



Рис. 7 – Схема ЛУО для получения арматуры класса А800, А1000

**Выводы.** Таким образом, показана принципиальная возможность оперативного управления процессом термомеханического упрочнения по принципу увеличения длины активного охлаждения.

**Список литературы:** 1. Григорьев, А. К. Термомеханическое упрочнение стали в заготовительном производстве. [Текст] / А. К. Григорьев, Г. Е. Коджаспиров. – Л.: Машиностроение, 1985. - 143 С. 2. Стародубов, К. Ф. Термическое упрочнение проката. [Текст] / К. Ф. Стародубов, И. Г. Узлов и др. – М.: Металлургия, 1970. - 368 С. 3. Савенков, В. Я. Технологические основы и оборудование для термического упрочнения непрерывнодвижущегося мелкосортного профиля [Текст] / В. Я. Савенков // Упрочняющая термическая и термомеханическая обработка проката. - Вып. 1, Киев. - 1968. - С.7-14. 4. Стародубов, К. Ф. Влияние скорости охлаждения на свойства термически упрочненной арматурной стали [Текст] / К. Ф. Стародубов, В. Я. Савенков, В. И. Спиваков // Термическая обработка проката. - Вып. 36. - М.: Металлургия. – 1970. - С. 9-14. 5. Гуль, Ю.П. Влияние способа термического упрочнения на низкотемпературную прочность стержневой арматурной стали [Текст] / Ю. П. Гуль, А. С. Гулевский, А. П. Ярмоленко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1973. – Вып. 5. - С. 31-32. 6. Бернштейн, М.Л. Термомеханическая обработка стали [Текст] / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капусткина. – М.: Металлургия, 1983. - 480 С.

Поступила в редколлегию 25.09.2013

УДК 669.1.002.5:621.78

**Модернизация линии ускоренного охлаждения в условиях мелкосортного стана 250-4 ПАО «АМКР» / Лясков В. Г., Мамаев А. В., Гунькин И. А., Мацьшин С. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 56 (1029). – С.26-31. – Бібліогр.: 6 назв.**

В статті розглянута пропозиція по реконструкції лінії прискореного охолодження для забезпечення гнучкого керування процесом термомеханічного зміцнення арматурного прокату. **Ключові слова:** реконструкція, лінія прискореного охолодження, гнучке керування, термомеханічне зміцнення, арматурний прокат.

Proposal of reconstruction of line of the accelerated cooling for provision the flexible control of thermomechanical hardening process of rebar is considered in article.

**Keywords:** reconstruction, a line of the accelerated cooling, flexible control, thermomechanical hardening, rebar.

УДК 621.37/39.029.3

**С. В. СОТНИК**, канд. техн. наук, ст. преп., ХНУРЭ, Харьков

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

В данной работе предложена математическая модель литниковых систем по трем степеням абстрагирования: теоретико-множественной, логической и количественной, что позволит повысить качество, получаемых методом литья под давлением пластмассовых деталей.

**Ключевые слова:** литниковые каналы, системы, пластмассы, метод литья, модель.

© С. В. СОТНИК, 2013

**Введение.** Пластмассы являются высокоэффективными в технологическом, потребительском и, в конечном счете, в экономическом плане материалы. Полученные из пластмасс детали – высококорентабельное производство со сроком окупаемости капиталовложений в пределах одного-трех лет.

Литье под давлением является одним из основных методов переработки пластмасс. Этот метод позволяет изготавливать высококачественные изделия с высокой степенью точности при высокой производительности, а стремительный технический рост, предъявляет высокие требования к качеству деталей, получаемых литьем. Отливки должны иметь регламентированные механические свойства, физические и химические характеристики [1, 2].

Проблема производства качественных деталей была и остается самой важной задачей литейного производства, а существенным образом на качество пластмассовых деталей влияет литниковая система, то проблема разработки системы автоматизации проектирования литниковой системы, является актуальной.

Для создания качественной отливки универсальным и эффективным инструментом стало компьютерное моделирование на базе математических моделей.

**Целью работы.** Целью работы является моделирование литниковой системы (ЛС) предлагается комплексно осуществить абстрагирование, которое будет выполнено по двум направлениям: глубине структурирования и степени абстрагирования элементов и контуров литниковой системы, а также отношений между ними.

**Разработка математической модели.** Для создания качественной отливки универсальным и эффективным инструментом стало компьютерное моделирование на базе математических моделей.

