

УДК 66-9

С.В. Орлов, Я.С. Ватулин

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

S.V. Orlov, Ya.S. Vatulin

THE AUTOMATED DESIGN OF EQUIPMENT FOR PLASTIC PRODUCTS OF MASS PRODUCTION

В статье представлен процесс проектирования литниковых систем для пластмассовых изделий, чье производство осуществляется на термопластавтоматах (KuASY, MONOmat, ДБ) литьем под давлением. Метод позволяет получать изделия сложной формы с глубокими полостями, с тонкой и сложной арматурой.

ЛИТНИКОВАЯ СИСТЕМА. МОДЕЛИРОВАНИЕ. МОДУЛЬ SOLIDWORKS. СЛОЖНАЯ ФОРМА. ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТ.

This paper presents the design process gating systems for plastic products. Manufacture of a product is carried out on KuASY, MONOmat injection molding machines under pressure. This method allows us to make products of complex form with deep cavities with thin and complex armature.

GATING SYSTEM. MODELLING. SOLID WORKS MODULE. COMPLEX FORM. INJECTION MOLDING MACHINE.

В производстве широко применяются технологические приспособления, выполненные из полиэтилена высокого давления [1] и используемые в качестве моделей для литейного производства заготовок ложементов и других упаковочных элементов.

Производство таких изделий осуществляется на термопластавтоматах (KuASY, MONOmat, ДБ) литьем под давлением термопластичных материалов через литниковую систему в оформляющие полости предварительно сомкнутой охлаждаемой формы. Метод позволяет получать изделия сложной формы с глубокими полостями, с тонкой и сложной арматурой.

К основным недостаткам данного метода относятся высокие трудоемкость и стоимость производства пресс-форм. Эффективность работы пресс-форм зависит от целого ряда взаимосвязанных характеристик: температурного градиента расплава вещества, скорости течения вещества по полостям формы, пространственной конфигурации литниковых каналов и их формы, поперечных размеров и класса чистоты поверхностей. Существующие практические рекоменда-

ции [2] по обеспечению рациональных условий течения материала в форме устанавливают пределы полей значений параметров, определяют требования к формообразующим полостям в зависимости от вязкости сырья, конфигурации изделия, места подвода литника [9]. При этом конструктору необходимо принимать во внимание фактор взаимосвязи градиентов скоростей движения, температуры и давления расплава.

На практике после изготовления пресс-формы выполняется корректировка ее литниковой системы, которая заключается в том, что выполненную по расчетам форму заполняют дозой расплава минимального объема. Определяют степень заполнения оформляющей полости. Производят расточку тоннельных и подводящих каналов. Вновь повторяют процедуру, увеличивая объем дозы вещества последовательно от цикла к циклу до величины, равной массе изделия. Технологическая операция расточки тоннельных каналов [7] — длительная и крайне трудоемкая процедура в производстве; кроме того, она не обеспечивает условий получения изделий с одинаковыми свойствами.

Таким образом, назначение конкретных параметров литниковой системы — по сути оптимизационная задача: требуется найти экстремум целевой функции (одновременное и полное заполнение формообразующих полостей термoplastом при условии заданного температурного и скоростного градиентов [6]) в некоторой области конечномерного векторного пространства значений параметров каналов литниковой системы.

Возможность проследить характер взаимодействия конструктивных параметров литниковой системы пресс-формы и технологических параметров подачи расплава сырья позволяет компьютерное моделирование в среде SolidWorks Flow Simulation [3, 5]. Этот модуль базируется на последних достижениях вычислительной газогидродинамики и позволяет рассчитывать широкий круг задач, рассматривающих трехмерные нестационарные течения многокомпонентных текучих сред в каналах различной конфигурации, с учетом теплообмена между сопряженными поверхностями. Движение и теплообмен текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье — Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды.

