

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

В настоящее время автоматизированное проектирование технологических процессов литейного производства (САПР ТПЛ) осуществляется следующим образом. Используя приближенные инженерные методы расчета, в основу которых положен принцип исключения какого-либо одного дефекта, наиболее часто возникающего при производстве заданной номенклатуры отливок литейного цеха, определяют конструктивный размер литейной оснастки, технологический параметр и т. д. Далее, на основе математического моделирования производится оптимизация полученных результатов. Такой путь автоматизированного проектирования можно назвать *прямой задачей автоматизированного проектирования*.

Одним из важнейших элементов литейной формы, определяющим гидродинамический режим ее заполнения расплавленным металлом, является литниковая система. Тип, размеры и конструкция литниковой системы должны обеспечить получение качественной отливки при условии исключения не одного, а целого комплекса литейных дефектов, таких как [1]: недолив и уход металла из формы; подутость, ужимины и наросты; механические и газовые включения; механический пригар и ряд других.

С этой целью предложены новые математические модели для компьютерного моделирования процесса заполнения полости литейной формы расплавленным металлом и оптимизации литниковых систем по критериям качества будущей отливки [1, 2]. Основная идея разработки состоит в том, что предлагаемая из базы данных положительных технологических решений или рассчитанная на основе упрощенных методов литниковая система вводится в компьютерную модель и пошаговым способом оптимизируется исходя из ограничений, налагаемых системой критериев качества. Последняя определяется заранее и зависит от целого ряда технологических параметров, влияющих на возникновение литейных дефектов того или иного вида. Эта методика открывает новые возможности для прогноза качества отливок еще на стадии проектирования. САПР ТПЛ, построенные на ее основе, следует отнести к системам, решающим прямую задачу автоматизированного проектирования.

Вместе с тем большой интерес представляет *обратная задача автоматизированного проектирования*, когда для каждой конкретной отливки на основе данных, полученных при математическом моделировании, необходимо найти исходные при определении конструктивных размеров, технологических параметров, критериев качества. Такая задача возникает, например, в том случае, если изменением конструкции литниковой системы не представляется возможным обеспечить требуемое качество отливки.

В нашей работе предложен метод решения обратной задачи автоматизированного проектирования литниковых систем, когда в результате математического моделирования формируются данные, позволяющие изменять ряд технологических параметров, не связанных с литниковой системой.

Введем обозначения: p_i , v_i — пьезометрическое давление и скорость движения металла в i -м сечении; z_i — обобщенная координата i -го сечения; γ , ρ — удельный вес и плотность жидкого металла; g — ускорение силы тяжести; α , α_0 — корректив кинетической энергии и количества движения потока; $\sum h_p^{i-(i+1)}$ — суммарные потери напора между i -м и $i+1$ -м сечениями; τ — время; Q — расход жидкого металла в системе; F — площадь поперечного сечения потока; n — общее количество участков полости литейной формы постоянного сечения; p_i^k — давление в i -м сечении при k -й фазе гидроудара; p_{0i} , v_{0i} — давление и скорость расплавленного металла в начальный момент гидроудара; ϵ — динамический декремент затухания колебаний; δ — скорость распространения ударной волны.

В основу методики положены уравнения неустановившегося, медленно меняющегося движения потока с учетом локальных сил инерции и гидравлического удара, имеющего место в конце процесса заливки при внезапной остановке металла [3]. С учетом принятых обозначений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha v_i^2}{2g} + z_i &= \frac{p_{i+1}}{\gamma} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + z_{i+1} + \sum h_p^{i-(i+1)} + \frac{\alpha_0}{g} \frac{dQ}{d\tau} \sum_{j=1}^n \frac{z_j}{F}; \\ p_i^k &= p_{0i} - (p_i^{k-1} - p_{0i})e^{-\epsilon} + v_{0i}\rho\delta(1 - e^{-\epsilon}). \end{aligned} \right\}$$

Представленная система решается численно конечно-разностными методами по явной схеме с расщеплением по процессам. При интегрировании применяются адаптированные к отливке

расчетные сетки. В результате расчета формируются массивы параметров теплообмена, которые позволяют определить совокупность критериев качества отливки:

$$Kr = \left[T_{кр}, v_{кр}, P_{кр1}, P_{кр2}, P_{кр3}, P_{кр4}, P_{кр5} \right], \quad (1)$$

где $T_{кр}$ — критическая температура, равная температуре кристаллизации расплава (при понижении температуры расплава ниже критической в отливке образуется недолив); $v_{кр}$ — критическая скорость движения металла в шлакоуловителе, при превышении которой литниковая система не выполняет своих функций по задержанию неметаллических частиц, что вызывает образование шлаковых включений в отливке; $P_{кр1}$ — критическое давление пластической деформации формы, при превышении которого возникают дефекты несоответствия размеров формы и отливки; $P_{кр2}$ — критическое давление разрушения формы, равное пределу прочности формовочной смеси, при превышении которого происходит локальное разрушение стенок формы; $P_{кр3}$ — критическое давление внедрения расплавленного металла в поры формы, при превышении которого происходит образование механического пригара; $P_{кр4}$ — критическое давление внедрения газовых пузырей из стенок формы в расплав, равное критическому давлению газов в порах формы, при превышении которого образуется газовая пористость; $P_{кр5}$ — критическое давление гидравлического удара, при превышении которого образуется залив или недолив.

