

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ БРАКА ОТЛИВОК

Воронин Ю.Ф.¹, Камаев В.А.², Бойко Н.А.³
(Волгоградский ГТУ, Волгоград)

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 [1]. Анализ работы литейных предприятий показывает, что производство отливок терпит значительные убытки от брака литья. О количестве и видах литейных дефектов технологи узнают на площадке брака, где складывается дефектное литье. Здесь им предстоит определить разновидность дефекта, от которого зависит верное определение причины их возникновения и способа ликвидации. Это довольно

¹ Воронин Юрий Федорович, кандидат технических наук (voronin@vstu.ru)

² Камаев Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор (cad@vstu.ru)

³ Бойко Николай Аркадьевич, студент (quakex@gmail.com)

затруднительный процесс, поскольку брак появляется вследствие:

- колебания технологических параметров (температура, влажность, прочность, газопроницаемость, газотворность и др., всего более двухсот параметров);
- несовершенства техпроцесса изготовления отливок;
- сезонные изменения температуры и влажности воздуха;
- недостаточной квалификации технологических работников литейных цехов.

Редко кто из литейщиков знает о том, что только газовых раковин насчитывается 7 разновидностей с характерными отличительными особенностями [2]. Обычно называют два, в лучшем случае три вида газовых раковин.

Описанное свидетельствует о том, что назрела реальная необходимость в разработке инструментария, позволяющего оказать помощь литейщикам при выявлении разновидностей дефектов и причин их возникновения.

В связи с этим был проведен анализ существующих подходов к идентификации и устранению литейных дефектов [3]. В результате проведенных исследований была разработана новая методология повышения качества литья. Методология выявления дефектов и снижения брака отливок состоит 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

Управление техническими системами и технологическими процессами

причинно-следственных связей для выявления направлений поиска причин, связанных с дефектами; связей причин возникновения дефектов со способами их ликвидации.

Разновидности дефектов определяются по дереву систематизации дефектов, фрагмент которого приведен на рис. 2. Здесь рассматривается пример систематизации дефектов по четырехуровневому дереву, где на каждом уровне приводятся характерные отличительные особенности светлых газовых раковин [4, 5]. Количество уровней определяется количеством определенных отличительных особенностей рассматриваемого дефекта.

Для лучшего представления отличительных особенностей дефектов разработано дерево дефектов с реальными фотографиями дефектных мест отливок. Такой подход позволяет использовать визуальный и логический анализ дефектов отливок для определения их разновидностей [6].

Для перехода от конкретной разновидности дефектов к определению причин его возникновения были построены цепочки причинно-следственных связей образования светлых подкорковых раковин, представленные в виде графа на рис. 3. Результаты сверток этих цепочек позволят по характерным особенностям дефекта на конкретной отливке и по этапам технологического процесса определить наиболее вероятную причину его возникновения.

Следующим шагом после идентификации дефекта и определения причины его возникновения является определения способов его ликвидации.

Представить структуру экспертных знаний по выбору способов устранения дефекта удобнее всего с помощью специальной схемы, приведенной на рис. 4.

Схема содержит описание некоторых причин возникновения трех разновидностей светлых гладких блестящих раковин – средних, крупных и мелких подкорковых и способов 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 ликвидации брака отливок. Ниже рассматривается эмпирический подход к устранению дефектов, основанный на реальных результатах производственной и научной деятельности.

Как отмечалось выше, 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 изменения параметров технологического процесса.

Список отклонений параметров технологического процесса может увеличиваться до значительной величины. В частности, процесс заливки металла в литейную форму и происходящие в это время динамические превращения можно отнести к *слабоструктурированной динамической системе*. Исследование процесса повышения качества литья сводится к изучению модели выбора технологических параметров (набора технологических параметров, принимающих участие в возникновении конкретного дефекта отливки), влияния технологических факторов на возникновение дефекта, их взаимодействия между собой с результирующим влиянием на качество отливок. Особенностью разработанной методики эмпирического определения причин возникновения дефектов является качественно новый метод организации взаимодействия исследователя и компьютера для решения слабоструктурированных задач [7].

Эти особенности легли в основу реального моделирования процесса устранения литейных дефектов.

