

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. В. Мозгалёв, П. К. Липлянин

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И ФОРМ

Рекомендовано

*учебно-методическим объединением высших учебных заведений
Республики Беларусь по химико-технологическому образованию в качестве
учебно-методического пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности 1-48 01 02 «Химическая технология
органических веществ, материалов и изделий» специализации
1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров»*

Минск 2010

УДК 678.4.06(075.8)

ББК 35.728я73

М74

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры
технической механики и материаловедения

Гродненского государственного аграрного университета

В. А. Струк;

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

Д. В. Русецкий

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Мозгалёв, В. В.

М74 Расчет и конструирование резиновых изделий и форм : учеб.-метод. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров» / В. В. Мозгалёв, П. К. Липлянин. – Минск : БГТУ, 2010. – 149 с.

ISBN 978-985-434-967-1.

Учебно-методическое пособие включает материал о современных достижениях в области свойств резин с точки зрения конструкционного материала и методов их изготовления, отражает актуальные вопросы расчета и конструирования резиновых изделий и форм, рассматривает передовые достижения в конструировании шинных пресс-форм. Издание является основой для изучения дисциплины «Расчет и конструирование резиновых изделий и форм».

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

УДК 678.4.06(075.8)

ББК 35.728я73

ISBN 978-985-434-967-1

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2010

© Мозгалёв В. В., Липлянин П. К., 2010

ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство качественных резиновых изделий, удовлетворяющих требованиям высокотехнологического оборудования, для которого они выпускаются, является наиважнейшей задачей, решение которой требует использования в производстве современных знаний в области механических свойств резин с точки зрения конструкционного материала, а также методов расчета, конструирования и изготовления резиновых изделий.

Резина проявляет многообразие свойств в зависимости от качественного и количественного содержания компонентов в различных марках исходных смесей (наполнители, пластификаторы и т.д.), а также используемого режима вулканизации. При этом любое отклонение вышеперечисленных параметров от требуемых приводит к значительному изменению эксплуатационных характеристик материалов.

Зачастую требования к готовым резиновым изделиям ограничиваются лишь показателями испытаний стандартными методами на твердость и прочность при растяжении, причем в условиях, далеких от эксплуатационных. Авторами данного пособия более широко рассмотрен вопрос механических свойств резин с точки зрения конструкционного материала в различных деформационных и температурных режимах.

Безопасная эксплуатация резиновых изделий сложной конструкции (шины, ремни, рукава, транспортерные ленты, пневматические оболочки и т.д.) требует предварительных расчетов во избежание нарушения их целостности или отклонения от нормальной работы механизмов. Также важным моментом является знание основ расчета и принципов конструирования оснастки для производства резиновых изделий, в особенности шин.

Данное пособие посвящено рассмотрению всех вышеперечисленных вопросов. Материал подобран и скомпонован авторами на основании проработки широкого перечня узкоспециализированной литературы. Главной задачей пособия является помощь в подготовке высококвалифицированных специалистов, владеющих научно-теоретическими, технологическими и прикладными основами расчета и конструирования резиновых изделий и оснастки для их производства, способных разрабатывать новые конструкции резиновых изделий и шин, создавать изделия с определенным набором свойств, необходимые в технике нового поколения.

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ КАК КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Резина представляет собой сложную многокомпонентную систему, в состав которой помимо каучука входит до 10–15, а иногда и более, различных ингредиентов (наполнители, пластификаторы, мягчители, вулканизирующие агенты, ускорители вулканизации, стабилизаторы, антикорченги и т.д.). Свой специфический набор свойств, характерный для эластомеров, резина приобретает в процессе вулканизации, при которой происходит сшивка макромолекул каучука поперечными связями. В результате образуется пространственная сетка, и резина приобретает требуемые эксплуатационные характеристики.

Широкое использование резин в различных областях техники обусловлено высокой эластичностью (способностью подвергаться обратимым деформациям до 1000 и более %), позволяющей демпфировать быстроменяющиеся нагрузки; способностью к большим обратимым деформациям при статических и динамических нагружениях; стойкостью к действию агрессивных сред; малой водо- и газопроницаемостью; хорошими диэлектрическими свойствами [1–3].

В отличие от металлов, которые сохраняют упругость при величине деформации не более одного процента и характеризуются высоким сопротивлением деформированию, резина обладает способностью изменять форму при механическом нагружении, сохраняя постоянный объем, восстанавливать исходную форму после удаления нагрузки, поглощать в процессе деформирования и рассеивать при последующем восстановлении механическую энергию [4, 5].

Механические свойства резин обусловлены их высокоэластичностью и релаксационными свойствами, т.е. зависимостью напряжения от времени действия нагрузки и скорости деформирования. Такого рода свойства резин проявляются как при статическом, так и динамическом нагружении.

Деформационные свойства резин непосредственно связаны с их физической и химической структурой, природой высокоэластической деформации, релаксационными процессами. Зависимости между структурой и свойствами эластомеров широко исследованы на молекулярном и надмолекулярном уровнях, однако полученные результаты все еще не позволяют конкретно предсказать механические характеристики резин, являющихся композициями сложного состава. Поэтому в большинстве случаев теоретические представления позволяют объяснить особенности механического поведения конкретных

резин, но не могут служить достаточной основой для создания резин с заданными механическими свойствами [6].

1.1. Механические свойства резин, определяемые при статическом нагружении

Из механических свойств, определяемых при статическом нагружении, выделяют упругорелаксационные и прочностные свойства резин. Упругорелаксационные свойства характеризуются показателями жесткости, ползучести, релаксации напряжения. Показатели прочностных свойств характеризуют способность материала сопротивляться разрушению под действием механических напряжений. Обычно определяют прочность при растяжении (f_p) и сопротивление раздиру (B).

В настоящее время в качестве критерия для сравнительной оценки различных резин и контроля их качества часто используют показатели прочностных свойств при растяжении. Такой подход в некоторой степени ошибочен, так как резиновые изделия в условиях эксплуатации не подвержены столь высоким деформациям, которые реализуются в процессе испытания прочности при растяжении. Поэтому были предложены методы оценки прочностных свойств резин в условиях ограниченной деформации [6, 7].

Принято считать, что с увеличением гистерезисных потерь прочность при растяжении увеличивается. В свою очередь, степень гистерезисных потерь зависит от ряда параметров, таких как способность к кристаллизации, наличие наполнителей (особенно для резин на основе некристаллизующихся каучуков), мягчителей, температура, скорость растяжения и т.д. Так, повышение температуры и снижение скорости растяжения, добавление в резиновую смесь мягчителей и другие факторы, которые снижают способность к ориентации и гистерезисные потери, приводят к уменьшению прочности [7–10].

Одним из основных критериев при выборе резин для изготовления резиновых технических изделий является жесткость, так как от этого показателя зависит деформация элементов силовых и амортизирующих конструкций под нагрузкой. В уплотнительных деталях оптимальное значение этого показателя зависит от необходимого или допускаемого усилия сжатия, возможности выдавливания резины в зазор, механического разрушения резины при повышенной температуре и высоком давлении среды.

Жесткость резин обычно оценивают по твердости, определение которой фактически сводится к измерению способности материала

противостоять внедрению в него жесткого индентора под действием приложенной силы. В классическом представлении твердость характеризуется модулем упругости, т.е. отношением приложенного напряжения к деформации. Так, модуль упругости резин может быть оценен с использованием теории линейного вязкоупругого поведения эластомеров [11].

Твердость резин и прочностные свойства зависят как от состава резины, так и от производственно-технологических параметров.

1.1.1. Упругорелаксационные свойства резин

Наиболее удобны свойства эластомеров рассматривать с точки зрения теории линейной вязкоупругости [12–14]. Данная теория рассматривает резину как материал, обладающий одновременно свойствами твердого тела и вязкой жидкости, и дает вполне приемлемые результаты как при оценке поведения изделий из эластомеров в промышленной эксплуатации, так и при разработке методов и приборов неразрушающего контроля механических характеристик [15, 16].

Идеально упругое тело характеризуется способностью деформироваться под действием механической нагрузки с любой скоростью и полностью моментально восстанавливаться после удаления нагрузки. Уравнение деформирования описывается законом Гука, согласно которому напряжение (сопротивление деформированию) σ определяется только величиной деформации ε [17]:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1.1)$$

где E – модуль упругости материала.

Сопротивление же вязкой жидкости не зависит от величины деформации, а определяется только скоростью деформации, и описывается законом Ньютона:

$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1.2)$$

где η – вязкость.

В общем виде деформирование полимерного вязкоупругого материала можно представить следующим образом:

$$\sigma = E(\varepsilon, t). \quad (1.3)$$

При этом напряжение для нелинейного вязкоупругого тела является функцией деформации от времени.

Большинство вязкоупругих материалов при деформациях менее 5% можно считать линейными, тогда уравнение (1.2) запишется в виде

$$\sigma = \varepsilon E(t), \quad (1.4)$$

где $E(t)$ – модуль упругости как функция времени.

Условием линейности уравнения (1.4) является наличие пропорциональной зависимости между напряжением и деформацией в любой момент времени. В основу этого утверждения положен принцип суперпозиции Больцмана. Принцип гласит, что в линейной вязкоупругости все воздействия являются аддитивными, т.е. при наложении некоторого напряжения возникает определенная деформация, зависящая от времени, однако любое приращение напряжения вносит независимый вклад в возникающую деформацию [11, 18].

Резина, являясь вязкоупругим эластомерным материалом, обладает весьма выраженными вязкоупругими свойствами, которые выражаются в релаксации и ползучести [19, 20]. Количественной оценкой этих свойств является время релаксации – время, за которое деформация или напряжение уменьшаются в e раз по сравнению с первоначальными значениями.

Природа вязкоупругих материалов наглядно может быть представлена с помощью зависимости модуля упругости от температуры (рис. 1.1).

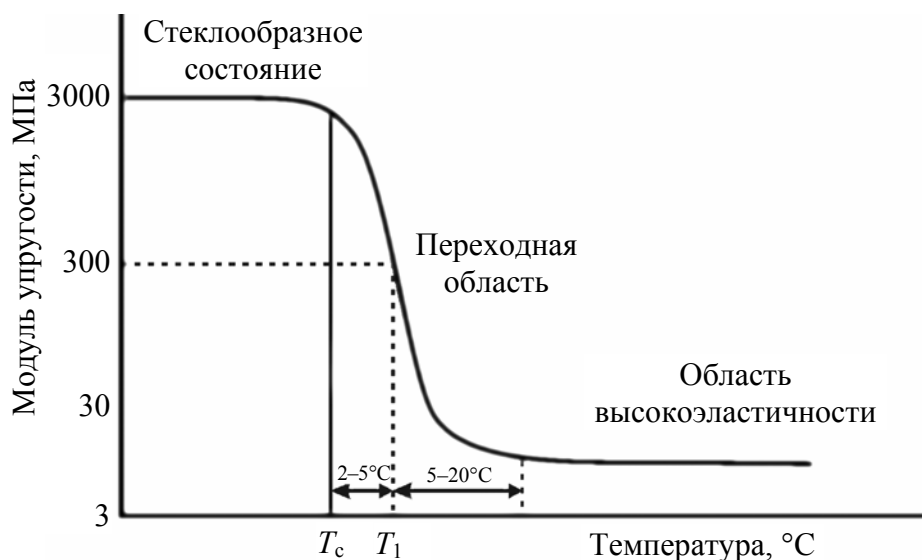


Рис. 1.1. Зависимость модуля упругости от температуры для эластомера (не имеющего вязкотекучего состояния)

Данная зависимость показывает, насколько сильное влияние на модуль упругости оказывает температура. При температурах ниже температуры стеклования (T_g) вязкоупругие материалы находятся в твердом стеклообразном состоянии, где материал обладает упругими свойствами твердого тела. При движении в сторону более высоких температур, попадая в переходную область, материал приобретает вязкоупругие свойства. В переходной области отклик материала на внешнее воздействие подчиняется уравнениям (1.1) и (1.2). При дальнейшем повышении температуры, при движении в сторону высокоэластичности, скорость релаксационных процессов увеличивается, соответственно, вязкие свойства уменьшаются. Таким образом, можно проследить динамику изменения модуля упругости при движении от стеклообразного состояния к области высокоэластичности [11, 21, 22].

Как известно, модуль упругости связан с твердостью материалов, в частности резин (рис. 1.2). Следовательно, температура будет оказывать влияние не только на модули (при растяжении, сжатии, сдвиге), но и на другие физико-механические характеристики.

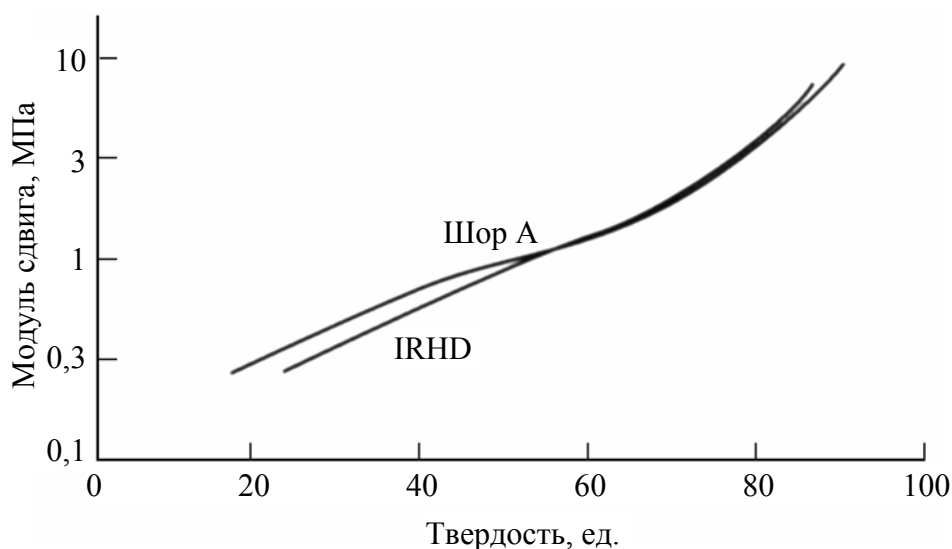


Рис. 1.2. Связь между модулем сдвига и твердостью по шкале Шор А и IRHD

Для определения твердости в основном применяются наиболее простые методы оценки эластомерных материалов, использующие принцип статического индентирования, которые сводятся к нагружению материала в течение относительно длительного промежутка времени. Основным уравнением, определяющим зависимость контактного усилия P от перемещения индентора α , является степенное уравнение [23]

$$P = G\alpha^k, \quad (1.5)$$

где G – постоянная, зависящая от формы индентора, модуля упругости E и коэффициента Пуассона материала μ ; k – постоянная Больцмана.

Известны уравнения связи силы P и перемещения α для инденторов различных геометрических форм, при внедрении их в упругий изотропный материал [24]. Данные зависимости выражаются через приведенный модуль упругости:

$$E^* = \frac{E}{(1 - \mu^2)}, \quad (1.6)$$

где E – модуль нормальной упругости материала, или модуль Юнга.

Существует несколько методов определения твердости. Их отличия заключаются в способе приложения и величине нагрузки, а также геометрической форме индентора (сфера, конус, усеченный конус). Ниже приведены основные схемы измерения твердости.

1. Измерение величины сопротивления вдавлению, при котором нагружение индентора производится с помощью пружины, в результате чего сила, действующая на индентор, зависит от глубины его проникновения в материал (приборы Шора [25]).

2. Измерение глубины внедрения индентора под действием постоянной силы (приборы для определения твердости в международных единицах IRHD – International Rubber Hardness Degree [26]).

3. Измерение силы, необходимой для внедрения индентора на определенную глубину [27].

Приборы, работающие по схемам 1 и 2, появились еще в первой половине 20-го века и вошли в ряд международных и национальных стандартов, что обусловило их широкое распространение. Однако с теоретической точки зрения наиболее рационально было бы использовать приборы, работающие по схеме 3, поскольку сила, измеряемая на заданной глубине внедрения, пропорциональна модулю упругости [28].

Отличительной особенностью вязкоупругих материалов, в частности резин, является то, что при измерении твердости, после снятия нагрузки, действующей на индентор, остается деформированный участок, который в дальнейшем почти полностью восстанавливается. Характер деформирования для различных резин различен. Поэтому глубина погружения индентора должна измеряться в процессе действия силы.

Как упоминалось выше, в настоящее время наиболее распространенными приборами для измерения твердости резин, являются твердомеры Шора А, позволяющие оценивать свойства в наиболее

употребимом интервале твердости (30–80 единиц). Однако часто приходится сталкиваться с необходимостью измерения свойств более жестких или более мягких резин. В этих случаях при измерении более жестких резин разрешающая способность прибора становится низкой, а при измерении более мягких – внедрение индентора становится слишком большим, в итоге на результат измерения начинает оказывать влияние жесткость подложки.

Схема прибора для измерения твердости по Шору А представлена на рис. 1.3.

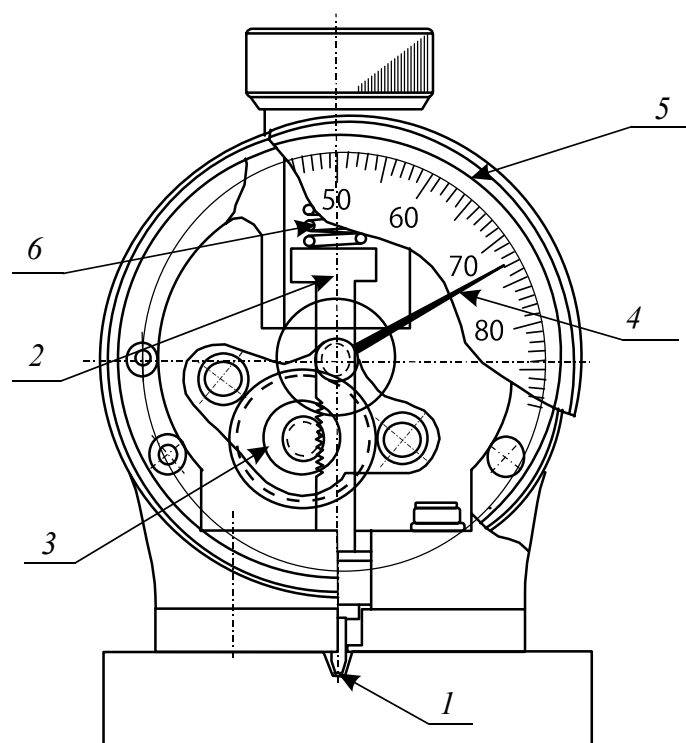


Рис. 1.3. Принципиальная схема измерения твердости по Шору А:
 1 – индентор; 2 – шток; 3 – зубчатые передачи; 4 – индикаторная стрелка;
 5 – градуированная шкала; 6 – калиброванная пружина

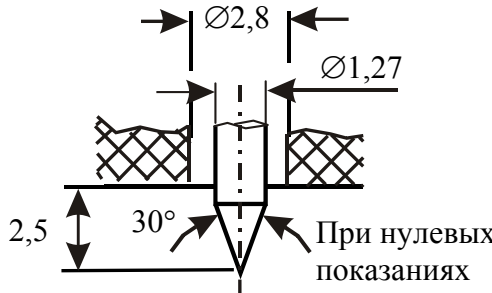
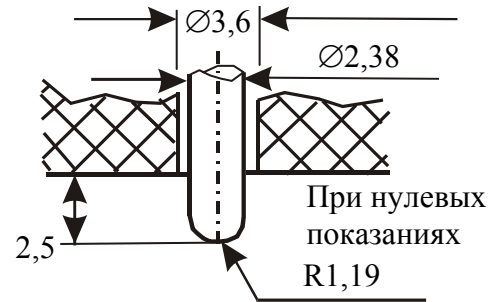
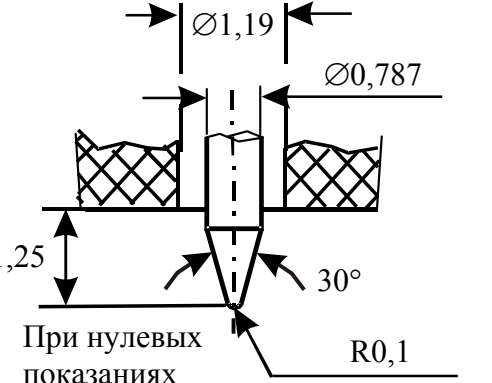
Шкала прибора проградуирована от 0 до 100. Максимальная твердость, которая характеризуется нулевым внедрением, соответствует делению в 100 единиц, а минимальная твердость, соответствующая деформации материала на величину полного нормируемого вылета индентора, соответствует делению 0. В процессе измерения индентор прижимается к образцу посредством калиброванной пружины. Показания снимаются после 3 с, однако если твердость по истечении этого времени продолжает сильно меняться – показания снимают после 15 с [24, 25].

С целью расширения области применения метода измерения твердости по Шору, разработаны приборы, реализующие данный принцип, но отличающиеся величиной прижимного усилия пружины и формой индентора (приборы Шора В, С, D, О, М). Сравнительные характеристики приборов приведены в табл. 1.1 [24, 29].

Таблица 1.1

Сравнительные характеристики приборов Шора

Тип прибора Шора	Форма индентора	Усилие пружины, Н	Толщина образцов, мм	Область применения
А		8	6	Относительно мягкие резины и эластомеры
В		8	6	Жесткие эластомеры и пластики. Используется при измерении твердости выше 93 единиц по шкале А
С		44,5	6	Эластомеры и резины средней жесткости. Форма индентора помогает избежать повреждений поверхности

Тип прибора Шора	Форма индентора	Усилие пружины, Н	Толщина образцов, мм	Область применения
D		44,5	6	Жесткие пластики и эластомеры (термопластики)
O		8	6	Очень мягкие эластомеры. Используется при измерении твердости ниже 20 единиц по шкале А
M		0,8	3	Образцы из мягких резин и эластомеров, имеющие небольшую толщину

Помимо указанного недостатка, ограничивающего применение приборов Шора А, существуют сложности в определении глубины внедрения. Это обусловлено тем, что глубина должна измеряться относительно некоторого фиксированного положения, например, поверхности образца. Однако в момент касания поверхности образца при измерении, некоторая деформация неизбежно возникает. Кроме того, при наличии неровностей на образце или при измере-

нии образцов резин, состоящих из нескольких слоев, образуются воздушные зазоры (допускается по ГОСТ 263–75 [25]), при этом точность измерения резко уменьшается за счет перемещения индентора на величину воздушного зазора, и это перемещение добавляется к измеряемому.

Некоторые недостатки частично могут быть преодолены при использовании твердомеров, измеряющих твердость в международных единицах IRHD.

При этом перемещение сферического индентора фиксируется относительно кольцевой пластины, окружающей индентор, которая лежит свободно на поверхности образца и перемещается вместе с ней. Нулевой отсчет начинается после приложения малой контактной силы, устраняющей влияние микронеровностей и воздушных прослоек. Также отличительной особенностью является то, что приложенная к индентору сила действует определенное время, достаточное для достижения материалом состояния равновесия [11, 27].

Описанный метод основан на измерении глубины внедрения жесткого индентора в испытуемый образец при заданных условиях испытаний (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Характеристики приборов для измерения твердости в единицах IRHD

Параметры измерений	Резина высокой твердости	Резина средней твердости	Резина низкой твердости	Микроизмерения
Диаметр индентора, мм	1	2,5	5	0,395
Предварительная нагрузка (время выдержки 5 с), Н	0,3	0,3	0,3	0,0083
Основная нагрузка (время выдержки 30 с), Н	5,4	5,4	5,4	0,145
Диапазон измерений, IRHD	85–100	30–85	10–35	30–85
Толщина образцов, мм	>4	>4	>4	>1,4

Глубина внедрения индентора переводится в международные единицы твердости. Шкала проградуирована от 0 до 100, причем 0 соответствует твердости материала с модулем твердости, равным нулю, а 100 – твердости материала с бесконечно большим модулем упругости.

Связь глубины внедрения сферического индентора с твердостью IRHD осуществляется на основании [11, 30]:

1) применения вероятностной кривой (интегрированной зависимости нормального распределения ошибок), связывающей $\lg E$ и твердость в единицах IRHD (рис. 1.4);

2) зависимости между глубиной внедрения индентора и модулем упругости, которая вычисляется по эмпирической формуле

$$\frac{P}{E} = 0,0038R^{0,65} \alpha^{1,35}, \quad (1.7)$$

где P – величина силы под воздействием полной нагрузки, Н; E – модуль упругости, МПа; R – радиус индентора, мм; α – глубина внедрения индентора, мм/100.

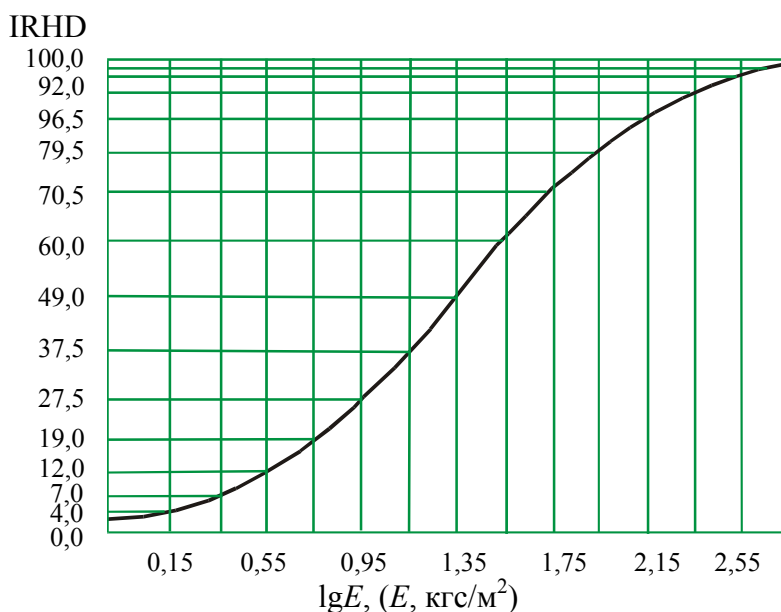


Рис. 1.4. Кривая интеграла вероятностей, связывающая логарифм модуля упругости E с твердостью по шкале IRHD [24]

Таким образом, от глубины внедрения α с помощью формулы (1.7) и рис. 1.4 можно перейти к модулю упругости E и твердости в единицах IRHD.

Наибольшее согласие шкалы IRHD и шкалы Шора А достигается в области твердости 30–85 единиц IRHD. В нижней и верхней областях шкалы имеют значительные расхождения. Ноль шкалы IRHD соответствует материалу с нулевым модулем упругости, в то время как ноль по шкале Шора А соответствует жесткости материала с конечным значением модуля [11].

В настоящее время разработаны разнообразные по исполнению приборы, реализующие принципы измерений твердости по Шору А и

IRHD (рис. 1.5), однако их существенным недостатком является низкая чувствительность при пересчете твердости в модуль упругости для твердых резин.

Твердость не является основной характеристикой, отвечающей за качество и работоспособность резин, однако позволяет в первом приближении оценить упругорелаксационные свойства материала, которые очень важны при эксплуатации.



Рис. 1.5. Модернизированный прибор IRHD (а) и прибор Шора с возможностью накопления и распечатки данных измерений (б)

На механические свойства резин влияют как рецептурные (качественный и количественный состав резиновой смеси), так и производственно-технологические факторы. Среди рецептурных факторов наиболее существенное влияние оказывают наполнители резин, мягчители, тип и количество вулканизирующего агента и, конечно, природа самого каучука. К производственным факторам следует отнести качество смешения резиновой смеси, соблюдение технологического режима вулканизации и т.д.

Упругорелаксационные свойства резин зависят от степени вулканизации, распределения и типа поперечных связей. В результате повышения плотности пространственной сетки твердость увеличивается, а вязкие свойства уменьшаются. В то же время на скорость протекающих релаксационных процессов наибольшее влияние оказывает тип и распределение поперечных связей [4, 31, 32].

Основные закономерности влияния наполнителей на упругорелаксационные свойства качественно одинаковы для резин на основе различных каучуков. Отклонения от этих закономерностей обусловлены особенностями свойств резин на основе конкретных каучуков. Однако, оптимальное содержание наполнителя зависит от его природы, типа каучука и состава резиновой смеси. В зависимости от характера действия различают активные, малоактивные и неактивные наполнители.

Зависимость твердости резин от содержания технического углерода часто линейна. Значения твердости возрастают при снижении размеров частиц наполнителя и повышении структурности технического углерода.

Добавление мягчителей, в свою очередь, обычно снижает упругорелаксационные свойства. Степень влияния мягчителей зависит от состава резиновой смеси, типа и содержания мягчителя.

Необходимые свойства резин можно обеспечить правильным выбором соотношения между содержанием наполнителей и мягчителей в резиновой смеси. Повышение содержания мягчителей компенсируется добавлением большего количества технического углерода или повышением его активности. При увеличении степени наполнения резиновой смеси техническим углеродом, как правило, повышают содержание мягчителей [6, 33, 34].

1.1.2. Прочностные свойства резин

Как уже отмечалось, несмотря на некоторую неточность, в качестве критерия для сравнительной оценки различных резин и контроля их качества часто используют показатели прочностных свойств при растяжении. Они характеризуют способность тела противостоять растягивающему действию механических напряжений.

Для резин характерно высокоэластическое разрушение, которому при растяжении предшествуют большие обратимые деформации. Разрушение резин начинается с образования очагов в месте сосредоточения наиболее опасных дефектов и протекает в две стадии. Начальная стадия разрушения является медленной, при этом формируется шероховатая или матовая поверхность, затем на быстрой завершающей стадии формируется гладкая зеркальная поверхность. Скорость разрастания дефекта снижается при уменьшении скорости деформации и нагрузки на образец, а также при повышении температуры [5, 35].

На практике пользуются следующими основными показателями при статическом разрушении:

- предел прочности при разрыве (напряжение, соответствующее моменту полного разрушения образца);
- относительное удлинение при разрыве;
- напряжение при заданном удлинении (обычно 300%, значения которого приводятся в справочной литературе, а также в ГОСТ и ТУ на изделия, материалы, полуфабрикаты);
- сопротивление раздиру.

Значения прочностных свойств резин зависят как от рецептурных особенностей (тип каучука, состав резиновой смеси), производственно-технологических факторов (качество смешения, степень вулканизации), так и от условий самих испытаний. Разрушение резин под действием механических сил представляет собой процесс релаксационного характера, особенностью которого является протекание ряда релаксационных процессов, предшествующих разрушению. В связи с этим, на прочностные свойства значительное влияние оказывают время деформации и температура [35].

При испытании на разрыв ненаполненных резин на основе некристаллизующихся каучуков, с увеличением скорости растяжения прочность увеличивается, в то же время при испытании наполненных резин на основе кристаллизующихся каучуков, значения прочности могут меняться по достаточно сложной зависимости [5, 36].

Влияние температуры на прочностные свойства резин достаточно хорошо изучено к настоящему времени. Как правило, повышение температуры приводит к снижению значений относительного удлинения и предела прочности при растяжении. Связь между разрушающим напряжением σ_z и температурой T может быть представлена в следующем виде:

$$\sigma_z = \sigma_0 e^{U/RT}, \quad (1.8)$$

где σ_0 – константа; U – энергия активации процесса разрушения; R – универсальная газовая постоянная.

На прочностные свойства резин большое влияние оказывают молекулярная масса макромолекул и способность к кристаллизации. Таким образом, при увеличении молекулярной массы до определенного значения увеличивается вместе с тем и прочность. Влияние молекулярной массы уменьшается по мере возрастания степени сшивания при вулканизации.

Большое влияние на прочность резин оказывает процесс вулканизации, в результате которого образуется трехмерная сетка. Наилучшее

сочетание физико-механических параметров, которые приобретает резина в процессе вулканизации, принято считать оптимумом вулканизации. Оптимальная степень вулканизации, определенная по разным параметрам, различна. Наиболее часто степень вулканизации, т.е. плотность пространственной сетки, определяют по прочности при растяжении (f_p) и сопротивлению раздиру (B).

Так, кривая зависимости прочности от степени вулканизации, характеризующей количество пространственных сшивок между макромолекулами каучука резин, имеет экстремальный характер (рис. 1.6). При увеличении степени сшивания прочность сначала увеличивается и достигает максимума, а затем уменьшается [1].

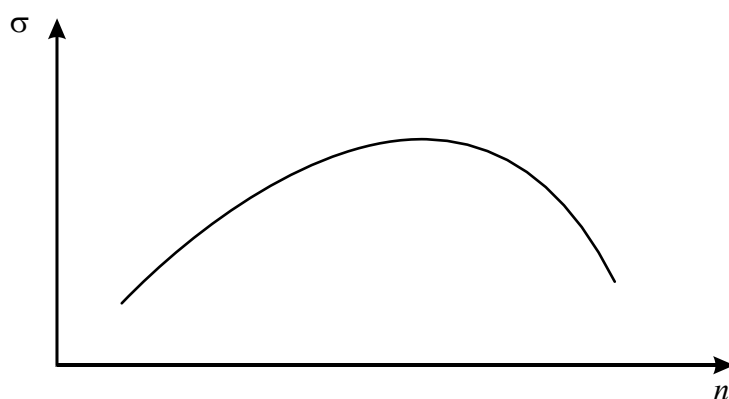


Рис. 1.6. Зависимость предела прочности σ от степени вулканизации n

В значительной степени прочность зависит от природы и энергии вулканизационных связей. Наибольшая прочность вулканизатов может быть обеспечена сочетанием прочных связей, создающих каркас структуры, со слабыми узлами, обеспечивающими перегруппировку цепей при деформации [4, 31].

Увеличение содержания наполнителей повышает прочность резин на основе некристаллизующихся каучуков в 10–12 раз, в то время как прочность кристаллизующихся резин обычно изменяется в гораздо меньшей степени [1, 33]. Значительное влияние на прочностные свойства оказывает природа наполнителя, его структурность, размер частиц и т.д.

Степень диспергирования наполнителей также оказывает влияние на прочность. Улучшения диспергируемости можно добиться введением в резиновую смесь мягчителей или пластификаторов (не более 5 мас. ч.) [37, 38].

Испытания резин на разрыв осуществляются на разрывных машинах, которые в настоящее время являются самым распространенным и универсальным видом оборудования. Испытания производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 270–75 (СТ СЭВ 2594–80).

1.2. Механические свойства резин, определяемые при динамическом нагружении

При динамическом нагружении материал подвергается воздействию, быстро меняющемуся во времени по некоторому закону. На величину измеряемого параметра материала при этом будут влиять характер приложения и время действия данной нагрузки.

Динамический вариант нагружения имеет ряд преимуществ по сравнению со статическим, поскольку позволяет оценить свойства материала в условиях, приближенных к рабочим. Такой вид нагружения реализуется в амортизирующих, звукоизолирующих, противоударных и силовых резиновых технических изделиях, приводных ремнях, конвейерных лентах, уплотнениях подвижных соединений и др.

Различают упругогистерезисные и усталостнопрочностные свойства резин. Упругогистерезисные свойства описывают взаимосвязь между напряжением и деформацией при многократном нагружении и характеризуются такими показателями, как эластичность по отскоку, динамический модуль, тангенс угла механических потерь, теплообразование, остаточная деформация после многократного сжатия и т.д.

Усталостнопрочностные свойства наиболее часто характеризуются показателем усталостной выносливости, отражающим число циклов нагружения образца до разрушения [6, 39,40, 41].

Эксплуатационные свойства резин при различных условиях эксплуатации могут быть охарактеризованы по упругогистерезисным и усталостнопрочностным показателям, которые взаимосвязаны между собой.

Твердость характеризуется динамическим модулем, а механические потери – тангенсом угла механических потерь и эластичностью по отскоку. Для изготовления изделий, предназначенных для гашения энергии колебаний (опоры двигателей, виброизоляция и др.), используют резины с высоким значением $\text{tg}\delta$. Резины с низким значением $\text{tg}\delta$ применяют в изделиях, работающих в резонансном режиме (центрифуги, грохота, вибротранспортеры и др.). С повышением твердости и снижением относительного удлинения при разрыве динамический модуль упругости возрастает [42, 43].

Теплообразование, обусловленное гистерезисными потерями, также характеризуется тангенсом угла механических потерь. Увеличение динамической жесткости резин также приводит к повышению теплообразования при многократных деформациях.

Скорость процессов, обусловленных ползучестью и релаксацией напряжения при динамическом нагружении, значительно выше, чем при статическом. Потому резины, механические свойства которых при статическом нагружении одинаковы, могут существенно различаться по результатам динамических испытаний [6].

1.2.1. Упругогистерезисные свойства резин

Упругогистерезисные свойства резин в значительной мере зависят от степени межмолекулярного взаимодействия. Влияние температуры и режима нагружения, типа каучука, наличия и типа наполнителей и мягчителей (пластификаторов), параметров пространственной сетки на упругогистерезисные свойства резин обусловлено, прежде всего, зависимостью межмолекулярного взаимодействия и скорости релаксационных процессов от этих факторов.

Согласно принципу температурно-частотного эквивалента повышение температуры равнозначно для упругогистерезисных свойств уменьшению частоты воздействия [44, 45, 46]. Так, при увеличении частоты или уменьшении температуры динамический модуль упругости и тангенс угла механических потерь увеличиваются. При этом динамическая жесткость более чувствительна к изменению параметров, чем статическая, поэтому невозможно оценить влияние температуры на значение модуля упругости при статическом нагружении [6, 46].

Модуль упругости для любых испытаний, как квазистатических так и динамических, складывается из двух составляющих [47]:

$$E = E_{\infty} + E_{\tau}, \quad (1.9)$$

где E_{∞} – равновесная, или условно-равновесная, составляющая часть модуля; E_{τ} – неравновесная, или релаксационная, часть модуля.

Равновесная составляющая зависит, главным образом, от плотности пространственной сетки, в то время как неравновесная, или релаксационная, часть модуля наиболее чувствительна к различным изменениям структуры. Неравновесная часть характеризует вязкую составляющую вязкоупругого материала и сильно зависит от межмолекулярного взаимодействия и температуры. Поскольку при динамических испытаниях неравновесная часть модуля проявляется в большей степени, можно говорить о большей чувствительности динамических

методов, по сравнению со статическими, к внутренней структуре вязкоупругих материалов, в частности резин [6].

С увеличением степени вулканизации увеличение модуля, главным образом, связано с возрастанием его равновесной части. Однако также происходит некоторое увеличение и неравновесной составляющей вследствие одновременного роста межмолекулярного взаимодействия.

При повышении плотности пространственной сетки эластичность возрастает. Обычно увеличение степени наполнения снижает, а повышение температуры увеличивает зависимость эластичности от плотности вулканизационной сетки [43, 48].

С увеличением содержания такого распространенного наполнителя, как теуглерод, а также с увеличением его активности и структурности без изменения содержания мягчителей значения динамического модуля упругости, теплообразования и тангенса угла механических потерь обычно возрастают, в то время как эластичность падает. Причем динамическая жесткость возрастает в гораздо большей степени, чем статическая [33, 34, 49].

Использование мягчителей снижает динамический модуль упругости. Характер влияния мягчителей и пластификаторов на эластичность, тангенс угла механических потерь и теплообразование зависит от многих факторов, таких как тип каучука, мягчителя, их совместимость между собой и т.д. [33, 50].

Наиболее часто определяемыми показателями, характеризующими упругогистерезисные свойства, являются эластичность по отскоку, динамический модуль и модуль внутреннего трения.

Эластичность характеризует способность резины возвращать часть энергии, сообщенной извне при толчках, ударах и других кратковременных воздействиях. Потери ее связаны с гистерезисом, т.е. неполной отдачей энергии. Эластичность резины принято характеризовать величиной ее полезной упругости, представляющей собой отношение возвращенной работы к работе, затраченной на деформирование образца.

Величина эластичности может быть определена при растяжении образца на разрывной машине до определенной деформации и последующей его разгрузке. Самым распространенным является менее трудоемкий метод определения полезной упругости на упругомере. В данном случае образцы подвергаются деформации сжатия.

Эластичность зависит от характера вулканизационных связей: она повышается с увеличением гибкости и длины поперечных связей.

С повышением концентрации узлов эластичность, измеренная при комнатной температуре, практически не меняется, однако с увеличением температуры испытаний она увеличивается тем больше, чем выше температура.

На эластические свойства резин влияет целый ряд факторов, таких как, например, тип и дозировка технического углерода. При увеличении дозировки технического углерода и степени дисперсности эластичность резин уменьшается.