Рассмотрим, например, систему критериев качества при образовании газовых раковин. Условие их образования опишем следующим образом:

$$P_{ТМкр} > \sum p, \quad (2)$$

где $P_{ТМкр}$ — критическое давление газов в стенках формы, при котором возможно внедрение газовых пузырей в расплав.

Величина критического давления зависит в основном от среднего диаметра пор наполнителя формовочной смеси и может быть определена по справочникам.

Суммарное давление со стороны металла определяется по формуле

$$\sum p = p_{\text{ме}} + p_{\sigma} + p_{\text{тм}}, \quad (3)$$

где $p_{\text{ме}}$ — динамическое давление расплавленного металла на стенки формы; $p_{\text{тм}}$ — давление газов на зеркало металла в верхней полуформе; p_{σ} — противодействие, оказываемое поверхностным натяжением металла и определяемое по формуле

$$p_{\sigma} = \frac{2\sigma}{r} \cos \alpha, \quad (4)$$

где r — средний размер пор между зернами наполнителя формовочной смеси; α — угол смачивания зерен песка жидким металлом, который можно определить по справочникам; σ — поверхностное натяжение расплавленного металла на границе раздела металл—форма, которое, например, для чугуна определяется в зависимости от содержания в нем углерода:

$$\sigma = 1,6 - 0,1 \% C. \quad (5)$$

Согласно закону Пуазейля, глубину проникновения расплавленного металла в поры литейной формы определяют по формуле

$$l = r \sqrt{\frac{\tau}{\eta} (p_{\text{ме}} + p_{\sigma} - p_{\text{тм}})}, \quad (6)$$

где τ — время, в течение которого металл остается в порах формы в расплавленном состоянии; η — вязкость жидкого металла.

Количественную оценку газовой пористости в отливке можно провести на основании отрывного радиуса газовых пузырей, проникающих в отливку из стенок формы, который определяется следующим выражением:

$$R = \sqrt[3]{1,22 \frac{\sigma}{\rho g} r}. \quad (7)$$

Анализ формул (2)—(7) дает возможность определить технологические факторы, варьирование которых приведет к уменьшению вероятности появления газовых дефектов без изменения типа и размеров литниковой системы. Аналогичным образом производится решение задачи по остальным критериям качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукуй Д. М., Сутормына И. И. Математическое моделирование процесса заполнения полости литейной формы расплавленным металлом // *Металлур-*

гия и литейное производство. — Мн.: Белорганстанкинпромиздат, 1997. — С. 47—49.

2. Кукуй Д. М., Суторьма И. И. Компьютерное моделирование литниковых систем // Литейное производство и металлургия: Информ. бюллетень. — Мн.: Интерфаундри, 1997. — № 3, 4. — С. 26—28.

3. Кукуй Д. М., Суторьма И. И. Методика математического моделирования процесса заполнения полости литейной формы расплавленным металлом // Мир инструмента. — 1995. — № 3. — С. 28—29.

УДК 621.74

И. И. СУТОРЬМА, канд. техн. наук (ГГТУ им. П. О. Сухого)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОВ В ПОРАХ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Одним из наиболее распространенных дефектов, возникающих при производстве отливок в песчано-глинистых формах, являются газовые раковины. Обычный способ уменьшения количества брака, вызванного ими, путем изменения состава формовочной смеси для снижения ее газотворной способности не всегда приводит к требуемому результату. Так, при производстве крупных отливок из серого чугуна на гомельском литейном заводе «Центролит» путем снижения газотворной способности формовочной смеси практически в два раза лишь отчасти удалось устранить возникновение газовых раковин. В связи с этим большой интерес представляет изучение условий тепломассопереноса в стенках литейной формы и их влияния на формирование газовых дефектов.

В данной работе предлагаются две детерминированные математические модели, основанные на решении краевой задачи тепломассообмена.

1. Сухие песчано-глинистые формы и стержни. В математической модели принято, что в объеме литейной формы газовая фаза представляет собой смесь из N -компонентов, выделяющихся при термическом разложении соответствующих составляющих формовочной смеси. Образующиеся газообразные продукты деструкции фильтруются в пористом материале наполнителя. Этот процесс следует считать нестационарным, так как по мере прогрева стенок формы непрерывно протекают реакции термического разложения. В связи с этим происходит неравномерный пульсационный массоперенос, что проявляется в колебаниях тока и других параметров.