

А.В. Тихонин, М.А. Заболотский, В.А. Камаев

Волгоградский государственный технический университет

И.А. Полякова, Ю. Баст

Технический университет Горная академия Фрайберга

ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

Предлагается использование когнитивного подхода, который помогает увидеть всю сеть факторов, влияющих на процесс образования литейных дефектов. Применение предлагаемого подхода дает увидеть механизмы и причины возникновения дефектов, а также проанализировать возможные пути их устранения или минимизации.

Невозможно представить себе современное машиностроение без алюминиевых литых деталей. С каждым годом все больше и больше деталей машин заменяется на детали из алюминиевых сплавов. Растущие с каждым годом требования к качеству алюминиевых деталей заставляют технологов по всему миру активно бороться с проблемой образования литейных дефектов.

Под литейными дефектами следует понимать несоответствие между реальными техническими характеристиками готовых отливок и характеристиками, которым они должны соответствовать. С каждым годом увеличивается объем производства литых деталей из цветных металлов, в особенности из алюминия, вследствие чего растут требования к качеству отливок, и вопрос повышения качества стоит в настоящее время особенно остро.

Большой процент бракованных деталей ведет к повышению себестоимости отливок. При снижении процента брака будет понижаться себестоимость их изготовления, что повысит конкурентоспособность предприятия. Поэтому литейщики во всем мире находятся в постоянных поисках методов, помогающих им производить бездефектные изделия (или, по крайней мере, значительно снизить уровень брака).

Вследствие склонности алюминия к окислению на поверхности алюминиевых сплавов образуется оксидная пленка, которая оказывает большое влияние на свойства расплава и делает его более вязким. Нежелательными последствиями этого могут быть включения оксидных пленок в виде литейных дефектов (рис. 1). Другими типичными дефектами алюминиевых сплавов являются пористость и недолив.

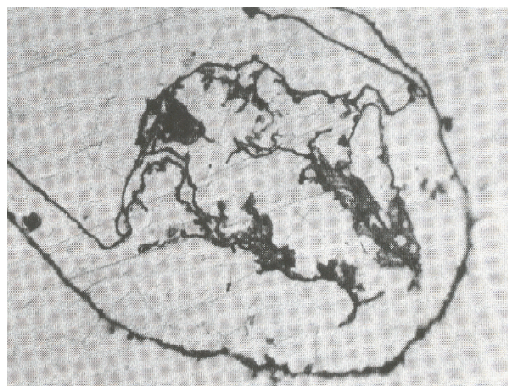


Рис. 1. Литейный дефект – оксидная пленка¹

Процесс образования литейных дефектов зависит от огромного количества взаимосвязанных факторов. Понимание отношений между определенными факторами является нелегкой задачей ввиду наличия очень сложных взаимосвязей (в том числе и взаимосвязей изменяющихся в динамике, под влиянием других факторов), а также из-за недостаточности информации об отношениях между другими факторами.

Существующие решения и их недостатки. Сегодня существует огромное количество методов моделирования сложных динамических систем и процессов. Выбор подхода зависит от сложности системы и от уровня знаний о ней.

В настоящее время в вопросах борьбы с литейными дефектами чаще всего применяются следующие инструменты:

- 1) атласы литейных дефектов (традиционные сборники дефектов);
- 2) классические экспертные системы (при использовании подобных систем очень сложно предвидеть, что произойдет с одними системными переменными, когда мы попытаемся улучшить состояние других);
- 3) технологии типа «черный ящик» (так, проблема нейронных сетей заключается в отсутствии наглядности процесса формирования вывода, т.е. невозможно понять, на основании чего делаются выводы);
- 4) моделирование (самое трудоемкое и сложное решение, которое требует огромных затрат времени и средств; при проведении моделирования система представляется в виде дифференциальных уравнений, описывающих какие-либо законы сохранения, действующие в ней).

Хотя моделирование – это самый мощный инструмент, часто возникает ситуация, когда нет необходимости производить сложные расчеты и затрачивать огромное количество человеко-часов. Зачастую решение проблемы лежит на поверхности – оно состоит в понимании логики процессов, происхо-

¹ Altenpohl D. Aluminium von innen. Das Profil eines modernen Metalles. 5. Auflage. Aluminium-Verlag, Düsseldorf, 1994.

дящих при заливке металла в форму. Поэтому после проведенного анализа существующих методов было принято решение использовать метод, который основывается на представлении системы в виде когнитивной карты. Построение и анализ когнитивной карты позволяет быстро получить информацию о поведении системы и проводить качественные и количественные эксперименты с достаточной точностью и адекватностью результатов.