Для реализации рассмотренного процесса была предложена следующая методика. Возникновение каждого дефекта зависит от участия в процессе формирования отливки определенного перечня причин. Состояние воздействия и взаимодействия причин, а в целом и системы, задается набором (в составе причин) позитивных, массово используемых и негативных

факторов, оказывающих определенное влияние на формирование качества отливки [8]. *Позитивные факторы* оказывают положительное влияние на снижение дефектов отливок. *Массово используемые факторы* определяются расчетными или практическими приемами для конкретной отливки в начальной стадии отработки технологического процесса и относятся к наиболее используемым. *Негативные факторы* оказывают влияние на возникновение дефектов. Факторы располагаются в таблице, где определяется их принадлежность к причине возникновения дефекта и устанавливается влияние факторов (в числовом выражении, определенном на основании экспертной оценки с использованием теоретических знаний и практического опыта) на возникновение рассматриваемого дефекта. Влияние парных связей позитивных, массово используемых 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:

Первая задача. Правильно определить дефект отливки, в частности, используя пример систематизации раковин по характерным отличительным особенностям (рис. 2). Бессистемное определение разновидностей дефектов способствует выбору ошибочного направления в определении причин возникновения дефекта.

Вторая задача. Точно определить причину возникновения дефекта.

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

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, массово используемых и негативных факторов (в %), зависящих от уровня значимости технологических параметров производства отливок.

Рассмотрим использование такого способа на примере устранения газовых раковин «Пузырь подкорковый» в отливке.

В таблице 1 (левая часть) представлены причины возникновения дефекта и их номера. В правой части таблицы, в продолжение каждой причины, приведены позитивные (1), массово используемые (2), и негативные (3) факторы, оказывающие влияние на ликвидацию или возникновение дефекта «Пузырь подкорковый», относящегося к группе газовых раковин. Для определения причины возникновения дефекта, технолог выбирает факторы, сопутствующие процессу возникновения дефектных отливок.

При обобщении производственного опыта и литературных данных 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 таблицу 2 парного влияния факторов на качество отливки (более сложные связи не оказывают существенного влияния, поскольку в парных связях задействованы наиболее значимые факторы). Первая цифра по границе таблицы от (п.ф.) означает причину возникновения дефекта, вторая – фактор (например, 2.3 – вторая причина,

третий фактор, или 4.2 – четвертая причина, второй фактор). Используя конкретные факторы на день изготовления отливка, по этой таблице строятся трехмерные графики влияния факторов на возможность образования дефекта и определяется основная причина его возникновения. Для каждой разновидности дефекта определены позитивные, массово используемые и негативные факторы, а также 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. 5 представлена общая схема методики определения разновидности дефектов и причин их возникновения. Данная методика реализуется в составе автоматизированной системы (9-11) и выполняется по следующим этапам.

Этап 1. Пользователь проводит идентификацию дефекта по его характерным отличиям (рис. 2). Для этого используется дерево дефектов с фотографиями и описанием. Это позволяет точно определить разновидность дефекта [3-5].

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. Пользователем выполняется анализ полученных результатов и корректировка параметров техпроцесса, позволяющих снизить брак отливок.

Этап 6. Проводится моделирование процесса изготовления отливки с использованием откорректированных параметров. При получении положительных результатов процесс исследования заканчивается. При отрицательных результатах проводится выполнение этапов 5 и 6.

