

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВУЛКАНИЗАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ РЕЗИНОАРМИРОВАННЫХ ГУСЕНИЦ

А.М. Толстов, аспирант, Л.Н. Юрцев, профессор

* И.В. Веселов, директор по науке

кафедра Химии и технологии переработки эластомеров им. Ф.Ф. Кошелева

МИТХТ им. М.В. Ломоносова

*ООО «НТЦ «Научно-исследовательский институт шинной промышленности»

e-mail: tx8007@rambler.ru

В данной работе рассмотрен вопрос выбора времени и температуры вулканизации резиновых смесей, предназначенных для изготовления резиноармированных гусениц (РАГ). С использованием пакета прикладных программ установлена зависимость температуры по толщине пластины от времени нагрева и охлаждения прессформ-плит пресса. Определен температурно-временной цикл вулканизации для производства РАГ. В ходе исследований была проведена вулканизация реальных образцов РАГ. Результаты физико-механических испытаний резин – свулканизованных образцов РАГ – соответствуют рассчитанным показателям для данных резин, установленных техническими требованиями.

In this work the problem of choosing time and temperature for the vulcanization of rubber mixtures is considered. In order to solve this task program MATLAB 7.0 was used. The program solves it as a type I differential equation of thermal conductivity by analytical method. The dependence of the change in temperature throughout the thickness of a plate from the heating and cooling of press forms-plates of a press is established. The temperature-time cycle of the vulcanization for the manufacture of rubber-reinforced tracks was determined. During the research the vulcanization of real samples of rubber-reinforced tracks was performed. The results of physico-mechanical tests of rubbers of cured samples of rubber-reinforced tracks are in agreement with the characteristics for these rubbers established in the quality specification.

Ключевые слова: вулканизация, уравнение теплопроводности, температурно-временной цикл, температурное поле, резиноармированная гусеница.

Key words: curing, heat conductivity equation, temperature-time cycle, temperature field, rubber-reinforced tracks.

Введение

В настоящее время в производстве тракторных гусениц получили широкое распространение резиноармированные гусеницы (РАГ), с основой из металлических тросов [1]. Это объясняется рядом преимуществ резиновых гусениц перед другими конструкциями. РАГ обладают рядом эксплуатационных отличий от других гусениц:

1. Высокий срок службы (в 3-4 раза выше металлических гусениц)
2. Гибкость в продольном и поперечном направлениях.
3. Низкие удлинения при рабочих нагрузках. Удлинение в процессе эксплуатации составляет 0.25%.

Кроме названных основных преимуществ, РАГ обладают стойкостью к ударным нагрузкам и имеют небольшой вес [1]. На базе технологий производства шин для тракторов были созданы и исследованы рецептуры резиновых смесей для РАГ.

В данной работе рассмотрен вопрос выбора продолжительности и температуры процесса вулканизации РАГ. Задача решалась аналитическим методом при граничных условиях 1-ого рода для бесконечной пластины.

РАГ в процессе эксплуатации подвергаются периодическим силовым воздействиям, вызывающих напряжения в материале при растяжении, сжатии и сдвиге в ее элементах. Поэтому прочность силовых элементов сердечника и эласто-

мерных материалов, применяемых в производстве РАГ, их динамическая и усталостная выносливость в значительной степени определяют эксплуатационные характеристики РАГ. Для производства РАГ разработаны резины следующего типа: протекторные, каркасные, обкладочные для металлоторса, клеевые.

В конструкцию РАГ (рис. 1) входят: закладные элементы 1, установленные с определенным шагом, два сердечника (тяговый слой), которые собирают из латунированных стальных тросов 2, которые уложены параллельно друг другу вдоль РАГ [2].

Обкладка элементов конструкции РАГ выполнена из трех резин различной рецептуры (а, б, с).

Протекторная резина должна обеспечивать безопасность передвижения и иметь хорошее сцепление с дорожным покрытием, а также обладать высокой износостойкостью и удовлетворять комплексу технических и техно логических требований.

Обкладочные резиновые смеси используются для обрезинивания металлоторса (металлокорда). Обкладочные резины должны обладать максимальной эластичностью и усталостной выносливостью при многократных деформациях, низкими гистерезисными потерями и хорошим сопротивлением старению. Безусловно, обкладочные резиновые смеси должны обеспечивать высокую прочность связи с металлоторсом.

