



Повышение качества и конкурентоспособности отливок является в настоящее время важнейшей научной и практической задачей литейного производства. В настоящее время основным методом практического решения задач, связанных с повышением качества литья, является совершенствование технологических процессов их изготовления на базе прикладных исследований, разработки новых инженерно-технологических идей и математических моделей физико-математического характера. Однако этот подход имеет ограниченные возможности, а в его рамках не может быть достигнут рыночный уровень качества отливок.

С.Г. Пелых, д.т.н., профессор,
кафедра промышленного производства художественного литья,
Восточноукраинский технический университет, г. Луганск,
О.И. Пономаренко, д.т.н., профессор,
кафедра литейного производства
НТУ «ХПИ», г. Харьков

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

В управлении качеством отливок

Cybernetic models in quality control of casting

Improving the quality and competitive capacity of casting is currently the most important scientific and real-world problem for foundry. Today the main approach in a real-world problem solving is working the process of castings manufacture on the base of applied research, development brand new engineering ideas and mathematical models of physico-mathematical nature. Although this approach has constrained capabilities and the market quality of the castings can't be achieved within its frame.

Taking into account the peculiarities of achieving the casting quality, the complexity of control and multi-level process of its forming, it is expedient to apply system analysis and cybernetic models as its key instrument. Regular-style casting design, appropriate manufacturing technique and well-handled production process will add to creating a high-quality technology.

Insufficient work timing, out-of-balance condition capacity, unreliable manufacturing equipment may result in growth of rejected castings number. Some experiments, which have been made at Kupyansk foundry and Kharkiv tractor plant, are described below in the article.

Основной особенностью качества отливок является сложность управления из-за многокритериальности и многоуровневого процесса его формирования. Ввиду этого для решения задач в этой области целесообразно использовать системный анализ и его основной инструмент — кибернетические модели. При использовании системного подхода сложная задача изучается на осно-

ве построения кибернетических моделей составляющих ее подзадач и их взаимодействия.

За длительный период эволюции, начавшейся в конце 30-х годов XX столетия, системный анализ, усиленный концепцией математического моделирования и огромными возможностями современных ЭВМ, зарекомендовал себя как мощный и универсальный инструмент решения сложных задач.

Системный подход к задаче разработки конструкции отливки и литой детали заключается в следующем. Литая деталь в машине или механизме является элементом механической системы, а ее качество проявляется в эффективности выполнения функций, связанных с восприятием или передачей эксплуатационных нагрузок различного характера. Чаще всего литые детали работают в условиях

переменных механических напряжений и износа, деталь работает определенное время, после достижения ею предельного состояния она заменяется. В этих условиях важной системной характеристикой качества литой детали является ее ресурс, вероятность обеспечения которого является мерой надежности детали. Ресурс определяется как наработка, в течение которой изделие не достигает предельного состояния с заданной вероятностью. Под предельным подразумевается состояние, при котором изделие уже не может выполнять свои технические функции в механической системе.

Взаимосвязь групп факторов, определяющих качество отливки и литой детали, представлены на рис. 1. К основным факторам, определяющим системные характеристики качества отливки, необходимо отнести следующие:

- геометрические размеры несущих сечений;
- физико-механические свойства литого металла;
- наличие внутренних дефектов;
- величина остаточных напряжений;
- размерная точность отливки;
- разброс свойств литого металла.

Проведенный анализ позволяет осуществить декомпозицию проблемы управления качеством отливок на ряд задач, решаемых на трех уровнях: проектно-конструкторском, технологическом и системно-производственном. На стадии конструирования литой детали и проектирования технологии ее изготовления к основным задачам управления качеством необходимо отнести следующие:

- синтез литейных сплавов с заданным уровнем технологических и эксплуатационных свойств;
- выбор геометрических размеров литой детали, обеспечивающих необходимые значения ее системных характеристик качества;
- выбор способа изготовления формы и разработка мероприятий по снижению случайных колебаний геометрических размеров отливки и значений физико-механических свойств литого металла;
- расчет несущей способности литой детали;
- расчет оптимальной шихты для отливок с учетом случайных колебаний

