

Р.И. МАКАРОВ

**Управление моллированием в  
производстве многослойных  
автомобильных стекол**

УДК 519.24:666.155.5

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

*В статье рассматривается управление режимом моллирования в производстве многослойных автомобильных стекол. Определены оптимальные температурные режимы моллирования по показателю провиса вырабатываемых стекол. Имитационным моделированием показана возможность дальнейшего повышения качества вырабатываемого стекла на действующем технологическом оборудовании.*

В соответствии с требованиями стандарта ISO/TS 16949:2002 поставщики предприятий автомобильной промышленности внедряют деятельность по мониторингу, измерению, анализу и улучшению качества продукции. При оценивании качества технологического процесса контролируются и измеряются параметры выполняемых технологических операций, последовательность их выполнения, технические элементы технологической системы, факторы, влияющие на основные технологические показатели, характеристики безопасности технологических процессов и качество производимой продукции [1].

К многослойному автомобильному стеклу предъявляются высокие требования к допускам на отклонение гнутых изделий от заданной формы. Отклонение ветровых стекол от заданной формы должно удовлетворять требованиям, указанным в чертежах на изделие. Технологический процесс моллирования предусматривает непрерывный контроль поперечной кривизны гнутых изделий в процессе производства. Поперечную кривизну изделий (провис) проверяет моллировщик с помощью металлической линейки путем

измерения наибольшего зазора в трех точках между вогнутой стороной стекла и линейкой, опираемой на края стекла [2]. Как показали результаты анализа, информационная связь между тремя параметрами по провису статистически незначима, что обосновало необходимость проведения непрерывного контроля провиса ветровых стекол в трех точках [3].

Дальнейшее повышение качества вырабатываемых изделий на действующем оборудовании возможно за счет оптимального управления режимом моллирования. Корректирующие действия по режимным переменным вырабатываются на основе анализа статистических данных работы технологической линии. Эффективным инструментом выработки корректирующих действий является имитационное моделирование протекающих процессов.

Опишем особенности методики моделирования процесса моллирования. Для моделирования использовалась выборка, содержащая 107 сменных данных с режимами моллирования и результатами измерения провиса вырабатываемых изделий. Измерения провиса по краям стекла в точках 1 и 3 в сменах носили нерегулярный, а по центру в точке 2-регулярный характер. Для восстановления пропущенных данных по провису в точках 1 и 3 строились регрессионные модели. По температурным режимам моллирования восстанавливались недостающие данные.

Процесс моллирования по показателю провиса в трех точках контроля  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  описывается линейными регрессионными моделями:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 76,974 - 0,0499x_2 - 0,0956x_4 + 0,00999x_5 + 0,0657x_6 - \\
 &- 0,0423x_8 + 0,0112x_9, \text{ стандартная ошибка модели } 0,43 \text{ мм;} \\
 y_2 &= 87,72 + 0,0726x_2 - 0,0773x_3 - 0,127x_4 + 0,0128x_5 + 0,0404x_6 - \\
 &- 0,0236x_7 - 0,0383x_8 + 0,00849x_9 + 0,0262x_{10}, \text{ стандартная} \quad (1) \\
 &\text{ошибка модели } 0,41 \text{ мм;} \\
 y_3 &= 16,615 - 0,0513x_2 + 0,0539x_6 + 0,011x_7 - 0,0274x_8, \text{ стандартная} \\
 &\text{ошибка модели } 0,43 \text{ мм.}
 \end{aligned}$$

Кодирование температур, измеряемых термopарами в камерах печи моллирования, приведено в таблице 1.

По техническим требованиям к ветровым стеклам величина провиса должна составлять 6 – 8 мм.

Таблица 1

**Кодирование температур, измеряемых термопарами в камерах печи  
моллирования**

Камеры печи моллирования	Камера предвари- тельного нагрева, сводовые термопары		Главная камера, сводовые тер- мопары				Главная камера, по- двовые тер- мопары		Камера отжига
	AZ8 Z9	CZ8 Z9	AZ10 Z11	JZ12 Z13	HZ14 Z15	BZ18	DZ12 Z13	JZ12 Z13	
Термопара									
Кодированное значение	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10

Статистический анализ выборки выявил разброс провиса вырабатываемых стекол в контролируемых точках в пределах от 5,1 до 8,5 мм. Для повышения точности изготовления ветровых стекол решалась задача поиска оптимального режима моллирования. В качестве критерия управления выбиралась штрафная функция вида:

$$K = \max((y1 - y_{\text{доп}}); 0) + \max((y2 - y_{\text{доп}}); 0) + \max((y3 - y_{\text{доп}}); 0), \quad (2)$$

где  $y_{\text{доп}}$  – допустимая величина провиса в точках измерения, мм.

Величина штрафа (2) равна нулю в случае, когда провис стекла в контролируемых точках не превышает допустимой величины. Задача управления заключалась в поиске режимов моллирования  $x_2$ – $x_{10}$ , обеспечивающих нулевое значение штрафной функции. Поиск выполнялся методом нелинейного программирования. При этом устанавливались ограничения на диапазон изменения режимных переменных по фактическим данным режима моллирования. Оптимальный режим моллирования обеспечивается при температуре моллирования, приведенной в таблице 2.

Таблица 2

**Оптимальный температурный режим моллирования в °С**

x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
642	636	692	611	620	618	661	584,39	359

Ожидаемые значения провиса при оптимальном управлении рассчитывались с помощью регрессионных моделей (1) с учетом их погрешностей. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Результаты оптимизации режима моллирования**

Значения провиса в точках контроля			Обозначения
1	2	3	
4,21	4,66	5,77	Ср. значение, мм
0,45	0,40	0,40	С.К.О., мм
10,65	8,56	7,03	Коеф. вариации, %
2,97	3,44	4,51	Минимум, мм
5,11	5,49	6,63	Максимум, мм

Сравнительные результаты оптимального управления температурным режимом моллирования с ручным ведением процесса, приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Сравнительные результаты оптимального управления температурным режимом моллирования с ручным ведением процесса**

Показатели	Ручное управление			Оптимальное управление		
	у1	у2	у3	у1	у2	у3
Точки контроля провиса						
Среднее значение провиса, мм	6,95	5,95	7,4	4,21	4,66	5,77
Максимальное значение провиса, мм	8,0	7,5	8,5	5,11	5,49	6,63
Среднее квадратичное отклонение провиса, мм	0,62	0,49	0,49	0,45	0,40	0,40

Как следует из результатов моделирования процесса моллирования, на существующем технологическом оборудовании возможно повышение качества вырабатываемых ветровых стекол по показателю провиса путем коррекции температурного режима и его стабилизации на расчетных уровнях (табл.2). При оптимальном управлении режимом моллирования повышается качество вырабатываемых ветровых стекол за счет уменьшения величины провиса и разброса измерений в точках контроля.

## Литература

1. ISO/TS 16949:2002 «Системы менеджмента качества. Поставщики предприятий автомобильной промышленности. Особые требования к применению стандартов ИСО 9001:2000».

2. ГОСТ 5727 – 88. Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. -17с.

3. Макаров Р.И. Моделирование технологических операций в производстве многослойных автомобильных стекол/Сб. трудов IV международной научно-практической конференции. Современные тенденции развития науки и технологий. Белград, 2015.

ТЕЛ. ДОМАШНИЙ 4922-53-55-87

ЭЛ. ПОЧТА MAKAROV.RUSLAN@GMAIL.COM