

МАШИНОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.744.3:007.52

А.А. Бондарь, магистр,
Г.В. Кострова, канд. техн. наук, доц.,
Т.В. Лысенко, д-р техн. наук, проф.,
Одес. нац. политехн. ун-т

МЕТОДЫ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ САПР ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

О.А. Бондарь, Г.В. Кострова, Т.В. Лысенко. Методи самосинхронізації динамічних процесів САПР ливарного виробництва. Показано, що існуючі методи синхронізації станів у системі “виливок — форма” зустрічають істотні перешкоди при спробі їх реалізації на етапах проектування та управління за рахунок зовнішніх впливів. Запропоновано технологічні методи, які забезпечують самосинхронізацію термічної і масової підсистем в об’єктах ливарного виробництва.

А.А. Бондарь, Г.В. Кострова, Т.В. Лысенко. Методы самосинхронизации динамических процессов САПР литейного производства. Показано, что существующие методы синхронизации состояний в системе “отливка — форма” встречают существенные препятствия при попытке их реализации на этапах проектирования и управления за счет внешних воздействий. Предложены технологические методы, обеспечивающие самосинхронизацию термической и массовой подсистем в объектах литейного производства.

А.А. Bondar, G.V. Kostrova, T.V. Lysenko. CAD dynamic processes' autosynchronisation methods at foundry industry technology . It is indicated, that the existing methods of synchronizing the “casting – mould” system states meet substantial obstacles at the attempt of their realization on the stages of planning and management due to external influences. Technological methods, providing self synchronization of thermal and mass subsystems in the objects of foundry, are offered.

Развитие литейного производства, применение все новых способов литья, энергоемких процессов, современных материалов, вычислительной техники и средств контроля сделали невозможным получение качественных отливок без управления тепломассообменными процессами, происходящими непосредственно в литейной форме после заливки [1].

С другой стороны, специфика литейного производства такова, что реальное управление системой “отливка — форма” из-за возникающих технических и экономических проблем чрезвычайно затруднено. Фактически управление этим объектом является разомкнутым, т.е. все управляющие воздействия на процесс заканчиваются, как правило, на стадии его проектирования [2], что, в свою очередь, предъявляет жесткие требования к используемым при этом математическим моделям процессов, а также ограничения на достоверность информации о свойствах применяемых материалов.

К сожалению, в реальной жизни математические модели из-за многофакторности объектов литейного производства существенно неточны, а свойства формовочных, шихтовых и вспомогательных материалов существенно непостоянны. В сочетании с невозможностью приложения управляющих воздействий эти факторы фактически ставят непреодолимый барьер на пути реа-

лизации самых современных теоретических идей, например, идей, синхронизирующих проектирование и управление [1, 2].

Поэтому целью настоящей работы является попытка технологическими методами обеспечить такие свойства системы “отливка — форма”, которые обеспечивали бы автоматическую корректировку характеристик литейной формы по мере ее охлаждения с отливкой, или — для случая синхронизирующего управления — самосинхронизацию.

Самосинхронизация — эффективный метод управления различными процессами, позволяющий достигать и поддерживать требуемую синхронизацию состояний в подсистемах процесса (подпроцессах) не за счет каких-либо внешних воздействий, а исключительно за счет внутренних резервов объекта в целом [3, 4].

Рассмотрим систему “отливка — форма” как динамическую, т.е. такую, в которой по любому начальному состоянию $\mathbf{x}_0 \in \mathbf{R}^n$ дальнейшая траектория ее движения $\mathbf{x}(\tau, \mathbf{x}_0)$ в n -мерном фазовом пространстве \mathbf{x} при $\tau \in [0, +\infty)$ определена однозначно [5].

Пусть специалистами в предметной области (в данном случае — в литейном производстве) установлено, что при литье в песчано-смоляные формы одновременное (с некоторым допуском ε) и безотносительное к конкретному значению времени достижение температурой отливки значения $T=1743$ К и давлением газов в порах песчаной формы значения $P=215$ Па обеспечиваю получение стальных отливок с качественной поверхностью [1].

Тогда у системы “отливка — форма” $n=2$, а вектор фазового состояния $\mathbf{x}(\tau, \mathbf{x}_0)$ состоит из двух компонент $T(\tau, T_0)$ и $P(\tau, P_0)$. Задаваясь начальным состоянием: $\tau_0=0$ (момент окончания заливки), $T_0=1823$ К (температура заливки) и $P_0=0$ Па (давление окружающей среды), получим траекторию движения $\mathbf{x}(\tau, \mathbf{x}_0)$ в виде двух кривых (рис. 1).