Динамический модуль E , МПа, и модуль внутреннего трения K , МПа, вычисляют по следующим формулам:

$$E = \frac{4M_{и}}{1000\pi r^3 \varepsilon}; \quad (1.10)$$

$$K = \frac{8M_{к}}{1000lr^2 \varepsilon^2}, \quad (1.11)$$

где $M_{и}$ – изгибающий момент, Н·см; r – радиус рабочего участка образцов, равный 0,4 или 0,5 см соответственно; ε – амплитуда деформации на поверхности образца; $M_{к}$ – крутящий момент, Н·см; l – длина рабочего участка образца, см.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение для не менее трех образцов, отличающихся от среднего не более, чем на 10%.

1.2.2. Усталостнопрочностные свойства

Усталостнопрочностные свойства резин характеризуют долговечность резин в условиях динамических деформаций.

Под динамической усталостью, или утомлением, понимают снижение прочности материала вследствие многократных деформаций. Динамическая выносливость выражается обычно числом циклов деформации, необходимых для разрушения образца. Усталостной прочностью называется максимальное напряжение в цикле деформации, соответствующее разрушению образца в условиях многократных деформаций. Время, необходимое при этом для разрушения, называется динамической долговечностью.

Как правило, для испытаний на многократное растяжение с асимметричным циклом наиболее часто используется режим постоянных максимальных удлинений, который осуществляется на машине МРС-2. Наряду со всеми существующими недостатками стандартных трудоемких разрушающих методов, существенным недостатком является

то, что при испытании происходит релаксация напряжения, поэтому среднее напряжение постепенно понижается до некоторого практически постоянного значения. При таком режиме испытания в образце накапливаются остаточные деформации, которые зависят от свойств резины, продолжительности испытания, заданной деформации, частоты и температуры испытания. Остаточные деформации снижают максимальные напряжения при многократном растяжении и повышают кажущуюся динамическую долговечность вследствие уменьшения «жесткости» условий испытаний; это может привести к ошибкам в оценке преимуществ той или иной резины в динамических условиях работы.

Недостатком всех методик определения усталостнопрочностных свойств резин является невозможность установления истинных параметров долговечности. Определяемые параметры помогают провести лишь косвенное сравнение усталостнопрочностных свойств образцов резин в заданных условиях испытания.

Недостатком является необходимость изготовления специальных образцов, свойства которых могут значительно отличаться от свойств непосредственно резиновых изделий. Сам процесс изготовления специальных образцов является очень трудоемким и долгим. Эти обстоятельства не позволяют производить контроль непосредственно готовых резиноканевых изделий (РТИ) и не могут быть информативными для оценки качества.

1.3. Применение динамических методов испытаний на практике

Преимуществом динамических методов, по сравнению со статическими, является высокая чувствительность к изменению вязкоупругих свойств, благодаря неравновесной составляющей модуля упругости (1.9).

При динамическом нагружении материал начинает проявлять вязкие свойства, которые невозможно оценить при статическом воздействии, кроме того, динамическое нагружение моделирует наиболее жесткие условия, которым может подвергаться материал во время эксплуатации [51]. В свою очередь свойства резин сильно зависят от характера температурно-механического воздействия. Поэтому с помощью метода динамического индентирования совместно с температурным воздействием при определенных параметрах нагружения, можно оценить поведение резин в различных условиях, а соответственно, и качество резинотехнических изделий.

Рассматриваемый метод заключается в нанесении удара посредством жесткого индентора по испытуемому материалу в однократном импульсном режиме, регистрации электрического сигнала в процессе удара и его преобразовании с целью получения наибольшего количества информации в ряд зависимостей, которые позволяют получать физико-механические параметры материала при ударе.

Информация, получаемая при измерении данным методом, в виде кривых представлена на рис. 1.8. Для получения на основе исходных данных значений физико-механических характеристик, необходимым условием является использование соответствующей физической модели и аналитического уравнения, описывающего с достаточной степенью точности экспериментальную зависимость контактного усилия от глубины внедрения индентора и содержащего в виде коэффициентов параметры материала, которые подлежат определению.

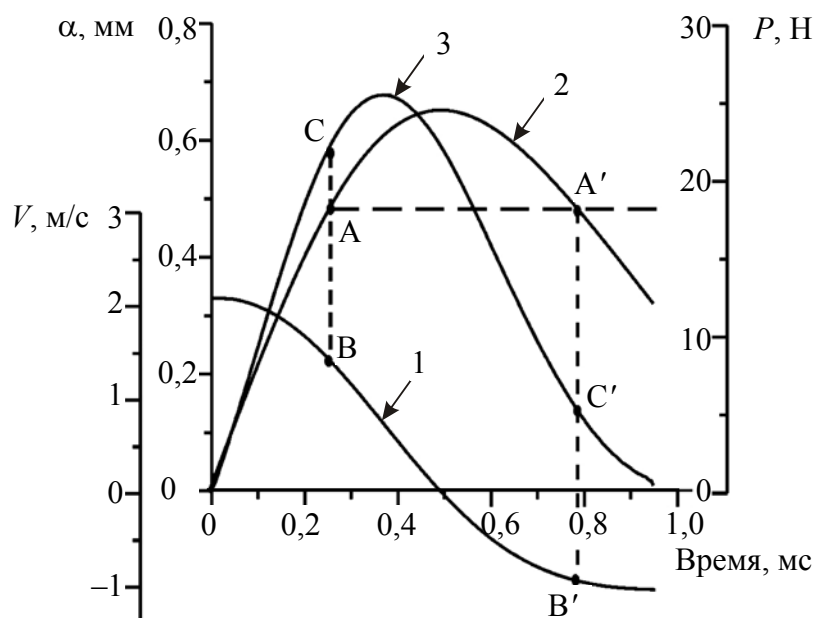


Рис. 1.8. Типичные кривые изменения скорости $V(t)$ (кривая 1), глубины внедрения $\alpha(t)$ (кривая 2) и контактного усилия $P(t)$ (кривая 3) индентора в процессе испытательного удара (точками AA', BB', CC' показано изменение регистрируемых параметров в процессе ударного взаимодействия)

В качестве определяющего уравнения для описания процесса импульсного внедрения индентора в материал используется нелинейная зависимость [11, 52], связывающая контактное усилие с глубиной и скоростью вдавливания индентора:

$$P(t) = k_d \alpha(t)^{\frac{3}{2}} + \eta \alpha(t) V(t), \quad (1.12)$$

учитывая, что

$$k_d = \frac{4E_d R^{\frac{1}{2}}}{3(1-\mu^2)},$$

где η – вязкость; V – текущая скорость индентора при вдавлении; E_d – динамический модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона, обычно принимаемый для вязкоупругих материалов равным 0,5; R – радиус сферического наконечника индентора.

Формула (1.12) имеет два параметра материала – k_d (или E_d) и η , один из них характеризует упругие свойства, а другой – вязкие.

Как следует из формулы (1.12), для вычисления двух неизвестных необходимо решить два уравнения, подставляя текущие значения P и α , соответствующие активной фазе ударного процесса для двух заданных моментов времени. За один из таких моментов можно принять время (τ_d), соответствующее достижению максимальной глубины вдавления, когда скорость индентора равна нулю:

$$E_{d(t=\tau_d)} = 0,56 \frac{P_{\alpha_{\max}}}{R^{\frac{1}{2}} \alpha_{\max}^{\frac{3}{2}}}. \quad (1.13)$$

Взяв значения $P_{\alpha_{\max}}$ и α_{\max} из экспериментальной зависимости и подставив их в формулу (1.13), определим E_d . Вторым моментом времени может быть любое время, при котором $\alpha_1 < \alpha_{\max}$. Подставляя E_d и некоторые текущие значения α_1 , V_1 и контактной силы P_1 в формулу (1.12), можно определить η :

$$\eta = \frac{P_1 - k_d \alpha_1^{\frac{3}{2}}}{\alpha_1 V_1}. \quad (1.14)$$

Кроме E_d и η , метод динамического индентирования позволяет рассчитать эластичность по отскоку (Θ) и тангенс угла механических потерь ($\text{tg}\delta$). Значение Θ можно определить как квадрат отношения скорости отскока к скорости подлета индентора, выраженное в процентах:

$$\Theta = \left(\frac{V_0}{V_m} \right)^2 100\%, \quad (1.15)$$

где V_0 – скорость индентора в момент отрыва от образца; V_m – предударная скорость индентора.

Расчет тангенса угла механических потерь производится по формуле [11]

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{2}{\pi} \ln \left(\frac{V_m}{V_0} \right). \quad (1.16)$$

Преимуществами данного метода являются высокая точность и быстрота измерений, информативность измеряемых параметров, а также, вследствие малого объема деформации, отсутствие необходимости изготовления специальных образцов, что выгодно отличает его от стандартных методов.

1.4. Влияние температуры на поведение резин при динамическом воздействии

Температурное воздействие на РТИ как при испытании, так и в рабочих условиях, может быть кратковременным (режимы нагрева/охлаждения) или длительным (при старении). Соответственно, марка резины должна подбираться исходя из условий эксплуатации РТИ, т.е. согласно определенным нормативным документам.

Старение полимерного материала – совокупность физических и химических процессов, происходящих в полимерном материале и приводящих к необратимым изменениям его свойств. Также одним из основных понятий является стойкость полимерного материала к старению, которая характеризует свойство полимерного материала сохранять значение характерного показателя (или показателей) старения в пределах, установленных в нормативно-технической документации, при старении в заданных условиях.

Наиболее часто степень старения резин характеризуют коэффициентом старения, т.е. через относительное изменение значения физико-механического показателя резины, соответствующее заданной продолжительности испытания. При этом коэффициент старения может быть рассчитан для различных показателей. Для этих целей обычно выбирают физико-механические показатели, которые наиболее сильно изменяются при старении. Проводя подобные испытания неразрушающим методом, по всей вероятности, можно оценивать степень старения и непосредственно РТИ. Для этих целей, как будет показано в разделе 3, может быть использован и метод динамического индентирования.

Не менее значимую информацию об эксплуатационных характеристиках можно получить и при помощи другого рода термического воздействия – кратковременного, при котором не происходит необратимых изменений в структуре резин, характерных для процессов старения.

Наиболее полную информацию о резинах в высокоэластичном состоянии дает временная зависимость модуля упругости $E(t)$, типичный вид которой представлен на рис. 1.12 [20, 46].

Как видно из рисунка, имеются три области, описывающие деформационные свойства резины с характерными значениями модулей упругости:

I – область стеклообразного состояния с модулем E_c ;

II – переходная область с модулем, меняющимся от E_c до начального значения высокоэластичного (равновесного) модуля E_p' ;

III – область высокоэластичности, в которой происходит медленная физическая релаксация, по завершении которой материал характеризуется значением равновесного модуля упругости E_p .

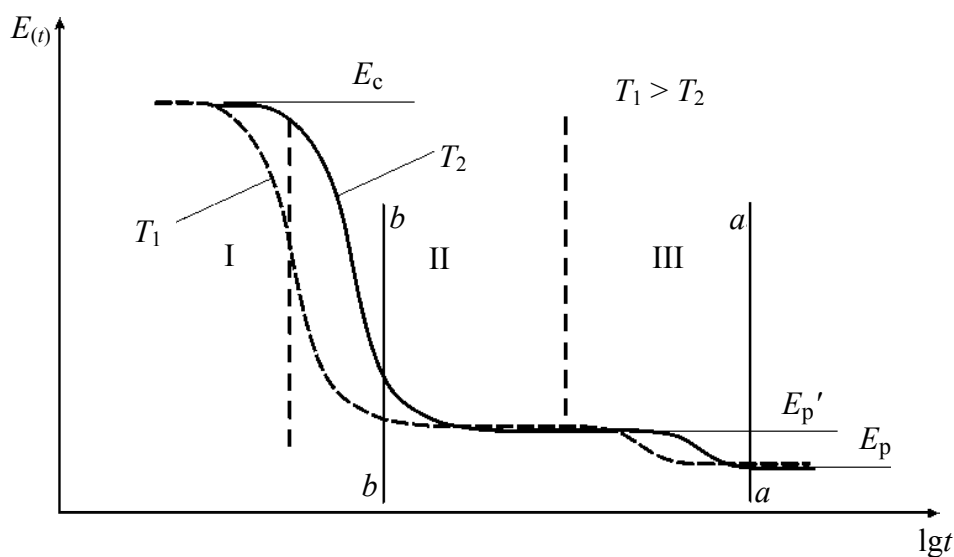


Рис. 1.12. Изменение модуля упругости E типичного сшитого полимера от продолжительности временного воздействия t при испытаниях, при различных температурах T

На данном рисунке условно показано время воздействия при испытаниях эластомеров статическим прибором (линия a-a) и динамическим прибором динамического действия (линия b-b). Как видно, модуль упругости, определенный с помощью динамического прибора будет выше, чем измеренный прибором статического действия. Это соотношение

в равной степени относится ко всем квазистатическим и динамическим приборам. При этом ход кривой $E = f(\lg t)$ для каждой резины в зависимости от химического состава, наполнителей и степени сшивания будет различен и обусловлен характерными релаксационными процессами, происходящими в материале.

В физике полимеров [20, 46] в качестве основных релаксационных процессов обычно рассматривается α -процесс релаксации, соответствующий переходному состоянию (область II), связанный с подвижностью свободных сегментов молекул, и λ -процесс (область III), зависящий от подвижности сетки, образованной микроблоками надмолекулярной структуры полимеров. Время релаксации α -процесса составляет доли секунды, а более медленного λ -процесса – от 10^1 до 10^8 с.

Кроме этих релаксационных процессов, существуют более быстрые и более медленные, однако учитывая, что длительность динамических испытаний составляет порядка 1 мс, можно принять, что ход кривой ударного взаимодействия в основном будет определяться α -процессом, а результаты статических измерений – λ -процессом.

Как показано на рис. 1.12, зависимость модуля упругости E типичного сшитого полимера от продолжительности временного воздействия t при испытаниях при различных температурах T ($T_1 > T_2$) подчиняется принципу температурно-временной суперпозиции. Согласно данному принципу достичь определенного состояния можно, соответственно, изменив температуру и частоту (время) воздействия на материал. Т.е. увеличивая температуру испытания, можно, не меняя время воздействия на материал, динамическим методом определить показатель при другом времени воздействия (линии $a-a$ и $b-b$ на рис. 1.12). Данный принцип будет применен в ходе работы.

Особый интерес представляет связь прочности резин с деформационными свойствами, зависящими от строения и физического состояния материала. Существование такого рода связи между прочностными и релаксационными характеристиками отмечается в многочисленных источниках [53–56]. В частности, известны зависимости тангенса угла механических потерь ($\operatorname{tg} \delta$) и разрушающего напряжения при разрыве (σ_b) от температуры, которые свидетельствуют об однозначной связи данных параметров в широком температурном интервале [7].

На примере вулканизата этиленпропиленового тройного эластомера СКЭПТ-60 в интервале температур 216–373 К было показано,

что разрушающее напряжение при разрыве (σ_b) имеет корреляционную зависимость от $\text{tg}\delta$ [7]. Данная зависимость наблюдается в области перехода полимера из стеклообразного состояния в состояние развитой высокоэластичности (рис. 1.13).

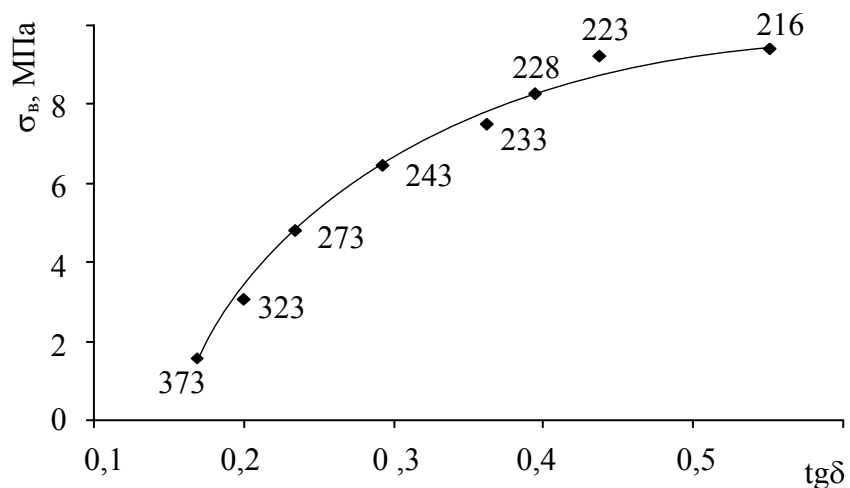


Рис. 1.13. Зависимость σ_b вулканизата этиленпропиленового тройного эластомера СКЭПТ-60 в интервале температур 216–373 К от $\text{tg}\delta$ (цифры у кривой – температура, К)

2. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

2.1. Пневматические шины

2.1.1. Конструкция пневматической шины

Пневматическая шина является довольно сложной конструкцией, чаще всего включающей в себя покрывку, камеру и ободную ленту. Наиболее сложна по конструкции покрывка, являющаяся самой важной частью шины. В покрывке выделяют несколько основных конструктивных элементов: протектор, каркас, брекер, борт и боковина. В зависимости от угла расположения нитей в каркасе выделяют радиальные (угол между нитью и меридианом составляет $0-3^\circ$) и диагональные (угол $20-60^\circ$) покрывки [57, 58, 59, 60].

Каркас (в диагональных шинах) является основной силовой частью покрывки, воспринимающей нагрузку от внутреннего давления воздуха в камере, нагрузку от радиальной, боковых, тяговых и тормозных сил. Каркас состоит из нескольких слоев обрешиненного корда, которые закреплены на проволочных бортовых кольцах. Число слоев в радиальных шинах примерно в 1,5 раза меньше, чем в диагональных, так как в этом случае каркас делит нагрузку с брекером. В вулканизированной диагональной шине угол между нитью и меридианом растет при увеличении расстояния от оси вращения. В радиальных шинах угол расположения нитей не зависит от расположения точки на профиле.

Брекер в диагональных шинах служит для предотвращения чрезмерных ударных нагрузок на каркас и состоит обычно из 2–4-х слоев разреженного корда. Угол наклона нитей в брекере близок к углу наклона нитей в каркасе по экватору. В шинах радиальной конструкции брекер также, как и каркас, является силовым элементом и воспринимает часть нагрузки, в основном ее тангенциальную составляющую. Выполняется из нескольких слоев корда (часто используют металлокорд), нити которого расположены в близком к окружному направлении, угол наклона составляет $70-80^\circ$.

Протектор покрывки обеспечивает сцепление шины с дорогой и предохраняет каркас и брекер от порезов и проколов. Протектор представляет собой массивный слой резины, расположенный в беговой части шины. Рисунок протектора образуется канавками и выступами этого слоя. Резины беговой дорожки и подканавочного слоя протектора работают в разных режимах (что особенно ярко выра-

жено в крупногабаритных шинах), поэтому их часто выполняют из разных резин.

На боковой стенке покрышки протектор переходит в боковину, которая служит для предохранения каркаса шины от внешних воздействий в боковой зоне.

Борт покрышки служит для прочной посадки ее на обод колеса. Он представляет собой сложную конструкцию, включающую обычно бортовое кольцо, выполненное из стальной проволоки, наполнительный шнур из жесткой резины, крыльевую и бортовую ленты из прорезиненной ткани.

2.1.2. Основные положения при расчете на прочность пневматических шин

Расчет производится для основных силовых элементов шины: в диагональных шинах – это каркас, в радиальных – каркас и брекер. 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. 2.1) [57, 58].

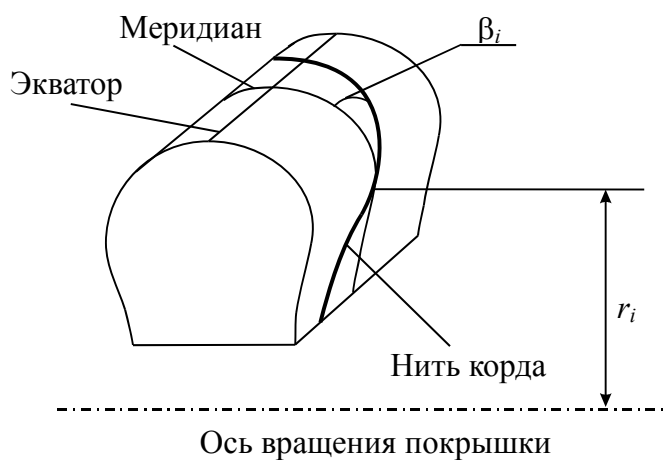


Рис. 2.1. Положение нити корда в покрышке

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 обозначает коэффициент условной вытяжки корда и зависит только от типа корда). Также принимается, что основную нагрузку от внутреннего давления принимает на себя внутренний (первый) слой каркаса.

Для расчетов на профиле шины выделяют пять точек (R , r_1 , r_2 , r_3 , $r_{об}$), делящих полупрофиль на четыре равные части (рис. 2.2), и 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 [57, 58].

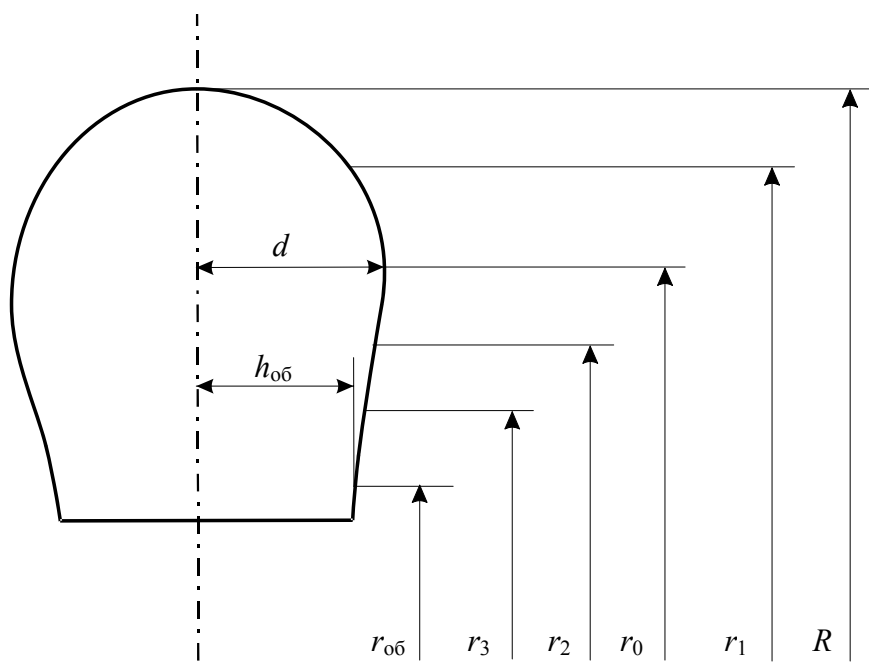


Рис. 2.2. Характерные точки на профиле покрышки

2.1.3. 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 [57, 58].

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

$$\sin\beta_i = \frac{r_i \cdot \sin\alpha}{r_0 \cdot (1 + \delta_1)}, \quad (2.1)$$

где β_i – соответствующий этому радиусу 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:

$$\sin\beta_k = \frac{R \cdot \sin\alpha}{r_6 \cdot (1 + \delta_1)}, \quad (2.2)$$

где β_k – угол нити по короне; R – радиус покрышки по короне по внутреннему профилю, мм (рис. 2.2).

Толщина кордных слоев в вулканизированной покрышке рассчитывается по следующей формуле:

$$h = h_0 \frac{r_6 \cdot \cos\alpha}{r_i \cdot \cos\beta_i \cdot (1 + \delta_1)}, \quad (2.3)$$

где h_0 – толщина обрешиненного корда в заготовке покрышки на сборочном барабане, мм; h_i – толщина кордного слоя в покрышке на расстоянии от оси вращения шины r_i , мм.

Плотность нити в кордных слоях рассчитывается по формуле

$$i = i_0 \frac{r_6 \cdot \cos\alpha}{r_i \cdot \cos\beta_i}, \quad (2.4)$$

где i – плотность нитей в покрышке, нить/см; i_0 – плотность нитей обрешиненного корда, нить/см.

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

$$L = \frac{S}{12} (K_k + 4 \cdot K_1 + 2 \cdot K_2 + 4 \cdot K_3 + K_6), \quad (2.5)$$

где S – периметр полупрофиля покрышки по внутреннему контуру; $K_i = 1 / \cos\beta_i$ – величина, обратная косинусу угла нити в i -й точке на профиле покрышки.

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

$$L = \int_{об}^{кор} \frac{dS}{\cos\beta_i}. \quad (2.6)$$

В данном случае интеграл берется по профилю шины от точки обода до точки по короне [57, 58].

2.1.4. Определение конфигурации поддутой покрышки

При нагружении шины внутренним давлением в начальный период наблюдается ее существенная 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):

$$\rho = R \frac{1 - \lambda_0^2}{\lambda} \frac{\cos \beta \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \beta}}{2 - (3\lambda^2 - \lambda_0^2) \sin^2 \beta}. \quad (2.7)$$

Для расчетов, где необходим переход от вулканизованного состояния шины к равновесному, удобно пользоваться так называемыми расчетными номограммами. В качестве исходных данных для использования 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 надутой 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 надутой покрышки к ($\lambda_0 = r_0 / R_H$).

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

$$R_H = R_B + R \cdot \operatorname{ctg} \beta_{кв} \cdot \frac{\beta_{кн} - \beta_{кв}}{57,3}, \quad (2.8)$$

где R_n и $\beta_{кн}$ – радиус и угол по короне в надутой покрышке; R_b и $\beta_{кв}$ – то же для вулканизованной покрышки.

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

$$\frac{R_n}{r_i} = \frac{\sin\beta_n}{\sin\beta_i}. \quad (2.9)$$

Таким образом, по расчетным номограммам можно определить все основные характеристики равновесной конфигурации, используя в качестве исходных величин характеристики вулканизованной покрышки [57, 58].

2.1.5. Определение основных габаритных размеров покрышки

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

Наружный диаметр

$$D_n = 2R_n + \sum h_{кор}, \quad (2.10)$$

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

$$\sum h_{кор} = h_{кар} + h_{бр} + h_{просл} + h_{прот}, \quad (2.11)$$

где $h_{кар}$ – толщина каркаса; $h_{бр}$ – толщина брекера; $h_{просл}$ – толщина резиновых прослоек; $h_{прот}$ – толщина протектора.

Ширина профиля

$$B_n = 2b + \sum h_{б.с}, \quad (2.12)$$

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

$$\sum h_{б.с} = h_{кар} + h_{просл1} + h_{бок}, \quad (2.13)$$

где $h_{просл1}$ – толщина резиновой прослойки на низ первого слоя каркаса (если имеется); $h_{бок}$ – толщина боковины [57, 58].

Толщины всех деталей определяются для вулканизованной шины.

2.1.6. 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.) [57, 58].

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

$$N_i = p \frac{(R^2 - r_0^2)}{2R \cdot \sum i_k \cdot \cos^2 \beta_i}, \quad (2.14)$$

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:

$$N_{\max} = p \frac{(R^2 - r_0^2)}{2R \cdot \sum i_k \cdot \cos^2 \beta_k}. \quad (2.15)$$

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 (N) в нитях корда брекера радиальных шин определяется по формуле

$$N_{бр} = p \frac{(2R\rho_{бр} - R^2 + r_0^2)}{2\rho_{бр} \cdot \sum i_k \cdot \sin^2 \beta_{бр}}. \quad (2.16)$$

где $\rho_{бр}$ – радиус кривизны брекера; $\beta_{бр}$ – угол нити в брекере.

2.1.7. 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 [57, 58]:

$$P_c = P_n + P_0. \quad (2.17)$$

Усилие от натяга в борте

$$P_n = \frac{\delta \cdot b \cdot r_c \cdot E}{2t}, \quad (2.18)$$

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

$$P_c = p \cdot \frac{(R^2 - r_0^2) \cos \beta_k}{2 \cos \beta_c}, \quad (2.19)$$

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

2.1.8. Расчет критической скорости качения пневматической шины диагональной конструкции

При достижении автомобилем критической скорости шина вращается быстрее, чем может распространяться по ее окружности радиальная деформация. При этом возникают ударные нагрузки на шину, происходит увеличение сопротивления качению, рост температуры в массиве шины, повышение амплитуды деформации и расширение зоны ее распространения, что в сумме приводит к быстрому разрушению шины [59–61].

Так как наиболее напряженное состояние в шине диагональной конструкции приходится на зону беговой дорожки, то и расчет этого типа шин проводится в точке по короне.

В общем случае для диагональных шин справедливо равенство

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{T}{m}}, \quad (2.20)$$

где $v_{кр}$ – критическая скорость качения шины; T – окружное усилие по беговой дорожке; m – масса беговой дорожки.

Заменим массу беговой дорожки на вес единицы ее ширины, выразим окружное усилие через параметры равновесной конфигурации и учтем жесткость каркаса и брекера:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{p(R^2 - r_0^2)}{2R \cdot q_{ср}} (\operatorname{tg}^2 \beta_k + 2\sqrt{a \cdot c})}, \quad (2.21)$$

где p – внутреннее давление в шине; q_{cp} – вес единицы ширины беговой дорожки:

$$q_{cp} = \frac{h \cdot \gamma}{g}, \quad (2.22)$$

где h – толщина протектора; γ – плотность протекторной резины; g – ускорение свободного падения; a , c – коэффициенты, учитывающие жесткость протектора и каркаса:

$$a = 2\text{tg}^2\beta + \frac{4Gh_{np}}{p \cdot \rho} \cdot (1 + \text{tg}^4\beta_k - \text{tg}^2\beta_k); \quad (2.23)$$

$$c = \frac{A}{p \cdot \rho^3} \text{ctg}^4\beta_k; \quad (2.24)$$

G – динамический модуль сдвига протекторной резины:

$$G = 1,25G_{ст}, \quad (2.25)$$

где $G_{ст}$ – статический модуль сдвига протекторной резины; h_{np} – приведенная толщина шины по короне:

$$h_{np} = h + \sum (n_i \cdot d_i \cdot (K_i - 1)), \quad (2.26)$$

где h – толщина протектора по короне без выступов; n_i – число слоев корда i -й марки; d_i – диаметр нити корда; K_i – коэффициент, учитывающий отношение шага нити (t) к ее диаметру (d):

$$K = \frac{t}{d} \cdot \left[\frac{2}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{t}\right)^2}} \cdot \text{arctg} \sqrt{\frac{t+d}{t \cdot d} - \frac{\pi}{2}} \right]. \quad (2.27)$$

За величину ρ (2.23, 2.24) принято соотношение $\rho = \frac{R^2 - r_0^2}{2R}$.

Переменная A (2.24) характеризует жесткость кордных слоев:

$$A = E_k \cdot \sum i \cdot y_i^2 \cdot \sin^4\beta_k + \frac{4}{3}G(h_1^2 + h_2^2), \quad (2.28)$$

где E_k – динамический модуль упругости нити:

$$E = 1,25E_{ст}; \quad (2.29)$$

h_1, h_2 – расстояния от нейтральной линии до внутренней и наружной поверхности покрышки соответственно; y_i – расстояния от нейтральной линии до i -го слоя; i_i – плотность корда в i -м слое.

2.1.9. Расчет критической скорости качения пневматической шины радиальной конструкции

В шине с меридианальным расположением нитей корда каркаса наиболее нагруженной является зона боковины. По этой зоне и ведется расчет критической скорости:

$$v_{кр} = A \sqrt{\frac{p \cdot B}{m}} \left[1 + 1,52 \sqrt{\frac{G(H_1^3 - H_2^3)}{pB^3}} + 4,87 \sqrt{\frac{C}{pB^3}} \right] \times \left(\frac{B}{S} \right)^{0,48} \cdot \left(\frac{r_{об} - r_c}{B} \right)^{1,12} \cdot \left(1 + 1,43 \cdot \frac{h_4 - h_3}{S} + 1,93 \cdot \frac{h_2 - h_1}{S} \right), \quad (2.30)$$

где B – ширина профиля по средней линии каркаса:

$$B = 2 \left(b + \sum_{i=1}^{n/2} h_{кар_i} \right); \quad (2.31)$$

m – масса единицы ширины боковой стенки:

$$m = \frac{h_{ср} \cdot \gamma}{9,81}, \quad (2.32)$$

где γ – плотность резинокордного материала каркаса; $h_{ср}$ – средняя толщина боковой стенки, для ее расчета определяют толщину шины в 4-х характерных точках боковины (по радиусам r_1, r_2, r_3 и $r_{об}$ – рис. 2.2), также учитывается толщина камеры. При расчете толщины шины допускается пользоваться коэффициентами прессовки (K_i) соответственно в точках: $K_1 = 0,8-0,7$; $K_2 = 0,8-0,75$; $K_3 = 0,7-0,75$, $K_{об} = 0,85-0,9$.

G – приведенный модуль стенки:

$$G = \frac{G_{кам} h_{кам} + G_{карк} h_{карк} + G_{бок} h_{бок}}{h_{кам} + h_{карк} + h_{бок}}; \quad (2.33)$$

S – длина нити от точки обода до точки брекера; $r_{об}$ – радиус обода колеса [59–61].

2.1.10. Основы проектирования шин. Определение основных конструктивных характеристик шины

Тип пневматической шины, предназначенной для определенного типа автомобиля, трактора или другой машины, ее конструктивные особенности, размеры, рисунок протектора, применяемые материалы, тип обода выбираются или проектируются в зависимости от технических требований, предъявляемых к ней. Технические требования к шине являются исходными данными для ее проектирования и должны содержать следующие основные сведения:

- 1) тип, модель и назначение автомобиля или другой машины (легковой, грузовой, специальный, автобус – городской, международный и т.д.);
- 2) количество осей, в том числе ведущих;
- 3) количество колес на каждой оси;
- 4) общий вес машины без груза и с полной нагрузкой;
- 5) грузоподъемность;
- 6) распределение веса по осям (с грузом и без груза);
- 7) скорость движения (средняя и максимальная);
- 8) условия эксплуатации (дорожные, климатические, режимы работы);
- 9) величины шинных проемов, максимальные диаметр и ширина профиля шины;
- 10) диаметр и тип обода;
- 11) долговечность шины;
- 12) особые требования к шине.

Выбор размера шины определяется ее грузоподъемностью.

При проектировании шины должны также учитываться общие требования: безопасность, экономичность, бесшумность, боковая и радиальная жесткость, технологичность изготовления и др.

Ниже приведено определение основных конструктивных характеристик шины [62–64].

Габаритные размеры и грузоподъемность шины. Ширина профиля шины в надутом состоянии определяется в зависимости от грузоподъемности шины и условий эксплуатации, заданных техническими требованиями к шине. Ширина профиля B для заданной нагрузки и условий эксплуатации выбирается по таблицам норм нагрузок и давлений, приводимых в ТУ и стандартах, в каталогах и справочниках. Также можно использовать приближенное соотношение между грузоподъемностью шины Q и шириной ее профиля в надутом состоянии B :

$$Q = KB^2, \quad (2.34)$$

где K – коэффициент грузоподъемности шины, зависящий от типа шины и составляющий для грузовых шин 2,3–3, для легковых шин 1,4–1,8.

При определенных ограничениях можно пользоваться также приближенной формулой Хэлла, дающей следующую зависимость между нагрузкой на шину (Q , кгс), шириной профиля шины, приведенной к «оптимальному» ободу (B_1 , см), посадочным диаметром шины (B , см) и внутренним давлением в шине (P , кгс/см²):

$$Q = 0,231 \cdot A \cdot K_p^{0,585} \cdot (D + B_1) \cdot B_1^{1,39}, \quad (2.35)$$

где K и A – коэффициенты, зависящие от рабочих скоростей и предназначения шин соответственно.

Величину B_1 в формуле Хэлла определяют из следующего соотношения:

$$B_1 = \frac{B - 0,46C}{1 - 0,46k_1}, \quad (2.36)$$

где B – ширина профиля надутой шины на ободе шириной C ; k_1 – отношение ширины обода к ширине профиля надутой шины.

Норма слойности шины. Стандартами, каталогами и справочниками предусматриваются шины одного и того же размера, но имеющие различные значения грузоподъемности. Эти шины характеризуются показателями нормы слойности.

Преимущества применения шин с повышенной грузоподъемностью (2-я и 3-я норма слойности):

- уменьшение неподрессоренной массы автомобиля за счет снижения веса шин;

- снижение центра тяжести автомобиля;

- возможность уменьшения габаритной ширины автомобиля.

Однако при этом:

- радиальная жесткость выше, чем у шин большего размера, рассчитанных на ту же нагрузку;

- выше жесткость при воздействии сосредоточенной нагрузки (наезд на препятствие);

- уменьшение площади контакта снижает тягово-сцепные качества;

- увеличение давления вызывает снижение долговечности шин.

Поэтому шины повышенной грузоподъемности (2-й и 3-й нормальности) целесообразно использовать на автомобилях, работающих на усовершенствованных дорожных покрытиях с ограниченной скоростью, во избежание более высоких температур нагрева [65–67].

Тип и профиль обода. При выборе типа и профиля обода следует иметь в виду, что профиль посадочной части, конфигурация закраин и ширина обода определены стандартом на ободья. Наблюдается тенденция постепенного увеличения ширины обода, связанная с увеличением нагрузок на шины и скоростью движения автомобиля. Наибольшее распространение получили шины с отношением ширины обода к ширине профиля надутой шины 0,7 и выше.

Тип и глубина рисунка протектора. Рисунок протектора является одним из главных элементов конструкции беговой дорожки протектора, оказывающего влияние на износостойкость и долговечность шины, управляемость и устойчивость автомобиля, особенно на влажных, загрязненных и скользких дорогах.

Рисунок протектора должен обладать хорошим сцеплением с дорогой, заданной износостойкостью и достаточным теплоотводом. Вместе с тем, рисунок протектора не должен затруднять изготовление пресс-формы.

Ширина и кривизна беговой дорожки протектора. Ширина беговой дорожки протектора b принимается в определенном отношении к ширине профиля шины B в зависимости от типа рисунка протектора. С возрастанием нагрузок на шины ширину беговой дорожки протектора обычно несколько увеличивают, что дает возможность уменьшить давление шины на дорогу и повысить ее износостойкость, а также облегчить работу брекера и каркаса. Вместе с тем увеличение при этом толщины протектора по углу беговой дорожки повышает температуру в этой зоне. Для уменьшения массива резины по углам протектора его профиль по краям очерчивается дугами значительно меньшего радиуса, чем средняя часть беговой дорожки.

Средняя часть беговой дорожки очерчивается дугой, радиус которой R_1 принимается до 1,65 от ширины профиля шины. Края беговой дорожки очерчиваются радиусом R_2 , равным $0,1–0,25R_1$ (рис. 2.3).

Обычно отношение ширины беговой дорожки b к ширине профиля шины (по пресс-форме) принимается в следующих пределах: дорожный рисунок – 0,7–0,8; универсальный – 0,75–0,9; повышенной проходимости – 0,8–0,95.

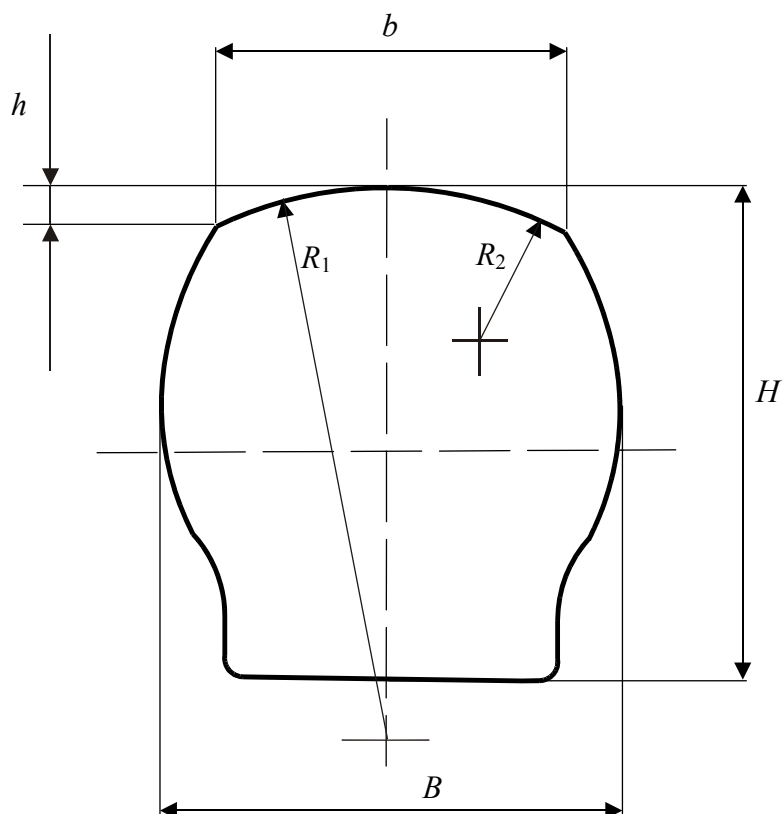


Рис. 2.3. Очертания беговой дорожки протектора

Кривизна беговой дорожки протектора характеризуется отношением стрелы основной дуги протектора h к высоте профиля H и для современных автомобильных шин составляет 0,03–0,05.

