

**ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СУММАРНОГО СДВИГА
И КРИТЕРИЯ ПОДВУЛКАНИЗАЦИИ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЛИННОМЕРНЫХ
РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА**

М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов*

Рецензент В.Ф. Першин

Ключевые слова и фразы: подвулканизация; резиновая смесь; суммарный сдвиг.

Аннотация: Рассмотрены теоретические основы определения рациональных значений суммарного сдвига при переработке резиновых смесей в формующих каналах экструзионных головок и каналах шнека.

Важное место в переработке полимерных материалов занимают длинномерные резинотехнические изделия (РТИ), массовое производство которых характеризуется повышенными требованиями к качеству.

Технология получения длинномерных изделий на заводах РТИ включает в себя: приготовление резиновой смеси в резиносмесителях (РС), последующее вальцевание для придания ей формы, экструзию профильных заготовок (основная стадия), вулканизацию изделий в вулканизационных котлах, расплавах солей на установках ультравысокой частоты (УВЧ) и др. Существует проблема ухудшения физико-механических показателей экструдата и брака изделий за счет термодеструкции и изменения размеров их поперечного сечения при изменении режимных параметров процесса.

В современных условиях расширяющаяся номенклатура длинномерных РТИ и поиск рецептур новых резиновых смесей приводит к резкому возрастанию объема измерительных исследований по поиску рациональных режимов производства изделий.

Соколов М.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ; Клинков А.С. – кандидат технических наук, профессор кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ; Беляев П.С. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ, г. Тамбов.

Исследования [1, 2] показывают, что качество длинномерных РТИ определяется величиной суммарного сдвига в общем процессе их производства

$$\gamma = \gamma_{PC} + \gamma_B + \gamma_{ш} + \gamma_{\phi},$$

где γ_{PC} – суммарный сдвиг в резиносмесителе роторного типа, значение которого определено в пределах 1400...1600 для наилучшего качества смешения; $\gamma_{ш}$, γ_{ϕ} , γ_B – соответственно значения величин сдвига в каналах шнека, в каналах формирующей головки и при вальцевании.

Причем, существуют рациональные значения величин сдвига $\bar{\gamma}_{ш}$, $\bar{\gamma}_{\phi}$, $\bar{\gamma}_B$, при которых достигаются заданные показатели качества длинномерных РТИ. Поэтому возникает потребность в измерительной аппаратуре, позволяющей определять рациональные значения суммарной величины сдвига перерабатываемых резиновых смесей, обеспечивающих заданное качество длинномерных РТИ. С этой целью спроектировано и изготовлено специальное измерительное устройство (ИУ) для исследования процесса экструзии (рис. 1). Измерительное устройство представляет собой червячную машину с диаметром червяка $D = 0,032$ м, отношением длины нарезки

