

Системные подходы к решению проблемы обеспечения качества в литейном производстве

Проблема обеспечения качества в литейном производстве связана с решением локальных технологических задач на всех стадиях металлургического передела в триаде «шихта – расплав – отливка». При этом реализуются кооперативные, многофакторные и многофункциональные явления процессов литья. Таким образом, обозначенная проблема является многоцелевой и многофакторной. В этом случае наиболее рациональным и эффективным является системный подход к управлению качеством. При этом необходимо достоверно отобразить не только элементы системы, но и показать каналы передачи информации, влияя на которые и можно обеспечить управление.

Цель работы – сопоставить различные принципы системного моделирования при решении проблемы управления качеством отливок в литейном производстве. В работе предложено их классифицировать как системы, изложенные или на языке событий, или на языке работ. Показано, что первый вариант предполагает использование метода абстракций, в котором многообразие ключевых факторов, определяющих качество, можно объединять интегральными понятиями, которые рассматриваются как самостоятельные объекты для анализа. Таким образом, систему триады «шихта – расплав – отливка», которая содержит некий детерминизм, показывающий причинную обусловленность трех материальных объектов, предусматривающих выполнение некоторых работ для достижения цели, в работе предложено заменить абстрактными понятиями системы иной триады – «обрабатываемость – эффективность – успешность». В этом случае система абстракций определяет намерения, которые должны быть нацелены на конечный результат – событие. Иначе – система на языке работ закладывает необходимость выполнения функций, а система на языке событий ориентирует на достижение конечной цели – требуемое качество продукции. При этом можно оперировать разными понятиями, категориями и закономерностями, в которых отображены наиболее адекватно внутренние связи системы – суть каналы передачи информации. Таким образом, реализуются различные возможности управления качеством с помощью векторов цели. Для отдельного производства они имеют свои особенности. В работе подчеркивается, что понятие абстрактной триады «успешность» содержит баланс соотношений «цена – качество», дополняемое понятием «конкурентоспособность». Это должно ориентировать производителей еще и на правовые и экономические условия производства. В то время как система «шихта – расплав – отливка» ограничивается в конечном итоге складом готовой продукции.

Ключевые слова: литейное производство, расплав, управление качеством, системное моделирование, классификация систем, системы на языке работ, системы на языке событий.

Характеристика проблемной ситуации. При использовании любых технологических методов обработки материалов в промышленности всегда конечный результат оценивают показателями качества. Но, к сожалению, публикации, анализирующие проблему качества с учетом всех стадий производства, не часто встречаются в специализированных журналах. Хотя практически каждая статья (или патент) показывает позитивный эффект предлагаемой новации.

Качество продукции можно констатировать *post factum* (пассивный контроль), а можно планировать и контролировать на всех стадиях технологического процесса (активный контроль). Только во втором случае можно обеспечить оперативное управление качеством конечной продукции. Для литейного производства в классической, упоминаемой в различных публикациях триаде системы «шихта – расплав – отливка», используются различные технологические операции и реализуются взаимообусловленные, многофакторные и многофункциональные явления процессов литья. То есть для изготовления высококачественных изделий, получаемых методами литья, их производители сталкиваются с решением слож-

ной проблемы управления качеством, балансируя между понятиями «цена – качество», которые в условиях рынка нужно дополнять понятием «конкурентоспособность». Решение такой проблемы возможно только в рамках системного подхода, основанного на принципах системного моделирования [1–4].

Прагматизм системного подхода к управлению качеством с помощью рациональной организации производства литой металлопродукции заключается, прежде всего, в возможности выработки стандартных решений. Но для этого нужно описать алгоритм управления, выделив множество целей, множество функций, работ и команд, а затем показать возможность получения приближения для соответствующей функции управления. При этом основная задача системного моделирования заключается не в том, чтобы достоверно и полно отобразить элементы многофакторной системы, а в том, чтобы отобразить их взаимосвязь и описать каналы передачи информации. Если в элементах системы отображаются образы, в которых проецируются концептуальные понимания факторов, влияющих на подцели, то каналы передачи информации определяют так называемую «интенсивность» системы [4]. В свою очередь

решения, направленные на управление системой и ее регулирование, реализуются через влияние (воздействие) на процессы в каналах передачи информации.

К сожалению, на сегодня в полной мере выполнить эти условия для системы «шихта – расплав – отливка», определяемой так в общем виде, невозможно.