Постановка задачи. Необходимо изготовить корпусной элемент ложемент наградной медали, представляющий собой кольцо с внешним диаметром 150 мм, внутренним — 110 мм, толщиной 6,8 мм, с держателями, выполненными в виде приливов секторной формы, расположенными со стороны внутреннего кольца. Материал сырья — полиэтилен высокого давления (ГОСТ 16337–77) [1].

Геометрическая модель пресс-формы (рис. 1) представлена сборным металлическим цилиндром внутренними полостями различной конфигурации — литниковой системой. Литниковая система имеет один центральный литниковый канал, соединенный четырьмя разводящими каналами круглой формы с оформляющей полостью, в которой есть газоотводящий зазор по линии разъема корпуса пресс-формы.

Требуется определить необходимый размер и форму поперечных сечений каналов литниковой системы при условии соблюдения заданных градиентов температуры (от $t_{\text{распл}}^0 = 190\text{--}220\text{ }^\circ\text{C}$ до $t_{\text{форм}}^0 = 30\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$), давления ($P_{\text{лит}} = 42\text{--}5\text{ МПа}$)



Рис. 1. Трехмерная геометрическая модель пресс-формы (вырез четверти) — копия с экрана

и скорости (3–0 м/с) расплава при его прохождении от места подвода литника до формообразующих полостей.

Решение. При проектировании литниковой системы для полиэтилена (ГОСТ 16338–77) рекомендуется [2] добиваться такого расположения разводящих каналов, которое обеспечивает идентичные условия заполнения оформляющей полости расплавом полимера, а именно:

для снижения потерь давления при заполнении формы длина тоннельных каналов должна быть минимальной, а площадь их сечения — достаточно малой, чтобы обеспечить легкое отделение литника от изделия;

площадь сечения канала не должна быть слишком мала, так как это приводит к большим потерям давления, затрудняет заполнение формы, приводит к возникновению внутренних усадочных дефектов в зоне впуска (возможна также термическая деструкция материала из-за его перегрева при прохождении с высокой скоростью через канал малого сечения);

площадь канала не должна быть слишком велика, поскольку это усложняет отделение литников, приводит к излишнему уплотнению расплава увеличению внутренних напряжений в зоне впуска.

Примерные значения диаметра подводящих каналов можно определить по формуле методики [2]:

$$d_p = 0,2 \sqrt{\frac{V}{\pi v t}},$$

где V — объем впрыска, см^3 ; v — средняя скорость течения материала в литниковой втулке,

см/с; τ — продолжительность впрыска, с. Ориентировочное значение диаметра подводящего канала составляет 1,34 мм.

Продолжительность цикла литья в значительной степени зависит от эффективности отвода теплоты и степени нагрева изделия. Выдержка теплового режима позволяет получить стабильность размеров продукта, снизить внутренние напряжения, склонность к растрескиванию, усадку и коробление.

С помощью модуля SolidWorks Flow Simulation [10] можно выполнить виртуальное моделирование режима течения расплава по литниковой системе формы с учетом требуемых параметров градиентов давления и температуры.

Вначале выполняется моделирование теплового режима формы [3]: требуется получить такой градиент падения температуры по длине тоннельного канала, чтобы нижняя заданная граница температурного поля было бы расположено максимально близко к оформляющей полости (рис. 2 а, б).

Моделируя воздействие хладагента последовательной итерацией приложения тепловой нагрузки к поверхности пресс-формы, получили требуемый градиент падения температуры на участке от выпускного литника до оформляющей полости

Заданный градиент снижения давления расплава в процессе его течения по литниковой системе формы достигается за счет варьирования площади подводящих каналов (рис. 3, а, б).

В результате моделирования выявлены и устранены участки с резким повышением сопротивления движению расплава (защемление в узле соединения тоннельного канала с питателем). С целью компенсации потери давления участки, наиболее удаленные от места впрыска с максимальным сопротивлением течению, имеют коническую форму (с увеличением сечения на 1,5 % к периферии).