Предлагаемое решение. Когнитивные карты были впервые предложены в 1948 г. американским психологом Эдуардом Толманом. В дальнейшем они были использованы в политике Робертом Аксельродом и экономике Фредом Робертсом. Классические когнитивные карты представляют собой ориентированный граф $G(V, A)$, где вершины представляют собой совокупность факторов, а дуги – причинно-следственные связи между факторами. Огромный вклад в развитие когнитивных карт внес Барт Коско. Он изобрел самую известную модификацию когнитивных карт – нечеткие когнитивные карты (англ. FCM – fuzzy cognitive maps), где значения факторов и связи между ними лежат в пределах от -1 до 1 и используется шкала. Дальнейшее развитие когнитивных карт идет по пути объединения когнитивных карт и нечеткой логики, где факторы представляют собой лингвистические переменные, а связи – базы данных нечетких правил.

С помощью когнитивного моделирования процесс образования литейных дефектов можно сделать прозрачным. Кроме того, появится возможность принимать во внимание и учитывать не только уже известные, но также и предполагаемые взаимосвязи. Демонстрация когнитивной модели технологу позволит наглядно показать всю сложную сеть взаимовлияний, причин и последствий, а также быстро определить группу факторов, которые могут быть причиной брака на производстве.

Для примера рассмотрим создание когнитивной карты сплава AlSi12 и метод литья в кокиль. При построении данной модели будут учтены по возможности все аспекты возникновения распространенных для данного сплава дефектов. В рассмотрение берутся факторы, характеризующие качество отливки наряду с факторами, которые характеризуют свойства сплава, формы, параметры технологических процессов, а также работу машин и персонала. Факторов огромное количество и построение когнитивной модели позволит нам связать все их в единую модель для дальнейшей работы с ними.

Чтобы распределить причины возникновения дефектов в логической последовательности, была использована диаграмма Ишикавы (которая графически представляет информацию в виде диаграммы «рыбьей кости»). Данная диаграмма помогает выявлять причины дефектов или нарушения качества отливок на всех уровнях технологического процесса и представляет собой графическое упорядочение факторов, влияющих на наш объект анализа. Диаграмма Ишикавы (или причинно-следственная диаграмма) – это инструмент, предназначенный для того, чтобы выделить и оценить системные причины.

На верхнем уровне представлены четыре главные причины: свойства сплава, свойства формы, параметры технологических процессов, работа персонала и оборудования (рис. 2).

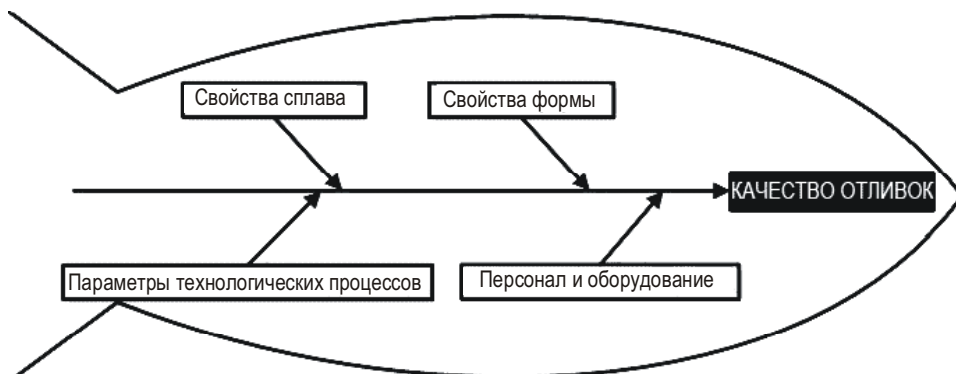


Рис. 2. Общий вид диаграммы Ишикавы

Часто очень сложно описать, как факторы влияют друг на друга. Кроме того, нет достаточной количественной информации о характере этих взаимосвязей. Но мы знаем, что, например, «если недостаточна вентиляция кокиля, то вероятность пористости отливки возрастает». В таком случае преимущество когнитивного моделирования состоит в том, что оно позволяет оперировать качественно описанными взаимовлияниями и тем самым помогает проводить анализ сложных систем, в которых преобладают такие взаимосвязи.

Если взаимосвязи не могут быть описаны в количественном виде, существует возможность использовать качественные оценки («сильно», «умеренно», «слабо») вместе со шкалой – например, шкалой Харрингтона от -1 до $+1$. Пример возможной вербальной интерпретации взаимовлияния: умеренное увеличение вентиляции кокиля сильно уменьшает вероятность возникновения пористости (рис. 3).

На рис. 4 показан фрагмент когнитивной карты, который состоит из 36 факторов и еще большего количества связей между ними. Для того чтобы облегчить и упростить процесс построения когнитивной карты, было разработано программное обеспечение, а именно аналитическая программная система «Стратег» (АПС «Стратег»), с помощью которой все доступные знания и опыт экспертов могут быть легко представлены в виде факторов и взаимосвязей между ними.

