

# ЭМПИРИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ БРАКА ОТЛИВОК

Воронин Ю.Ф., Камаев В.А., Бойко Н.А.

(Волгоградский ГТУ, Волгоград)

[voronin@vstu.ru](mailto:voronin@vstu.ru), [cad@vstu.ru](mailto:cad@vstu.ru), [quakex@gmail.com](mailto:quakex@gmail.com)

Рассмотрена эмпирическая методика снижения брака отливок из железоуглеродистых сплавов. Показано, что использование дерева систематизации дефектов и таблиц определения парных связей причин возникновения дефектов способствует значительному повышению качества литых заготовок в машиностроении.

Ключевые слова: системный подход, дерево систематизации, отливка, методология, методика, повышение качества, брак литья

Литейное производство является заготовительной базой машиностроения. Несмотря на длительное время существования производства отливок, технология их изготовления имеет немало недостатков, способствующих снижению качества литья. Анализ работы литейных предприятий показывает, что производство отливок терпит значительные убытки от брака литья. В связи с этим был проведен анализ существующих подходов к идентификации и устранению литейных дефектов[1]. В результате проведенных исследований была разработана новая методология повышения качества литья[2].

Методологии выявления дефектов и снижения брака отливок состоит

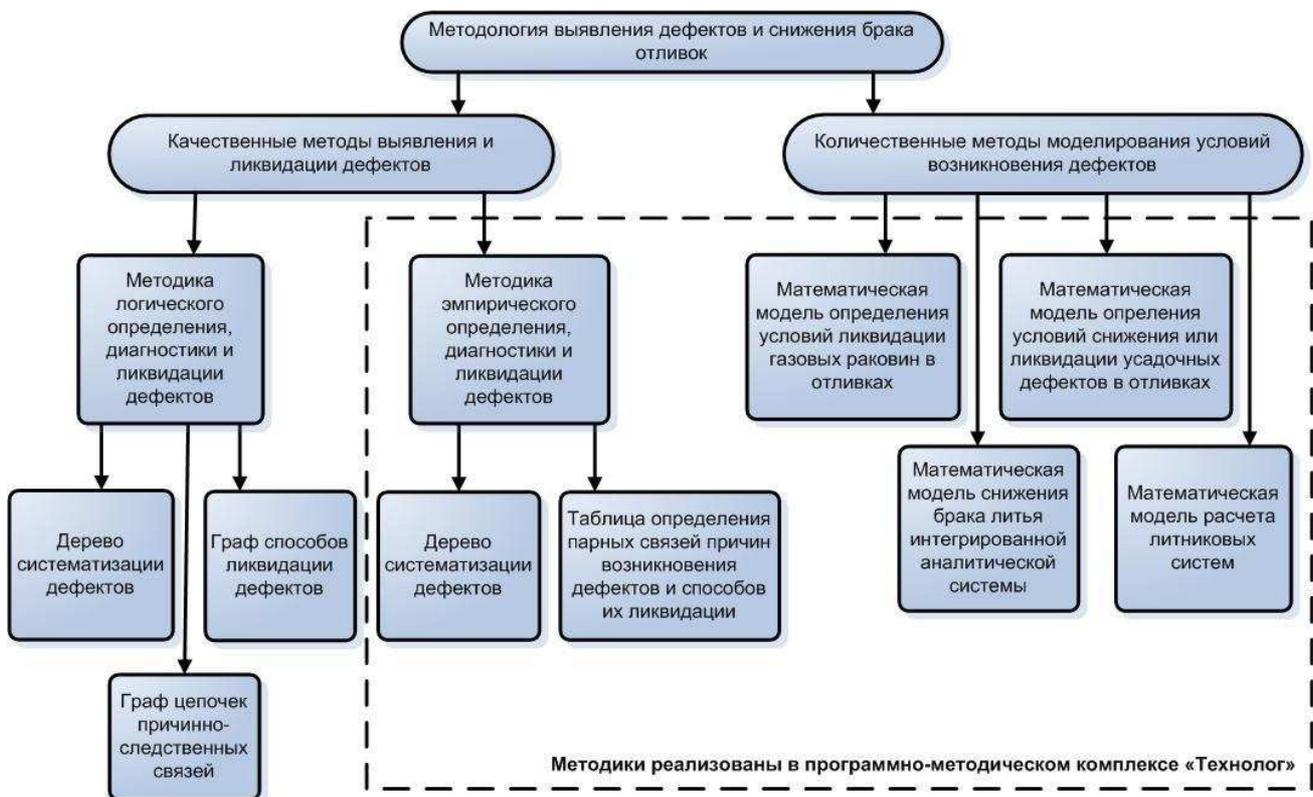


Рис. 1. Дерево компонентов методологии выявления дефектов и снижения брака отливок

