

**В.И. КОХАНОВСКИЙ**, канд.техн.наук, НПО „Свет шахтера”,  
**О.В.КОХАНОВСКАЯ**, НТУ „ХПИ”

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПЛАСТМАССОВОГО ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПРЕСС-ФОРМЫ**

Стаття відкриває серію публікацій, присвячених розв'язанню проблеми автоматизованого витягання пластмасового виробу з прес-форми. В роботі представлений аналітичний огляд виникаючих при цьому проблем та окреслені шляхи їх розв'язання.

The article opens the series of publications, devoted the decision of problem of the automated extraction of plastic good from a press mould. In this work analytic review of arising up here problems is presented and the ways of their decision are set.

Стремительный рост объемов производства пластмассовых изделий влечет за собой необходимость сокращения сроков и повышения качества разработки пресс-форм (ПФ) для литья под давлением пластмасс. Очень редко удается спроектировать идеальную ПФ, позволяющую сразу же получить изделие требуемого качества и с необходимыми эксплуатационными характеристиками. В большинстве случаев ПФ приходится дорабатывать, изменять геометрию формообразующих поверхностей, параметры процесса литья, а иногда и полностью перерабатывать технологию, что требует больших временных и финансовых затрат. Процесс формовки изделия зависит от большого количества параметров (табл. 1)

Таблица 1

Параметры процесса литья под давлением

Параметры машины	<ul style="list-style-type: none"><li>• усилие смыкания</li><li>• вес впрыска</li><li>• величина хода раскрытия</li><li>• величина хода выталкивателя</li><li>• диаметр цилиндра</li><li>• соотношение длины шнека к диаметру</li><li>• затвор обратного потока</li><li>• давление и скорость впрыска (степенями)</li><li>• производительность пластификации</li><li>• момент вращения шнека</li><li>• число оборотов шнека</li><li>• отвод шнека</li><li>• геометрия шнека</li><li>• усилие выталкивания</li></ul>
------------------	---

Параметры метода	<ul style="list-style-type: none"> <li>• температура цилиндра</li> <li>• температура массы</li> <li>• температура горячего канала (распределитель, впрыскивание)</li> <li>• температура ПФ (подвижной и неподвижной частей)</li> <li>• давление впрыска</li> <li>• давление выдержки</li> <li>• подпитка (ступенчатая)</li> <li>• ход и отвод шнека</li> <li>• скорость вращения шнека</li> <li>• момент вращения шнека</li> <li>• давление и скорость впрыска (ступенями)</li> <li>• время выдержки под давлением</li> <li>• точка переключения на давление выдержки</li> <li>• вид переключения на давление выдержки (в зависимости от величины хода и от времени)</li> <li>• подушка остатка массы</li> <li>• давление внутри ПФ</li> </ul>
Параметры пресс-формы /изделия	<ul style="list-style-type: none"> <li>• состояние пресс-формы (нагрев, охлаждение)</li> <li>• температурный режим</li> <li>• отвод воздуха</li> <li>• стабильность</li> <li>• соединение с литником (вид, размер)</li> <li>• система литника</li> <li>• горячий канал</li> <li>• вид пресс-формы</li> <li>• число гнезд</li> <li>• расположение (симметричное, асимметричное)</li> <li>• проецируемая поверхность</li> <li>• величина пути течения</li> <li>• острые кромки</li> <li>• вес</li> <li>• разница в толщине стенок</li> <li>• геометрическая форма изделия</li> </ul>
Параметры материала	<ul style="list-style-type: none"> <li>• тальк</li> <li>• вид стекловолокна</li> <li>• маточная смесь, цвет</li> <li>• тип материала</li> <li>• размер гранул</li> <li>• доля регенерата</li> <li>• содержание влаги (осушение)</li> <li>• текучесть</li> </ul>

Автоматизация этого процесса позволяет существенно ускорить процесс проектирования ПФ и значительно повысить качество формовки

пластмассовых изделий. В настоящее время существует ряд систем автоматизированного проектирования (САПР) ПФ, например: модуль Mold системы Pro/ENGINEER [1], T-Flex/Пресс-формы [2], модуль пресс-форм системы Cimatron [3] и др.