В классической когнитивной карте связи могут быть двух видов. Положительная связь – это связь, которая показывает, что увеличение значения первого фактора ведет к увеличению значения второго, и наоборот. Отрицательная связь – это связь, которая показывает, что уменьшение значения первого фактора ведет к увеличению значения второго фактора.

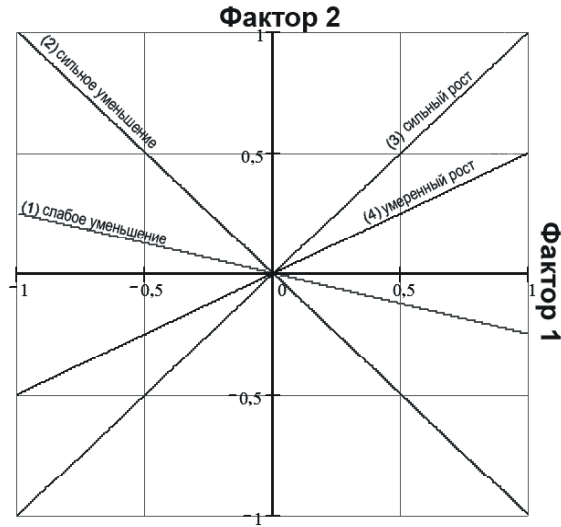


Рис. 3. Качественные взаимовлияния

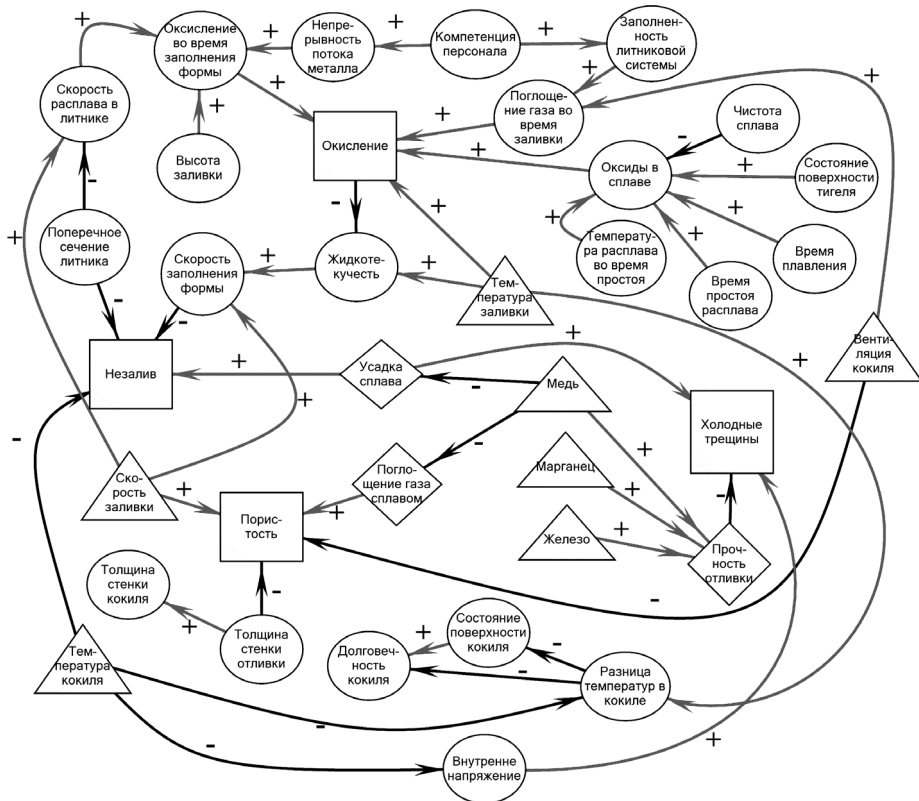


Рис. 4. Фрагмент когнитивной карты из 36 факторов:
 Δ – управляющие; □ – целевые; ○ – другие факторы

Например, на рис. 4 можно видеть, что фактор «содержание цинка» отрицательно влияет на фактор «горячие трещины», т.е. уменьшает вероятность возникновения горячих трещин, в то время как фактор «содержание титана» положительно влияет на вероятность возникновения горячих трещин, т.е. увеличивает ее.

Из выбранных факторов можно выделить целевые факторы (квадраты на рис. 4) – те факторы, изменения которых в нужную сторону мы хотим добиться. Также можно выделить «рычаги воздействия», или управляющие факторы (треугольники на рис. 4) – те факторы, которые мы можем в определенных пределах изменять.

Информация о факторах и их взаимодействиях может быть представлена в АПС «Стратег» в виде матрицы взаимовлияний. Использование матрицы взаимовлияний дает возможность проводить моделирование, которое виртуально показывает возможные последствия воздействия на один или несколько факторов.

