

О.В. ПОЛУНИНА

**Информационный анализ процесса
моллирования в производстве
безопасного многослойного стекла**

УДК 658.562

ФГБОУ ВПО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Владимир

В статье рассматривается контроль качества технологического процесса производства безопасного многослойного стекла. С помощью информационного анализа определены информативные показатели качества многослойного стекла и информативные температуры в печи моллирования.

Технология производства трехслойного безопасного стекла (триплекса) представляет собой высокоавтоматизированное поточное производство, состоящее из последовательных технологических операций.

Быстротечность процессов, их резкие колебания во времени, наличие возмущений (окружающая температура, состояние оборудования) создают существенные трудности для контроля и управления технологическим процессом.

Критической технологической стадией в производстве многослойного стекла является моллирование, которая определяет геометрию готовых стекол, а также напряжения растяжения и сжатия в кромке стекла.

Технологическая стадия моллирования протекает в трехкамерной печи непрерывного действия. Пакет стекла проходит камеру предварительного нагрева, далее, в главной камере моллирования, под действием температуры и силы тяжести заготовка ложится на поверхность формы, которая придает стеклу нужную геометрию. После этого в камере отжига снимаются возникающие напряжения в стекле. Режим моллирования контролируется 150

термопарами типа ХА, установленными в своде и поде печи равномерно по ширине и длине камер [1].

Для извлечения полезной информации из массива данных была использована технология анализа процессов РАТ. С помощью методов кластерного анализа были существенно понижены размеры системы, описывающей температурный режим моллирования стекла [1]. Температуры (T_j) в камере предварительного нагрева (T_n), главной камере (T_g) и камере отжига (T_o) можно представить в виде (1):

$$\begin{aligned} T_n &= \{T_1, \dots, T_j, \dots, T_{12}\}; \\ T_g &= \{T_{13}, \dots, T_j, \dots, T_{34}\}; \\ T_o &= \{T_{35}, \dots, T_j, \dots, T_{38}\}; \end{aligned} \quad (1)$$

В технических условиях на многослойные ветровые автомобильные стекла определяются требования к напряжениям в зоне кромки шириной 20 мм. Напряжения на производстве контролируются вдоль кромки изделия (по периметру) в 12-и точках [1]:

1. Поверхностные напряжения сжатия должны иметь равномерное распределение вдоль кромки стекла (более 10 МПа) (y_1 - y_{12}).
2. Напряжения растяжения не должны превышать заданной величины (менее 4 МПа) (y_{13} - y_{24}).

Качество процесса производства многослойного ветрового стекла для автомобилей оценивается по отклонению образующей (провису) поверхности стекла от контрольного шаблона, которое измеряется щупом в трех точках (y_{25} - y_{27}) по ширине стекла. Отклонения стекла, допускаемые по техническим условиям, составляют от 4 до 8 мм [1].

Для того, чтобы выявить наиболее информативные параметры из показателей качества и температурного режима, а также количественно оценить взаимосвязи между ними применяется информационный анализ, методика которого изложена в [2].

Предварительно проводится дискретизация данных для построения таблицы частот. Количество интервалов разбиения k определяется по формуле [2]:

$$k = 3,748 + 0,012n, \quad (2)$$

где n – объем выборки.

Оценкой энтропии (согласно К. Шеннону) называется величина, рассчитываемая по формуле:

$$H = - \sum_{i=1}^l \frac{f_i}{n} \ln \frac{f_i}{n}, \quad (3)$$

где l – число интервалов разбиения анализируемой величины, где f_i – частоты наблюдения случайной величины в i -м интервале,

n – объем выборки.

Через оценку энтропии можно вывести следующие зависимости количества взаимной информации [2]:

$$I(T_j \rightarrow y_i / T_1 T_2 \dots T_{j-1}) = H(T_1 T_2 \dots T_j) - H(T_1 T_2 \dots T_j y_i) - H(T_1 T_2 \dots T_{j-1}) + H(T_1 T_2 \dots T_{j-1} y_i) \quad (4)$$

Далее между параметрами рассчитываются коэффициенты информационной связи [2]:

$$R_I(T_j \rightarrow y) = I(T_j \rightarrow y / T_1 \dots T_{j-1}) / H(y) \quad (5)$$

Расчет параметров информационной модели сводится к определению количества информации, передаваемой выходному параметру y от входного T_j и вычислению коэффициента информационной связи по формулам (4) и (5), в которых энтропии параметров заменяются их оценками.

