерезис и удовлетворительная связь с резинокордным

композитом, составляющим брекер в радиальной шине или каркас в диагональной шине.

Для резины боковины важны удовлетворительные усталостная прочность и сопротивляемость разрастанию порезов (трещин), сопротивление воздействию кислорода и озона, а также хорошая технологичность при формовании. При этом гистерезис и сопротивление истиранию для резины боковины являются вторичными показателями.

Резина покрытия текстильного корда каркаса должна иметь хорошую технологичность, удовлетворительную адгезию, низкий гистерезис и хорошую усталостную прочность.

Резины покрытия каркаса и брекера с металлическим кордом обычно должны иметь более высокий модуль упругости, чем для каркаса из текстильного корда. Это необходимо для того, чтобы обеспечить лучшую адгезию со стальным омедненным кордом, который обладает очень высоким модулем упругости. Резины, имеющие высокий модуль упругости, также вносят свой вклад в достижение необходимой жесткости композита «резина — металлический корд» в брекере и каркасе со стальным кордом. Важными факторами здесь являются высокое сопротивление разрыву и прочность на сдвиг, а также удовлетворительная усталостная прочность.

Наполнители борта и резины, используемые в зоне борта шины, должны иметь высокий модуль упругости и хорошую адгезию; при этом можно пренебречь многими другими физико-механическими характеристиками, которые не являются столь важными с точки зрения общих эксплуатационных качеств шины.

Внутренний подкладочный (герметизирующий) слой бескамерной шины должен иметь удовлетворительное сопротивление циклическому изгибу, особенно в радиальных шинах. Он должен быть отлит без каких-либо дефектов и обычно формируется таким образом, чтобы обеспечить низкую воздухопроницаемость.

Подводя итог вышеизложенному материалу, отметим, что если в лучших образцах диагональных и радиальных шин используется два, в крайнем случае, три типа кордов, то различных типов резин в этих же шинах используется, как правило, от пяти до десяти. При этом если корд выполняет только функцию арматуры, то каждая из резин имеет свои индивидуальные физические и механические свойства. Это обстоятельство позволяет считать резины более важными по функциональному назначению в конструкции шины, чем корд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Растеряев Ю.К. Физико-механические свойства резин пневматических шин // Геотехническая механика. - Днепропетровск: Поліграфіст, 1999. - Вып. 11. - С. 157-179.
2. Allen P.W. Rubber Developments. - 1975. - V. 28, № 1, 2.
3. Маанин И.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1968. - 396 с.
4. Растеряев Ю.К., Агальцов Г.Н. Физико-механические свойства шинных материалов (часть первая) //

- Геотехническая механика. — Днепропетровск: Полиграфист, 2001. — Вып. 28. — С. 112-134.
5. Растеряев Ю.К., Агальцов Г.Н. Физико-механические свойства шинных материалов (часть вторая) // Геотехническая механика. — Днепропетровск: Полиграфист, 2002. — Вып. 31. — С.
 6. Williams, Landel and Ferry // J. Am. Chem. Soc. — 1955. — № 77. — Р. 3701.
 7. Ферри Дж. Вязкоупругие свойства полимеров. — М.: Издательство, 1964. — 536 с.
 8. Mullins L. // Rub. Chem. And Tech. — 1948. — № 21. — Р. 281.
 9. Payne A.R., Whittaker R.E. // Rub. Chem. And Tech. — 1971. — № 44. — Р. 440.
 10. Samuel E., Clark K. Mechanics of Pneumatic Tires. — Washington (USA): 1981. — Chapter 10.
 11. Gehman S.D. // Rub. Chem. And Tech. — 1957. — № 30. — Р. 1202.
 12. Studebaker M.L. and Beatty J.R. // Rub. Chem. And Tech. — 1974. — № 47. — Р. 803.

УДК 678.04:678.029.5:539.3/4

Растеряев Ю.К., Агальцов Г.Н.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО И ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВНЫХ ШИН

Розглядається методика розрахунку напружено-деформованого і теплового стану масивних шин яка була розроблена в НДІ ВГШ та ІГТМ НАН України. Приведено приклад розрахунку стандартної шини 250×125.

CALCULATION INTENSE-DEFORMED AND THERMAL STATE OF MASSIVE BUSBARS

The problem of calculation of the intense-deform and thermal state of massive busbars is considered. The example of calculation of the reference busbar 250×125 is given.

1 Введение

В настоящее время большое число погрузочно-разгрузочных механизмов и машин представляет собой напольный колесный безрельсовый авто- и электротранспорт. Этот тип транспорта должен обеспечивать большую грузоподъемность, высокую маневренность, хорошую устойчивость при сравнительно небольших габаритах. Поэтому для такого вида транспорта единственно приемлемыми являются массивные резиновые шины.

Растет применение массивных резиновых шин и для других целей в различных отраслях хозяйства страны.

Указанные выше обстоятельства делают проблему расчета и конструирования массивных резиновых шин важной с научной и практической точек зрения.

Для получения у массивной шины наилучшего баланса свойств еще на стадии проектирования, необходимо ее поперечное (меридиональное) сечение, распределение и подбор материалов по этому сечению рассчитывать так, чтобы в процессе последующей эксплуатации массивной шины, возникающие деформации и напряжения в ее материалах были бы благоприятными с точки зрения усталостной и термодинамической прочности. Иными словами, массивная шина должна быть сконструирована, а материалы выбраны и распределены по ее поперечному сечению таким образом, чтобы в течение миллионов циклов деформации стенок массивной шины под воздействием эксплуатационных нагрузок их материалы не разрушались.