

УДК 621.74.01

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИНЖЕКЦИОННОГО ЛИТЬЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2017 Е.А. Ковалькова^{1,2}, И.Н. Хаймович^{1,2}¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва² Международный институт рынка, г. Самара

Статья поступила в редакцию 30.05.2017

Настоящая статья посвящена построению системы оценки качества технологических процессов инжекционного литья из полимерных композиционных материалов. Детализирован один из этапов системы оценки качества. Рассматривается оптимизация параметров инжекционного литья. Основными показателями качества являются стандартное отклонение и средняя прочность, которые оцениваются по тензору ориентации внутренних волокон материала, который является основной интегрированной характеристикой процесса инжекционного литья. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие правильность оптимизации параметров.

Ключевые слова: инжекционное литьё, тензор ориентации, система оценки качества, метод Тагучи.

В данном исследовании создаем систему оценки качества (СОК) производства деталей из полимерных композиционных материалов методом инжекционного литья. Детально рассмотрен один из этапов СОК, который включает в себя оптимизацию параметров литья под давлением по тензору ориентации.

Целью данного исследования было построение системы оценки качества и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели выявляем этапы СОК на промышленном предприятии (рис. 1). Каждый этап должен контролироваться через проверку соответствия требуемых и полученных свойств, необходимых для заказчика деталей. Система оценки качества (СОК) на предприятии является системой повышения конкурентоспособности. СОК для литья под давлением состоит из 2 частей.

Существующая на предприятии система. На предприятие поступает заказ на изделия с определенными характеристиками. Далее на предприятии происходит разработка соответствующего технологического процесса, обеспечивающего необходимые характеристики. Затем после подготовки производства и освоения (т.е. производства деталей) происходит сдача заказа заказчику.

Система оценки качества состоит из двух частей: определение требуемых свойств и ор-

ганизация получения требуемых свойств. Соответственно этап организации получения требуемых свойств повторяется после каждого этапа существующей системы.

Проведем детализацию СОК этапа «Разработка» (рис. 2).

1. Подготовка CAD-модели изготавливаемого изделия.
2. Импорт модели в САЕ-систему.
3. Создание сетки конечных элементов.
4. Задание граничных условий и технологических параметров процесса литья.
5. Расчёт методом КЭ (производится программой Autodesk Simulation Moldflow Insight).
6. Расчёт методом КЭ (производится программой).
7. Анализ полученных результатов
8. Расчёт параметров направленности армирующего волокна (тензор ориентации)

Одним из параметров качества СОК этапа «Разработка» является тензор ориентации, анализ которого проведем далее. В исследовании рассмотрим оптимизацию нескольких параметров литья под давлением для полимерного композиционного материала, а также определение системы оценки качества литья под давлением. По результатам исследования построена схема системы оценки качества инжекционного литья. В этом исследовании применяется метод Тагучи для того, чтобы сократить число экспериментов и определить оптимальные параметры обработки для нескольких качественных характеристик [4]. Следует определить параметры обработки, которые могут повлиять на литье под давлением, такие как давление на

Ковалькова Екатерина Алексеевна, аспирант.

E-mail: kovalkovakaterina92@gmail.com

Хаймович Ирина Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением. E-mail: kovalek68@mail.ru

