

УДК 621.746.6.001.2

В.Ю. Селиверстов, Т.В. Михайловская

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ МЕТАЛЛ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ**

Приведено поэтапное описание осуществление методики расчета режима осуществления технологического процесса газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме, основанная на пошаговом вычислении динамики нарастания максимального рабочего давления и динамики нарастания рабочего давления в системе отливка-устройство для ввода газа.

Ключевые слова: Газодинамическое воздействие, технология, параметры, методика, расчет

Введение. Физический смысл понятия давления не обуславливает природу возникновения действующих на поверхность тела сил (гравитационные, молекулярные поверхностные, электромагнитные, механические и т. п.), а является лишь оценкой их величины, отнесенной к единице поверхности тела. На практике кроме знания абсолютной величины действующего давления важно комплексно учитывать природу возникновения создающих его сил, а также свойства материала, на который осуществляется воздействие, прежде всего, в контексте реализации соответствующего технологического процесса.

Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи. Накопленный опыт [1, 2] свидетельствует о неоднозначности достигаемых конечных результатов воздействия давления на структуру и свойства литого материала в различных способах литья. В этой связи важное значение приобретает оценка эффективности действия давления на процессы формирования отливки не по абсолютной величине последнего, а по достигаемому при этом коэффициенту его полезного действия, выражающегося в повышении качества отливок, увеличении производительности, сокращении расхода энергии и материалов [1]. Наиболее эффективны технологические процессы, предусматривающие передачу давления непосредственно жидкой фазе внутри отливки в течение наиболее

© Селиверстов В.Ю., Михайловская Т.В., 2010

продолжительного временного промежутка относительно общего времени затвердевания [1, 2]. Эффективность способа также во многом зависит от степени сложности конструкции и особенностей эксплуатации оборудования, необходимого для осуществления технологического процесса, использования вспомогательных материалов, дополнительного персонала и т.п. Разработанная технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме позволяет создавать регулируемое газовое давление внутри затвердевающей отливки при условии обеспечения герметичности системы отливка-устройство для ввода газа, а также соответствия динамики нарастания давления динамике роста прочностных свойств корки затвердевающего металла [3-7]. Кроме того, для обеспечения реализации технологического процесса актуальной задачей является необходимость учета комплекса физических свойств материалов формы и отливки, их теплофизических характеристик, а также напряжений, возникающих в затвердевшей поверхностной корке под влиянием гидростатического напора [8] и т.д.

Цель работы – разработка универсальной методики расчета режима осуществления технологического процесса газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме.

Результаты исследований. На рис.1 представлена схема, иллюстрирующая этапы реализации методики расчета основных параметров технологии газодинамического воздействия. Она (методика) включает в себя этапы предварительной обработки и получения исходных данных, непосредственного выполнения расчетного алгоритма и последующего анализа результатов. Начальным этапом является предварительная обработка данных. Этот этап можно также охарактеризовать как подготовительный. Он состоит в определении кинетики затвердевания отливки $X(\tau)$ и изменения температуры ее поверхности T_k . Для получения этих зависимостей необходимо построение температурного поля отливки на основе результатов термографических исследований, либо расчетов (например, в системах компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП)). Преимуществом использования СКМ ЛП является возможность ухода от проведения трудоемких натуральных экспериментов, а также сокращения объема постпроцессорной обработки массивов экспериментальных данных. При этом,

перспективным представляется разработка дополнительного оригинального программного обеспечения для анализа кривых охлаждения и полностью автоматизированного получения наборов данных по кинетике затвердевания отливки и зависимости температуры поверхности отливки от времени.

