

УДК 621.744.3:533

В.Ю. Селиверстов

**ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
РАСПЛАВ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ**

*Аннотация. Приведено описание расчетных схем и информационных технологий для реализации методики определения основных технологических параметров осуществления процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме.*

*Ключевые слова. Газодинамическое воздействие, методика, расчет, затвердевание, информационные технологии, анализ серных отпечатков.*

**Введение.** Структура и свойства литого металла во многом определяются режимом кристаллизации, который можно регулировать в относительно широких пределах. О возможностях применения давления при кристаллизации расплавов для улучшения качества литых заготовок опубликовано значительное количество данных. Отмечается перспективность использования повышенных давлений во время затвердевания для обеспечения высоких и стабильных свойств отливок.

**Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи.** Реализуемый способ литья [1, 2] предполагает в качестве необходимого условия осуществления процесса наличие на поверхности рабочей полости литейной формы слоя затвердевшего металла. Толщина этого слоя должна обеспечивать по своим прочностным характеристикам герметичность системы отливка-устройство для ввода газа, находящейся под давлением, вплоть до полного затвердевания отливки. Для осуществления процесса и достижения максимальной степени эффективности газодинамического воздействия, необходимо определить время выдержки расплава в форме до момента подачи газа, соответствующее формированию корки необходимой толщины и, соответственно, прочности [3]. При этом могут применяться экспериментальные методики, такие как выливание жидкого остатка или термоэлектрические исследования [4, 5]. Несомненный интерес представляет использование систем

---

© Селиверстов В.Ю., 2009

компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) и инженерных методов расчета температурного поля отливки. Кроме того, существенными параметрами процесса являются величина давления, а также характер и продолжительность воздействия. Поэтому актуальной задачей является комплексное определение всех указанных параметров для реализации соответствующего технологического процесса.

**Целью работы** является разработка методики определения основных технологических параметров процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме.

**Результаты исследований.** На рис. 1 представлена схема, иллюстрирующая методику, применяющуюся для расчета технологических параметров разрабатываемого процесса в конкретных условиях производства на примере получения стальных отливок. Приведены основные расчетные схемы и применявшиеся информационные технологии, в том числе оригинальные.

Проведенный сравнительный анализ результатов расчета затвердевания отливок различной конфигурации инженерным методом и методом конечных элементов показал, что рассчитанный максимальный модуль отклонения, характеризующий расхождение результатов для распределений температур в отливке и форме находится в диапазоне 0,5 – 2,6 % по времени полного затвердевания и 0,1 – 1,9 % при затвердевании различных долей приведенной толщины отливки. Поэтому, при необходимости диверсификации способов расчета термовременных параметров герметизации отливки в литейной форме для осуществления газодинамического воздействия, возможно использование инженерного метода расчета Стефана-Шварца, а также приближенного решения с использованием уравнения «квадратного корня» и формулы Хворинова.

Для получения численного решения задачи расчета процесса затвердевания использовали метод конечных элементов в программной реализации системой компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон». При моделировании методами конечных элементов (рис. 2) выделяются следующие основные этапы: препроцессинг, расчет и постпроцессинг. Препроцессинг включает в себя построение твердотельной модели объекта и построение конечноэлементной модели объекта. Расчет

созданной конечноэлементной модели осуществляется одним из КЭ-алгоритмов, реализованных в программе, в зависимости от типа решаемой задачи. На этапе постпроцессинга происходит обработка результатов расчета и их интерпретация в терминах предметной области.

