

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра технологии нефтехимического синтеза
и переработки полимерных материалов**

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И ФОРМ

**Методические указания к курсовому проектированию
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-48 01 02 «Химическая технология
органических веществ, материалов и изделий»
специализации 1-48 01 02 05
«Технология переработки эластомеров»**

Минск 2013

УДК 678.4.02(075.8)+678.4.06(075.8)

ББК 35.728я73

P24

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом университета.

Составитель

В. В. Мозгалёв

Рецензент

кандидат технических наук, заместитель технического директора –
главный технолог ОАО «Беларусьрезинотехника»

Д. В. Русецкий

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы на 2013 год. Поз. 81.

Предназначены для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров».

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение студентами дисциплины «Расчет и конструирование резиновых изделий и форм» сопровождается, согласно учебному плану, выполнением курсовой работы.

Основной целью курсовой работы по дисциплине «Расчет и конструирование резиновых изделий и форм» является получение студентами навыков профессиональной деятельности, заключающихся в освоении основ расчета и конструирования резиновых изделий и оснастки для их производств, а также знаний в области механических свойств резин как конструкционного материала.

Главной задачей курсовой работы является практическое применение знаний, полученных при изучении дисциплины «Расчет и конструирование резиновых изделий и форм».

Основой для выполнения курсовой работы являются научно-теоретические, технологические и прикладные основы расчета и конструирования резиновых изделий и оснастки для их производства. При выполнении задания развиваются навыки, позволяющие разрабатывать новые конструкции резинотехнических изделий (РТИ) с определенным набором свойств, а также пресс-форм для их производства. Уделяется внимание вопросам конструкции шин, расчета их основных конструктивных параметров.

Выполнение работы осуществляется в соответствии с заданием по курсовой работе, содержащим календарный план проведения работы и указание сроков защиты.

Студент, выполняющий курсовую работу, отвечает за правильность разработанной конструкции оснастки для производства резинотехнических изделий, расчетов, а также за стиль изложения расчетно-пояснительной записки и оформление курсовой работы.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

1.1. Титульный лист

Титульный лист оформляется согласно СТП БГТУ 001–2007.

1.2. Задание по курсовой работе

Задание к курсовой работе содержит название темы работы, данные, необходимые для выполнения курсовой работы, а также сроки ее выполнения. К заданию прилагается резинотехническое изделие (либо его чертеж), для которого в ходе курсовой работы разрабатывается оснастка.

1.3. Реферат

Реферат должен содержать:

– сведения об объеме курсовой работы (количество листов иллюстративного материала, страниц расчетно-пояснительной записки с указанием числа таблиц, рисунков и литературных источников);

– перечень ключевых слов. Перечень должен характеризовать основное содержание проекта и включать от 5 до 15 слов в единственном числе именительном падеже, написанных через запятую в строку прописными буквами без переноса и применения аббревиатуры. Ключевые слова в совокупности вне текста реферата должны давать достаточно полное представление о содержании курсовой работы;

– текст реферата. Текст реферата должен отражать цель работы, основные полученные результаты, конструктивные характеристики разработанной оснастки, область применения, оборудование, для которого она предназначена, рекомендации по ее использованию, эффективность и др. Оптимальный объем текста реферата – 1000–2000 знаков (не более одной страницы текста).

1.4. Содержание

Содержание включает введение, наименование всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование) и заключение с

указанием номеров страниц, на которых помещен каждый заголовок. В конце приводят перечень листов графического и иллюстративного материала. Все заголовки записывают строчными буквами (кроме первой прописной). Последнее слово каждого заголовка соединяют отточием с соответствующим номером страницы.

1.5. Введение

Приводится анализ состояния и перспективы развития отрасли в соответствии с темой курсовой работы. Отражается потребность в продукции и степень ее удовлетворения. Делается вывод о целесообразности выпуска данной разработки и необходимости реконструкции конкретного предприятия или усовершенствования технологического процесса. Указываются цель и задачи курсовой работы.

1.6. Обоснование выбора метода изготовления РТИ. Выбор оборудования и его характеристика

В этом разделе рассматриваются преимущества и недостатки различных методов для изготовления конкретного резинотехнического изделия (РТИ). На основании проведенного анализа производится выбор метода, обосновывается целесообразность выбора. Приводится полное описание способа изготовления заданного РТИ.

Дается обзор описаний оборудования в отечественной и зарубежной литературе, которое применяется при данном методе изготовления. Обзор должен выявить возможные перспективные направления по совершенствованию выбранного способа изготовления РТИ, которые позволят улучшить качество продукции, повысить производительность труда, снизить энергозатраты и т. д. На основании обзора делается выбор конкретного оборудования, для которого приводятся описание и техническая характеристика, порядок его работы. Предлагаются новые технические решения, планируемые к использованию при разработке оснастки для изготовления РТИ.

1.7. Расчет гнездности оснастки. Конструирование формообразующих полостей

Расчет гнездности заключается в выборе оптимального количества гнезд в пресс-форме. В зависимости от выбранного метода изготовления расчет гнездности производится:

1. Для компрессионных форм – исходя из номинального усилия прессы:

$$n = \frac{F_n \cdot \eta}{p_{уд} \cdot S_{пр}}, \quad (1)$$

где n – количество гнезд;

F_n – номинальное усилие прессы;

η – коэффициент, учитывающий потери;

$p_{уд}$ – удельное давление прессования;

$S_{пр}$ – площадь прессования.

