

* * *

A. N. Terentyev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

External Noise Restriction of the Automobile with Hybrid Power Unit and Safety Intelligence System

Necessity and opportunities of noise regulation in automobiles with a hybrid power unit are presented.

Keywords: automobile, hybrid power unit, safety intelligence system

Получено 11.02.10

УДК 621.315

А. Е. Терлыч, старший преподаватель;
Н. М. Труфанова, доктор технических наук, профессор
Пермский государственный технический университет;
В. Г. Савченко, технический директор
ООО «Камский кабель»

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГОТОВОГО ПРОДУКТА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КАБЕЛЕЙ

Предложены оценки качества готового продукта для использования в системе автоматизированного управления процессом экструзии при изготовлении кабельной продукции. Рассмотрены вопросы снижения объема вычислений в системе управления процессом экструзии при расчете оценок качества готового продукта в режиме реального времени.

Ключевые слова: оценка качества, система автоматизированного управления, экструдер, кабель

Качество кабельной продукции, получаемой методом экструзии, определяется комплексом электрических, механических и других свойств получаемой полимерной изоляции. В процессе наложения электрической изоляции даже при удачно подобранном технологическом режиме существует опасность его нарушения при изменении свойств исходного сырья. В этом случае могут существенно изменяться отдельные характеристики получаемой изоляции, что, в свою очередь, может привести к снижению качества готового продукта в целом.

В автоматизированной системе управления процессом экструзии оптимизация технологического процесса производится на основе числовых оценок качества готового продукта, к которым будем относить: величину накопленной деформации, величину термической деструкции, время пребывания материала в канале и значение максимальной температуры.

Существенное значение имеет степень гомогенизации (смешения) и степень термической деструкции перерабатываемого материала на выходе из экструдера.

При переработке полимерных материалов смешение используют при введении в перерабатываемый полимер пластификаторов, наполнителей, красителей, стабилизаторов и других добавок. Общепринятого критерия количественной оценки выравнивающей способности смесительного оборудования для высоковязких жидкостей в настоящее время не существует. На сегодняшний день наиболее распростра-

ненным методом оценки качества получаемой смеси является метод оценки качества по величине накопленной деформации (средней деформации) сдвига:

$$\bar{\gamma} = \bar{t} \bar{\dot{\gamma}}, \quad (1)$$

где $\bar{t}$ – среднее время деформации жидкости; $\bar{\dot{\gamma}}$ – средняя скорость сдвига.

Средняя скорость сдвига в канале одношнекового аппарата:

$$\bar{\dot{\gamma}} = \frac{1}{S_{\perp}} \iint_{S_{\perp}} \sqrt{\frac{I_2}{2}} dS_{\perp}, \quad (2)$$

где I_2 – квадратичный инвариант тензора скоростей деформаций; $S_{\perp}$ – площадь поперечного сечения канала.

Среднее время деформации расплава полимера в зоне дозирования определяется из выражения

$$\bar{t} = \int_{z_n - \Delta z_n}^{z_n} \frac{1}{\bar{V}_z} dz, \quad (3)$$

где z_n – полная длина развертки винтового канала; Δz_n – длина зоны дозирования развернутого канала; $\bar{V}_z$ – средняя скорость расплава полимера в поперечном сечении канала в направлении оси z .

Таким образом, выражение (1) с учетом (2) и (3) примет вид:

$$\bar{\gamma} = \int_{z_n - \Delta z_n}^{z_n} \left(\frac{1}{S_{\perp} \bar{V}_z} \iint_{S_{\perp}} \sqrt{\frac{I_2}{2}} dS_{\perp} \right) dz. \quad (4)$$

Для оценки термической деструкции предлагается интегральная оценка накопленной деструкции (средней деструкции), одновременно учитывающая влияние температуры и времени пребывания материала в канале:

$$\bar{D} = \bar{T} \bar{t}, \quad (5)$$

где $\bar{T}$ – средняя температура полимера в поперечном сечении канала; $\bar{t}$ – среднее время пребывания.