В работе [1] проанализированы некоторые модельные подходы управления качеством в литейном производстве, содержащие элементы системного анализа. Но они охватывают лишь небольшой класс различных подцелей, хотя и не лишены в некоторых случаях определенной степени общности. Также в работе [1] проанализированы проблемы, возникающие при управлении качеством литой продукции. Показано, что общие базовые принципы управления качеством на фундаментальном уровне сформулированы. Но применительно к литейным процессам многозвеньевые системы управления качеством еще разрабатываются.

Цель данной работы – сопоставить различные принципы системного моделирования при решении проблемы управления качеством отливок в литейном производстве.

Системный подход к выбору энергетических методов обработки расплава. В триаде «шихта – расплав – отливка» ключевая роль принадлежит среднему звену. Именно на этой стадии передела нужно нивелировать отрицательные наследственные признаки шихты и обеспечить оптимальные условия для кристаллизационной способности расплава с последующим формированием структуры уже отливки. С этой целью активно развивались различные методы обработки расплава, начиная от печного агрегата и заканчивая, после полного образования

твердой фазы в форме, последующей термообработкой отливки, при необходимости. Эти методы можно разделить на реагентные и энергетические. В первом случае, в расплав вводят малые дозы различных химических элементов, действие которых избирательно: измельчить зерненную структуру отливки, модифицировать эвтектику, дегазировать расплав и т. п. Для другой группы методов характерна энергетическая природа воздействия на расплав, так как здесь обработка проводится с помощью различных физических полей (электромагнитного, акустического, теплового, силового). Такое действие на объект обработки, в отличие от реагентного, является многофункциональным и многоцелевым, что существенно усложняет оптимизацию характеристик нагружения. Общим элементом методов энергетической обработки (МЭО) является источник тока (или напряжения), в той или иной мере адаптированный до условий генерирования заданного физического поля как сферы воздействия на расплав.

В работе [5] ранее был изложен подход, в соответствии с которым структурирована и в общих чертах проанализирована система признаков, которые нужно учитывать при выборе метода энергетической обработки расплава (рисунок).

Такая система может характеризоваться как подсистема в интегральной триаде системы «шихта – расплав – отливка», а может рассматриваться как самостоятельная на стадии проектирования.

Основное ее назначение – показать многофакторность проблем, связанных с проектированием и эксплуатацией МЭО. В тоже время, представленные на рисунке шесть признаков необходимо учитывать при описании и структурировании методов, средств обеспечения и мониторинга для управления качеством



Обобщенная система признаков при выборе метода энергетической обработки расплава

литого металла, начиная от стадии принятия проектных решений и до стадии формирования условий продаж. То есть, используя, в том числе систему на рисунке, можно обосновано предполагать управленческие решения.

Сделаем следующие пояснения.

Признак 1 определяет выбор физического принципа МЭО. Здесь нужно учитывать, что каждый из них является многофункциональным и многоцелевым. При этом и функциональные возможности генерируемого в расплаве первичного поля и возникающие при этом процессы практически всегда являются конкурирующими. Наиболее активно это может проявляться при обработке расплава повторяющимися импульсами энергии [6]. Например, при пропускании через объект обработки импульсов тока за счет его скинирования проявляется эффект электро-магнитно-акустического преобразования энергии [7]. Кроме того, при любом из физических принципов воздействия, обозначенных на рисунке, формируются течения расплава различной интенсивности. Еще одной важной особенностью МЭО является то, что воздействие на расплав осуществляется неким элементом технологического модуля (волновод, электроды, магниты и т. п.), который размещен или вне или внутри емкости с расплавом. Такое воздействие осуществляется локально. Таким образом, как показано в той же работе [6], в том числе и по этой причине в макрообъеме расплава генерируемые поля не являются однородными. В этом случае нужно выделять область наиболее активного воздействия в объеме расплава и сопоставлять ее со всем объемом расплава. Тогда можно оценить требуемое минимальное время обработки с учетом поля течений.

На стадии выбора физического принципа МЭО при производстве литых изделий необходимо отдавать предпочтение тому из них, для которого наиболее полно изучены как особенности воздействия, так и его функциональные возможности.