2. Для литевых форм – исходя из номинального усилия узла смыкания литевой машины и объема впрыска литевой машины (объема инжекционного узла).

Исходя из номинального усилия прессы гнездность может быть не более

$$n = \frac{F_n \cdot \eta}{p_{уд} \cdot S_l}, \quad (2)$$

где n – количество гнезд;

F_n – номинальное усилие узла смыкания;

η – коэффициент, учитывающий потери;

$p_{уд}$ – удельное давление литья;

S_l – площадь литья.

Исходя из объема впрыска литевой машины (объема инжекционного узла) гнездность рассчитывается:

$$n = \frac{V_{мц} \cdot \rho_{рс}}{m_{изд} \cdot k}, \quad (3)$$

где n – количество гнезд;

$V_{мц}$ – объем материального цилиндра узла впрыска литевой машины;

$\rho_{рс}$ – плотность резиновой смеси;

$m_{изд}$ – масса изделия;

k – коэффициент, учитывающий площадь литниковой системы ($k \approx 1,1$).

3. Для компрессионно-литевых форм – исходя из номинального усилия прессы и объема впрыска литягового агрегата (объема материального цилиндра).

Исходя из номинального усилия прессы максимальная гнездность рассчитывается по формуле (1).

Исходя из объема впрыска литьевого агрегата (объема материального цилиндра) максимальная гнездность рассчитывается аналогично литьевой форме (3).

Далее выбирается оптимальное количество гнезд с учетом размера плит пресса (узла смыкания литьевой машины), массы проектируемой оснастки, мощности системы обогрева пресса, сложности изготовления пресс-формы, экономической целесообразности изготовления такого количества гнезд, скорости перезарядки и т. д.

На основании выбора окончательной гнездности пресс-формы проводится обратный расчет с целью определения требуемого усилия смыкания и объема впрыска (для литьевого и компрессионно-литьевого методов).

Формообразующие полости и основные части пресс-формы конструируются и компоуются в соответствии с требованиями к конструкции пресс-форм (ГОСТ 14901–93, ГОСТ 29077–91 и др.). Компоновка осуществляется с учетом привязок к выбранному оборудованию.

1.8. Расчет усадки и исполнительных размеров формообразующих деталей

Линейная усадка может быть рассчитана несколькими способами.

I. Расчет усадки исходя из температурной и вулканизационной составляющей:

1. Температурная составляющая усадки определяется по формуле

$$Y_T = (\alpha_p - \alpha_m) \cdot \Delta T, \quad (4)$$

где α_m – коэффициент линейного расширения металла;

α_p – коэффициент линейного расширения резины;

ΔT – перепад температур.

Здесь $\alpha_m = \eta \alpha_k$, где α_k – коэффициент линейного расширения каучука; η – относительное объемное содержание каучука и компонентов органической природы в резиновой смеси.

Расчет коэффициента расширения ведется по правилу аддитивности:

$$\alpha_p = \alpha_k \cdot H_k + \sum_{i=0}^n \alpha_i \cdot H_i, \quad (5)$$

где α_p , α_k , α_i – коэффициенты линейного расширения резиновой смеси, каучука и компонентов;

H_k , H_i – объемная доля каучука, компонентов.

2. Вулканизационная составляющая усадки связана с плотностью (удельным объемом) вулканизата (γ_p) и плотностью резиновой смеси ($\gamma_{p.c}$) зависимостью

$$Y_B = \sqrt[3]{\frac{\gamma_p}{\gamma_{p.c}} - 1}. \quad (6)$$

Остальные составляющие полной усадки объединяются в так называемую деформационную усадку $Y_{\text{деф}}$.

Деформационная усадка обычно незначительна, поэтому ее можно не учитывать.

Общая усадка:

$$Y = Y_T + Y_B + Y_{\text{деф}}. \quad (7)$$

II. Расчет усадки по правилу аддитивности влияния составляющих компонентов:

$$Y = \Delta T \cdot \Delta A \cdot K, \quad (8)$$

где ΔT – разность между температурой вулканизации и комнатной температурой;

ΔA – разность между коэффициентами расширения каучука и материала пресс-форм;

K – объемная доля каучука и растворимых в ацетоне веществ (ацетонового экстракта), %.

Вышеприведенные способы расчета усадки в основном используются для расчета усадки РТИ, изготавливаемых компрессионным методом.

Для РТИ, изготавливаемых литьевым методом, рекомендуется использовать другой способ.

III. Расчет усадки через начальное состояние полимера и постоянные уравнения состояния.

Среднее значение объемной усадки рассчитывается по формуле

$$Y_V = \frac{V' - V}{V'} = \frac{1 - \frac{\pi}{\pi + p}}{1 + \frac{M_{\text{см}} \cdot b_{\text{см}} \cdot \pi}{R \cdot T}}, \quad (9)$$

где V' – объем гнезда пресс-формы;

V – объем изделия при нормальных условиях;

π – внутреннее давление, обусловленное силами межмолекулярного взаимодействия;

p – давление в полости формы;

$M_{см}$ – молекулярная масса структурной единицы, обуславливающей межмолекулярное взаимодействие в резиновой смеси с учетом наполнителя;

$b_{см}$ – константа, учитывающая собственный объем молекул каучука и наполнителя в резиновой смеси;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютное значение температуры расплава.