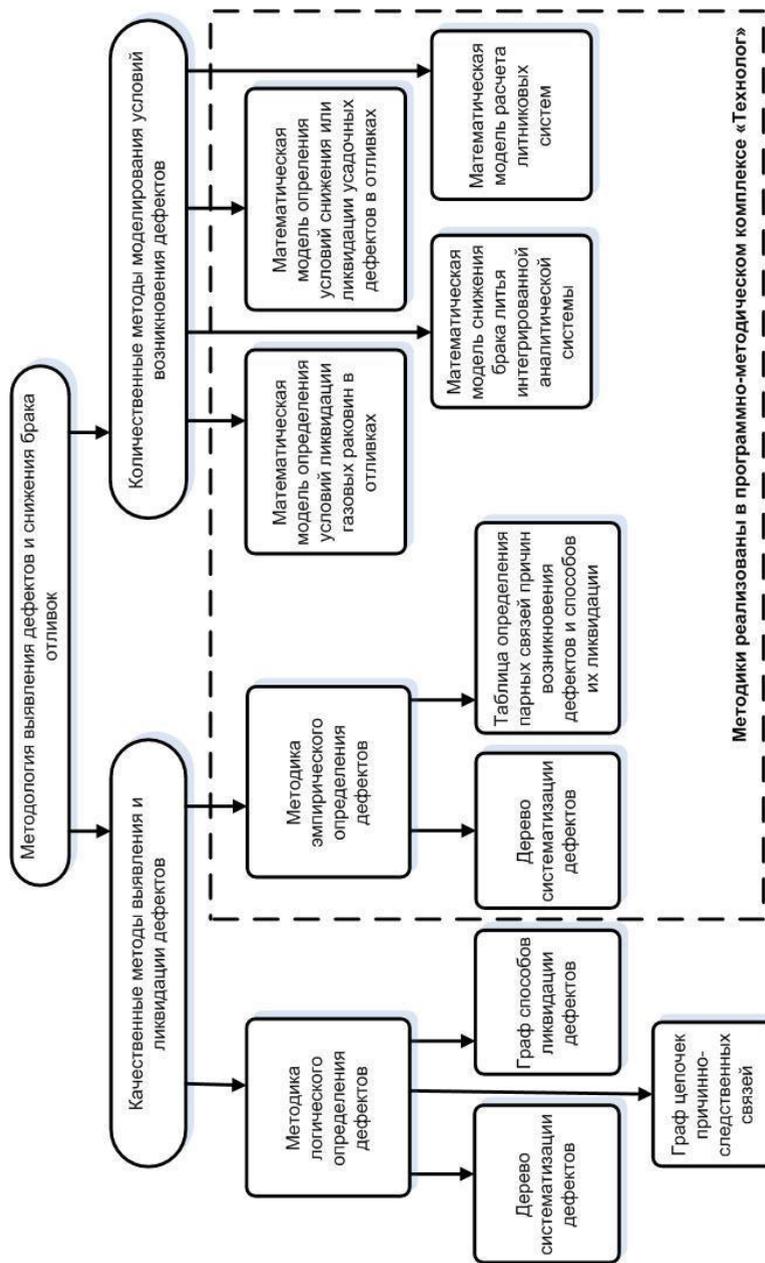


Рис. 1. Дерево компонентов методологии выявления дефектов и снижения брака отливок

Этап 7. Осуществляется выбор эффективного способа ликвидации дефектов по предлагаемым информационным материалам.

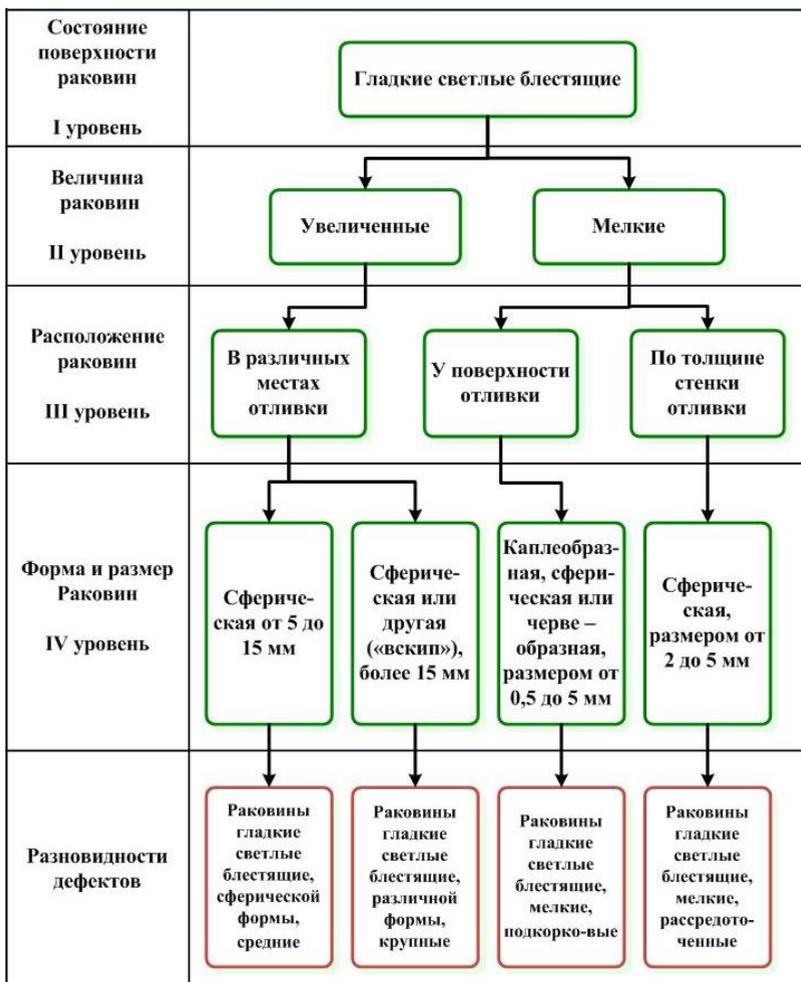


Рис. 2. Пример систематизации светлых газовых раковин по характерным отличительным особенностям