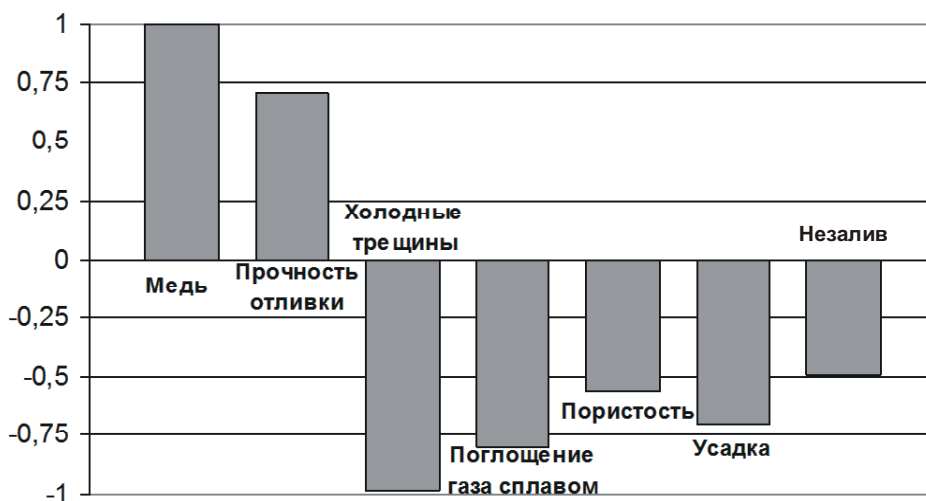


Рис. 5. Пример моделирования «Содержание меди – пористость – незалив»

Для демонстрации примера результатов моделирования представим все связи между факторами одинаковыми по модулю и равными $\pm 0,5$. Пусть мы увеличиваем на какую-то единичную величину содержание меди («медь») в сплаве, это приводит к увеличению значений факторов «прочность отливки», «поглощение газа сплавом», «усадка», что, в свою очередь, приводит к снижению вероятности возникновения таких дефектов, как «пористость», «холодные трещины», «незалив» (рис. 5).

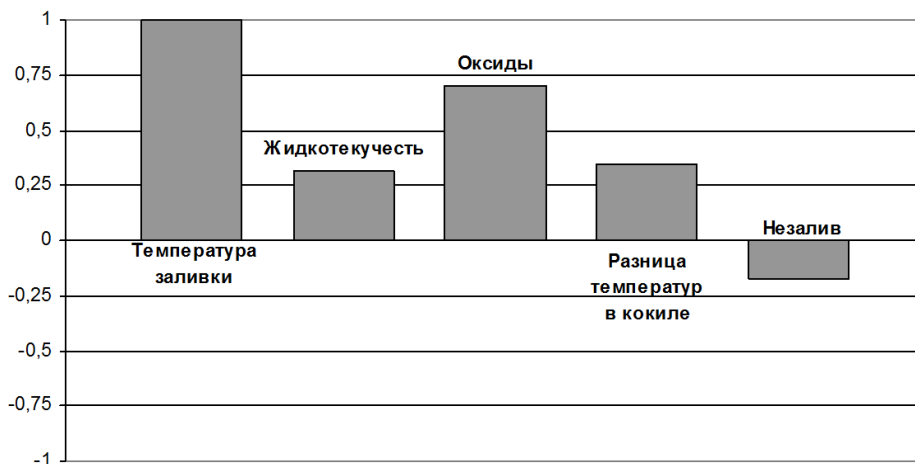


Рис. 6. Пример моделирования «Температура заливки – оксиды – незалив»

Следующий пример моделирования (рис. 6) демонстрирует противоречивость цели. Выберем фактор «температура заливки». На графе видно, что увеличение температуры заливки увеличит жидкотекучесть сплава. Соответственно, увеличение фактора «жидкотекучести» приведет к уменьшению вероятности возникновения незалива, а, например, склонность к окислению («оксиды»), наоборот, будет расти. Это пример противоречивости цели: борясь с одним дефектом, можно постоянно вызывать другие. Поэтому очень важно следить за всей сетью факторов одновременно.

Таким образом, разработанное программное обеспечение может быть использовано литейщиками в ежедневной работе. Эксперты и менеджеры, принимающие решения, также могут консультироваться с моделью и принимать решения без дорогостоящих тестов и сложных расчетов. Преимущество когнитивной модели заключается еще и в том, что эксперт может расширить модель в соответствии со своим опытом и знаниями и наблюдать за изменениями в системе.

Применение когнитивного подхода позволяет одновременно работать с большим количеством параметров в тех случаях, когда моделирование было бы очень дорогостоящим методом из-за разного объема доступной информации о динамике системы. Очевидно, что понимание логики происходящих процессов при заливке металла может обеспечить менее затратные и в то же время не менее эффективные способы решения проблемы.

Получено 4.02.2010