



*The problems and possibilities of diagnostics of the casting mould compaction quality are considered.*

А. П. МЕЛЬНИКОВ, ОАО «БЕЛНИИЛИТ», В. П. САМАРАЙ, НТУУ «КПИ»,  
Е. В. ФИЛИПЕНКО, ГГТУ им. П. О. СУХОГО

УДК 621.74.019

## ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Для анализа процесса уплотнения, оценки взаимодействия элементарных объемов литейной формы (ЛФ) как системы в целом и экспресс-контроля качества ЛФ с целью предотвращения или минимизации возможных дефектов отливок в производственном процессе литья могут быть использованы, с одной стороны, показатели плотности, характеризующие свойства отдельных областей объекта диагностирования ЛФ (верхних и нижних слоев, граничных зон), а, с другой – данные процента брака по разным видам дефектов отливок. Из всех возможных критериев и показателей теории диагностики (надежность, контролепригодность и т. д.) наиболее адекватным и подходящим представляется коэффициент готовности  $K_r$ , который может быть определен, как вероятность нахождения ЛФ как объекта диагностики (ОД) в работоспособном состоянии, т. е. в состоянии, гарантирующем минимальную дефектность ЛФ и отливок. На качество отливок влияет множество факторов, количество которых может достигать нескольких тысяч [1], поэтому для построения эффективной системы регулирования или управления качеством большое значение имеет правильный отбор технологических параметров, оказывающих наибольшее влияние на качество литья [1]. Таким образом, удовлетворительное значение  $K_r$  может обеспечивать определенная оптимальная совокупность значений плотности в разных зонах формы.

Кроме того, при управлении качеством отливок часто возникает необходимость быстрого определения и контроля значений технологических параметров [3], например плотности ЛФ в разных зонах, имевших место при изготовлении в них отливок соответствующего качества или с определенными дефектами (т. е. по качеству отливок), полученных, например, в одной партии, за сутки,

смену и т. д. Эта необходимость возникает, если время определения значений технологических параметров слишком велико (длительный лабораторный анализ), а частота анализов недостаточна для использования их в режиме реального времени для оперативного управления литейным процессом или когда соответствующий контроль просто невозможен. В таком случае ускорение решения задачи диагностики качества (степени и равномерности) уплотнения ЛФ может состоять в непрерывном анализе процента брака отливок, т. е. технологических производственных ситуаций (которые могут изменяться во времени в зависимости от различных факторов уплотнения из одного состояния в следующее при переходе от одной полуформы к следующей и от одного стержня к другому) [4]. Результатом неоптимального и некачественного уплотнения являются дефектные состояния отливок, через которые, в свою очередь, возможна обратная диагностика [3–6] ЛФ, т. е. определение качественного ее состояния, а именно степени и равномерности ее уплотнения.

Для реализации такого метода должен быть разработан специальный математический аппарат, который бы отличался от традиционных способов расчета при прямом моделировании [7–10]. В таком специальном математическом аппарате возникает необходимость в формировании системы уравнений или уравнений связи, отражающих взаимосвязь отдельных или всех показателей дефектности отливок с показателями степени уплотнения формовочной смеси (ФС) в разных зонах ЛФ и характеризующих взаимодействие их друг с другом. Введение уравнений связи снижает общее число неизвестных параметров, требующих определения при решении обратных задач, а также уменьшает число необходимых исходных данных, что упрощает и облегчает расчеты. Таким образом, при на-

личии уравнений связи в процессе решения подобных обратных задач необходимо оперировать системой уравнений, которая может быть переопределенной, устойчивой и неустойчивой, невырожденной или вырожденной, а также с обусловленной или необусловленной матрицами. Каждое уравнение в общей их системе составляется по определенным необходимым для решения задачи диагностики правилам, т. е. например, представляет собой фактически автономные модели прогнозирования отдельных дефектов отливок. При этом все значения дефектности или их часть одновременно вводятся в задачу, а все искомые параметры диагностирования (плотность разных зон ЛФ) одновременно выводятся. После проведения подготовительных мероприятий возможно решение подобных обратных задач простым решением систем уравнений.

При этом возможны три типа решения обратных задач: определение одного из неизвестных показателей; определение всех неизвестных показателей; оптимизационные задачи (линейное, нелинейное или целочисленное программирование) [11].

Кроме того, возможно решение таких задач графическим методом [3]. Решение обратных задач третьей группы сводится к оптимизации показателей степени уплотнения ФС в разных зонах формы, обеспечивающих минимум функции цели – минимальную дефектность отливок при требуемом уровне готовности объекта ОД – ЛФ и возможно только при сформулированной функции цели, что является особой задачей.

Функцией цели также может быть максимум или оптимум показателей готовности ЛФ – степень уплотнения формы в разных зонах ЛФ или минимум средних удельных затрат на уплотнение ФС и замену бракованных ЛФ.

Для решения такой диагностической задачи методами теории распознавания образов на основе статистической информации о дефектности партий отливок формируется матрица  $Y$ - характеристик дефектности отливок и матрица  $X$ - соответствующих значений технологических параметров, т. е. плотности в разных зонах формы.  $[Y]$ -Матрица дефектности отливок может представлять собой один конкретный вектор-столбец для одной производственной ситуации либо матрицу в виде набора векторов-столбцов как база данных всех или ряда производственных ситуаций.