Наиболее проблематичными участками оказались питатели — короткие впускные каналы, соединяющие подводящие каналы

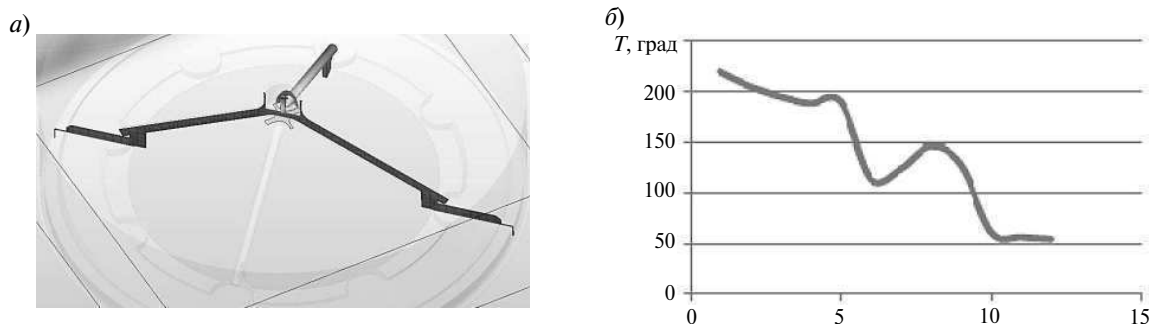


Рис. 2. Моделирование теплового режима поверхности впускного литника и сопряженного тоннельного канала: а — общий вид; б — график падения температуры по контрольным сечениям подводящего канала