Беговая резина расположена на внутренней поверхности гусеницы и взаимодействует с опор-

ными катками при движении трактора. В зоне контакта металлических опорных катков беговая

резина испытывает значительные контактные давления.

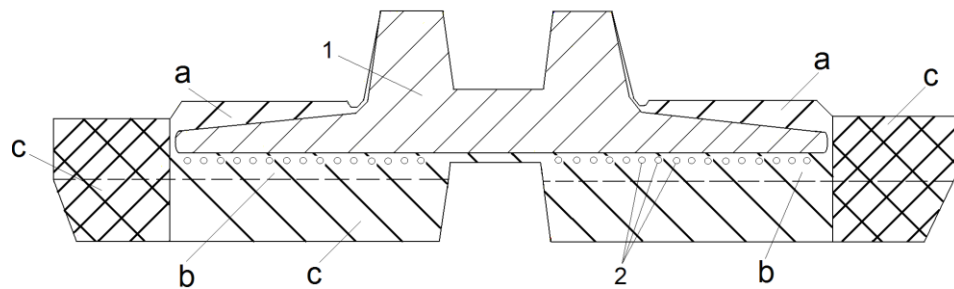


Рис. 1. Конструкция резиноармированной гусеницы.

Разработки технологического процесса сборки и вулканизации РАГ являются определяющими операциями в производстве РАГ и связаны с их работоспособностью. Данная работа затрагивает основную технологическую операцию изготовления РАГ – определение температуры и продолжительности ее вулканизации.

РАГ изготавливают в вулканизационном прессе, в котором под высоким давлением и при заданной температуре заготовка изделия выдерживается строго определенное время. Производство РАГ требует точного знания продолжительности и температуры пребывания заготовки изделия в прессе, в течение которого изделие прогревается до той температуры, при которой произойдет вулканизация [3].

Так как материалы РАГ имеют низкую теплопроводность, продолжительность вулканизации в зависимости от толщины может значительно изменяться.

Для определения продолжительности вулканизации необходимо определить температурное поле изделий при заданных граничных условиях на внутренней и наружной поверхностях изделия.

Таким образом, задача сводится к решению одномерного уравнения теплопроводности при граничных условиях 1-го рода [4].

Экзотермический эффект вулканизации в данном случае не учитывается. Обычно такие задачи решаются численными методами. Сложность решения задачи заключается в описании геометрической поверхности. В принятой практике для упрощения описания сложной геометрической поверхности изделия используется метод приведенной пластины, который позволяет свести задачу к расчету температурного поля пластины эквивалентной толщины [5].

Для трех видов резиновых смесей, имеющих разные рецептуры, используемых в конструкции РАГ, были проведены испытания по определению вулканизационных характеристик на реометре «Монсанто».

Экспериментальная часть

На основании анализа литературных данных, экспериментальных результатов, полученных при исследовании выбранных для резиноарми-

рованных гусениц эластомерных композиций, в лабораторных условиях ООО «НТЦ «НИИШП» проведены испытания протекторных, обкладочных и беговых резин, которые могут быть рекомендованы для изготовления макетных и опытных образцов резиноармированных гусениц. Наиболее подходящие к использованию рецептуры резин, применяемые в настоящее время в производстве грузовых шин ЦМК и массивных шин. Рецептуры протекторной, обкладочной и беговой резин были разработаны с учетом технических требований и условий эксплуатации резиноармированных гусениц.

Выбранные резины по комплексу физико-механических, реологических и вулканизационных характеристик соответствуют техническому заданию на материалы для изготовления резиноармированной гусеницы. Испытания резин проводятся по специальным методикам в соответствии с действующими государственными стандартами (ГОСТами). Резины, из которых изготавливаются различные детали гусеничных лент, должны удовлетворять соответствующим требованиям, в зависимости от нагрузок, деформаций, условий и зон, в которых они работают. Вулканизационные характеристики, полученные с помощью реометрических кривых (рис. 2), представлены в таблице.