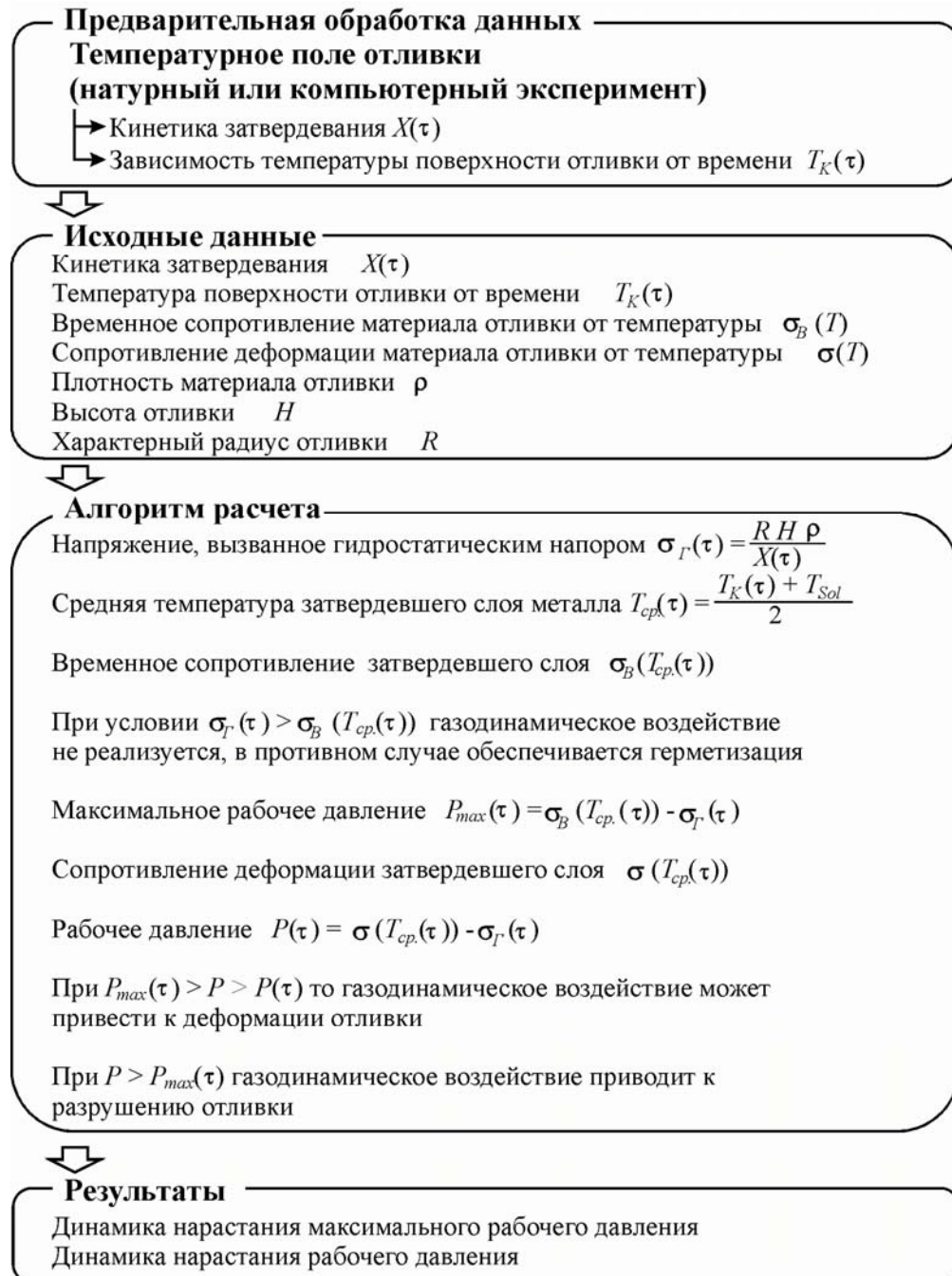


Рисунок 1 – Методика расчета основных параметров технологии газодинамического воздействия

В качестве исходных данных выступают зависимости от температуры временного сопротивления σ_B и сопротивления деформации σ [5-7], а также плотность материала отливки ρ и ее геометрические характеристики (высота H и характерный радиус R).

На следующем этапе (алгоритм расчета) вычисляются такие параметры газодинамического воздействия на расплав в литейной форме как динамика нарастания максимального рабочего давления $P_{\max}(\tau)$ и динамика нарастания рабочего давления $P(\tau)$.

Для учета растягивающих напряжений, возникающих в слое затвердевшего металла отливки под влиянием гидростатического напора, проводили расчет их значений в соответствии с кинетикой затвердевания отливки по методике, изложенной в работе [3]. В начале затвердения расплава в форме тонкий твердый слой металла, образующийся на поверхности формы (например, цилиндрической), под воздействием гидростатического напора испытывает растягивающие напряжения, величина которых может быть рассчитана согласно формуле [8] (см. рис.1)

При отходе затвердевшего слоя металла от формы должно выполняться условие $\sigma_B \geq \sigma_G$.

Отход корки от поверхности формы осуществляется благодаря термической усадке твердого металла. В первый момент затвердения твердая корка плотно прилегает к поверхности формы и, практически, имеет температуру кристаллизации, близкую к температуре «солидус». По мере роста корки увеличивается перепад температур по пересечению затвердевшего слоя. В свою очередь, величины σ_B и σ существенно изменяется в зависимости от температуры металла. Поэтому, в качестве отмеченной температуры для расчетов избрали среднюю температуру растущего затвердевшего слоя соответствующей толщины (см. рис.1)

Затем рассчитывали динамику изменения максимально возможного давления в системе отливка-устройство для ввода газа, основываясь на значениях временного сопротивления материала отливки (σ_B) при средней температуре образующегося затвердевшего слоя. Для реализации варианта технологии, предусматривающего минимальную деформацию металла отливки, затвердевающего под регулируемым газовым давлением, расчет динамики его увеличения

проводили основываясь на значениях сопротивления деформации металла (σ) при средней температуре образующегося затвердевшего слоя. Далее величину и динамику изменения рабочего давления рассчитывали как разность значений сопротивления деформации и величины растягивающих напряжений в затвердевшем слое металла, возникающих вследствие гидростатического напора.