Размеры покрышки по вулканизационной форме. Определив габаритные размеры покрышки в надутом состоянии, тип рисунка и профиль беговой дорожки протектора, приступают к установлению размеров покрышки по пресс-форме. При выборе размеров покрышки по пресс-форме обычно стремятся к тому, чтобы при надувании шина уменьшалась по наружному диаметру на 2–3% и, соответственно, несколько увеличивалась по ширине профиля. В том случае резина протектора будет несколько сжата, что повышает износостойкость протектора и сопротивление его механическим повреждениям. Конфигурация и размеры покрышки должны быть такими, чтобы при переходе к конфигурации в надутом состоянии были получены заданные габариты шины и не было резких перепадов кривизны в отдельных частях профиля покрышки.

Соответствие выбранной конфигурации покрышки по пресс-форме этим условиям проверяется путем расчета равновесной конфигурации.

Целесообразно предварительно определить конфигурацию надутой шины, чтобы ориентироваться на нее при установлении конфигурации покрышки по пресс-форме.

При разработке чертежа покрышки боковина очерчивается одним или двумя радиусами, центры которых лежат на горизонтальной оси. Положение горизонтальной оси определяется отношением H_1 / H_2 , которое обычно принимается в пределах 0,80–0,95, т.е. горизонтальная ось покрышки располагается несколько ближе к бортам покрышки (рис. 2.4).

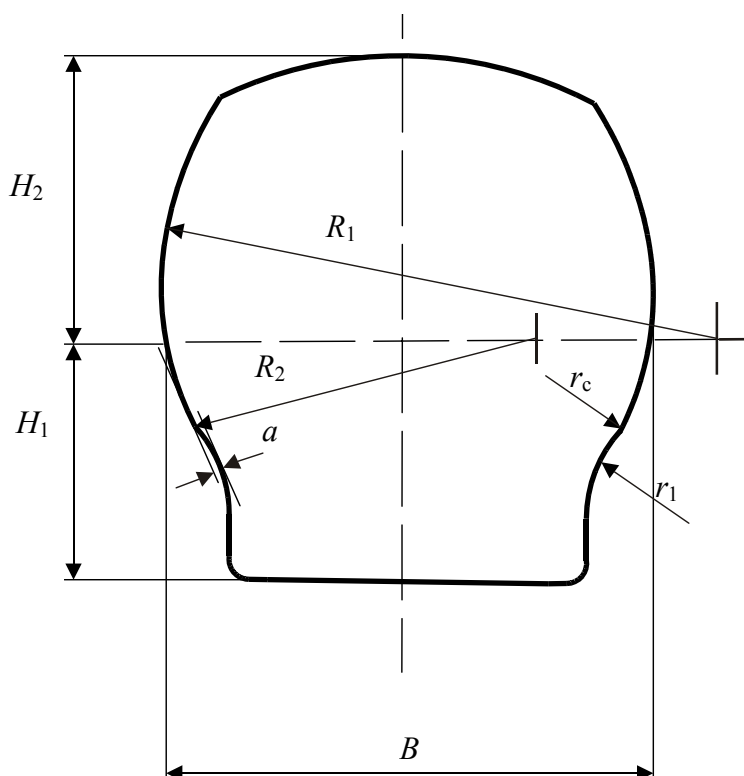


Рис. 2.4. Основные размеры профиля боковины по пресс-форме

Радиус нижней части боковины R_2 должен быть такой, чтобы очерченная им дуга пересекалась с радиусом контура борта покрышки r_1 и величина зазора a между дугами радиусов r_1 и R_2 не превышала 20–30% от r_1 .

Дуги радиусов r_1 и R_2 сопрягаются дугой радиуса r_c , который принимается равным $(1,5–3)r_1$.

На чертеже покрышки по вулканизационной форме помещают развертку рисунка протектора на плоскость. Показывают только 2-3 шага, т.к. рисунок по окружности повторяется.

Шаг рисунка протектора по середине беговой дорожки

$$t = \pi \frac{D}{n}, \quad (2.37)$$

где D – наружный диаметр покрышки по пресс-форме; n – число шагов рисунка по окружности беговой дорожки [57, 58, 65–67].

Особенности проектирования радиальных шин. Меридиальное расположение нитей корда в каркасе покрышек Р существенно меняет характер деформации элементов каркаса. Наиболее опасные для работы корда деформации сжатия значительно меньше, чем в диагональных шинах. В однослойных шинах Р деформации сжатия нет вообще, следовательно отсутствуют специфические требования к корду для каркаса покрышек Р.

Основные требования к брекеру покрышки Р – обеспечение необходимой прочности и жесткости беговой части покрышки – определяют и требования к корду. Он должен быть прочным, иметь высокий модуль растяжения и минимальное остаточное удлинение. В то же время, испытывая циклические деформации растяжения, сжатия и изгиба, корд должен быть достаточно выносливым к этим видам деформации. Наиболее хорошо этим требованиям удовлетворяет металлокорд.

Вследствие больших деформаций растяжения в окружном направлении и деформации сдвига вдоль нитей корда, резина каркаса должна обладать высокой усталостной выносливостью.

При формовании шины Р с неперекрещивающимися нитями корда резина растягивается в окружном направлении. Это приводит к большему утонению резины, чем в шинах Д. Таким образом, резиновые смеси для каркаса должны обладать высокой когезионной прочностью.

Резина в брекере шины Р испытывает гораздо большую деформацию сдвига, чем в шинах Д. Использование мягких резин в многослойном брекере снижает напряжения, возникающие в нитях металлокорда. Также должна обеспечиваться высокая прочность связи с металлокордом.

Наличие нерастяжимого брекера в шинах Р облегчает применение для протектора высокоэластичных резин, обладающих повышенной износостойкостью и малыми гистерезисными потерями. В то же время такой брекер увеличивает нагрузки на элементы протектора. Это обуславливает необходимость высоких эластических свойств, усталостной выносливости и повышенного сопротивления протектора механическим повреждениям.

Резина боковины шины Р испытывает значительно более высокие деформации сжатия, следовательно в большей мере подвержена растрескиванию под действием озона. Поэтому резина должна иметь низкий модуль, высокую усталостную выносливость и стойкость к озонному старению.

Принципиальный подход к методике расчета шины Р отличается от расчета шины Д тем, что угол β близок к 0° , а также особенностью применяемых материалов и конструкции [57, 58, 65–67].

2.2. Плоские приводные ремни

Приводные прорезиненные ремни предназначены для передачи энергии вращения путем гибкой связи от шкивов двигателей к машинам. Различают два основных типа приводных ремней: плоские, сечение которых представляет собой прямоугольник, и клиновые, имеющие в сечении форму трапеции. Также находят применение поликлиновые и плоскозубчатые приводные ремни [68, 69].

При расчете приводных ремней рассматривают действие следующих напряжений: от натяга ремня на шкив, от центробежной силы и от изгиба при огибании шкива. Полезное усилие, передаваемое ремнем, возникает за счет посадки его на шкивы с натягом и определяется как разность натяжений на ведущей (T_1) и ведомой (T_2) ветвях передачи:

$$p = T_1 - T_2. \quad (2.38)$$

Различают плоские приводные ремни прокладочного типа (каркас таких ремней состоит из нескольких слоев тканевых прокладок) и кордшнуровые ремни (каркас представляет собой один слой кордшнура).

2.2.1. Расчет плоских приводных ремней по полезному усилию

Полезное усилие, передаваемое приводным ремнем, определяется как разность натяжений на ведущей и ведомой ветвях ременной передачи. В основе расчета лежит зависимость между передаваемой мощностью, скоростью передачи и полезным усилием:

$$p = 102 \frac{N}{v}, \quad (2.39)$$

где p – полезное усилие, кгс; 102 – переводной коэффициент (для данных размерностей); N – мощность, передаваемая ремнем, кВт; v – скорость передачи, м/с.

Данное выражение универсально и применяется для расчета приводных ремней различных конструкций, а также для расчета конвейерных (транспортных) лент.

Для прокладочных ремней проектные расчеты принято производить по полезному усилию, передаваемому 1 см ширины одной прокладки ремня (p_0). Исходными данными для расчетов являются: передаваемая мощность, число оборотов на шкивах передачи (n_1 и n_2 соответственно для быстроходного и тихоходного шкивов), диаметр быстроходного шкива (D_1), назначение передачи, условия и режим работы, а также примерное расстояние между центрами шкивов (l).

В ходе расчета плоских прокладочных ремней выполняют следующие основные этапы.

1. Исходя из заданных условий выбирают тип ремня, материал каркаса и ширину ремня.

2. Определяют диаметр ведомого шкива (если он не задан) по формуле

$$D_2 = \frac{D_1 \cdot n_1}{n_2} (1 - \varepsilon), \quad (2.40)$$

где ε – коэффициент скольжения, равный 0,01.

3. Определяют скорость передачи (если она не задана):

$$v = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{60}, \quad (2.41)$$

и угол обхвата ремнем малого шкива:

$$\alpha = 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{l} 60^\circ. \quad (2.42)$$

Угол α должен быть не менее 150° , в противном случае необходимо увеличить межосевое расстояние.

4. Определяют полезное усилие, передаваемое 1 см ширины одной прокладки ремня:

$$p_0 = \left(\frac{K_b' \cdot C_t}{Z} - \frac{q \cdot v^2}{g} \cdot \frac{\Delta}{10} - \frac{E_{изг} \cdot \delta}{D_1 + \delta} \cdot \frac{\Delta}{10} \right) \cdot (1 - e^{-\mu \beta D}), \quad (2.43)$$

где K_b' – прочность ткани суровья, Н/см (кгс/см); C_t – поправка, учитывающая изменение прочности материала в результате технологических процессов; Z – запас прочности (зависит от скорости передачи);

q – вес 1 погонного метра ремня сечением 1см^2 ; Δ – толщина одной прокладки каркаса ремня; $10/\Delta$ – число прокладок в 1 см толщины ремня; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $E_{\text{изг}}$ – модуль изгиба материала каркаса, кгс/см^2 ; δ – общая толщина каркаса ремня (для ее определения пользуются рекомендуемым числом прокладок); μ_t – коэффициент трения (для приводных ремней равен 0,4); β_D – дуга упругого скольжения: $\beta_D = 0,8 \cdot \alpha$.

5. Определяют число прокладок в каркасе ремня, учитывая что

$$p = p_0 \cdot B \cdot i. \quad (2.44)$$

Реальные условия работы отражают поправки-множители, введенные в знаменатель следующего уравнения:

$$i = \frac{102 \cdot N}{v \cdot p_0 \cdot B \cdot C_\alpha \cdot C_v \cdot C_\pi \cdot C_p}, \quad (2.45)$$

где C_α – коэффициент, учитывающий изменение угла обхвата в работающей передаче:

$$C_\alpha = 1 - 0,003 \cdot (180 - \alpha); \quad (2.46)$$

C_v – коэффициент, учитывающий влияние центробежных сил:

$$C_v = 1,04 - 0,0004 \cdot v^2; \quad (2.47)$$

C_π – поправка, учитывающая род передачи (открытая, перекрестная, угловая) и угол наклона ее к горизонту; C_p – поправка на условия работы передачи (характер нагрузки, сменность работы).

Если расчетное число прокладок выше, чем заданное, следует взять ремень из более прочного материала или облегчить условия работы и повторить расчет.

6. Определяют длину ремня:

$$L = 2l + 1,57(D_1 + D_2) + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4l}. \quad (2.48)$$

7. Определяют число пробегов ремня в секунду:

$$H = \frac{v}{L}. \quad (2.49)$$

Если число пробегов более 5, необходимо облегчить условия работы ремня и (или), если это возможно, увеличить межосевое расстояние [69, 70].

2.2.2. Расчет плоских приводных ремней по тяговой способности

При малых натяжениях ремня наблюдается его проскальзывание относительно шкивов (буксование). Тяговая способность ремня определяется коэффициентом тяги (φ_t) и практически допускаемым напряжением ремня K (а следовательно, и полезным напряжением P):

$$\varphi_t = \frac{1 - e^{-\mu_t \beta_D}}{1 + e^{-\mu_t \beta_D}}; \quad (2.50)$$

$$P = K \cdot S = 2 \cdot \varphi_t \cdot \sigma_n \cdot S, \quad (2.51)$$

где σ_n – рабочее натяжение ремня; S – площадь сечения ремня: $S = B \cdot \delta = B \cdot i \cdot \Delta$.

При расчете K пользуются следующей эмпирической зависимостью, полученной по экспериментальным данным:

$$K_0 = \alpha - \omega \cdot \frac{\delta}{D_1}, \quad (2.52)$$

где α и ω – переменные параметры, зависящие от начального натяжения ремня.

Величина K_0 представляет собой напряжение ремня при угле обхвата 180° и скорости 10 м/с:

$$K = K_0 \cdot C_\alpha \cdot C_v \cdot C_\pi \cdot C_p. \quad (2.53)$$

Искомой величиной при расчете является число прокладок в каркасе [69, 70].

2.3. Кордшнуровые ремни

Расчет бесконечных ремней с каркасом, выполненным из кордшнура, производится аналогично расчету для плоских прокладочных ремней. Отличие состоит в том, что целью расчетов является определение ширины ремня. Полезное усилие, приходящееся на 1 см ширины ремня, рассчитывают по уравнению

$$p_0 = \left(\frac{K_b' \cdot C_t \cdot i_k}{Z} - \frac{q \cdot v^2}{g} \cdot \frac{d}{10} - \frac{E_{изг} \cdot \delta}{D_1 + \delta} \cdot \frac{d}{10} \right) (1 - e^{-\mu_t \beta_D}), \quad (2.54)$$

где i_k – количество несущих элементов каркаса, приходящееся на 1 см ширины ремня: $i_k = 10 / d$; d – толщина каркаса ремня; $d / 10$ – число шнуров, приходящихся на 1 см толщины ремня.

Ширину ремня определяют в соответствии с уравнением

$$B = \frac{102N}{v \cdot p_0 \cdot C_\alpha \cdot C_v \cdot C_\pi \cdot C_p}. \quad (2.55)$$

Для кордшнуровых ремней необходимым этапом расчета является определение длины ремня, которую округляют до ближайшего стандартного значения. Затем производят пересчет межцентрового расстояния передачи [69, 70]:

$$l = \frac{L}{4} - 0,393 \cdot (D_1 + D_2) + \sqrt{\left[\frac{L}{4} + 0,393 \cdot (D_1 + D_2) \right]^2 - 0,126 \cdot (D_1 - D_2)^2}.$$

2.4. Клиновые ремни

Клиновые ремни выпускаются семи сечений, размеры которых стандартизированы. Каждое сечение характеризуется следующими размерами (рис. 2.5): b – ширина ремня по наибольшему основанию; b_p – ширина ремня по нейтральной линии; h – высота сечения ремня; S – площадь сечения ремня и φ – угол клина ремня в канавке.

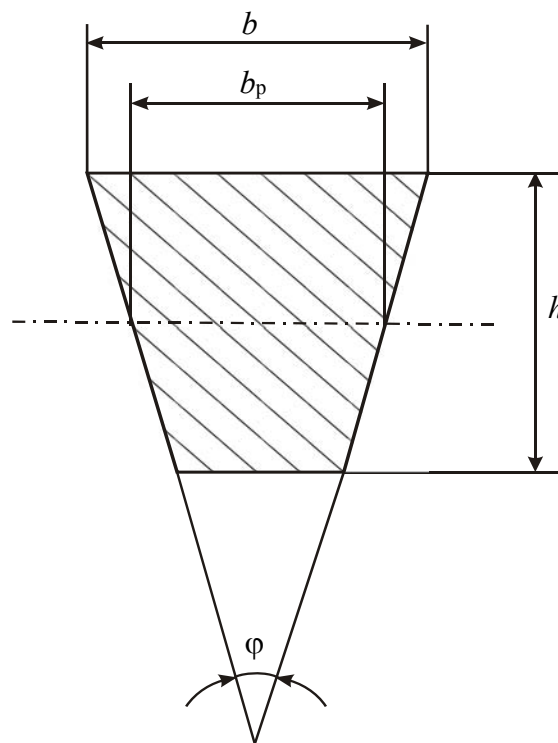


Рис. 2.5. Основные размеры сечения клинового ремня

Выбор сечения производят в зависимости от передаваемой мощности и скорости передачи.

Рабочей поверхностью для клиновых ремней являются боковые грани. Особенностью их работы является заклинивание ремня в канавках шкива вследствие трапециевидной формы сечения, что приводит к изменению коэффициента трения в v раз. Символом v обозначается коэффициент заклинивания, вычисляется по формуле $v = 1 / \sin(\varphi / 2)$ [68–71].

2.4.1. Расчет клиновых приводных ремней по полезному усилию

Данный расчет проводится аналогично плоским ремням. Рассчитывают диаметр меньшего шкива (коэффициент скольжения принимают равным 0,02), скорость передачи, угол обхвата ремнем меньшего шкива и дугу упругого скольжения.

1. В зависимости от условий работы выбирают сечение ремня. Если рекомендуется несколько сечений, то предпочтение следует отдавать меньшему.

2. Определяют мощность, передаваемую одним ремнем:

$$N_0 = \left(\frac{K_b' \cdot C_t \cdot i_k}{Z} - \frac{q \cdot S}{g} \cdot v^2 - \frac{E_{изг} \cdot h_k \cdot S_k}{D_1} \right) \cdot (1 - e^{-\mu \beta D v}) \cdot \frac{v}{102}, \quad (2.56)$$

где i_k – количество несущих элементов каркаса (для прокладочных каркасов $i_k = i$, для кордшнуровых каркасов $i_k = b_p / d_{нити}$); S – площадь сечения ремня; S_k – площадь сечения каркаса ремня; h_k – толщина каркаса ремня.

3. Учитывают поправки:

$$N_0' = N_0 \cdot C_\alpha \cdot C_v \cdot C_\pi \cdot C_p. \quad (2.57)$$

4. Определяют необходимое число ремней для передачи требуемой мощности:

$$i_p = \frac{N}{N_0'}. \quad (2.58)$$

Полученное число ремней округляют до целого значения в большую сторону.

5. Так как клиновые ремни являются бесконечными, для них также, как и для плоских кордшнуровых ремней, необходимым этапом расчета является определение длины ремня и пересчет межосевого расстояния.

6. Рассчитывают число пробегов в секунду.

2.4.2. Расчет клиновых приводных ремней по тяговой способности

Основные положения этого расчета аналогичны рассматриваемым для плоских ремней. Коэффициент тяги для клиновых ремней ограниченно возрастает при увеличении диаметра шкива и уменьшении сечения ремня. Для расчета коэффициента тяги существует эмпирическая зависимость

$$\varphi_0 = K + \frac{\sqrt{h}}{100 \cdot b_p} \cdot \left(D_1 - 0,185 \frac{D_1^2}{100} \right), \quad (2.59)$$

где K – коэффициент (0,30 – для узких клиновых ремней; 0,33 – для ремней стандартных сечений).

Мощность, передаваемая одним ремнем, определяется как

$$N_0 = \frac{2 \cdot K_0 \cdot \varphi_0 \cdot S \cdot v}{102}. \quad (2.60)$$

Далее рассчитывают число ремней в передаче, длину ремня и межосевое расстояние [68–71].

2.5. Расчет транспортерных лент

Лента является тяговым и грузонесущим элементом транспортирующей установки. Основным силовым элементом конвейерной ленты является тканевый металлотросовый каркас. При работе лента подвергается растяжению под действием тяговых усилий и изгибу при огибании барабанов. Вследствие малых скоростей составляющая центробежной силы не учитывается.

Расчет лент, как и приводных ремней, сводится к определению числа прокладок каркаса. Исходными данными для расчета являются: требуемая производительность конвейерной установки (Q , т/ч); скорость перемещения конвейера (v , м/с); расстояние, на которое перемещается груз (L_m , м); угол наклона конвейера (β) для подъемных или спускающихся конвейеров (или высота подъема груза H); характер перемещаемого груза, его плотность (ρ , г/см³); профиль конвейера (характер роликоопоры).

2.5.1. Расчет по потребляемой мощности и полезному усилию

При данном расчете пользуются зависимостями, общими как для приводных ремней, так и для транспортерных лент.

Основные этапы расчета представлены ниже.

1. Выбор типа ленты исходя из требований по условиям работы и характера перемещаемого груза.

2. Определение ширины ленты. Для насыпных грузов:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{K_{\pi} \cdot v \cdot \rho \cdot K_{\beta}}}, \quad (2.61)$$

где Q – производительность, т/ч; v – скорость конвейера, м/с; K_{π} , K_{β} – коэффициенты, зависящие от подвижности груза, характера роlikоопоры и угла наклона конвейера; ρ – плотность груза, т/м³.

Для штучных грузов ширину ленты выбирают в зависимости от ширины груза с учетом того, чтобы на ленте с обеих сторон от груза оставались свободные поля шириной не менее 50–100 мм.

3. Определение расстояния и высоты, на которые перемещается груз.

4. Определение полезного усилия, приходящегося на 1 см ширины одной прокладки ленты (аналогично плоским прокладочным ремням):

$$p_0 = \left(\frac{K_b' \cdot C_t}{Z} - \frac{E_{изг} \cdot \delta}{D_1 + \delta} \cdot \frac{\Delta}{10} \right) \cdot (1 - e^{-\mu \beta D}). \quad (2.62)$$

5. Расчет потребляемой мощности конвейерной установки.

Мощность, затрачиваемая на движение конвейера (N), складывается из трех составляющих:

N_1 – мощность, потребляемая на движение конвейера;

N_2 – мощность, потребляемая на перемещение груза;

N_3 – мощность, потребляемая на преодоление сил тяжести (рассчитывается для наклонных конвейеров).

$$N_1 = \frac{K_{\pi} \cdot \omega \cdot L_m}{367} \cdot 3,6 \cdot (2q_{\pi} + q_p + q_x) v, \quad (2.63)$$

где K_{π} – коэффициент длины ленты; ω – коэффициент сопротивления роlikоопор; q_{π} – вес 1 м ленты; q_p , q_x – вес вращающихся частей роlikоопоры, приходящийся на 1 м ленты с рабочей и холостой сторон конвейера соответственно.

$$q_{\pi} = B \cdot (\delta \cdot \gamma_m + (\delta' + \delta'') \cdot \gamma_p); \quad q_p = \frac{G}{l_p}; \quad q_x = \frac{G}{l_x}, \quad (2.64)$$

где δ – толщина каркаса ленты; γ_m – плотность резинокордного материала каркаса; δ' , δ'' – толщина резиновой обкладки ленты соответственно

с рабочей и нерабочей сторон ленты; γ_p – плотность резины для наружной обкладки ленты; G – вес вращающихся частей роlikоопоры; l_p, l_x – расстояние между роliками соответственно с рабочей и холостой сторон конвейера.

$$N_2 = \frac{K_{л} \cdot \omega \cdot L_m \cdot Q}{367} \quad (2.65)$$

$$N_3 = \pm \frac{H \cdot Q}{367} \quad (2.66)$$

6. Расчет необходимого количества прокладок в каркасе ленты:

$$i = 102 \cdot \frac{N}{v \cdot p_0 \cdot B} \quad (2.67)$$

Расчетное значение числа прокладок сравнивается с принятым, и делается вывод об условиях работы ленты [68–71].

2.5.2. Расчет по максимальному натяжению ленты

Максимальное натяжение (T_{\max}) лента испытывает в точке набега-ния ее на приводной барабан, и оно составляет:

$$T_{\max} = T_{\min} + \sum W_x + \sum W_p \pm W, \quad (2.68)$$

где T_{\min} – минимальное натяжение ленты в точке ее сбегания с приводного барабана, практически минимальное натяжение должно составлять не менее 100–200 кгс (1–2 кН); W_x – учитывает сопротивление роlikоопор с рабочей и холостой сторон конвейера:

$$\sum W_x = L_m \cdot \omega_x \cdot (q_{л} + q_x); \quad (2.69)$$

$$\sum W_p = L_m \cdot \omega_p \cdot (q_{л} + q_p + q_m), \quad (2.70)$$

где ω_x, ω_p – коэффициенты сопротивления роlikоопор для холостой и рабочей сторон конвейера соответственно; $q_{л}$ – вес 1 м ленты; q_m – вес материала, приходящегося на 1 м ленты ($q_m = Q / 3,6 / v$); q_x, q_p – вес роlikоопоры, приходящийся на 1 м ленты на холостой и рабочей ветви конвейера соответственно.

W – учитывает сопротивление силе тяжести (для наклонных конвейеров):

$$W = \pm H(q_{л} + q_m). \quad (2.71)$$

По найденному максимальному натяжению можно найти число требуемых прокладок в каркасе ремня:

$$i = \left(\frac{T_{\min}}{B} + E_{\text{изг}} \frac{\Delta}{10} \cdot \frac{\delta}{D_1 + \delta} \right) \frac{Z}{K_b'}. \quad (2.72)$$

Расчетное значение числа прокладок сравнивается с принятым, и делается вывод об условиях работы ленты [68–71].

2.6. Расчет напорных рукавов

При расчете напорного рукава определяют число прокладок в каркасе рукава, обеспечивающее удовлетворительные условия работы при заданном давлении, или разрывное давление при заданном числе прокладок в каркасе. Для расчета руководствуются допущениями, что каркас рукава является тонкостенным цилиндром, закрытым с торцов, а основная нагрузка воспринимается его первым слоем, резиновая камера не оказывает существенного влияния на нагружение каркаса, элементы каркаса имеют некоторую возможность сдвига друг относительно друга. Предполагается, что разрыв рукава происходит, если деформация его первого слоя превышает удлинение материала при разрыве.

При расчете используются подстрочные индексы, характеризующие состояния каркаса рукава: начальное (н), равновесное (р), разрывное (в).

Основным расчетным уравнением, связывающим параметры каркаса рукава с разрывным давлением, является следующее:

$$p_v = F \cdot \frac{K_b' \cdot m_n \cdot i}{d_{2н}} \cdot C, \quad (2.73)$$

где p_v – разрывное давление, атм; F – величина, характеризующая влияние меридианальной или тангенциальной составляющей силы, действующей на каркас:

$$F_1 = 8 \cos^2 \alpha_v \quad \text{или} \quad F_2 = 4 \sin^2 \alpha_v, \quad (2.74)$$

где α_v – угол элемента каркаса, при котором происходит разрыв; K_b' – прочность материала каркаса, кгс/см; m_n – плотность элементов каркаса, см⁻¹; i – число слоев каркаса; $d_{2н}$ – диаметр рукава по первому слою каркаса, см:

$$d_{2н} = d_{1н} + 2 \cdot (\delta_k - q \cdot \delta_n), \quad (2.75)$$

где $d_{1н}$ – диаметр рукава по резиновой камере, см; δ_k – толщина резиновой камеры, см; δ_n – толщина слоя каркаса, см; q – величина, характеризующая впрессовку текстильного материала в массив резины (принимается равной 0,5); C – поправки.

В ходе расчета вычисляют значения F_1 и F_2 , выбирают из них наименьшее. В случае, если разрыв рукава происходит при угле, равном равновесному, то $F_1 = F_2 = 2,667$ [68–71].

2.6.1. Расчет поправок

Поправки определяются по следующей зависимости:

$$C = \frac{C_2 \cdot C_4}{C_1 \cdot C_{1d} \cdot C_3}. \quad (2.76)$$

Поправки C_1 и C_3 характеризуют изменение геометрии рукава в процессе его изготовления. C_1 включает две составляющие:

$$C_1 = C_{1t} \cdot C_{1d}. \quad (2.77)$$

C_{1t} и C_{1d} характеризуют соответственно изменение шага элемента каркаса и диаметра рукава при нагружении его внутренним давлением:

$$C_{1t} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin \alpha_H}; \quad (2.78)$$

$$C_{1d} = \frac{\cos \alpha_B}{\cos \alpha_H}. \quad (2.79)$$

Поправка C_3 характеризует удлинение материала каркаса рукава под действием внутреннего давления:

$$C_3 = 1 + \frac{\varepsilon}{100}, \quad (2.80)$$

где ε – разрывное удлинение материала, %.

Поправки C_2 и C_4 характеризуют изменение прочности рукава, неравномерность распределения нагрузки по слоям рукава и конструкцию каркаса рукава:

$$C_2 = C_2' \cdot C_2''; \quad (2.81)$$

$$C_2' = \frac{1 + \Delta \cdot i}{1 + 2 \cdot \Delta \cdot i}, \quad (2.82)$$

где $\Delta = \delta_n / d_{2H}$;

$$C_2'' = 1 - A_1 \cdot (i - 1), \quad (2.83)$$

где A_1 – коэффициент, зависящий от типа рукава.

$$C_4 = C_4' \cdot C_4'' \cdot C_4'''; \quad (2.84)$$

$$C_4'' = 1 - A_2 \cdot (n - 1) \cdot \rho,$$

где C_4'' (только для оплеточных рукавов), C_4''' зависят от вида переплетения нитей в каркасе и неравномерного разрыва разных нитей; n – число нитей на шпуле; ρ – число потоков в раппорте плетения (обычно $\rho = 2$) [68–71].

Применение общего расчетного уравнения для расчета разрывного давления в рукавах различной конструкции

1. Тканевый прокладочный каркас

Плотность ткани составляет 1 нить/см. Расчетные формулы:

$$p_B = F \cdot \frac{K_b' \cdot i \cdot C_2}{d_{2H} \cdot C_1 \cdot C_{1d} \cdot C_3}, \quad (2.85)$$

$$C_2'' = 0,775 - 0,012 \cdot (i - 1).$$

2. Оплеточный каркас

Плотность нити в оплетке составляет

$$m_H = \frac{N \cdot n}{2 \cdot \pi \cdot d_{2H} \cdot \cos \alpha_B}.$$

Расчетная формула

$$p_B = F \cdot \frac{K_b' \cdot n \cdot N \cdot C_2 \cdot C_4}{2 \cdot \pi \cdot d_{2H} \cdot \cos \alpha_B \cdot C_1 \cdot C_{1d}^2 \cdot C_3^2}, \quad (2.86)$$

где N – количество шпуль; n – количество нитей на шпуле.

3. Каркас с обмотками из корда

$$p_B = F \cdot \frac{K_b' \cdot i \cdot i_0 \cdot C_2 \cdot C_4}{d_{2H} \cdot C_1 \cdot C_{1d} \cdot C_3}, \quad (2.87)$$

где i_0 – плотность корда.

4. Каркас навивочной конструкции

Конструкция каркаса такого типа требует рассмотрения работы обоих слоев навивки, характеризующихся диаметрами d_{1H} и d_{2H} :

$$d_{1H} = d_1 + 2 \cdot (\delta_K - q \cdot \delta_H); \quad (2.88)$$

$$d_{2H} = d_{1H} + 2 \cdot (\delta_P - q \cdot \delta_H), \quad (2.89)$$

где δ_P – толщина резиновой прокладки между слоями каркаса; d_1 – диаметр внутренней резиновой камеры.

Величины F находятся из следующих зависимостей:

$$F = 2 \cdot \left(1 + \frac{d_{1H}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{2p}}{d_{2H}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{1p}} \right) \cdot \sin^2 \alpha_{1p}; \quad (2.90)$$

$$F = 4 \cdot \left(1 + \frac{d_{1H}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{1p}}{d_{2H}^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{2p}} \right) \cdot \cos^2 \alpha_{1p}. \quad (2.91)$$

Первое выражение используется, когда $\alpha_{1p} < 54^\circ 44'$, а второе – когда $\alpha_{1p} \geq 54^\circ 44'$.

Для расчета углов α_{1p} и α_{2p} используют систему уравнений

$$\begin{cases} \alpha_{1p} + \alpha_{2p} = 109^\circ 28', \\ \sin(\alpha_{2p} - \alpha_{1p}) = \frac{0,943 \cdot (r_{2H}^2 - r_{1H}^2)}{r_{1H}^2 + 3 \cdot r_{2H}^2}. \end{cases} \quad (2.92)$$

Поправки:

$$\begin{aligned} C_{1t} &= \frac{\sin \alpha_{1p}}{\sin \alpha_{1H}}; & C_{1t} &= \frac{\cos \alpha_{1p}}{\cos \alpha_{1H}}; \\ C_4' &= 1,02 - 0,02 \cdot m_H; \\ C_4'' &= \frac{K_b}{K_b'}. \end{aligned}$$

Конечное уравнение для разрывного давления

$$p_B = F \cdot \frac{K_b' \cdot i \cdot m_H \cdot C_4}{d_{2H} \cdot C_1 \cdot C_3}. \quad (2.93)$$

2.7. Расчет всасывающих рукавов

Основным силовым элементом всасывающего рукава является металлическая спираль или металлические кольца. В основе расчета лежит модель упругой спирали, сжимаемой между параллельными плоскостями.

Целью расчета является определение диаметра стальной проволоки, которая при заданных условиях работы обеспечивает необходимый прогиб спирали. Для нормальных условий работы прогиб не должен превышать 1,5% от диаметра спирали.

Расчет диаметра проволоки проводят в соответствии с формулами:
– для проволочной спирали:

$$\delta = \frac{p \cdot r_c^3 \cdot C_0 \cdot t}{E \cdot d_{\text{пр}}^4};$$

– для металлических колец:

$$\delta = \frac{p \cdot r_c^3 \cdot t}{E \cdot l},$$

где $l = \frac{\pi \cdot d_{\text{пр}}^4}{64}$ – момент инерции; C_0 – поправка на угол наложения спирали:

– для средних витков спирали:

$$C_0 = \frac{3,04 + 16,7 \cdot \text{tg}^2 \alpha + 13,2 \cdot \text{tg}^4 \alpha}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}},$$

– для крайних витков (без жесткой заделки):

$$C_0 = \frac{16 + 7,9 \cdot \text{tg}^2 \alpha + 15,6 \cdot \text{tg}^4 \alpha}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha}};$$

p – внешняя нагрузка на участке рукава: $p = p_0 \cdot \pi \cdot d \cdot l$; r_c – радиус проволочной спирали; t – шаг спирали [68–71].

2.8. Пневматические конструкции.

Теоретические основы расчета и конструирования

Полые резинотекстильные и резиновые изделия представляют собой оболочки различных форм, способные за счет избыточного давления наполняющей их среды сопротивляться внешним нагрузкам.

Полые резинотекстильные изделия классифицируют либо по назначению и условиям эксплуатации, либо по конструктивной схеме. По назначению и условиям эксплуатации их подразделяют на воздухоплавательные, водоплавательные средства, пневматические строительные конструкции, силовые пневматические изделия и мягкие резервуары [68].

Конструктивные схемы полых резинотекстильных изделий. Полые изделия в зависимости от их назначения, технических возможностей и особенностей эксплуатации в значительной степени отличаются друг от друга. Существует 3 типа их конструкций: бескаркасный, с пневматическим каркасом и комбинированный.

Бескаркасные конструкции – это оболочки, поддерживаемые внутренним избыточным давлением наполняющей их среды.

Конструкции с пневматическим каркасом характеризуются наличием полого резинотекстильного каркаса, который поддерживает ограждающую оболочку покрытия. Каркас воспринимает деформирующие внешние нагрузки за счет избыточного давления наполняющего его газа или воздуха.

Комбинированные конструкции представляют собой оболочки с избыточным давлением наполняющего их газа или воздуха, опирающиеся на несущий пневмокаркас. Избыточное давление в каркасе должно обеспечивать натяжение материала каркаса большее, чем натяжение обтягивающей оболочки.

Воздухоопорные конструкции – это новейшие инженерные объекты развивающейся отрасли скоростного строительства, объекты хотя и не долговременные по сроку службы, но значительные по размерам и разнообразные по назначению [68].

2.8.1. Расчет полых резинотекстильных изделий

Расчеты тонкостенных резинотекстильных изделий, нагруженных внутренним избыточным давлением и внешними силами – пневматических конструкций, – проводят в статических, аэродинамических или гидродинамических условиях равновесия.

Предельным состоянием называют такое напряженное состояние конструкции, начиная с которого обнаруживаются резкие качественные изменения ее свойств. В расчетах несущих конструкций, в том числе и резинотекстильных полых изделий, предельными считают состояния, при которых изделия теряют способность сопротивляться внешним воздействиям и дальнейшая их эксплуатация должна быть прекращена.

При расчетах по предельному состоянию определяют предельные нагрузки, при которых исчерпывается несущая способность (прочность или устойчивость) всего изделия, или же деформацию (по прогибам или по складкообразованию), которая выводит из строя конструкцию или ее отдельный элемент, а коэффициент запаса вычисляют как отношение предельной нагрузки к действительной.

Балонную конструкцию рассчитывают на сопротивление деформирующим нагрузкам, при этом оболочку бескаркасных изделий – по правилам безмоментной теории, а каркас – по общим методам расчета стержней, арок, стержневых и рамных систем.

Определение натяжений [68]. В безмоментной теории оболочек принято, что внутреннее избыточное давление среды вызывает в гиб-

ком изотропном материале оболочки или каркаса лишь растягивающие продольные и поперечные напряжения. Безмоментная теория исходит из положения, что напряжения, возникающие в оболочке, равномерно распределены по ее толщине и, следовательно, изгибающие моменты равны нулю. Поэтому, чем тоньше оболочка, тем ближе к истине предполагаемый закон равномерного распределения напряжений по толщине. Нагруженность резинотекстильной оболочки определяют не напряжением σ – нагрузкой, отнесенной к единице площади поперечного сечения, а натяжением T – нагрузкой на единицу протяженности сечения. В осесимметричных оболочках вычисляют растягивающие натяжения, соответствующие тангенциальному T_T (широтному) и осевому T_o (меридиональному) направлениям. Эти натяжения в тонкостенной оболочке двойной кривизны радиусов ρ_T и ρ_o при наличии равномерно распределенного и нормально направленного на внутреннюю поверхность оболочки давления p взаимно связаны в уравнении Лапласа (рис. 2.6):

$$p = \frac{T_T}{\rho_T} + \frac{T_o}{\rho_o}. \quad (2.94)$$

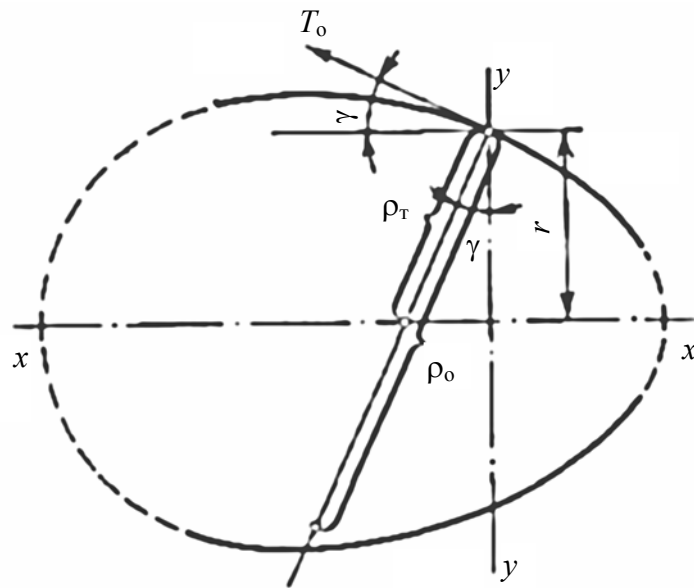


Рис. 2.6. Схема для расчета полой оболочки, нагруженной внутренним давлением p

Данное уравнение, называемое *уравнением элемента оболочки*, содержит, кроме заданных параметров p , ρ_T и ρ_o , два искоемых неизвестных T_T и T_o , т.е. является неопределенным. Для оболочки в форме тела

вращения осевое натяжение T_0 может быть определено из равновесия части оболочки, отсеченной плоскостью, которая перпендикулярна оси вращения (рис. 2.6):

$$\pi r^2 p = T_0 2\pi r \cos \gamma. \quad (2.95)$$

В этом уравнении, называемом *уравнением равновесия зоны оболочки* (или *уравнением зоны*), r – радиус оболочки по рассматриваемому сечению, γ – угол между нормалью к плоскости сечения и касательной к поверхности оболочки в точке пересечения этой нормали с обводом оболочки, p – избыточное давление. Из вышеприведенных уравнений при замене $r / \cos \gamma$ на ρ_T следует:

$$T_0 = \frac{p\rho_T}{2}; \quad T_T = p\rho_T \left(1 - \frac{\rho_T}{2\rho_0}\right).$$

Сферическая оболочка

Радиусы кривизны в ней равны между собой, следовательно, $\rho_T = \rho_0 = r$, где r – радиус сферической поверхности. Поэтому уравнения для T_T и T_0 примут вид:

$$T_0 = T_T = \frac{pr}{2}.$$

Натяжения равны между собою и постоянны по величине по всей поверхности сферической оболочки.