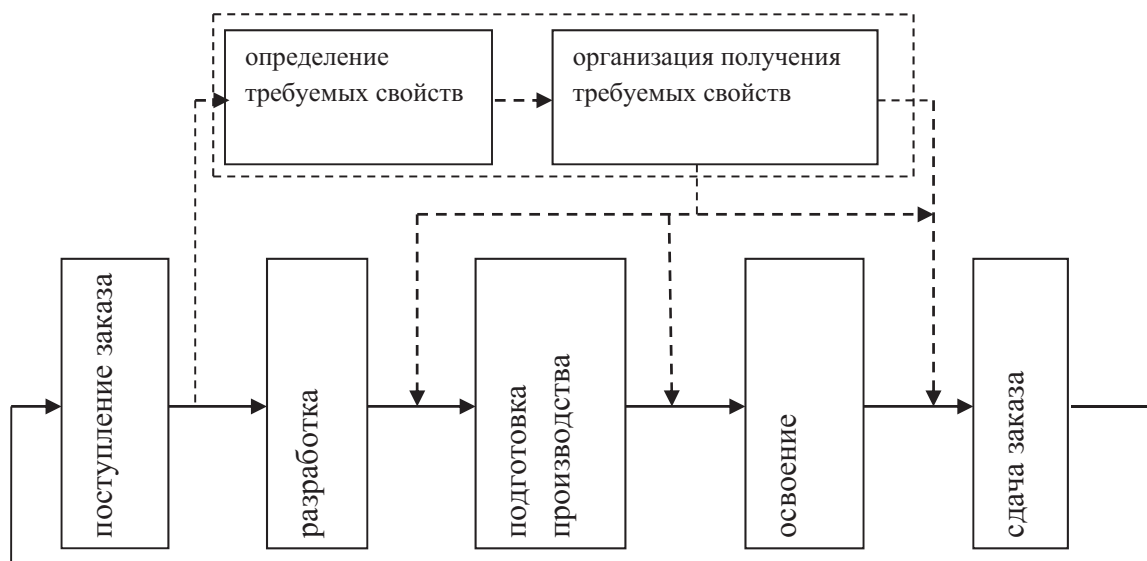


Рис. 1. Система оценки качества на предприятии

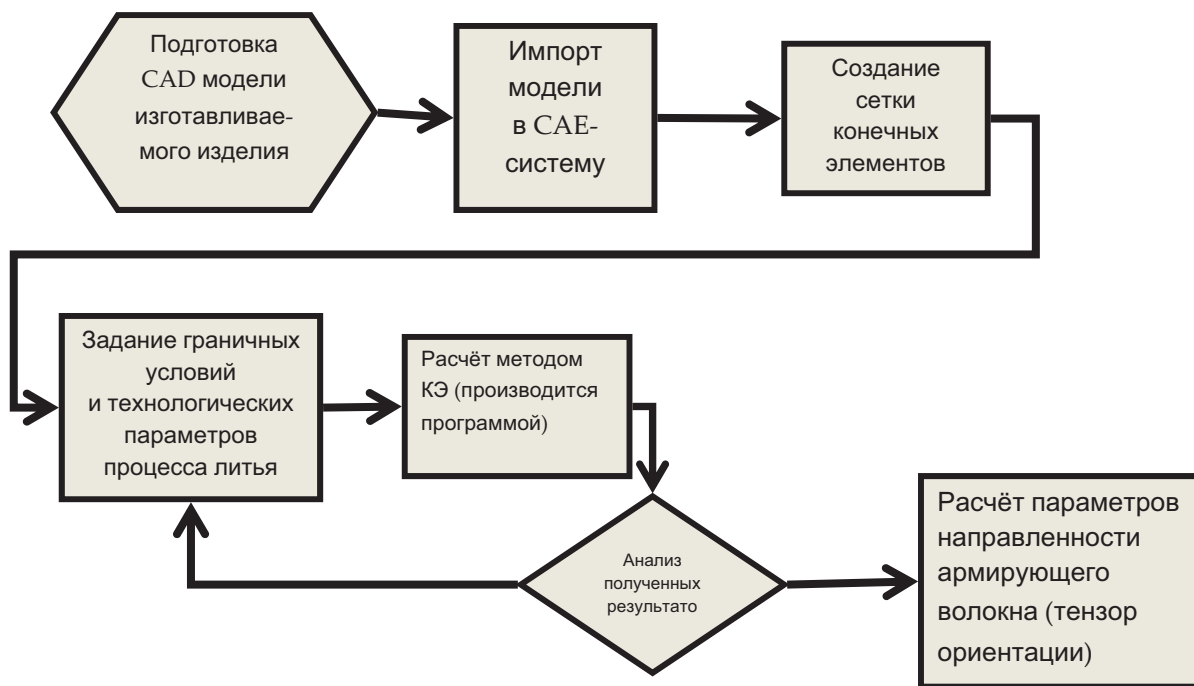


Рис. 2. К системе оценки качества этапа «Разработка»

шнеке, давление подпрессовки, скорость впрыска, время подпрессовки, температура на шнеке, время цикла, относительный объем впрыска [1].

Регулирование параметров обработки часто делается с учетом конструкции полости прессформы и ее размера, свойствами пластмассы и дефектами формовочного изделия и т. д. Такие задачи требуют накопленных данных и опытов из большого количества тестов и экспериментов для выяснения причин возникновения дефектов продукции. Что также влечет за собой длительный и трудоемкий процесс.[2,3]

Сущность робастного проектирования в уменьшении изменчивости функциональных характеристик изделия или процесса. Цель –

найти значения управляемых факторов, при которых помехи минимально влияют на функциональные характеристики.

Этапы робастного проектирования:

- 1) перечень функциональных характеристик, управляемых параметров и источников помех.
- 2) Планирование эксперимента.
- 3) Проведение основного эксперимента и анализ результатов.
- 4) Проведение дополнительного эксперимента для проверки анализа.