Признак 2 определяет качественно новое понимание структуры расплава по шести уровням, которые на порядки отличаются линейными размерами и характерными временами процессов. В работе [8] предложено выделить пять таких уровней: от макро – до атомарного. Важность электронного уровня для металлической системы подчеркнута, например, в работах [9, 10]. Таким образом, структура расплава может быть наиболее полно описана в виде шести-уровневой системы при взаимосогласованных процессах взаимодействия между уровнями, реализуемых в каналах или шлюзах передачи информации (воздействия). Существенными признаками такой системы является иерархия уровней [8, 11, 12] и определенный порядок величины энергии, обеспечивающей устойчивость структуры материала [13].

Признак 3 дополняет признаки 1 и 2 в рамках триады «принцип воздействия – структура – свойства», определяющей научные направления материаловедения. Такая триада позволяет выявить закономерности между внешними структуро-формирующими параметрами воздействия (ВСФПВ) и внутренними структурно-кинетическими и фазовыми изменениями (ВСКФИ) в обрабатываемом металле, которые, с од-

ной стороны, учитывают его свойства, а с другой – изменяют их.

Далее представлено более полное описание признаков 2 и 3 (рисунок).

Признак 4 подчеркивает функциональные возможности МЭО расплава в разных температурных интервалах его агрегатного состояния, что определяется целью обработки, может быть даже без привязки к энергозатратам.

Признак 5 является обязательным элементом системы признаков МЭО как на стадии исследований, так и в условиях производства. Именно уровень сервиса современных наукоемких технологий, в том числе при изготовлении литой металлопродукции, должен обеспечить сбор данных о ходе операций металлургического передела, их анализ, формирование управляющих команд. Без этого в принципе нельзя обеспечить требуемое качество.

Признак 6 учитывает не только затраты при производстве в процессе использования МЭО, но и затраты на приобретение технологического модуля. При этом выделены такие важные составляющие всего технологического комплекса, как «стабильность» его работы, и «стабильность» получения продукции заданного качества, «надежность» оборудования и его «эффективность» в понимании полноты реализации целенаправленного воздействия на расплав. Важная роль при использовании наукоемких технологий отводится персоналу, который должен обладать определенным набором общих и специальных знаний, уметь планировать и эксплуатировать оборудование, вести надзор, определять приоритеты и выявлять несоответствия. И если относительно Признака 5 можно сказать, что он должен показать и обеспечить уровень «Smart Technology», то персонал должен иметь уровень своей подготовки, характеризуемый как «Smart Service Staff».

Системы структуры и свойств жидкого состояния. В работе [14] для однокомпонентных жидких металлов понятие иерархии элементов в системе структуры рассматривается как последовательное вертикальное расположение их уровней (см. рисунок). Передача информации происходит от низшего уровня (макроструктуры) к высшему (базовому), который принимает решение и передает управляющие команды в обратном направлении [11, 12]. Эта концепция позволила предположить, что формирование величины характеристик физических свойств материала, за счет соответствующей компоновки структуры, происходит только благодаря ключевым управляющим решениям на верхнем уровне системы структуры. При этом, численное значение характеристики, которое измеряют на макроуровне, практически совпадает по значению с тем, что может быть вычислено на базовом уровне с помощью правил размерности. Для этого нужно определить масштабы этого базового уровня, на котором происходят элементарные акты процессов: длина (L), масса (M), время (T), температура (Θ), сила электрического тока (I), количество вещества (N). В работе [14] определены величины этих масштабов на базовом уровне при условии записи размерности свойств в основных еди-

ницах СИ. Причем, такие свойства, как проводимость и теплопроводность формируются процессами на электронном (субатомарном) и атомарном уровнях. Кооперативно: вязкость, поверхностное натяжение, плотность, теплоемкость, скорость звука, энергетические характеристики материала – на атомарном. Сделаем простую оценку, которая показывает работоспособность такой гипотезы. Размерность динамической вязкости η [Па·с] в основных единицах SI имеет вид [кг/(м·с)]. Тогда соответствующие масштабы базового атомарного уровня (массу, длину, время) можно принять соответственно равными массе атома (Ma), радиусу первой координационной сферы (r_1) и некоторому характерному времени $T \approx 10^{-13}$ с. Оценим величину η с учетом ее размерности для следующих жидких металлов: η (Mg) $\approx 1,26 \cdot 10^{-3}$ Па·с; η (Al) $\approx 1,62 \cdot 10^{-3}$ Па·с; η (Zn) $\approx 3,69 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Эти результаты хорошо совпадают с табличными данными, измеренными на макроуровне [15], и, соответственно, равными: $1,25 \cdot 10^{-3}$; $1,3 \cdot 10^{-3}$; $3,85 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

В работе [14] проведены расчеты 9 характеристик свойств для 15 металлов, перегретых на ≈ 50 °C над точкой плавления. Сопоставление этих данных с результатами измерений [15] показало продуктивность выдвинутой гипотезы.