Цилиндрическая оболочка

Радиусы кривизны в ней не равны между собою. В осевом сечении цилиндра $\rho_0 = \infty$, а в сечении, перпендикулярном оси, $\rho_T = r$. Поэтому

$$T_0 = \frac{pr}{2}; \quad T_T = 2T_0 = pr.$$

Коническая оболочка

Радиусы кривизны в ней не равны между собою: $\rho_0 = \infty$, $\rho_T = r / \cos \alpha$, где r – радиус сечения, перпендикулярного оси симметрии; α – половина угла при вершине конуса. Таким образом:

$$T_0 = \frac{pr}{2 \cos \alpha}; \quad T_T = \frac{pr}{\cos \alpha}.$$

С уменьшением радиуса r , уменьшаются и величины натяжений. В вершине конуса, где $r = 0$, $T_T = T_0 = 0$.

2.8.2. Расчет прямой круглой цилиндрической оболочки (пневмобалки)

Простейшим элементом пневмокаркаса баллонного изделия – опорой, колонной, стойкой, балкой – является прямая цилиндрическая балка, закрытая с торцов сферическими, коническими или иной формы днищами из того же материала, что и сама балка, либо с днищами в виде жестких заглушек. Расчет пневмобалок ведут исходя из следующих предположений [68]:

1) давление наполняющей среды p равномерно распределено по внутренней поверхности оболочки;

2) натяжение материала при загрузке пропорционально деформациям (по закону Гука);

3) поперечные сечения, плоские до загрузки балки, остаются плоскими и после приложения нагрузки (по гипотезе Навье).

Расчет на избыточное давление

Величины T_r и T_o определяют по уравнениям для цилиндрической оболочки. Натяжения в торцах балки в зависимости от их формы вычисляют по уравнениям для цилиндрической либо конической оболочек. Максимально допустимое внутреннее избыточное давление среды (из условий прочности материала T_K и запаса прочности z) равно:

$$p_{\max} = \frac{T_K}{zr}.$$

Расчет на сдавливание или растяжение вдоль оси

Натяжение T_r находят по уравнению $T_r = pr$. Натяжение T_o с коррективом от разгружающего действия сдавливающей силы N составит:

$$T_o = \frac{pr}{2} - \frac{N}{2\pi r}.$$

При $pr / 2 = N / 2\pi r$ продольное натяжение T_o отсутствует. В этом случае:

$$p = \frac{N}{\pi r^2}.$$

Осевое натяжение с учетом нагружения растягивающей силой S равно:

$$T_o = \frac{pr}{2} + \frac{S}{2\pi r}.$$

3. ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

3.1. Общие положения конструирования пресс-форм. Основы конструирования компрессионных пресс-форм

Пресс-форма – технологическая оснастка, в которой под действием давления и температуры резиновая смесь формуется, вулканизуется и приобретает конфигурацию и размеры готового изделия.

3.1.1. Классификация пресс-форм по видам

Все многообразие пресс-форм классифицируют по следующим основным признакам:

- а) по конструктивному признаку;
- б) по числу формообразующих полостей;
- в) по методу изготовления изделия;
- г) по характеру эксплуатации;
- д) по универсальности применения.

1. По конструктивному признаку пресс-формы делятся на:

- а) открытые – это пресс-формы со свободным растеканием излишков резиновой смеси из формообразующей полости (рис. 3.1, а);
- б) полузакрытые – пресс-формы с частично ограниченным растеканием излишков резиновой смеси из формообразующей полости (рис. 3.1, б);
- в) закрытые – пресс-формы с ограниченным растеканием излишков резиновой смеси с формообразующей полости (рис. 3.1, в).

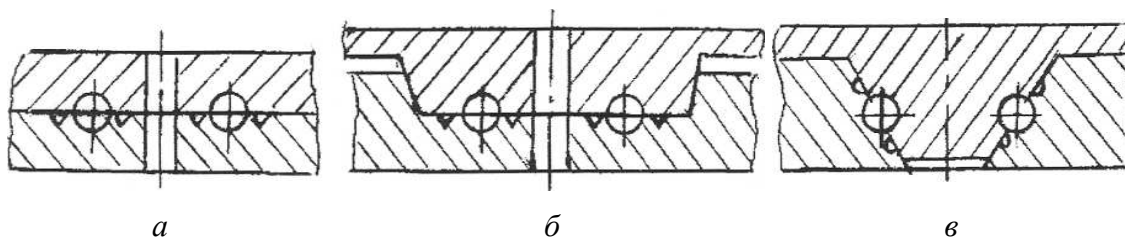


Рис. 3.1. Виды пресс-форм по конструктивному признаку: открытого типа (а), полузакрытого типа (б), закрытого типа (в)

2. По числу формообразующих полостей или деталей пресс-формы делятся на:

- а) одноместные – пресс-формы с одной формующей полостью;
- б) многоместные – это пресс-формы с несколькими формующими полостями;

в) этажные – пресс-формы, в которых формообразующие полости выполнены на разных вертикальных уровнях (рис. 3.2);

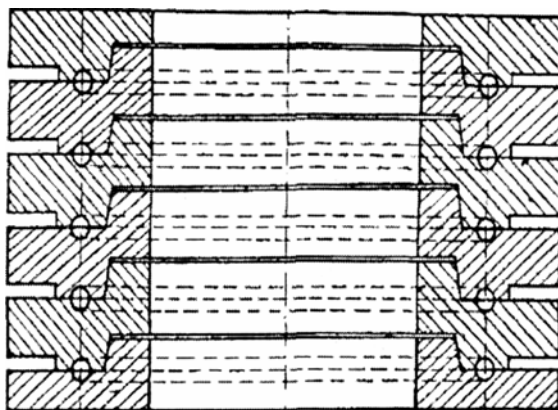


Рис. 3.2. Многоместная стопочная пресс-форма для колец круглого сечения

г) кассетные – это пресс-формы, состоящие из нескольких кассет (плит), в которых установлены пакеты (плавающие детали с формообразующей полостью).

3. По методу изготовления РТИ пресс-формы делятся:

а) на компрессионные – пресс-формы, в которых давление прессы передается на резиновую смесь, загруженную в формообразующую полость (рис. 3.1, а, б, в);

б) компрессионно-литьевые – пресс-формы, в которых под давлением прессы плунжер пресс-формы продавливает резиновую смесь из загрузочной камеры в закрытую формообразующую полость через литниковую систему пресс-формы (рис. 3.3);

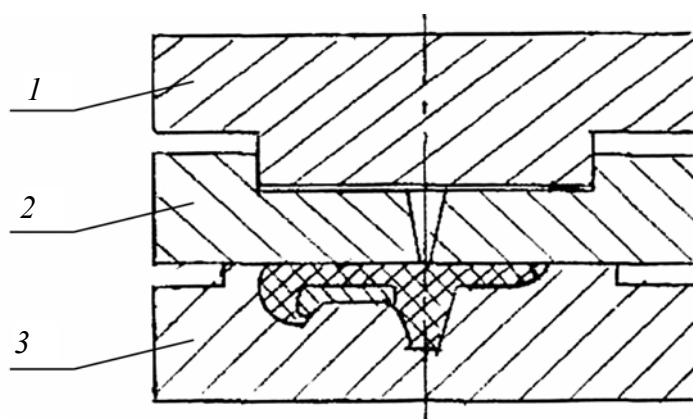


Рис. 3.3. Пресс-форма компрессионно-литьевая:
1 – плунжер; 2 – загрузочная камера;
3 – матрица

в) литьевые – пресс-формы, в которых резиновая смесь под давлением впрыскивается в замкнутую формообразующую полость из литьевой машины (или литьевого устройства) через литниковую систему пресс-формы (рис. 3.4).

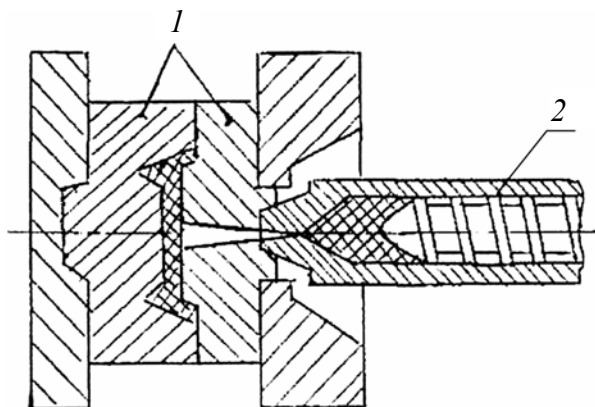


Рис. 3.4. Пресс-форма литьевая:
1 – пресс-форма; 2 – машина литьевая

4. Виды пресс-форм по характеру эксплуатации:

- а) стационарные – это пресс-формы, у которых все детали постоянно закреплены на прессе при изготовлении изделия;
- б) полустационарные – пресс-формы, у которых часть деталей постоянно закреплена на прессе, а часть снимается с пресса для закладки заготовок и извлечения изделий;
- в) съемные – пресс-формы, которые снимаются с пресса для закладки заготовок и извлечения изделия.

5. Виды пресс-форм по универсальности применения:

- а) специальные – пресс-формы, предназначенные для изготовления только данного изделия, собираемые из сборочных единиц и деталей, используемых только в данной пресс-форме;
- б) специализированные – пресс-формы для изготовления только заданного изделия, собираемые из сборочных единиц и деталей, используемых в различных пресс-формах;
- в) универсальные – это пресс-формы, переналаживаемые для изготовления различных изделий [72–73].

3.1.2. Основные части пресс-форм

Формообразующая поверхность (формующая поверхность) – поверхность, образуемая деталями пресс-формы, которую повторяет заполняемая ее резиновая смесь.

Формообразующая деталь (формующая деталь) – деталь пресс-формы, участвующая в образовании формообразующей поверхности.

Формообразующая полость (канавка, формующая полость) – пространство в пресс-форме, ограниченное поверхностями формообразующих деталей, форму и размеры которого приобретает изделие, в котором происходит его вулканизация.

Пакет – совокупность формообразующих деталей, составляющих формообразующую полость.

Матрица (нижняя плита, вставка, вкладыш, знак, шашка, стаканчик) – формообразующая деталь пресс-формы для оформления поверхности нижней части изделия.

Пуансон (вставка, вкладыш, знак, шашка, стаканчик) – формообразующая деталь пресс-формы для оформления поверхности верхней части изделия.

Стержень (знак) – формообразующая деталь пресс-формы для получения в изделии отверстий, углублений или выпуклостей.

Вкладыш – формообразующая деталь пресс-формы для оформления поверхности внутренней боковой части изделия, извлекаемая из пресс-формы вместе с ним.

Обойма – формообразующая деталь пресс-формы для оформления поверхности наружной боковой части изделия.

Кассета (монтажная плита) – плита с отверстиями для установки в них формообразующих, направляющих и фиксирующих деталей.

Также к основным частям пресс-форм относятся направляющая колонка и направляющая втулка.

Блок пресс-формы – совокупность частей пресс-формы, связанных направляющими устройствами.

Загрузочная камера – пространство в пресс-форме, предназначенное для размещения и сжатия определенного количества резиновой смеси, необходимого для получения одного или нескольких изделий.

Плунжер пресс-формы (поршень) – деталь для продавливания резиновой смеси из загрузочной камеры в формообразующую полость [72–73].

3.1.3. Требования к конструкции пресс-форм

Различают общие и специальные требования.

К общим требованиям относят требования к конструкции пресс-форм, материалу, обработке поверхности, требования к сборке, надежности, комплектности, маркировке, упаковке, приемке пресс-форм,

к методам контроля, транспортировке, хранению и гарантии изготовления [72–73].

Специальные требования предъявляются только к конкретному виду пресс-форм.

Общие требования начинаются с требований оформления документации, разработанной в установленном порядке, который должен обеспечивать получение РТИ, соответствующего технической документации на данное изделие с условием соблюдения регламентированного технологического процесса. Все эти требования возлагаются на изготовителя пресс-форм. К ним относят требования по технике безопасности при эксплуатации и охране труда (типы ручек, обеспечивающих съем и установку пресс-формы на плиты, правильность изготовления выемок для разъема пресс-форм, в том числе фиксирующих и центрирующих элементов для стационарных и полустационарных пресс-форм). К вопросам охраны труда относится вес съемных пресс-форм (15 кг для мужчин).

Конструкция пресс-формы должна обеспечивать:

- 1) съем готовых изделий без повреждений;
- 2) полное заполнение формующих полостей резиновой смесью (с учетом подпрессовок);
- 3) удаление излишков резиновой смеси из полости в виде выпрессовок, толщина облоя при этом регламентируется в соответствии с документацией на РТИ и, как правило, находится в пределах 0,1–0,2 мм;
- 4) своевременное и полное удаление скопившихся летучих веществ из формообразующих полостей (за счет правильного выбора разъема, устройства вентиляционных каналов или пористых вставок, или вакуумирования);
- 5) правильную сборку подвижных и неподвижных частей форм, что достигается расположением в пресс-форме направляющих и центрирующих деталей (колонки, втулки);
- 6) беспрепятственное раскрытие пресс-форм, быстрая и удобная сборка и разборка;
- 7) точную фиксацию пуансонов, матриц и других деталей пресс-форм, что обеспечивается изготовлением отверстий одновременно во всех плитах в собранной пресс-форме с последующим изготовлением отверстия под формующие элементы на координатно-расточном станке. Одновременно просверливаются контрольные отверстия, которые в готовых изделиях заглушаются пробками, предназначены для облегчения ремонта пресс-форм;

8) удобную, быструю и безопасную укладку арматуры и закладных элементов (исключение образования концентраторов напряжения);

9) литниковые каналы и загрузочные камеры не должны иметь резких переходов и зон, способствующих накоплению в них трудно извлекаемых остатков резиновой смеси. Формующие поверхности пресс-форм должны иметь минимально необходимое число разъемов, стыков, отводных отверстий, каналов, обеспечивающих получение изделий, соответствующих технической документации, при наименьших потерях резиновой смеси на выпрессовки, облой, снижение затрат на доработку изделий после их выемки из пресс-форм; на формообразующие поверхности при необходимости наносится в нерабочем участке выполненная в зеркальном отображении маркировка детали в соответствии с технической документацией;

10) кромки рабочих частей формующих деталей, выходящих на плоскость разъема, должны быть острыми, без сколов или разъемов. Допускается, по согласованию между потребителем и изготовителем, скругление острых кромок радиусом:

а) не более 0,1 допуска на размер полученного сечения или толщины РТИ, если скругление острых кромок не ухудшает параметры надежности формообразующих деталей, а также параметры точности и качества;

б) не более 0,5 для резин на основе СКФ и силиконовых каучуков, если иными способами невозможно устранить втянутость (углубление на поверхности РТИ по месту смыкания формообразующих деталей);

11) во избежание повреждения формообразующих деталей пресс-форм при сборке направляющие детали (колонки, втулки) должны входить в зацепление между собой раньше, чем формообразующие элементы войдут в контакт друг с другом на 5–10 мм;

12) высота колонок на 5–10 мм выше выступающей части пуансона, что исключает при сборке вероятность контакта и, соответственно, деформации поверхности формообразующих элементов. Кроме того, при использовании объемных заготовок высота колонки должна обеспечить первичное ее вхождение относительно пуансона, тем самым обеспечивая его центровку. Угол уклона колонки должен быть меньше разницы отверстия между стенкой матрицы и поверхностью пуансона при параллельном перемещении в момент закрытия, т.е. колонка должна воспринимать на себя центрирующие усилия, обеспечивая длительную работоспособность формующих элементов пресс-форм;

13) в пресс-формах предусматриваются отверстия для установки термодпар или термометров для периодического контроля температуры. Причем при значительной высоте пресс-формы такие отверстия делаются в каждой плите для контроля при изготовлении наиболее ответственных изделий с жестким оптимумом вулканизации;

14) в пресс-формах, предназначенных для длительной работы, предусмотрено изготовление дополнительных быстроизнашивающихся деталей. Это, например, направляющие, фиксирующие и другие детали, которые указываются в документации при определении или указании γ -процентной наработки до отказа и γ -процентного ресурса пресс-формы. При проектировании пресс-форм, для возможности одновременного установления на плиту предназначенных для изготовления различных изделий, значение допуска на высоту закрытой пресс-формы (кратного 5 мм) устанавливается в зависимости от допуска на деталь и, как правило, не превышает 0,1 мм;

15) центровые отверстия, радиусы и канавки для выхода шлифовального круга выполняются по ГОСТ 14034 и 8820. По согласованию с заказчиком выполняются любые формы и размеры. Механические свойства болтов, винтов, шпилек, испытывающих попеременную нагрузку во время работы пресс-формы, должны соответствовать классу прочности не ниже 8,8. Размеры опорных поверхностей рассчитываются по ГОСТ 12876. Крепежные детали должны иметь один из видов покрытий, обеспечивающий надежность крепления деталей и форм по ГОСТ 1759.0, ГОСТ 1759.4, ГОСТ 1759.5;

16) для взаимной фиксации деталей пресс-форм применяются штифты с твердостью в пределах HRC 41-46 [72–73].

3.1.4. Комплектность пресс-форм

В комплект пресс-формы входит: 1) пресс-форма; 2) комплект ЗИП; 3) колонки и втулки; 4) формующие элементы; 5) детали пробной запрессовки, полученные при испытании пресс-формы, если пресс-форма испытана изготовителем; 6) формуляр или паспорт по ГОСТ 2.601 с указанием:

- а) наименования и обозначения формуемой детали;
- б) материала формуемой детали;
- в) материала формующей детали;
- г) твердости формующих деталей;
- д) шероховатости формующих деталей;
- е) контролируемых размеров формообразующих полостей, указанных на чертеже;

ж) других сведений о пресс-форме, необходимых потребителю.

К комплекту сборочных единиц и деталей должен прилагаться документ, указывающий их условные обозначения, подтверждающий их качество. По согласованию с потребителем в комплект могут входить дополнительно сборочные единицы и детали пресс-форм, пакеты, приспособления, техническая документация [72–73].

3.1.5. Маркировка пресс-форм

Маркировку выполняют как самих пресс-форм, так и изготавливаемых деталей. Маркировка пресс-форм, а также сборочных единиц и деталей выполняется в соответствии с ГОСТ 28.828.

1) Маркировка пресс-форм для учета при хранении производится на боковой поверхности, к фронтальному торцу плит прикрепляются таблички, выполненные по ГОСТ 12-971. Место выполнения крепления табличек указывается в технической документации.

Маркировка выполняется шрифтом высотой не менее 3–5 мм и не менее 5 мм в плитных табличках.

Маркировка на плитах выполняется ударным способом. Маркировка пресс-форм должна содержать:

- товарный знак или наименование изготовителя;
- обозначение пресс-формы;
- обозначение формуемой детали;
- заводской номер;
- масса пресс-формы.

Как правило, наносится год изготовления двумя последними цифрами (год поставки пресс-формы).

2) Маркировка сборочных единиц и деталей пресс-формы выполняется на нерабочей части формирующих элементов в зеркальном отображении (если тело вращения равномерно по окружности) по согласованию с потребителем изделий. Гравировается:

- товарный знак или (и) наименование РТИ;
- условное обозначение детали и размеры;

Допускается по требованию потребителя наносить другие дополнительные маркировочные данные (год изготовления, номер гнезда и т.д.).

Маркировка производится путем гравирования пресс-форм в зеркально отражении глубиной 0,2 мм, не более, шрифтом 1,5–2,5 мм. При маркировке наносится следующее:

- условное обозначение изделия;
- последние две цифры года изготовления;

- порядковый номер пресс-формы и гнезда;
- товарный знак.

Маркировка располагается равномерно по окружности [72–73].

3.1.6. Требования к материалам

Формообразующие детали пресс-форм изготавливают из марок сталей: 30, 35, 40, 45, 50, 55 по ГОСТ 1050; 30Г, 40Г, 45Г, 50Г, 30Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х, 30ХГС, 35ХГСА, 30Н2МФА, 38Х2Ю, 38Х2МЮА по ГОСТ 4543; 20Х13, 30Х13, 40Х13, 95Х18 по ГОСТ 5632.

Марки сталей, их твердость и обработка поверхностей формообразующих деталей пресс-форм указаны в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Марки сталей и требования к обработке поверхностей формообразующих деталей пресс-форм

Марки стали	Твердость HRC (HV)	Обработка поверхности азотированием (хромированием)
30; 35; 40; 45; 50; 55; 30Г; 40Г; 45Г; 50Г	26–36 36–46	– (+)
30Х; 35Х; 38ХА; 40Х	(520–650) 30–36 36–46	+ (–) – (+) – (+)
30Н2МФА; 38Х2Ю	(1000–1150)	+ (–)
20Х13; 30Х13; 40Х13	(850–950)	+ (–)
	38–49 св. 49	– (–)
ДИ 80	47–53	– (–)

Допускается заменять материалы на другие с механическими свойствами не ниже, чем у приведенных [72–73].

3.1.7. Требования к обработке

Термины и определения по допускам и посадкам, общепринятые для всех видов соединений, регламентированы ГОСТ 25346–89 [74]. *Размер* – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.д.). *Действительным* называют размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

Два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер,

называются *предельными размерами*. Большой из них называется наибольшим предельным размером, меньший – наименьшим предельным размером (рис. 3.5).

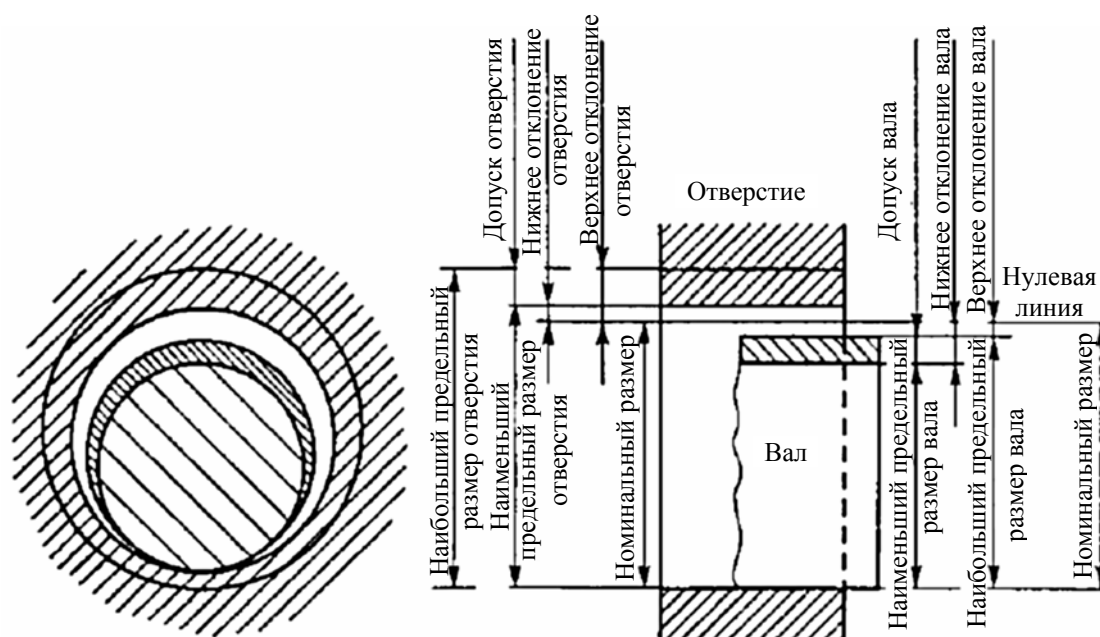


Рис. 3.5. Расположение полей допусков отверстия и вала при посадке с зазором (отклонения отверстия положительны, отклонения вала отрицательны)

Номинальный размер – размер, который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяют предельные размеры. Для деталей, составляющих соединение, номинальный размер является общим.

Не любой размер, полученный в результате расчета, может быть принят за номинальный. Чтобы повысить уровень взаимозаменяемости, уменьшить номенклатуру изделий и типоразмеров заготовок, стандартного или нормализованного режущего и измерительного инструмента, оснастки и калибров, создать условия для специализации и кооперирования предприятий, удешевления продукции, значения размеров, полученные расчетом, следует округлять в соответствии со значениями, указанными в ГОСТ 6636–69. При этом полученное расчетом или иным путем исходное значение размера, если оно отличается от стандартного, следует округлить до ближайшего большего стандартного размера.

Стандарт на нормальные линейные размеры построен на базе рядов предпочтительных чисел ГОСТ 8032–84, принятых в стандартах ISO и ЕСДП. Наиболее широко используют ряды предпочтительных чисел, построенные по геометрической прогрессии [74].

Отклонение – алгебраическая разность между размером действительным, предельным и т.д. и соответствующим номинальным размером. *Действительное отклонение* – алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами. Отклонение является положительным, если действительный размер больше номинального, и отрицательным, если он меньше номинального. Если действительный размер равен номинальному, то его отклонение равно нулю.

Предельным отклонением называется алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее отклонения. Верхнее отклонение – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами. Нижнее отклонение – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

Из определения имеем:

$$\begin{aligned} ES &= D_{\max} - D; & EI &= D_{\min} - D; \\ es &= d_{\max} - d; & ei &= d_{\min} - d. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Для упрощения и удобства работы на чертежах и в таблицах стандартов на допуски и посадки вместо предельных размеров принято проставлять значения предельных отклонений: верхнего и нижнего. Отклонения всегда указывают со знаком « + » или « – ». Верхнее предельное отклонение ставится несколько выше номинального размера, а нижнее – несколько ниже. Отклонения, равные нулю, на чертеже не проставляют. Если верхнее и нижнее предельные отклонения равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку, то числовое значение отклонения указывают со знаком « ± »; отклонение указывают вслед за номинальным размером. Например:

$$28_{-0,054}^{-0,033}; 50_{+0,010}^{+0,029}; 35^{+0,030}; 40 \pm 0,008.$$

Основное отклонение – одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения поля допуска относительно нулевой линии. Обычно таким отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии.

Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные – вниз.

Допуск размера – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями:

$$\begin{aligned} T_D &= D_{\max} - D_{\min}; & T_d &= d_{\max} - d_{\min}; \\ T_D &= ES - EI; & T_d &= es - ei. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Слова «алгебраическая разность» означают, что в формулы (3.2) предельные отклонения должны входить с их знаками.

Допуск является мерой точности размера. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность детали, тем меньшее колебание действительных размеров детали допускается.

Допуск системы (стандартный допуск) – любой из допусков, устанавливаемый данной системой допусков. При изложении системы допусков и посадок под термином «допуск» понимается допуск системы.

Поле допуска – поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Поле допуска определяется числовым значением допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии.

Допуск посадки – сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

Требования к точности размеров можно нормировать несколькими способами. Можно указать два предельных размера, между которыми должны находиться размеры годных деталей; можно дать номинальный размер и два отклонения от него (верхнее и нижнее), а можно дать значение номинального размера, основные отклонения от него (верхнее или нижнее, ближайшее к номинальному размеру) и допуск на размер (тогда второе отклонение получается добавлением величины допуска к основному отклонению) [74].

Сопряжение деталей. Система отверстия и система вала. В соединении деталей, входящих одна в другую, есть охватывающие и охватываемые поверхности. *Вал* – термин, применяемый для обозначения наружных (охватываемых) элементов деталей.

Отверстие – термин, условно применяемый для обозначения внутренних (охватывающих) элементов деталей. Термины отверстие и вал относятся не только к цилиндрическим деталям круглого сечения, но и к элементам деталей другой формы, например, ограниченным двумя параллельными плоскостями.

Основной вал – это вал, верхнее отклонение которого равно нулю ($es = 0$).

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю ($EI = 0$).

Зазор – разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала. Зазор обеспечивает возможность относительного перемещения собранных деталей.

Натяг – разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия. Натяг обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки.

Наибольший и наименьший зазоры (натяги) – два предельных значения, между которыми должен находиться зазор (натяг).

Средний зазор (натяг) есть среднее арифметическое между наибольшим и наименьшим зазором (натягом).

Посадка – характер соединения деталей, определяемый разностью их размеров до сборки.

Посадка с зазором – посадка, при которой всегда обеспечивается зазор в соединении.

В посадках с зазором поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала. К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала, т.е. $S_{\min} = 0$.

Для посадок с зазором:

$$\begin{aligned} S_{\min} &= D_{\min} - d_{\max} = EI - es; \\ S_{\max} &= D_{\max} - d_{\min} = ES - ei. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Допуск зазора:

$$T_S = S_{\max} - S_{\min} = (ES - EI) + (es - ei) = T_D - T_d. \quad (3.4)$$

В качестве примера на рис. 3.6, *a* схематично изображены втулка 1 и вал 2, которые должны быть соединены с зазором, а также показаны допуски размеров отверстия T_D и вала T_d , их верхнее и нижнее предельные отклонения. Номинальный размер у вала d и втулки D один и тот же. Так как $D_{\min} > d_{\max}$, свобода вращения вала во втулке обеспечивается. Оба предельных отклонения отверстия ES и EI больше нуля, а вала es и ei – отрицательны. Разрешенная область изменения действительных размеров обеих деталей заштрихована. Что касается номинального диаметра, он служит только для отсчета отклонений.

Рис. 3.6, *a* дает искаженное представление о характере соединения вала и втулки, так как здесь невозможно выдержать масштаб:

диаметры обычно измеряются десятками миллиметров, а допуски – микрометрами. Поэтому в технической литературе и стандартах используют схему сопряжения деталей, приведенную на рис. 3.6, б. Из него видно, что вся нижняя часть рис. 3.6, а отброшена, оставлен лишь след верхней образующей номинального диаметра, называемый нулевой линией. От нее строго в масштабе откладываются предельные отклонения отверстия и вала с учетом их знаков. Заштрихованные прямоугольники высотой T_D и T_d представляют собой поля допусков отверстия и вала. Поля допусков ограничиваются линиями, соответствующими верхним и нижним отклонениям размеров.

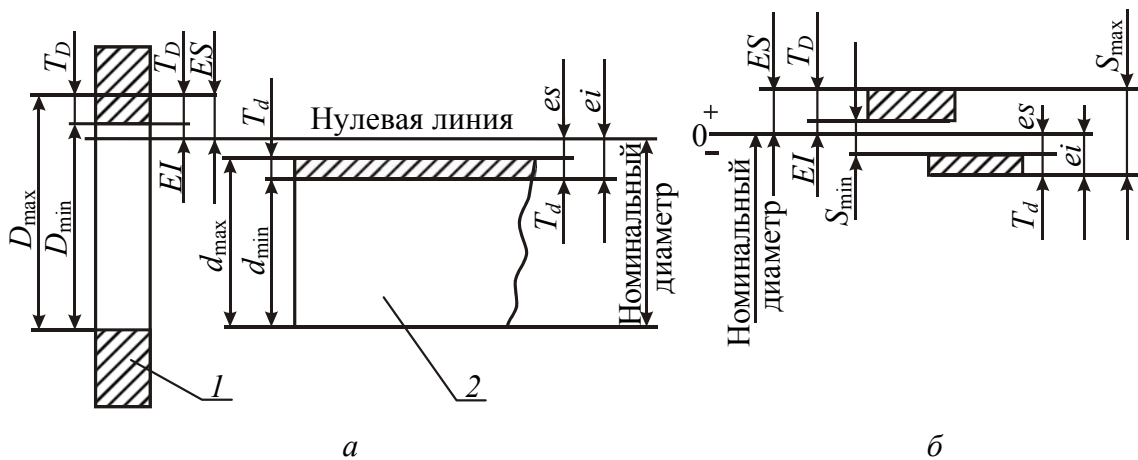


Рис. 3.6. Соединение втулки 1 и вала 2 с зазором:
 а – схема соединения; б – схема посадки

Схема рис. 3.6, б проста, удобна, не содержит лишних обозначений, позволяет легко определять предельные размеры сопряженных деталей и характер посадки.

Посадка с натягом – посадка, при которой всегда обеспечивается натяг в соединении. В посадках с натягом поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (рис. 3.7).

Для посадок с натягом:

$$\begin{aligned} N_{\min} &= d_{\min} - D_{\max} = ei - ES; \\ N_{\max} &= d_{\max} - D_{\min} = es - EI. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Допуск зазора:

$$\begin{aligned} T_N &= N_{\max} - N_{\min} = (es - ei) + \\ &+ (ES - EI) = T_D - T_d. \end{aligned} \quad (3.6)$$

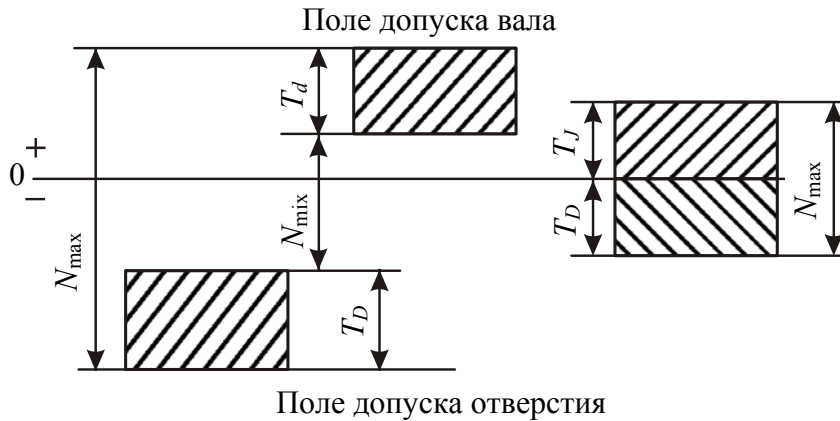


Рис. 3.7. Схема расположения полей допусков для посадок с натягом

Переходной посадкой называется посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга в соединении. В такой посадке поля допусков отверстия и вала полностью или частично перекрывают друг друга (рис. 3.8). *Переходные посадки* характеризуются наибольшим значением натяга и зазора:

$$\begin{aligned} N_{\max} &= es - EI; \\ S_{\max} &= ES - ei. \end{aligned} \quad (3.7)$$

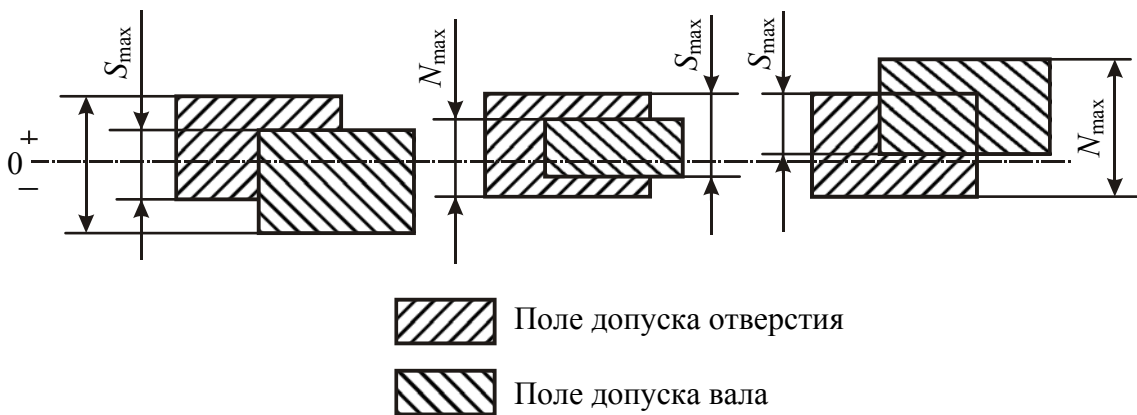


Рис. 3.8. Схема расположения полей допусков для переходных посадок

Допуск переходной посадки (допуск натяга или допуск зазора):

$$\begin{aligned} T_N = T_S = N_{\max} - N_{\min} = S_{\max} - S_{\min} = \\ = (ES - EI) + (es - ei) = T_D - T_d. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Таким образом, для любой посадки, независимо от ее типа, допуск посадки есть сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

Системы допусков и посадок для гладких деталей и соединений. Необходимую посадку при соединении деталей можно получить при разных соотношениях отклонений их размеров от номинального размера. Единый подход к нормированию требований к размерам деталей выражается в создании системы допусков и посадок [74].

Системой допусков и посадок называется построенная на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований совокупность допусков, предельных отклонений размеров, посадок отверстий и валов, оформленных в виде стандарта.

Разработка национальной системы допусков и посадок в СССР проводилась с 1924 г. В 1929 г. были утверждены первые стандарты системы, которая условно называлась системой ОСТ. С 1971 г. страны-члены СЭВ приступили к разработке на базе международной системы допусков и посадок ISO Единой системы допусков и посадок СЭВ (ЕСДП СЭВ). ЕСДП СЭВ является модификацией системы ISO. Она излагает систему ISO, определяет отборы полей допусков и посадок из этой системы и в отдельных положениях дополняет ее с учетом потребностей народного хозяйства страны. Переход на ЕСДП СЭВ в народном хозяйстве СССР осуществлялся постепенно с 01.01.1977 г. по 01.01.1980 г. С 01.07.1983 г. в СССР введена ЕСДП, объединяющая группу стандартов, образующих ЕСДП СЭВ.

Переход на ЕСДП имеет следующие преимущества:

- повышается эффективность совместных проектно-конструкторских работ и сокращаются сроки проектирования;
- повышается эффективность международной специализации и кооперирования при производстве машин, узлов, деталей, технологической оснастки, инструментов и т.д.;
- сокращаются сроки подготовки и удешевляется производство изделий по документации из других стран, включая лицензии;
- повышается конкурентоспособность отечественной продукции на международном рынке;
- снижаются затраты по внедрению импортного оборудования;
- повышается эффективность обмена научно-технической документацией без переработки.

Вместе с тем следует отметить следующее важное обстоятельство: по целому ряду изделий, спроектированных до перехода на новую систему, у нас в промышленности нецелесообразно перерабатывать документацию в соответствии с новой системой. Поэтому без ограничения времени в промышленности будут действовать две системы ЕСДП и система ОСТ.

Любая система допусков и посадок должна обладать определенными признаками, среди которых можно выделить:

- интервалы размеров;
- единицы допуска;
- ряды допусков;
- поля допусков;
- посадки в системе отверстия и в системе вала;
- температурный режим [74].

Единицы допусков. Величина допуска на размер еще не характеризует степень точности или технологическую сложность обработки. Сравнивая обработку вала $\varnothing 10$ мм с допуском $T_{d1} = 0,015$ мм и вала $\varnothing 45$ мм с допуском $T_{d2} = 0,025$ мм, трудно сказать, какой вал сложнее обработать, т.е. какой из них имеет большую точность.

Как показывает практика, погрешности механической обработки увеличиваются с возрастанием диаметра детали, однако установление количественной зависимости связано с преодолением серьезных трудностей. Для ее определения было проведено детальное исследование наиболее распространенных технологических процессов обработки: обтачивания, шлифования, сверления, развертывания и др.

Зависимость допуска от номинального размера, являющаяся мерой технологической точности, получила название единицы допуска.

В ЕСДП для размеров до 500 мм единица допуска определяется по формуле

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D, \quad (3.9)$$

для размеров свыше 500 до 10 000 мм по формуле

$$l = 0,004D + 2,1. \quad (3.10)$$

В формулах (3.9) и (3.10) $D = \sqrt{D_{\max} \cdot D_{\min}}$ – среднегеометрическое значение интервала номинальных размеров в мм; i и l – в мкм.

Единица допуска в системе ОСТ для размеров от 1 до 500 мм и для размеров свыше 500 до 10 000 мм определяется по формулам

$$i = 0,5\sqrt[3]{d_{\text{cp}}}; \quad (3.11)$$

$$l = 0,45\sqrt[3]{d_{\text{cp}}} + 0,001d_{\text{cp}}. \quad (3.12)$$

В формулах (3.11) и (3.12) $d_{cp} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2}$ – среднеарифметическое значение интервала номинальных размеров.

Второй член в формулах (3.9) и (3.12) учитывает погрешности измерения из-за разности температур детали и прибора, а также погрешности самих измерений, например, упругих деформаций под действием измерительного усилия. Для малых размеров он несуществен, однако с увеличением D и d_{cp} быстро возрастает.

