

МАШИНОБУДУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

MACHINE BUILDING
PROCESS METALLURGY
MATERIALS SCIENCE

УДК 621.74:004.942

И.В. Прокопович, канд. техн. наук, доц.,
М.А. Духанина, магистр,
Д.А. Монова, магистр,
Одес.нац. политехн. ун-т

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ СТРУКТУРОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

I.V. Prokopovich, M.A. Dukhanina, D.A. Monova. Управління властивостями структурочутливих об'єктів ливарного виробництва. Показано, що більшість об'єктів ливарного виробництва має структурну чутливість: залежність якості кінцевого продукту — виливки від структури цих об'єктів. Запропоновано методи кількісної оцінки взаємозв'язків “технологія — структура — властивості” і параметри, за якими ця оцінка проводиться.

Ключові слова: структурна чутливість, об'єкти ливарного виробництва, перколяційні моделі, фрактали.

I.V. Prokopovich, M.A. Dukhanina, D.A. Monova. Управление свойствами структурочувствительных объектов литейного производства. Показано, что большинство объектов литейного производства обладает структурной чувствительностью: зависимостью качества конечного продукта — отливки от структуры этих объектов. Предложены методы количественной оценки взаимосвязей “технология — структура — свойства” и параметры, по которым эта оценка производится.

Ключевые слова: структурная чувствительность, объекты литейного производства, перколяционные модели, фракталы.

I.V. Prokopovich, M.A. Dukhanina, D.A. Monova. Controlling the properties of structure-sensitive foundry objects. It is shown that most of the foundry objects have structural sensitivity: dependence of the quality of the final product, the casting, on the structure of these objects. The methods for quantifying the relationships “technology — structure — property”, and the parameters on which this assessment is made, are proposed.

Keywords: structural sensitivity, foundry objects, percolation models, fractals.

Введение. Количество материалов, единиц оборудования и технологий литейного производства превышает десятки тысяч. Как и всякая сложная система, каждая из них может быть представлена в виде отдельных подсистем, а значит обладает структурой: набором элементов и

связей между ними. Поэтому свойства каждого объекта в значительной степени зависят от этой структуры и, следовательно, качество результата литейного производства — отливки — также зависит от этой структуры. Более того, сама отливка также обладает структурой, и, следовательно, проблема структурочувствительности сопровождает жизненный цикл литейного производства, начиная от исходных материалов и кончая готовыми изделиями.

Постановка проблемы. Структурочувствительность объектов литейного производства — понятие качественное. Поэтому, для того чтобы иметь возможность оценивать эту чувствительность или сравнивать два однородных объекта по ее величине, необходимо решить задачу выбора параметров структурной чувствительности, а также единиц и методов их измерения. Большое значение при решении этой задачи имеет стохастичность многих характеристик литейного производства. Разрабатываемые параметры должны учитывать эту стохастичность. Важнейшим аспектом проблемы, без которого решение задачи оценивания структурной чувствительности объектов литейного производства не имеет смысла, является связь между технологией литейного производства на этапах ее проектирования и управления, с этой структурой. Ведь, в конечном итоге, только по цепочке “технология — структура — качество” можно эффективно управлять последним.

Обзор существующих достижений. Поскольку объекты литейного производства (ОЛП) крайне разнородны, параметры их структурной чувствительности существуют разные. Попытку связать технологические характеристики со свойствами литейных форм и отливок осуществляли многие исследователи. В частности, предпринимались попытки связать технологию чугунолития с герметичностью отливки [1, 2], технологию изготовления песчаной литейной формы с условиями протекания в ней [3...5], технологическую структурную чувствительность вспомогательных материалов с их свойствами и многие другие. Существуют и другие работы в области взаимосвязи между технологией и структурой [6].

К сожалению, эти работы посвящены некоторым конкретным материалам и технологиям и не дают исследователю общей картины влияния структуры, не учитывают организационную структуру литейного производства, взаимовлияние перечисленных структур и многое другое.

Поэтому **целью настоящей работы** является повышение эффективности литейного производства путем создания метода управления качеством отливок, основанного на общей модели технико-организационного управления литейной технологией и единого метода оценки их чувствительности к изменениям структуры.