из качественных и количественных методов. Качественные методы выявления и ликвидации дефектов содержат методики логического и эмпирического определения дефектов. Количественные методы моделирования условий возникновения и ликвидации дефектов содержат математические описания происходящих в литейной форме процессов.

Представленное на рис. 1 дерево иллюстрирует иерархию компонентов методологии выявления дефектов и снижения брака отливок.

Методика логического определения дефектов не требует использования автоматизированных систем, но для ее реализации необходимо знание всех процессов, происходящих в литейной форме и, кроме этого, способность к логическим рассуждениям. Это необходимо для определения: разновидностей дефектов по дереву систематизации; цепочек причинно-следственных связей для выявления направлений поиска причин, связанных с дефектами; связей причин возникновения дефектов со способами их ликвидации.

Анализ деятельности технологического персонала литейного производства показывает, что большая их половина имеет затруднения при логическом определении дефектов. Для этого случая разработан эмпирический вариант методики ликвидации дефектов отливок.

Методика эмпирического определения дефектов используется при затруднении в логическом выявлении и ликвидации брака отливок. Наиболее приемлемый вариант заключается в диалоге пользователя с компьютером, в процессе чего решаются вопросы по рассматриваемой проблеме. Ниже рассматривается эмпирический подход к устранению дефектов, основанный на реальных результатах производственной и научной деятельности [3].

В процессе производства отливок технологические параметры претерпевают частые динамические изменения в различных направлениях от оптимального значения. Математическое описание таких изменений практически невозможно в связи с большой сложностью определения направлений реализации технологического процесса. К таким изменениям можно отнести колебания:

- температур заливаемого металла, окружающей среды в литейном цехе, нагреваемой оснастке, сушильных печей и т.д.;
- динамического давления заливаемого металла, образующегося газа в литейной форме и т.д.;
- скорости заливки металла в форму, охлаждения заливаемого металла, нагрева формообразующего материала и передачи им тепла в глубинные слои формы и в окружающее пространство и т.д.;
- содержания влаги в смесях, газотворного вещества в формообразующих материалах, ликвирующих элементов в металле и т.д.

Список отклонений может увеличиваться до значительной величины. Следовательно, процесс заливки металла в литейную форму и происходящие в это время динамические превращения можно отнести к реальной, слабо-структурированной динамической системе Исследование процесса оптимизации качества литья сводится к изучению моделей (набора технологических параметров),

совершенствование и развитие которых определяется анализом экспериментальных и теоретических результатов при их сопоставлении. Исследуя одну и ту же динамическую систему (к примеру, заливку металлом литейной формы) в зависимости от особенностей учета различных технологических параметров, можно получать различные модели. Эти особенности легли в основу реального моделирования процесса устранения литейных дефектов.

Для реализации рассмотренного процесса была предложена следующая методика[4,5]. Состояние системы задается набором позитивных факторов, оказывающих положительное влияние на снижение дефектов отливок и негативных факторов, влияющих на возникновение дефектов. Факторы располагаются в таблице, где определяется их принадлежность к технологическому процессу изготовления отливки и устанавливается их влияние (в числовом выражении) на возникновение рассматриваемого дефекта. Влияние парных связей позитивных и негативных факторов на возникновение дефекта отражаются в таблице оценки их влияния. Величины факторов устанавливаются в результате большого числа практических наблюдений за процессом производства отливок различной сложности.

При ликвидации дефекта приходится решать три основные задачи:

1. Первая задача. Правильно систематизировать дефект отливки. Неправильная систематизация может увести от выбора правильного направления в определении причин возникновения дефекта.