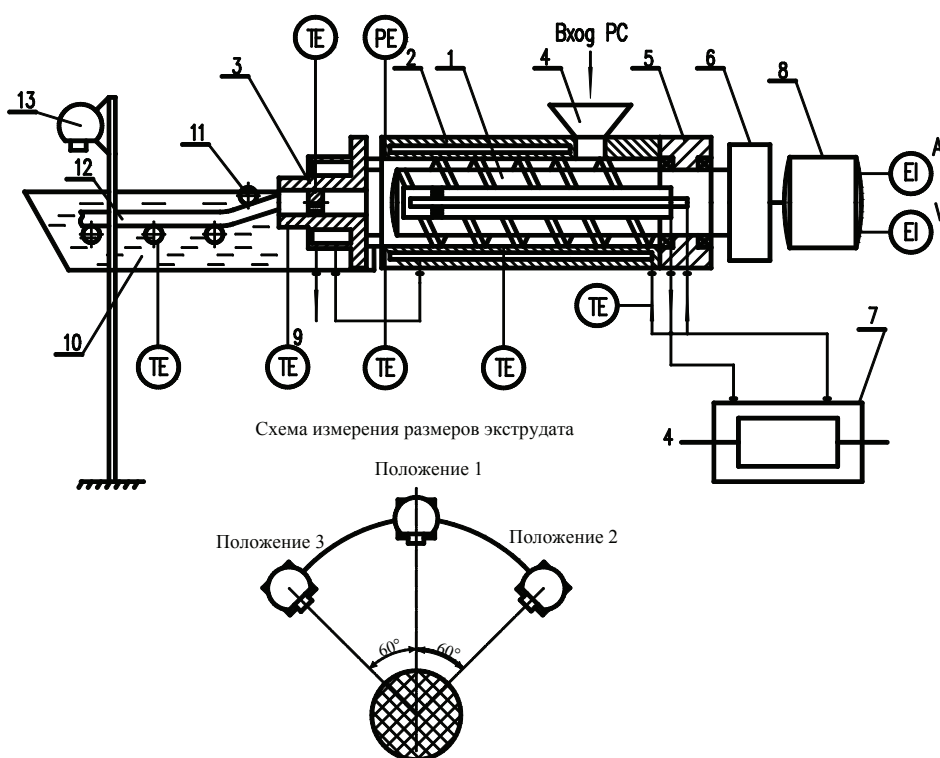


Схема измерения размеров экструдата

Положение 1

Положение 3

Положение 2

Рис. 1. Измерительное устройство для исследования процессов экструзии:

1 – шнек; 2 – цилиндр; 3 – формирующая головка; 4 – загрузочное устройство; 5 – привод шнека; 6 – редуктор; 7 – термостат; 8 – электродвигатель; 9 – дорнодержатель; 10 – ванна с теплоносителем; 11 – прижимные ролики; 12 – экструдат; 13 – цифровая фотокамера; TE – датчики температуры; PE – датчик давления; А – амперметр; V – вольтметр

к диаметру $L/D = 10$, углом наклона его нарезки $\varphi = 17^\circ$, глубиной винтового канала $h = 0,003$ м, шириной гребня $e = 0,0035$ м, зазором между гребнем червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра $\delta_{\text{ц}} = 0,001$ м. Вращение червяка машины происходит от электродвигателя постоянного тока с возможностью регулирования угловой скорости $\omega = 0 \dots 7,85 \text{ с}^{-1}$. ИУ снабжено системой термостатирования цилиндра, червяка, формирующей головки, которая включает термостат, снабженный термопарой и приборами регулирования и контроля температуры теплоносителя (воды). В цилиндре установлена термопара для измерения температуры резиновой смеси. Формирующая головка снабжена датчиком давления и термопарой для измерения давления и температуры резиновой смеси на выходе из канала нарезки червяка, соответственно. Из формирующей головки экструдат попадает в ванну, оснащенную термопарой и прижимными роликами. Ванна содержит теплоноситель (соляной раствор), температура которого равна температуре выхода экструдата из головки $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, а плотность – $1050 \dots 1100 \text{ кг/м}^3$.

Применение данного устройства позволяет исключить влияние сил тяжести и температуры окружающей среды на выходе из формирующей головки на изменение размеров поперечного сечения экструдата. Измерение размеров экструдата осуществлялось с помощью цифровой фотокамеры высокого разрешения (7,2 Мпикс) в трех положениях (см. рис. 1), которая закреплена на штативе.

Управление приводом измерительного устройства осуществляется со щита управления. На щите расположены: амперметр и вольтметр для измерения потребляемого тока и напряжения. Головка оснащена системой термостатирования, на корпусе расположен датчик давления, представляющий собой индикатор часового типа, установленный в обойму с компенсационной пружиной, перемещение которой имеет тарировочную связь с давлением в головке.

Измерение потребляемой мощности в ИУ проводили с помощью вольт-амперной характеристики:

$$N = N_{\text{дв}} - N_{\text{хх}}; \quad N_{\text{дв}} = I_{\text{н}}U; \quad N_{\text{хх}} = I_{\text{хх}}U,$$

где N – полезная мощность, расходуемая на процесс экструзии, Вт; $N_{\text{дв}}$ – мощность, потребляемая двигателем привода червяка, Вт; $N_{\text{хх}}$ – мощность холостого хода двигателя привода червяка, Вт; $I_{\text{хх}}$ – ток холостого хода двигателя, А; $I_{\text{н}}$ – ток нагрузки двигателя, А; U – напряжение на обмотке якоря двигателя, В.