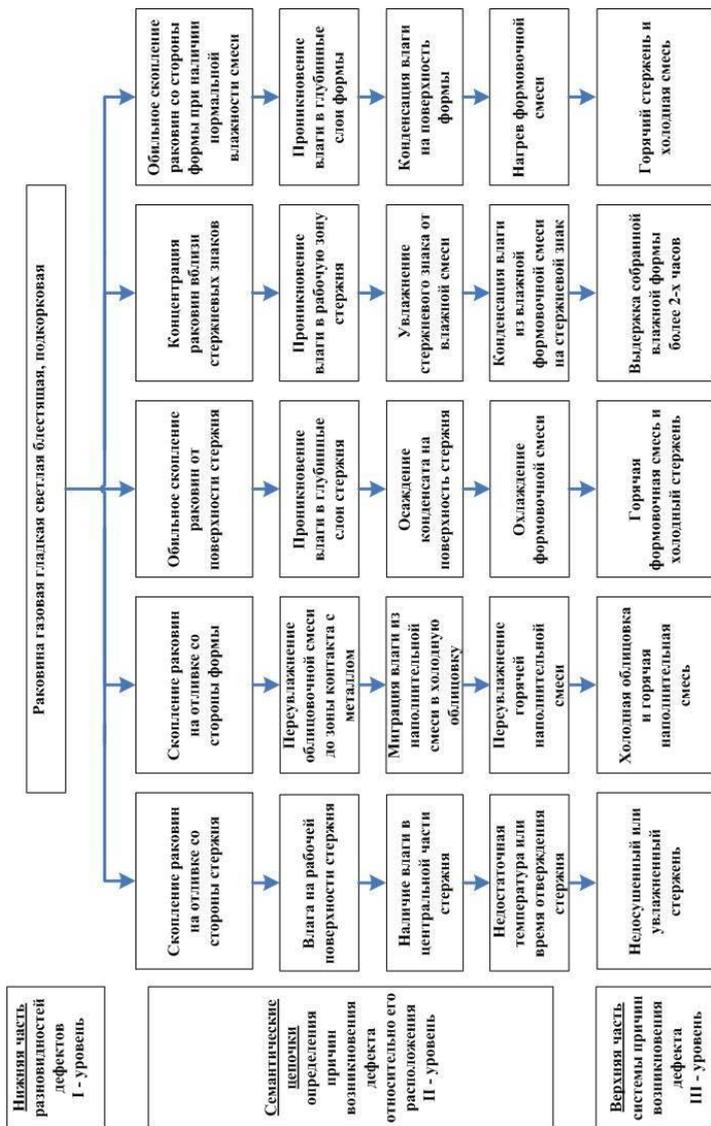


Рис. 3. Граф выявления причин возникновения мелких светлых газовых раковин на основе цепочек причинно-следственных связей