Таким образом, представлен фундаментальный принцип взаимосвязи системы «структура – свойства», в соответствии с которым свойства жидких металлических материалов, измеряемые на низшем уровне структуры (макро), формируются с помощью высших (базовых) уровней системы структуры с иерархией. Тогда, для изменения свойств низшего уровня структуры необходимо, чтобы МЭО расплава функционально был способен непосредственно влиять на перестройку базового уровня.

Коль скоро характеристики свойств металлических расплавов определяются процессами на базовых уровнях структуры, которые являются взаимообусловленными, то естественно предположить и взаимообусловленность свойств жидких металлов. В работе [16] на основе анализа размерностей и теории подобия построены безразмерные комплексы структурно-чувствительных свойств жидких металлов, которые имеют вид:

$$K_1 = \frac{C \cdot v \cdot \rho}{\sigma \cdot Z_1}; \quad K_2 = \frac{\lambda \cdot e^2}{\gamma \cdot k^2 \cdot T \cdot \sqrt{Z_1}}; \quad K_3 = \frac{\lambda \cdot T}{v \cdot \rho \cdot C^2 \cdot \sqrt{Z_1}}.$$

По крайней мере, для 14 анализируемых в работе [16] металлов $K_1 = K_2 = K_3 \approx 1$. В безразмерных комплексах представлены: C – скорость звука; v – кинематическая вязкость; ρ – плотность; σ – поверхностное натяжение; λ – теплопроводность; γ – электропроводность, температура (T). Заряд электрона (e) и постоянная Больцмана (k) учтены при анализе размерностей как дополнительные параметры безразмерных комплексов. Первое координационное число Z_1 в первой степени или под радикалом обеспечило равенство $K_1 = K_2 = K_3 \approx 1$. Наличие Z_1 в безразмерных комплексах показывает, что минимальным единичным элементом для модельных представлений

процессов в расплаве может выступать первая координационная сфера. Позднее, в работе [17], это было логично обосновано, что подтвердило правомочность использования значения Z_1 в указанных комплексах K_1 ; K_2 ; K_3 .

Физический смысл безразмерных комплексов можно представить следующим образом. В комплексе K_1 сопротивление среды изменению ее состояния ($\rho \cdot C$) с учетом диссипации энергии (v) соотносится с мерой нескомпенсированности межчастичных сил в межфазном слое (σ). В комплексе K_2 , который представляет собой формулу Видемана-Франца, записанную с точностью до $\sqrt{Z_1}$, соотносятся характеристики процессов переноса. В комплексе K_3 характеристика передачи теплоты ($\lambda \cdot T$) соотносится с плотностью внутренней энергии ($\rho \cdot C^2$) и характеристикой диссипации энергии (v).

Таким образом, указанные безразмерные комплексы можно представить как фундаментальные константы, показывающие взаимосвязь структурно-чувствительных свойств жидкого металла и подтверждающие их взаимообусловленность, формируемую кооперативными процессами на базовых уровнях системы структуры с иерархией.

Система факторов МЭО расплава, определяющих баланс элементов в системе «шихта – расплав – отливка» в виде абстрактных интегральных понятий. Представленные выше локальные системы, а также проанализированные в работе [1], можно рассматривать как подсистемы интегральной триады «шихта – расплав – отливка» (или в иных терминах «цена – качество – конкурентоспособность», но с другими акцентами). Поэтому они не могут в полной мере ее структурировать и описать, а тем более адекватно определить соответствующие алгоритмы управления.

Причина в том (еще раз подчеркнем), что технологические операции металлургического передела в литейном производстве, а также процессы, реализуемые МЭО, являются многофункциональными и многоцелевыми. Кроме того, в работе [18] выделено порядка 10^3 факторов, которые в той или иной мере оказывают влияние на конечные показатели качества отливки. Здесь понятие «фактор» не всегда можно определить в численном значении. Его целесообразно рассмотреть как причину, определяющую функциональную способность элементов системы [12]. Вместе с тем, логично в общем виде построить систему факторов, определяющих показатели качества отливок, в следующей последовательности: «факторы, определяющие качество шихты – факторы, определяющие кристаллизационную способность расплава – факторы, определяющие процессы формирования структуры при его охлаждении – факторы, определяющие показатели качества отливок».