2. Вторая задача. Точно определить причину возникновения дефекта.

Сложность определения причин возникновения дефектов заключается в том, что часто образование или ликвидация дефектов возможно от различных позитивных факторов (способствуют ликвидации дефекта) и негативных факторов (причин, способствующих возникновению дефекта), т.е. возникают парные связи причин возникновения дефектов.

3. Третья задача. Определить эффективный способ ликвидации дефекта для создания устойчивого технологического процесса.

При изготовлении отливки, факторы могут оказывать влияние как самостоятельно, так и взаимодействовать между собой, тем самым усиливая или ослабляя общее воздействие на возникновение дефекта отливки. Одним из эффективных способов определения причин возникновения дефектов являются эвристические приемы, как результат обобщения опыта авторов с практическим опытом специалистов литейного производства. В процессе проведения исследований созданы таблицы оценки парных связей разновидностей позитивных и негативных факторов, зависящих от уровня значимости технологических параметров производства отливок. Рассмотрим использование такого способа на примере устранения газовых раковин в отливке.

Таблица 1. Факторы, влияющие на возникновение дефекта «Газовая раковина»

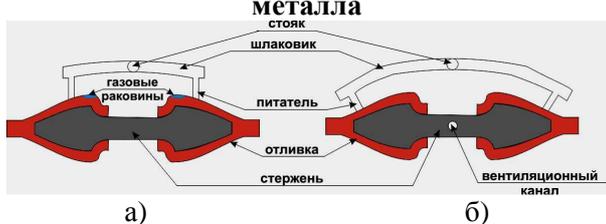
№ п/п	Наименование факторов	Позитивные (1.1) и негативные (1.3) факторы
1.	<b>Эффективность вентиляции стержней</b>	1.1. Имеется полная вентиляция стержней 1.2. Имеется центральный вентиляционный канал 1.3 Вентиляции в стержне нет
2.	<b>Температура заливаемого металла</b>	2.1 С большим перегревом 2.2 Средний перегрев (расчетное) 2.3 С минимальным перегревом
3.	<b>Время заливки формы</b>	3.1 Увеличенное (выше расчетного) 3.2 Обычное (расчетное) 3.3 Уменьшенное (ниже расчетного)
4.	<b>Газотворность стержней</b>	4.1 Уменьшенная до 10 см <sup>3</sup> /г.смеси 4.2 Обычная – 10-15 см <sup>3</sup> /г.смеси 4.3 Увеличенная – более 15 см <sup>3</sup> /г.смеси
5.	<b>Газотворность формовочной смеси</b>	5.1 Уменьшенная до 12 см <sup>3</sup> /г.смеси 5.2 Обычная – 12-16 см <sup>3</sup> /г.смеси 5.3 Увеличенная – более 16 см <sup>3</sup> /г.смеси
6.	<b>Газопроницаемость стержней</b>	6.1 Увеличенная, более 130 ед. 6.2 Обычная –100-130 ед. 6.3 Уменьшенная – 70 – 100 ед.
7.	<b>Газопроницаемость формовочной смеси</b>	7.1 Увеличенная, более 100 ед. 7.2 Обычная –70-100 ед. 7.3 Уменьшенная – 40 – 70 ед.
8.	<b>Количество вентиляционных наколов на поверхности формы</b>	8.1 Ø 5 мм, 10 шт./дм <sup>2</sup> 8.2 Ø 5 мм, 4 шт./дм <sup>2</sup> 8.3 Наколов нет
9.	<b>Противодавление газа в стержне при заливке</b>  а) б) Схема противодавления газа.	9.1 Противодавление газа нет рис. б 9.2 Противодавление незначительно 9.3 Противодавление значительное рис. а
10.	<b>Наличие ремонтного состава на стержнях</b>	10.1 Площадь заделки незначительна: глубина менее 0,5 см., площадь менее 2 см <sup>2</sup> 10.2 Площадь заделки допустимая: глубина 1 см., площадь 4 см <sup>2</sup> 10.3 Площадь заделки значительная: глубина более 2см, площадь более 5 см

Таблица 2. Оценка влияния парных связей разновидностей факторов на возникновение дефекта «Газовая раковина»