Средняя линейная усадка:

$$\bar{Y}_л = 1 - \left(\frac{V}{V'} \right). \quad (10)$$

Для резиновых смесей на основе большинства каучуков значения констант уравнения не зависят от содержания наполнителя, а $M_{см}$ и $b_{см}$ рассчитываются по формулам:

$$M_{см} = M \cdot \left(1 + \frac{q_n}{q} \right), \quad (11)$$

где M – молекулярная масса структурной единицы, обуславливающей межмолекулярное взаимодействие каучука;

q_n – массовая доля наполнителя;

q – массовая доля каучука;

$$b_{см} = b - z \cdot (b - V_n), \quad (12)$$

где b – константа, учитывающая собственный объем молекул каучука;

$z = G_n / (G_n + G_k)$;

G_n, G_k – соответственно масса наполнителя и каучука;

V_n – удельный объем наполнителя (V_n технического углерода составляет примерно $0,5 \text{ см}^3/\text{г}$).

Для получения РТИ требуемых размеров необходимо дать в пресс-форме припуск на размеры формообразующей полости с учетом усадки резины. Ввиду того что при прессовании образуется облой резины по плоскостям разъема пресс-формы, усадку резины на высоту изделия можно не учитывать.

При изготовлении прецизионных РТИ следует стремиться исключать расположение детали в направлении наиболее строгого размера.

1.9. Тепловой расчет оснастки

Целью теплового расчета пресс-форм является определение установившейся мощности системы обогрева, которая необходима для обеспечения работоспособности системы как в пусковом (начальном), так и в стационарном (устойчивом) режимах работы пресс-формы. Таким образом, в тепловом расчете пресс-форм должны быть выделены два этапа:

1) определение мощности нагревательных элементов для разогрева пресс-формы в течение заданного времени в пусковом режиме работы W_1 ;

2) определение мощности нагревательных элементов в стационарном режиме работы W_2 .

Для большинства пресс-форм $W_1 > W_2$, но расчет величины W_2 обязателен, поскольку, например, конструкции пресс-форм с сильно развитой поверхностью при малой общей массе формующих элементов (например, для плоских тонкостенных изделий) имеют значительные потери тепла в окружающую среду при размыкании пресс-формы в стационарном режиме ее работы, так что $W_2 > W_1$. Оценить соотношение W_1 и W_2 для конкретной проектируемой формы, не проводя соответствующих расчетов, возможно лишь при большом опыте их конструирования и эксплуатации. После расчетов принимают значение мощности (для реализации ее в пресс-форме), соответствующее максимальному значению из W_1, W_2 .

Принцип расчета для мощностей литевых и компрессионных пресс-форм является общим. Ниже приведен расчет для компрессионной пресс-формы.

Расчет W_1 .

При заданном времени разогрева (обычно его принимают равным 30–45 мин – в зависимости от габаритов пресс-формы)

$$W_1 = \frac{Q_{\text{пр}}}{T_{\text{раз}}} + Q_{\text{пот}}^{\text{раз}}, \quad (13)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – тепло для разогрева пресс-формы до температуры прессования (без учета потерь), кДж;

$T_{\text{раз}}$ – время разогрева, ч;

$Q_{\text{пот}}^{\text{раз}}$ – потери тепла за время разогрева, кВт.

Значение $Q_{\text{пр}}$, кДж, рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{\text{пр}} = c \cdot G_{\text{пр}} \cdot (T_{\text{пр}}^{\text{сп}} - 20), \quad (14)$$

где c – удельная теплоемкость стали, кДж/(кг · °С);

$G_{\text{пр}}$ – масса пресс-формы, кг;

$T_{\text{пр}}^{\text{ср}}$ – средняя температура пресс-формы в конце разогрева
($T_{\text{пр}}^{\text{ср}} \approx 20^\circ\text{C}$ при температуре стенки $T_c = 165\text{--}170^\circ\text{C}$).

Потери тепла за время разогрева:

$$Q_{\text{пот}}^{\text{раз}} = Q_{\text{бп}} + Q_{\text{сп}}, \quad (15)$$

где $Q_{\text{бп}}$ – потери тепла боковыми поверхностями пресс-формы, кВт;

$Q_{\text{сп}}$ – потери тепла в стол пресса поверхностями контакта с прессом, кВт.

Потери тепла боковыми поверхностями $Q_{\text{бп}}$ без теплоизоляции:

$$Q_{\text{бп}} = \alpha_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}} \cdot (T_c - 20) / 2; \quad (16)$$

потери тепла боковыми поверхностями $Q_{\text{бп}}$ с теплоизоляцией:

$$Q_{\text{бп}} = \alpha_{\text{б}}^{\text{и}} \cdot f_{\text{б}} \cdot (T_{\text{и}} - 20) / 2, \quad (17)$$

где $\alpha_{\text{б}}$, $\alpha_{\text{б}}^{\text{и}}$ – коэффициенты теплоотдачи боковых поверхностей соответственно пресс-формы и изоляции;

$f_{\text{б}}$ – площадь боковых поверхностей пресс-формы, м²;

T_c и $T_{\text{и}}$ – температуры соответственно поверхности пресс-формы и теплоизоляции, °С.

