



УДК 621.743.074:544.332–971.2
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-28-33

Поступила 29.01.2019
Received 29.01.2019

СТРУКТУРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛИТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ю. Н. ФАСЕВИЧ, Ф. И. РУДНИЦКИЙ, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: ynfasevich@bntu.by

На основе общего критерия качества разработан проблемно-ориентированный программный технологический алгоритм для корректировки технологических параметров за счет получения характеристик, исследуемых теплофизических свойств прибыли, обеспечивающих устойчивый режим наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки в результате разогрева прибыльной части взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка». Программный алгоритм использует средства вычислительного эксперимента для определения оптимальных значений параметров при разработке литых технологических процессов. Оптимизация теплового режима сводится к анализу результатов исследуемых теплофизических свойств прибыли за счет разогрева прибыльной части литниково-питающей системы. К исследуемым параметрам относятся температуры прибыли в кристаллизующемся металле; толщина стенки прибыли; теплофизическая реакция; скорость заливки формы жидкой сталью; высота зеркала металла в прибыли.

Ключевые слова. Технологические параметры, кристаллизация отливки, теплофизические характеристики, алгоритм параметров, технологический модуль.

Для цитирования. Фасевич, Ю. Н. Структура взаимодействия программных технологических модулей при разработке литых технологических процессов / Ю. Н. Фасевич, Ф. И. Рудницкий // *Литье и металлургия*. 2019. № 1. С. 28–33. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-28-33.

STRUCTURE FOR INTERACTION SOFTWARE PROCESS MODULES IN THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CAST

YU. N. FASEVICH, F. I. RUDNITSKY, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,
65, Nezavisimosti ave. E-mail: ynfasevich@bntu.by

On the basis of the General criterion of quality the problem-oriented program technological algorithm for adjustment of technological parameters at the expense of reception of the characteristics investigated thermophysical properties of the profits providing the steady mode of imposing of hydrodynamic pressure before the beginning of crystallization of casting as a result of heating of profitable part of the interconnected elements «Gating system–casting» is developed. The software algorithm uses the means of computational experiment to determine the optimal values of the parameters in the development of cast processes. Optimization of the thermal regime is reduced to the analysis of the results of the studied thermophysical properties of top ingot due to the heating of the profitable part of the Gating-feeding system. The tested parameters are: temperature in top ingot in crystallized metal; wall thickness of top ingot; thermophysical reaction; the speed of the die casting liquid steel; the height of the heel of metal in top ingot.

Keywords. Process parameters, solidification of casting, thermophysical characteristics, the algorithm parameters, the process module.

For citation. Fasevich Yu. N., Rudnitsky F. I. Structure for interaction software process modules in the development of technological process of cast. *Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 1, pp. 28–33. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-28-33.

Основная цель разработки математически сформированного технологического алгоритма для проектирования конструкций литниково-питающих систем – разработка системы управления процессами формирования отливок с учетом автоматизированного расчета оптимальных технологических режимов литья при обобщенном использовании выработанных рекомендаций по проектированию литниковых систем для изменения характера гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки, не прибегая к помощи современных программ моделирования литейных процессов.

Для выявления эффективности влияния исследуемых теплофизических свойств прибылей, обеспечивающих устойчивый режим наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки за счет разогрева прибыльной части, на характер формирования и глубину залегания дефектов усадочного происхождения значительный интерес представляет температурный интервал ликвидус–солидус (так как именно в этом интервале формируются литейные дефекты в отливках, в том числе усадочные раковины и пористость). В зависимости от структурно-механических свойств сплава в интервале ликвидус–солидус можно выделить зону суспензионного питания. Когда дефицит питания компенсируется за счет перемещения кристаллизующегося расплава, следует учитывать границу текучести, т. е. при температуре ниже температуры нулевой жидкотекучести питание осуществляется путем фильтрации расплава между растущими кристаллами к фронту кристаллизации.

Определение важных технологических параметров за счет получения характеристик, исследуемых теплофизических свойств прибылей и проведенный литературный анализ состояния вопроса показывают, что для разработки проблемно-ориентированного программного технологического алгоритма корректировки литых технологических процессов необходимо создать структуру (систему) автоматизированного расчета технологических параметров, включающую в себя блоки взаимодействия программных технологических модулей, способные оптимизировать гидродинамические и теплофизические процессы во взаимосвязанных элементах «литниковая система–отливка».