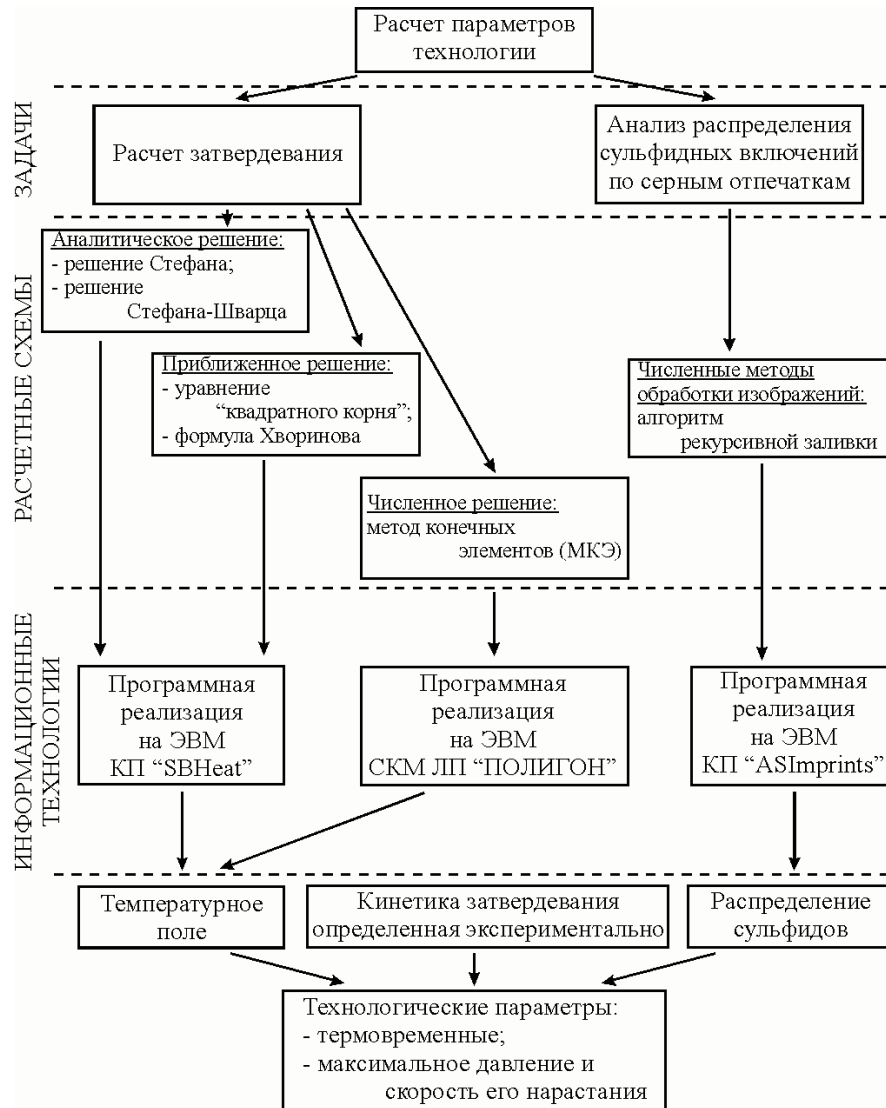


Рисунок 1 - Схема, иллюстрирующая методику расчета основных технологических параметров газодинамического воздействия



Рисунок 2 - Этапы процесса моделирования с применением СКМ ЛП «Полигон»

СКМ ЛП «Полигон» по классу является «тяжелой» системой, предназначенной для решения задач проектирования литейной технологии для любых способов литья при неограниченной сложности геометрии отливки с учетом максимального количества действующих факторов. В СКМ ЛП «Полигон» численными методами решаются задачи моделирования гидродинамических, тепловых и усадочно-фильтрационных процессов. К достоинствам пакета, помимо применения метода конечных элементов, следует отнести сложные и адекватные физические модели тепловых процессов и возможность учета сложных граничных условий, учет возможности перемещения объектов, а также возможность решения полномасштабной задачи образования усадочных дефектов. В СКМ ЛП «Полигон» проводится совмещенный расчет образования усадочных дефектов по двум совершенно различным механизмам – «микро» и «макро», с расчетом фильтрационного течения, расчетом полей давления в отливке, с учетом сложного динамического характера изменения структурированности сплава в интервале затвердевания.

Программный модуль (ПМ) SBHeat – «Инженерный расчет температурного поля полуограниченной отливки» разработан для расчета распределения температуры в отливке и форме на основании аналитического решения Стефана-Шварца задачи о затвердевании отливки в полубесконечной литейной форме [6]. Результат работы ПМ SBHeat представляет собой распределение температуры в отливке и форме в моменты времени, соответствующие затвердеванию 0,1, 0,5 и 0,95 долей приведенной толщины отливки, что дает возможность определить термовременные параметры герметизации отливки.

При осуществлении газодинамического воздействия на расплав на протяжении всего процесса затвердения необходимо поддерживать максимально возможный уровень газового давления, величина которого, в свою очередь, будет обуславливаться прочностными характеристиками образующегося затвердевшего слоя металла. По мере увеличения затвердевшего слоя его прочность будет расти, что дает возможность повышать давление. Поэтому определение режимов осуществления газодинамического воздействия основано на соответствии создаваемого газового давления кинетике роста затвердевшего слоя металла. Ее можно определить экспериментальным путем (термоэлектрическим методом, выливанием жидкого остатка), или проведением соответствующих расчетов с использованием систем компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП).

Оригинальный программный комплекс «ASImprints – Анализ серных отпечатков» (ПК ASImprints) разработан для проведения количественного анализа серных отпечатков и позволяет обрабатывать монохромные изображения как целых серных отпечатков, так и их фрагментов [7]. Это дает возможность оценить эффективность и скорректировать режим газодинамического воздействия.