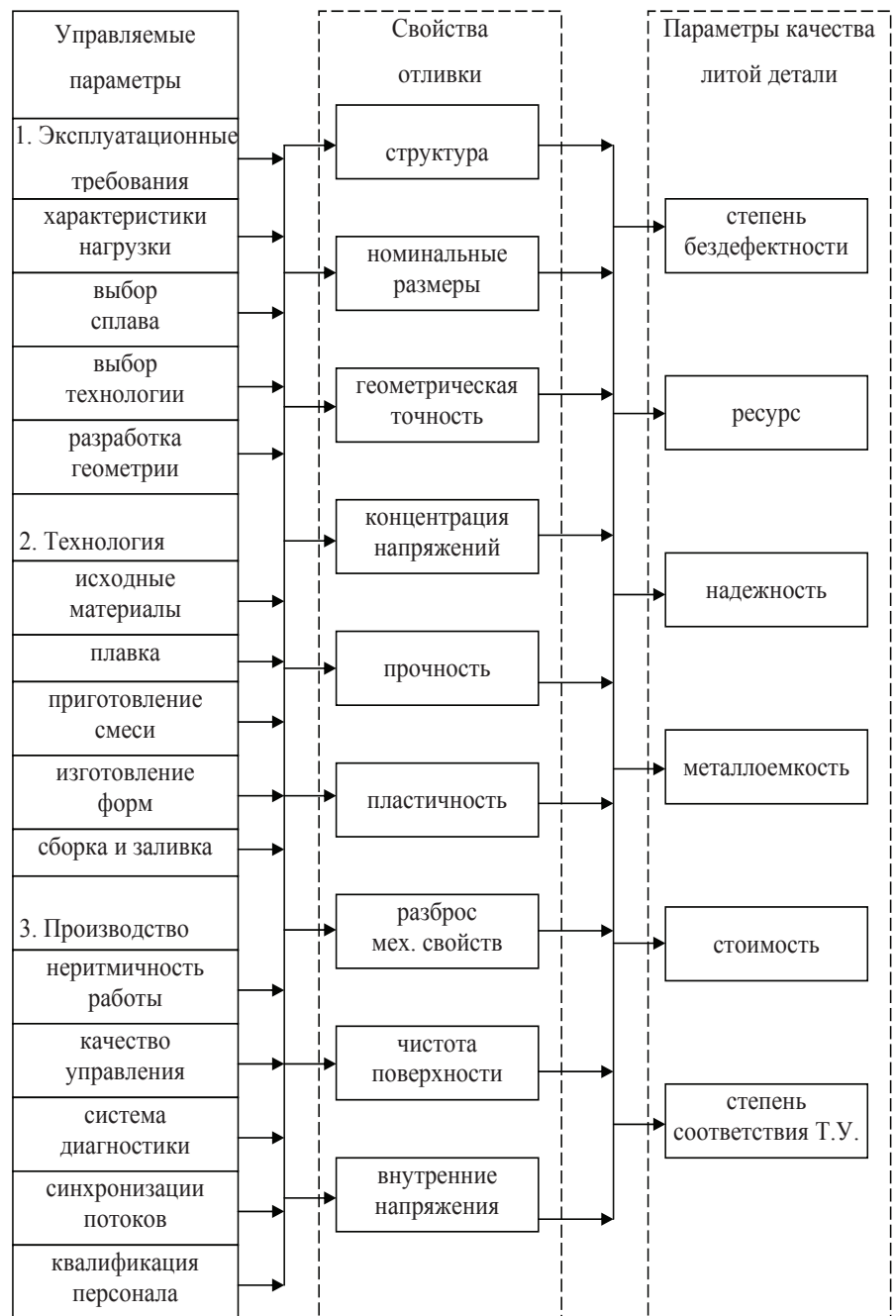


Рис. 1. Схема взаимосвязи между управляемыми параметрами процесса изготовления отливки, ее свойствами и параметрами качества

химического состава шихтовых материалов и параметров процесса плавки.

На основании изложенного подхода к проблеме управления качеством отливок установлено, что конечным итогом ее решения является получение отливок минимальной массы с гарантированной надежностью (О-ММ-ГН). Традиционная технология конструирования литых деталей не имеет механизмов, которые позволяют решить эту задачу. Блок-схема операций по конструированию «идеальных» отливок типа «О-ММ-ГН» приведена на рис. 2.