Разрабатываемый технологический алгоритм является промежуточным программным средством, которое работает в комплексе программных сред и занимает место между вычислительным экспериментом, осуществляемым в системе моделирования, и системой анализа и обработки данных, пользовательский интерфейс которого позволяет наглядно проводить необходимые вычисления и оперативно корректировать накапливаемые базы вычислительных результатов. В комплексе возможно решение следующих задач:

1. Поиск значений параметров без проведения натурального эксперимента, определения оптимальных значений технологических параметров.

2. Согласование полученных экспериментальных данных технологического режима и характеристик настройки технологического модуля с тепловыми и геометрическими параметрами литниково-питающих систем, обеспечивающих выполнение гидродинамических критериев оптимальности и непрерывное питание отливки (заготовки), а также параметров, обеспечивающих стабильность теплового режима заполнения формы.

Планируемый процесс работы разрабатываемого проблемно-ориентированного программного технологического алгоритма можно представить в виде структурной схемы взаимодействия (рис. 1). Исходные данные для этого алгоритма формируются в нескольких последовательно связанных структурных системных блоках:

1. *Система проектирования.* В ней формируется геометрический образ отливки со взаимосвязанными элементами литниково-питающей системы, здесь же осуществляется импорт в программу разбивки областей на конечные элементы.

2. *Система формирования конечно-элементной сетки.* В ней формируется конечно-элементная сетка взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка».

3. *Вычислительный блок* (рис. 2), анализирующий эффективность влияния исследуемых теплофизических свойств прибылей на характер формирования и глубину залегания дефектов усадочного происхождения согласно геометрическому образу отливки, задаваемому температурному интервалу заливки, физическим данным окружающей среды и технологическим параметрам.

Данные для построения численной модели после каждого эксперимента поступают из модуля системы моделирования в систему для проведения регрессионного анализа и составления уравнения регрессии.

Проблемно-ориентированный программный технологический алгоритм предназначен для сбора и обработки данных пользователя, передачи результатов эксперимента в систему анализа данных Statistica, определения разрешающего уравнения и выдачи результатов расчета технологических параметров, на основании которых проводится корректировка технологического процесса с использованием технологических элементов литниковой системы с теплофизическими свойствами прибылей, обеспечивающих устойчивый режим наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки на простую по конфигурации и размерам форму [1].

Анализ данных вычислительного эксперимента рассчитан на отдельный сбор таких данных, как отношения площадей формы и прибыли, работающей под режимом наложения гидродинамического давления, площадей литниковой системы и отливки и значения газодинамического коэффициента прибыли



Рис. 1. Схема взаимодействия технологических модулей обеспечения вычислительного эксперимента

с учетом теплофизических характеристик исследуемых материалов. На основании проведенного анализа определяются коэффициенты регрессии, которые формируются в программной среде. После выполнения анализа результатом являются:

- исследуемый термический узел отливки анализируется на предмет образования усадочных дефектов;
- газодинамические характеристики процесса заполнения формы;
- в случае, если заполнение формы осуществляется при использовании технологических элементов литниковой системы с теплофизическими свойствами прибылей, указывается время ее заполнения;
- геометрические размеры взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка»;
- характеристики настройки технологического модуля, тепловых и геометрических параметров взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка», обеспечивающих выполнение гидродинамических критериев оптимальности и непрерывное питание отливки (заготовки) (рис. 3).

Термостабилизация теплового режима формы, которая собирается из стержней, изготавливаемых из жидкостекольной смеси, отверждаемой по CO_2 -процессу, и покрывается быстросохнущей противопригарной краской [3], позволяет обеспечить стабильность тепловых условий формирования отливки, а, следовательно, и ее эксплуатационных свойств. При исследовании теплофизических свойств прибылей устойчивый режим формирования отливок происходит в формах в естественных условиях, а их направленная кристаллизация – с применением средств наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки в результате разогрева прибыльной части взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка». Как показал анализ опытно-экспериментальных образцов литых заготовок вставок резцов для исследования теплофизических свойств смесей, в данных условиях в процессе изготовления отливок наиболее нестабильными оказываются значения температуры прибыли в кристаллизующемся металле; теплофизическая реакция; скорость заливки формы жидкой сталью; высота зеркала металла в прибыли. После завершения каждого цикла изготовления отливки часть теплосодержания сплава от теплофизических свойств смесей прибыли, переданного форме, остается в ней, что приводит к последовательному повышению ее температуры [2]. Величина отклонений зависит от геометрических характеристик отливки и формы, толщины стенки прибыли, тепловых условий заливки сплава и охлаждения отливки и формы.