Обычно $\alpha_{\text{б}} \approx \alpha_{\text{б}}^{\text{и}} = 1,5 \cdot 10^{-2}$ кДж/(м² · ч · °С); $T_{\text{и}} = 80\text{--}85^\circ\text{C}$.

Потери теплоты в стол пресса $Q_{\text{сп}}$:

$$Q_{\text{сп}} = f_{\text{к}} \cdot (\lambda_{\text{пр}} / \delta_{\text{пр}}) \cdot (T_0 - T_{\text{п}}), \quad (18)$$

где $f_{\text{к}}$ – площадь контакта пресс-формы с прессом, м²;

$\lambda_{\text{пр}}$ – коэффициент теплопроводности прокладки, кДж/(м² · ч · °С);

$\delta_{\text{пр}}$ – толщина прокладки, м;

$T_0 = (T_c - 20) / 2$ – средняя температура поверхностей контакта пресс-формы за период разогрева, °С;

T_c – температура стенок пресс-формы, °С;

$T_{\text{п}} \approx 28\text{--}30^\circ\text{C}$ – средняя температура поверхностей контакта пресса, °С.

Расчет W_2 .

Принципиально этот расчет подобен расчету W_1 . Мощность нагревательных элементов W_2 должна быть достаточной для обеспечения полного теплового баланса (внешних источников тепла):

$$Q_{\text{эл}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{сп}} + Q_{\text{о.с}} + Q_{\text{б.с}} + Q_{\text{пр}}, \quad (19)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – полезное тепло, расходуемое на нагрев пресс-массы;

$Q_{\text{ст}}$ – потери тепла в стол прессы;

$Q_{\text{о.с}}$ – потери тепла в окружающую среду через боковые поверхности и места разъема пресс-формы ($Q_{\text{о.с}} = Q_{\text{б}} + Q_{\text{р}}$);

$Q_{\text{б.с}}$ – потери тепла через болтовые соединения;

$Q_{\text{пр}}$ – прочие потери (потери тепла при обдувке воздухом, продувке пресс-формы, вынужденных перерывах в работе и пр.).

Основными являются три первых члена правой части равенства, которые могут быть определены с достаточной для практических расчетов точностью. Определение потерь является задачей менее точной: поскольку два члена являются к тому же незначительными по величине, такие приближенные расчеты не вносят существенных изменений в результаты расчета.

По экспериментальным данным, при различных условиях работы пресс-формы величина прочих потерь колеблется в пределах 10–20% от общего расхода электроэнергии.

Полезная теплота $Q_{\text{пол}}$ определяется по зависимости

$$Q_{\text{пол}} = c \cdot G_1 \cdot \Delta T \cdot z, \quad (20)$$

где c – теплоемкость прессуемого материала, кДж/(м² · ч · °С);

G_1 – масса одного изделия, кг;

ΔT – изменение температуры материала в процессе его нагревания в пресс-форме, °С;

z – число изделий, изготавливаемых в час.

При расчете потерь в окружающую среду обязательным является учет потерь тепла при раскрытии пресс-формы:

$$Q_{\text{р}} = \tau_{\text{р}} \cdot \sum \alpha_{\text{р}} \cdot f_{\text{р}} \cdot \Delta T, \quad (21)$$

где $\tau_{\text{р}}$ – продолжительность раскрытия пресс-формы за 1 ч работы;

$\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент теплоотдачи поверхности разъема;

$f_{\text{р}}$ – площадь поверхности разъема, м²;

ΔT – разность температур поверхности пресс-формы и окружающей среды, °С.

Для матрицы и пуансона эти потери следует считать отдельно, потому что значения $\alpha_{\text{р}}$ и $f_{\text{р}}$ для них различны.

Поверхность соприкосновения пресс-формы со столом прессы составляет 15–25% от ее общей поверхности, и, если принять коэффициент теплоотдачи в стол прессы равным коэффициенту теплоотдачи от боковых поверхностей, будем иметь тепловой запас 7,5–12,0% на пресс-форму (по сравнению с точным учетом расхода теплоты в стол

пресса), обеспечивающий бесперебойную работу пресс-форм при снижении напряжения в сети и т. д. Тогда общие потери тепла могут быть подсчитаны по одной формуле:

$$Q_{\text{пот}} = \alpha \cdot f_{\text{полн}} \cdot \Delta T, \quad (22)$$

где α – условный коэффициент теплоотдачи, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C})$;

$f_{\text{полн}}$ – полная поверхность пресс-формы, м^2 .

Ввиду того что во время работы напряжение в сети иногда падает, что приводит к перерывам в работе и появлению брака в изделиях, необходимо найденную величину $Q_{\text{эл}}$ увеличить на 15–20%, что компенсирует также все непредвиденные расходы тепла (сквозняки, сильные морозы и т. п.): $Q_{\text{расх}} = Q_{\text{эл}} \cdot \phi$. Избыток энергии при этом будет исключаться терморегулятором.

Общий расход тепла (кВт) в период прессования может быть подсчитан по уравнению теплового баланса:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{эл}} + Q_{\text{реакц}}, \quad (23)$$

где $Q_{\text{эл}}$ – тепловой поток, подведенный к пресс-форме в виде электроэнергии;

$Q_{\text{реакц}}$ – тепловой поток от экзотермической реакции.