Рациональная конструкция отливки и качественная технология являются

необходимыми, но недостаточными условиями производства высококачественного литья, плохо организованный производственный процесс может полностью обесценить все усилия по рационализации конструкции и созданию высококачественной технологии.

При недостаточной синхронизации работы и дисбалансе пропускной способности структурных подразделений литейного цеха, низкой надежности технологического оборудования возникают значительные простои, охватывающие иногда до половины и больше рабочего фонда

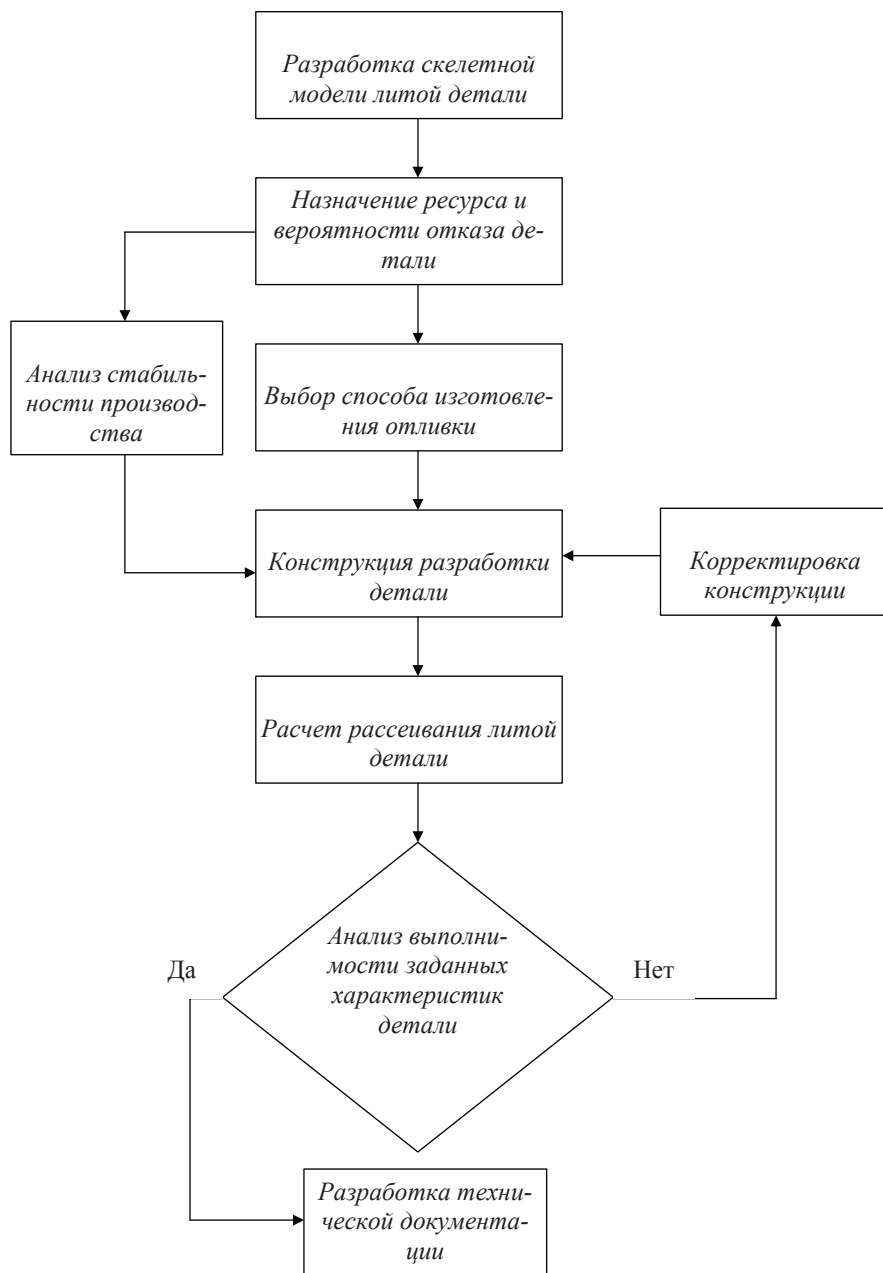


Рис. 2. Структурная схема операций конструирования литых деталей минимальной массы и гарантированной надежности