ПК ASImprints анализирует изображения серных отпечатков с использованием алгоритма рекурсивной заливки, определяет количественные характеристики бинарного изображения:

– размер сульфидных включений (СВ) и их количество, при этом размер включений приводится в пикселях и квадратных миллиметрах;

– количество и площадь СВ, принадлежащих размерным интервалам: мелкого, среднего, крупного включения и дефекта.

Поскольку ПК ASIprints обрабатывает только бинарные изображения, предусмотрена возможность перевода полутонового изображения серного отпечатка в бинарный вид, при этом производится расчет концентрации СВ.

Для проведения количественного анализа изображения макроструктуры используется алгоритм рекурсивной заливки гранично-определенной 4-х связной области [7, 8]. Модификация данного алгоритма путем введения счетчика количества залитых пикселей, входящих в гранично-определенную область, позволяет определить площадь области пониженной яркости при заданном разрешении изображения. На рисунке 3 приведена структурная диаграмма ПК ASIprints, состоящего из трех модулей.



Рисунок 3 - Структурная диаграмма ПК ASIprints

Модуль «Бинаризация» ПК ASIprints предназначен для преобразования полутонового изображения в монохромное по заданному порогу, при этом, рассчитывается доля площади сульфидных включений во фрагменте.

Модуль «Анализ» ПК ASIprints предназначен для определения площадей и количества включений на монохромном изображении серного отпечатка или его фрагмента с использованием алгоритма рекурсивной заливки гранично-определенной 4-х связной области.

Результаты анализа изображения приводятся в окне ПК ASIprints в следующем формате:

- размер включения в пикселях,
- размер включения в мм<sup>2</sup>,
- количество включений соответствующего размера.

Результаты анализа изображения возможно сохранить в текстовом файле с использованием стандартного диалогового окна Windows для сохранения текстовых файлов.

Модуль «Калибровка» ПК ASIprints предназначен для определения доли площадей и количества включений четырех размерных диапазонов. Модуль предоставляет возможность пользователю в интерактивном режиме определить площадь включения и задать в соответствующем диалоговом окне размерные диапазоны включений: «мелкое», «среднее», «крупное», «дефект». После чего производится обработка исходного изображения алгоритмом рекурсивной заливки гранично-определенной 4-х связной области, вычисление долей площади и количества, соответствующих различным диапазонам размеров, а также визуализация результата, который сохраняется в файле с использованием стандартного диалогового окна Windows.

#### **Выводы**

1. Разработана методика определения основных технологических параметров процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме и, в том числе, термовременных параметров герметизации системы отливка-устройство для ввода газа.

2. Установлены необходимые к использованию расчетные схемы. При необходимости диверсификации способов расчета термовременных параметров герметизации отливки в литейной форме возможно использование инженерного метода расчета (Стефана-Шварца), так и численного решения в программной реализации системой компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП).

3. Определение режимов осуществления газодинамического воздействия основано на соответствии создаваемого газового давления кинетике роста слоя затвердевшего металла. При этом возможно использование экспериментальных данных, полученных термоэлектрическим методом или выливанием жидкого остатка, а также проведением соответствующих расчетов с использованием СКМ ЛП.

4. Для оценки эффективности и коррекции режима газодинамического воздействия при литье стальных отливок возможно использование результатов количественного анализа

серных отпечатков с помощью оригинального программного комплекса «ASImprints – Анализ серных отпечатков» (ПК ASImprints), позволяющего обрабатывать монохромные изображения как целых серных отпечатков, так и их фрагментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) В22D 18/00 Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28859 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21.
2. Деклараційний патент, Україна МПК (2006) В22D 18/00 Спосіб отримання виливків/ Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. № 28858 заявл. 03.08.2007, опубл. 25.12.2007 Бюл. № 21.
3. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
4. Селиверстов В.Ю., Хрычиков В.Е., Доценко Ю.В. Экспериментальное термографическое исследование затвердевания отливки из стали 35Л в кокиле // Теория и практика металлургии. – 2006. – №6. – С. 29-32.
5. Селиверстов В.Ю., Хрычиков В.Е., Доценко Ю.В. Температурное поле процесса затвердевания отливки из стали Х12Ф1 в кокиле // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 2 – 3. – С. 83 – 86.
6. Комп'ютерна програма «SBHeat-Інженерний розрахунок температурного поля напівобмеженого виливка»; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 22135 / Михайловська Т.В., Селівьорстов В.Ю.; дата реєстрації 21.09.2007.
7. Комп'ютерна програма «ASImprints – Аналіз сірчаних відбитків» Селівьорстов В.Ю., Михайловська Т.В. // Свідоцтво на твір № 28879 від 25.05.2009 р.
8. Михайловская Т.В., Селиверстов В.Ю. Компьютерная обработка серных отпечатков темплетов отливок на основе алгоритма рекурсивной заливки // Нові технології. – 2009. - №2. – С. 26 – 30.