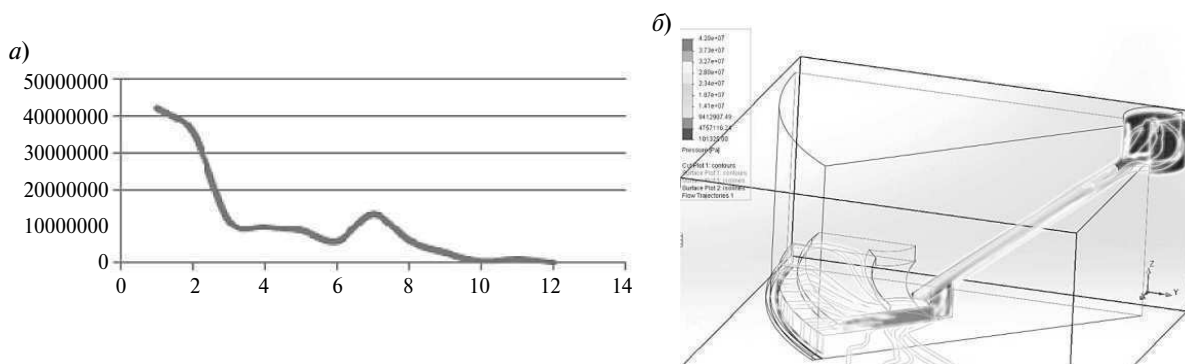


Рис. 3. Эпюра движения расплава по литниковой системе формы

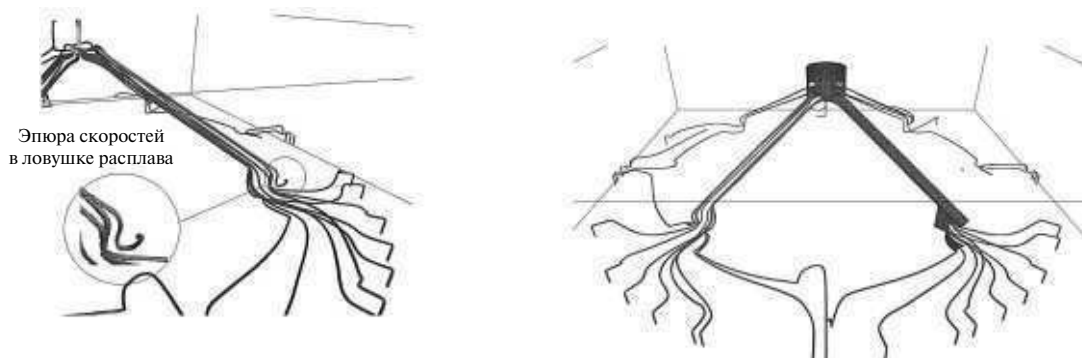


Рис. 4. Эпюра скоростей движения расплава в литниковой системе пресс-формы

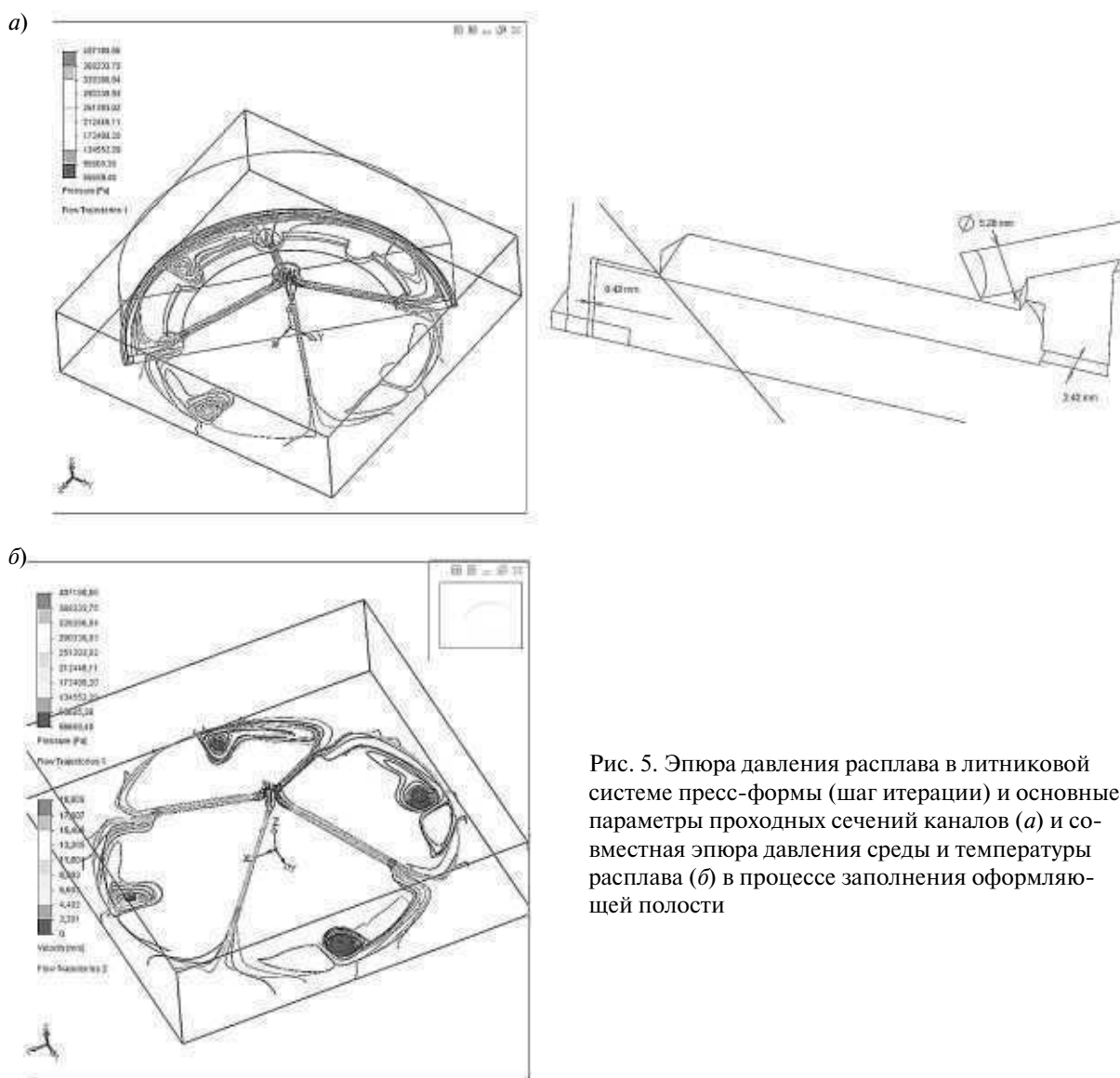


Рис. 5. Эпюра давления расплава в литниковой системе пресс-формы (шаг итерации) и основные параметры проходных сечений каналов (а) и совместная эпюра давления среды и температуры расплава (б) в процессе заполнения оформляющей полости