В случае когда требуется $W_1 \gg W_2$, к пресс-форме подключают специальные секции стартовых нагревателей, мощность которых $W_{\text{ст}} = W_1 - W_2$; эти секции отключают при выходе пресс-формы на стационарный режим. Рассчитанную для всей пресс-формы мощность требуется распределить на две полуформы (учитывая их массы и расположение полости) и каждую автономно подключить к системе терморегулирования. Далее расчет проводят в зависимости от типа источника электроэнергии – электронагревательных элементов (устанавливая их единичную мощность) для индукторов (устанавливая число витков, толщину изоляции и другие функциональные параметры).

1.10. Расчет установленного ресурса оснастки

Пресс-формы, при соблюдении регламентированного технологического процесса, должны обеспечивать получение РТИ, соответствующих технической документации на них. Нарушение этого условия является критерием отказа пресс-формы. Критерием предельного состояния пресс-форм является такое состояние, когда трудоемкость их восстановления составляет свыше 40% трудоемкости изготовления новых пресс-форм.

Для пресс-форм рассчитывается гамма-процентная наработка до отказа (T_γ) и гамма-процентный ресурс ($T_{p\gamma}$):

$$T_\gamma = H_\gamma \cdot K_\Gamma \cdot K_B \cdot K_K \cdot K_M \cdot K_T \cdot K_A \cdot K_O \cdot K_P \cdot n; \quad (24)$$

$$T_{p\gamma} = 3 \cdot T_\gamma, \quad (25)$$

где H_γ – процентная наработка до отказа пресс-формы с одной формообразующей плотностью, шт.;

K_Γ – коэффициент, учитывающий гнездность пресс-формы;

K_B – коэффициент, учитывающий высоту формуемых изделий;

K_K – коэффициент, учитывающий качество точности формуемых изделий;

K_M – коэффициент, учитывающий материал формообразующих деталей;

K_T – коэффициент, учитывающий твердость формообразующих поверхностей;

K_A – коэффициент, учитывающий глубину азотирования формуемых деталей;

K_O – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности пресс-форм и дополнительные требования к качеству формуемых изделий;

K_P – коэффициент, учитывающий тип каучука;

n – число гнезд.

1.11. Описание работы разработанной оснастки, материалы деталей, обработка поверхностей

Приводится название (ГОСТ 23165–78), а также подробное описание работы разработанной оснастки. Описывается порядок ее сборки, разборки, назначение каждого узла и детали. Также подробно рассматривается крепление пресс-формы к прессу или узлу смыкания литейной машины.

Оговариваются требования к материалам пресс-формы, на основании чего производится выбор марки стали. Приводятся основные характеристики выбранных материалов пресс-формы.

Также в данном разделе рассматриваются применяемые допуски и посадки, обработка поверхностей.

1.12. Выбор материалов для РТИ, требования к свойствам

Рассматриваются требования к материалу детали с учетом ее назначения. Приводятся основные физико-механические показатели и их значения, требуемые к обеспечению.

На основании описанных требований к физико-механическим показателям резин делается выбор материалов для РТИ, приводятся характеристики материала и его ингредиентов.

1.13. Расчет и конструирование РТИ по основным параметрам шины

1.13.1. Основные положения при расчете на прочность пневматических шин

Расчет производится для основных силовых элементов шины: в диагональных шинах – это каркас, в радиальных – каркас и бреккер. Также определяют усилия, возникающие в борте шины. Величина усилия в нитях определяется в первую очередь углом между нитью и меридианом. Положение нити в кордном слое характеризуется углом β , составляемым нитью с меридианом поверхности в каждой точке (рис. 1).

При расчете покрышки предполагается, что перекрещивающиеся слои корда не смещаются друг относительно друга при формовании шины и что нити корда вытягиваются по всей своей длине равномерно в $(1 + \delta_1)$ раз (величина δ_1 называется коэффициентом условной вытяжки корда и зависит только от типа корда). Также принимается, что основную нагрузку от внутреннего давления берет на себя внутренний (первый) слой каркаса.

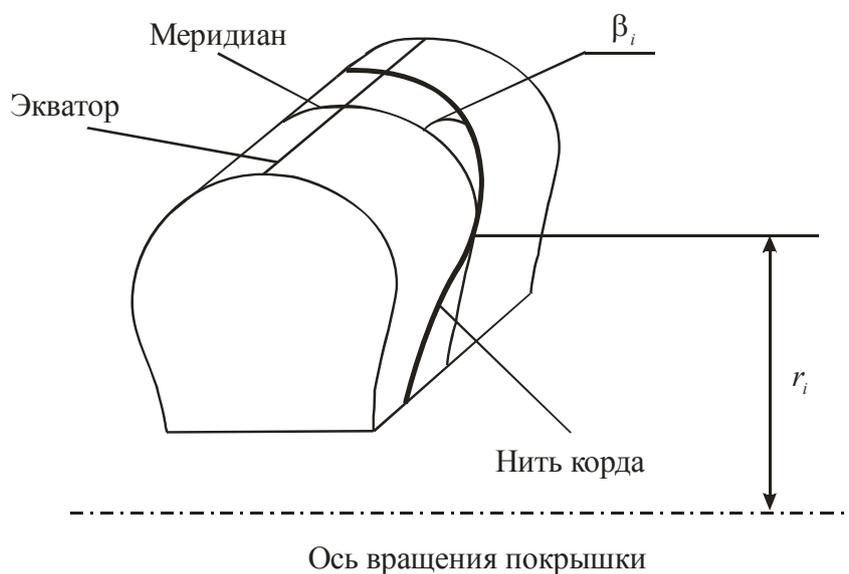


Рис. 1. Положение нити корда в покрышке

Для расчетов на профиле шины выделяют пять точек, делящих полупрофиль на четыре равные части (рис. 2, $R, r_1, r_2, r_3, r_{об}$), а также