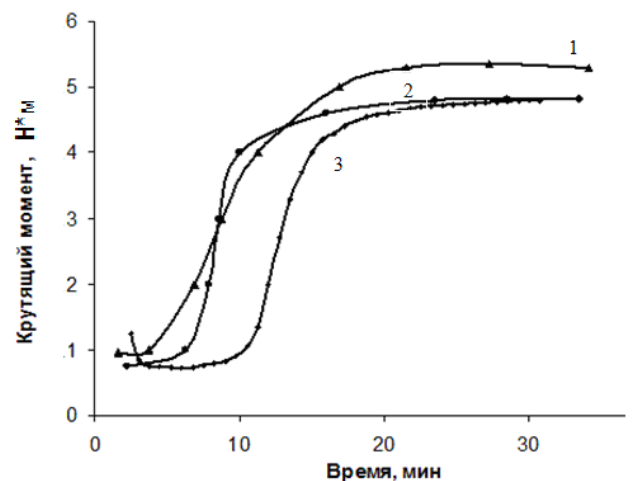


Рис. 2. Вулканизационные кривые, полученные на реометре «Монсанто» для обкладочной (1), протекторной (2) и беговой (3) резиновых смесей.

Определение вулканизационных характеристик на реометре «Монсанто»

Вулканизационные характеристики*	Типы резиновых смесей для РАГ		
	Обкладочная	Беговая	Протекторная
$M_{\min}$, Н·м	8.0	8.2	9.8
$M_{\max}$, Н·м	47.3	47.3	48.4
t_s , мин	10.77	10.15	7.55
$T_{c(90)}$, мин	24.33	22.83	29.68
T_B , °С	143.2	142.9	143.1
T_H , °С	143.1	142.8	143.2
T_{RH} , мин	16.78	16.6	16.53
R_H , мин ⁻¹	7.4	7.9	4.5

* $M_{\min}$ – минимальный крутящий момент; $M_{\max}$ – максимальный крутящий момент; t_s – время начала вулканизации; $T_{c(90)}$ – время вулканизации, когда процесс вулканизации прошел на 90%; T_B – верхний предел температуры, °С; T_H – нижний предел температуры, °С; T_{RH} – время реверсии; R_H – показатель скорости вулканизации.

Результаты и их обсуждение

Температура испытания 143°С, так как это предпочтительная температура вулканизации резин на основе натурального каучука для толстостенных изделий [6, 7]. В результате испытаний установлено плато вулканизации и найдено оптимальное время вулканизации (рис. 3).

Среднее оптимальное время вулканизации для трех резиновых смесей приблизительно 25 мин. С помощью пакета прикладных программ, численным методом было рассчитано время для вулканизации РАГ, исходя из толщины данного образца РАГ и эквивалентного времени трех резиновых смесей.

Анализ вулканизационных характеристик резиновых смесей позволил составить зависимость температуры от времени для производственного процесса изготовления РАГ на вулканизационном прессе.

Установлен температурно-временной цикл работы пресса и определены основные показатели режима вулканизации: время на нагрев, время охлаждения прессформ-плит, время на вулканизацию и прогрев прессформ-плит и заготовки.

Таким образом, эквивалентность условий вулканизации по приобретаемым свойствам резин определяется равенством эффектов вулканизации E , для переменных температур [6].

Ниже представлен график, характеризующий цикл работы вулканизационного пресса для производства РАГ (рис. 4).

В данной работе кинетика неизотермической вулканизации РАГ определяется расчетным путем – по показателю эквивалентного времени вулканизации [7]. При эксплуатации РАГ важен целый комплекс физико-механических свойств, которые в процессе вулканизации формируются различно.

Ниже представлен график (рис. 5), отображающий изменение температуры по толщине РАГ со временем ее нагрева.