Методика экспериментальных исследований состоит в следующем: в процессе эксперимента необходимо подобрать такой режим экструзии и выбрать конструкцию формирующего инструмента, чтобы в исследуемом материале «разбухание», то есть значение относительного изменения поперечного сечения экструдата (отношение разности диаметров экструдата и мундштука к диаметру мундштука) было минимальным, и чтобы в исследуемом материале не возникало подвулканизации, то есть значение критерия Бейли [1], характеризующего этот процесс, не превышало бы определенной, наперед заданной, величины.

Для определения рациональных значений суммарной величины сдвига до проведения экспериментальных исследований необходимо предварительно определить теплофизические и реологические свойства исследуемых резиновых смесей известными методами.

Эксперимент проводился следующим образом: резиновая смесь с известными физико-механическими параметрами резалась на ленты шириной 20 мм и наматывалась на загрузочный барабан экспериментальной установки. Далее установка в течение 30 минут разогревалась до заданной температуры (выход на режим), и производилась серия экспериментов. Эксперименты заключались в получении образцов изделий в течение 2 мин с фиксированной угловой скоростью шнека $\omega = (0,4; 1,04; 3,12; 5,2; 5,76; 6,24; 7,28) \text{ с}^{-1}$ для каждого диаметра мундштука $d_m = (8,4; 10,4; 16,4; 18,4) \text{ мм}$.

Контроль температурного поля проходил по следующим параметрам при заданных температурах материального цилиндра $T_{\text{ц}}$ и теплоносителя в ванне $T_{\text{в}}$: $T_{\text{см.вых}}$ – температура выхода экструдата из формующей головки (в конце мундштука), °С; $T_{\text{гол}}$ – температура в середине формующей головки (дорнодержателя), °С; $T_{\text{вых.цил}}$ – температура выхода резиновой смеси из материального цилиндра шнековой машины, °С.

На выходе из формующего канала заготовка круглого поперечного сечения попадает в ванну, где с помощью цифрового фотоаппарата высокого разрешения (7,2 Мпикс) и последующей обработкой в программе "Adop PhotoShop 5.0" измерялись ее диаметры до охлаждения в определенных местах (при температуре теплоносителя в ванне) и после охлаждения не менее чем через час (при комнатной температуре) в тех же точках с помощью толщиномера, что позволяет рассчитать относительное изменение размеров поперечного сечения образцов экструдата δ , %, до и после охлаждения.

В процессе эксперимента отбираются пробы экструдата и снимаются кривые его подвулканизации на приборе "Monsanto", по стандартной методике (ISO 9000).

Далее образцы экструдата вулканизируются при заданном режиме вулканизации, и измеряются предел прочности образцов и относительное удлинение при разрыве до ($\sigma_{\text{рз}}$, $\delta_{\text{ост.з}}$) и после ($\sigma_{\text{р}}$, $\delta_{\text{ост}}$) процесса экструзии. Испытания проводятся на разрывной машине ЦМГИ-250 по стандартной методике.

С достаточной степенью точности суммарную величину сдвига в каналах шнека и формующей головке можно определить по формуле

$$\gamma_{\text{шф}} = \gamma_{\text{ш}} + \gamma_{\text{ф}} = \dot{\gamma}_{\text{р}} \tau_{\text{ш}} + \sum_{i=1}^n \dot{\gamma}_i \tau_{\text{ф}i} \quad (1)$$