наиболее удаленную от оси симметрии шины точку (r_0). Точка, соответствующая радиусу R , лежит на экваторе шины. Точка, соответствующая радиусу $r_{об}$ (точка обода), отделяет ту часть покрышки, которая деформируется при нагружении шины внутренним давлением, от недеформируемой части.

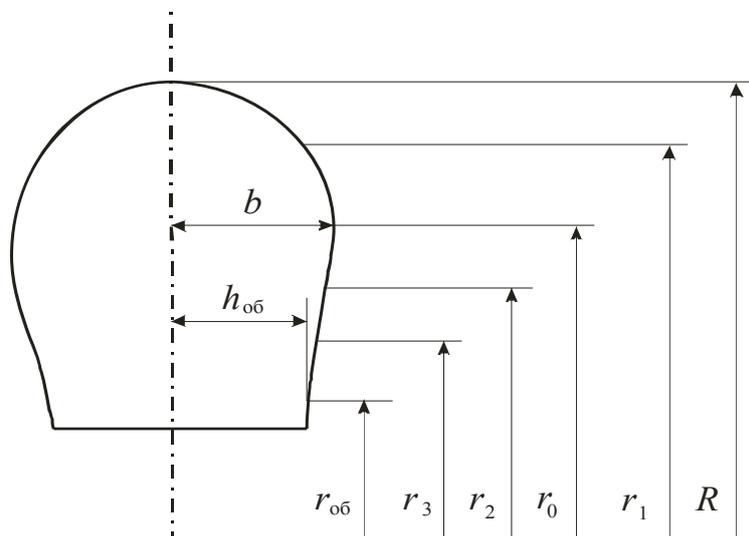


Рис. 2. Характерные точки на профиле покрышки

1.13.2. Расчет геометрических параметров шины по вулканизационной форме

При проектировании шины определяют следующие геометрические характеристики: угол нити в кордных слоях β ; толщину кордных слоев в покрышке h ; плотность нити в кордных слоях i ; длину нити в кордном слое от экватора до точки обода L .

Расчет угла β в произвольной точке на профиле шины осуществляется по формуле

$$\sin\beta_i = \frac{r_i \cdot \sin\alpha}{r_6 \cdot (1 + \delta_1)}, \quad (26)$$

где β_i – соответствующий радиусу r_i угол между нитью и меридианом;

r_i – расстояние (радиус) от оси вращения шины до рассматриваемой точки на внутреннем профиле покрышки, мм;

α – угол закроя корда;

r_6 – радиус первого кордного браслета (радиус сборочного барабана), мм.

Для точки по короне эта формула будет выглядеть следующим образом:

$$\sin\beta_k = \frac{R \cdot \sin\alpha}{r_6 \cdot (1 + \delta_1)}, \quad (27)$$

где β_k – угол нити по короне;

R – радиус покрышки по короне по внутреннему профилю, мм (рис. 2).

Толщина кордных слоев в вулканизованной покрышке рассчитывается по следующей формуле:

$$h_i = h_0 \frac{r_6 \cdot \cos\alpha}{r_i \cdot \cos\beta_i \cdot (1 + \delta_1)}, \quad (28)$$

где h_i – толщина кордного слоя в покрышке на расстоянии от оси вращения шины r_i , мм;

h_0 – толщина обрезиненного корда в заготовке покрышки на сборочном барабане, мм.

Плотность нити в кордных слоях рассчитывается:

$$i_i = i_0 \frac{r_6 \cdot \cos\alpha}{r_i \cdot \cos\beta_i}, \quad (29)$$

где i_i – плотность нитей в покрышке, нить/см;

i_0 – плотность нитей обрезиненного корда, нить/см.

Длина нити в кордном слое покрышки от экватора до точки обода в практических расчетах определяется по приближенной формуле Симпсона:

$$L = \frac{S}{12} \cdot (K_k + 4 \cdot K_1 + 2 \cdot K_2 + 4 \cdot K_3 + K_{об}), \quad (30)$$

где S – периметр полупрофиля покрышки по внутреннему контуру;

$K_k, K_i, K_{об}$ – величина, обратная косинусу угла нити соответственно в точке по короне, в i -й точке и в точке обода на профиле покрышки.

Однако можно применять и другие методики расчета определенных интегралов, учитывая, что

$$L = \int_{об}^{кор} \frac{dS}{\cos\beta_i}. \quad (31)$$

В данном случае интеграл берется по профилю шины от точки обода до точки по короне.

