

### ХАРАКТЕРИСТИКА ЭТАПОВ ЦИКЛА РОТАЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ

The description of the basic stages of the rotational molding process is resulted in the article. Advantages and disadvantages of the rotational molding process are resulted too. The special attention is given to the stages of the material loading, heating, cooling and removal of the part. Key parameters of the process and the characteristic of the material that have the most considerable influence on the course of the process are resulted. Besides, changing of the temperature both of the mold and the material during the stages of heating and cooling is resulted.

**Введение.** Ротационное формование – процесс производства полых изделий путем загрузки пластмассового порошка в форму, подобную оболочке, и вращения формы относительно двух взаимноперпендикулярных осей с одновременным нагреванием формы и порошка, при этом пластмасса, помещенная в полость формы, формирует монолитный слой на поверхности формы. Для сохранения желаемой формы пластмассового изделия вращение формы продолжается также в течение стадии охлаждения. Когда пластмасса достаточно затвердевает, охлаждение и вращение формы прекращается, а изделие извлекается из формы. После этой стадии цикл может быть повторен.

Наиболее важные достоинства ротационного формования:

- полое изделие может быть изготовлено цельным без сварных линий или соединений;
- конечный продукт практически не имеет внутренних напряжений;
- формы для формования относительно недорогие и могут быть относительно быстро изготовлены;
- мелкосерийное производство оказывается экономически выгодным;
- нет отходов производства;
- существует возможность изготовления многослойных изделий;
- различные типы изделий могут формоваться вместе на одной машине;
- относительно легко формовать внутренние вставки.

Главные недостатки ротационного формования:

- время формования длительное;
- выбор материалов для формования ограничен;
- материальные затраты относительно высокие из-за наличия стадии измельчения материала;
- трудно изготовить некоторые геометрические элементы (такие как ребра).

**Основная часть.** Основные этапы процесса формования показаны на рис. 1.

На стадии загрузки (рис. 1, а) наиболее важным параметром процесса является объемная плотность порошка. Этот параметр определяет характер заполнения формы материалом, а также характер движения материала внутри

формы при вращении в течение стадии нагревания [1, 2].

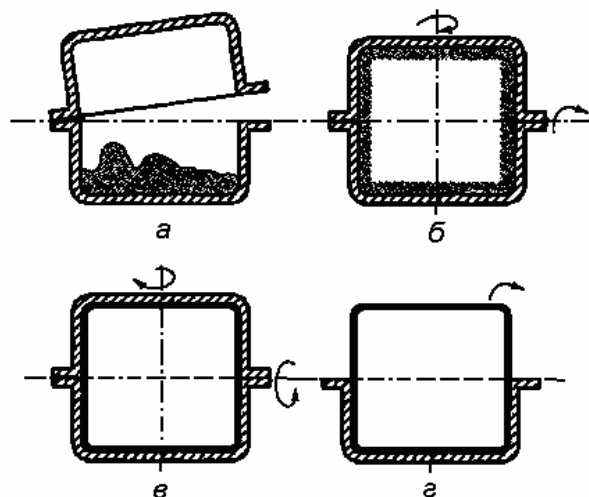


Рис. 1. Этапы процесса ротационного формования: а – стадия загрузки; б – стадия нагревания; в – стадия охлаждения; г – извлечение изделия

На протяжении большей части цикла формования форма с материалом вращается относительно двух взаимноперпендикулярных осей. Процесс отличается от центробежного формования низкими скоростями вращения, обычно не превышающими 4–20 об/мин. Важно понимать, что ротационное формование не полагается на центробежные силы для перемещения пластмассы к стенке формы. Скорости вращения малы, и порошок подвергается постоянно перемешивающему действию. Качество перемешивания при этом зависит от отношения скоростей вращения, т. е. от отношения основной и дополнительной скоростей. Обычно такое отношение равно 4 : 1, так как это дает однородное покрытие внутренней поверхности материалом для большинства форм.