При моделировании литниковой системы (ЛС) предлагается комплексно осуществить абстрагирование, которое будет выполнено по двум направлениям: глубине структурирования и степени абстрагирования элементов и контуров литниковой системы, а также отношений между ними.

По глубине структурирования сложную конструкцию литниковой системы предлагается рассматривать либо как неструктурированную систему (представляющую собой единое целое), либо как систему взаимосвязанных элементов одного уровня (уровня системы формообразования), либо как многоуровневую иерархическую систему.

По степени абстрагирования ЛС предлагается моделировать на следующих уровнях: теоретико-множественных (методами теории множеств и теории графов); логических (методами математической логики); количественных свойств и отношений.

На каждом из этих основных уровней возможны описания объекта с различной степенью полноты и обобщения, соответствующие разным уровнями абстрагирования теоретико-множественных, логических и количественных свойств и отношений.

Моделирование состава литниковой системы на теоретико-множественном уровне.

На теоретико-множественном уровне предлагается моделировать состав элементов литниковой системы, которая оказывает значимое влияние в процессе формообразования пластмассовых деталей методом литья под давлением.

Под составом литниковой системы будем подразумевать литниковые каналы

(ЛК)  $L_c$  в виде неупорядоченного множества  $L_c = \{l_{c1}, l_{c2}, \dots, l_{cn}\}$ ,  $n = 1, \dots, N$ , упорядоченного множества  $L_c = (l_{c1}, l_{c2}, \dots, l_{cn})$ ,  $n = 1, \dots, N$ , состав контуров  $F(L_c) = (F_1, F_2, \dots, F_m)$   $m = 1, \dots, M$  технологических режимов процесса литья (ТРЛ) и составы  $F(l_{cq}) \subseteq F(L_c)$  контуров элементов ЛС, а также теоретико-множественные отношения  $R^s$  между элементами и контурами – отношения принадлежности элементов или контуров к определенным множествам, отношения иерархической подчиненности, смежности и порядка.

Для литья под давлением к ЛК относятся: центральный литник; разводящий литник; подводящий литник; впускной литник; сопло.

Отношения  $R^s(L_c)$  между литниковыми каналами представим как подмножества  $[L_c \times L_c]$  декартова произведения  $L_c \times L_c$  или в виде булевой матрицы

$$\|k_{i(j)}\|_{L_c} = [L_c \times L_c] = \begin{matrix} & l_{c1} & l_{c2} & \dots & l_{cn} \\ \begin{bmatrix} k_{1(1)} & k_{1(2)} & \dots & k_{1(n)} \\ k_{2(1)} & k_{2(2)} & \dots & k_{2(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n(1)} & k_{n(2)} & \dots & k_{n(n)} \end{bmatrix} & l_{c1} \\ & l_{c2} \\ & \dots \\ & l_{cn} \end{matrix}, \quad (1)$$

где  $k_{i(j)}$  – бинарное отношение между  $l_{ci}$  и  $l_{cj}$ ;  $l_{ci}$  – тип литникового канала;  $l_{cj}$  – форма сечения литникового канала.  $k_{i(j)} = 1$ , если отношение существует и  $k_{i(j)} = 0$  – в противном случае.

Матрицу (1) можно рассматривать, как матрицу смежности вершин графа  $G = (L_c, K)$ , дуги которого эквивалентны элементам  $k_{i(j)} = 1$  матрицы. Множество  $K$  элементов булевой матрицы или дуг графа рассматривается как объект литниковых каналов (ЛК) с составом контуров  $F(K)$ . Каждая  $j$ -тая строка (столбец) матрицы (1) рассматривается как представление бинарного отношения  $R^s(l_{cj})$  между  $l_{cj}$  и типом ЛК  $(l_{cj1}, l_{cj2}, \dots, l_{cjm-1})$ , для которых элементы строки (столбца) матрицы равны единице. Под элементами подразумеваются ЛК.

Бинарные отношения  $R^s(F(L_c))$  между контурами системы  $L_c$  технологических режимов описываются аналогичным образом в виде булевой матрицы  $\|k_{i(j)}\|_{F(L_c)} = [F(L_c) \times F(L_c)]$  или в виде графа  $G = (F(L_c), K)$ .