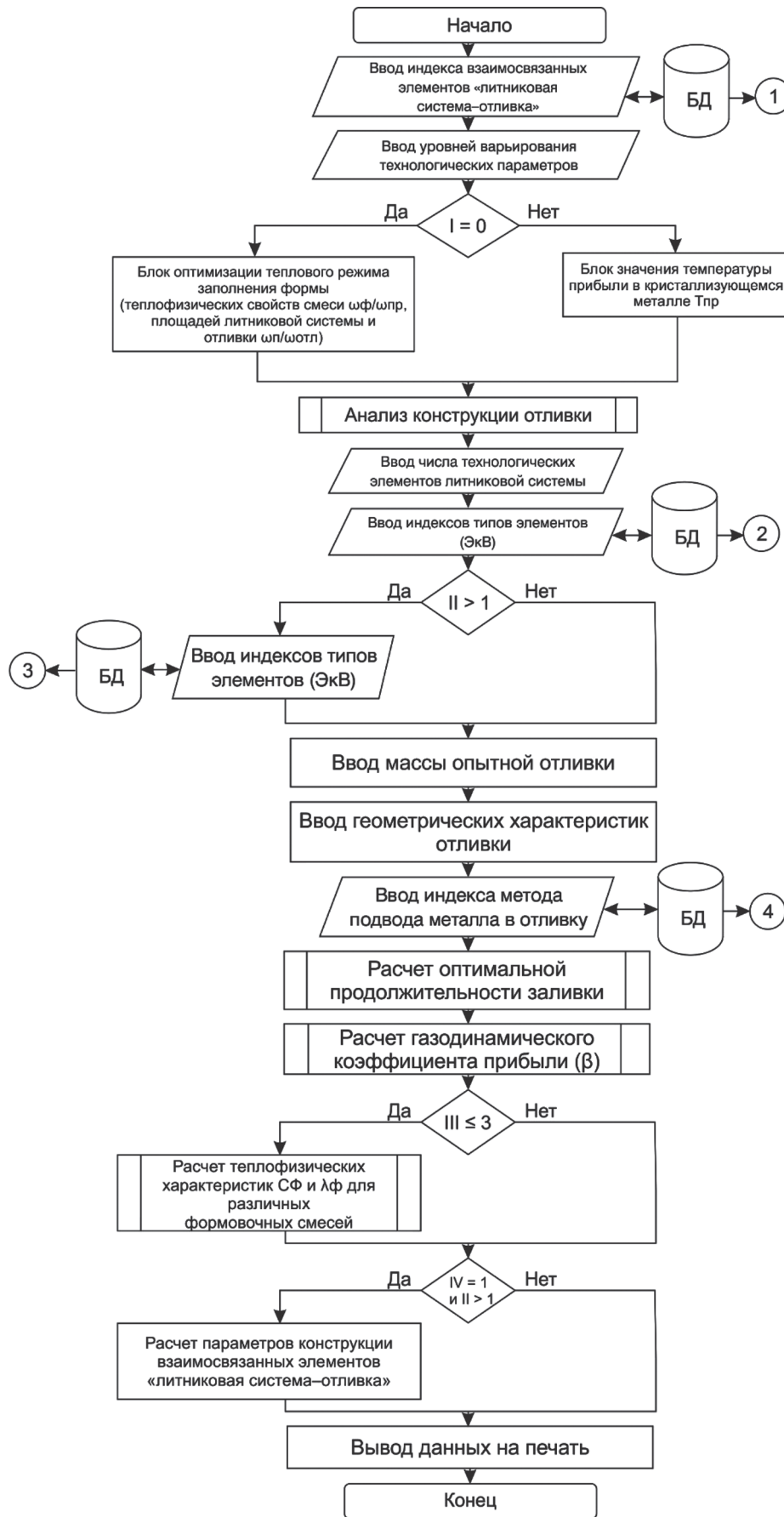


Рис. 2. Блок-схема взаимодействия программных технологических модулей при разработке литых технологических процессов



Рис. 3. Опытно-экспериментальные образцы литых заготовок вставок резцов

Температура заливки, °С:

Время охлаждения, с:

Толщина стенки технологического элемента (z(L)), мм:

Температура вставки, °С:

Температура заливки, °С:

Полнота, %:

Скор. информации	Цяуре	Отмена
0.2	0.3553	0.5203
...		
...		
...		
1.2	0.4803	0.4721
0	0.3454	0.32
	1000	1070

Видицот	0.2	0.3553	0.5203		0.08
...					
...					
...					
1.2	0.4803	0.4721			0.5488
0	0.3454	0.32			0.5228
	1000	1070			1300

Расчетное значение:

Максимальное значение:

Минимальное значение:

Полнота, %:

Время охлаждения, с:

Полнота, %:

Рис. 4. Рабочие окна интерфейса

Оптимизация теплового режима формы сводится к определению двух факторов: температуры заливки и габаритных размеров технологических элементов литниковой системы с теплофизическими свойствами прибылей (толщина стенки технологического элемента) при необходимом технологическом режиме изготовления отливок. По этим данным вырабатывается рекомендация по применению способов проектирования конструкций литниково-питающих систем для управления процессом структурообразования в фасонных отливках. Кроме того, инженер-технолог может получить значения исходных параметров конструкции исходя из времени охлаждения отливки для введенной температуры заливки. Такая методика определения технологических свойств позволяет по заданным исходным значениям находить количественные оценки исследуемых параметров, что в свою очередь позволяет решать обратную задачу по нахождению исходных данных при известных результатах эксперимента.