Время пребывания материала в канале экструдера:

$$\bar{t} = \int_0^z \frac{1}{\bar{V}_z} dz. \quad (6)$$

Средняя по сечению канала температура:

$$\bar{T} = \frac{1}{S_{\perp}} \iint_{S_{\perp}} T dS_{\perp}. \quad (7)$$

Таким образом, выражение (5) с учетом (6) и (7) можно записать:

$$\bar{D} = \int_0^z \left(\frac{1}{S_{\perp} \bar{V}_z} \iint_{S_{\perp}} T dS_{\perp} \right) dz. \quad (8)$$

Кроме того, для оценки деструкции с учетом добавок, вводимых в перерабатываемый материал, необходимо знать максимальное значение температуры в канале экструдера $T_{\max}$. Так, например, применяемый в кабельной промышленности антипирен тригидрат алюминия разлагается при температуре 180 °С. Поэтому при экструзии полимеров с подобными добавками максимальная температура в канале не должна превышать заданного значения.

Очевидно, что для определения описанных выше оценок качества необходимо знать поля распределения температуры и скорости полимера в канале экструдера. Степень точности определения оценок качества зависит от степени адекватности используемой для их расчета математической модели. Существующие на сегодняшний день сложные модели, адекватно описывающие процессы переноса [1–3], обладают высокой вычислительной емкостью и требуют мощных вычислительных средств и временных затрат. Оптимизация технологического процесса в режиме реального времени с использованием подобных моделей невозможна. Для уменьшения объема вычислений в системе управления процессом экструзии величины оценок качества могут быть определены с помощью математической модели процессов тепло- и массопереноса полимера в экструдере заранее для ряда фиксированных значений реологических и технологических параметров процесса и представлены в виде табличных функций и при помощи методов регрессионного анализа в виде аналитических выражений, что предложено в работе.

С целью определения характера зависимости оценок качества от реологических характеристик перерабатываемого полимера и технологических параметров был проведен численный эксперимент с использованием модели Линдта [2] для ряда фиксированных значений реологических и технологических параметров процесса экструзии на 32 мм экструдере с классической геометрией шнека. Модель Линдта построена на основе фундаментальных законов сохранения энергии, массы, импульса и предполагает в качестве реологического закона поведения расплава полимера широко распространенный степенной закон:

$$\mu_3 = \mu_0 \exp(-\beta(T - T_0)) \left(\frac{I_2}{2} \right)^{\frac{n-1}{2}},$$

где μ_3 – эффективная вязкость; μ_0 – коэффициент консистенции расплава полимера при $T = T_0$; β – температурный коэффициент вязкости; n – показатель аномалии вязкости.

В численном эксперименте использовалась расчетная схема с недеформируемой полимерной пробкой [2]. Значения оценок вычислялись для трех профилей температуры корпуса (140, 150, 160 °С) при трех фиксированных скоростях вращения шнека (15, 25, 35 мин⁻¹). При этом в каждом случае в широком диапазоне варьировались реологические свойства материала (μ_0 , β , n). Таким образом, были построены табличные зависимости каждой из оценок от температуры корпуса T_b , скорости вращения шнека N и реологических свойств перерабатываемого материала (μ_0 , β , n).

Полученные табличные функции каждой из оценок качества были представлены в виде аналитических выражений:

$$\bar{\gamma} = \Phi_1(n, \mu_0, \beta, N, T_b);$$

$$\bar{D} = \Phi_2(n, \mu_0, \beta, N, T_b);$$

$$T_{\max} = \Phi_3(n, \mu_0, \beta, N, T_b);$$

$$\bar{t} = \Phi_4(n, \mu_0, \beta, N, T_b).$$

Предполагалось, что структура зависимости носит линейно-квадратичный характер:

$$\begin{aligned} \Phi = & \alpha_1 + \alpha_2 n + \alpha_3 \mu_0 + \alpha_4 \beta + \alpha_5 N + \alpha_6 T_b + \alpha_7 nN + \alpha_8 \mu_0 N + \alpha_9 \beta N + \alpha_{10} T_b N + \alpha_{11} nT_b + \\ & + \alpha_{12} \mu_0 T_b + \alpha_{13} \beta T_b + \alpha_{14} T_b^2 + \alpha_{15} N^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Коэффициенты полиномов (9) определялись с помощью метода наименьших квадратов по полученным в численном эксперименте значениям табличных функций и приведены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты полиномов аналитических выражений оценок качества

	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4
α_1	433,0298	9 340,6776	9,9516	484,9956
α_2	1 415,5481	36 585,9468	65,8393	304,6138
α_3	0,0161	0,3891	0,0005	0,0030
α_4	6,1730	140 098,6840	963,5004	-180,1861
α_5	2,9222	-1 520,0978	1,2775	-24,2575
α_6	0,3727	101,9821	0,2650	0,2654
α_7	-19,9430	-953,7711	0,9059	-8,1559
α_8	-0,0004	-0,0109	0,0000	-0,0001
α_9	215,5048	-825,7948	-1,3139	15,2659
α_{10}	-0,0412	-4,5847	-0,0090	-0,0128
α_{11}	1,5837	35,9582	-0,4573	0,1893
α_{12}	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000
α_{13}	3,8889	-218,4720	-5,8071	0,4039
α_{14}	0,0013	0,2641	0,0042	0,0002
α_{15}	0,0899	41,5142	-0,0019	0,4303

Ошибки аналитических выражений оценивались с помощью дискретной нормы среднеквадратического приближения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - y_{mi}}{y_i} \right)^2} 100 \%,$$

где y_i – значение оценки качества по модели Линда; y_{mi} – значение, полученное при помощи выражения (9); n – количество численных экспериментов.

В табл. 2 приведены величины ошибок аналитических выражений оценок качества.

Таблица 2. Ошибки аналитических выражений оценок качества

Параметр	$\bar{\gamma}$	$\bar{D}$	$T_{\max}$	$\bar{t}$
$\sigma, \%$	1,9	3,2	0,4	2,6

Из табл. 2 видно, что ошибки аналитических выражений не превышают 4 %, что позволяет сделать вывод о возможности использования предложенного подхода: в определении оценок качества экструдата и управлении технологическим процессом экструзии на основе этих оценок.

Предложенный подход позволяет в автоматизированной системе управления при решении задач оптимизации технологического процесса в режиме реального времени вместо расчета оценок с использованием выражений (4), (6), (8) по сложной модели [1–3] проводить вычисления оценок качества готового продукта при помощи простой модели (9). Это позволяет устранить существенное запаздывание в системе управления и снизить вычислительные требования к аппаратной части.

Список литературы

1. Щербинин А. Г. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса при экструзии полимеров : дис. ... канд. техн. наук / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1994. – 16 с.
2. Lindt, J. T. Mathematical Modeling of Melting of Polymers in a Single-screw Extruder; a Critical Review // Polymer Engineering a. Science. – 1985. – Vol. 25, Iss. 10. – Pp. 585–588.
3. Ковригин Л. А., Труфанова Н. М. Автоматизированное управление процессом экструзии полимеров : моногр. – Екатеринбург : УрО РАН, 2002.

* * *

A. E. Terlych, Senior Teacher, Perm State Technical University

N. M. Trufanova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm State Technical University

V. G. Savchenko, Engineering Director, LLC “Kamskiy kabel”

Criteria of Product Quality in Automated Control System of Polymer Extrusion Process at Manufacturing of Cables

Criteria of product quality in automated control system of polymer extrusion process at manufacturing of cables are offered. Problems of calculations volume decrease in a real time mode in automated control system of extrusion process are considered.

Keywords: quality evaluation, automated control system, extruder, cable

Получено 14.12.09