В данном исследовании применяется метод Тагучи для планирования эксперимента. Соответствующий ортогональный массив был вы-

Таблица 1. Результаты применения метода Тагучи

Design Summary (Spreadsheet'd)									
Run	Давление на шнеке, бар 1	Давление подпрессовки, бар 2	Скорость впрыска, см/сек 3	Время опрессовки, с 4	Температура на шнеке, С 5	Время цикла, с. 6	Относительный объем впрыска, см ³ 7	V0 8	Eta
1	1000	1000	7	20	340	100	30	1	-13,3780
2	1000	1000	20	25	355	120	60	2	-15,3366
3	1000	1000	30	30	370	140	70	3	-15,4776
4	1000	1250	7	20	355	120	70	3	-15,4051
5	1000	1250	20	25	370	140	30	1	-16,5643
6	1000	1250	30	30	340	100	60	2	-15,9445
7	1000	1500	7	25	340	140	60	3	-9,3400
8	1000	1500	20	30	355	100	70	1	-6,9306
9	1000	1500	30	20	370	120	30	2	-9,0613
10	1250	1000	7	30	370	120	60	1	-10,7122
11	1250	1000	20	20	340	140	70	2	-6,8594
12	1250	1000	30	25	355	100	30	3	-9,3931
13	1250	1250	7	25	370	100	70	2	-10,0969
14	1250	1250	20	30	340	120	30	3	-9,2335
15	1250	1250	30	20	355	140	60	1	-7,1568
16	1250	1500	7	30	355	140	30	2	-10,5963
17	1250	1500	20	20	370	100	60	3	-9,8212
18	1250	1500	30	25	340	120	70	1	-3,3933

бран в соответствии с параметрами литья под давлением и их уровнями в целях оптимального качества формирования полимерного композиционного материала методом инжекционного литья с минимальным количеством экспериментов [5, 6]. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ – ортогональный массив, который состоит из 18 экспериментов и содержит один двухуровневый фактор и семь трехуровневых был выбран для данного исследования. Результаты приведены в табл. 1.

Для изделий из ПКМ по сравнению с изделиями из ненаполненных полимерных материалов характерна зависимость конечных механических свойств не только от конструкции, но и от технологических режимов изготовления, поскольку в процессе изготовления формируется сложная пространственная структура расположения волокон, которая приводит к неоднородности свойств различных фрагментов изделия. С пространственной структурой связана неравномерная усадка материала. Когда ориентация изменяется, возникают локально усадки, что приводит к появлению внутренних напряжений и возможных деформаций, это, в свою очередь, ведет к короблению изделия.

Как показывают исследования, механизмы формирования микроструктуры различны: расширение потока расплава, сдвиговые явления при заполнении формы. Расширение потока происходит при впрыске расплава в формулирующую полость оснастки. Увеличение периметра фронта течения приводит к тому, что расплав подвергается эластичному расширению под прямым углом к направлению течения. Было определено, что положение волокна в полости оснастки практически не зависит от его исход-

ной ориентации (в литниковой системе). Оценить влияние совокупности всех этих факторов на структуру расположения волокон, а также на жесткостные и прочностные характеристики изделия позволяют современные системы моделирования. Для проектирования конструкций из композиционных материалов необходимо опираться как на численное моделирование напряженно-деформированного состояния, так и на анализ процесса литья под давлением, это позволит подобрать оптимальные параметры изготовления.

При моделировании процесса изготовления изделий из ПКМ необходимо учитывать тензор ориентации волокон. Ориентация каждого отдельного волокна в расплаве может быть описана единичным вектором p . В современных системах численного моделирования ориентация рассматривается как вероятностный процесс.

Определение тензора ориентации выполняется численно, при моделировании процесса инжекционного литья. Результаты моделирования могут быть представлены в виде картины распределения ориентации. Для дальнейшего исследования напряженно-деформированного состояния изделия результаты моделирования пространственной структуры могут быть переданы в системы структурного анализа. Моделирование процесса изготовления в совокупности со структурным анализом позволяет выбрать оптимальную пространственную структуру армирования, которая обеспечила бы получение необходимых прочностных и жесткостных характеристик изделия. Поэтому в качестве целевой функция для оценки качества процессов инжекционного литья по степени влияния на

Таблица 2. Рассматриваемые режимы инъекционного литья

№ режима	Давление на шнеке, атм.	Давление подпрессовки, атм.	Скорость впрыска	Время подпрессовки, с.	Температура на шнеке, С	Время цикла, с.	Относительный объем впрыска	Средняя прочность, МПа	Ст. откл., МПа
1	1500	1500	50	30	370	120	60	200.95	50.43
2	1500	1500	30	30	360	120	60	204.29	40.18
3	1500	1500	20	30	360	120	60	218.84	28.63
4	1500	1500	10	30	340	120	60	226.12	21.56
5	1500	1500	7	30	340	120	60	228.69	16.22
6	1500	1500	15	30	340	120	60	213.29	28.71
7	1500	1500	15	30	345	120	60	207.34	31.19
8	1000	1000	15	30	345	120	60	204.64	34.86
9	1000	1000	15	30	350	120	80	174.90	36.93
10	1000	1000	15	30	350	120	80	190.50	29.31
11	1000	1500	15	30	350	120	70	195.89	36.19
12	1000	1500	15	30	350	120	70	208.43	31.04

конструкционную прочность целесообразно использовать характеристику, учитывающую значение тензора ориентации армирующего волокна в характерных сечениях литого изделия.