Ряды допусков. В зависимости от назначения к деталям, имеющим одинаковый номинальный размер, предъявляются различные точностные требования. Чтобы обеспечить возможность обработки деталей с различной степенью точности, нужно нормировать разные допуски. Каждая система имеет такие ряды допусков, которые в ЕСДП, как и в международной системе ISO, называются квалитетами, а в системе ОСТ – классами точности. Эти термины являются синонимами [74].

Квалитет (класс точности) – это совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров. Использование термина «квалитет» вместо «класс точности» введено для того, чтобы сразу было ясно, о какой системе допусков и посадок идет речь.

В ЕСДП, как и в ISO, установлено 20 квалитетов, обозначаемых порядковыми номерами, возрастающими с увеличением допуска: 01; 0; 1; 2; 3; ... ; 15; 16; 17; 18. Допуск по квалитету обозначается буквами *IT*, за которыми следует номер квалитета. Например, *IT12* означает допуск по 12-му квалитету. Просто допуск без отнесения к системе обозначается буквой *T*.

Количество квалитетов определялось с учетом потребности различных отраслей промышленности, перспектив повышения точности изделий, границ достижимой точности, функциональных и технологических факторов, принятых значений знаменателя геометрической прогрессии.

Назначение необходимого квалитета является сложной технико-экономической задачей. Выбор квалитетов для различных размеров деталей во многих случаях определяется решением размерных цепей, в состав которых входят длины, толщины, уступы, глубины впадин и другие размеры. Можно указать общие рекомендации по назначению квалитетов для деталей, образующих рекомендованные посадки.

Точные квалитеты (01; 0; 1) назначаются редко, главным образом для изготовления плоскопараллельных концевых мер длины, допуски по 1–4-му квалитету применяются обычно при изготовлении рабочих и контрольных калибров. 4-й и 5-й квалитеты применяют редко, в особо точных соединениях, не допускающих заметного изменения натяга или зазора. Их иногда используют для установки точных подшипников, поршневых колец, высокоточных зубчатых колес и т.п. Часто заданного допуска посадки достигают, используя более грубые квалитеты и селективную сборку.

6-й и 7-й квалитеты используют в ответственных сопряжениях, когда к посадкам предъявляются требования определенности, а к деталям – взаимозаменяемости для обеспечения точной сборки. Примеры: установка подшипников качения нормальной точности, зубчатых колес средней точности, подшипников жидкостного трения, для подвижных соединений в кривошипно-шатунных механизмах двигателей внутреннего сгорания, переходные посадки, посадки с натягами средней величины и т.д. В автомобильной, авиационной, станкостроительной, турбостроительной промышленности 60–70% ответственных сопряжений выполняется в этих квалитетах.

8-й и 9-й квалитеты применяют для получения относительно больших гарантированных зазоров и натягов и для посадок, обеспечивающих среднюю точность сборки. Примеры: сопрягаемые поверхности в посадках с большими натягами, отверстия в переходных посадках пониженной точности, опоры скольжения средней точности в условиях полужидкостного трения и др.

10-й квалитет применяют в посадках с зазором в тех же случаях, что и 9-й квалитет, когда условия сборки или эксплуатации допускают увеличение колебаний зазоров в соединениях.

11-й и 12-й квалитеты применяют для грубых соединений с большими гарантированными зазорами, для неответственных соединений (детали из пластмасс, штампованные детали, крышки, фланцы и т.п.).

Грубые квалитеты (13–17-й) применяются для габаритных размеров и для неответственных деталей.

Для сопряжений используются только восемь квалитетов для отверстий (с 5-го по 12-й) и девять квалитетов для валов (с 4-го по 12-й). Остальные квалитеты используются для несопрягаемых элементов детали.

В системе ОСТ для размеров от 1 до 500 мм образовано 19 классов точности, обозначаемых цифрами 09; 08;...; 02; 1; 2; 2а; 3; 3а; 4; 5; 7; 8; 9; 10 в порядке убывания точности (увеличения допуска). Для размеров более 500 мм образовано 12 классов точности (ГОСТ 2689–54).

Единая система допусков и посадок (ЕСДП). Характер сопряжения двух деталей, т.е. вид посадки, определяется взаимным расположением полей допусков вала и отверстия. В ЕСДП расположение поля допуска задается двумя координатами. Одна – величина допуска для данного номинального размера, зависящая от номера качества, другая, называемая основным отклонением – ближайшее расстояние поля допуска до нулевой линии. Если поле допуска расположено выше нулевой линии, то основным является нижнее предельное отклонение EI или ei , если ниже – верхнее предельное отклонение ES или es (рис. 3.9) [74].

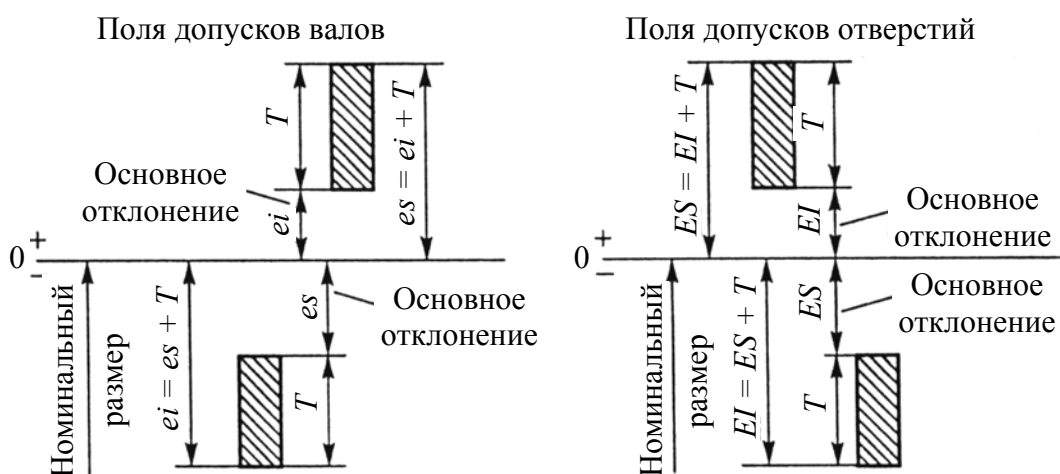


Рис. 3.9. Поля допусков валов и отверстий

Если основное отклонение нижнее, то верхнее определяется по формулам:

$$\begin{aligned} es &= ei + IT; \\ ES &= EI + IT. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Если основное отклонение верхнее, то нижнее составляет:

$$\begin{aligned} ei &= es - IT; \\ EI &= ES - IT. \end{aligned} \quad (3.14)$$

В формулах (3.13) и (3.14) IT – допуск размера, определяемый номером качества.

Для обеспечения равных возможностей образования полей допусков валов и отверстий в ЕСДП, как и в системе ISO, предусмотрены одинаковые наборы основных отклонений, схематически показанные на рис. 3.10.

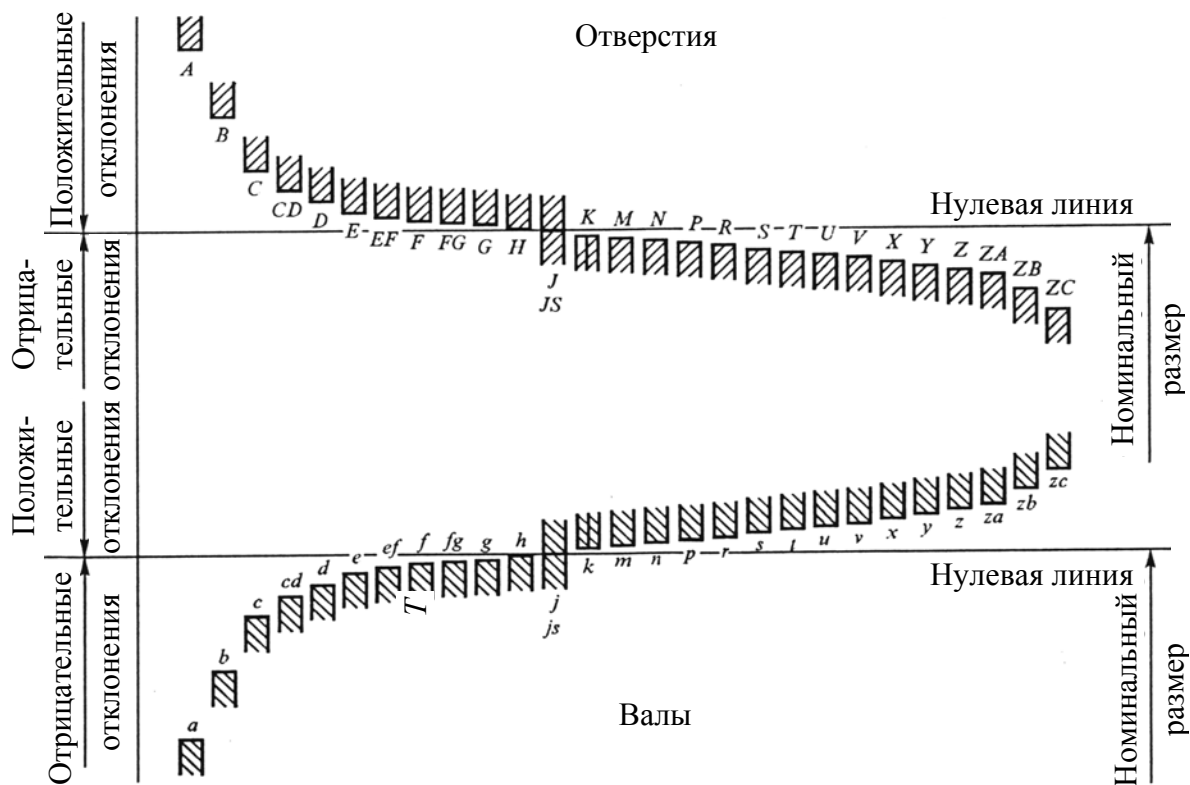


Рис. 3.10. Основные отклонения отверстий и валов, принятые в системах ISO и ЕСДП

Основные отклонения обозначаются одной или двумя буквами латинского алфавита: малыми – основные отклонения валов, большими – отверстий. Основные отклонения валов от *a* до *h* и отверстий от *A* до *H* используются для образования полей допусков, предназначенных для посадок с зазором соответственно в системе отверстия и в системе вала.

В переходных посадках используются основные отклонения от *js* до *n* у валов, от *JS* до *N* у отверстий. Для полей допусков с использованием букв *js* и *JS* в виде исключения равно нулю не нулевое, а среднее отклонение. При этом поле допуска расположено симметрично относительно нулевой линии, а числовые значения верхнего и нижнего отклонений одинаковы по величине и равны половине допуска соответствующего качества. Основные отклонения *j* и *J* отличаются от *js* и *JS* тем, что имеют приближенно симметричное расположение поля допуска.

Основные отклонения валов от *p* до *zc* и отверстий от *P* до *ZC* используются преимущественно для образования полей допусков для посадок с натягом. При этом отклонения *za*, *zb*, *zc* (*ZA*, *ZB*, *ZC*) обеспечивают получение посадок со значительными натягами. Основные

отклонения отверстий, как правило, равны по числовому значению и противоположны по знаку основным отклонениям валов, обозначенным той же буквой. Из этого правила сделано исключение для размеров свыше 3 до 500 мм для отверстий *J*, *K*, *M* и *N* с допусками по 3–8-му квалитетам и для отверстий от *P* до *ZC* с допусками по 3–7-му квалитетам, для которых применяется специальное правило

$$ES = -ei + \Delta,$$

где $\Delta = IT_n - IT_{n-1}$ – разность между допуском того квалитета, в котором образуется поле допуска, и допуском ближайшего более точного квалитета.

Специальное правило обеспечивает получение у двух соответствующих друг другу посадок в системе отверстия и системе вала одинаковых зазоров или натягов, если в посадке отверстие соединяется с валом более точного квалитета.

Поле допуска в ЕСДП образуется сочетанием основного отклонения и квалитета. Условное обозначение поля допуска состоит из буквы основного отклонения и числа (номера квалитета): *js7*, *h8*, *f9* для валов, *JS7*, *H8*, *F9* для отверстий; соответственно обозначают номинальный размер и поле допуска – *5n5*, *10M7*, *20D10*, *15h9*. Здесь, например, *h8* означает, что это поле допуска вала, верхнее отклонение которого равно нулю, а величина допуска соответствует 8-му квалитету, это – основной вал. Сочетание *F9* означает поле допуска отверстия, у которого нижнее отклонение положительное (см. рис. 3.6), а допуск по 9-му квалитету.

ЕСДП, как и система ISO, допускает любые сочетания основных отклонений и квалитетов. Если учесть, что основные отклонения *j* установлены только в 5–8-м квалитетах, а основные отклонения *J* – только в 6–8-м квалитетах, для каждого из размеров до 500 мм сочетанием 28-ти основных отклонений и 20-ти квалитетов можно получить свыше 500 полей допусков для валов и столько же для отверстий. Однако не все возможные сочетания имеют технический смысл, а такой огромный набор экономически нецелесообразен.

В ЕСДП применяется ограниченный отбор полей допусков. Такой отбор, называемый основным, включает 72 поля допусков отверстий и 81 поле допуска валов. Кроме *основного отбора* в приложении к ГОСТ 25347–82 дается дополнительный отбор, включающий 36 полей допусков вала и 32 поля допуска отверстий.

На практике обходятся значительно меньшим набором полей допусков, а некоторые вообще применяются крайне редко. Поэтому в

ГОСТ 25347–82 выделяются *предпочтительные поля* допусков. Этот отбор включает 10 полей допусков для отверстий и 16 – для валов. Такое «неравноправие» объясняется тем, что технически проще получить вал, чем отверстие одинаковой точности, а посадку можно обеспечить разными сочетаниями валов и отверстий. На основе предпочтительных полей допусков можно обеспечить до 90–95% всего применения посадок.

Из указанных трех отборов в первую очередь следует применять предпочтительные поля допусков. При невозможности обеспечить конструктивные и технологические требования за счет предпочтительных полей допусков следует применять поля допусков из основного отбора. В отдельных, технически обоснованных случаях, когда применение полей допусков основного отбора не может обеспечить требований, предъявляемых к изделиям, допускается применение дополнительных полей допусков [74].

Рекомендуемые посадки в ЕСДП. Посадки, т.е. сочетания полей допусков валов и отверстий, назначаются в системе отверстия и в системе вала. По экономическим соображениям применение системы отверстия предпочтительно. Обозначение посадок состоит из указания полей допусков в виде простой дроби. Поле допуска охватывающей поверхности (отверстия) всегда указывается в числителе, а поле допуска охватываемой поверхности (вала) – в знаменателе или на втором месте, например: $\varnothing 30 \frac{H7}{g6}$, или $\varnothing 30 H7/g6$, или $\varnothing 30 H7-g6$.

Запись $40 \frac{H8}{u7}$ указывает, что в данной посадке при номинальном размере сопряжения, равном 40 мм, поле допуска отверстия $H8$ (основное отклонение H , т.е. равно нулю, а допуск по 8-му качеству), а поле допуска вала $u7$ (основное отклонение u , а допуск по 7-му качеству). Примеры образования посадок в системе отверстия и их условные обозначения показаны на рис. 3.11, а в системе вала – на рис. 3.12.

В посадках могут сочетаться поля допусков отверстия и вала одинаковых или разных качеств. При размерах от 1 до 3150 мм по технологическим соображениям для отверстия в большинстве посадок более точных качеств рекомендуется больший допуск (на один качество грубее), чем для вала. В 9–12-м качествах рекомендуются посадки с одинаковыми допусками отверстия и вала.

Рекомендуемые посадки различны для каждого интервала размеров. Так, для размеров от 1 до 500 мм ГОСТ 25347–82 предусматривает

69 посадок в системе отверстия и 61 в системе вала. Такое количество посадок полностью обеспечивает потребности всех отраслей промышленности. Однако с целью сокращения номенклатуры централизованно изготавливаемых мерных режущих инструментов и предельных калибров в системе отверстия отобрано 17, а в системе вала 10 предпочтительных посадок. Их рекомендуется назначать в первую очередь.

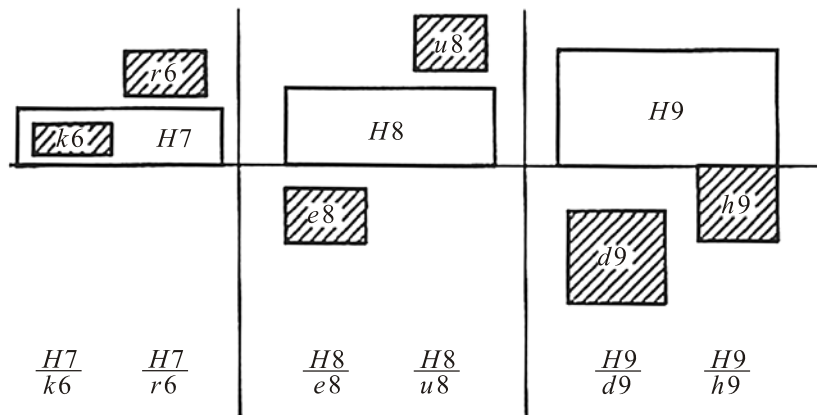


Рис. 3.11. Примеры образования посадок в системе отверстия:
 $H7, H8, H9$ – поле допуска основного отверстия
 (с основным отклонением H)

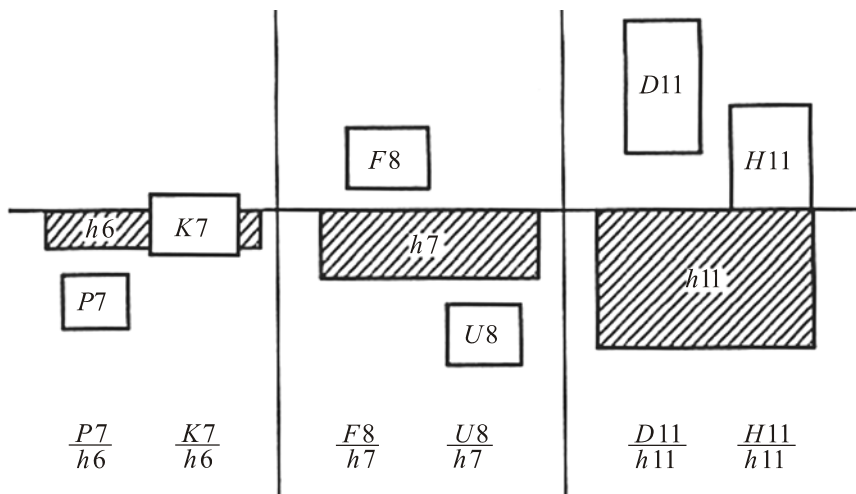


Рис. 3.12. Примеры образования посадок в системе вала:
 $h6, h7, h11$ – поле допуска основного отверстия
 (с основным отклонением h)

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала посадка в ЕСДП может быть: с зазором, с натягом, переходной (возможен как зазор, так и натяг).

Шероховатость поверхностей деталей пресс-формы должна соответствовать значениям параметра R_a по ГОСТ 2789:

6,3 мкм – для поверхностей, не влияющих на эксплуатационные характеристики пресс-формы;

3,2 мкм – для резьб;

0,8 мкм – для опорных и посадочных поверхностей плит и других деталей пресс-формы, поверхности или плоскости разъема формообразующих деталей;

0,4 мкм – для сопрягаемых поверхностей колонок с втулками, поверхностей облойных канавок, литниковых систем, загрузочных камер и поршней, сопрягаемых друг с другом;

0,2 мкм – для формообразующих поверхностей.

Допускается по согласованию между потребителем и изготовителем:

– параметры шероховатости поверхностей облойных канавок и плоскостей или поверхностей разъема устанавливать грубее указанных значений с целью задержки облоя в той или иной части пресс-формы;

– параметры шероховатости формообразующих поверхностей устанавливать грубее указанных значений в местах гравировки (надписи, рисунки), если при этом не ухудшаются эксплуатационные характеристики пресс-форм и внешний вид РТИ.

Формообразующие поверхности должны полироваться до и после гальванического покрытия, химической или химико-термической обработки.

Типы рекомендуемых покрытий (обработка поверхности) формообразующих деталей пресс-форм приведены в табл. 3.1.

Размеры и допуски формообразующих поверхностей пресс-форм назначаются с учетом точности и усадки РТИ.

Допуски размеров формообразующих поверхностей должны быть в пределах 6–10-го квалитетов по ГОСТ 25346 и приниматься из расчета не более:

$0,1\sqrt{\Delta}$ (Δ – допуск на размер РТИ) – если в технической документации на РТИ указаны допуски на форму и расположение поверхностей РТИ;

$0,15\sqrt{\Delta}$ – если в технической документации на РТИ не указаны допуски на форму и расположение поверхностей РТИ;

$0,2\sqrt{\Delta}$ – по согласованию между потребителем и изготовителем, если при этом обеспечиваются значения показателей надежности пресс-форм и качество РТИ.

Допуски деталей пресс-форм с параметрами шероховатости $R_a \leq 1,6$ мкм (кроме формообразующих поверхностей, указанных выше) должны быть:

1) для размеров в пределах 6–8-го квалитетов по ГОСТ 25346 (обычно 7);

2) для углов конуса в пределах 9–12-й степени точности по ГОСТ 8908.

Допуски формы и расположения поверхностей должны быть в пределах 30–60% от допуска на размер формообразующих поверхностей.

Допуск параллельности прилегающих поверхностей плит, кассет, матриц, пуансонов, держателей, обойм должен соответствовать 7-й степени точности по ГОСТ 24643.

Допуск перпендикулярности отверстий для посадок с натягом, под знаки, матрицы, вкладыши относительно плоскости разъема должен соответствовать 7-й степени точности по ГОСТ 24643.

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей пресс-форм, кроме формообразующих поверхностей, должны соответствовать:

H_{14} – для отверстий; h_{14} – для валов по ГОСТ 25347; среднему классу точности по ГОСТ 30893.1 – для углов, радиусов, закруглений, фасок и элементов, не относящихся к отверстиям и валам.

Допускаемые предельные значения дефектов поверхностей крепежных резьб в деталях пресс-форм должны соответствовать ГОСТ 1759.2 и ГОСТ 1759.3 [72–73].

3.1.8. Требования к надежности

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 ($T_{p\gamma}$).

$$T_\gamma = H_\gamma \cdot K_\Gamma \cdot K_B \cdot K_K \cdot K_M \cdot K_T \cdot K_a \cdot K_o \cdot K_p \cdot n; \quad (3.15)$$

$$T_{p\gamma} = 3T_\gamma, \quad (3.16)$$

где H_{γ} – процентная наработка до отказа пресс-формы с одной формообразующей плотностью, шт.; K_{Γ} – коэффициент, учитывающий гнездность пресс-формы; $K_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий высоту формуемых изделий; $K_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий качество точности формуемых изделий; $K_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий материал формообразующих деталей; $K_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий твердость формообразующих поверхностей; $K_{\text{а}}$ – коэффициент, учитывающий глубину азотирования формуемых деталей; $K_{\text{о}}$ – коэффициент, учитывающий конструкционные особенности пресс-форм и дополнительные требования к качеству формуемых изделий; $K_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий тип каучука; n – число гнезд по ГОСТ 14901–93 [72].

3.1.9. Тепловые расчеты пресс-форм

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 формуемых 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 .

Расчет W_1

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

$$W_1 = \frac{Q_{\text{пр}}}{T_{\text{раз}}} + Q_{\text{пот}}^{\text{раз}}, \quad (3.17)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – тепло для разогрева пресс-формы до температуры прессования (без учета потерь), кДж; $Q_{\text{пот}}^{\text{раз}}$ – потери тепла за время разогрева, кВт; $T_{\text{раз}}$ – время разогрева, ч.

Значение $Q_{\text{пр}}$, кДж, равно

$$Q_{\text{пр}} = cG_{\text{пр}}(T_{\text{пр}}^{\text{ср}} - 20), \quad (3.18)$$

где c – удельная теплоемкость стали кДж/(кг·град); $G_{\text{пр}}$ – 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

$$Q_{\text{пот}}^{\text{раз}} = Q_{\text{бп}} + Q_{\text{сп}}, \quad (3.19)$$

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 $Q_{\text{бп}}$, кВт, без теплоизоляции рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{бп}} = \alpha_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}}(T_c - 20)/2; \quad (3.20)$$

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

$$Q_{\text{бп}} = \alpha_{\text{б}}^{\text{и}} \cdot f_{\text{б}}(T_{\text{и}} - 20)/2, \quad (3.21)$$

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, м^2 ; T_c и $T_{\text{и}}$ – температуры соответственно поверхности пресс-формы и теплоизоляции, $^\circ\text{C}$.

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

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

$$Q_{\text{сп}} = f_{\text{к}}(\lambda_{\text{пр}}/\delta_{\text{пр}})(T_0 - T_{\text{п}}), \quad (3.22)$$

где $f_{\text{к}}$ – площадь контакта пресс-формы с прессом, м^2 ; $\lambda_{\text{пр}}$ – коэффициент теплопроводности прокладки, кДж/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$); $\delta_{\text{пр}}$ – толщина прокладки, м; $T_0 = (T_c - 20)/2$ – средняя температура поверхностей контакта пресс-формы за период разогрева, $^\circ\text{C}$; T_c – температура стенок

пресс-формы, °С; $T_n \approx 28\text{--}30^\circ\text{C}$ – 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):

$$Q_{\text{эл}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{о.с}} + Q_{\text{б.с}} + Q_{\text{пр}}, \quad (3.23)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – полезное тепло, расходуемое на нагрев пресс-массы, кВт; $Q_{\text{ст}}$ – потери тепла в стол пресса, кВт; $Q_{\text{о.с}}$ – потери тепла в окружающую среду через боковые поверхности и места разъема пресс-формы ($Q_{\text{о.с}} = Q_{\text{б}} + Q_{\text{р}}$), кВт; $Q_{\text{б.с}}$ – потери тепла через болтовые соединения, кВт; $Q_{\text{пр}}$ – прочие потери (потери тепла при обдувке воздухом, продувке пресс-формы, вынужденных перерывах в работе и пр.), кВт.

Основными являются три первых члена правой части равенства, которые могут быть определены с достаточной для практических расчетов точностью. Определение потерь является задачей менее определенной: 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 $Q_{\text{пол}}$, кВт, определяется по зависимости

$$Q_{\text{пол}} = c \cdot G_1 \cdot \Delta T \cdot z, \quad (3.24)$$

где c – теплоемкость прессуемого материала, кДж/(м²·ч·град); 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:

$$Q_{\text{р}} = \tau_{\text{р}} \cdot \sum \alpha_{\text{р}} \cdot f_{\text{р}} \cdot \Delta T, \quad (3.25)$$

где $\tau_{\text{р}}$ – продолжительность раскрытия пресс-формы за 1 час работы; $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент линейного расширения резины; $f_{\text{р}}$ – 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 α_p и f_p для них различны.

Поверхность соприкосновения пресс-формы со столом пресса составляет 15–25% от ее общей поверхности, и, если принять коэффициент теплоотдачи в стол пресса, равным коэффициенту теплоотдачи от боковых поверхностей, будем иметь тепловой запас 7,5–12% на пресс-форму (по сравнению с точным учетом расхода теплоты в стол пресса), обеспечивающий бесперебойную работу пресс-формы при снижении напряжения в сети и т.д. Тогда общие потери тепла могут быть подсчитаны по одной формуле

$$Q_{\text{пот}} = \alpha \cdot f_{\text{полн}} \cdot \Delta T, \quad (3.26)$$

где α – условный коэффициент теплоотдачи, кДж/(м²·с·град); $f_{\text{полн}}$ – полная поверхность пресс-формы, м².

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.): $Q_{\text{расх}} = Q_{\text{эл}} \phi$. Избыток энергии при этом будет исключаться терморегулятором.

Общий расход тепла $Q_{\text{общ}}$, кВт, в период прессования может быть подсчитан по уравнению теплового баланса

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{эл}} + Q_{\text{реакц}}, \quad (3.27)$$

где $Q_{\text{эл}}$ – тепловой поток, подведенный к пресс-форме в виде электроэнергии, кВт; $Q_{\text{реакц}}$ – тепловой поток от экзотермической реакции, кВт.

В случае, когда требуется, чтобы $W_1 \gg W_2$, 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), индукторов (устанавливая число витков, толщину изоляции и другие функциональные параметры).

Для уменьшения тепловых потерь, учитывая реальные их значения, предусматривают применение теплоизоляционных плит, а также покрытие наружных поверхностей термостойкой краской [75].

3.1.10. Устройство выпрессовочных канавок и вентиляционных каналов пресс-форм

Одним из важнейших требований при конструировании пресс-форм является обеспечение минимальной обработки готовых деталей после выемки из пресс-формы. Наиболее трудоемкой операцией при изготовлении РТД является обработка от выпрессовок (облоя) и удаление литников. Трудозатраты при этом составляют 40% и более (от общих трудозатрат). Для уменьшения этих затрат одним из важнейших при конструировании является выбор расположения выпрессовочных каналов (литников) и вентиляционных отверстий. Для прецизионных деталей выпрессовочные каналы выполняются в виде режущих кромок.

В компрессионных и компрессионно-литьевых формах, в которых при работе разность температур заготовок и вулканизации значительна, важным является выбор типа расположения и устройства выпрессовочных канавок, располагаемых по разъему формующей полости.

Выпрессовочные канавки

Выпрессовочные канавки могут быть двух видов:

- 1) общего вида;
- 2) в виде режущих кромок.

Выпрессовочные канавки располагаются по периметру детали с выходом отверстий наружу пресс-формы.

Размеры выпрессовочных канавок зависят от габаритов детали, т.е. объема вытекаемой смеси после закрытия формы и подпрессовок. Они определяют способность отрыва подпрессовки по облою между выпрессовочной канавкой и деталью. Толщина выпрессовки определяется усилием закрытия формы и давлением, развиваемым в полости формования за счет его приращения от разогрева смеси. Такие типы облойных канавок обеспечивают толщину выпрессовок 0,1–0,2 мм для средней вязкости смеси и средних габаритов детали, что учитывается в высоте детали.

Использование такого вида выпрессовочных канавок приводит к необходимости обработки детали после выемки из пресс-формы. Поэтому при конструировании разъемы располагаются вне рабочей зоны детали (смещение разъемов).

Для прецизионных деталей используется режущая кромка, суть которой в уменьшении расстояния от облойной канавки до изделия (0,1–0,2 мм) и выполнении на верхней плите над режущей кромкой утолщения величиной 0,1–0,2 мм. Это приводит к тому, что мини-

мальная толщина выпрессовки обеспечивает ее отрыв в момент выемки детали, поскольку толщина выпрессовки в этом месте не превышает 0,1–0,05 мм, что приводит к исключению необходимости обработки детали.

Недостаток режущей кромки – это большое напряжение в зоне контакта, которое является определяющим в работе пресс-формы, необходимость использования более твердого металла, аккуратности в работе и при хранении форм на складе.

Вентиляционные каналы

Одной из важнейших проблем при получении формовых РТД является конструирование формующей полости, обеспечивающей равномерность заполнения детали и исключая образование недопрессовок. С целью исключения недостатков, приводящих к недопрессовкам, используют вентиляционные каналы, которые обеспечивают выход воздуха из наиболее вероятных мест его скопления. Это достигается, как правило, устройством разъема формы по месту наиболее вероятного скопления воздуха. В случае невозможности разъема пресс-формы по месту наиболее вероятного скопления воздуха, иногда это достигается подпрессовками или устройством вентиляционных каналов.

Вентиляционные каналы – цилиндрические отверстия диаметром 0,1–0,2 мм. Для уменьшения остатка выпрессовки на детали эти каналы делают цилиндрическо-коническими. Цилиндрическая часть, как правило, делается на глубину 0,1–1 мм. Это не требует дополнительной обработки, что согласовывается в технической документации на изделие [72–73]. Основная часть за счет коничности выпрессовки выдавливается из канала при последующих запрессовках.

Перспективным является устройство вентиляционных каналов, обеспечивающих выход воздуха, но исключая при этом выход резиновой смеси через отверстия. Это достигается установкой в местах наиболее вероятного скопления воздуха пористых металлических или керамических пробок, которые обеспечивают данный эффект (используется в литьевых формах).

3.2. Принципы конструирования литьевых форм

Принципиально переработку эластомеров литьевым методом можно сравнить с переработкой реактопластов, поскольку материал подается в нагретые формы и там сшивается (отверждается). Поэтому

общие подходы к проектированию пресс-форм для пластмасс-реактопластов могут быть применимы и для проектирования оснастки для резин [76–77].

Однако формы для переработки резиновых смесей имеют свои специфические особенности, связанные с конструкцией литников, их размерами, конструкцией выталкивающей системы и отсутствием системы охлаждения. С экономической точки зрения требуется безлитниковое или, по крайней мере, с минимумом литников автоматическое производство по возможности безгратовых отливок с безупречной поверхностью. Вид литниковой системы и конструкция формы, таким образом, приобретают весомое значение и требуют большого опыта.

При разработке литьевой пресс-формы для переработки эластомеров рекомендуется использовать следующий порядок конструирования.

1. Анализ требований, предъявляемых к детали, размеры, материал, описание.
2. Выбор литьевой машины (технические характеристики машины (вертикальная или горизонтальная), размеры, крепление и т.д.).
3. Размещение детали относительно линии разъема.
4. Выбор конфигурации матрицы и пуансона.
5. Определение количества формующих полостей.
6. Расположение формующих полостей.
7. Установление габаритов матрицы и пуансона.
8. Анализ целесообразности применения ползунов.
9. Выбор литниковой системы.
10. Определение длины и поперечного сечения литников, впускного литника, литниковой втулки.
11. Установление габаритов обоймы матриц.
12. Размеры неподвижной плиты крепления (расположение отверстий под стяжные винты).
13. Выбор неподвижного центрирующего фланца.
14. Сборка полуформы со вставками матрицы и пуансона.
15. Выбор системы выталкивания (если предусмотрено конструкцией детали).
16. Размещение центрирующих элементов (направляющие колонки, втулки: тип, положение, количество).
17. Определение обоймы пуансона.
18. Определение размеров опорной плиты (расположение отверстий под стяжные винты).
19. Организация рабочего пространства для системы выталкивания.

20. Выбор толкателей, плит толкателей и хвостовика: конфигурация, размеры (при наличии).

21. Обойма пуансона: размеры, расположение отверстий под стяжные винты.

22. Монтаж подвижной плиты крепления.

23. Сборка и монтаж формы [76–77].

Наиболее часто в резиновой промышленности встречаются литевые формы наиболее простого типа, без выталкивателей. Схематично такая пресс-форма показана на рис. 3.14.

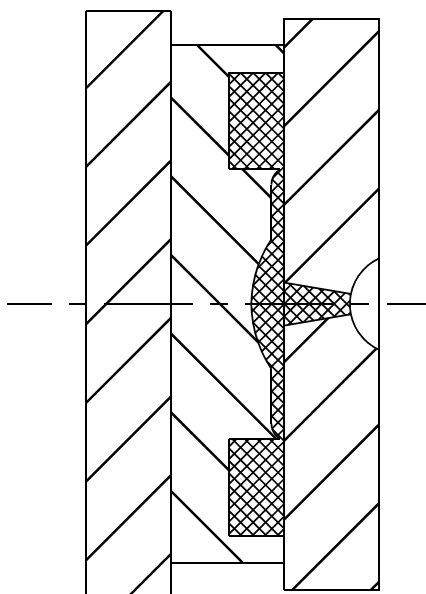


Рис. 3.14. Схема пресс-формы без выталкивателей

Такая пресс-форма исключает автоматизацию процесса, поскольку детали необходимо удалять вручную, однако наиболее дешевая при изготовлении. Такой тип пресс-форм целесообразно применять для небольших партий резиновых деталей либо выпускаемых периодически.

На рис. 3.15 схематично показана пресс-форма, подобная стандартной форме, но с плитой съема. Такая конструкция эффективна при изготовлении продолговатых деталей, полых изнутри, съем которых со стержня проблематичен ввиду большой поверхности контакта. При этом появляется возможность автоматизации процесса.

Вследствие того, что резина, в отличие от пластмасс, является эластичным материалом, способным подвергаться значительным деформациям без разрушения, зачастую изделия, имеющие небольшие

поднутрения, извлекаются из пресс-форм путем их деформирования. Однако, в случае наличия на внешней поверхности значительных поднутрений либо внешних выступов и впадин, зачастую используется форма с ползунами и наклонными колонками для их привода.

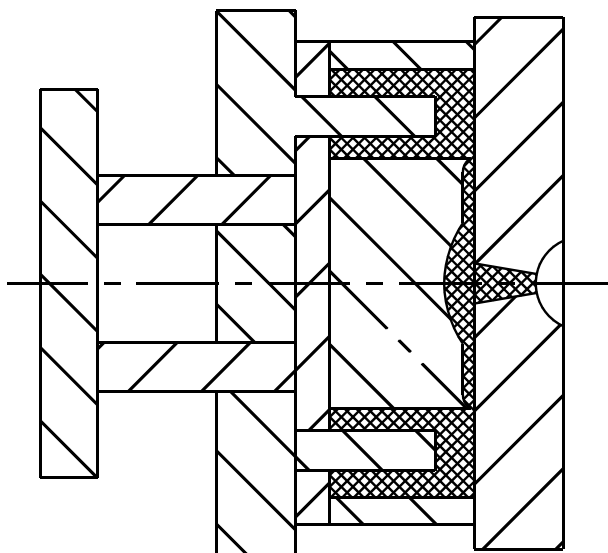


Рис. 3.15. Схема пресс-формы с плитой съема

Принцип работы такой пресс-формы заключается в том, что раскрытие пресс-формы осуществляется перемещением обоймы либо ползунов по наклонным колонкам, за счет чего происходит боковое раскрытие пресс-формы и появляется возможность беспрепятственного извлечения изделия (рис. 3.16).

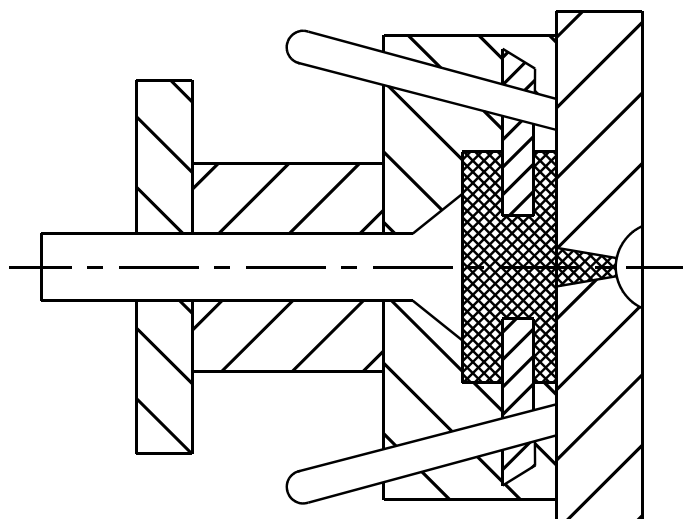


Рис. 3.16. Схема пресс-формы с наклонными колонками и ползунами

Для продолговатых изделий, а также в случае, описанном выше, может применяться конструкция, подобная стандартной форме, но с раздвижными полуматрицами (рис. 3.17) [76–77].

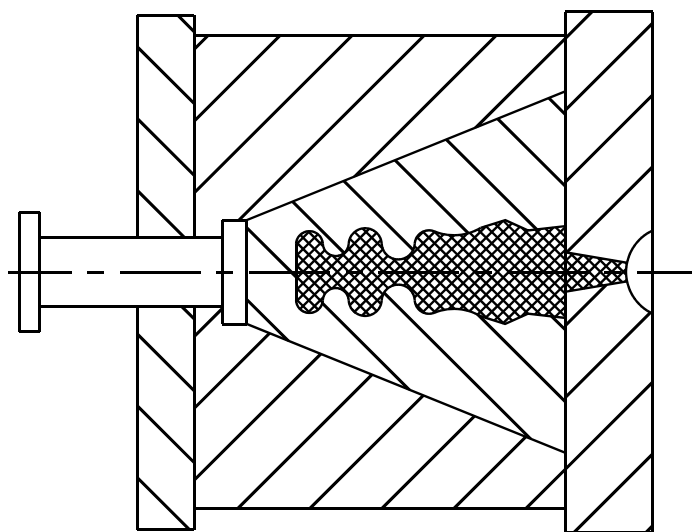


Рис. 3.17. Схема пресс-формы с раздвижными полуматрицами

3.3. Расчет усадки и исполнительных размеров формообразующих деталей пресс-форм

Вулканизация в пресс-форме влечет за собой изменение размера резинового изделия после охлаждения. Т.е. размер готового РТИ всегда меньше размера формообразующей полости.