Основной материал работы. Разделим литейное производство на *материальные* (формовочные и вспомогательные материалы, литейные формы, отливки и т.п.), *технические* (технология, оборудование, инструмент) и *организационные* (менеджмент, персонал, стандарты, нормативы, документация, инструкции и пр.) ОЛП

Схема взаимодействия материальных ОЛП на этапах проектирования и управления с качеством отливок представлена на рис. 1.

На рисунке, кроме перечисленных ОЛП, представлено также его турбулентное окружение. Турбулентность определяется, прежде всего, отклонениями реальных характеристик используемых материалов, энергоносителей и прочих компонентов процесса от проектных. Кроме того окружение влияет на процессы ОЛП через стохастические природные условия, брак, аварийные ситуации, а также через некомпетентные и недобросовестные действия персонала литейных цехов. В результате, например, в литейной форме могут появиться местные пере- или недоуплотнения, несплошности, другие дефекты анизотропности и пр., а в отливках — все известные виды брака.

Важнейшей составляющей представленной схемы взаимодействия является метрологическая основа производства, развитие которой предопределяется новыми подходами к проектированию и анализу литейных технологий.

Для моделирования и количественной оценки структурной чувствительности материальных объектов использовали перколяционные модели, основанные на построении и анализе кла-

стеров отдельных компонентов гетерогенных структур. Такие модели позволяли воспроизводить микро- и макроособенности форм и отливок: поры, распределение связующего, добавки, различные технологические барьеры с переменной проницаемостью и многое другое.

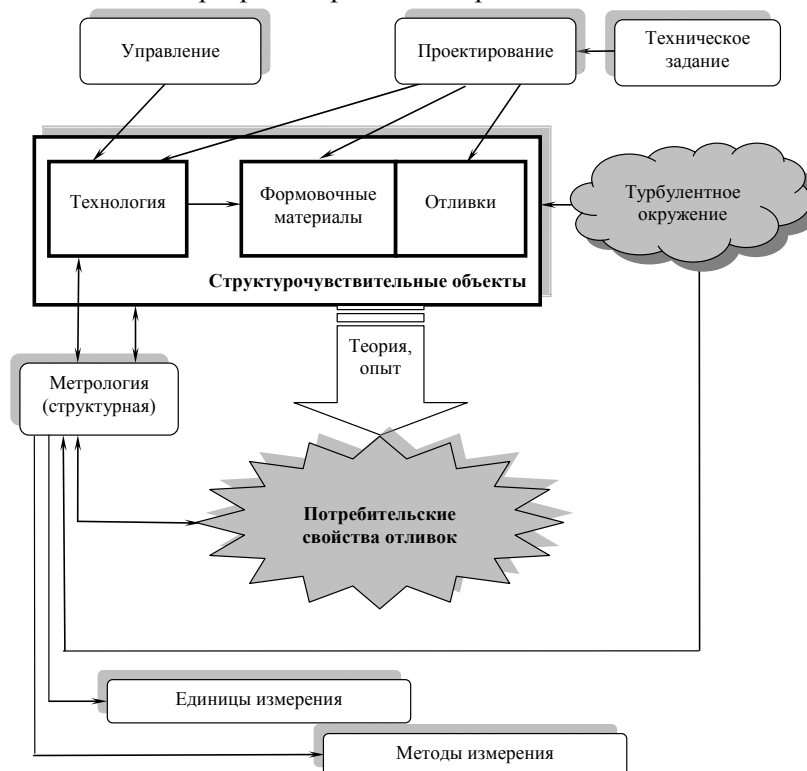


Рис. 1. Схема взаимодействия структуры материальных объектов литейного производства с САПР, АСУ, турбулентным окружением и потребительскими свойствами отливок

Наличие перколяционного порога в процессе накопления добавок со свойствами, отличными от свойств основы, приводит при некоторой концентрации добавки к скачкообразному изменению свойств гетерогенной системы. При этом различные смеси в зависимости от переносимой субстанции (масса, электричество, тепло) ведут себя по-разному, например, достаточно одного электропроводного бесконечного кластера минимальной мощности, заместившего часть исходного неэлектропроводного кластера, чтобы изменить электропроводность на несколько порядков, что совершенно не характерно для теплопроводности.