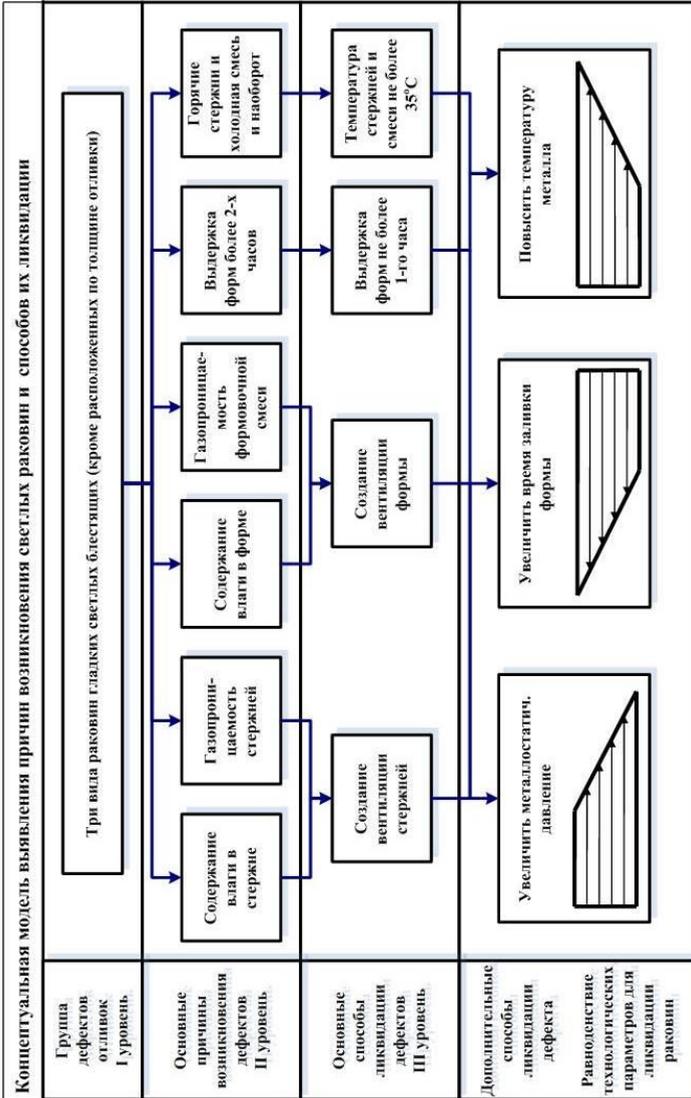


Рис. 4. Схема связи причин возникновения светлых газовых раковин и способов их ликвидации

Таблица 1. Факторы, влияющие на возникновение дефекта «Пузырь подкорковый»

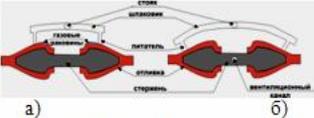
№ п/п	Наименование причин возникновения дефектов	Состояние факторов: позитивные (1) массово используемые (2) негативные (3)
1.	Эффективность вентиляции стержней	1. Имеется полная вентиляция стержней 2. Имеется центральный вентиляционный канал 3. Вентиляции в стержне нет
2.	Температура заливаемого металла	1. С большим перегревом 2. Средний перегрев (расчетное) 3. С минимальным перегревом
3.	Время заливки формы	1. Увеличенное (выше расчетного) 2. Обычное (расчетное) 3. Уменьшенное (ниже расчетного)
4.	Газотворность стержней	1. Уменьшенная до $10 \text{ см}^3/\text{г.смеси}$ 2. Обычная – $10-15 \text{ см}^3/\text{г.смеси}$ 3. Увеличенная – более $15 \text{ см}^3/\text{г.смеси}$
5.	Газотворность формовочной смеси	1. Уменьшенная до $12 \text{ см}^3/\text{г.смеси}$ 2. Обычная – $12-16 \text{ см}^3/\text{г.смеси}$ 3. Увеличенная – более $16 \text{ см}^3/\text{г.смеси}$
6.	Газопроницаемость стержней	1. Увеличенная, более 130 ед. 2. Обычная – 100-130 ед. 3. Уменьшенная – 70 – 100 ед.
7.	Газопроницаемость формовочной смеси	1. Увеличенная, более 100 ед. 2. Обычная – 70-100 ед. 3. Уменьшенная – 40 – 70 ед.
8.	Количество вентиляционных наколов на поверхности формы	1. $\varnothing 5 \text{ мм}$, 10 шт./ дм^2 2. $\varnothing 5 \text{ мм}$, 4 шт./ дм^2 3. Наколов нет
9.	Противодавление газа в стержне при заливке металла  а) б) Схема противодавления газа.	1. Противодавление газа нет рис. б 2. Противодавление незначительно 3. Противодавление значительное рис. а
10.	Наличие ремонтного состава на стержнях	1. Площадь заделки незначительна: глубина менее $0,5 \text{ см}$., площадь менее 2 см^2 2. Площадь заделки допустимая: глубина 1 см ., площадь 4 см^2 3. Площадь заделки значительная: глубина более 2 см , площадь более 5 см^2

Таблица 2. Оценка влияния парных связей разнородностей факторов на возникновение дефекта «Пузырь подкорковый» в %.