Таким образом, идентичность информационной модели реальному объекту оценивается по величине коэффициента информационной связи R_I , который может использоваться в качестве меры определенности процесса [2].

Информация и коэффициенты информации, вычисляемые с использованием эмпирических данных, являются случайными величинами.

Оценка информации $I(T_j \rightarrow y_i / X_1 X_2 \dots X_{m-1})$ с точностью до постоянного множителя имеет χ^2 распределение, что позволяет определить значимость информационного взаимодействия двух показателей качества. Информация, передаваемая от одного показателя качества к другому, считается значимой при выполнении соотношения [2]:

$$2n\hat{I} \geq \chi_{p;\alpha}^2, \quad (6)$$

где $\chi_{m;\alpha}^2$ – квантиль χ^2 распределения с уровнем значимости α ,

$p=(k_1-1)(k_2-1)$ – число степеней свободы (k_1, k_2 – количество интервалов разбиения каждого из показателей качества), n – объем выборки.

Значимость коэффициента информационной связи R_i определяется значимостью информации.

Для анализа были использованы статистические данные производства ветрового гнутого многослойного стекла в течение трех месяцев непрерывной работы, собранных с производства автомобильного стекла ОАО «Эй Джи Си Борский стекольный завод». Размер выборки состоит из 40 измерений (для напряжений растяжения и сжатия) и из 17 измерений (для провиса в трех точках). Таким образом, количество интервалов разбиения, согласно формуле (2), равняется 4.

Информационный анализ процесса моллирования проводился в три этапа. На первом этапе был применен информационный анализ парного взаимодействия между показателями качества многослойного стекла для выбора наиболее информативных показателей. На втором этапе был применен информационный анализ парного взаимодействия температур на выбранные на предыдущем этапе информативные показатели качества. На третьем этапе проводился анализ влияния температурного режима в камере предварительного нагрева, главной камере и камере отжига на информативные показатели качества.

Результаты первого этапа приведены в работе [3]. Таким образом, были выявлены информативные показатели качества многослойных автомобильных стекол:

- напряжение сжатия: y_1, y_5, y_7, y_{11} ;
- напряжение растяжения: $y_{13}, y_{17}, y_{20}, y_{22}$;
- провис в средней точке: y_{25} .

Результаты второго этапа информационного анализа влияния температур в печи моллирования на информативные показатели качества представлены в таблице 1. Для приведенных пар «температура-показатель качества» в таблице 1 коэффициенты информационной связи значимы, что говорит о влиянии данной температуры на показатель качества.

На основе таблицы 1 были выбраны информативные температуры, оказывающие наибольшее влияние на показатели качества.

Температуры были сгруппированы по камерам предварительного нагрева, главной и отжига, чтобы определить степень влияния температурного режима в каждой камере на информативные показатели качества готового стекла. Результаты третьего этапа исследований представлены в таблице 2.

Таблица 1

Парное взаимодействие температурного режима и информативных показателей качества

Камеры печи моллирования	T	y	Параметры информационной модели $I(T \rightarrow y)$	Коэффициент информационной связи $R_i(T \rightarrow y)$	Доверительные границы
Камера предварительного нагрева	T_1	y_2 2	0,6	0,48	$0,36 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,64$
	T_2	y_1 3	0,25	0,2	$0,02 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,29$
	T_9	y_1 1	0,28	0,21	$0,04 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,31$
Главная камера	T_1 5	y_1 3	0,22	0,18	$-0,02 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,25$
	T_2 0	y_1 3	0,26	0,2	$0,02 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,29$
	T_2 1	y_7	0,22	0,16	$-0,02 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,25$
	T_2 6	y_1	0,52	0,41	$0,28 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,55$
	T_2 6	y_1 1	1,26	0,96	$1,03 \leq I(T \rightarrow y) \leq 1,3$
	T_2 7	y_5	0,41	0,54	$0,17 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,44$
	T_2 7	y_7	0,3	0,23	$0,06 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,34$
	T_3 0	y_2 5	0,76	0,71	$0,52 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,79$
	T_3 2	y_1 3	0,34	0,27	$0,1 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,37$
Камера отжига	T_3 6	y_2 5	0,27	0,25	$0,03 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,3$
	T_3 8	y_1 7	0,21	0,17	$-0,02 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,25$
	T_3 8	y_2 0	0,24	0,19	$0,003 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,27$
	T_3 8	y_2 2	0,25	0,2	$0,02 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,29$

Таблица 2

Взаимодействие температурного режима по камерам и информативных показателей качества