Далее воспользуемся методом абстрагирования, определяемым как выделение неких интегральных понятий, учитывающих совокупность ключевых факторов. Их набор позволяет оценить результат, заложенный в цель абстрагирования. Такие интегральные понятия обозначаются определенными именами, что придает им статус самостоятельных

объектов для анализа. Например, такие хорошо известные абстрактные понятия, как «надежность» или «технологичность». Используя метод абстрагирования, можно отобразить указанную систему факторов, определяющих показатели качества, следующей последовательностью абстрактных образов (понятий):

«Обрабатываемость (Treatment Ability) → Эффективность (Efficiency) → Успешность (Success Fullness)».

Этим понятиям дадим следующие определения и пояснения.

Обрабатываемость – функциональная способность объекта обработки позитивно воспринимать и реагировать на внешние структуро-формирующие параметры воздействия. Это понятие в рамках последовательности ранее обозначенной системы факторов интегрально охватывает первые два.

Эффективность – мера полноты реализации целенаправленного действия, проявляющегося набором внутренних структурно-кинетических и фазовых изменений. В принципе, это понятие сродни понятию коэффициента полезного действия, так как оно показывает степень влияния внешних структуро-формирующих параметров воздействия на результат внутренних структурно-кинетических и фазовых изменений.

Успешность – степень достигаемой цели обработки. Очевидно, что полное определение этой степени может быть учтено соотношением всех затрат («цена») и достигаемой цели обработки («качество»), дополненной успешностью продаж («конкурентоспособность»).

Развитие системы абстракций может быть подкреплено дальнейшими исследованиями процессов при МЭО и систематизацией экспериментальных данных с целью более полного представления образов абстракций в их интегральных понятиях.

Обсуждение представленных результатов.

Методы системного анализа могут использовать различные модельные представления, отличающиеся структурированием системы, ее описанием и заложенными в систему понятиями как результат обобщения массы единичных явлений. Так, элементы системы можно отобразить на языке событий, а можно на языке работ. В первом случае (целевом) – к такому-то времени, в таком-то месте должно наступить требуемое событие. При этом для достижения цели могут использоваться различные подходы. Во втором (функциональном) – должна быть выполнена некая работа, которая априори закладывается в систему. В этих двух случаях разнятся принципы и методы управления, реализуемые каналами передачи информации, что отразится на эффективности и успешности достигаемой цели системного моделирования.

Предлагаемые в данной статье системы, которые можно рассматривать как подсистемы глобальной системы управления качеством отливки, также отличаются заложенными в них понятиями и целями (подцелями).

В классической глобальной системе триады «шихта – расплав – отливка» как, впрочем, и в тех, которые упомянуты и проанализированы в работе [1], содержится некий детерминизм, показывающий при-

чинную обусловленность трех материальных объектов. Они в кажущейся линейной последовательности определяют материализацию намерений до уровня работ, заранее заложенных в систему для обеспечения высоких показателей качества отливок.

Система «цена – качество – конкурентоспособность» скорее ориентируется на намерения (события), чем на конкретику работ. Здесь уже есть признаки неких абстракций.

Система признаков для выбора метода энергетической обработки расплава (см. рисунок) ориентирует проектировщиков на комплексное рассмотрение проблемы обеспечения качества учетом всех шести признаков. Здесь также заложен некий детерминизм с причинной обусловленностью намерений до уровня работ. Системы структуры и свойств расплава, представленные в развитие второго и третьего признаков обобщенной системы (рисунок), представляют собой материаловедческие аспекты энергетической обработки. Система структуры выделяет иерархию уровней структуры. Система свойств обобщает с точностью до взаимосвязи физические свойства расплава, что поясняется взаимообусловленностью элементарных процессов на высшем уровне системы структуры, когда шесть базовых масштабов взаимообусловлено формируют величины характеристик свойств. Прагматизм двуединой системы «структура – свойства» в рамках изложенного в данной статье заключается в том, что для активного позитивного изменения кристаллизационной способности расплава метод его обработки должен напрямую влиять на процессы высшего (базового) уровня структуры. При этом свойства не будут меняться обособленно.