В нашем случае система может состоять из моделей прогноза дефектности отливок. Каждый из многих или же один представленный столбец-вектор матрицы  $Y$  отражает или одну реальную

конкретную ситуацию из прошлого, значимо отличную от других, или же усредненный вариант и является вектором качества отливок для этого случая.

По наличию дефектов в каждой партии формируется соответствующий вектор качества, зная значения которого можно либо отыскать в базе данных (БД) или матрице  $[Y]$  столбец (строку), наиболее близко описывающие этот вектор, либо решением системы уравнений определяются искомые технологические параметры – значения плотности в разных зонах формы.

Матрица коэффициентов влияния может быть определена статистически, опросом экспертов (возможно с дальнейшим уточнением), лабораторным и производственным экспериментом, с помощью разных моделей нейронных сетей [12,13].

Анализ различных производственных результатов и ситуаций, фиксация, сравнение и соотношение между собой совокупности разных видов дефектов, в том числе для конкретных видов отливок, с одной стороны, и технологических показателей, с другой – позволяет наполнять базу данных различных производственных ситуаций; опытным путем однозначно описать и связать между собой неприемлемые (или приемлемые) результаты качества отливок, с одной стороны, и неудовлетворительные (или удовлетворительные) показатели степени и равномерности уплотнения ЛФ в различных ее зонах; с целью непрерывного корректирования по принципу обратной связи с определенным временным интервалом оценивать качество уплотнения ЛФ в разных ее зонах посредством расчета, анализа и оценки совокупной дефектности отливок по разным видам брака и дефектов.

Таким образом, диагностическая система уравнений (модель) [14, 15] является категорически необходимым звеном обратной связи в системе обеспечения высокого качества литья в производственном процессе; альтернативным теоретическим инструментом расчета степени и равномерности уплотнения ФС в ЛФ; практическим средством контроля плотности ФС в различных зонах ЛФ, что очень важно при непрерывном производственном ритме, которое не требует разрушения ЛФ, распиловки и т. д.

Именно результаты такой диагностики позволяют определить «слабые звенья» процесса уплотнения на формовочном и стержневом участках в режиме реального времени наряду (или как альтернатива) с периодическим контролем реальной плотности ФС в разных зонах формы (что является сложным и практически вообще никогда не при-

меняется на производстве) и выявит неправильно работающее оборудование; нарушения технологической дисциплины; несовершенство технологического процесса; неправильность или несовершенство результатов моделирования уплотнения ЛФ при подготовке и контроле производства.

### Выводы

Задачи и возможности диагностики качества уплотнения ЛФ можно сформулировать следующим образом:

1) оценка силы влияния плотности разных зон ЛФ на дефектность и бездефектность отливок;

2) построение диагностической модели взаимосвязи между качеством отливок и степенью уплотнения ЛФ;

3) определение оптимальных значений степени уплотнения ЛФ и их допускаемых отклонений;

4) разработка методики и организация систематического контроля дефектности отливок;

5) организация системы непрерывного ввода и учета переноса данных дефектности отливок в диагностическую модель для решения диагностической задачи и постоянного диагностирования качественного состояния ЛФ;

6) коррекция технологических параметров.

### Литература

1. П е л ы х С. Г., С е м е с е н к о Н. П. Оптимизация литейных процессов. Киев: Вища шк., 1977.
2. С а м а р а й В. П. Выбор критерия оптимизации: степень уплотнения песчаных форм как критерий риска образования дефектов отливок // Литейное производство. 2009. № 1.
3. Автоматизация литейного производства. Ч. 1. Управление литейными процессами / В. П. Новиков. Уч. пособ., изд. 2-е, стереотип. М.: МГИУ, 2006.
4. М о з г а л е в с к и й А. В., К о й д а А. Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985.
5. Литье под давлением / М. Б. Беккер, М. Л. Заславский, Ю. Ф. Игнатенко и др. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990.
6. Формовочные процессы / Б. Б. Гуляев, О. А. Корнюшкин, А. В. Кузин. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987.
7. Т и х о м и р о в М. Д. Основы моделирования литейных процессов. Важные особенности систем моделирования. Часть 1 // Литейное производство. 2004. № 2. С. 28–31.
8. Т и х о м и р о в М. Д. Основы моделирования литейных процессов. Важные особенности систем моделирования. Часть 2 // Литейное производство. 2004. № 5. С. 24–32.
9. О моделировании производства литых деталей (Обзор) // Библиотечка литейщика. 2008. № 1. С. 10–15.
10. Т а р а н е н к о Н. А., Г у т ь к о Ю. И. Имитационное моделирование в литейном производстве // Литейное производство. 2008. № 11. С. 37.
11. М у р т а ф Б. Современное линейное программирование / Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
12. Б л и н н и к о в А. Е. Оперативно-технологическое управление качеством отливок // Литейное производство. 2008. № 6. С. 35–38.
13. Б л и н н и к о в А. Е. Применение динамических нейронных сетей при проектировании литейных технологий и оборудования // Литейное производство. 2006. № 8. С. 29–33.
14. С а м а р а й В. П., А в д о к у ш и н В. П., Д о р о ш е н к о С. П., М а з н ю к В. М. Экспертная система прогнозирования и диагностики дефектов отливок // Литейное производство. 2008. № 4. С. 31–32.
15. Пат. UA13227. Спосіб діагностування якості ливарних форм та стрижнів за дефектним станом виливків / В. П. Самарай, В. П. Авдокушин, Р. В. Самарай. 2006. Бюл. № 3.