

М. М. Ревяко, профессор; Е. З. Хрол, студент

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РОТАЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ

In this article the main principles put in process of processing of polymeric materials by a method of rotational molding are described. The basic merits and demerits of manufacturing techniques of products are listed. In article kinetic dependences of process of sintering – the basic process of technology of rotational molding are resulted, and also all stages of process are disassembled. Essential difference is determined during sintering polymeric and other materials. One of probable models of process of rotational molding is resulted.

Введение. Ротационное формование – метод изготовления полых изделий из гранул, порошков или паст (пластизолей) термопластичных полимерных материалов. Технологическая схема процесса приведена на рис. 1. При ротационном формовании дозированную порцию материала загружают в полу герметичную форму, которую герметически закрывают и приводят во вращение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. При вращении происходит нагрев формы в камере сжигания. Загруженный в форму материал при этом переходит в вязкотекучее состояние, а за счет вращения формы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях происходит формование изделия.

Охлаждение отформованного изделия происходит вне камеры спекания при продолжении вращения формы. По окончании охлаждения форма раскрывается, готовое изделие извлекается и происходит загрузка новой порции материала в форму.

Достоинство ротационного формования состоит, прежде всего, в простоте получения крупногабаритных изделий, в том числе и с арматурой. Стоимость переработки материала в крупногабаритные изделия при ротационном формовании ниже, чем при других методах. Это достигается за счет уменьшения числа (или полного исключения) сборочных и отделочных операций, таких как сварка, механическая обработка и т. д.