с оформляющей полостью пресс-формы. Задача питателей — направить струю расплава в дно полости, что обеспечивает рассеивание, способствующее равномерному заполнению полости расплавом материала. Из-за конструктивной особенности места сопряжения (резкий поворот струи расплава) образуется турбулентный режим течения, определяемый отношением площади отверстия к его периметру. Оптимизация размеров впускных каналов позволяет избежать появления дефектов в виде резко выраженных спаев в местах встречи потоков расплава, недоливов, прижогов.

К моменту достижения веществом участка, где сопрягается тоннельный канал с питателем, происходит охлаждение переднего фронта расплава (повышение вязкости), что может привести к временному блокированию дальнейшего движения потока и, как следствие, к образованию каверн. Для уменьшения этих явлений разводящий канал перед соединением с питателем рекомендуется оснастить специальными сборниками охлажденного расплава — ловушками (см. рис. 1) в виде удлинений за пределы соединения на величину $1,5d$.

Полученная моделированием эпюра скоростей в процессе течения расплава (рис. 4) подтверждает факт входа переднего фронта расплава в зону ловушки, таким образом, проходное сечение питателя остается свободным. Тем не менее по результатам исследования видно, что заполнение оформляющей полости происходит неравномерно, имеют место участки с выраженными спаями в местах встречи потоков с охлажденными передними фронтами.

Причина данного явления — в недостаточной ширине питателей. Согласно рекомендациям [2] суммарная ширина каналов должна быть не менее 50 % периметра оформляющей полости в плоскости разреза. На эпюре давлений (рис. 5, а) показаны шаги итерации, в результате которых определены параметры проходных сечений питателей, способствующие равномерному заполнению полости расплавом материала.

В результате виртуального моделирования движения расплава (рис. 5, а) по литниковой системе пресс-формы получены оптимальные параметры проходных сечений каналов литниковой системы при условии соблюдения заданных градиентов температуры, давления и скорости расплава: диаметр тоннельных каналов — 5,28 мм, ширина питателя — 2,42 мм, ширина газоотводящего канала — 0,42 мм. Совместное моделирование движения среды с учетом взаимного теплообмена с корпусом пресс-формы (рис. 5, б) показывает удовлетворительные результаты по критерию заполнения оформляющей полости.

Целью проведенного компьютерного моделирования было устранение длительной и трудоемкой процедуры доводки пресс-формы до требуемых характеристик. Полученные результаты, по-видимому, не лишены погрешностей, связанных с неточностями в постановке задачи и выборе настроек программы. Проблема состоит в обеспечении корректности замены реальных конструктивных особенностей объекта упрощенными виртуальными аналогами [4], которые могли бы без ущерба качества передачи свойств объекта исследования экономить вычислительные ресурсы компьютера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 16337–77. Полиэтилен высокого давления. Технические условия [Текст].— Введ. 1979–01–01.— М.: Стандартинформ, 2008.— 36 с.
2. Пантелеев, А.П. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс [Текст] / А.П. Пантелеев, Ю.М. Шевцов, И.А. Горячев.— М.: Машиностроение, 1986.
3. Алямовский, А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи [Текст].— СПб.: БХВ — Петербург, 2012.
4. Алямовский, А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation [Текст] / А.А. Алямовский.— М.: ДМК Пресс, 2010.
5. Соценко О.В. Компьютерное моделирование технологического процесса литья деталей энергоемких промышленных изделий [Электронный ресурс] / О.В. Соценко, И.Ю. Посыпайко, А.В. Белич // Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.— Режим доступа: <http://www.ukgrosmetall.com.ua/publication/info/34>
6. Ковалёва Т.В. Моделирование процесса литья под давлением изделий из пластмасс [Электронный ресурс] / http://www.rusnauka.com/8_DN_2011/Chimia/1_81748.doc.htm ;
7. Процесс изготовления пресс-формы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.rpmufa.com>



ru/index.php?pageid=press#5 ;