Усадка – разность размеров резинового изделия и формообразующей полости, выраженная в процентах. Величина усадки зависит от температуры вулканизации и состава резиновой смеси, а также от конфигурации изделия.

Тонкостенные изделия имеют большую усадку, чем толстостенные. Как правило, усадка резины в РТИ без арматуры направлена к центру изделия, а в изделиях с металлической арматурой – к металлической арматуре.

Согласно приложению 1 ГОСТ 24513–80 [78] абсолютная линейная послевулканизационная усадка – относительная разность линейных размеров формообразующей полости пресс-формы и РТИ, выраженная в процентах. Относительная линейная послевулканизационная усадка – отношение линейных размеров ряда фиксированных точек на поверхности пресс-формы и образца типа

плоских дисков, выраженное в процентах. Размеры определяют при комнатной температуре. Абсолютную фактическую усадку определяют при изготовлении прецизионных РТИ согласно приложению 2 ГОСТ 24513–80.

Таким образом, можно выделить следующие виды усадки:

- 1) линейная;
- 2) объемная.

Линейная усадка, определяемая по следующей формуле, относится к методу определения величины усадки в зависимости от направления и может иметь положительные и отрицательные значения:

$$Y_L = \frac{L_{\text{ф}} - L_{\text{изд}}}{L_{\text{изд}}} 100\%, \quad (3.28)$$

где $L_{\text{ф}}$ – линейный размер формы; $L_{\text{изд}}$ – линейный размер изделия.

Для крупногабаритных изделий чаще определяется *объемная усадка*:

$$Y_V = \frac{V_{\text{ф.гн}} - V_{\text{изд}}}{V_{\text{изд}}} 100\%, \quad (3.29)$$

где $V_{\text{ф.гн}}$ – объем формующей полости; $V_{\text{изд}}$ – объем изделия.

Различают следующие виды усадки:

- 1) температурная;
- 2) химическая (вулканизационная);
- 3) деформационная.

Полная усадка является суммой *температурной*, *химической* (*вулканизационной*) и *деформационной* усадок и определяется по следующей формуле:

$$Y_{\text{полн}} = Y_{\text{т}} + Y_{\text{в}} + Y_{\text{деф}}. \quad (3.30)$$

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 исключить расположение детали в направлении наиболее строгого размера.

- 1) Температурная усадка определяется по формуле

$$Y_T = (\alpha_p - \alpha_m) \cdot \Delta T, \quad (3.31)$$

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:

$$\alpha_p = \alpha_k H_k + \sum_{i=0}^n \alpha_i \cdot H_i, \quad (3.32)$$

где α_p , α_k , α_i – коэффициенты линейного расширения резиновой смеси, каучука и компонентов; H_k , H_i – объемная доля каучука, компонентов.

На основе рецепта резиновой смеси получим, например:

$$\begin{aligned} \alpha_p &= \alpha_k H_k + \alpha_{ZnO} \cdot H_{ZnO} + \alpha_{орг} \cdot H_{орг} = \\ &= \alpha_k \cdot (H_k + H_{орг}) + \alpha_{ТУ} \cdot (H_{ТУ} + H_{ZnO}). \end{aligned} \quad (3.33)$$

При расчетах можно принять $\alpha_{орг} = \alpha_k$, $\alpha_{ZnO} = \alpha_{ТУ}$, т.к. органические компоненты смеси и их коэффициенты близки к каучуку.

2) Вулканизационная усадка связана с увеличением плотности (удельного объема) вулканизата (γ_p) с плотностью резиновой смеси ($\gamma_{p.c}$) зависимостью (3.34):

$$Y_B = \sqrt[3]{\frac{\gamma_p}{\gamma_{p.c}} - 1}. \quad (3.34)$$

Остальные составляющие полной усадки, объединяемые в так называемую деформационную усадку $Y_{деф}$, рассчитывают следующим образом:

$$Y_{деф} = Y_{полн} - (Y_T - Y_B). \quad (3.35)$$

3) Деформационная усадка обычно незначительна, поэтому ее можно не учитывать. По данным различных источников, значения величин в формуле (3.35) могут принимать широкий диапазон значений.

Существует несколько способов расчета усадки, позволяющих оценить ее величину в первом приближении [1, 70].

Согласно второму способу расчета усадки в общем случае усадка зависит от температуры вулканизации (табл. 3.2), типа каучука (табл. 3.3), количества и вида наполнителей резиновой смеси (табл. 3.4).

Таблица 3.2

**Влияние температуры эквивалентной вулканизации
на усадку ненаполненного каучука**

Условия вулканизации			Усадка, %	
Температура, °С	Давление пара, МПа	Время, мин	В продольном направлении	В поперечном направлении
119,5	0,1	120	2,08	2,0
133,0	0,2	60	2,3	2,3
143,0	0,3	30	2,5	2,5
151,0	0,4	15	2,65	2,65

Таблица 3.3

**Влияние температуры и вида каучука на степень усадки вулканизата,
содержащего 20 частей (по объему) технического углерода типа П-705**

Температура, °С	Усадка каучука, %		
	хлоропренового	бутадиен-стирольного	натурального
126	1,48	2,21	1,82
142	1,73	2,48	1,96
152	1,94	2,68	2,08
162	2,07	2,87	2,18
170	2,16	3,00	2,28

Из данных табл. 3.2 и 3.3 следует, что термическая усадка преобладает над химической. Это учитывают на практике, принимая во внимание только разницу между коэффициентами расширения материалов.

Приведенные в табл. 3.4 данные указывают на снижение усадки с ростом содержания в резине наполнителя. Причем тип наполнителя в малой степени сказывается на величине усадки при одинаковом объемном содержании каучука, поэтому в инженерных целях усадку рассчитывают по правилу аддитивности, принимая, что она складывается из усадки составляющих компонентов смеси и пресс-формы:

$$s = \Delta T \cdot (\Delta A \cdot K + \Delta F + \Delta H), \quad (3.36)$$

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), %; ΔF – разность между коэффициентами расширения наполнителей и материала пресс-форм; ΔH – разность между коэффициентами расширения растворимых в ацетоне вспомогательных веществ (в основном мягчителей) и каучука.

Таблица 3.4

Влияние наполнителя на усадку

Наполнители	Количество наполнителя, мас.ч.	Объемная доля НК и серы в смеси, %	Усадка, %			
			в продольном направлении	в поперечном направлении	средняя	расчет по формуле
Без наполнителя	0	99,0	2,49	2,49	2,48	2,49
Мел	50	85,3	2,07	2,06	2,07	2,16
	100	74,5	1,74	1,69	1,72	1,87
	200	59,8	1,34	1,24	1,29	1,51
	300	50,0	1,05	1,00	1,02	1,26
	400	42,8	0,74	0,81	0,78	1,08
Барит	100	82,5	1,88	2,01	1,95	2,08
	200	70,05	1,50	1,60	1,55	1,78
	300	61,5	1,23	1,35	1,29	1,55
	400	54,6	0,97	1,08	1,03	1,38
	500	49,2	0,78	0,31	0,84	1,24
Углекислый магний	40	85,3	1,89	1,80	1,85	2,16
	80	74,8	1,39	1,39	1,39	1,89
	120	66,5	1,04	1,01	1,03	1,68
	160	60,0	0,82	0,70	0,76	1,51
	200	54,3	0,55	0,47	0,51	1,37
Технический углерод типа К-344	15	92,0	2,16	2,21	2,19	2,32
	30	86,1	1,90	1,96	1,93	2,17
	45	81,4	1,75	1,81	1,78	2,05
	60	76,0	1,50	1,59	1,55	1,91
	75	72,0	1,41	1,43	1,42	1,81
	90	68,2	1,29	1,29	1,29	1,72
Технический углерод типа П-803	40	83,5	1,99	1,98	1,99	2,11
	80	72,0	1,65	1,61	1,63	1,81
	120	63,3	1,38	1,45	1,42	1,59
	160	56,3	1,14	1,24	1,19	1,42
	200	51,0	1,03	1,07	1,05	1,28

Пренебрегая очень малыми величинами ΔF (ввиду малой разности коэффициентов расширения твердых веществ) и ΔH (ввиду низкого содержания в резине ацетонового экстракта и малого различия в коэффициентах расширения каучука и мягчителей), получаем приближенное уравнение:

$$s = \Delta T \cdot \Delta A \cdot K. \quad (3.37)$$

Основные исходные данные для его применения приведены ниже (табл. 3.5) [1].

Таблица 3.5

Основные исходные данные для приближенного уравнения (3.37)

Тип добавки	$A \cdot 10^6$
Натуральный каучук	216
Бутадин-стирольный каучук	216
Бутилкаучук	194
Бутадиен-нитрильный каучук типа СКН-26	196
Хлоропреновый каучук	200
Диметилсилоксановый каучук	300
Наполнители	5–10
Сталь	11
Легкие сплавы	22

Также существует способ расчета усадки, часто используемый для литьевых пресс-форм, реализуемый по следующему принципу [70]. Среднее значение объемной усадки, выраженное через начальное состояние полимера и постоянные уравнения состояния, рассчитываются по формуле

$$S_V = \frac{V' - V}{V'} = \frac{\left(1 - \frac{\pi}{\pi + p}\right)}{\left(1 + \frac{M \cdot b_{\text{см}} \cdot \pi}{R \cdot T}\right)}, \quad (3.38)$$

где V' – объем гнезда пресс-формы; V – объем изделия при нормальных условиях; π – внутреннее давление, обусловленное силами межмолекулярного взаимодействия; p – давление впрыска; M – молекулярная масса структурной единицы, обуславливающей межмолекулярное взаимодействие; $b_{\text{см}}$ – константа, учитывающая собственный объем молекул; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютное значение температуры расплава.

Средняя линейная усадка

$$\bar{S}_L = 1 - \left(\frac{V}{V'}\right). \quad (3.39)$$

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

$$M_{\text{см}} = M \cdot \left(1 + \frac{q_{\text{н}}}{q} \right), \quad (3.40)$$

где $q_{\text{н}}$ – массовая доля наполнителя; q – массовая доля каучука;

$$b_{\text{см}} = b - z \cdot (b - V_{\text{н}}), \quad (3.41)$$

где $z = G_{\text{н}} / G_{\text{н}} + G_{\text{к}}$; $G_{\text{н}}$, $G_{\text{к}}$ – соответственно масса наполнителя и каучука; $V_{\text{н}}$ – удельный объем наполнителя ($V_{\text{н}}$ технического углерода $\approx 0,5 \text{ см}^3/\text{Г}$) [70].

3.4. Расчет гнездности и размеров формообразующих деталей

Расчет гнездности заключается в выборе оптимального количества гнезд в пресс-форме [70]:

$$n = \frac{F_{\text{н}} \cdot \eta}{p_{\text{уд}} \cdot S_{\text{пр}}}, \quad (3.42)$$

где n – количество гнезд; $F_{\text{н}}$ – номинальное усилие прессы; η – коэффициент, учитывающий потери; $p_{\text{уд}}$ – удельное давление прессования (литья); $S_{\text{пр}}$ – площадь прессования.

Также при выборе гнездности учитывается размер плит прессы (пресс-форма должна занимать не менее 30% площади плиты), масса проектируемой оснастки, мощность системы обогрева прессы, сложность изготовления, экономическая целесообразность, скорость перезарядки и т.д.

Между номинальным размером изделия $N_{\text{и}}$ и исполнительным размером оформляющей детали $N_{\text{ф}}$, равно как и между их допусками соответственно $T_{\text{и}}$ и $T_{\text{ф}}$, существует тесная связь. При расположении полей допусков симметрично по отношению к размерам: $N_{\text{и}} \pm T_{\text{и}}$ и $N_{\text{ф}} \pm T_{\text{ф}}$, наибольший размер изделия ($N_{\text{и}} + T_{\text{и}}$) может получаться, если размер оформляющей детали будет максимальным ($N_{\text{ф}} + T_{\text{ф}}$), а усадка перерабатываемого материала – минимальной $S_{\text{мин}}$. С другой стороны, размер детали ($N_{\text{и}} - T_{\text{и}}$) может быть получен в том случае, если формируемый материал имеет максимальную усадку $S_{\text{макс}}$, а оформляемая деталь выполнена по размеру ($N_{\text{ф}} - T_{\text{ф}}$). Итак, получаем систему из уравнений:

$$(N_{\phi} + T_{\phi}) - (N_{\phi} + T_{\phi})S_{\min} = N_{\text{и}} + T_{\text{и}}; \quad (3.43)$$

$$(N_{\phi} - T_{\phi}) - (N_{\phi} - T_{\phi})S_{\max} = N_{\text{и}} - T_{\text{и}}. \quad (3.44)$$

Исходя из того, что $T_{\phi} S_{\min}$ и $T_{\phi} S_{\max}$ пренебрежимо малы по сравнению с $N_{\phi} S_{\min}$ и $N_{\phi} S_{\max}$, система упрощается:

$$N_{\phi} + T_{\phi} - N_{\phi}S_{\min} = N_{\text{и}} + T_{\text{и}}, \quad (3.45)$$

$$N_{\phi} - T_{\phi} - N_{\phi}S_{\max} = N_{\text{и}} - T_{\text{и}}. \quad (3.46)$$

Суммируя и вводя среднюю усадку, получаем уравнение, связывающее размеры оформляющей детали и изделия со средней усадкой $S_{\text{ср}}$:

$$N_{\phi}(1 - S_{\text{ср}}) = N_{\text{и}}. \quad (3.47)$$

4. ШИННЫЕ ПРЕСС-ФОРМЫ

Толчком к широкому использованию секторных вулканизационных пресс-форм в шинной промышленности явилось создание шин радиальной конструкции. Как известно, радиальные покрышки отличаются жестким металлокордным брекерным поясом, тонкой боковой стенкой и достаточно массивным протектором с относительно глубоким рисунком. Эти особенности конструкции радиальных покрышек выдвинули ряд специфических требований к осуществлению технологических операций при их изготовлении, в том числе, к опрессовке и вулканизации шин в пресс-форме [61, 79–80].

Одним из таких требований является сведение до минимального значения (0,5–1,5%) вытяжки брекера и каркаса при формовании и последующей опрессовке покрышки в вулканизационной пресс-форме. Для сравнения, в покрышках диагональной конструкции вытяжка каркаса, в частности, может достигать 40%). Для обеспечения минимальной вытяжки брекера наружный диаметр невулканизированной радиальной покрышки должен практически соответствовать диаметру вулканизированной шины и превышать внутренний диаметр формообразующей поверхности секторной пресс-формы. При использовании вулканизационных пресс-форм с экваториальным разъемом такое требование выполнить невозможно. Поэтому при вулканизации радиальных покрышек в пресс-формах с экваториальным разъемом конструктивно закладывалась вытяжка брекерного пояса до 4,0–4,5%.

Однако такое решение, вследствие неравномерной деформации брекера, обуславливало смещение деталей в вулканизированной шине, связанное с этим ухудшение однородности ее жесткостных свойств и снижение общей работоспособности.

Наличие жесткого брекерного пояса в радиальной покрышке вызывает также значительные деформации элементов рисунка протектора при ее выемке из пресс-формы с экваториальным разъемом. Эти деформации обуславливают появление больших сдвиговых и изгибающих усилий, действующих на элементы рисунка, что приводит к надрывам по основанию и сколам шашек. При этом, чем больше глубина рисунка, массивнее элементы шашек и выше модуль протекторной резины, тем серьезнее дефекты, возникающие в радиальных покрышках при их выгрузке из пресс-формы с экваториальным разъемом. Для обеспечения возможности выемки радиальных покрышек из пресс-форм с экваториальным разъемом без надрывов и сколов снижали модуль протекторной резины и в оптимальные геометрические

параметры элементов рисунка протектора вынужденно вводили некоторые изменения, например, усиливающие полумостики. Эти изменения позволяли устранить внешневидовые дефекты шин, однако снижали износостойкость протектора, тем самым, не позволяя полностью реализовать ресурс шин по ходимости. В частности, как показали многочисленные эксплуатационные и ускоренно-дорожные испытания, проведенные в НИИШП (Научно-исследовательский институт шинной промышленности), только за счет этих факторов радиальные грузовые шины, вулканизованные в пресс-формах с экваториальным разъемом, имели снижение ходимости на 6–8% [61, 64–65].

Именно поэтому с началом массового производства радиальных шин во всем мире стали проводиться интенсивные НИОКР по созданию оптимальных конструкций вулканизационных пресс-форм и технологии их изготовления. В результате этих работ было определено, что всем требованиям к осуществлению технологических операций при загрузке и выгрузке радиальных покрышек удовлетворяют секторные пресс-формы (в зарубежной практике используется термин сегментные пресс-формы), формообразующая часть рисунка протектора которых выполнена из секторов, перемещающихся на величину большую или равную глубине рисунка с учетом его кривизны. За счет этого обеспечивается свободный вход формообразующих элементов пресс-формы в протектор при загрузке и выход элементов рисунка протектора из пресс-формы при выгрузке шины.

За последние 30 лет использование секторных вулканизационных пресс-форм постоянно увеличивается, при этом предпочтение отдается радиально закрывающимся и открывающимся секторным пресс-формам, которые обеспечивают улучшение качества шин, их однородность и внешний вид [79–80].

Помимо этого секторные пресс-формы обеспечивают опрессовку легковых радиальных покрышек с меньшими деформациями и являются единственным техническим решением для вулканизации грузовых цельнометаллокордных (ЦМК) шин.

Традиционная секторная пресс-форма содержит 8 подвижных секторов, однако, в последнее время все больше предпочтение отдается пресс-форме с 9-ю секторами, а для шин с очень сложным рисунком протектора используют пресс-формы и с 12-ю секторами.

Секторные пресс-формы классифицируются по нескольким признакам. По месту крепления секторов различают пресс-формы:

- с верхним расположением секторов;
- с нижним расположением секторов;

– с расположением секторов в верхней и нижней частях пресс-формы.

Первый тип пресс-форм наиболее распространен, но его эксплуатация на старом вулканизационном оборудовании (с откидывающейся траверсой) затруднена.

Третий тип пресс-форм нашел ограниченное применение, в основном, в шиноремонтных вулканизационных прессах. Эти пресс-формы, в сравнении с первыми двумя типами, имеют большее число подвижных деталей и более трудоемки в изготовлении. Разъем между верхними и нижними секторами осуществляется по экваториальной плоскости рисунка протектора, что предотвращает смещение протектора и брекера.

По кинематике подвижных частей секторных пресс-форм последние могут быть разделены на три группы:

- однофазного действия;
- двухфазного действия;
- трехфазного действия.

Однофазные секторные пресс-формы предназначены для вулканизационного оборудования, не оснащенного механизмом управления секторной пресс-формой. Сведение полуформ, бортовых колец и секторов в этих пресс-формах осуществляется одновременно (рис. 4.1).

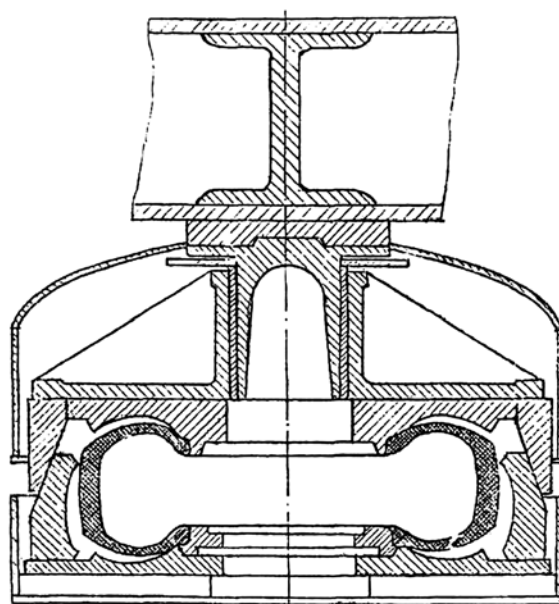


Рис. 4.1. Принципиальная конструкция пресс-формы однофазного действия

Данная конструкция пресс-формы обеспечивает загрузку радиальных покрышек и их выгрузку без надрывов и сколов элементов

рисунка протектора, но не обеспечивает требуемого уровня силовой и геометрической однородности, в первую очередь, легковых шин.

На рис. 4.2 схематично показана работа секторной пресс-формы двухфазного действия.

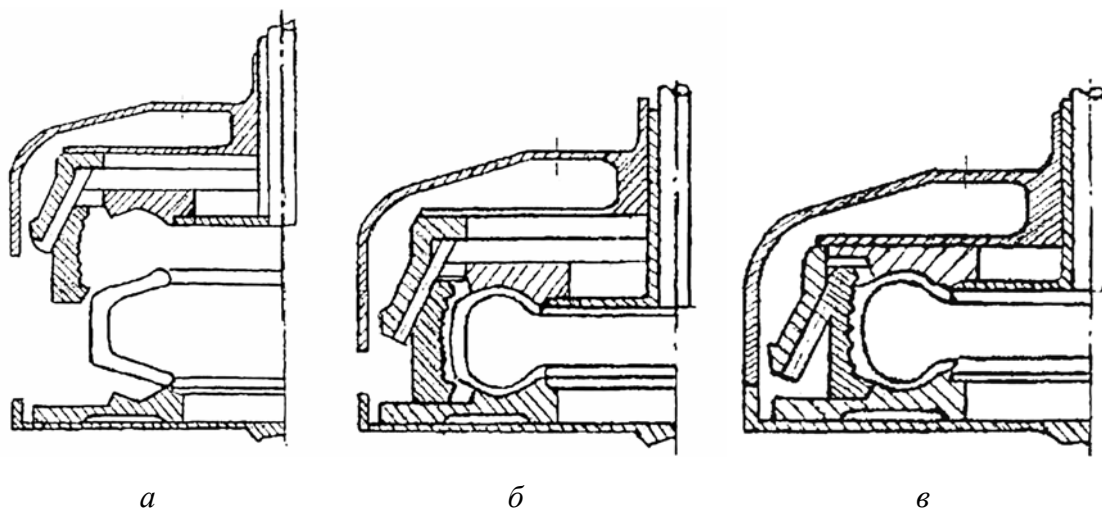


Рис. 4.2. Принцип действия секторных пресс-форм двухфазного действия

Вначале специальным механизмом управления секторной пресс-формой в процессе предварительного формования покрышки (рис. 4.2, *а*) осуществляется первая фаза – сближение и фиксация бортов и боковых стенок покрышки в положении, соответствующем закрытой пресс-форме (рис. 4.2, *б*), а затем вторая фаза – радиальное перемещение секторов до их полного смыкания (рис. 4.2, *в*). Выгрузка шины осуществляется в обратной последовательности. В данной конструкции практически устраняется возможность смещения протектора и/или брекера при закрытии пресс-формы и опрессовке покрышки, что присуще пресс-формам однофазного действия.

В пресс-формах трехфазного действия верхнее бортовое кольцо выполняется подвижным. Первая фаза – фиксация и центрирование верхнего борта покрышки; вторая фаза – сближение бортов и боковых стенок покрышки в положение, соответствующее закрытой пресс-форме; третья фаза – радиальное перемещение секторов до их полного смыкания. Данная конструкция до настоящего времени имеет ограниченное применение.

По принципу управления секторами, полуформами и бортовыми кольцами пресс-формы делятся на две основные группы – с гидравлическим (реже пневматическим или рычажно-гидравлическим) приводом и пружинным управлением (зачастую в комбинации с системой

рычагов и/или шарниров). Сведение или разведение секторов во всех случаях осуществляется при скольжении направляющих в пазах обжимного конуса. Наиболее распространены Т-образные направляющие, хотя в некоторых конструкциях используются направляющие круглого сечения или, так называемый, «ласточкин хвост». Более подробно разные системы управления секторной пресс-формой будут рассмотрены ниже, при анализе конкретных конструктивных решений пресс-форм.

4.1. Секторные пресс-формы однофазного действия

Так как секторные пресс-формы однофазного действия с момента их создания предназначались для форматоров-вулканизаторов с «опрокидывающейся» траверсой, то все они проектировались с нижним расположением секторов [61, 65, 79–80].

Традиционная конструкция такой пресс-формы для грузовых радиальных покрышек приведена на рис. 4.3.

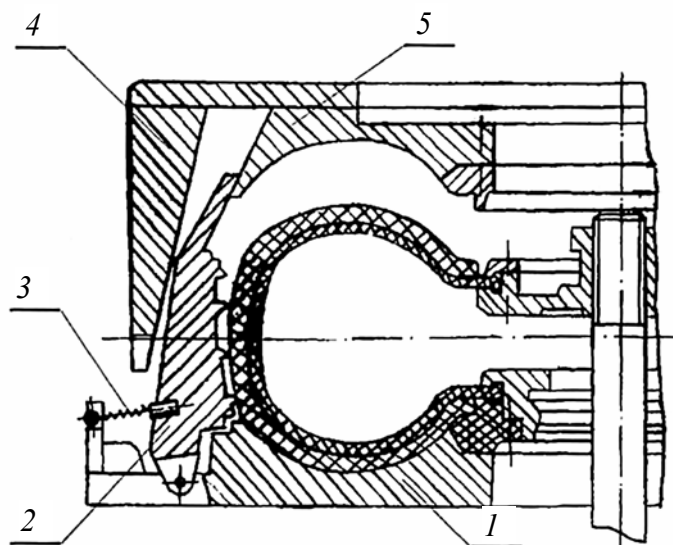


Рис. 4.3. Конструкция пресс-формы однофазного действия для грузовых радиальных покрышек

На неподвижном нижнем основании, одновременно являющимся и нижней полуформой 1, смонтированы шарнирно закрепленные сектора 2. Для фиксации разведенного положения секторов с их внешней стороны горизонтально установлены пружины 3. Смыкание секторов осуществляется верхней полуформой 5, неподвижно соединенной со стяжным конусным кольцом 4, традиционного для секторных

пресс-форм типа. Таким образом, исключается необходимость в дополнительных механизмах для управления работой пресс-формы.

В исходном положении верхняя полуформа вместе с паровой камерой поднята и отведена назад (опрокинута). Сектора отведены в крайнее положение, что позволяет разместить в пресс-форме невулканизованную радиальную покрышку с заложенной минимальной вытяжкой каркаса и брекера. После формования покрышки пресс-форма закрывается, при этом стяжное кольцо верхней полуформы воздействует на тыльную сторону секторов, осуществляя их сведение. Одновременно происходит сближение верхнего и нижнего бортов покрышки.

Вместо пружин управление движением секторов однофазной пресс-формы могут осуществлять силовые цилиндры (рис. 4.4).

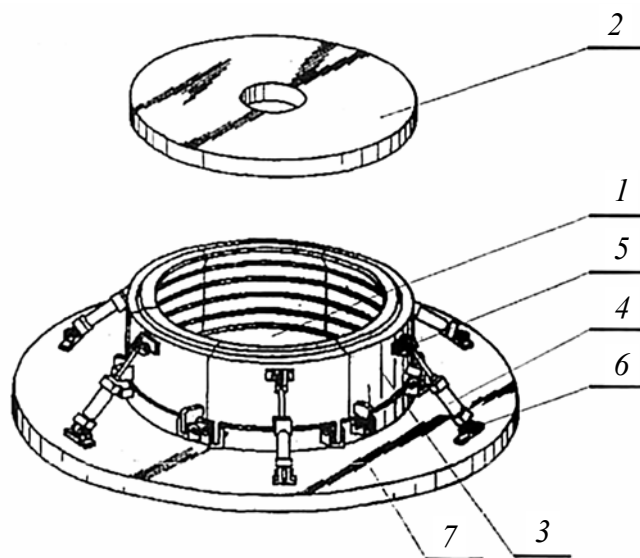


Рис. 4.4. Конструкция пресс-формы однофазного действия с силовыми цилиндрами управления движением секторов

Данная пресс-форма состоит из нижней 1 и верхней 2 полуформ, секторов 3 и силовых цилиндров 4, шарнирно соединенных с выступами 5, расположенными в верхней части секторов, и выступами 6, прикрепленными к плите 7, жестко соединенной с нижней полуформой.

Очевидным недостатком всех однофазных секторных пресс-форм является одновременность проведения операций сведения бортов покрышки и секторов пресс-формы, что обуславливает несимметричность опрессовки рисунка протектора. Как видно из рис. 4.3, контакт формообразующей поверхности секторов с протектором невулканизо-

ванной покрышки начинается с нижней части беговой дорожки протектора, поэтому при закрытии секторов неизбежно перемещение резины вверх. В легковых и легкогрузовых покрышках, помимо резины протектора, смещается и брекер, что сопровождается повышением неоднородности шин.

Помимо перечисленного, к недостаткам данной конструкции пресс-формы (рис. 4.4) следует отнести ее громоздкость, а также сложность обеспечения бесперебойной работы гидроцилиндров в паровой камере вулканизационного пресса.

4.2. Секторные пресс-формы двухфазного действия с нижним расположением секторов

В мировой практике известно большое количество конструкций секторных пресс-форм двухфазного действия с нижним расположением секторов и оснащенных различными механизмами их радиального перемещения. Рассмотрим наиболее распространенные конструкции [61, 65, 79–80].

К классическим вариантам конструкций секторных пресс-форм двухфазного действия с нижним расположением секторов может быть отнесена пресс-форма с пружинным управлением радиального перемещения секторов фирмы «Акрон Цангль» (рис. 4.5 и 4.6).

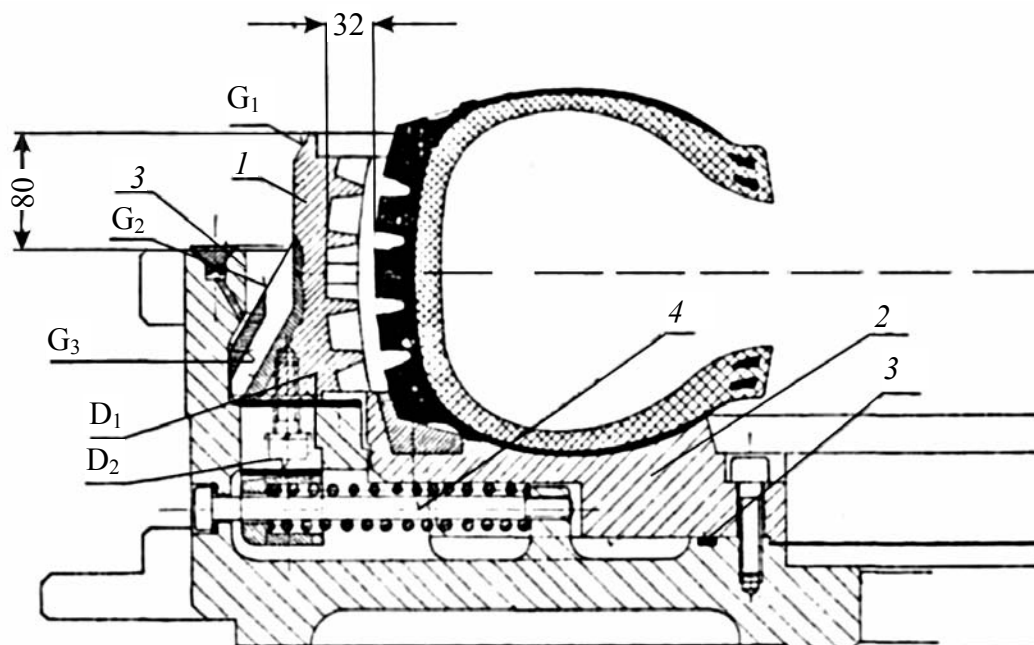


Рис. 4.5. Нижняя часть секторной пресс-формы с пакетом пружин

На рис. 4.5 представлена нижняя часть секторной пресс-формы. Символами D_1 и D_2 обозначены два типа антифрикционных (или, иначе, самосмазывающихся) пластин скольжения. По этим пластинам осуществляется радиальное перемещение 8-ми секторов I . Нижняя часть секторной пресс-формы имеет паровую полость и кольцевые профильные силиконовые уплотнения 2 и 3 . Уплотнения не требуют ухода и работоспособны при температурах до 180°C . Паровая полость рассчитана на давление до $0,8$ МПа. Радиальное перемещение секторов осуществляется по Т-образным направляющим, радиальное движение открытия обеспечивается разжимным пружинным механизмом 4 . Таким механизмом оснащен каждый сектор, пружины выполнены из жаропрочной стали и устойчивы к излому при температурах до 190°C . Символами G_1 , G_2 и G_3 обозначены поверхности скольжения, подлежащие регулярной смазке. Смазка производится на открытой и холодной пресс-форме, при этом смазка не должна попадать на пластины.

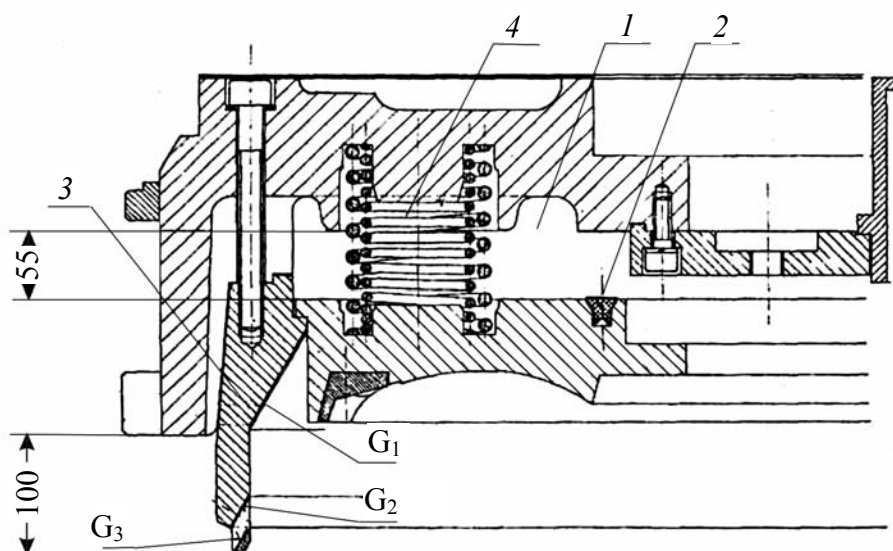


Рис. 4.6. Верхняя часть секторной пресс-формы с пакетом пружин и стяжным кольцом

На рис. 4.6 показана верхняя часть секторной пресс-формы. Она также имеет паровую полость I и силиконовое профильное кольцевое уплотнение 2 . Символами G_1 , G_2 и G_3 обозначены поверхности стяжного кольца 3 , подлежащие регулярной смазке. Кроме этого, поверхности G_1 и G_2 должны регулярно контролироваться на наличие повреждений: сильные повреждения удаляются обточкой. После «снятия» 2-3 мм металла стяжное кольцо подлежит замене. Осевой ход

пресс-формы, равный 56 мм, обеспечивается 12-ю пакетами пружин 4, расположенных симметрично.

Данная конструкция пресс-формы работает следующим образом.

При опускании траверсы сначала невулканизованная заготовка шины сжимается до габаритов вулканизованной шины. При дальнейшем опускании траверсы «выбирается» осевой ход в 56 мм и стяжное кольцо, радиально перемещая сектора по направляющим, обеспечивает внедрение нанесенного на внутреннюю часть секторов рисунка в резину протектора. Пресс-форма закрыта.

При открытии пресс-формы траверса поднимается и одновременно поднимается стопорное кольцо. Сектора радиально разводятся пружинным механизмом (поз. 4, рис. 4.5). При этом верхняя часть пресс-формы удерживается «на шине» пакетами пружин (поз. 4, рис. 4.6). При дальнейшем движении траверсы освобождается верхняя боковина шины. Шина готова к выгрузке.

Конструкция пресс-формы двухфазного действия фирмы «Герберт» для вулканизационных прессов с диафрагменным узлом типа «аутоформ» приведена на рис. 4.7.

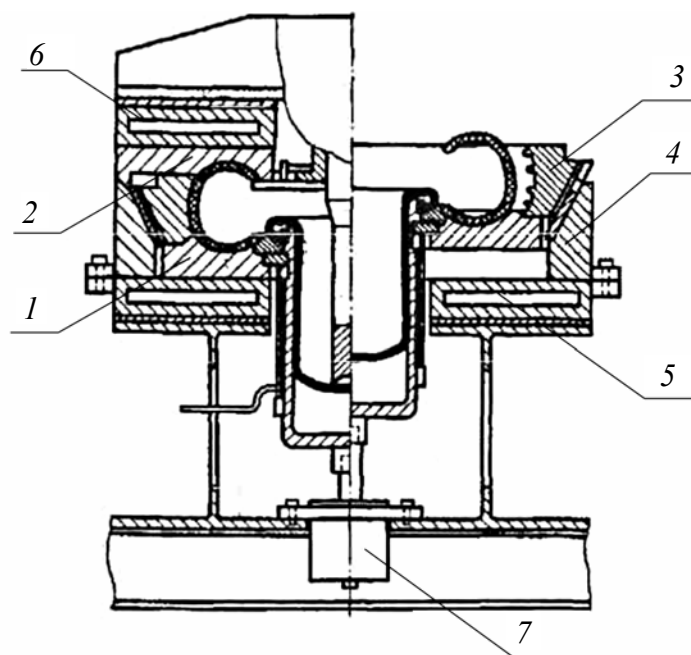


Рис. 4.7. Конструкция пресс-формы двухфазного действия фирмы «Герберт» для прессов с диафрагменным узлом типа «аутоформ»

Пресс-форма состоит из нижней 1 и верхней 2 полуформ, а также секторов 3, расположенных в нижней полуформе. По наружной

поверхности сектора имеют форму усеченного конуса и охватываются стяжным кольцом 4. К конической поверхности стяжного кольца прикреплены Т-образные направляющие, которые также размещены в пазах секторов. Обогрев пресс-формы осуществляется плитами 5 и 6.

При подъеме нижней полуформы 1 посредством гидроцилиндра 7, закрепленного в нижней части станины вулканизационного пресса, сектора 3 раздвигаются в радиальном направлении по отношению к шине, выходя из контакта с рисунком протектора и не препятствуя дальнейшей выгрузке шины из пресс-формы.

При закрытии вулканизационного пресса (после загрузки и формования невулканизированной покрышки) сначала осуществляется опускание верхней полуформы 2 до положения ее в закрытой пресс-форме, а затем, в ходе дальнейшего опускания траверсы пресса, происходит опускание нижней полуформы 1 до ее контакта с нижней нагревательной плитой 5. Одновременно с этим осуществляется радиальное по отношению к покрышке перемещение секторов.

На рис. 4.8 и 4.9 приведена конструкция секторной пресс-формы двухфазного действия с нижним расположением секторов фирмы «Пирелли», которая может устанавливаться на вулканизационные прессы с диафрагменными узлами типов «бег-о-матик» (рис. 4.8) и «аутоформ» (рис. 4.9).

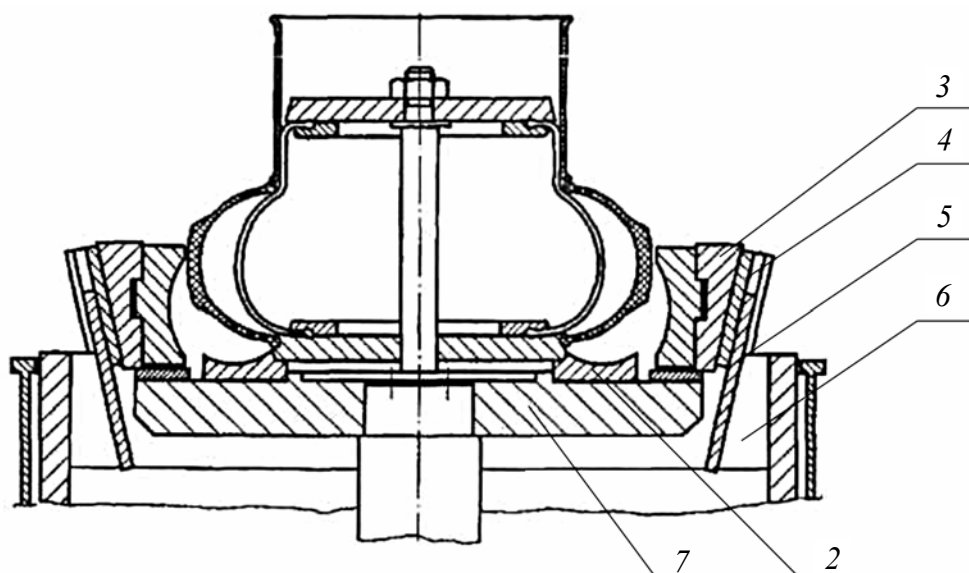


Рис. 4.8. Конструкция пресс-формы двухфазного действия с нижним расположением секторов фирмы «Пирелли» для прессов с диафрагменным узлом типа «бег-о-матик»

Пресс-форма состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, секторов 3, направляющих планок 4, соединенных с каждым сектором, и направляющих 5, соединенных со стяжным кольцом 6, жестко прикрепленным к станине вулканизационного пресса. Пресс-форма устанавливается на подвижной плите 7, перемещаемой гидроцилиндром, смонтированным на станине пресса.