№ ф.	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	30	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	30	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																15	20	30	15	25	35	20	30	70	20	35	70	
6.3																20	30	45	25	35	45	35	40	80	30	40	90	
7.1																			0	10	30	10	25	70	20	40	70	
7.2																			10	25	40	20	35	75	50	45	80	
7.3																			20	40	60	40	60	85	40	50	90	
8.1																						10	25	70	20	20	80	
8.2																						25	35	75	25	35	85	
8.3																						35	55	85	35	55	90	
9.1																										20	20	80
9.2																										35	35	90
9.3																										60	90	100

Архитектура автоматизированной системы выявления и ликвидации дефектов представлена на рис. 6. Система создана на основе эмпирической методики определения 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. 6) 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:

- ОАО «АВТОВАЗ»;
- ОАО «АЛНАС»;
- ОАО «Тверьвагонзавод»;
- ОАО «БМЗ»;
- ОАО «Воронежский сталелитейный завод» и др.

Управление техническими системами и технологическими процессами



Рис. 6. Архитектура автоматизированной системы распознавания дефектов, причин их возникновения и способов ликвидации на основе прагматических результатов

Литература

1. ВОРОНИН Ю. Ф., Камаев В. А. *Атлас литейных дефектов. Чёрные сплавы.* – М.: Машиностроение–1, 2005. – 328 с.
2. ВОРОНИН Ю. Ф., Парфенов Ю. А., Шешенёва А. В. *Характерные особенности распознавания и устранения газовых раковин // Заготовительные производства в машиностроении.* – 2003.– №12. – С. 7-9, 57.
3. ВОРОНИН Ю. Ф. *Повышение качества литья. Системный подход.* Монография // М.: Машиностроение–1, 263 с.
4. Воронин Ю.Ф. *Системный подход к определению разновидностей светлых газовых раковин // Литейщик России.* – 2007. – №7. – С. 8-10
5. ВОРОНИН Ю. Ф., Камаев В. А. *Визуально-логические и формально-логические модели определения и ликвидации дефектов отливок из железоуглеродистых сплавов // Труды международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы» (AIS 07) и*

- «Интеллектуальные САПР». – М.: Физматлит, 2007. – Т. III. – С. 27-32.
6. ВОРОНИН Ю. Ф., Воронин С. Ю. *Ликвидация окисленных газовых раковин // Оборудование. Технический альманах.* – Март 2007. – №1. – С. 46-49.
 7. ПРАНГИШВИЛИ И. В. *Системный подход и общесистемные закономерности.* — М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
 8. ВОРОНИН Ю. Ф., Камаев В. А. *Определение условий возникновения дефектов отливок (на примере горячей трещины) // Заготовительное производство в машиностроении.* – 2005. – №3. – С. 10-14.
 9. ВОРОНИН Ю. Ф., Камаев В. А. *Методология разработки экспертной системы идентификации видов дефектов, а также причин их возникновения по прецедентам // Труды международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы. Интеллектуальные САПР», Москва, «Физматлит.», 2006. – Том 1. – С. 219-221.*
 10. ВОРОНИН Ю. Ф., Матохина А. В. *Моделирование влияния причин возникновения дефектов на качество отливок // Литейщик России.* – 2004. – №8. – С. 33-37.
 11. ВОРОНИН Ю. Ф., Камаев В. А. *Компьютер определяет причину возникновения дефектов отливки // Литейщик России.* – 2005. – №8. – С. 30-34.

EMPIRICAL TECHNIQUE OF DECREASE IN MARRIAGE CASTINGS

Voronin Yury, Volgograd State Technical University, Volgograd, Cand.Sc. (voronin@vstu.ru).

Kamaev Valery, Volgograd State Technical University, Volgograd, Doctor of Science, professor (cad@vstu.ru).

Boyko Nikolay, Volgograd State Technical University, Volgograd, student (quakex@gmail.com).

*Управление техническими системами
и технологическими процессами*

Abstract: The empirical technique of decrease in marriage castings from iron-carbon alloys is considered. It is shown that use of a tree of ordering of defects and tables of definition of pair communications of the reasons of occurrence of defects promotes substantial increase of quality of cast preparations in mechanical engineering.

Keywords: The system approach, ordering tree, casting, methodology, technique, improvement of quality, moulding marriage.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Н.Н. Бахтадзе*