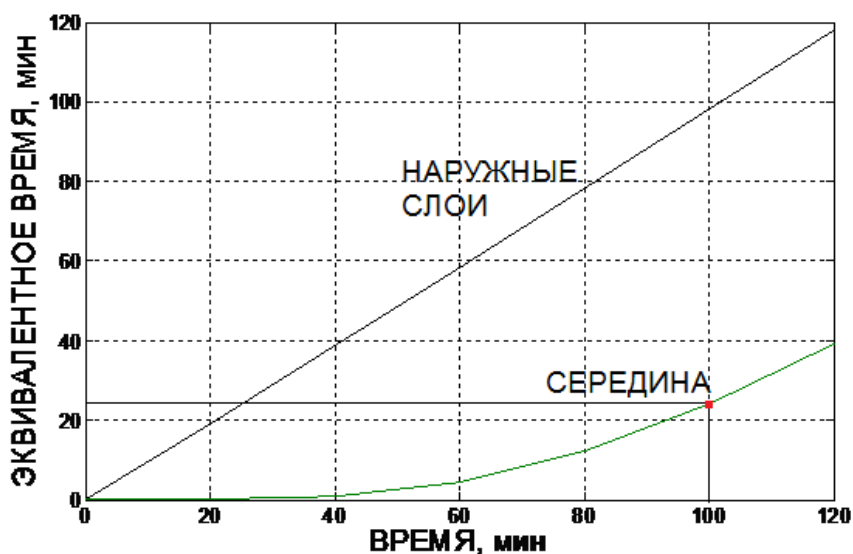


Рис. 3. Оптимальное время вулканизации заготовки опытных образцов РАГ.

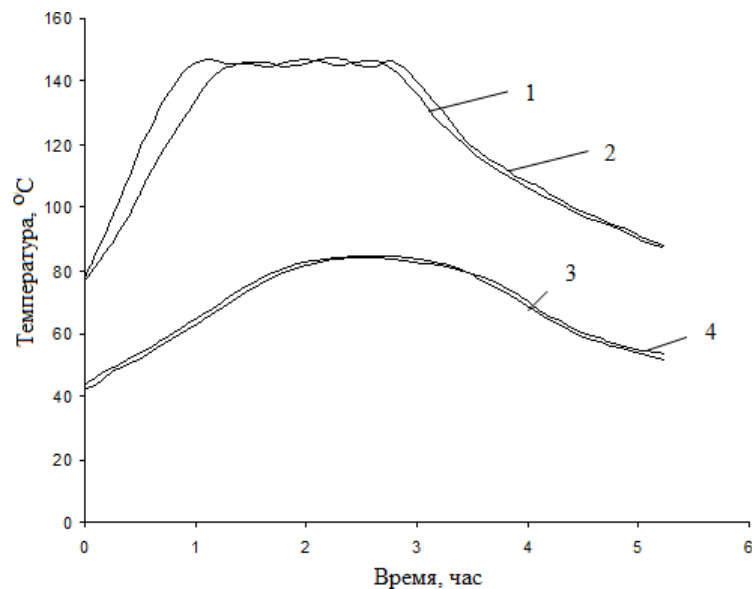


Рис. 4. Температурно-временной цикл работы вулканизационного прессы в процессе нагрева и охлаждения прессформ-плит: 1 – матрица-центр, 2 – пуансон центр, 3 – матрица (Л+П) /2, 4 – пуансон (Л+П)/2.