Бинарные отношения  $R^s(L_c, F(L_c))$  описывают составы контуров ЛК  $l_{ci} \in L_c$ . Эти отношения представляются в виде булевых матриц

$$\|k_{i(j)}\|_{L_c, F(L_c)} = [L_c \times F(L_c)] = \begin{matrix} & F_1 & F_2 & \dots & F_m \\ \begin{bmatrix} k_{1(1)} & k_{1(2)} & \dots & k_{1(m)} \\ k_{2(1)} & k_{2(2)} & \dots & k_{2(m)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n(1)} & k_{n(2)} & \dots & k_{n(m)} \end{bmatrix} & l_{c1} \\ & l_{c2} \\ & \dots \\ & l_{cn} \end{matrix}, \quad (2)$$

где  $k_{i(j)} = 1$ , если  $F_j$  входит в состав  $F(L_{c_i})$  контуров канала  $l_{c_i}$ .

Множество  $F(L_c)$  контуров ЛС разделяется на подмножества  $F^-(L_c)$  заходящих,  $F^+(L_c)$  исходящих и  $F^0(L_c)$  собственных контуров.

Пусть заходящие контуры  $F^-(L_c)$  характеризуют исходные свойства материала формуемой детали, а исходящие контуры  $F^+(L_c)$  – свойства материала детали, полученной методом литья под давлением пластмасс.

Подмножество собственных контуров  $F^0(L_c)$  характеризует собственные свойства элементов ЛС, обеспечивающие преобразование свойств материала из исходного в конечное состояние.

Следовательно, вместо одной матрицы (2) зададим три матрицы

$$\begin{aligned} \|k_{i(j)}\|_{L_c, F^-(L_c)} &= [L_c \times F^-(L_c)]; \\ \|k_{i(j)}\|_{L_c, F^+(L_c)} &= [L_c \times F^+(L_c)]; \\ \|k_{i(j)}\|_{L_c, F^0(L_c)} &= [L_c \times F^0(L_c)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Называемые, соответственно матрицами заходящих, исходящих и собственных контуров литниковых каналов. Связи между заходящими и исходящими контурами ЛС и контурами свойств материала опишем отношениями

$$\forall F_i \in (F^+(L_c) \cap F(D)) [F_i^+(L_c) \equiv F_i(D)]; \quad (4)$$

$$\forall F_j \in (F^-(L_c) \cap F^*(D)) [F_j^-(L_c) \equiv F_j(D)], \quad (5)$$

где  $F_i(D)$  – контур пластмассовой детали, который должен получиться в процессе формообразования, заданный при проектировании детали;  $F_j \in F^*(D)$  – контур матрицы пресс-формы.

Матрица (6) характеризует связь между исходящими (выходными) и заходящими (входными) контурами ЛС и, как следствие из отношений (4) и (5), – между исходными контурами материала детали и конечными контурами готовой детали.

$$\|k_{i(j)}\|_{F^+(L_c), F^-(L_c)} = [F^+(L_c) \times F^-(L_c)], \quad (6)$$

Связи между характером преобразования контуров  $F^*(D)$  в контуры готовой детали и собственными свойствами ЛС раскрываются матрицами

$$\|k_{i(j)}\|_{F^0(L_c), F^-(L_c)} = [F^0(L_c) \times F^-(L_c)] \text{ и } \|k_{i(j)}\|_{F^+(L_c), F^0(L_c)} = [F^+(L_c) \times F^0(L_c)]. \quad (7)$$

В силу отношения (4) матрица (7) может быть заменена матрицей

$$\|k_{i(j)}\|_{F(D), F^0(L_c)} = [F(D) \times F^0(L_c)],$$

отражающей взаимосвязь между контурами  $F(D)$  готовой детали и собственными свойствами ЛС.

Контуры ЛС можно не разделять на заходящие, собственные и исходящие. Тогда при совместном описании детали и ЛС их можно характеризовать одними и теми же контурами  $F_i(D) = F_i(L_c)$ . При этом  $F_i(D)$  описывает свойства детали, а  $F_i(L_c)$  отражает возможность получения  $F_i(D)$  в процессе производства детали методом литья. В последнем случае  $F_i(L_c)$  будет характеризовать выходные свойства ЛС, то есть соответствует  $F_i^+(L_c)$ .