	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	5.3	6.1	6.2	6.3	7.1	7.2	7.3	8.1	8.2	8.3	9.1	9.2	9.3	10.1	10.2	10.3	
1.1	0	0	0	0	0	30	0	0	25	0	0	20	0	0	15	0	0	30	0	0	30	0	0	35	0	15	40	
1.2	20	30	35	10	20	40	15	30	50	20	25	30	20	25	40	20	30	40	20	30	50	20	35	70	30	30	80	
1.3	40	60	80	30	60	90	40	60	80	50	70	90	40	55	90	50	65	80	60	70	80	40	75	100	60	80	90	
2.1				0	10	30	10	20	30	5	10	30	10	20	35	10	20	30	10	25	35	10	25	70	10	25	70	
2.2				0	20	50	10	30	50	20	30	35	20	25	40	20	30	40	15	25	35	20	35	80	20	30	80	
2.3				25	40	70	30	45	80	40	50	80	30	40	55	40	50	60	40	50	60	40	50	100	40	50	80	
3.1							5	10	25	5	15	25	5	15	25	5	10	20	5	15	30	0	25	65	10	25	60	
3.2							15	25	40	15	25	30	15	25	30	15	25	30	15	22	30	15	30	70	40	35	90	
3.3							40	50	70	40	50	60	40	50	65	40	50	70	40	50	70	40	55	100	40	55	90	
4.1										10	15	20	10	20	25	10	20	30	10	20	30	5	25	60	10	25	60	
4.2										18	25	40	10	20	40	20	25	30	20	25	30	25	35	80	30	35	60	
4.3										40	20	60	30	60	70	40	50	60	40	50	55	45	60	100	50	60	90	
5.1													10	20	35	5	10	40	0	15	25	10	25	60	15	25	70	
5.2													15	20	45	10	15	45	10	20	30	20	30	75	20	35	80	
5.3													20	30	55	15	25	50	10	25	40	30	50	80	25	45	80	
6.1																5	15	25	10	20	30	10	25	60	15	20	60	
6.2																												
6.3																												
7.1																												
7.2																												
7.3																												
8.1																												
8.2																												
8.3																												
9.1																												
9.2																												
9.3																												

В табл. 1 представлены позитивные (например, 1.1), нейтральные (например, 1.2, наиболее часто используемые в производстве) и негативные (например, 1.3) факторы, оказывающие влияние на возникновение или ликвидацию дефекта «Пузырь подкорковый», относящегося к группе газовых раковин. Для определения причины возникновения дефекта, технолог выбирает факторы, сопутствующие процессу возникновения дефектных отливок.

Обобщая производственный опыт и литературные данные по ликвидации дефектов отливок нами было установлено следующее. Если эмпирически определить степень влияния каждого фактора на возникновение дефекта (в %) и степень взаимодействия этих факторов между собой, то можно построить обобщенную табл. 2 парного влияния факторов на качество отливки (более сложные связи не оказывают существенного влияния, поскольку в парных связях задействованы наиболее значимые факторы). Используя конкретные факторы на день изготовления отливок, по этой таблице строятся трехмерные графики влияния факторов на возможность образования дефекта и определяется основная причина его возникновения. Для каждой разновидности дефекта определены позитивные и негативные факторы и разработаны таблицы их взаимодействия. Используя графики и прилагаемые к ним таблицы с причинами возникновения дефектов, можно наметить направление моделирования позитивными и негативными факторами на снижение дефектности отливок.

На рис. 2. представлена общая схема методики определения разновидности дефектов и причин их возникновения. Данная методика реализуется в составе автоматизированной системы и выполняется по следующим этапам.

Этап 1. Пользователь проводит идентификацию дефекта по его характерным отличиям. Для этого используется дерево дефектов с фотографиями и описанием. Это позволяет точно определить разновидность дефекта.

Этап 2. Пользователь выбирает один из трех факторов тех причин, которые использовались в техпроцессе в день возникновения дефекта.

Этап 3. Выполняется оценка значимости одинарных или парных связей выбранных пользователем факторов.

Этап 4. Проводится обработка данных и строится трехмерный график влияния выбранных факторов на возникновение дефекта и таблицу с результатами обработки графика.