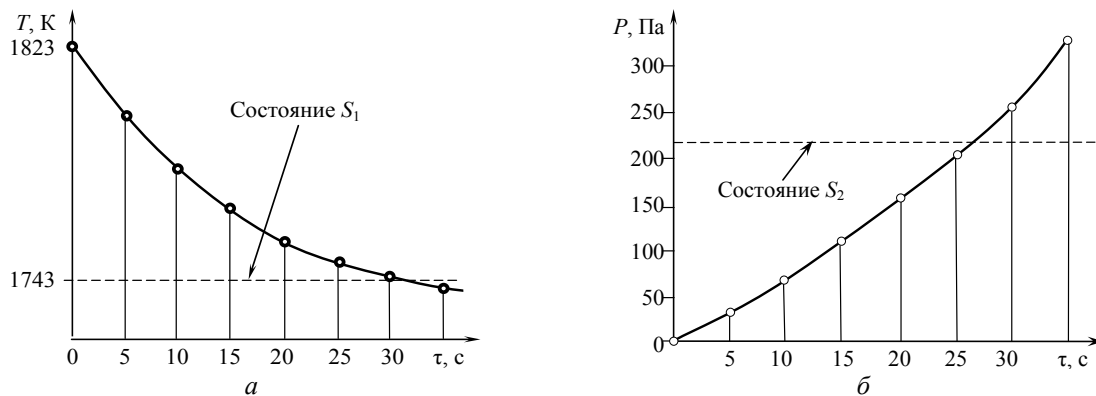


Рис. 1. Движение системы “отливка — форма” в двумерном фазовом пространстве: а — температура отливки T ; б — давление в порах песчаной формы P

Функции $T(\tau, T_0)$ и $P(\tau, P_0)$ позволяют, исключив время, построить диаграмму фазовых состояний бинарной системы \mathbf{Q} , состоящей из двух подсистем Q_T и Q_P , на которой пары значений фазовых переменных $T(\tau_c)$ и $P(\tau_c)$, соответственно, для каждого момента времени τ_c представляют собой одну точку на диаграмме (рис. 2), а семейство таких точек для интервала времени $\tau_0 \dots \tau_k$ — некоторую кривую $P_\Phi(T)$, описывающую траекторию состояний системы в этом интервале [6].

Отметим на этой диаграмме также точку O с координатами $T_S=1743$ К и $P_S=215$ Па, а также некоторую окрестность вблизи этой точки радиусом r , физический смысл которых заключается в том, что в этой окрестности состояния T_S и P_S достигаются с заданной точностью, определяемой величиной r , *одновременно*.

Заметим также, что конкретное значение времени, когда происходит это совпадение, хотя и существует и может быть рассчитано, но на диаграмме не отражается, — здесь отражен только сам факт совпадения во времени (*синхронизация*) двух событий в разных подсистемах.

В предыдущей работе задача синхронизирующего проектирования состояла в том, чтобы “неудачную” с точки зрения синхронизации кривую 1 (см. рисунок 1) путем внешнего предварительного воздействия на систему заменить кривой 2 [2].

Теперь же преследуется цель обеспечения технологическими методами автоматической корректировки “неудачной” кривой 1 так, чтобы в итоге она прошла через окрестность r точки O (кривая 3). В основе такой корректировки — взаимозависимость фазовых переменных T и P , реально существующая в таких объектах, как система “отливка — форма”.

Формула окружности радиусом r с центром в точке O (P_S, T_S) имеет вид

$$(P_{\text{окр}} - P_S)^2 + (T - T_S)^2 - r^2 = 0 \quad (1)$$

или

$$P_{\text{окр}}(T) = P_S + \sqrt{r^2 - (T - T_S)^2} \quad (2)$$

Для достижения синхронизации необходимо, чтобы в интервале времени τ_0 — τ_k хотя бы один раз выполнялось условие

$$P_{\phi}(T) = P_{\text{окр}}(T) \quad (3)$$

или

$$P_{\phi}(T) = P_S + \sqrt{r^2 - (T - T_S)^2} \quad (4)$$

В уравнении (4) P_S, T_S и r — числа.

Рассмотрим окрестность точки O в качестве глобального аттрактора динамической системы — притягивающего, замкнутого, инвариантного множества в ее фазовом пространстве [5]. При этом должно выполняться соотношение

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \rho[K, \mathbf{x}(\tau, \mathbf{x}_0)] = 0, \quad \forall \mathbf{x}_0 \in \mathbf{R}^n, \quad (5)$$

где K — глобальный аттрактор, множество точек \mathbf{x} , для которых $\rho[K, \mathbf{x}] < \varepsilon$;

$$\rho[K, \mathbf{x}] = \inf_{z \in K} |z - \mathbf{x}|;$$

$|\cdot|$ — евклидова норма в \mathbf{R}^n .