Пусть на логическом уровне каждому множеству, булевой матрице или графу соответствуют наборы логических отношений  $R^L$  между входящими в них элементами, представленными в виде логических переменных. Множествам  $L_c$  и  $F(L_c)$  будут соответствовать:

Логические отношения вида  $R_p^T(L_c)$  между объектом (литниковой системой)  $L_c$  и входящими в нее каналами

$$L_c = R_p^T(l_{c1}, l_{c2}, \dots, l_{cn}); \quad (8)$$

отношения вида  $R_p^T(l_{ci})$  между  $l_{ci}$  и другими процессами  $L_c$

$$l_{ci} = R_p^T(l_{ci1}, l_{ci2}, \dots, l_{cin-1}); \quad (9)$$

отношения вида  $R_p^T(F(L_c))$  и  $R_p^T(F_j(L_c))$  между контурами литниковой системы

$$F(L_c) = R_p^T(F_1, F_2, \dots, F_m); \quad (10)$$

$$F_j(L_c) = R_p^T(F_{j1}, F_{j2}, \dots, F_{jm-1}); \quad (11)$$

отношения вида  $R_p^T(F(l_{ci}))$  и  $R_p^T(F_j(l_{ci}))$  между контурами каналов

$$F(l_{ci}) = R_p^T(F_1(l_{ci}), F_2(l_{ci}), \dots, F_m(l_{ci})); \quad (12)$$

$$F_j(l_{ci}) = R_p^T(F_{j1}(l_{ci}), F_{j2}(l_{ci}), \dots, F_{jm-1}(l_{ci})). \quad (13)$$

На количественном уровне каждому элементу множества, булевой матрицы или логической переменной можно поставить в соответствие алгебраическую или другую количественную переменную, либо (при конкретных вычислениях) числовую величину, а логические отношения перейдут в количественные (уравнения, неравенства и т. п.).

Переход из логических отношений  $R_p^T(F(L_c))$  и  $R_p^T(F_j(L_c))$  в количественные  $R_p^N(F(L_c))$  и  $R_p^N(F_j(L_c))$  представим в виде

$$F(L_c) = R_p^N(F_1, F_2, \dots, F_m); \quad (14)$$

$$F_j(L_c) = R_p^N(F_{j1}, F_{j2}, \dots, F_{jm-1}). \quad (15)$$

Все другие количественные, отношения между элементами и контурами ЛС аналогичны этим четырем видам.

Представим все режимы и свойства ЛС через понятие контура.

На количественном уровне системы моделирования контур  $F_i$  опишем множеством параметров, имеющих определенные числовые величины.

На логическом уровне контур  $F_i$  представим в виде логической переменной

$$F_i = \begin{cases} 1, \text{ если } \forall m_j \in M_i (\omega_j \subseteq \Delta_j) \\ 0, \text{ если } \exists m_j \in M_i (\omega_j \setminus \Delta_j \neq \emptyset), \end{cases} \quad (16)$$

где  $m_j$  – параметр ЛС;  $\omega_j$  – поле рассеяния погрешностей параметра  $m_j$ ;  $\Delta_j$  – поле допуска погрешности параметра  $m_j$ . Если  $F_i = 1$ , то данный контур  $F_i$  рационален.

**Выводы.** В данной работе промоделированы литниковые системы по степени абстрагирования, которые предложено разделить по трем уровням: теоретико-множественному, логическому и количественному, что позволит повысить качество, получаемых методом литья под давлением пластмассовых деталей, за счет учета особенностей конструкции литниковых каналов и технологических режимов их формирования.

**Список литературы:** 1. Сотник С. В. Структурно-параметричне моделювання технологічної оснастки [Текст] / С. В. Сотник // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 13-й Международ. молодеж. форум. – 2009. – С. 111 2. Henryk Zawistowski. Особенности проектирования и производства литьевых форм [Текст] / Zawistowski Henryk // Полимеры-Деньги. – 2005. – № 4. – С. 5–12.

*Поступила в редколлегию 25.09.2013*

УДК 621.37/39.029.3

**Математическая модель конструктивных элементов литниковой системы /Сотник С. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 56 (1029). – С.31-36 . – Бібліогр.: 2 назв.

У даній роботі запропонована математична модель систем литників по трьом ступеням абстрагування: теоретико-множинною, логічною і кількісною, що дозволить підвищити якість, отримуваних методом литва під тиском пластмасових деталей.

**Ключові слова:** канали літників, системи, пластмаси, метод литва, модель.

In this work mathematical model of the moulding systems by abstracting degree are presented. Division on to three levels: set-theoretical, logical and quantitative is suggested, this will allow to increase quality, got by the method of casting under constraint plastic details.

**Keywords:** moulding channels, system, plastics, method of casting, model.