Оптимальный режим выбирается в соответствии с качественной характеристикой, которой в данном исследовании является тензор ориентации «Больше-лучше», поэтому из 18 режимов оптимальным будет тот, для которого значение η больше. 18-й режим: $\eta(\max) = -3,3933$. Следовательно, 18-й режим оптимальный.

На первом этапе экспериментально был выбран оптимальный режим инъекционного литья. Под оптимальным понимается такой режим, который обеспечивает наибольшее значение механических характеристик при минимуме их случайного разброса. Общее количество исследуемых режимов – 12. Режимы отличаются скоростью впрыска, давлением и температурой на шнеке, давлением подпрессовки и относительным объемом впрыска. Каждому режиму литья ставится в соответствие номер пластины. Из каждой пластины вырезается 5 образцов 4 из 5 образцов испытываются стандартно на растяжение с монотонным нагружением вплоть до разрушения согласно п. 5, оставшийся – на повреждаемость согласно п. 6 программы. В таблице 2 представлено краткое описание режимов литья, а также приведены статистические данные по прочности образцов, получаемых для каждого из 12 режимов. Зеленым цветом отмечены наилучшие режимы, красным – наихудшие.

В результате испытаний было выявлено, что оптимальный режим, определенный с использованием метода Тагучи соответствует определенным экспериментально оптимальным методам.

Испытаниями на повреждаемость было также установлено, что в целом, независимо от режима (за исключением 12-го) материал демонстрирует стойкость и сопротивляемость к накоплению и развитию в нем повреждений. Падение секущего модуля упругости при уровне нагрузки 90 % от номинального предела прочности не превышало 0.81 %.

В результате исследования была апробирована и подтверждена экспериментально методика определения рациональных режимов инъекционного литья на основе робастного планирования по методу Тагучи. Была построена СОК для промышленного предприятия и детализирована СОК этапа «Разработка».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаймович А.И. Уравнения состояния пластически деформируемой поликристаллической среды // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5.
2. Хаймович И.Н. Автоматизация проектирования объектов заготовительно-штамповочного производства компрессорных лопаток авиационных двигателей // Известия вузов. Авиационная техника. 2014. № 2. С. 44-48.
3. Хаймович И.Н. Разработка методики оптимизации параметров штампов компрессорных лопаток авиационных двигателей // Известия Са-

- марского научного центра РАН. 2014. Т.16. № 4. С. 214-219.
4. Хаймович И.Н., Степаненко И.С. Исследование процесса заполнения пресс-формы при инъекционном литье лопаток из композиционных материалов // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 7 (часть 2). С. 293-297.
 5. Хаймович И.Н., Клентак Л.С. Усовершенствование методов сглаживания сложных поверхностей с использованием интерполяционных сплайнов // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10-12. С. 2634-2638.
 6. Хаймович И.Н. Разработка методики оптимизации параметров штампов компрессорных лопаток авиационных двигателей// *Известия Самарского научного центра РАН*. 2014. Т. 16. №4. С. 214-219.

DEVELOP A SYSTEM ASSESSING THE QUALITY AND COMPETITIVENESS OF PARTS, PRODUCED BY INJECTION MOLDING OF THE POLYMER COMPOSITE MATERIALS

© 2017 E.A. Kovalkova^{1,2}, I.N. Khaimovich^{1,2}

¹ Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

² International Market Institute, Samara

This article is devoted to the construction product manufacturing quality evaluation system by injection molding of polymer composites. Detailed one of the stages of the quality evaluation system. We consider the optimization of injection molding parameters. The main indicators of quality are the standard deviation and the mean strength of which are measured by the orientation of the internal tensor fiber material, which is the main feature of an integrated injection molding process .. The experimental data confirming the correctness of the optimization parameters.

Keywords: injection molding, tensor orientation, quality evaluation system, the Taguchi method

*Ekaterina Kovalkova, Graduate Student.
E-mail: kovalkovakaterina92@gmail.com Irina Khaimovich,
Doctor of Technics, Professor at the Metal Forming
Department. E-mail: kovalek68@mail.ru*