Это объясняется существенным отличием электропроводности проводника и изолятора (миллионы раз) по сравнению с отличием в теплопроводности тех же материалов (единицы раз). Аналогичная причина приводит к резкому возрастанию проницаемости стенки после появления первой сквозной поры (кластера пор). Для того же, чтобы присутствие нового компонента стало заметным с точки зрения теплопроводности, нужно, чтобы его кластер (или кластеры) обладал заметной мощностью, что достигается введением нового компонента в концентрации, существенно превышающей перколяционный порог. Поэтому, при моделировании тепловых явлений в форме важными параметрами являются не только конечность кластеров, но и их мощность.

Таким образом, моделирование замещения компонентов с резко различными параметрами, значением которых у одного из компонентов можно пренебречь (например, газопроницаемостью сплошной стенки или электропроводностью хорошего изолятора), сводится к моделированию возникновения новых возможностей протекания там, где их раньше не было вообще.

На схеме показана типичная кривая изменения перколяционной характеристики формовочной смеси λ (например, теплопроводности) при добавлении в смесь с исходной теплопроводностью λ_1 второго компонента с характеристикой λ_2 (рис. 2).

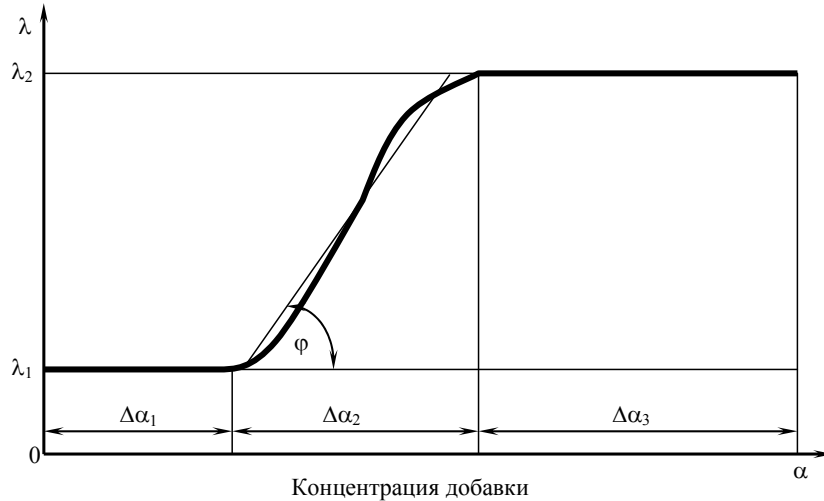


Рис. 2. Схема к анализу влияния разности коэффициентов протекания на ширину “зоны чувствительности”

На кривых такого рода можно выделить три характерных участка:

$\Delta\alpha_1$ — добавка второго компонента практически не сказывается на перколяционной характеристике смеси, остающейся такой же, как и при $\alpha=0$;

$\Delta\alpha_2$ — “зона чувствительности” — добавка второго компонента приводит к изменению перколяционной характеристики от λ_1 до λ_2 ;

$\Delta\alpha_3$ — добавка второго компонента практически не сказывается на перколяционной характеристике смеси, остающейся такой же, как и при $\alpha = 1$.

Угол φ наклона прямой, аппроксимирующей кривую $\lambda(\alpha)$ на участке $\Delta\alpha_2$, однозначно связан с величиной “зоны чувствительности” и разницей в значениях перколяционных характеристиках компонентов соотношением

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\Delta\alpha_2}. \quad (1)$$

Как показывает анализ реальных кривых $\lambda(\alpha)$ для различных свойств λ (теплопроводности, газопроницаемости, электропроводности) и различных компонентов смеси величина “зоны чувствительности” в значительной степени зависит также от разницы свойств $\lambda_2 - \lambda_1$. В настоящей работе такую зависимость искали в виде

$$\Delta\alpha_2 = \frac{1}{K|\lambda_2 - \lambda_1| + 1}. \quad (2)$$

При $\lambda_2 = \lambda_1$ $\Delta\alpha_2 = 1$, и изменение эффективной теплопроводности за счет добавки не происходит (при прочих равных условиях). При $\lambda_2 \gg \lambda_1$ $\Delta\alpha_2 \rightarrow 0$, и изменение параметра переноса при образовании бесконечного кластера происходит практически скачком.

Определение величины K для конкретных составов и параметров представляет собой практическую задачу для пользователя системы перколяционного моделирования.