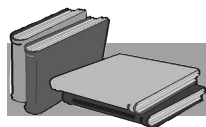
Все эти системы объединяет то, что они нацелены на выполнение определенных работ. В противовес этому логично предложена система на языке событий (намерений) «обрабатываемость – эффективность – успешность», которая представлена на языке абстракций.

Для сложной системы управления качеством такой подход является наиболее перспективным. В словах «шихта», «расплав», «структура» и т. п. сообразно их общим свойствам охвачено множество различных восприятий материальных объектов, подлежащих анализу, то есть определенным образом эти слова можно воспринимать как некие абстракции. Система абстракций, изложенная словами-намерениями, а не словами-объектами, ориентирует ее на выполнение различными возможностями не только для достижения цели, но и возможностями поиска персоналом нетривиальных решений в управлении качеством. С помощью абстрактной системы познание сложных явлений литейного производства переходит от единичных (дискретных) до обобщенных явлений и процессов. При этом создаются новые понятия, категории и закономерности, в которых отображены наиболее адекватно внутренние существенные связи – суть каналы передачи информации. Таким образом, формируются различные возможности управления с помощью векторов достижения цели.

Конечное понятие абстрактной триады («успешность») содержит в себе не только уровень требуе-

мого качества, но и конкурентоспособность литых изделий. Это ориентирует их производителей на наполняемость такой триады не только техническими и технологическими условиями производства, но и экономическими и правовыми, что более соответствует

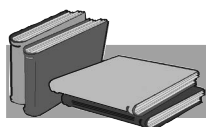
принципам маркетинга – умению заставить рынок купить ваш товар. В то время как система «шихта – расплав – отливка» ограничивается (по своей сути) в конечном итоге складом готовой продукции.



ЛИТЕРАТУРА

1. Цуркин В.Н. Концепции управления качеством литого металла // *Металл и литье Украины*. – 2008. – № 9. – С. 25–28.
2. Друкер П.Ф. Задачи менеджмента в XXI веке / П.Ф. Друкер; пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 272 с.
3. Котлер Ф. Основы маркетинга / Ф. Котлер; пер. с англ. – М.: Прогресс, 1990. – 736 с.
4. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения. – К.: Наукова думка, 2005. – 743 с.
5. Цуркин В.Н. Принципы системного подхода к выбору методов внепечной обработки расплава // *Металл и литье Украины*. – 2009. – № 7-8. – С. 12–16.
6. Tsurkin V.N., Ivanov A.V., Cherepovskii S.S., Vasyanovich N.A. Comparative analysis of functional possibilities of methods of pulse treatment of a melt // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. – 2016. – № 2. – P. 181–185.
7. Зарембо В.И. Влияние импульсов тока на процессы плавления и кристаллизации металлов // *Металлургия машиностроения*. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
8. Гуляев Б.Б., Пряхин В.И., Колокольцев В.М. Иерархия структур и механические свойства литой стали // *Литейное производство*. – 1986. – № 10. – С. 9–12.
9. Скороход В.В., Гнесин Г.Г., Ажажа В.М. и др. Иерархия структурных уровней и структурная инженерия неорганических материалов // *Неорганическое материаловедение: Энциклоп. Изд. В 2 Т. / Под ред. В.В. Скорохода, Г.Г. Гнесина*. – К.: Наукова думка. – 2008. – Т. 1: Основы науки о материалах. – С. 339–357.
10. Кульбовский, И.К. Зависимость структуры и свойств литых сплавов от электронного строения атомов, входящих в них // *Литейное производство*. – 2008. – № 6. – С. 3–28.
11. Саймон Г. Науки об искусственном. – М.: Мир, 1972. – 216 с.
12. Месарович М., Мако Д., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых систем / пер. с англ. под общ. ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1973. – 380 с.
13. Вайскопф, В. Физика в двадцатом столетии. – М.: Атомиздат, 1977. – 272 с.
14. Цуркин В.Н. Влияние системы структуры металлического расплава на его физические свойства // *Вісник Українського матеріалознавого товариства*. – 2011. – № 4. – С. 11–19.
15. Смитлз, Дж.К. Металлы. – М.: Металлургия, 1980. – 447 с.
16. Цуркин В.Н., Дмитришина Я.Ю. Корреляционные характеристики структурно-чувствительных свойств жидких металлов // *Литье и металлургия*. – 2016. – № 1 (82). – С. 40–45.
17. Цуркин В.Н., Иванов А.В., Честных Н.В. Аспекты кристаллизации расплава при его охлаждении // *Процессы литья*. – 2018. – № 1. – С. 30–41.
18. Пономаренко О.И. Оптимизация технологических решений для цехов литейного производства. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.