Подразделением Moldflow Plastics Insight (MPI) фирмы MoldFlow Corporation достигнуты значительные результаты в области автоматизации анализа проливаемости пластмассы в ПФ, которые реализованы в системах MPI/Flow, MPI/Cool, MPI/Warp, MPI/Fiber и др. [4]. С их помощью можно получить подробную информацию о поведении полимера на стадиях впрыска, выдержки под давлением и выдержки на охлаждение, прогнозировать ориентацию стекловолокна, коробление и т.п. В работе [5] также изложен метод расчета температурных полей остывающей отливки в ПФ с учетом расположения каналов охлаждения. Метод был применен в САПР пресс-форм.

В то же время вопросы анализа автоматического извлечения изделия из ПФ пока остаются нерешенными. Существует большое количество систем выталкивания изделия из ПФ [6]. Однако все эти системы подразумевают, что при раскрытии ПФ изделие беспрепятственно извлекается из ее неподвижной части. На самом деле изделие может остаться в неподвижной матрице несмотря на то, что при проектировании ПФ в матрице были предусмотрены литейные уклоны. Целью исследования авторов статьи является создание методики расчета оценки извлекаемости изделия из неподвижной матрицы.

В ПФ возможны следующие варианты расположения изделия относительно плоскости разреза:

- а) в подвижной матрице;
- б) часть в подвижной, а часть в неподвижной матрицах;
- в) полностью в неподвижной матрице.

В варианте а) проблем с извлечением изделия из неподвижной матрицы, естественно, не возникает. Нет также никаких трудностей при извлечении изделия из ПФ, в которой применяются две и более плоскости разреза (клиновые формы с использованием разъемных матриц) вне зависимости от расположения изделия в ПФ. Таким образом, объектами нашего исследования являются варианты б) и в), в которых ПФ содержит одну (или две параллельных) плоскости разреза.

Рассмотрим фрагмент пластмассового изделия объема  $V$ , причем  $V < \delta$ , где  $\delta$  – некоторое малое положительное число (рис.1).

После заполнения гнезд матрицы пластмассой начинается процесс ее остывания. При этом происходит усадка пластмассы. Усадка формующего материала зависит от многих параметров. Почти все параметры, которые перечислены в таблице 1, оказывают влияние на конечное значение усадки. Основными из них являются:

- свойства пластмассы;
- расположение каналов системы охлаждения в ПФ;

- конфигурация и параметры литниковых каналов в ПФ;
- равнотолщинность стенок и днищ пластмассового изделия.

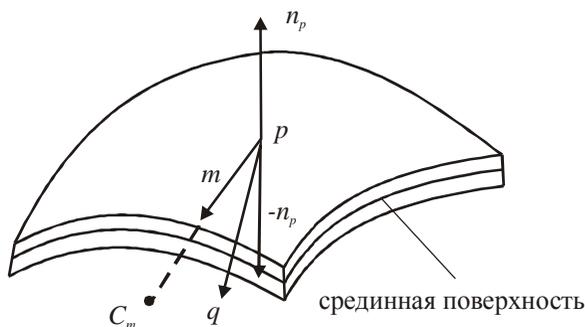


Рис.1

Учесть воздействие всех параметров на формирование усадки – задача довольно проблематичная.