Планируется, что основной возможностью технологического алгоритма будет то, что инженер-технолог может наглядно проводить необходимые вычисления и оперативно корректировать накапливаемые базы вычислительных параметров при проектировании конструкций литниково-питающих систем, не прибегая к расчетам в системе моделирования.

Для реализации системы программа разработана в среде объектно-ориентированного языка программирования. Проблемно-ориентированный программный технологический алгоритм позволяет обрабатывать данные из системы моделирования, дополнять их независимо от вычислительного эксперимента и экспортировать данные для обработки в программы статистической обработки данных.

Для введения исходных данных в окне «Сбор информации» (рис. 4) заполняется таблица данными вычислительного эксперимента, полученными из системы моделирования. Автоматическое дополнение

таблицы экспериментальными данными позволяет построить матрицу результатов с любым шагом независимых переменных.

Следующее окно пользовательского интерфейса проблемно-ориентированного программного технологического алгоритма – «Формирование данных», которое позволяет корректировать данные вручную. Это дает возможность дополнять экспериментальные данные известными априорными результатами. В окне задаются значения независимых переменных (температура заливки и габаритные размеры технологических элементов литниковой системы с теплофизическими свойствами прибылей) для определения положения результатов в таблице окна и значения результатов эксперимента.

Элементом подпрограммы (рис. 4) «Определение технологических параметров» является процесс, отвечающий за сбор и редактирование исходных данных.

В последующем планируется доработать несколько программных модулей: во-первых, результаты эксперимента будут подвергаться обработке в среде статистических программных пакетов – кластеризация области эксперимента и построение регрессионной модели; во-вторых, пользовательский интерфейс принятия решения блоком корректировки технологических данных для повторного проведения вычислительного эксперимента. В окне «Определение технологических параметров» будут задаваться ограничения, по которым проводится оптимальный подбор результатов вычислений.

Полученные значения технологических параметров можно использовать для корректировки вычислительного эксперимента при разработке литых технологических процессов, но основная цель – снизить количество повторных натуральных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукуй Д. М., Фасевич Ю. Н. Построение математической модели для оптимизации составов эффективных экзотермических смесей // *Литье и металлургия*. 2010, № 3 (спецвыпуск). С. 108–111.
2. Фасевич Ю. Н., Рудницкий Ф. И. Разработка методики экспериментальных исследований управления кристаллизацией литых заготовок путем оптимизации теплофизических свойств элементов литниковой системы // *Литье и металлургия*. 2018, № 3. С. 36–42.
3. Исследование технологических факторов, определяющих эксплуатационную стойкость литого инструмента и оснастки из быстрорежущей стали / Ф. И. Рудницкий, Е. И. Марукович. Витебск, УО «ВГТУ», 2018–512 с.

REFERENCES

1. Kukuj D. M., Fasevich Ju. N. Postroenie matematicheskoj modeli dlja optimizacii sostavov jeffektivnyh jekzotermicheskih smesej [Building of mathematical model for optimization of compositions of effective exothermic blends]. *Lit'e i metallurgija = Foudry production and metallurgy*, 2010, no. 3 (specvypusk), pp. 108–111.
2. Fasevich Ju. N., Rudnickij F. I. Razrabotka metodiki jeksperimental'nyh issledovanij upravlenija kristallizaciej lityh zagotovok putem optimizacii teplofizicheskih svojstv jelementov litnikovoj sistemy [Development of methodology of experimental studies of control in crystallization of castings by optimizing of the gating system]. *Lit'e i metallurgija = Foudry production and metallurgy*. 2018, no. 3. pp. 36–42.
3. Rudnickij F. I., Marukovich E. I. *Issledovanie tehnologicheskikh faktorov, opredelajushhih jekspluatacionnuju stojkost' litogo instrumenta i osnastki iz bystrorezhushhej stali*. [Research of the technological factors determining operational durability of cast tools and tooling of high-speed steel]. Vitebsk, UO «VGTU» Publ., 2018. 512 p.