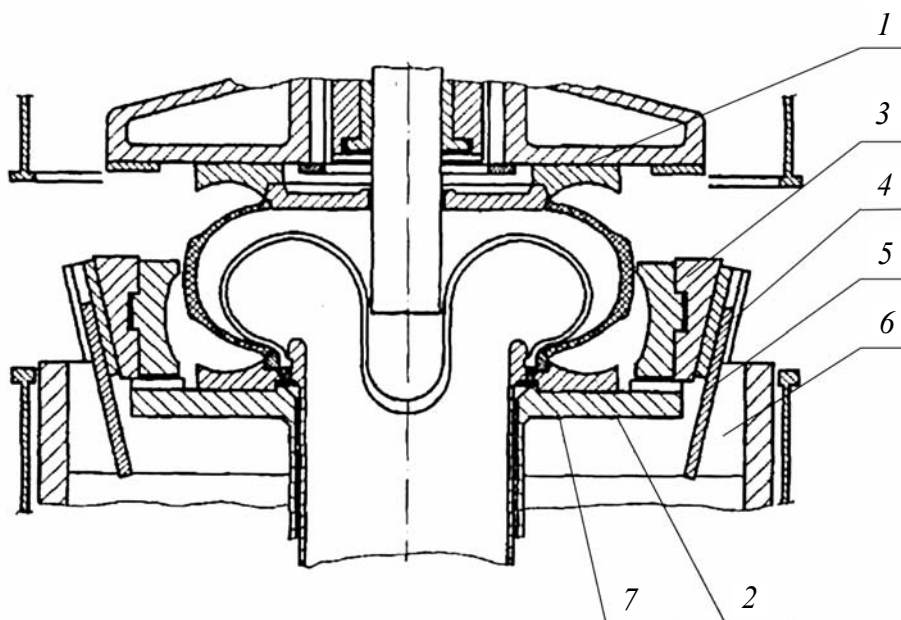


Рис. 4.9. Конструкция пресс-формы двухфазного действия с нижним расположением секторов фирмы «Пирелли» для прессов с диафрагменным узлом типа «аутоформ»

Пресс-форма работает следующим образом. При открытии пресса одновременно с вертикальным перемещением траверсы гидроцилиндром поднимается плита 7. Сектора, перемещаясь по наклонным планкам, раздвигаются в радиальном направлении относительно вулканизированной шины, «освобождая» рисунок протектора. Верхняя полуформа отрывается от поверхности шины и поднимается вместе с планшайбой до полного открытия пресса.

При закрытии пресса траверса и планшайба с верхней полуформой опускаются вниз до соприкосновения полуформы с крышкой, а планшайбы до контакта с секторами (1-я фаза работы пресс-формы). Затем усилие пресса преодолевает усилие гидроцилиндра, и сектора начинают перемещаться вниз по наклонным планкам, одновременно опуская плиту 7 и радиально опрессовывая рисунок протектора крышки (2-я фаза работы пресс-формы).

Секторная пресс-форма двухфазного действия с нижним расположением секторов для прессов с диафрагменным узлом типа «бег-о-матик» конструкции НИИШП приведена на рис. 4.10.

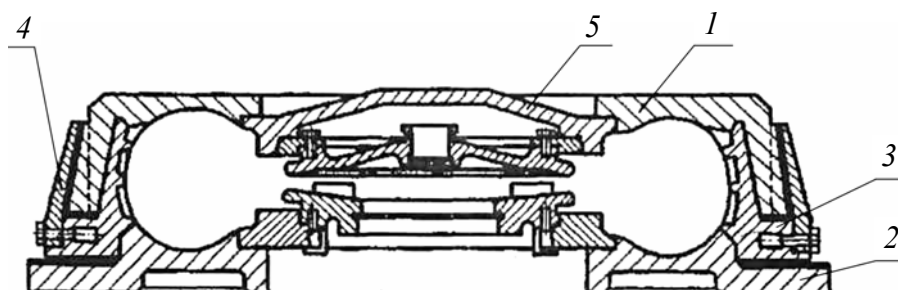


Рис. 4.10. Конструкция пресс-формы двухфазного действия с нижним расположением секторов «НИИШП» для прессов с диафрагменным узлом типа «бег-о-матик»

Управление перемещением подвижных частей пресс-формы осуществляется гидроцилиндром, смонтированным на траверсе вулканизационного пресса. От предыдущих конструкций данная пресс-форма отличается, в первую очередь, устройством для фиксации бортов невулканизированной покрышки. После размещения невулканизированной покрышки в нижней полуформе 2 вулканизационный пресс начинает закрываться. Когда траверса пресса начинает перемещаться вниз вертикально, в надпоршневую полость силового гидравлического цилиндра подается давление. Шток гидроцилиндра, жестко соединенный с верхним бортовым кольцом 5, опускает его до контакта с бортом невулканизированной покрышки и фиксирует (удерживает) его на расстоянии, равном высоте бортов вулканизированной шины (1-я фаза работы пресс-формы). При закрытии пресс-формы коническая поверхность верхней полуформы 1, взаимодействуя с коническими поверхностями секторов 3 и направляющего кольца 4, обеспечивает радиальное перемещение секторов относительно покрышки (2-я фаза работы пресс-формы) и запирает пресс-форму.

Оригинальный механизм управления секторами, расположенными на нижней полуформе был предложен в конструкции пресс-формы фирмы «Гудьир» (рис. 4.11).

Он представляет собой систему гидроцилиндров, опоясывающих пресс-форму и осуществляющих перемещение секторов. Каждый сектор 1 на своей внешней цилиндрической поверхности соединен с пластиной 2, имеющей две пары петлевых выступов: верхних и нижних. В петлевых выступах посредством штифтов крепятся гидроцилиндры 3, соединяющие между собой смежные сектора.

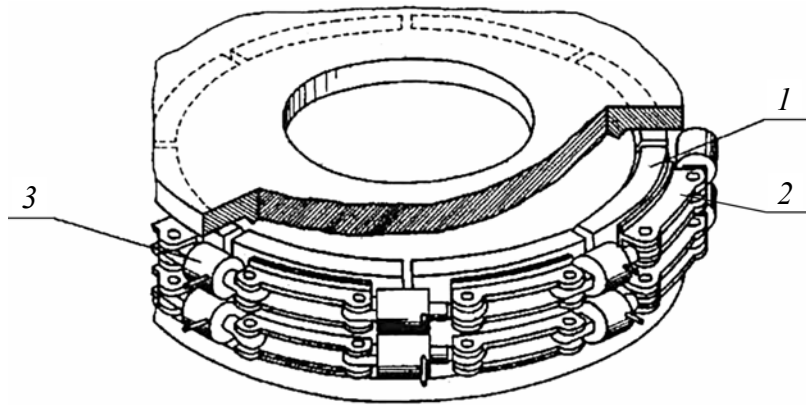


Рис. 4.11. Механизм управления секторами, расположенными на нижней полуформе, в конструкции пресс-формы фирмы «Гудьир»

Рычажно-гидравлический механизм управления секторной пресс-формой может быть проиллюстрирован на примере конструкции фирмы «Марангони», предназначенной для вулканизации восстанавливаемых шин (рис. 4.12).

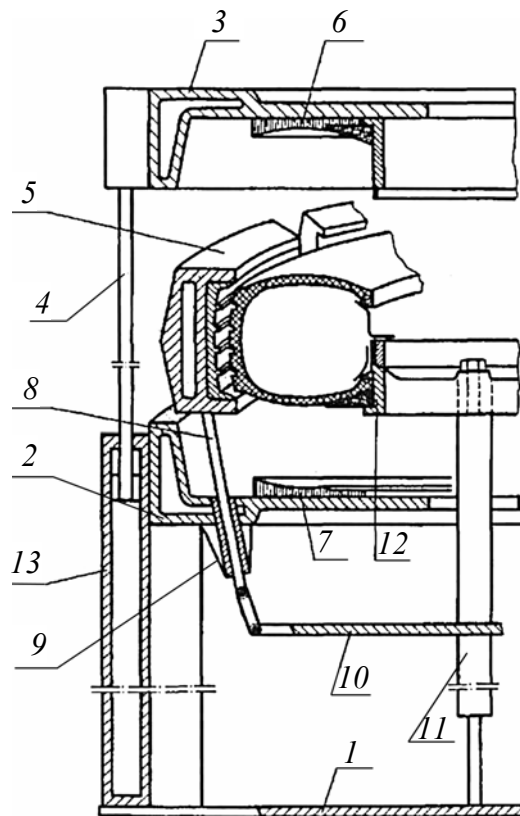


Рис. 4.12. Рычажно-гидравлический механизм управления секторной пресс-формой конструкции фирмы «Марангони»

Данная конструкция состоит из станины 1; нижней нагревательной плиты 2, которая жестко соединена со станиной; верхней нагревательной плиты 3, соединенной с колоннами 4; секторов пресс-формы 5; верхней 6 и нижней 7 полуформ пресс-формы. Каждый сектор жестко соединен с рычагом 8, проходящим через направляющую 9 и соединен подвижно штифтами и планкой с плитой 10, которая в свою очередь жестко прикреплена к корпусу гидроцилиндра 11. Верхний торец гидроцилиндра перемещает диск 12, посредством которого осуществляется отрыв шины от нижней полуформы. Сектора, верхняя и нижняя плиты имеют полости для подачи теплоносителя. Открытие этого вулканизационного пресса осуществляется гидроцилиндрами 13. Поднимается плита 3, верхняя полуформа отрывается от шины.

С небольшой временной задержкой гидроцилиндр 11 поднимает диск 12 и раздвигает сектора 5. Шина отрывается от нижней полуформы, сектора выходят из рисунка протектора, пресс готов к перезарядке.

Большинство рассмотренных обзора пресс-форм в основе своих конструкций имеют свободу прямолинейного перемещения секторов по призматическим направляющим, расположенным параллельно образующей стяжного конусного кольца. Такая кинематическая схема обеспечивает наиболее благоприятное (с точки зрения геометрии) направление движения секторов при выводе их из рельефа рисунка протектора свулканизованной шины.

Отличительной особенностью пресс-форм с нижним расположением секторов является то, что подвижное соединение системы «сектор – стяжное конусное кольцо» при раскрытии пресс-формы выходит из полного зацепления. Для обеспечения свободного захода направляющих секторов и стяжного конусного кольца эти пресс-формы, как правило, оснащаются либо пружинами, удерживающими сектора в крайнем разведенном положении, либо жестко закрепленными с секторами направляющими конусными кольцами.

Пресс-формам с пружинным механизмом разведения секторов характерна склонность к образованию опрокидывающего момента. Это обусловлено тем, что в начале сближения секторов радиальная составляющая приложенного усилия действует на сектор только сверху, при этом усилие пружин увеличивает сопротивление перемещению секторов. При разведении секторов они «стремятся запрокинуться» во внешнюю сторону, при этом в горизонтальных направляющих также повышается сопротивление, тем самым повышая нагрузки на консоли, за которые разводятся сектора. Усиление консольных направляющих и стяжного конусного кольца значительно увеличивает габариты пресс-формы.

Недостатком пресс-форм с отводом секторов индивидуальными гидроцилиндрами, последовательно соединенными со смежными секторами (рис. 4.11), является как их громоздкость, так и возможность несинхронного срабатывания верхнего и нижнего цилиндров в паре, что может привести к заклиниванию секторов. Кроме этого, в конструкции не предусмотрена жесткая фиксация секторов, препятствующая перемещению в окружном направлении, которое может привести к смещению рисунка протектора относительно плечевой зоны.

4.3. Секторные пресс-формы двухфазного действия с верхним расположением секторов

В последнее время секторные пресс-формы двухфазного действия с верхним расположением секторов имеют гораздо более широкое распространение, чем пресс-формы с нижним расположением секторов. Механизм управления секторами, расположенными в верхней части пресс-формы, может быть как пружинный, так и гидравлический, от гидравлического цилиндра, устанавливаемого на траверсе вулканизационного пресса (рис. 4.13). Гидравлический механизм управления секторами является более предпочтительным [61, 65, 79–80].

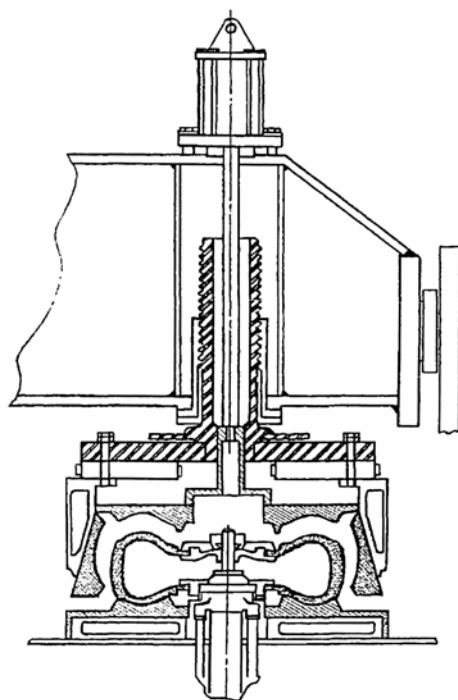


Рис. 4.13. Секторная пресс-форма с гидроприводом управления верхней полуформой (в т.ч. и секторами)

Представляет интерес рассмотрение четырех конструкций секторных пресс-форм с верхним расположением секторов и пружинным механизмом их управления.

Секторная пресс-форма двухфазного действия фирмы «AZ» в классическом исполнении имеет 8 секторов, перемещающихся по направляющим вертикально и радиально при помощи стяжного конического кольца. Для обеспечения 2-й фазы работы пресс-формы в качестве силового элемента, воспринимающего распорное усилие при формовании покрышки, служат металлические пружины, установленные между верхней полуформой и верхней плитой пресса (рис. 4.14).

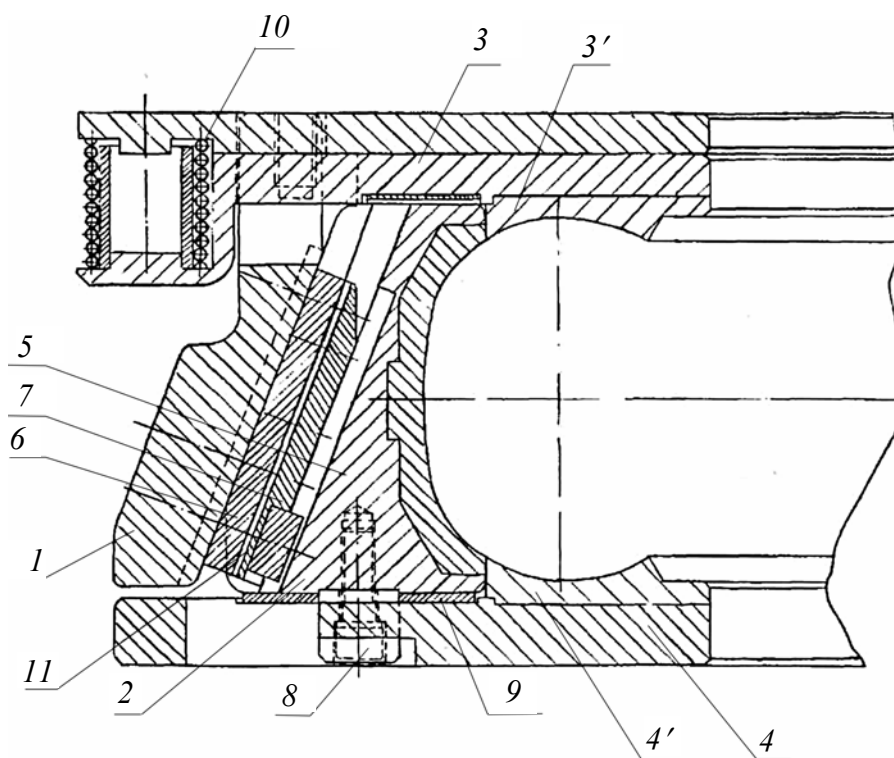


Рис. 4.14. Секторная пресс-форма двухфазного действия фирмы «AZ»

Пресс-форма предназначена для установки в вулканизационные прессы типа «бег-о-матик». Пресс-форма изготавливается с возможностью замены профильных секторов и боковин полуформ на другие типоразмеры шин, т.е. является пресс-формой контейнерного типа. Пресс-формы контейнерного типа отличают:

- высокая точность изготовления деталей пресс-формы, что обеспечивает герметичность при ее закрытии (исключение радиальных выпрессовок) и высокую надежность при эксплуатации;

– высокая степень унификации основных частей пресс-формы, что обуславливает взаимозаменяемость деталей при изнашивании.

Пресс-форма AZ содержит стяжное коническое кольцо 7, сменные сектора 2 с одинаковыми наружными диаметрами и контурами, полуформы – верхней 3 и нижней 4 (могут выполняться сборными для обеспечения заменяемости внутренней формообразующей части 3' и 4'), вкладыши 5, Т-образные направляющие 6 и Т-образные направляющие планки 7, транспортировочный болт 8, антифрикционные (или самосмазывающиеся) пластины 9, пружины 10, упор 11 для исключения выпадения секторов.

Пресс-форма работает следующим образом. В раскрытом положении невулканизованная покрышка загружается на бортовое кольцо нижней полуформы. Для закрытия пресс-формы выполняется ход вниз верхней полуформы с бортовым кольцом. При касании верхнего бортового кольца покрышки осуществляется сближение ее бортов до положения, соответствующего раствору бортов вулканизованной шины (1-я фаза работы пресс-формы). При этом радиальному перемещению секторов препятствует усилие пружин (рис. 4.15). При дальнейшем закрытии пресса его усилие преодолевает усилие пружин, и сектора посредством стяжного конусного кольца радиально перемещаются к покрышке (2-я фаза работы пресс-формы).

Пресс-форма фирмы «Герберт» (рис. 4.16) состоит из нижней полуформы 1, соединенной с плитой 2, верхней полуформы 3, верхней плиты 6, стяжного конусного кольца 5, пружин 7 и восьми секторов 4.

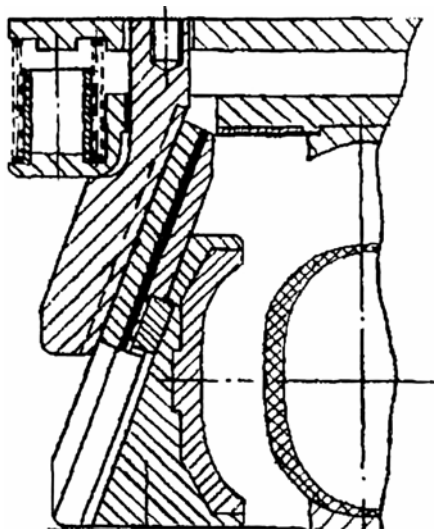


Рис. 4.15. Принцип работы секторной пресс-формы двухфазного действия с пружинным механизмом фирмы «AZ»

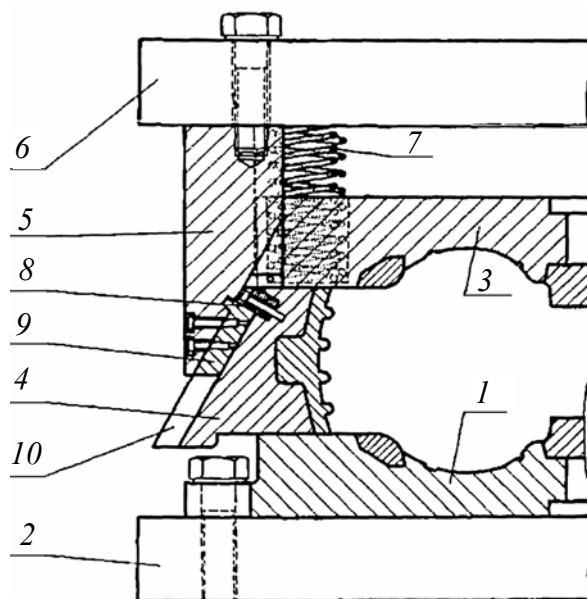


Рис. 4.16. Секторная пресс-форма двухфазного действия фирмы «Герберт»

На стяжном конусном кольце по его внутренней цилиндрической поверхности выполнены выступы, которые являются направляющими для верхней полуформы при ее вертикальном перемещении и исключают ее смещение относительно секторов. К конической направляющей поверхности стяжного кольца болтами крепятся направляющие планки 9, которые входят в соответствующие им по конфигурации направляющие пазы 10. В верхней части секторов прикреплены упоры 8, которые ограничивают опускание секторов до определенной высоты при открытии пресс-формы.

Работа пресс-формы осуществляется в следующей последовательности. Плита 6, прикрепленная к планшайбе вулканизационного прессы типа «бег-о-матик» вместе со стяжным конусным кольцом поднимается вверх, радиально раздвигая сектора до тех пор, пока упор 8 не придет в контакт с направляющей планкой 9. Верхняя полуформа при этом остается в исходном положении. Для закрытия пресс-формы плита 6, стяжное кольцо 5, сектора 4 и верхняя полуформа 3 опускаются вниз. Верхняя полуформа контактирует с боковиной и бортом невулканизированной покрышки (рис. 4.17) и опускает ее вниз до положения, пока нижний торец секторов не коснется нижней полуформы.

Дальнейшее опускание плиты 6 и стяжного кольца приводит к сжатию пружин 7 и радиальному перемещению (сведению) секторов (2-я фаза работы пресс-формы) до момента контакта верхней плиты с верхней полуформой. Пресс-форма полностью закрыта.

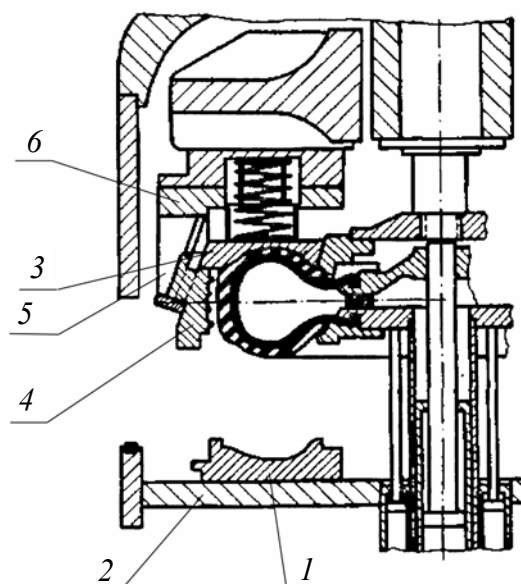


Рис. 4.17. Принцип работы секторной пресс-формы двухфазного действия фирмы «Герберт»

Секторная пресс-форма двухфазного действия, разработанная фирмой «Гудьир», представлена на рис. 4.18.

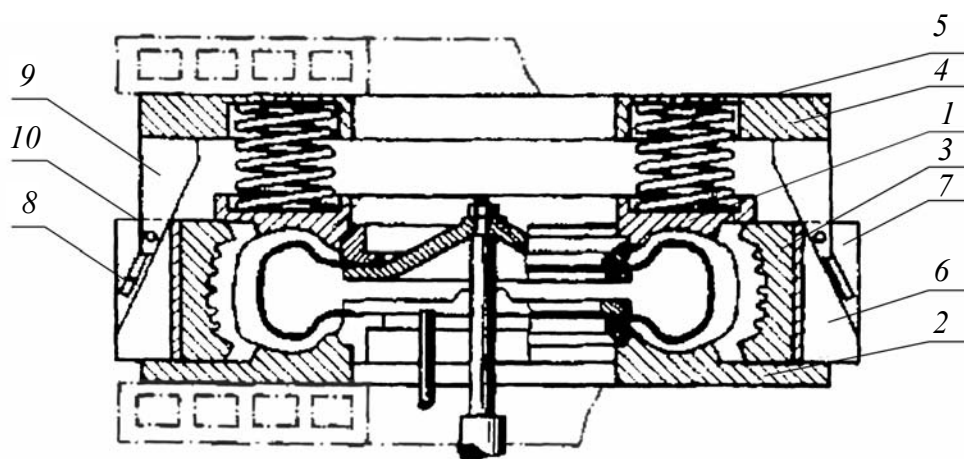


Рис. 4.18. Секторная пресс-форма двухфазного действия фирмы «Гудьир»

Пресс-форма состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, восьми секторов 3, которые подвижно соединены с несущей плитой 4. Между плитой 4 и верхней полуформой в проточках расположены пружины 5. К каждому сектору с внешней цилиндрической стороны прикреплен выступ 6 клиновидной формы с ребром 7. В ребре имеется наклонная прорезь 8, охватываемая выступами 9, которые крепятся к несущей плите. В выступах 9 закреплены шпильки 10, которые могут свободно перемещаться в прорези 8 ребра 7. При закрытии пресс-формы

наклонные поверхности выступов 9 воздействуют на выступы 6, обеспечивая радиальное перемещение секторов. При открытии пресс-формы посредством шпилек 10 осуществляется радиальный отвод секторов, шпильками же осуществляется и удерживание секторов при их подъеме.

Секторная пресс-форма двухфазного действия с пружинным механизмом управления была создана и отечественным разработчиком – ОАО «НИИШИНМАШ» (рис. 4.19).

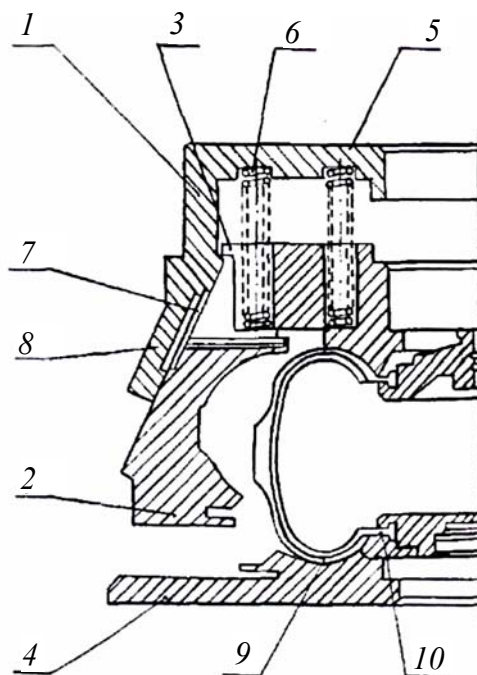


Рис. 4.19. Секторная пресс-форма

двухфазного действия, разработанная ОАО «НИИШИНМАШ»:

- 1 – стойка стяжного конусного кольца; 2 – сектор; 3 – полуформа верхняя;
- 4 – полуформа нижняя; 5 – фланец стяжного кольца; 6 – пружина;
- 7 – направляющая; 8 – конус стяжного кольца; 9 – крышка; 10 – диафрагма

Пресс-форма работает следующим образом. После расправления диафрагмы в полости невулканизированной крышки верхняя паровая камера вулканизационного пресса типа «бег-о-матик» со стяжным конусным кольцом 8 и верхней полуформой 3 начинают двигаться вниз.

При касании верхнего бортового кольца пресс-формы борта крышки осуществляется сближение бортов последней. Фиксация бортов крышки до положения, соответствующего раствору бортов вулканизированной шины (рис. 4.20), осуществляется в результате соприкосновения нижних торцов секторов 2 на поверхность нижней

полуформы 4 и поверхности корпуса верхней полуформы на верхние торцы секторов (1-я фаза работы пресс-формы).

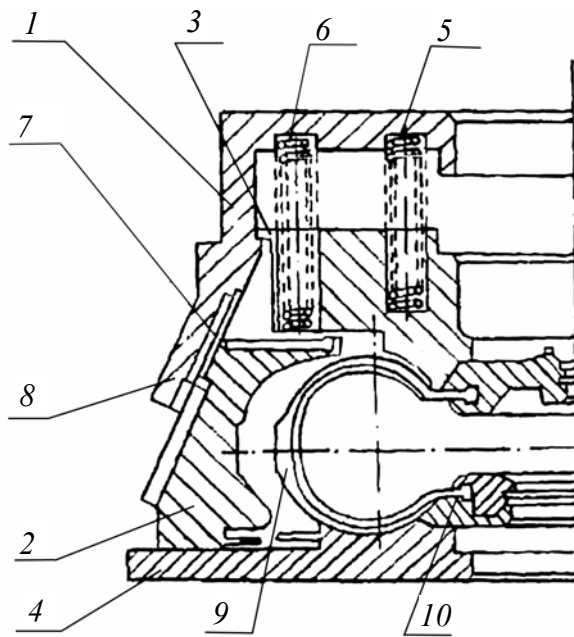


Рис. 4.20. Фиксация бортов невулканизированной покрышки в положении, соответствующем раствору бортов вулканизированной шины:

1 – стойка стяжного конусного кольца; 2 – сектор; 3 – полуформа верхняя; 4 – полуформа нижняя; 5 – фланец стяжного кольца; 6 – пружина; 7 – направляющая; 8 – конус стяжного кольца; 9 – покрышка; 10 – диафрагма

Движение секторов на опрессовку протектора задерживается усилием пружин 6. В этом положении на торцы секторов действует начальное усилие пружин без усилия давления формования покрышки.

Среди секторных пресс-форм двухфазного действия с гидравлическим механизмом управления к классическим вариантам может быть отнесена конструкция фирмы «AZ» (рис. 4.21), являющаяся пресс-формой контейнерного типа.

Пресс-форма состоит из стяжного конического кольца 1, восьми секторов 2 со сменными профильными вкладышами 7 (наружный диаметр секторов одинаков для нескольких типоразмеров шин), верхней плиты 3 со сменной верхней полуформой 4, нижней плиты 5 со сменной нижней полуформой 6, Т-образной направляющей 8 и Т-образного поводка 9, упора 10, накладки из самосмазывающегося материала 11, верхнего 12 и нижнего 13 бортовых колец. Пресс-форму отличает высокая степень унификации, т.е. все детали, кроме позиций 4, 6, 7, и 10, являются одинаковыми для всех типоразмеров легковых шин.

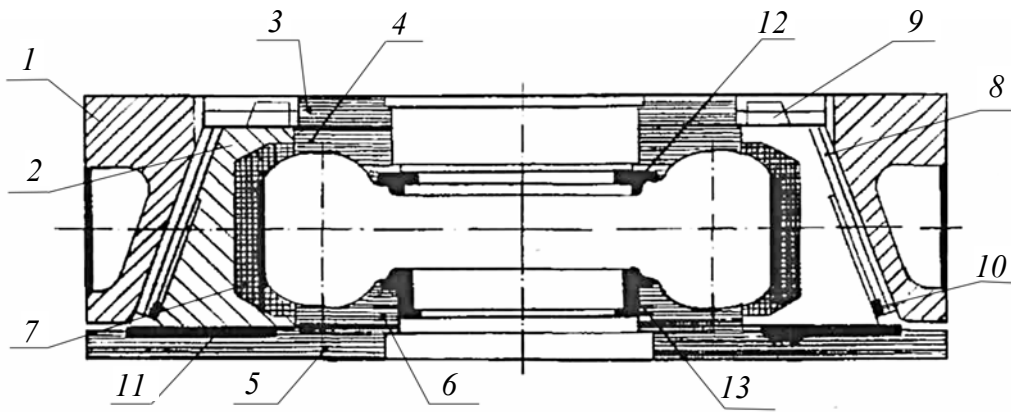


Рис. 4.21. Секторная пресс-форма двухфазного действия с гидравлическим приводом фирмы «AZ»

Управление пресс-формой осуществляется посредством гидравлического привода, установленного в верхней части вулканизационного пресса. При закрытии пресса гидроцилиндр обеспечивает фиксацию бортов шины и последующее радиальное сведение секторов посредством стяжного конусного кольца.

Секторная пресс-форма двухфазного действия с гидравлическим механизмом управления фирмы «Пирелли» (рис. 4.22) также является контейнерной. Контейнер состоит из верхней 1 и нижней 2 нагревательных плит, стяжного конусного кольца 3 и восьми секторов 4 (со сменными профильными вкладышами 5).

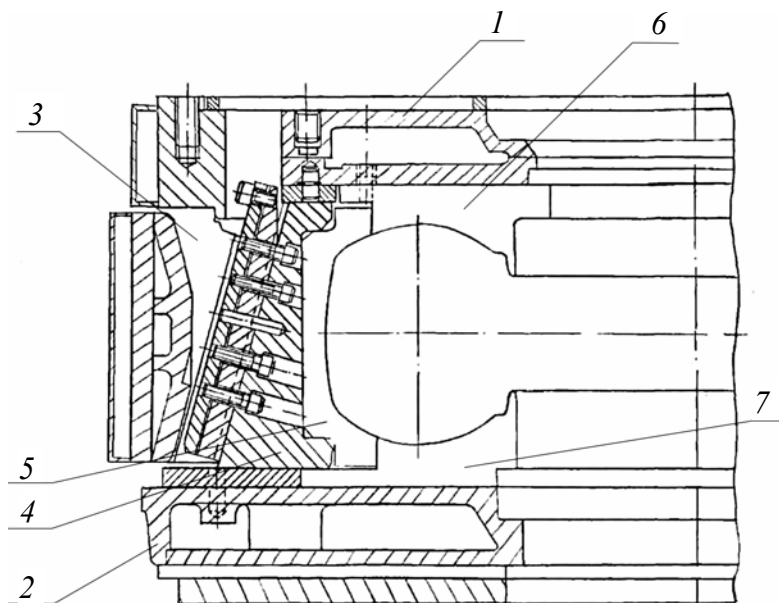


Рис. 4.22. Секторная пресс-форма двухфазного действия с гидравлическим механизмом управления фирмы «Пирелли»

Верхняя нагревательная плита 1 крепится к траверсе вулканизационного пресса, а верхняя полуформа б винтами крепится к плите и удерживается в раскрытом положении двумя поршнями гидравлических цилиндров, которые противодействуют распорному усилию формования при закрывании пресс-формы и обеспечивают разведение секторов при открытии вулканизационного пресса.

Нижняя нагревательная плита устанавливается на станине и к ней крепится нижняя полуформа 7.

Стяжное конусное кольцо (или нагревательный конус) с внутренней стороны имеет форму восьмигранника и контактирует с внешними сторонами секторов по плоскостям, что исключает перекосы секторов при смыкании и задиры поверхностей.

Смыкание элементов секторной пресс-формы осуществляется автоматически с закрытием вулканизационного пресса. При этом сцентрированная верхняя полуформа опускается до положения, которое она занимает при вулканизации покрышки, а затем к центру по наклонным плоскостям и плоскостям скольжения перемещаются секторы до полного закрытия пресс-формы. По всем плоскостям скольжения установлены съемные антифрикционные пластины (накладки) для исключения заклинивания трущихся поверхностей.

Как и большинство рассмотренных в данном разделе конструкций секторных пресс-форм двухфазного действия, пресс-форма фирмы «Пирелли» имеет отдельный зонный обогрев протекторной части и боковых стенок покрышки. Отличительной особенностью данной пресс-формы является то, что во время перезарядки вулканизационного пресса подача греющего пара в нагревательный конус не прекращается.

Для отвода воздуха между покрышкой и элементами формообразующих поверхностей на пресс-форме выполнено специальное технологическое оформление – цепочки отверстий (рис. 4.23), расположенных по касательным в рисунке протектора в его тонких ножевых элементах и воздухоотводящих каналах, также находящихся в рисунке протектора и по боковым стенкам, выполненных перпендикулярно формообразующей поверхности. В эти каналы запрессовываются конические вставки. Помимо воздухоотводящих каналов технологическое оформление боковых стенок включает в себя и систему воздухоотводящих рисок (рис. 4.24).

Секторная пресс-форма двухфазного действия с гидравлическим механизмом управления и отдельным зонным обогревом была разработана и в НИИШП (рис. 4.25).

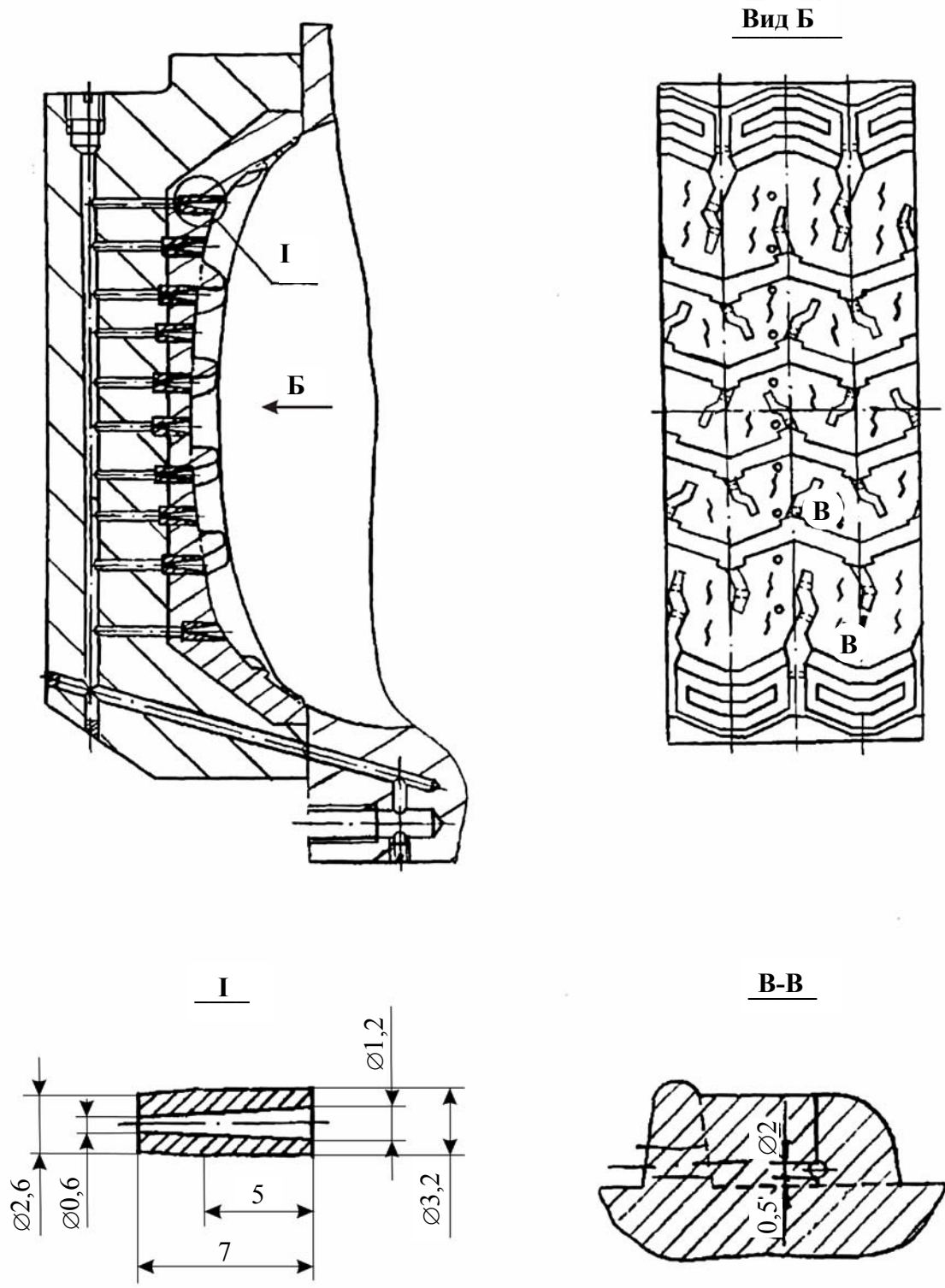


Рис. 4.23. Специальное технологическое оформление, выполненное на поверхности пресс-формы

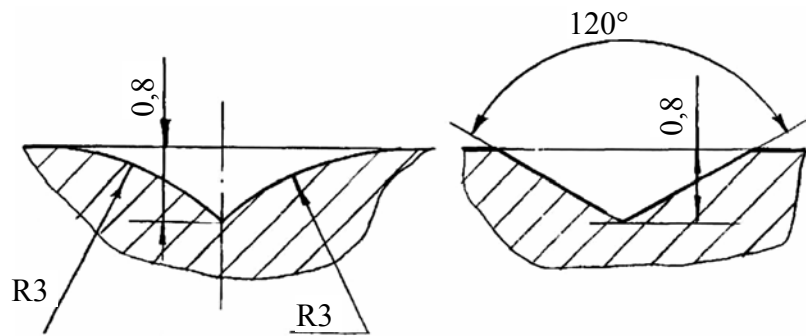


Рис. 4.24. Воздухоотводящие риски

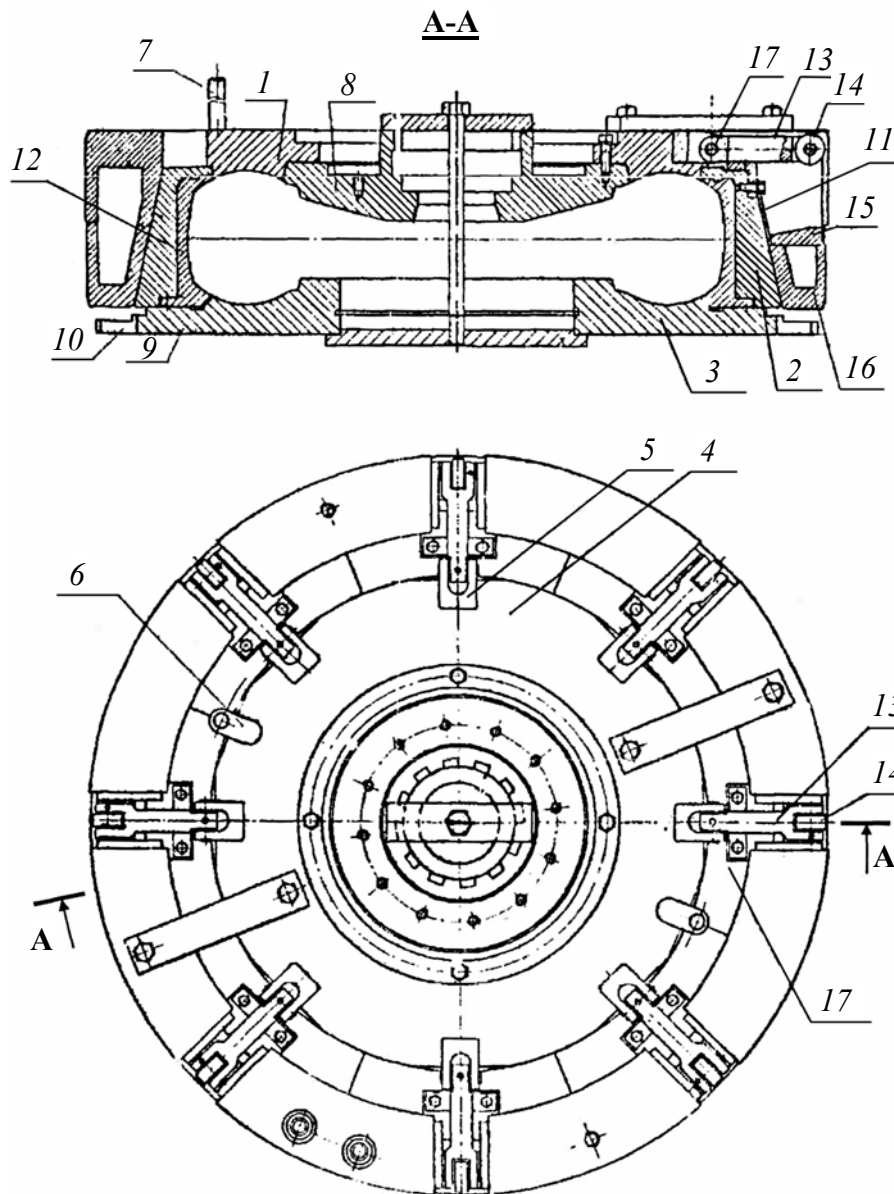


Рис. 4.25. Секторная пресс-форма двухфазного действия с гидравлическим механизмом управления и зонным обогревом, разработанная НИИШП

Пресс-форма состоит из верхней 1 и нижней 3 полуформ, восьми секторов 2 с алюминиевыми вкладышами 12, скрепленными винтами 11. На верхнем торце и конусной поверхности корпусов секторов выполнены фрезерованные канавки для крепления рычагов 13, которые предназначены для разведения секторов при открывании пресс-формы. На наружных концах рычагов 13 установлены ролики 14, взаимодействующие с упорами 15 в окнах стяжного конусного кольца 16 при разведении секторов. Внутренние концы рычагов скреплены с помощью осей 17 с верхней полуформой.