В наших расчетах будем предполагать, что усадка формируется одновременно в двух направлениях:

1) по нормали  $\vec{n}$  к граничной поверхности изделия в направлении к срединной поверхности изделия;

2) в направлении  $N$  к центру масс изделия. Таким образом, каждая точка остывающей пластмассы в процессе усадки перемещается в направлении суммарного вектора  $q$  :

$$q = k_p (-n_p + m) / \|-n_p + m\|, \quad (1)$$

где  $n_p$  – нормаль в точке  $p$  на поверхности изделия;

$m$  – единичный вектор, который направлен из точки  $p$  к точке центра масс  $C_m$  ;

$k_p$  – среднее значение усадки, которое принимают по соответствующим ГОСТ и ТУ (например, для поликарбоната ПК-1  $k_p = 0,007$ );

$$\|-n_p + m\| = \left( (-n_p)_1 + m_1 \right)^2 + \left( (-n_p)_2 + m_2 \right)^2 + \left( (-n_p)_3 + m_3 \right)^2 \Bigg)^{\frac{1}{2}},$$

$(n_p)_i, m_i, i = 1, 2, 3$  – декартовы координаты векторов  $n_p, m$  .

Знак «минус» вектора  $n_p$  в формуле (1) означает, что движение точки на поверхности изделия противоположно положительному направлению нормали в этой точке поверхности. Следовательно, в течение периода

остывания пластмассы наблюдается как локальное перемещение каждой ее точки к ближайшей точке срединной поверхности, так и смещение всей массы пластмассы к ее центру масс.

При раскрытии ПФ отливка удерживается в гнездах ПФ за счет сил трения прилегающих поверхностных участков отливки о формообразующие поверхности гнезд матриц. В то же время извлечение отливки из неподвижной матрицы осуществляется также за счет сил трения формирующих поверхностей пуансонов и знаков о соответствующие поверхности отливки. Величина силы трения на пуансонах усиливается за счет усадки формирующего материала. При остывании пластмасса «обжимает» пуансон, и формирующие знаки за счет уменьшения ее массы (усадки). Следовательно, если силы трения отливки на пуансонах и знаках будут превышать силы трения на формирующих поверхностях в неподвижной матрице, то отливка будет извлекаться из ПФ. Таким образом, необходимо получить численное значение этих сил трения.

Введем криволинейную систему координат  $u, v$  на формообразующих поверхностях матриц и пуансонов. Рассмотрим фрагмент отливки с данными поверхностями размером  $\Delta u, \Delta v$  (рис.2).

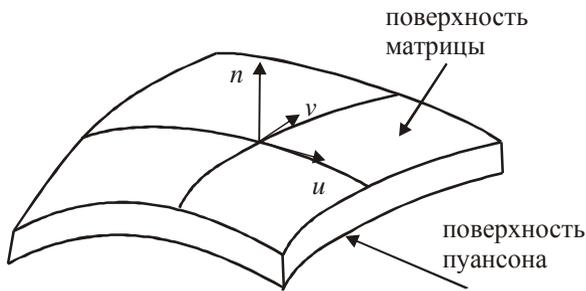


Рис.2

Пусть  $w$  – это вектор направления извлечения отливки из ПФ. Обозначим через  $\Delta u, \Delta v$  безразмерные величины, которые определяются соответственно:  $\Delta u/10, \Delta v/10$ . Тогда силу трения поверхностного участка фрагмента определим по формуле:

$$F = \Delta u \cdot \Delta v \|q \times w\| = \Delta u \cdot \Delta v \|q\| \|w\| \sin(q \wedge w), \quad (2)$$

где

$$\|q\| = (q_1^2 + q_2^2 + q_3^2)^{1/2}, \|w\| = (w_1^2 + w_2^2 + w_3^2)^{1/2}.$$

Здесь  $q_i, w_i, i=1,2,3$  – координаты векторов  $q, w$ ;  $(q \wedge w)$  – угол между векторами  $q$  и  $w$ . Формула (2) содержит векторное произведение векторов  $q$  и  $w$ , которое можно вычислить без определения угла  $(q \wedge w)$ :

$$F = \Delta u \Delta v \left( (q_2 w_3 - q_3 w_2)^2 + (q_1 w_3 - q_3 w_1)^2 + (q_1 w_2 - q_2 w_1)^2 \right)^{1/2}.$$

Тогда сила трения на всех формообразующих поверхностях  $S_M$  неподвижной матрицы вычисляется как интегральная сумма фрагментов формулы (2):

$$F_M = \iint_{S_M} \|q\| \|w\| \sin(q \wedge w) dudv, \quad (3)$$

Соответственно, сила трения для пуансонов и знаков вычисляется по аналогичной формуле:

$$F_{II} = \iint_{S_{II}} \|q\| \|w\| \sin(q \wedge w) dudv, \quad (4)$$

где  $S_{II}$  - формообразующие поверхности пуансонов и знаков.