Особенностью данного алгоритма является использование расчетного значения сопротивления деформации, которое корректируется с помощью коэффициентов в зависимости от каждого параметра (температуры, скорости и степени деформации) в отдельности [5, 7]. Базисное значение сопротивления деформации ($\sigma_{o,d}$) в динамической области деформации сплавов принято при средних параметрах и для распространения значений на всю исследуемую область используются термомеханические коэффициенты: температурный коэффициент k_t , скоростной k_u и степенной k_ε [5, 7]. Для обеспечения условия минимальной деформации отливки при газодинамическом воздействии на расплав в литейной форме необходимы минимальные значения скоростного и степенного коэффициентов.

Расчетное значение сопротивления деформации в зависимости от различных значений температуры, скорости и степени деформации определяли по формуле [5]

$$\sigma = \sigma_{o,d} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u \text{ при } k_\varepsilon, k_u \rightarrow \min.,$$

где $\sigma_{o,d}$ – базисное значение сопротивления деформации, кг/мм²; k_t – температурный коэффициент; k_ε – степенной коэффициент; k_u – скоростной коэффициент.

Расчет параметров ведется последовательно для всех рассматриваемых моментов времени в соответствии с определенной кинетикой затвердевания отливки. При этом количество итераций ограничивается количеством точек, определяющих кинетику затвердевания. В случае получения температурного поля отливки в результате натурального эксперимента количество итераций определяется количеством термопар. При использовании СКМ ЛП количество точек хоть и ограничивается возможностями программы, но обеспечивает большую детализацию отображения процесса.

Результатом отдельной итерации является набор значений вышеописанных параметров, объединенных в последствии в массив данных, соответствующий динамике нарастания максимального рабочего давления $P_{max}(\tau)$ и динамике нарастания рабочего давления $P(\tau)$ в системе отливка-устройство для ввода газа. Пошаговая иллюстрация работы алгоритма для определения режима газодинамического воздействия при затвердевании в кокиле цилиндрической отливки из углеродистой стали диаметром 240мм и высотой 350 мм представлена в таблице.

Таблица 1

Результаты, полученные после выполнения семи итераций алгоритма расчета

№	X, мм	τ , сек	σ_r , МПа 10^{-2}	σ , МПа 10^{-2}	σ_b , МПа	P, МПа 10^{-2}	P_{max} , МПа	Возможность реализации процесса
1	38	74	102,9	0,7	0,0	-102,2	-1,0	Не реализуется
2	12	116	25,2	1,3	1,1	-23,7	0,9	Не реализуется
3	27	185	10,7	14,0	1,6	3,33	1,4	Реализуется
4	43	283	6,6	26,7	2,0	20,0	1,9	Реализуется
5	55	366	5,2	36,7	2,4	31,4	2,3	Реализуется
6	76	533	3,8	52,7	2,9	48,8	2,9	Реализуется
7	113	700	2,5	70,0	3,5	67,5	3,5	Реализуется

Приведенные данные могут быть представлены в любом удобном для использования виде (таблиц, графиков, диаграмм) и служить основой для формирования технологической инструкции осуществления процесса газодинамического воздействия или оформления соответствующего раздела технологического процесса изготовления конкретной отливки.

Выводы

1. В результате проведенной систематизации факторов, влияющих на технологическую эффективность осуществления процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме, установлена необходимость комплексного учета физических

свойств материалов формы и отливки, их теплофизических характеристик, а также напряжений, возникающих в затвердевшей поверхностной корке под влиянием гидростатического напора.

2. Разработана методика расчета режима осуществления технологического процесса газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме, основанная на пошаговом вычислении динамики нарастания максимального рабочего давления $P_{\max}(\tau)$ и динамики нарастания рабочего давления $P(\tau)$ в системе отливка-устройство для ввода газа.

3. Установлено, что основным ограничением диапазона давлений является зависимость прочностных свойств материала отливки от температуры. Формализовано условие возможности/невозможности осуществления процесса газодинамического воздействия. Показана возможность диверсификации способа представления результатов расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Г.П. Давление в управлении литейными процессами / Г.П. Борисов. – Киев.: изд. Наук. думка, 1988. – 272 с.
2. Батышев А.И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением / А.И. Батышев. – М: Металлургия, 1990. – 144 с.
3. Селівьорстов В.Ю. Особливості розрахунку газодинамічного впливу на метал, що твердіє в кокілі // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 1-2. – С. 41 – 45.
4. Селиверстов В.Ю. Особенности расчета температурного поля отливки из сплава АК5М, затвердевающей в окрашенном чугунном кокиле // Теория и практика металлургии. – 2008. - № 5-6. – С. 32 – 36
5. Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
6. Гуляев Б.Б., Постнов Л.М. Исследование механических свойств стали в период затвердевания и анализ процесса образования горячих трещин при непрерывной разливке // Непрерывная разливка стали. Труды Первой всес. конференции по непрерывной разливке стали. – Изд. АН СССР, 1956. – С. 212 – 222.
7. Целиков А.И. Теория прокатки: Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков, Г.С. Никитин - М.: Металлургия, 1982. – 335 с.
8. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки / А.И. Вейник – М.: Машгиз, 1960. – С. 247.