времени. Во время вынужденного простоя сухие стержни адсорбируют влагу из окружающего пространства, формы пересыхают, резко падают физико-механические свойства поверхностного слоя формы и стержня, жидкий металл охлаждается, и не всегда есть возможность вновь поднять его температуру до оптимальной. Совместное действие процессов, ухудшающих качество формы, стержня и жидкого металла, приводит к появлению значительного количества бракованных отливок.

Для того чтобы определить количественную зависимость между простоями формовочного оборудования и качеством отливок из серого чугу-

на, было проведено исследование в условиях Купянского литейного и Харьковского тракторного заводов. Результаты проведенных экспериментов показали, что увеличение времени простоя свыше 5 мин приводит к значительному изменению физико-механических свойств смеси. В наибольшей степени с 0,067 до 0,115 МПа, т. е. в 1,7 раз изменяется важнейшее свойство смеси — ее прочность в сыром состоянии, в меньшей степени, но тоже изменяются все остальные свойства смеси.

Для изучения влияния простоев автоматической формовочной линии на брак отливок был проведен специально организованный про-

изводственный эксперимент. С этой целью для каждой отливки фиксировались следующие параметры: физико-механические характеристики смеси, из которой изготовлена литейная форма, работа уплотнения встряхиванием и простоя оборудования. После того как отливки проходили технологический цикл в изученных партиях, фиксировались литейные дефекты, образующиеся по вине формы и формовочных материалов: обвал, засор, газовые и песчаные раковины. Данные о зависимости средних величин брака отливок от длительности простоев приведены в табл. 1.

Приведенные данные о наличии тесной связи между качеством отливок и неравномерностью работы технологического оборудования подтверждаются данными производственно-статистических исследований. Установлено, что величина простоев влияет на качество отливок не в меньшей степени, чем физико-механические свойства смеси и параметры ее приготовления. Например, абсолютное значение коэффициента парной корреляции отдельных видов брака с физико-механическими свойствами формы колеблется в пределах 0,17...0,51, а значение коэффициента парной корреляции между величиной общего брака по вине литейной формы и формовочных смесей, с одной стороны, и временем простоя, с другой, равно 0,525.

Для количественного изучения влияния системно-производственных факторов на качество отливок необходимо решить задачу моделирования динамики функционирования литейных технологических систем типа литейного цеха и его структурных подсистем. Для решения этой задачи использован агрегативный подход к моделированию технологических объектов. Его основу составляет гипотеза о том, что технологический процесс может быть представлен в виде некоторого агрегата. На его вход поступает сырье, энергия и информация, совокупность которых можно обозначить как вектор X , а на выходе — готовые продукты, составляющие вектор Y . Литейное производство реализуется как дискретный производственный процесс, изготовление и выдача полуфабрикатов и конечного продукта происходит с определенным промежутком времени. Следовательно,

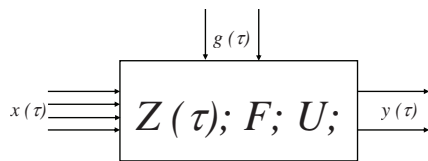


Рис. 3. Агрегат литейной технологической системы

агрегат, моделирующий элемент ЛТС, должен иметь дискретный характер. Моменты его функционирования обозначим через τ_i , где i — порядковый номер включения агрегата, изменяющийся от 0 (начальный момент) до N , где N — конечное число включений.

Агрегат представляет собою информационный аналог элемента изучаемой технологической системы, он имеет выходные контакты, воспринимающие входные сигналы $x(\tau)$, выходные контакты, через которые выдается выходная информация $y(\tau)$, особые входные контакты, через которые в агрегат поступает управляющий сигнал $g(\tau)$ (рис. 3). Все сигналы представляют собой векторы различной размерности, которая определяется количеством соответствующих контактов, при этом на каждый контакт поступает «своя» координата соответствующего вектора. В каждый момент времени агрегат находится в одном из возможных состояний, описываемых векторной величиной $z(\tau)$.