Таким образом, если  $F_{II} > F_M$ , то отливка будет извлекаться из ПФ.

Заметим, что в вышеописанных вычислениях не рассматриваются случаи, когда в изделии имеются поднутрения. Анализ извлечения таких изделий из ПФ с одной плоскостью разреза требует отдельного исследования.

Рассмотрим применение вышеописанной методики определения извлекаемости изделия из ПФ на конкретном примере из практики проектирования и изготовления ПФ.

На рис.3,4 представлена пластмассовая деталь-пластина, для которой была изготовлена ПФ. Поверхность разреза указана на рис.4. На рис.5 отображен фрагмент пуансона с формообразующей поверхностью, а на рис.6 – формирующее гнездо в неподвижной матрице.

Согласно формулам (3)-(4), сила трения для формообразующих поверхностей неподвижной матрицы и пуансонов составляет:  $F_M = 611$ ,  $F_{II} = 504$ .

Поскольку  $F_{II} < F_M$ , то отливка не будет извлекаться из ПФ. На практике, действительно, отливка не извлекалась из неподвижной матрицы при данном расположении в ней формируемого изделия. Только применение на пуансонах вспомогательных технологических канавок с поднутрениями позволило решить задачу извлечения отливки.



Рис.3



Рис.4

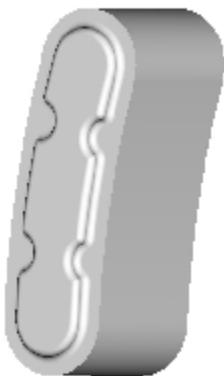


Рис.5

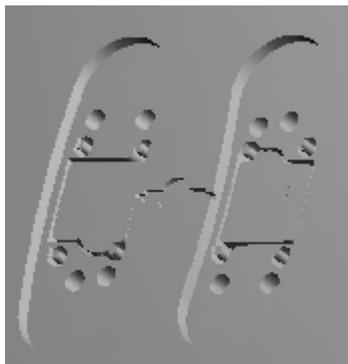


Рис.6

Решение о расположении изделия в ПФ конструктор принял на основе своего опыта проектирования ПФ и в данном случае была допущена ошибка. Изделие необходимо было разместить в ПФ зеркально относительно первоначального положения, т.е. поверхности пуансонов и матриц должны поменяться местами, и тогда отливки будут извлекаться без проблем.

Применение вышеописанной методики расчета извлекаемости изделия из ПФ позволило бы конструктору принять правильное решение в ориентации изделия в ПФ.

**Список литературы:** 1. Бирбраер Р., Морозов А., Колпаков А., Столповский В. Обеспечение процессов сквозного параллельного проектирования и подготовка производства средствами Pro/ENGINEER // САПР и графика. – 2003. - №5. – С.80-85. 2. Хаузер Ф. Разработка клапана-«бабочки» с помощью T-Flex CAD // САПР и графика. –2003. - №3. – С.110-113. 3. Власенко Ю.В., Павленко П.Н., Тремба В.Ю. Процессно-ориентированное проектирование пресс-форм в интегрированной среде системы Simatрон E // САПР и графика.- 2005. - №4. – С.20-23. 4. Евченко К. Подготовка производства изделий из пластмасс в «АБ Универсал» // САПР и графика.– 2003. - №4. – С.60-63. 5. Кохановский В.И., Кохановская О.В. Расчет температурных полей пластмассовой детали в пресс-форме при литье под давлением // Радиозлектронные компьютерные системы. – 2005. - № 4. – С.25-28. 6. Пантелеев А.П., Шевцов Ю.М., Горячев И.А. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.

*Поступила в редколлегию 12.12.2005*