Выражение (5) для системы “отливка — форма” содержит известные дифференциальные уравнения охлаждения отливки и газовых процессов в литейной форме [7] с переменными взаимозависимыми коэффициентами. Доказательство существования и единственности его решения в этом случае весьма затруднительно, поэтому переходили от ДУЧП к разностным уравнениям вида

$$\mathbf{x}(t+1) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t)), \quad t \in \mathbf{Z}, \quad \mathbf{x} \in \mathbf{R}^n, \quad (6)$$

где t — дискретное время;

\mathbf{Z} — множество целых чисел.

Уравнение (6) всегда порождает динамическую систему с фазовым пространством \mathbf{R}^n [6]. Это значит, для разностного уравнения (6) по начальному условию \mathbf{x}_0 однозначно вычисляется траектория, определенная при всех $t = 0, 1, 2, \dots$ и обладающая свойством $\mathbf{x}(t+s, \mathbf{x}_0) = \mathbf{x}(t, \mathbf{x}(s, \mathbf{x}_0))$ при всех $t \geq 0, s \geq 0$.

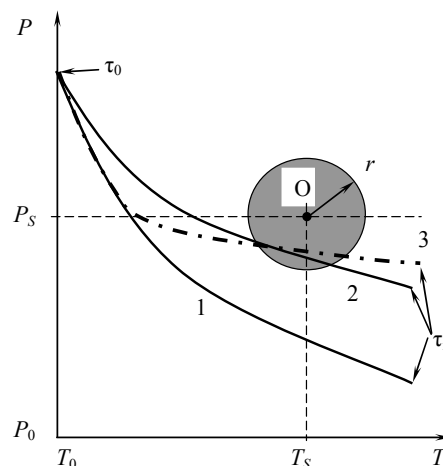


Рис. 2. Схема к определению самосинхронизации состояний бинарной системы

К технологическим характеристикам, параметры которых влияют на выполнение условий (5) при литье в оболочковые формы относятся:

- свойства исходных формовочных и шихтовых материалов;
- составы формовочных смесей и сплавов;
- конструкции форм и отливок;
- дополнительные элементы конструкции формы (холодильники, барьеры, вентиляционные каналы и т.п.);
- параметры технологии формообразования.

При проектировании технологии литья предпочтение должно быть отдано тем структурам и параметрам, которые обеспечивают наличие аттрактора, обеспечивающего самосинхронизацию состояний в системе, гарантирующего повышение качества выпускаемого продукта. Для практической реализации такого подхода получен пакет математических моделей процессов, протекающих в системе “отливка — песчано-смоляная форма” после заливки, основанный на теоретических моделях теплообмена в гетерогенных средах и эмпирических формулах.

В частности, с помощью таких моделей и пакета прикладных программ, созданного для их реализации, выявлены причины “странностей” в результатах практических попыток непосредственно воздействовать на систему. Примером такой “странности” может служить результат введения в песчано-смоляную смесь захлаживающей добавки в виде цирконового или железного порошка, практически не зависящей ни от состава добавки, ни от ее концентрации в формовочной смеси.

Литература

1. Лысенко, Т.В. Управление процессами в литейной форме / Т.В. Лысенко, В.П. Малахов, А.Л. Становский. — Одесса: ВМВ, 2009. — 475 с.
2. Становский, А.Л. Адаптивное автоматизированное синхронизирующее проектирование системы “отливка — песчаная форма” / А.Л. Становский, Т.В. Лысенко, Т.И. Носенко // Теорія і практика процесів подрібнення, розділення, змішування і ущільнення: Зб. наук. пр. — Одеса: ОНМУ, 2008. — Вип. 13. — С. 82 — 88.
3. Самосинхронизация // Политехнический словарь. — Изд. 3-е. — М.: Сов. энцикл., 1989. — С. 466.
4. Комаров, А.К. Самосинхронизация мод в YAG: Nd³⁺-лазере / А.К. Комаров, К.П. Комаров, А.С. Кучьянов // Квантовая электроника. — 2003. — Т. 33, № 2. — С. 163 — 164.
5. Леонов Г.А. Странные аттракторы и классическая теория устойчивости движения // Успехи механики. — 2002. — № 3. — С. 3 — 43.
6. Носенко, Т.І. Математичні моделі та методи синхронізації нестабільних процесів в САПР ливарного виробництва: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.13.12 / Т.І. Носенко. — Одесса: ОНПУ, 2009. — 19 с.
7. Серебро, В.С. Основы теории газовых процессов в литейной форме / В.С. Серебро. — М.: Машиностроение, 1991. — 208 с.

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

Поступила в редакцию 9 сентября 2009 г.