Поступила 01.04.2019



REFERENCES

1. Tsurkin, V.N. (2008). Cast metal quality management concepts. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 9, pp. 25–28 [in Russian].
2. Druker, P.F. (2004). Management challenges for the 21st century. Izdatel'skii dom "Vil'iams", 272 p. [in Russian].
3. Kotler, F. (1990). Marketing basics. Moscow: Progress, 736 p. [in Russian].
4. Zgurovskij, M.Z., Pankratova, N.D. (2005). System analysis: problems, methodology, applications. Kiev: Naukova dumka, 743 p. [in Russian].
5. Tsurkin, V.N. (2009). The principles of a systematic approach to the choice of furnace melt treatment method. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 7–8, pp. 12–16 [in Russian].
6. Tsurkin, V.N., Ivanov, A.V., Cherepovskii, S.S., Vasyanovich, N.A. (2016). Comparative analysis of functional possibilities of methods of pulse treatment of a melt. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, no. 2, pp. 181–185 [in English].
7. Zarembo, V.I. (2003). Effect of current pulses on melting processes and crystallization of metals. *Metallurgiiia mashinostroeniia. Metallurgy of Machinery Building*, no. 1, pp. 11–15 [in Russian].
8. Gulyaev, B.B., Pryahin, V.I., Kolokol'tsev, V.M. (1986). Hierarchy of structures and mechanical properties of cast steel. *Liteinoe proizvodstvo. Foundry*. no. 10, pp. 9–12 [in Russian].

9. Skorokhod, V.V., Gnesin, G.G., Azhazha, V.M. et al. (2008). Hierarchy of structural levels and structural engineering of inorganic materials. *Neorganicheskoe materialovedenie. Vol. 1: Osnovy nauki o materialakh*. Kiev: Naukova dumka, pp. 339–357 [in Russian].
10. Kul'bovskij, I.K. (2008). Dependence of the structure and properties of cast alloys on the electronic structure of the atoms within them. *Liteinoe proizvodstvo. Foundry*. no. 6, pp. 3–28 [in Russian].
11. Saimon, G. (1972). The sciences of the artificial. Moscow: Mir, 216 p. [in Russian].
12. Mesarovich, M., Mako, D., Takahara, Ya. (1973). Theory of hierarchical multilevel systems. I.F. Shakhnov (Ed.). Moscow: Mir, 380 p. [in Russian].
13. Vaiskopf, V. (1977). Physics in the twentieth century. Moscow: Atomizdat, 272 p. [in Russian].
14. Tsurkin, V.N. (2011). Influence of the structure of metal casting on its physical properties. *Visnyk Ukrain's'kogo materialoznavchogo tovarystva. Bulletin of the Ukrainian Material Science Society*, no. 4, pp. 11–19 [in Russian].
15. Smitlz, Dzh.K. (1980). Metals. Moscow: Metallurgii, 447 p. [in Russian].
16. Tsurkin, V.N., Dmitrishina, Ya. Yu. (2016). Correlations characteristics of the structure-sensitive properties of liquid metals. *Lit'e i metallurgii. Foundry production and metallurgy*, no. 1 (82), pp. 40–45 [in Russian].
17. Tsurkin, V.N., Ivanov, A.V., Chestnykh, N.V. (2018). Aspects of crystallization of melt at its cooling. *Protsessy lit'ia. Casting processes*, no. 1, pp. 30–41 [in Russian].
18. Ponomarenko, O.I. (2007). Optimization of technological solutions for foundry workshops. Kharkov: Bulletin of NTU "KhPI", 320 p. [in Russian].

Received 01.04.2019

Анотація

В.М. Цуркін, канд. физ.-мат. наук, доц., пров. наук. співр.,
e-mail: dpta@iipt.com.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2697-579X>

*Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Миколаїв,
Україна*

Системні підходи до вирішення проблеми забезпечення якості у ливарному виробництві

Проблема забезпечення якості у ливарному виробництві пов'язана з вирішенням локальних технологічних задач на всіх стадіях металургійного переділу в тріаді «шихта – розплав – вилівок». При цьому реалізуються кооперативні, багатофакторні та багатофункціональні явища процесів лиття. Тобто, проблема, яка вище визначена, є багатоцільовою та багатофакторною. У цьому випадку найбільш раціональним і ефективним виступає системний підхід до керування якістю. Тут необхідно достовірно відобразити не тільки елементи системи, але й показати канали передачі інформації, вплив на які й забезпечує керування якістю.