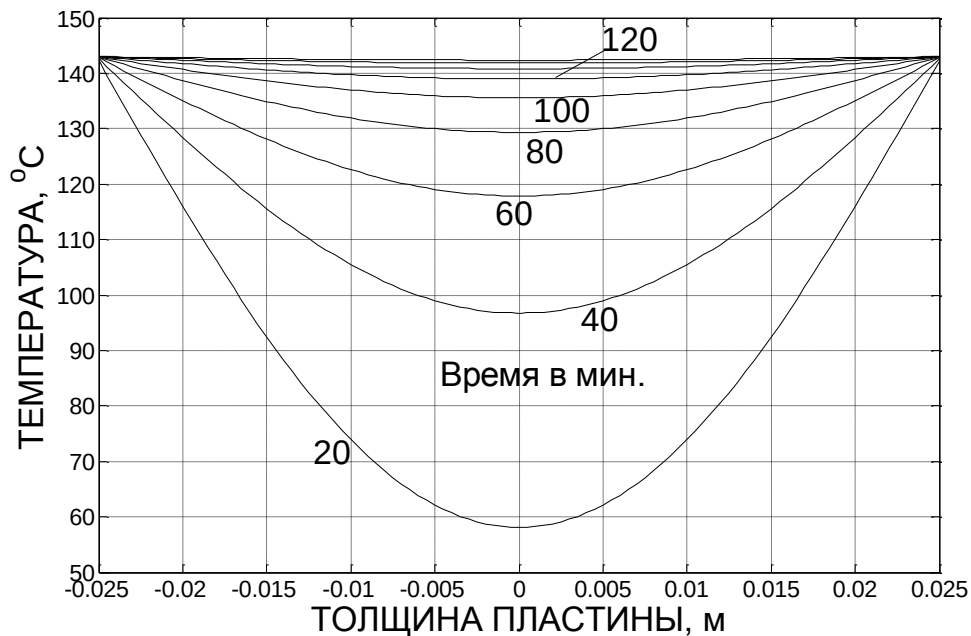


Рис. 5. Зависимость температуры от толщины пластины.

Алгоритм программы указан ниже:

РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ
В РЕЖИМЕ НАГРЕВАНИЯ ПРИ СЛЕДУЮЩИХ УСЛОВИЯХ ОДНОЗНАЧНОСТИ:

- 1) ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ – БЕСКОНЕЧНАЯ ПЛАСТИНА;
 - 2) ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ – ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСТОЯННЫ, ВНУТРЕННИЕ ИСТОЧНИКИ ОТСУТСТВУЮТ;
 - 3) НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ – РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР; 4) ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ – ПЕРВОГО РОДА (ЗАДАНА ТЕМПЕРАТУРА НА ПОВЕРХНОСТИ).
- ЗНАЧЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕНКИ, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ 0.25
 ЗНАЧЕНИЕ ПОЛОВИНЫ ТОЛЩИНЫ ПЛАСТИНЫ, (м) 0.025
 ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ СТЕНКИ, $(\text{м}^2/\text{с})$ 1.3E^{-7}
 НАЧАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА В ПЛАСТИНЕ, ($^{\circ}\text{C}$) 20
 ТЕМПЕРАТУРА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ($^{\circ}\text{C}$) 143
 РАСЧЕТ СТЕПЕНИ ЗАВЕРШЕННОСТИ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ
 ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРОЦЕССА 2
 ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАЧАЛА ПРОЦЕССА ($^{\circ}\text{C}$) 100
 ВВЕДИТЕ ЗНАЧЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ($^{\circ}\text{C}$) 143

По данной работе можно сделать следующие выводы:

1. Установлена зависимость изменения температуры по толщине пластины со временем нагрева и охлаждения прессформ-плит пресса.

2. Для расчета использована программа MATLAB 7.0 (пакет прикладных программ). с ее помощью было найдено решение дифференциального уравнения теплопроводности аналитическим методом в режиме нагревания.

3. Определен температурно-временной цикл работы вулканизационного пресса для производства РАГ.

4. В ходе исследований была проведена вулканизация реальных образцов РАГ. Результаты физико-механических испытаний резин – свулканизованных образцов РАГ – соответствуют показателям данных резин вышеприведенному расчету, установленных техническими требованиями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Matsuo Shuichi. BRIDGESTONE CORP. Steel cord for rubber crawler: pat. 2008025050 Japan; appl. number 2006-198135; publication number 2008-025050; date of filling 20.07.2006; date of publication 07.02.2008.

2. Grob R.J. Endless elastomeric drive belt: pat. 4721498 U.S.; appl. 30.03.87 № 07/031204, publ. 26.01.88.

3. Лукомская А.И., Баденков П.Ф., Кеперша Л.М. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий. – М.: Химия, 1982. 359 с.

4. Лукомская А.И., Баденков П.Ф., Кеперша Л.М. Расчеты и прогнозирование режимов вулканизации резиновых изделий. – М.: Химия, 1978. 280 с.

5. Лукомская А.И., Милкова Е.М. Метод определения эквивалентных времен вулканизации по лабораторным показателям динамического модуля резин // Каучук и резина. 1969. № 10. С. 12–15.

6. Маркелов В.Г., Соловьев М.Е. Влияние температурного поля вулканизуемого изделия на процесс вулканизации / Материалы II Междунар. научно-техн. конф. «Полимерные композиционные материалы и покрытия». – Ярославль, 17–19 мая 2005. С. 262–265.

7. Маркелов В.Г., Соловьев М.Е. Моделирование процесса вулканизации толстостенных резиновых изделий // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2007. Т. 50. № 4. С. 95–99.