При этом суммарная величина сдвига в каналах шнека определяется следующим образом

$$\gamma_{\text{ш}} = \dot{\gamma}_{\text{р}} \tau,$$

где $\dot{\gamma}_{\text{р}}$ – расчетная скорость сдвига в каналах шнека,

$$\dot{\gamma}_p = \frac{0,5D\omega \left(\frac{1}{n} + 1 \right)}{h};$$

τ – время пребывания перерабатываемого материала в цилиндре пластикации,

$$\tau_{ш} = \frac{BhL}{Q \sin \varphi};$$

где $B = (t_{ш} - e) \cos \varphi$ – ширина винтового канала шнека; Q – производительность шнековой машины; n – индекс течения резиновой смеси; ω – угловая скорость шнека; φ – угол наклона винтовой нарезки шнека; L – длина нарезной части шнека; h – глубина винтового канала шнека; $t_{ш}$ – шаг винтовой нарезки шнека.

Суммарная величина сдвига в формующих каналах экструзионной головки определяется следующим образом:

$$\gamma_{\phi} = \sum_{i=1}^n \gamma_{\phi i},$$

где $\gamma_{\phi i} = \dot{\gamma}_i \tau_{\phi i}$, $\dot{\gamma}_i$, $\tau_{\phi i} = \frac{F_i l_i}{Q_i}$ – сдвиг, скорость сдвига, время пребывания перерабатываемого материала в i -м канале соответственно; F_i , l_i , Q_i – площадь поперечного сечения, длина и производительность i -го канала соответственно.

Для того чтобы учесть влияние подвулканизации в уравнении (1) необходимо рассчитать значение критерия подвулканизации посредством расчета температурного поля перерабатываемого материала по длине формующих каналов экструзионной головки.

Разработан алгоритм и программное обеспечение для расчета суммарной величины сдвига в каналах шнека и формующей головке, а также критерия подвулканизации [3].

В результате экспериментальных исследований установлено, что при переработке конкретной резиновой смеси существует минимальное относительное изменение размеров поперечного сечения экструдата после охлаждения δ , соответствующее определенному значению суммарной величины сдвига в выходном канале экструзионной головки $\bar{\gamma}_{\text{вых.к}}$, в каналах шнека $\bar{\gamma}_{ш}$ и критерия подвулканизации $JВ$ при заданном режиме экструзии и геометрии формующих каналов.

На рис. 2 – 4 в качестве примера показаны зависимости показателей качества от суммарного сдвига в выходном канале экструзионной головки и в каналах шнека при переработке резиновой смеси шифра НО-68НТА, при этом $\bar{\gamma}_{\text{вых.к}} = 95$ (см. рис. 2), $\bar{\gamma}_{ш} = 3500$ (см. рис. 3), $JВ \approx 1\%$ (см. рис. 4).

В табл. 1 представлены аналогичные данные для смесей шифра 46ПРФ-26 (используемой наряду с НО-68НТА в производстве ОАО «АРТИ-Завод» г. Тамбова) и шифров ИРП 6721, ИРП 3826 (применяемых в производстве РТИ на ЗАО «Тамбовполимермаш»).

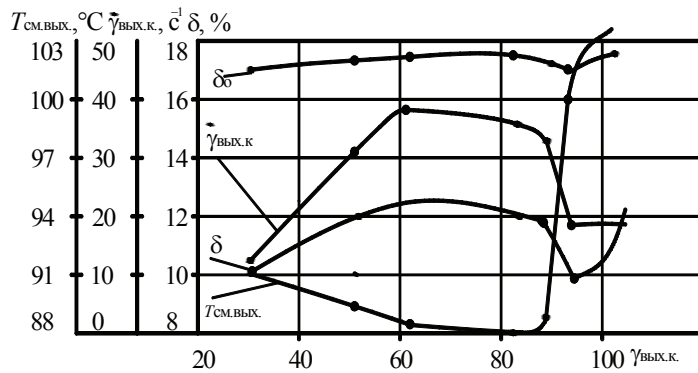


Рис. 2. Зависимости относительного изменения поперечного сечения экструдата на выходе из формирующего канала до δ_0 и после δ охлаждения, скорости сдвига $\gamma_{\text{вых.к}}$ и температуры смеси в выходном канале $T_{\text{см.вых}}$ от величины сдвига в выходном канале $\gamma_{\text{вых.к}}$