Мета роботи – зіставити різні принципи системного моделювання при вирішенні проблеми керування якістю вилівок у ливарному виробництві. У роботі запропоновано їх класифікувати як системи, що їх представлено мовою подій, або мовою робіт. Показано, що перший варіант передбачає застосування методу абстракцій, у якому різноманітність ключових факторів, які визначають якість, можна об'єднувати інтегральними поняттями, що розглядаються як самостійні об'єкти для аналізу. Таким чином, систему тріади «шихта – розплав – вилівок», у якій міститься певний детермінізм, що показує причинну обумовленість трьох матеріальних об'єктів, які у свою чергу передбачають виконання деяких робіт для досягнення цілі, у роботі запропоновано замінити абстрактними поняттями системи іншої тріади – «оброблюваність – ефективність – успішність». У цьому випадку система абстракцій визначає наміри, які потрібно націлювати на кінцевий результат – подію. Інакше – система мовою робіт має підґрунтям необхідність виконання функцій, а система мовою подій орієнтує на досягнення кінцевої цілі – якість продукції, яка є потрібною. При цьому можна оперувати різними поняттями, категоріями та закономірностями, у яких відображено найбільш адекватно внутрішні зв'язки системи – суть канали передачі інформації. Таким чином, реалізуються різні можливості керування якістю за допомогою векторів цілі. Для окремого виробництва вони мають свої особливості. У роботі підкреслено, що поняття абстрактної тріади «успішність» містить баланс співвідношення «ціна – якість», що його доповнено поняттям «конкурентоздатність». Це мусить орієнтувати виробників ще й на правові та економічні умови виробництва. В той час як система «шихта – розплав – вилівок» обмежується у кінцевому підсумку складом готових виробів.

Ключові слова

Ливарне виробництво, розплав, керування якістю, системне моделювання, класифікація систем, системи мовою робіт, системи мовою подій.

Summary

V.M. Tsurkin, Candidate of Physico-mathematical Sciences, Docent,
Leading Researcher, e-mail: dpta@iippt.com.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2697-579X>

*Institute of Pulse Processes and Technologies of the NAS of Ukraine,
Mykolayiv, Ukraine*

Systems approaches to solving the problem of quality assurance in foundry

The problem of quality assurance in foundry is associated with the solution of local technological problems at all stages of the metallurgical cycle in the triad “charge – melt – casting”. At the same time, cooperative, multifactorial and multifunctional phenomena of casting processes are realized. So, the indicated problem is multi-purpose and multifactorial. In this case, the most rational and effective is a systematic approach to quality management. At the same time, it is necessary to reliably display not only the elements of the system, but also to show the channels of information transfer, an influence on which can be achieving management.

The purpose of the work is to compare the various principles of system modeling in solving the problem of casting quality management in foundry. In this paper, it was proposed to classify them as systems set forth either in the language of events or in the language of works. It is shown, that the first option involves the use of the method of abstractions, in which the variety of key factors determining quality can be combined with integral concepts that are considered as independent objects for analysis. Thus, the “charge – melt – casting” triad system, which contains some determinism, showing causation of three material objects, providing for performing some work to achieve the goal, is supposed to be replaced by abstract concepts of a different triad system – “treatment ability – efficiency – success fullness”. In this case, the abstractions system determines the intentions that should be aimed at the result – an event. Otherwise – the system in the language of work lays down the need to perform functions, and the system in the language of events focuses on the achievement of the ultimate goal – the required product quality. At the same time, it is possible to operate with different concepts, categories and laws, in which the internal communications of the system are most adequately displayed – these are the channels of information transfer. So, various quality management capabilities using target vectors are implemented. For separate production, they have their own characteristics. The paper emphasizes that the concept of the abstract triad “success fullness” contains a balance of ratios “price – quality”, supplemented by the concept “competitive ability”. This should guide manufacturers also on the legal and economic conditions of production. While the system of “charge – melt – casting” is limited ultimately to the finished goods warehouse.

Keywords

Foundry, melt, quality management, system modeling, classification of systems, systems in the language of work, systems in the language of events.