Вращающаяся форма с загруженным внутренне материалом перемещается в печь, в которой протекает стадия нагревания (рис. 1, б).

В течение стадии нагревания материал внутри формы проходит через ряд изменений. На первых стадиях процесса нагревания стенка формы еще недостаточно горячая, поэтому весь

материал находится в основании формы в свободном состоянии. При дальнейшем вращении формы в печи ее металлическая стенка становится горячей, а поверхность порошковых частиц – липкой. При достижении температуры слипания полимера частицы начинают прилипать к стенкам формы и друг к другу, тем самым образуя скопления на внутренней стенке формы – трехмерные порошковые структуры. При дальнейшем нагревании начинается главная часть цикла – спекание этой порошковой структуры до образования гомогенного расплава [2, 3].

Однако при подобном спекании внутри материала остается много воздушных включений, т. е. образуется пористая структура. Для получения качественного изделия с высокими физико-механическими показателями такая структура должна быть уплотнена. Газовые включения между частицами порошка под влиянием высокой температуры медленно преобразуются в сферы и с течением времени вовсе исчезают. Эти газовые включения, иногда называемые пузырями, не перемещаются через расплав. Вязкость расплава слишком велика для этого, поэтому пузыри остаются там, где они образовались, и медленно уменьшаются в размере с течением времени [2, 3].

Плотность пузырей в разрезе является признаком качества отформованного изделия. Если пузырей слишком много, то значит изделие недоформовано (недопечено). Если же пузырей в поперечном сечении нет, то, вероятно, изделие было перепечено. Оптимальным является разрез, на котором просматривается небольшое количество пузырей, близких к внутренней свободной поверхности.

Другие признаки качества спекания изделия из полимеров при ротационном формовании касаются вида внутренней поверхности изделия и запаха внутренней части изделия. Внутренняя поверхность должна быть гладкой, без запаха, кроме нормального запаха полимера. Если внутренняя поверхность порошкообразна или груба, то это признак того, что время пребывания в печи было слишком малым, что не позволило частицам в полной степени соединиться. Если внутренняя поверхность имеет высокую гладкость и сопровождается резким запахом, то изделие находилось в печи слишком долго. Деструкция пластмассы начинается на внутренней поверхности из-за совместного действия температуры и воздуха (кислорода), которые здесь присутствуют [2].

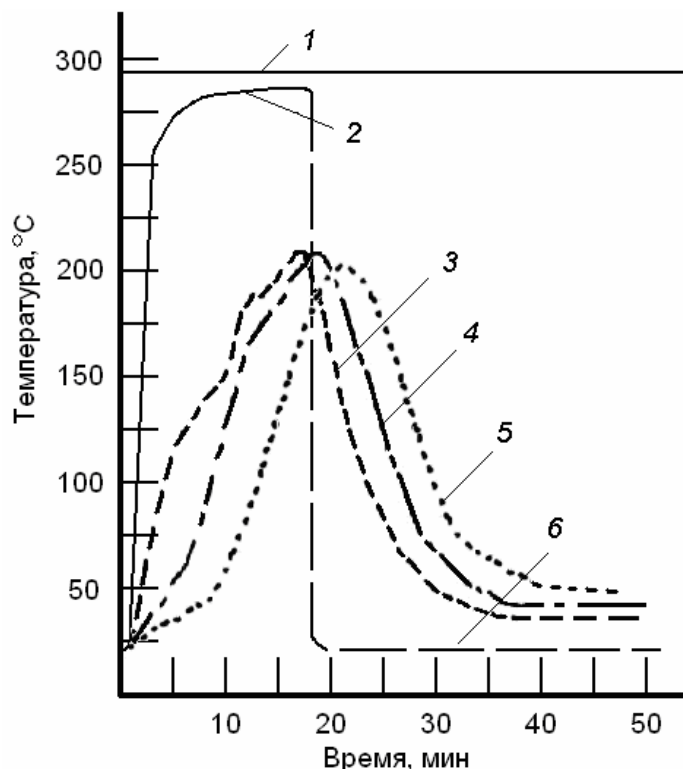


Рис. 2. Изменение температуры в течение цикла ротационного формования:

- 1 – заданная температура печи;
- 2 – фактическая температура в печи в течение цикла формования;
- 3 – температура внешней поверхности формы (измеренная);
- 4 – температура внутренней поверхности формы (рассчитанная);
- 5 – температура полимера (предположительная)

Обычно единственными средствами управления качеством конечного изделия являются изменение температуры печи, времени нахождения в печи и скорости охлаждения. Каждый из этих параметров сильно влияет на свойства конечного изделия. В производстве оптимальное значение параметров зачастую устанавливается эмпирическим путем [3].

При достижении достаточной степени уплотнения изделия форма извлекается из печи, и начинается стадия охлаждения (рис. 1, в). Форма с горячим изделием, поглощающая до этого момента времени тепло в печи, сейчас сама начинает отдавать энергию. Тепловой поток меняет свое направление, и происходит тепловая инверсия в слое расплава полимера. Внешнюю поверхность формы можно охлаждать воздухом или распыленной влагой. Возможно также и комбинированное охлаждение. Даже если параметры нагревания (время нахождения в печи и температура печи) имеют оптимальное значение, метод охлаждения может существенно повлиять на качество конечного продукта. Самая главная проблема состоит в том, что при ротационном формовании охлаждение происходит только с внешней стороны формы. Это уменьшает скорость охлаждения, а несимметрическая природа охлаждения может привести к короблению и деформации отформованного изделия [2, 3].

Необходимо также учитывать, что в процессе охлаждения происходит кристаллизация кристаллизующихся полимеров. Поэтому для получения изделия с максимальными механическими характеристиками требуется тщательный подбор параметров охлаждения – температуры и скорости охлаждения. Обычно быстрое охлаждение с использованием воды приводит к более оптимальным характеристикам готового изделия по сравнению с медленным охлаждением с использованием воздуха в случае одного и того же полимера. Механические свойства пластмассы будут неодинаковыми при различных способах охлаждения.

Более медленное охлаждение способствует улучшению прочности и жесткости пластмассы, но уменьшает стойкость ее к воздействию внутреннего нагружения. При быстром охлаждении получается более прочное, но менее жесткое изделие. Форма и размеры изделия также зависят от скорости охлаждения, что объясняется изменением усадки пластмассы.

При достижении достаточной степени охлаждения изделия вращение формы прекращается, форма раскрывается, и изделие извлекается (рис. 1, г). На данном этапе возможны некоторые действия по обслуживанию формы (смазка, чистка), после чего в форму загружается новая порция материала, форма закрывается и цикл повторяется.

Процесс ротационного формования отличается тем, что пластмасса помещается в форму при комнатной температуре и заполненная форма нагревается до температуры плавления пластмассы. После этого форма и пластмасса вместе охлаждаются до комнатной температуры. Изменение температуры формы и материала в течение цикла ротационного формования показано на рис. 2.

**Заключение.** Взаимосвязь между условиями переработки и свойствами конечного изделия подчеркивает важность понимания технологии ротационного формования, в особенности процессов, протекающих на разных этапах цикла формования.

## Литература

1. Производство изделий из полимерных материалов / под ред. В. К. Крыжановского. – СПб.: Профессия, 2004. – 400 с.
2. Бортников, В. Г. Технология переработки пластических масс: в 3 т. / В. Г. Бортников. – Казань: Дом печати, 2002. – Т. 2. – 399 с.
3. Rao, M. A. Theory of Rotational Molding. Part I: Heat Transfer / M. A. Rao, J. L. Throne // SPE ANTEC Tech. Papers. – 1972. – Vol. 18. – P. 752–756 .