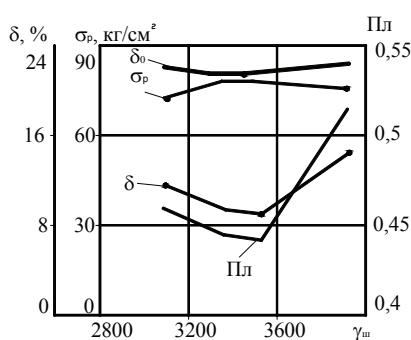


Рис. 3. Зависимость показателей качества (прочности σ_p и изменения поперечного сечения экструдата на выходе из формирующего канала до δ_0 и после δ охлаждения) от суммарного сдвига в каналах шнека

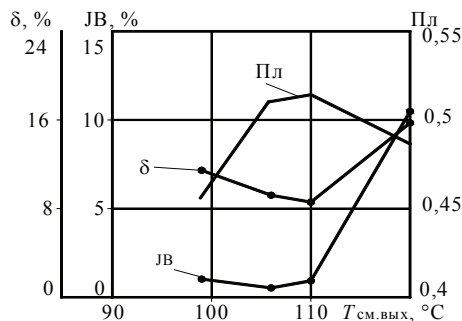


Рис. 4. Зависимости относительного изменения поперечного сечения экструдата δ и критерия подвулканизации JB от температуры выхода резиновой смеси $T_{\text{см.вых}}$

Таблица 1

Теплофизические, реологические и расчетные параметры

| Шифр смеси | ρ , кг/м ³ | λ , Вт/(м·°C) | c , Дж/(кг·°C) | m_0 , кПа·с ⁿ | n | b | $\gamma_{\text{ш.зад}}$ | $\gamma_{\text{вых.к}}$ | δ , % |
|------------|----------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|------|-------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| НО-68НТА | 1200 | 0,22 | 2100 | 600 | 0,2 | 0,005 | 3500 | 95 | 10 |
| ИРП-6721 | 1250 | 0,21 | 1300 | 550 | 0,22 | 0,007 | 3250 | 90 | 12 |
| ИРП-3826 | 1280 | 0,21 | 1350 | 500 | 0,22 | 0,007 | 3100 | 86 | 6 |
| 46ПРФ-26 | 1300 | 0,22 | 1800 | 450 | 0,23 | 0,008 | 2950 | 82 | 5 |

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных значений полезной мощности при переработке резиновых смесей указанных шифров показал их расхождение не более 10 %.

Аналогичная картина наблюдается и для других типоразмеров шнеков.

Таким образом, созданное измерительное устройство позволяет проводить исследования процесса экструзии резиновых смесей с широким диапазоном варьирования технологических и конструктивных параметров с целью определения рациональных значений суммарного сдвига и степени подвулканизации различных резиновых смесей для обеспечения заданного качества длинномерных резинотехнических изделий, которое рекомендовано для применения в ЦЗЛ заводов производства РТИ и автомобильных шин.

Список литературы

1. Соколов, М.В. Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий : монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 292 с.

2. Клинков, А.С. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов : монография / А.С. Клинков, М.В. Соколов, В.И. Кочетов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 320 с.

3. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. – № 2003611833. Расчет оптимальных технологических и конструктивных параметров экструзии резиновых смесей с учетом минимизации технологической мощности и получения качественного экструдата / М.В. Соколов, А.С. Клинков, В.И. Кочетов, П.С. Беляев ; Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2003611300; заявл. 16.06.2003. Зарегистрировано 04.08.2003.

Measuring Device for Determination of Rational Values of Total Shift and Criterion of Sub-Vulcanization in Production of Long-Size Rubber Products of Given Quality

M.V. Sokolov, A.S. Klinkov, P.S. Belyaev

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: total shift; rubber mixture; sub-vulcanization.

Abstract: Theoretical grounds of determination of rational values of total shift in processing of rubber mixtures in molding channels of extrusion heads and auger channels are studied.

© М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, 2007