Схема взаимодействия технических и организационных ОЛП с потребительскими свойствами отливок представлена на рис. 3. Она включает два цикла воздействия: технический и организационный.

Здесь построить модель взаимосвязи “объект литейного производства — структура — качество” значительно сложнее из-за отсутствия необходимой организационной информации или ее стохастичности, поэтому для моделирования на этом уровне использовали теорию фракталов. Для этого объекты литейного производства (ОЛП) рассматривали в качестве стохастич-

ческих фракталов и ввели понятие *элемент объекта литейного производства* (ЭЛП). Сформулируем свойства такого ЭЛП:

— *самоподобие*: поскольку ЭЛП также являются фрактальным объектом, ему присуще свойство самоподобия: повторение фракталом самого себя на разных масштабных уровнях, т. е. неизменность закона построения фрактала; это означает, что основные атрибуты материалов, оборудования и технологии ОЛП, распространяются не только на сам объект, но и все его ЭЛП;

— *основные процессы* ЭЛП: проектирование, изготовление, эксплуатация и списание представлены как в самом ОЛП, так и в любом его ЭЛП;

— *основные понятия* ЭЛП: качество, стоимость, экологичность и др., а также их взаимосвязи сохраняются как для ОЛП в целом, так и для его ЭЛП любого масштаба.

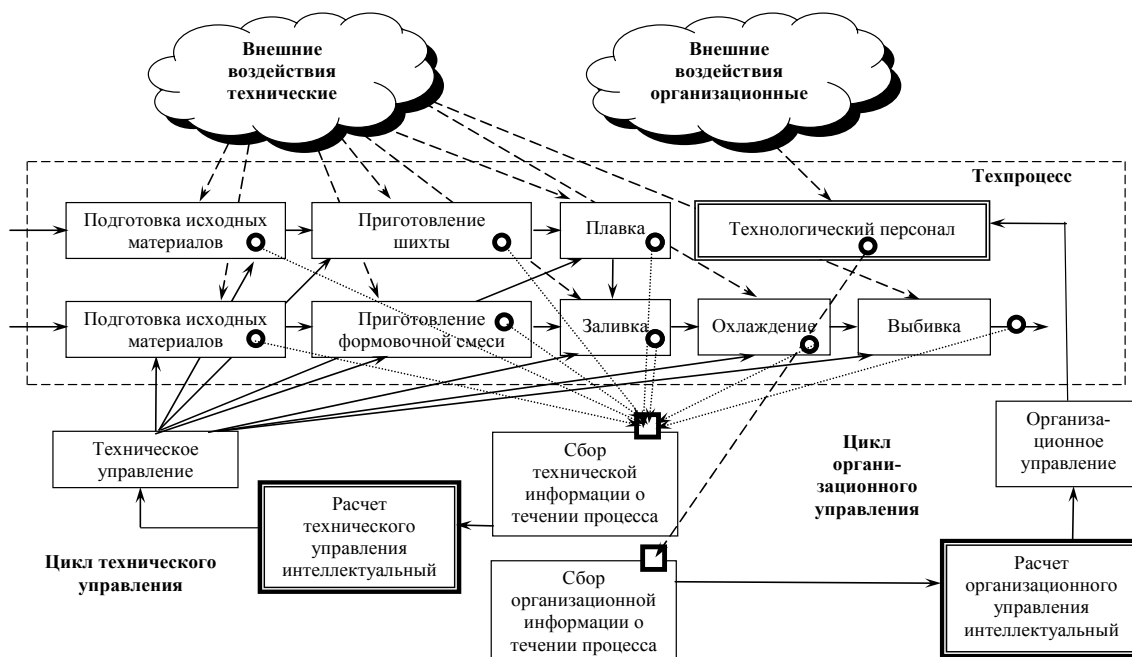


Рис. 3. Схема взаимодействия структуры технических и организационных объектов литейного производства с потребительскими свойствами отливок

Использование фрактальной модели, с одной стороны, позволяет абстрагироваться от конкретного содержания ОЛП и всех его ЭЛП разного уровня и, с другой стороны, — использовать фрактальные характеристики ОЛП для оценки его структурной чувствительности. В частности, в настоящей работе для этого использовали такую характеристику фракталов, как энтропийную фрактальную размерность.