Агрегаты могут быть объединены в единую систему, получившую наименование агрегативной. При этом выходная информация агрегата может выдаваться либо в окружающую среду (или в общую систему управления), либо использоваться в качестве входной или (и) управляющей информации для других агрегатов. Конкретная схема взаимодействия между агрегатами определяется назначением и структурой агрегативной системы.

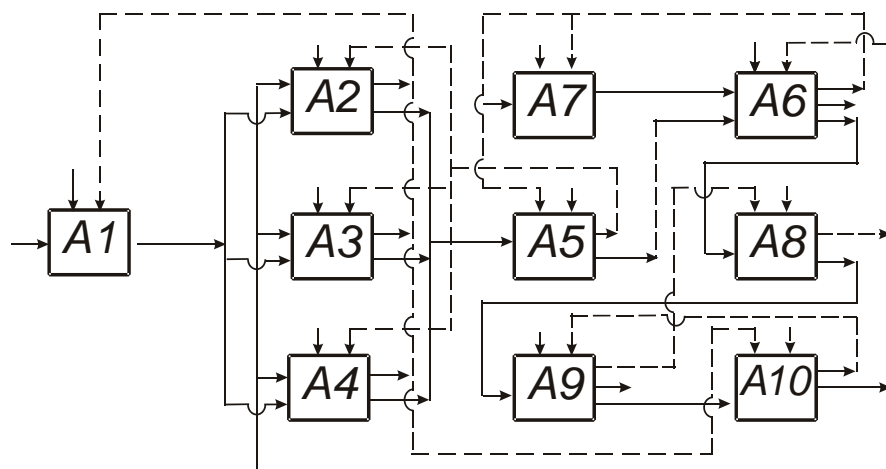


Рис. 4. Структурная схема агрегативной модели формовочно-смесеприготовительной системы (пунктиром показаны линии обратной связи)

Центральное место в литейном производстве, следовательно, и в литейно-технологических системах занимает формовочно-смесеприготовительная система (ФСС) литейного цеха, эффективность функционирования которой в значительной степени определяют количество и качество выпускаемых отливок.

Для моделирования работы ФСС ее подсистемы представим в виде агрегатов, а саму ФСС — в виде агрегативной системы.

Введем следующие обозначения:

- A1 — агрегат подачи исходных формовочных материалов к смесителям;
- A2, A3, A4 — агрегаты-смесители для приготовления формовочной смеси;
- A5 — агрегат передачи смеси на формовку;
- A6 — автоматическая или поточная формовочная линия;
- A7 — агрегат, осуществляющий операцию заливки жидкого металла;
- A8 — передача отработанной формовочной смеси на очистку и переработку;
- A9 — агрегат очистки и переработки формовочной смеси;

A10 — агрегат по передаче горелой смеси к смесителям.

Структура агрегативной системы, моделирующей работу формовочно-смесеприготовительной системы, приведена на рис. 4.

Агрегативная математическая модель ФСС литейного цеха позволяет решить прямую и обратную задачи, связанные с ее функционированием. Прямая задача заключается в оптимальном управлении действующей системой, а обратная — в определении структуры системы, набора и характеристик машин и механизмов, а также их параметров на стадиях проектирования и реконструкции литейного цеха при заданных критериях по количеству и качеству выпускаемых отливок.


Разработанные кибернетические модели и алгоритмы позволяют значительно повысить эффективность решения задач литейного производства, связанных с рациональным конструированием литых деталей и оптимальным управлением производственно-технологическими системами литейных цехов. 

Таблица 1

Зависимость брака чугунных отливок от длительности простоев

Вид брака	Количество брака, %, при длительности простоя, мин					
	0	20	30	40	50	50
Обвал	0,1	0,1	3,2	5,8	9,1	12,5
Засор	0,6	1,0	3,6	6,9	10,3	14,6
Газовые раковины	9,7	10,2	8,1	6,0	4,9	3,1
Общий брак по вине формы	10,4	11,3	14,8	18,7	24,3	30,2