1.13.3. Определение конфигурации поддутой покрышки

При нагружении шины внутренним давлением в начальный период происходит существенная ее деформация. Это обусловлено тем, что на данном этапе происходит изменение углов между нитями корда за счет деформирования резины между нитями. Смещение нитей протекает до тех пор, пока их направление не совпадет с направлением вектора действующей силы. После этого нагрузка от внутреннего давления воспринимается только нитями корда, а деформации, претерпеваемые шиной, становятся незначительными. Данное состояние, при котором прекращается изменение углов между нитями, называется состоянием равновесия, а конфигурация внутреннего профиля покрышки, соответствующая равновесному состоянию, – равновесной конфигурацией. Расчет покрышки на прочность производится именно по равновесному состоянию.

Параметры равновесной конфигурации сведены в атласах номограмм, при их построении использована расчетная формула для нахождения радиуса кривизны равновесного профиля (ρ):

$$\rho = R \cdot \frac{1 - \lambda_0^2}{\lambda} \cdot \frac{\cos \beta \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \beta}}{2 - (3 \cdot \lambda^2 - \lambda_0^2) \cdot \sin^2 \beta}, \quad (32)$$

где

$$\lambda = \frac{r}{R}; \quad \lambda_0 = \frac{r_0}{R}.$$

В качестве исходных данных к использованию расчетной номограммы необходимы характеристики точки обода: угол между нитью и меридианом – $\alpha_{об}$, расстояние от оси вращения – $r_{об}$, расстояние от оси симметрии – $h_{об}$ и длина нити в каркасе покрышки от точки обода до точки по короне – L .

По расчетной номограмме можно определить угол нити по короне в наддутой шине ($\beta_{кн}$), отношение ширины полупрофиля по внутреннему контуру к радиусу точки обода ($b/r_{об}$) и величину λ_0 , представляющую собой отношение расстояния от оси вращения шины до самой широкой точки профиля к радиусу по внутреннему профилю для наддутой покрышки.

Зная угол по короне в наддутой и вулканизированной покрышке, можно определить радиус по внутреннему профилю для наддутой шины:

$$R_H = R_B + R \cdot \operatorname{ctg} \beta_{кв} \cdot \frac{\beta_{кн} - \beta_{кв}}{57,3}, \quad (33)$$

где R_n и $\beta_{кн}$ – соответственно радиус и угол по короне в надутой покрывке;

R_v и $\beta_{кв}$ – то же самое для вулканизованной покрывки.

Так как при нагружении покрывки внутренним давлением происходит изменение положения отмеченных ранее на ее профиле точек, необходимо произвести пересчет углов в соответствующих точках на надутое состояние, используя соотношение

$$\frac{R_n}{r_i} = \frac{\sin\beta_n}{\sin\beta_i}. \quad (34)$$

Таким образом, используя расчетные номограммы, можно определить все основные характеристики равновесной конфигурации, используя в качестве исходных величин характеристики вулканизованной покрывки.

1.13.4. Определение основных габаритных размеров покрывки

К основным габаритным размерам покрывки относятся наружный диаметр (D_n) и ширина профиля (B_n) в надутом состоянии.

Наружный диаметр:

$$D_n = 2 \cdot R_n + \sum h_{кор}, \quad (35)$$

где $\sum h_{кор}$ – толщина покрывки по короне:

$$\sum h_{кор} = h_{кар} + h_{бр} + h_{просл} + h_{прот}, \quad (36)$$

где $h_{кар}$ – толщина каркаса;

$h_{бр}$ – толщина брекера;

$h_{просл}$ – толщина резиновых прослоек;

$h_{прот}$ – толщина протектора.

Ширина профиля:

$$B_n = 2 \cdot b + \sum h_{б.с}, \quad (37)$$

где $\sum h_{б.с}$ – толщина боковой стенки:

$$\sum h_{б.с} = h_{кар} + h_{просл1} + h_{бок}, \quad (38)$$

где $h_{просл1}$ – толщина резиновой прослойки на низ первого слоя каркаса (если имеется);

$h_{бок}$ – толщина боковины.

Толщины всех деталей определяются для вулканизованной шины.

1.13.5. Определение усилий от внутреннего давления в нитях корда каркаса и брекера

Так как нагружение нитей корда происходит после того, как прекращается изменение угла, т. е. при установлении равновесной конфигурации, расчет усилий производится именно для равновесного состояния. Для расчета пользуются геометрическими характеристиками равновесного профиля (R_n , $\beta_{кн}$ и т. д.).

Усилие от внутреннего давления в любой точке (N_i) в нитях корда каркаса диагональных и радиальных шин, а также брекера диагональных шин определяется по формуле, выведенной для меридианальной составляющей силы внутреннего давления:

$$N_i = p \cdot \frac{R^2 - r_0^2}{2 \cdot R \cdot \sum i_k \cdot \cos^2 \beta_i}, \quad (39)$$

где p – внутреннее давление;

$\sum i_k$ – суммарная плотность корда в точке по короне (в нее входят каркас и брекер).

Очевидно, что усилие в нитях корда обратно пропорционально $\cos^2 \beta$, т. е. максимальное усилие будет при минимальном значении $\cos^2 \beta$ (при максимальном угле). В диагональной шине угол увеличивается от точки обода до экватора, следовательно, максимальное усилие в каркасе и брекере диагональных шин будет наблюдаться в точке по короне:

$$N_{\max} = p \cdot \frac{R^2 - r_0^2}{2 \cdot R \cdot \sum i_k \cdot \cos^2 \beta_k}. \quad (40)$$

В каркасе же радиальных шин угол не зависит от расстояния от оси вращения и составляет около 0° , поэтому усилие от внутреннего давления в каждой точке профиля покрышки будет постоянно.