8. **Крыжановский В.К.** Производство изделий из полимерных материалов [Текст] / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко.— Санкт-Петербург, 2004.

9. **Чанг Дей Хан.** Реология в процессах переработки

полимеров [Текст] / Чанг Дей Хан.— М.: Химия, 1979.

10. **Алямовский, А.А.** SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.Н. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев.— СПб.: БХВ—Петербург, 2006.—

REFERENCES

1. **GOST 16337–77.** High-pressure polyethylene. Specifications [Текст]. (rus.)

2. **Panteleyev A.P., Shevtsov Yu.M., Goryachev I.A.** Spravochnik po proektirovaniyu osnastki dlya pererabotki plastmass [Текст].— М.: Mashinostroyeniye, 1986. (rus.)

3. **Alyamovskiy A.A.** SolidWorks Simulation. Kak reshat prakticheskie zadachi [Текст].— Spt., 2012. (rus.)

4. **Alyamovskiy A.A.** Inzhenerniye raschety v SolidWorks Simulation [Текст].— М.: DMK Press, 2010. (rus.)

5. **Sotsenko O.V., Posypaiko I.Yu., Belich A.V.** Komp'yuternoe modelirovaniye tekhnologicheskogo proces-sa lit'ya detaley energoyemkikh promyshlennykh izdeliy [Текст] // Natsionalnaya metallurgicheskaya akademiya Ukrainy, Dnepropetrovsk [Elektron. resurs] .— Available :// <http://www.ukrosmetall.com.ua/publication/info/34> (rus.)

6. **Kovaleva T.V.** Modelirovaniye processa lit'ya pod davleniem izdeliy iz plastmass [Elektron. resurs].— Available-le:// http://www.rusnauka.com/8_DN_2011/Chimia/1_81748.doc.htm (rus.)

7. Process izgotovleniya press-formy.— Available:// <http://www.rpmufa.ru/index.php?pageid=press#5> (rus.)

8. **Kryzhanovskiy V.K., Kerber M.L., Burlov V.V., Panimatchenko A.D.** Proizvodstvo izdeliy iz polimernykh materialov [Текст].— Sankt-Peterburg, 2004. (rus.)

9. **Chang Day Han.** Reologiya v orocessakh pererabotki polimerov [Текст].— М.: Khimia, 1979. (rus.)

10. **Alyamovskiy A.A., Sobachkin A.A., Odintsov E.N., Kharitonovich A.I., Ponomarev N.B.** SolidWorks. Komp'yuternoe modelirovaniye v inzhenernoy praktike [Текст].— SPb.: BKHV—Peterburg, 2006. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ОРЛОВ Сергей Васильевич — кандидат технических наук доцент кафедры автоматизированного проектирования Петербургского государственного университета путей сообщения, директор Санкт-Петербургского монетного двора Гознака, ; 190031, Московский пр., 9, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: sor.kr@mail.ru

ВАТУЛИН Ян Семенович — кандидат технических наук заведующий кафедрой автоматизированного проектирования Петербургского государственного университета путей сообщения; 190031, Московский пр., 9, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: yan-roos@yandex.ru

AUTHORS

ORLOV Sergey V. — Petersburg State Transport University; 190031, 9 Moskovsky pr, Saint Petersburg; e-mail: sor.kr@mail.ru

VATULIN Yan S. — Petersburg State Transport University; 190031, 9 Moskovsky pr, Saint Petersburg; e-mail: yan-roos@yandex.ru