Выводы. В работе предложены методы и модели оценивания структурной чувствительности всех компонентов литейного производства: материалов, оборудования, технологии и организации производства с точки зрения качества выпускаемых отливок и намечены пути развития автоматизированных систем проектирования и управления, а также метрологической базы литейных предприятий.

Литература

1. Прокопович, И.В. Определение вероятности образования транзитной графитовой поры в структуре серого чугуна / И.В. Прокопович, Ф.М. Грайчевский // Тр. Одес. политехн. ун-та. — 1997. — Вып. 1. — С. 25 — 26.
2. Доний, А.Н. Фрактальные имитационные модели эволюции структуры материалов в процессе фазовых превращений / А.Н. Доний, В.Ю. Алексеев // Сб. науч. и метод. тр. КПИ к 50-летию инж.-физ. фак-та. Ч. 2. — К.: КПИ, 1994. — С. 47 — 51.

3. Становский, А.Л. Структурочувствительные формовочные материалы / А.Л. Становский, Г.В. Кострова, В.Н. Пурич // Моделирование в приклад. науч. исслед. — Одесса: ОГПУ, 1998. — С. 14 — 16.
4. Кострова, Г.В. Моделирование высокоинтенсивной теплопередачи через пористые среды с источником и стоком тепла / Г.В. Кострова, В.Н. Рубанович // Моделирование в науч. исслед. — Одесса: ОГПУ, 1997. — С. 39 — 41.
5. Балан, С.А. Анализ структурочувствительных формовочных смесей / С.А. Балан, Г.В. Кострова, В.Н. Пурич // Тр. Одес. политехн. ун-та. — 2000. — Вып. 1(10). — С. 8 — 11.
6. Герега, А.Н. Бумажный фильтр как перколяционная система / А.Н. Герега, С.Н. Мороз // Применение вычисл. техники и мат. моделирования в приклад. науч. исслед. — Одесса: ОГПУ, 1995. — С. 39.

References

1. Prokopovich, I.V. Opredelenie veroyatnosti obrazovaniya tranzitnoi grafitovoi pory v strukture serogo chuguna [Determination of the probability of a transit graphite pores in the structure of gray cast iron] / I.V. Prokopovich, F.M. Graizhevskii // Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta. — 1997. — Vyp. 1. — S. 25 — 26.
2. Donii, A.N. Fraktal'nye imitacionnye modeli evolyucii struktury materialov v processe fazovyh prevraschenii [Fractal simulation models the evolution of the structure of materials in the process of phase transformations] / A.N. Donii, V.YU. Alekseev // Sbornik nauchnyh i metodicheskikh trudov KPI k 50-letiyu inzhenerno-fizicheskogo fakul'teta. Chast' 2. — K.: KPI, 1994. — S. 47 — 51.
3. Stanovskii, A.L. Strukturochuvstvitel'nye formovochnye materialy [Structurally sensitive molding materials] / A.L. Stanovskii, G.V. Kostrova, V.N. Purich // Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovaniyah. — Odessa: OGPU, 1998. — S. 14 — 16.
4. Kostrova, G.V. Modelirovanie vysokointensivnoi teploperedachi cherez poristye sredy s istochnikom i stokom tepla [Modeling high intensity heat transfer through the porous medium with a heat source and drain] / G.V. Kostrova, V.N. Rubanovich // Modelirovanie v nauchnyh issledovaniyah. — Odessa: OGPU, 1997. — S. 39 — 41.
5. Balan, S.A. Perkolyacionnyi analiz strukturochuvstvitel'nyh formovochnyh materialov [Percolation analysis of the structure-sensitive molding materials] / S.A. Balan, G.V. Kostrova, V.N. Purich // Trudy OPU. — 2000. — Vyp. 1(10). — S. 8 — 11.
6. Gerega, A.N. Bumazhnyi fil'tr kak perkolyacionnaya sistema [Filter paper as a percolation system] / A.N. Gerega, S.N. Moroz // Primenenie vychislitel'noi tehniki i matematicheskogo modelirovaniya v prikladnyh nauchnyh issledovaniyah. — Odessa: OGPU, 1995. — S. 39.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Становский А.Л.

Поступила в редакцию 15 мая 2013 г.