Усилие от внутреннего давления в нитях корда брекера ($N_{бр}$) радиальных шин определяется по формуле

$$N_{бр} = p \cdot \frac{2 \cdot R \cdot \rho_{бр} - R^2 + r_0^2}{2 \cdot \rho_{бр} \cdot \sum i_k \cdot \sin^2 \beta_{бр}}, \quad (41)$$

где $\rho_{бр}$ – радиус кривизны брекера;

$\beta_{бр}$ – угол нити в брекере.

1.13.6. Расчет усилий в борте шины

Полное усилие в борте шины (P_c) складывается из двух составляющих: усилия от натяга (P_n), создаваемого при посадке покрышки

на обод колеса, и усилия от внутреннего давления (P_0), передаваемого на борт через завороты слоев каркаса:

$$P_c = P_n + P_0. \quad (42)$$

Усилие от натяга в борте:

$$P_n = \frac{\delta \cdot b \cdot r_c \cdot E}{2t}, \quad (43)$$

где δ – натяг;

b – толщина проволочного кольца;

r_c – средний радиус проволочного бортового кольца;

E – модуль упругости резинокордного материала;

t – толщина резинокордного материала под бортовым кольцом.

Усилие от внутреннего давления в борте:

$$P_c = p \cdot \frac{(R^2 - r_0^2) \cdot \cos\beta_k}{2 \cdot \cos\beta_c}, \quad (44)$$

где β_c – угол нити в слое каркаса, соответствующий радиусу r_c .

1.14. Заключение

Дается общая оценка выполненного проекта. Приводится название, общая характеристика разработанной оснастки, перечень проведенных расчетов. Делается заключение о целесообразности и сфере применения разработанной оснастки.

1.15. Список использованных источников

В списке указываются все источники, использованные при разработке курсового проекта. Оформление списка, а также порядок расположения в нем источников должны соответствовать СТП БГТУ 001–2007.

1.16. Оформление курсового проекта

Оформление курсового проекта осуществляется в соответствии с требованиями СТП БГТУ 001–2007.

2. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Графическая часть курсового проекта включает в себя:

- 1) чертеж детали;
- 2) сборочный чертеж оснастки;
- 3) чертежи деталей оснастки.

Чертеж детали должен содержать все требования, предъявляемые к РТИ, включая требования по точности изготовления, условиям эксплуатации, усадку.

Сборочный чертеж должен отражать взаимное расположение и связи составных частей сборочной единицы, обеспечивать ее сборку и контроль.

На сборочном чертеже указывают минимальное количество размеров: габаритные, установочные и присоединительные к смежным устройствам. В числе технических требований, указываемых на чертеже, должно быть написано: *Все размеры для справок* или *Размеры для справок со звездочкой* при наличии размеров, необходимых для изготовления и контроля сборочной единицы в целом (на чертеже эти размеры тоже помечают звездочкой).

Основную надпись оформляют в соответствии с требованиями СТП БГТУ 001–2007.

Для всех составных частей изделия должны быть указаны их позиционные обозначения в соответствии со спецификацией. Для номеров позиционных обозначений заготавливают полки на линиях-выносках, расположенные группами в вертикальных и горизонтальных рядах, по возможности через одинаковые интервалы. От каждой полки проводят линию-выноску к соответствующей детали с точкой на конце, избегая совпадения их с линиями штриховки. Линии-выноски не должны пересекаться между собой и должны пересекать как можно меньше других деталей. Цифры наносят шрифтом на номер больше размерных. Позиционные обозначения крепежных деталей пишут на полках под обозначением прикрепляемой детали.

Спецификация содержит перечень всех составных частей, входящих в данное специфицируемое изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к нему и его неспецифицируемым составным частям.

Формат листов для сборочного чертежа и деталей оснастки должен обеспечивать читаемость чертежа.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА	4
1.1. Титульный лист	4
1.2. Задание по курсовой работе.....	4
1.3. Реферат	4
1.4. Содержание.....	4
1.5. Введение	5
1.6. Обоснование выбора метода изготовления РТИ. Выбор оборудования и его характеристика	5
1.7. Расчет гнездности оснастки. Конструирование формооб- разующих полостей	5
1.8. Расчет усадки и исполнительных размеров формообра- зующих деталей.....	7
1.9. Тепловой расчет оснастки.....	10
1.10. Расчет установленного ресурса оснастки.....	13
1.11. Описание работы разработанной оснастки, материалы деталей, обработка поверхностей	14
1.12. Выбор материалов для РТИ, требования к свойствам	14
1.13. Расчет и конструирование РТИ по основным параметрам шины.....	15
1.14. Заключение	21
1.15. Список использованных источников.....	21
1.16. Оформление курсового проекта	21
2. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	22

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И ФОРМ

Составитель **Мозгалёв Владимир Валерьевич**

Редактор *О. П. Приходько*
Компьютерная верстка *О. П. Приходько*
Корректор *О. П. Приходько*

Издатель:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.