Камеры печи моллирования	у	Параметры информационной модели $I(T \rightarrow y)$	Коэффициент информационной связи $R_i(Y \rightarrow y)$	Доверительные границы
Камера предварительного нагрева	y_2	$I(T_{9-} \rightarrow y_{22}/T_1 T_2)=0,45$	$R_i(T_{9-} \rightarrow y_{22})=0,86$	$0,21 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,68$
Главная камера	y_1	$I(T_{21-} \rightarrow y_7/T_{15} T_{20})=0,4$ $I(T_{27-} \rightarrow y_7/T_{15} T_{20} T_{21} T_{26})=0,3$	$R_i(T_{21-} \rightarrow y_7)=0,32$ $R_i(T_{27-} \rightarrow y_7)=0,24$	$0,17 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,64$ $0,06 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,54$
	y_7	$I(T_{21-} \rightarrow y_7/T_{15} T_{20})=0,59$ $I(T_{27-} \rightarrow y_7/T_{15} T_{20} T_{21} T_{26})=0,22$	$R_i(T_{21-} \rightarrow y_7)=0,45$ $R_i(T_{27-} \rightarrow y_7)=0,17$	$0,35 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,83$ $-0,02 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,46$
	y_1	$I(T_{21-} \rightarrow y_1/T_{15} T_{20})=0,66$ $I(T_{27-} \rightarrow y_1/T_{15} T_{20} T_{21} T_{26})=0,34$	$R_i(T_{21-} \rightarrow y_1)=0,52$ $R_i(T_{27-} \rightarrow y_1)=0,27$	$0,42 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,9$ $0,1 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,58$
	y_1	$I(T_{21-} \rightarrow y_7/T_{15} T_{20})=0,37$ $I(T_{27-} \rightarrow y_7/T_{15} T_{20} T_{21} T_{26})=0,33$	$R_i(T_{21-} \rightarrow y_1)=0,28$ $R_i(T_{27-} \rightarrow y_1)=0,25$	$0,13 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,6$ $0,09 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,56$
	y_5	$I(T_{27-} \rightarrow y_5/T_{15} T_{20} T_{21} T_{26})=0,14$	$R_i(T_{27-} \rightarrow y_5)=0,15$	$-0,09 \leq I(T \rightarrow y) \leq 1,57$
	y_2	$I(T_{21-} \rightarrow y_{25}/T_{15} T_{20})=0,38$	$R_i(T_{27-} \rightarrow y_{25})=0,16$	$0,14 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,62$
	Камера отжига	y_2	$I(T_{38-} \rightarrow y_{25}/T_{36})=1,72$	$R_i(T_{38-} \rightarrow y_{25})=1,62$
y_1		$I(T_{38-} \rightarrow y_{17}/T_{36})=0,27$	$R_i(T_{38-} \rightarrow y_{17})=0,21$	$0,03 \leq I(T \rightarrow y) \leq 0,51$
y_2		$I(T_{38-} \rightarrow y_{22}/T_{36})=2,13$	$R_i(T_{38-} \rightarrow y_{22})=1,71$	$3,26 \leq I(T \rightarrow y) \leq 3,74$

Таким образом, были выделены 8 информативных зависимостей между режимом моллирования и показателями качества:

- режим моллирования - напряжение сжатия: y_1, y_5, y_7, y_{11} ;
- режим моллирования - напряжение растяжения: y_{13}, y_{17}, y_{22} ;
- режим моллирования - провис в средней точке: y_{25} .

А также определены температуры, оказывающие значимое влияние на показатели качества:

- камера предварительного нагрева: T_9 ;
- главная камера: T_{21}, T_{27} ;
- камера отжига: T_{38} .

Информационная связь остальных температур с показателями качества не значимая.

Выявленные информативные показатели качества многослойного стекла и температуры будут использованы для построения математической модели процесса моллирования.

Литература

1. *Макаров Р.И.* Управление качеством автомобильного стекла: монография. Владимир: издательство Владимирского государственного университета, 2009. 280 с.

2. *Григоревич В.Г.* Информационные методы в управлении качеством. М.: Стандарты и качество, 2001. 208 с.

3. *Полунина О.В.* Информационно-корреляционный анализ показателей качества автомобильного многослойного стекла // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность! / материалы V Всерос. науч.-техн. конф. с междун. участием (Омск, 12-14 ноября 2013 г.): в 3 кн: книга 2; отв. ред. А.В. Косых. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. с. 72-75.

OLENKAN1@YANDEX.RU