Этап 5. Выполняется анализ полученных результатов и корректировка параметров техпроцесса, позволяющих снизить брак отливок.





*Рис. 3. Архитектура автоматизированной системы распознавания дефектов, причин их возникновения и способов ликвидации на основе прагматических результатов*

и выявления дефектов при использовании оценки ординарных и парных связей позитивных и негативных факторов возникновения или ликвидации дефектов.

Структурно система имеет элементы, связывающие ее в единое целое, представляющее собой законченный объект. Архитектура автоматизированной системы (рис. 3) включает в себя ряд моделей и таблиц:

- «Модели идентификации дефектов», содержащие визуально-логические образы дефектов отливок с их характерными отличиями;
- «Технологические факторы производства отливок» содержат требуемые позитивные или негативные факторы, используемые в производстве в день возникновения дефекта;
- «Модуль корректировки модели идентификации и ликвидации дефектов» пополняет, удаляет или изменяет вводимые показатели факторов и образы дефектов;
- «Интерфейс визуализации моделей идентификации дефектов» позволяет определять разновидности дефектов по их характерным отличиям;
- «Интерфейс выбора технологических параметров» позволяет выбрать требуемые факторы производства отливок на день возникновения дефектов;
- «Таблицы оценки влияния парных связей факторов» и «Интерфейс выбора технологических параметров» используются «Модулем оценки парных связей факторов» для определения причины (причин) возникновения дефектов;
- «Модуль построения графика причин» принимает участие в определении причин возникновения дефекта с отображением результатов в виде двух- или трехмерного графиков. По вершинам причин на графиках пользователь может определить наиболее опасные причины возникновения дефекта;

- «Модуль построения таблицы причин возникновения дефектов» выдает таблицу определения причин возникновения дефектов. В таблице описываются возможные причины образования дефектов с оценкой величины их воздействия на возникновение дефекта (в %).

Для получения короткой и расширенной информации по рассматриваемым причинам, используются дополнительные информационные «Блоки». Здесь пользователь получает короткий ответ на вопрос о ликвидации дефекта. По желанию «Блок» выдает более подробную информацию для пополнения знаний о рассматриваемом процессе. При достаточной наработке материалов на данной системе и приобретения требуемого профессионального навыка, возможна корректировка таблицы оценки парных связей причин возникновения дефектов под условия конкретного завода с использованием «Модуля корректировки модели идентификации и ликвидации дефектов».

Функционирование системы начинается с определения разновидности дефекта с помощью интерфейса визуализации моделей идентификации дефекта по его отличительным признакам. После этого осуществляется выявление причин возникновения дефекта при использовании:

- интерфейса выбора технологических параметров производства отливок на день возникновения дефекта;
- модуля оценки влияния факторов и их парных взаимодействий на возникновение дефекта, при помощи которого находятся причины, оказывающие наиболее значимое воздействие на формирование дефекта.

Полученные результаты о причинах возникновения дефектов представлены в виде таблицы и графика влияния причин на возникновение дефекта. Для каждой найденной причины система выводит способ ее ликвидации выбором из базы данных.

Разработанная методика апробирована в заводских условиях и используется на ряде заводов.

### **Литература**

1. ВОРОНИН Ю. Ф., КАМАЕВ В.А. *Атлас литейных дефектов. Чёрные сплавы. Монография.* // М.: Машиностроение – 1, 2005, - 328 с
2. ВОРОНИН Ю. Ф. *Повышение качества литья. Системный подход. Монография.* // М.: Машиностроение – 1, 2007, 263 с.
3. ВОРОНИН Ю. Ф., КАМАЕВ В.А. *Экспертная оценка качества литья. Монография.* // М.: Машиностроение – 1, 2006, - 180 с.
4. ВОРОНИН Ю. Ф., КАМАЕВ В.А. *Прагматическое моделирование литейных процессов* // Литейное производство. – 2005. - № 6. – С. 25 – 28.
5. ВОРОНИН Ю. Ф., КАМАЕВ В.А., МАТОХИНА А.В., КАРПОВ С.А. *Компьютерное определение дефекта, причин его возникновения и способа ликвидации* // Литейное производство. - 2004. - №7. - С. 17 – 24.