Верхняя полуформа включает в себя корпус 4, к которому приварены восемь пар ушков 5 для крепления секторов и два ушка 6 для крепления направляющих 7. В центральной части корпуса выполнена конусная расточка для установки верхнего бортового кольца 8.

Нижняя полуформа включает в себя корпус 9, к которому приварены четыре лапы 10 для крепления полуформ. В центральной части корпуса выполнено отверстие для установки диафрагмы и системы ее приема.

Стяжное конусное кольцо 16 предназначено для радиального перемещения и запираения секторов, а также для их обогрева при вулканизации покрышки.

Кольцо имеет в верхней части восемь пазов, в которых размещаются рычаги секторов и взаимодействующие с ними упоры. Стяжное конусное кольцо на нижнем торце имеет два отверстия: через одно в полость подается пар, а через другое сливается конденсат. Отверстия отделены друг от друга ребром. Кроме этого, в стяжное конусное кольцо вварены два патрубка: через один патрубок подается греющий пар в верхнюю нагревательную плиту, а через другой сливается конденсат из верхней нагревательной плиты и подается пар в нижнюю нагревательную плиту.

На верхней полуформе смонтированы цилиндрические направляющие 7, которые устанавливаются в отверстиях верхней части вулканизационного элемента и служат для исключения поворота полуформ с секторами при их аксиальном перемещении.

На рис. 4.26 приведена секторная пресс-форма двухфазного действия фирмы «Данлоп».

Она состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, восьми секторов 3 и стяжного конусного кольца 4. Отличительной конструктивной особенностью этой пресс-формы является наличие наклонно расположенных пальцев 5, закрепленных в стяжном конусном кольце и свободно проходящих через отверстия в секторах. Пресс-форма

снабжена силовым гидравлическим цилиндром 6 со штоком 7, жестко соединенным с верхней полуформой. Пальцы 5 наклонены к оси пресс-формы под одним и тем же углом. При открытии вулканизационного пресса в надпоршневую полость подается гидравлика под давлением, стяжное конусное кольцо с пальцами поднимается, в результате чего радиально перемещаются сектора, освобождая рисунок протектора шины. Ограничителем радиального перемещения секторов являются упоры, выполненные на нижних концах пальцев 5. При дальнейшем подъеме секторов вместе со стяжным конусным кольцом в крайнее верхнее положение, сектора «зависают» на этих упорах. Закрытие пресс-формы осуществляется в обратной последовательности.

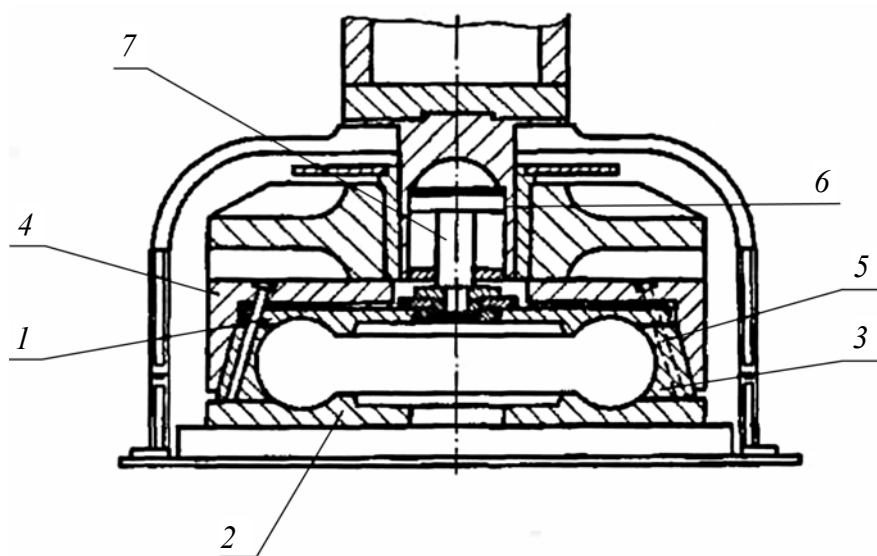


Рис. 4.26. Секторная пресс-форма двухфазного действия фирмы «Данлоп»

Что касается гидравлического механизма управления секторной пресс-формой двухфазного действия, то существует несколько вариантов его исполнения. В частности, представляет интерес гидравлический цилиндр телескопической конструкции (рис. 4.27), который, сначала, плунжером 1 осуществляет фиксацию бортов невулканизированной покрышки, а затем плунжером 2 – фиксацию боковых стенок покрышки.

Секторным пресс-формам двухфазного действия с пружинным механизмом управления присущи следующие недостатки:

- снижаются возможности вулканизационного пресса в части ассортимента изготавливаемых шин;
- торцы секторов испытывают очень большие усилия, увеличивающиеся при их перемещении с первоначального до конечного

положений. Возникающие усилия оказывают отрицательное влияние на работоспособность и долговечность пресс-форм. Кроме этого, большие усилия при эксплуатации пресс-формы обуславливают образование задиров торцевых и конусных поверхностей, что, в конечном итоге, приводит к заклиниванию секторов;

– конструктивные решения, основанные на использовании пружинного механизма управления, не являются оптимальными, т.к. при ведении процесса формования и закрытия пресс-формы (опрессовка покрышки) колебания давления в диафрагме могут превышать расчетное суммарное усилие пружин, воспринимающих распорное усилие на бортовую зону покрышки, вследствие чего возможно искажение второй фазы работы пресс-формы, т.е. процесс опрессовки покрышки может начаться раньше окончательной фиксации бортов покрышки по высоте;

– в связи с тем, что призматические направляющие конструктивно не могут быть выполнены так, чтобы обеспечить «перекрытие» сектора на всем протяжении его перемещения, в начальный момент сближения секторов радиальная составляющая силы воздействия стяжного конусного кольца на сектор приложена к его верхней части, а сила сопротивления перемещению, обусловленная трением по поверхности контактирующей с нижним торцом сектора, направлена в противоположную сторону. В результате создается пара сил, образующая, так называемый, опрокидывающий момент. Повышение сопротивления за счет создаваемого опрокидывающего момента в наклонных направляющих вызывает увеличение усилия, необходимого для прижатия сектора к опоре, что увеличивает трение по контактирующим поверхностям и также приводит к образованию задиров. Таким образом, для секторных пресс-форм двухфазного действия с верхним расположением секторов, оснащенных пружинным механизмом управления, образование задиров на трущихся поверхностях является не случайным, а закономерным явлением (если не применять компенсирующих приемов и решений).

Следует отметить, что в секторных пресс-формах двухфазного действия с верхним расположением секторов, имеющих гидравлический механизм управления секторами, наклонные направляющие работают в лучших условиях.

Сопротивление радиальному перемещению секторов почти одинаково и на верхнем, и на нижнем торцах, поэтому опрокидывающий момент, действующий на сектор, значительно меньше, однако, полностью не исключен. Поэтому при эксплуатации пресс-форм необходимо применение смазки или специальных антифрикционных материалов.

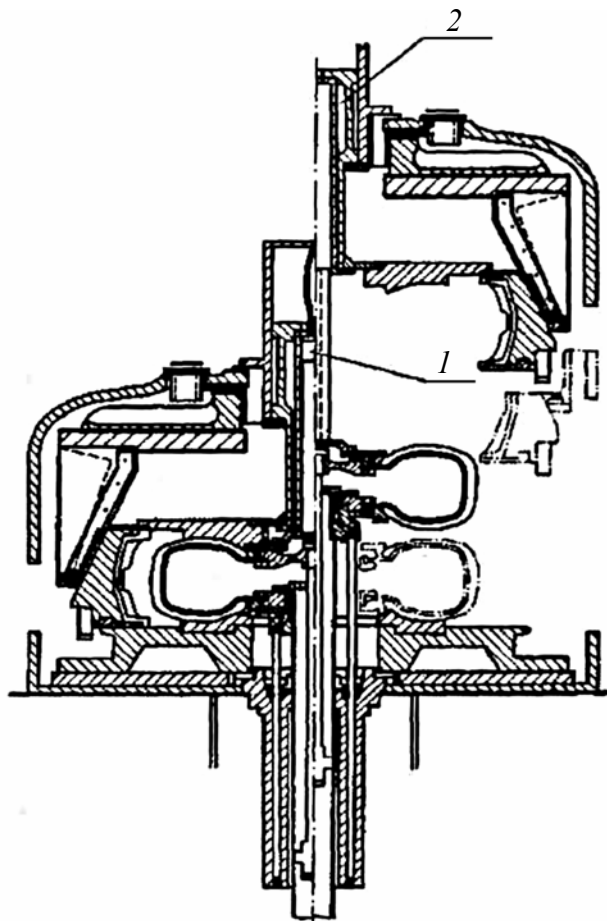


Рис. 4.27. Гидравлический механизм управления секторной пресс-формой: гидроцилиндр телескопической конструкции

К недостаткам секторных пресс-форм с гидравлическим механизмом управления можно отнести:

- высокую чувствительность к перекосам траверсы (или балки) вулканизационного пресса, на которой монтируется гидравлический цилиндр;

- наличие в гидравлическом цилиндре труднодоступных уплотнений.

Как следует из выше изложенного, одним из определяющих факторов, влияющим на работоспособность секторной пресс-формы двухфазного действия, являются силы трения, прямо пропорционально зависящие от нагрузок, которые действуют на торцы секторов, на которые опираются и фиксируются полуформы и бортовые кольца пресс-формы.

Для снижения коэффициента трения между деталями секторной пресс-формы применяются:

– специальные смазки, которые должны быть термостойкими (до 200°C), не смываться конденсатом, легко наноситься на труднодоступные части пресс-формы и иметь продолжительный срок службы;

– антифрикционные (самосмазывающиеся) и износостойкие накладки;

– изготовление отдельных деталей пресс-формы из антифрикционных материалов;

– технические решения по замене трения скольжения на трение качения; конструктивные изменения пресс-форм, обеспечивающие исключение нагрузок на торцы секторов.

Наиболее перспективным признано использование антифрикционных материалов, о чем более подробно будет изложено в подразделе 4.4. Здесь в качестве примера рассмотрим два направления по снижению коэффициента трения.

Для уменьшения трения между деталями секторной пресс-формы посредством замены трения скольжения на трение качения можно использовать подпружиненные ролики, устанавливаемые на торцах секторов (рис. 4.28). Это усовершенствование усложняет конструкцию пресс-формы, но дает положительный результат по снижению трения.

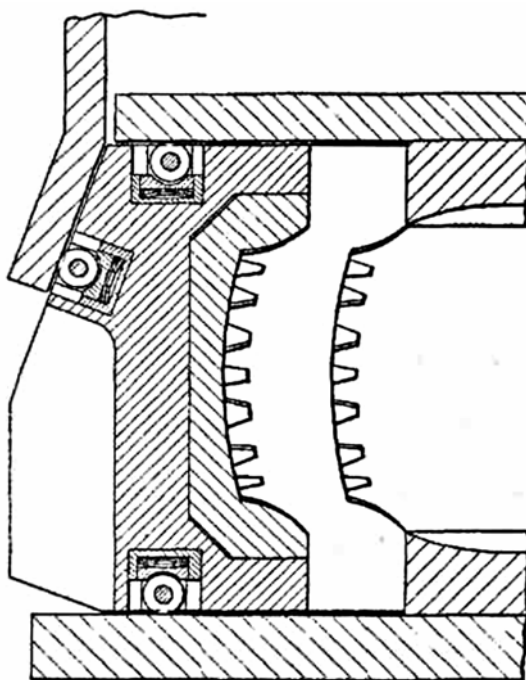


Рис. 4.28. Секторная пресс-форма с подпружиненными роликами

Для исключения нагрузок на торцы секторов могут быть использованы два варианта конструкции для секторной пресс-формы, приведенные на рис. 4.29.

Пресс-форма содержит верхнюю 1 и нижнюю 2 полуформы, радиально подвижные сектора 3, связанные со сводящим конусным кольцом 4. На верхней полуформе установлены стойки 5, контактирующие с нижней полуформой, когда пресс-форма закрыта. При этом стойки имеют возможность вертикального перемещения относительно верхней полуформы и сделаны с упором 6 на верхнем торце для взаимодействия с механизмом управления верхней полуформой. Механизм управления верхней полуформой может быть выполнен в виде цилиндрических пружин 7, размещенных между плоской частью стяжного конусного кольца и верхней полуформой и взаимодействующих верхними торцами с плоской частью стяжного конусного кольца, а нижними торцами – с упорами стоек 6.

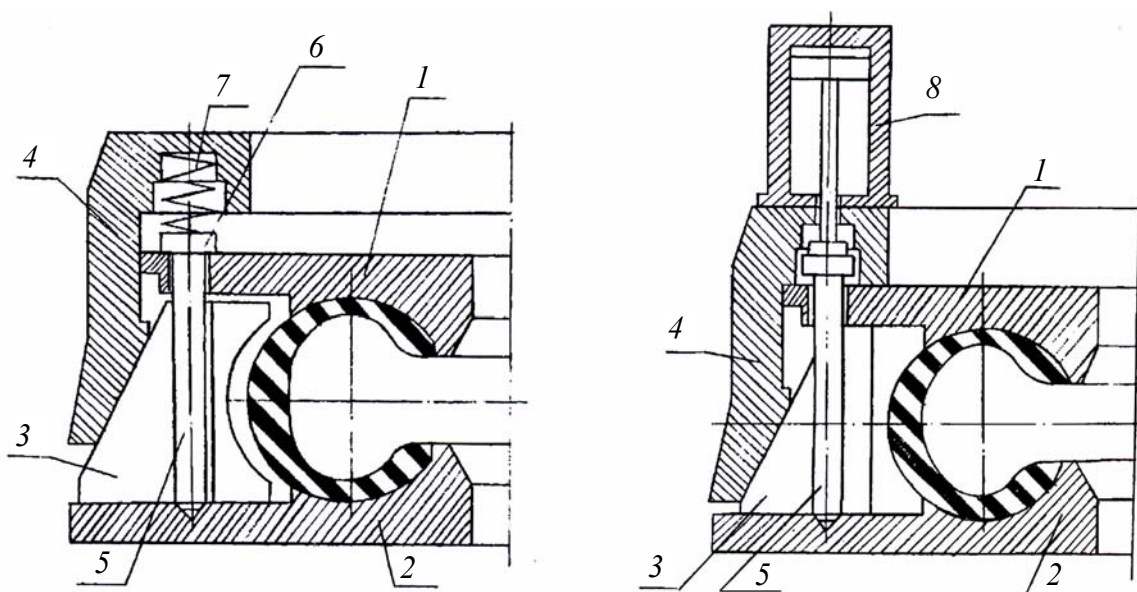


Рис. 4.29. Варианты секторных пресс-форм с уменьшенными нагрузками на торцы секторов

Кроме этого, механизм управления верхней полуформой может быть выполнен в виде гидроцилиндров 8, смонтированных на плоской части стяжного конусного кольца.

Установка стоек на верхней полуформе с возможностью вертикального перемещения и взаимодействие их с механизмом управления верхней полуформой позволяет существенно снизить усилия трения по торцевым и коническим поверхностям пресс-форм.

4.4. Основные материалы, применяемые в пресс-формах, и некоторые особенности их изготовления

До недавнего времени наиболее сложная часть пресс-формы, формирующая рисунок протектора (вкладыши или целикомый сектор), изготавливалась по литейной технологии, зачастую с последующей электроэрозионной обработкой на специальных электроискровых и электроимпульсных станках [61, 65, 79–80].

В последние годы для повышения эффективности производства пресс-форм, в первую очередь, для сокращения их стоимости, изготовители пресс-форм пришли к необходимости создания технологии прямого получения (гравирования) рисунка протектора в металле на специальных пятиосных фрезерных станках.

По мнению специалистов фирмы «AZ» пресс-формы для легковых шин, изготовленные с гравированным рисунком протектора непосредственно в пресс-форме, отличаются прочностью и экономичностью, но имеются ограничения по количеству щелевых прорезей. Поэтому для пресс-форм с большим количеством щелевых прорезей в рисунке протектора, например, для «зимних рисунков» более экономичным является использование литейной технологии. Для пресс-форм грузовых шин изготовление рисунка протектора фрезерованием в стали является более предпочтительным. Однако, в случае применения алюминиевого сплава или чугуна, лучше использовать литейную технологию.

Сектора пресс-формы (с нанесенным рисунком протектора или без рисунка) изготавливаются из стали или чугуна, т.е. из материалов, имеющих близкие прочностные свойства. Для справки: прочность стали равна 45–55 кгс/мм, а чугуна – 30–35 кгс/мм. При этом обычно используется или серый чугун (с графитом пластинчатой формы), или модифицированный чугун (с графитом шаровидной формы). Последний отличается лучшим скольжением. Рисунок протектора в стали исполняется фрезерованием, а в чугуне – по литейной технологии.

Вкладыши изготавливаются из стали (фрезерованием), чугуна и алюминиевых сплавов (по литейной технологии). При этом, применение алюминиевых сплавов превалирует, хотя им присущ ряд недостатков. В среде перегретого пара из-за образования гальванической пары «сталь – алюминий» ускоряется окисление алюминия и снижается ресурс пресс-формы. Кроме этого, алюминий менее износостойчив по сравнению со сталью и чугуном к механическим воздействиям со стороны массива резины и при чистках пресс-форм. Более предпочтительным материалом для вкладышей видится чугун, который имеет высокие антиадгезионные

свойства за счет выделения графита из кристаллической решетки на поверхность, что облегчает выемку шины из пресс-формы и снижает расход смазки, наносимой на поверхность пресс-формы.

Полуформы преимущественно изготавливают из стали, реже – из модифицированного чугуна и специальных сплавов алюминия. Применяемая сталь имеет достаточно высокое содержание серы (0,09–0,12%), что обеспечивает высокую чистоту обработки. К преимуществам полуформ из специальных алюминиевых сплавов относят их высокую теплопроводность, что позволяет сократить продолжительность вулканизации шин. Для справки: теплопроводность, измеряемая в кал/ч·см·°С, у алюминия равна 0,48; у стали – 0,12–0,3; у чугуна – 0,12–0,15. Кроме этого, хорошая обрабатываемость алюминиевых сплавов позволяет получать формообразующую поверхность высококачественного качества, а малый вес пресс-форм облегчает их монтаж и демонтаж.

При изготовлении пресс-форм довольно часто практикуется специальная обработка их деталей с целью упрочнения, улучшения скользящих свойств и антикоррозионной защиты. В частности, фирма «AZ» использует способы обработки деталей пресс-формы, приведенные в таблице.

**Обработка деталей пресс-форм с целью их упрочнения,
улучшения скользящих свойств и для антикоррозионной защиты**

Детали пресс-формы	Используемый металл	Способ обработки металла	Получаемый результат
Секторы Стяжное конусное кольцо Нагревательные плиты	Модифицированный чугун	Газопламенная закалка Индукционная закалка	Повышение твердости
Секторы	Модифицированный чугун	Азотирование	Повышение твердости
Вкладыши Поверхности скольжения Бортовые кольца	Сталь Модифицированный и серый чугун Алюминий	Твердое хромирование Твердое никелирование (AL)	Повышение твердости и антикоррозионная защита
«Затылочная» часть вкладышей Поверхности скольжения	Алюминий	Плазменное покрытие	Повышение твердости
Бортовые кольца Нагревательные плиты	Сталь Чугун	Кадмирование Фосфатирование	Антикоррозионная защита

Поверхность трения торцов секторов пресс-формы оформляется различными антифрикционными (самосмазывающимися) пластинами (накладками). В качестве материала используются: металлофторопласт, олово-бронза/графит, алюминий-бронза, термически улучшенная сталь и др.

Антифрикционные материалы также используются при изготовлении Т-образных направляющих планок (поводков) и Т-образных направляющих. В странах СНГ поводки и направляющие, обычно, изготавливают из бронзы и латуни. Эти материалы уменьшают трение и помогают избавиться от заклинивания секторов. Однако идеальными антифрикционными материалами бронзу и латунь считать нельзя, т.к. они имеют недостаточно низкий коэффициент трения и не износостойки. Кроме этого, недостаточная прочность и твердость заставляют конструкторов пресс-форм проектировать направляющие больших размеров, что ведет к увеличению габаритов и металлоемкости пресс-форм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шутилин, Ю. Н. Справочное пособие по свойствам и применению эластомеров / Ю. Н. Шутилин. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2003. – 870 с.
2. Кузьминский, А. С. Физико-механические основы получения, переработки и применения эластомеров / А. С. Кузьминский, С. М. Кавун, В. П. Кирпичев. – М.: Химия, 1976. – 213 с.
3. Кошелев, Ф. Ф. Общая технология резины / Ф. Ф. Кошелев, А. Е. Корнев, Н. С. Климов. – 3-е изд. – М.: Химия, 1968. – 560 с.
4. Догадкин, Б. А. Химия эластомеров / Б. А. Догадкин, А. А. Донцов, В. А. Шершнева. – 2-е изд. – М.: Химия, 1981. – 374 с.
5. Бартенев, Г. М. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов / Г. М. Бартенев, Ю. С. Зуев. – М.: Химия, 1980. – 288 с.
6. Федюкин, Д. Л. Технические и технологические свойства резин / Д. Л. Федюкин, Ф. А. Махлис. – М.: Химия, 1985. – 240 с.
7. Лоев, А. М. Ускоренное прогнозирование прочности и долговечности технических резин / А. М. Лоев, Ю. В. Зеленев // Пластические массы. – 1986. – № 11. – С.13–15.
8. Science and Technology of Rubber / ed. by F. R. Eirich. – New York: Academic Press, 1978. – 670 p.
9. Усиление эластомеров: сб. ст. / под ред. Дж. Крауса. – М.: Химия, 1968. – 484 с.
10. Бартенев, Г. М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Г. М. Бартенев. – М.: Химия, 1984. – 280 с.
11. Рудницкий, В. А. Испытание эластомерных материалов методами индентирования / В. А. Рудницкий, А. П. Крень. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 227 с.
12. Алфей, Т. Механические свойства высокополимеров / Т. Алфей. – М.: Издательство, 1971. – 354 с.
13. Бленд, Д. Теория линейной вязкоупругости / Д. Бленд. – М.: Химия, 1978. – 224 с.
14. Lakes, R. S. Viscoelastic solids / R. S. Lakes. – Boca Raton CRC press Corp., 1999. – 476 p.
15. Гольберг, И. И. Механическое поведение полимерных материалов / И. И. Гольберг. – М.: Химия, 1970. – 192 с.
16. Ильюшин, А. А. Прочность, пластичность и вязкоупругость материалов и конструкций: сб. науч. тр. / А. А. Ильюшин. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. – 141 с.

17. Бородин, Н. А. Соппротивление материалов / Н. А. Бородин – М.: Дрофа, 2001. – 285 с.
18. Уржумцев, Ю. С. Физика и механика полимеров / Ю. С. Уржумцев. – Якутск: ЯГУ, 1989. – 171 с.
19. Работнов, Ю. Н. Теория ползучести / Ю. Н. Работнов. – М.: Наука, 1966. – 344 с.
20. Бартенев, Г. М. Структура и релаксационные свойства эластомеров / Г. М. Бартенев. – М.: Химия, 1979. – 288 с.
21. Praulitis, E. R. Elastomers. Criteria for Engineering Design / E. R. Praulitis. – London: Applied Science Publishers, 1979. – 476 p.
22. Aklonis, J. J. Introduction to polymer viscoelasticity / J. J. Aklonis, W. J. MacKnight, M. Sven. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1972. – 249 p.
23. Джонсон, К. Механика контактного взаимодействия: пер. с англ. / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
24. Крень, А. П. Развитие метода динамического индентирования для неразрушающего контроля вязкоупругих материалов: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / А. П. Крень. – Минск, 2002. – 175 л.
25. Резина. Метод определения твердости по Шору А: ГОСТ 263–75. – Введ. 21.01.75. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
26. Резина. Метод определения твердости в международных единицах: ГОСТ 20403–75. – Введ. 06.01.75. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 10 с.
27. Kucherskij, A. M. A promising method for measuring hardness of rubber / A. M. Kucherskij // Polymer Testing. – 1997. – No. 16. – P. 481–490.
28. Rebon, G. The New Rubber Hardness Testing / G. Rebon // The Rubber Age. – 1939. – № 29. – P. 240–242.
29. Testing instruments catalog [Электронный ресурс] / Paul Gardner Co. – Режим доступа: <http://www.enegprom.ru/qa/81.2.html>. – Дата доступа: 20.10.2009.
30. Physical Testing of Rubber. Methods for the Determination of Hardness: ISO 48. 1994: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=41350. – Дата доступа: 21.10.2009.
31. Донцов, А. А. Процессы структурирования эластомеров / А. А. Донцов. – М.: Химия, 1978. – 287 с.
32. Derham, C. J. Vulcanizations rubber aspects / C. J. Derham // NR Technol. – 1975. – Vol. 6, No. 3. – P. 41–51.
33. Ван Кревелен, Д. В. Свойства и химическое строение полимеров: пер. с англ. / Д. В. Ван Кревелен; под ред. А. Я. Малкина. – М.: Химия, 1976. – 414 с.

34. Печковская, К. А. Сажа как усилитель каучука / К. А. Печковская. – М.: Химия, 1978. – 276 с.
35. Бартенев, Г. М. Прочность и разрушение высокоэластических материалов / Г. М. Бартенев, Ю. С. Зуев. – М.: Химия, 1964. – 387 с.
36. Гуль, В. Е. Структура и прочность полимеров / В. Е. Гуль. – 2-е изд. – М.: Химия, 1971. – 344 с.
37. Догадкин, Б. А. Улучшение технологических свойств резиновых смесей / Б. А. Догадкин, Д. Л. Федюкин, В. Е. Гуль // Коллоид. ж. – 1957. – Т. 19, № 3. – С. 287–292.
38. Ezzio, D. Rubber testing / D. Ezzio // *Rubb. World*. – 1963. – Vol. 148, № 12. – P. 66–69.
39. Резниковский, М. М. Механические испытания каучука и резины / М. М. Резниковский, А. И. Лукомская. – М.: Химия, 1968. – 500 с.
40. Скотт, Дж. Р. Физические испытания каучука и резины: пер. с англ. / Дж. Р. Скотт; под ред. М. М. Резниковского и Л. С. Присса. – М.: Химия, 1968. – 316 с.
41. Brown, R. P. *Physical Testing of Rubber* / R. P. Brown. – London: Applied Science Publishers, 1979. – 327 p.
42. Beatty, J. R. The possibilities of mobile hardness testing / J. R. Beatty, M. L. Studebaker // *Rubb. Age*. – 1975. – Vol. 107, № 8. – P. 20–35.
43. Studebaker, M. L. Portable hardness testing – principal and applications / M. L. Studebaker, J. R. Beatty // *Elastomerics*. – 1977. – Vol. 109, No. 10. – P. 41–47; № 11. – P. 25–32.
44. Александров, А. П. Высокоэластические свойства эластомеров / А. П. Александров, Ю. С. Лазуркин // *ЖТФ*. – 1939. – № 9. – С. 1249.
45. Труды первой и второй конференции по высокомолекулярным соединениям: сборник / А. П. Александров. – Изд. АН СССР, 1945.
46. Аскадский, А. А. Деформация полимеров / А. А. Аскадский. – М.: Химия, 1973. – 448 с.
47. Блюменауэр, Х. Испытание материалов / Х. Блюменауэр. – М.: Металлургия, 1979. – 448 с.
48. Вулканизация эластомеров: пер. с англ. / под ред. Г. Аллигера и И. Съетуна. – М.: Химия, 1967. – 428 с.
49. Meyer, D. A. Creep and recovery of EPDM elastomer using a modified sandwich rheometer / D. A. Meyer, J. G. Sommer // *Rubb. Chem. Technol.* – 1971. – Vol. 44, No. 1. – P. 258–270.
50. Sircar, A. K. Academic rheology and industrial rheology / A. K. Sircar, T. G. Lamond // *Rubber chemistry and technology*. – 1975. – Vol. 48, No. 1. – P. 79–88.

51. Qi, H. J. The intrinsic inelasticity of plates / H. J. Qi, K. Joyce, M. C. Boyce // *Rubber chemistry and technology*. – 2003. – Vol. 76. – P. 419–435.
52. Крень, А. П. Определение вязкоупругих параметров резин методом динамического индентирования с использованием нелинейной модели деформирования / А. П. Крень, В. А. Рудницкий, И. Г. Дейкун // *Каучук и резина*. – 2004. – № 6. – С. 19–23.
53. Karas, G. C. Some experiments on anelastic rebound / G. C. Karas // *British plant*. – 1964. – V. 37, № 2. – P. 59–62.
54. Karas, G. C. The intrinsic inelasticity of plates / G. C. Karas // *Warburton V. Plastica Inst. Trans. and J.* – 1962. – V. 30, No. 87. – P. 198–210.
55. Толмачёва, М. Н. Особенности процессов релаксации резин / М. Н. Толмачёва // *Механика полимеров*. – 1972. – № 5. – С. 909–911.
56. Бартенев, Г. М. Релаксационные свойства эластомеров / Г. М. Бартенев // *ДАН СССР*. – 1952. – Т. 84, № 1. – С. 487–490.
57. Автомобильные шины / В. Л. Бидерман [и др.]. – М.: Гос. науч.-техн. изд. хим. литературы, 1963. – 384 с.
58. Пневматические шины / С. М. Цукерберг [и др.]. – М.: Химия, 1973. – 264 с.
59. Кнороз, В. И. Шины и колеса / В. И. Кнороз, Б. В. Кленников. – М.: Машиностроение, 1975. – 182 с.
60. Кнороз, В. И. Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз. – М.: Транспорт, 1976. – 256 с.
61. Ильясов, Р. С. Шины. Некоторые проблемы эксплуатации и производства / Р. С. Ильясов [и др.]. – Казань: ГТУ, 2000. – 576 с.
62. Работа автомобильной шины / под ред. В. И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
63. Тарковский, В. Н. Как увеличить пробег шин / В. Н. Тарковский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1993. – 89 с.
64. Тарковский, В. Н. Автомобильные шины / В. Н. Тарковский, В. А. Гудков, О. Б. Третьяков. – М.: Транспорт, 1990. – 217 с.
65. Осошник, И. А. Технология пневматических шин / И. А. Осошник, Ю. Ф. Шутилин, О. В. Карманова. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2004. – 508 с.
66. Пичугин, А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин / А. М. Пичугин. – М.: Машиностроение, 2008. – 383 с.
67. Рагулин, В. В. Технология шинного производства / В. В. Рагулин, Л. А. Вольнов. – М.: Химия, 1981. – 264 с.
68. Лепетов, В. А. Расчеты и конструирование резиновых изделий / В. А. Лепетов, Л. Н. Юрцев. – Л.: Химия, 1987. – 408 с.

69. Тамулевич, Г. Д. Приводные ремни / Г. Д. Тамулевич, Г. Г. Бабылев. – М.: Химия, 1990. – 168 с.
70. Красовский, В. Н. Примеры и задачи по технологии переработки эластомеров / В. Н. Красовский, А. М. Воскресенский, В. М. Харчевников. – М.: Химия, 1984. – 240 с.
71. Осошник, И. А. Производство резиновых технических изделий / И. А. Осошник, Ю. Ф. Шутилин, О. В. Карманова. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2007. – 972 с.
72. Пресс-формы для изготовления резинотехнических изделий. Общие технические условия: ГОСТ 14901–93. – Введ. 01.01.1995. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 16 с.
73. Пресс-формы для изготовления резинотехнических изделий. Основные правила эксплуатации и ремонта: ГОСТ 29077–91. – Введ. 01.07.01992. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 35 с.
74. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений: ГОСТ 25346-89. – Введ. 01.01.1990. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 23 с.
75. Ревяко, М. М. Расчет и конструирование пластмассовых изделий и форм / М. М. Ревяко, О. М. Касперович. – Минск: БГТУ, 2002. – 357 с.
76. Гастров, Г. Конструирование литьевых форм в 130 примерах / Г. Гастров. – СПб.: Профессия, 2006. – 336 с.
77. Менгес, Г. Как делать литьевые формы / Г. Менгес, В. Микаэли, П. Морен. – СПб.: Профессия, 2007. – 640 с.
78. Пресс-формы для изготовления резиновых колец круглого сечения. Исполнительные размеры формообразующих деталей: ГОСТ 24513–80. – Введ. 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 37 с.
79. Основы технологии шинного производства / Г. Я. Власов [и др.]. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2002. – 460 с.
80. Бакфиш, К. Новая книга о шинах / К. Бакфиш, Д. Хайнц. – М.: Астрель: АСТ, 2003. – 303 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН КАК КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	4
1.1. Механические свойства резин, определяемые при статическом нагружении.....	5
1.1.1. Упругорелаксационные свойства резин	6
1.1.2. Прочностные свойства резин	16
1.2. Механические свойства резин, определяемые при динамическом нагружении	19
1.2.1. Упругогистерезисные свойства резин.....	20
1.2.2. Усталостнопрочностные свойства резин.....	22
1.3. Применение динамических методов испытаний на практике	23
1.4. Влияние температуры на поведение резин при динамическом воздействии	26
2. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ	30
2.1. Пневматические шины.....	30
2.1.1. Конструкция пневматической шины.....	30
2.1.2. Основные положения при расчете на прочность пневматических шин	31
2.1.3. Расчет геометрических параметров шины по вулканизационной форме	32
2.1.4. Определение конфигурации поддутой покрышки	34
2.1.5. Определение основных габаритных размеров покрышки	35
2.1.6. Определение усилий от внутреннего давления в нитях корда каркаса и брекера.....	35
2.1.7. Расчет усилий в борте шины.....	36
2.1.8. Расчет критической скорости качения пневматической шины диагональной конструкции	37
2.1.9. Расчет критической скорости качения пневматической шины радиальной конструкции	39
2.1.10. Основы проектирования шин. Определение основных конструктивных характеристик шины	40
2.2. Плоские приводные ремни	46

2.2.1. Расчет плоских приводных ремней по полезному усилию	46
2.2.2. Расчет плоских приводных ремней по тяговой способности	49
2.3. Кордшнуровые ремни	49
2.4. Клиновые ремни	50
2.4.1. Расчет клиновых приводных ремней по полезному усилию	51
2.4.2. Расчет клиновых приводных ремней по тяговой способности	52
2.5. Расчет транспортерных лент	52
2.5.1. Расчет по потребляемой мощности и полезному усилию	52
2.5.2. Расчет по максимальному натяжению ленты	54
2.6. Расчет напорных рукавов	55
2.6.1. Расчет поправок	56
2.7. Расчет всасывающих рукавов	58
2.8. Пневматические конструкции. Теоретические основы расчета и конструирования.....	59
2.8.1. Расчет полых резинотекстильных изделий.....	60
2.8.2. Расчет прямой круглой цилиндрической оболочки (пневмобалки)	63
3. ПРЕСС-ФОРМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	64
3.1. Общие положения конструирования пресс-форм. Основы конструирования компрессионных пресс-форм	64
3.1.1. Классификация пресс-форм по видам	64
3.1.2. Основные части пресс-форм.....	66
3.1.3. Требования к конструкции пресс-форм	67
3.1.4. Комплектность пресс-форм	70
3.1.5. Маркировка пресс-форм	71
3.1.6. Требования к материалам	72
3.1.7. Требования к обработке	72
3.1.8. Требования к надежности.....	89
3.1.9. Тепловые расчеты пресс-форм.....	90
3.1.10. Устройство выпрессовочных канавок и вентиляционных каналов пресс-форм.....	94
3.2. Принципы конструирования литьевых форм.....	95

3.3. Расчет усадки и исполнительных размеров формообразующих деталей пресс-форм	99
3.4. Расчет гнестности и размеров формообразующих деталей	105
4. ШИННЫЕ ПРЕСС-ФОРМЫ	107
4.1. Секторные пресс-формы однофазного действия	111
4.2. Секторные пресс-формы двухфазного действия с нижним расположением секторов	113
4.3. Секторные пресс-формы двухфазного действия с верхним расположением секторов	121
4.4. Основные материалы, применяемые в пресс-формах, и некоторые особенности их изготовления	138
ЛИТЕРАТУРА	141

Учебное издание

Мозгалёв Владимир Валерьевич
Липлянин Петр Константинович

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И ФОРМ

Учебно-методическое пособие

Редактор *М. А. Юрасова*
Компьютерная верстка *Д. В. Чернушевич*

Подписано в печать 04.11.2010. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8,7. Уч.-изд. л. 8,9.
Тираж 50 экз. Заказ .

Отпечатано в Центре издательско-полиграфических
и информационных технологий учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.