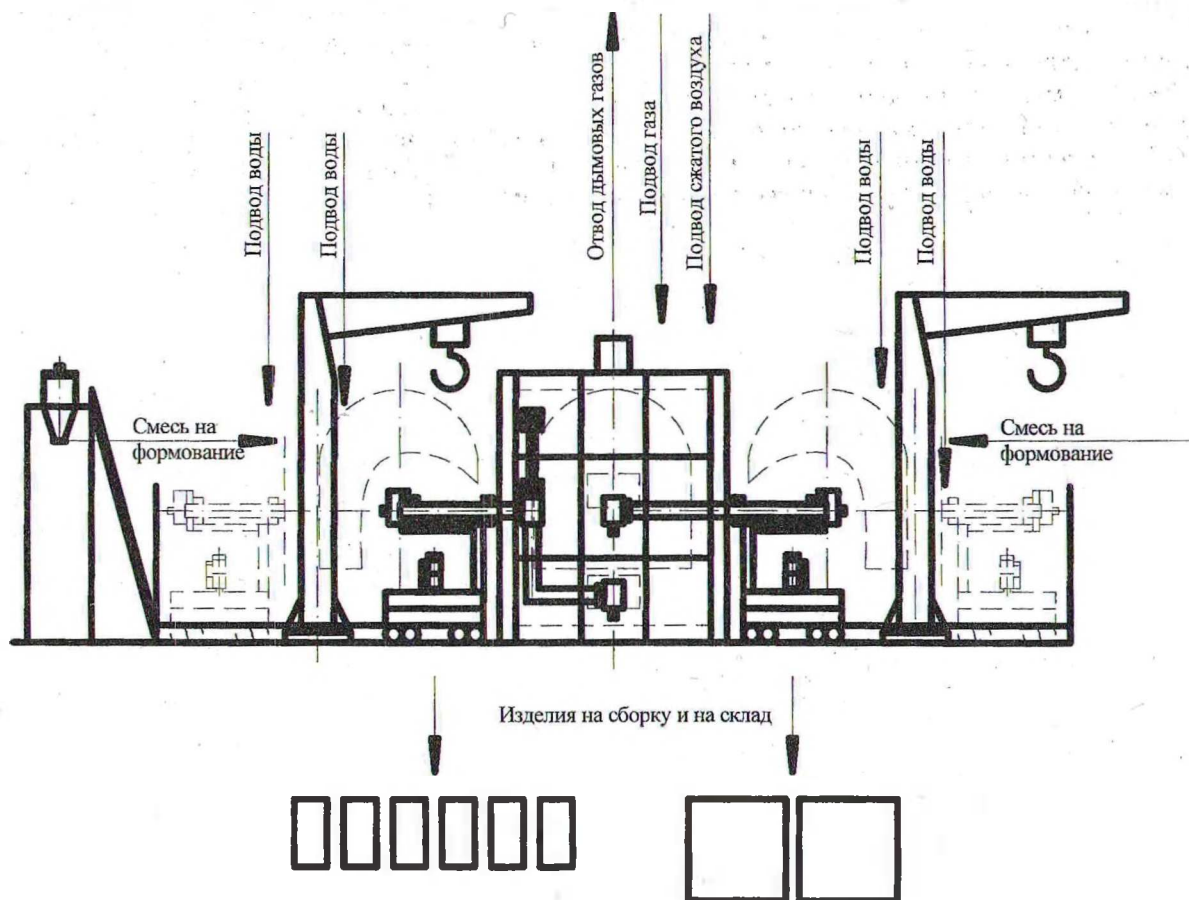


Рис. 1. Технологическая схема процесса ротационного формования

Основная часть. Перед технологической установкой для ротационного формования ставятся следующие задачи:

- нагрев формы с загруженным материалом;
- вращение формы в нескольких плоскостях;
- охлаждение формы с отформованным изделием.

При нагревании формы до температуры выше температуры текучести или плавления происходит плавление материала или переход его в вязкотекучее состояние, уплотнение пористой массы, обусловленное стремлением частиц к уменьшению поверхностной энергии. Интенсивность спекания определяется скоростью диффузии макромолекул на границе контакта частиц (размывание границы раздела) и скоростью вязкого течения полимера под действием лапласовского давления, возникающего на участках свободных поверхностей пористого тела, имеющих не нулевую кривизну.

Спекание частиц проходит в три стадии. На первой стадии частицы приплавляются к поверхности формы и друг к другу. Площадь контакта частиц увеличивается, центры частиц сближаются, но между ними еще сохраняются границы раздела (рис. 2, а).

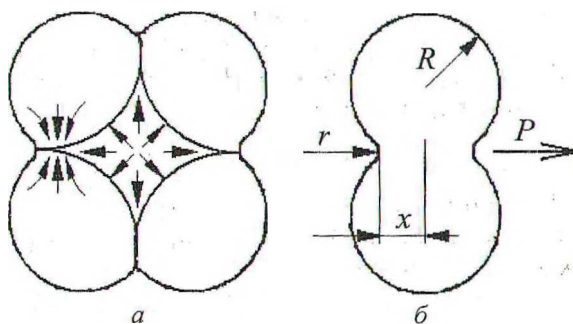


Рис. 2. Стадии спекания порошкообразного полимерного тела:

а – образование пористого тела, а затем монолита при спекании; б – геометрия контакта между частицами

На второй стадии формируется пористое тело в виде двух беспорядочно перемежающихся фаз (полимера и газа, заполняющего пустоты). Хотя замкнутые поры на этой стадии не образуются, но границы между частицами исчезают.

На третьей стадии газовые включения превращаются преимущественно в замкнутые ячейки, их число и общий объем под действием центробежных сил уменьшаются, соответственно, повышается плотность материала (рис. 2, б). Спекание осуществляется в результате вязкого течения в зонах контакта под действием лапласовского давления P_λ , которое зависит от поверхности контакта и поверхностной энергии частиц [1]:

$$P_\lambda = \alpha \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{r} \right), \quad (1)$$

где α – поверхностное натяжение расплава полимера; x – радиус площади контакта (рис. 2, б); r – радиус кривизны боковой поверхности контактного перешейка (рис. 2, б).

Переработка порошкообразных материалов (металлов, керамики) спеканием – это хорошо отработанный технологический процесс [2]. При переработке полимеров плавление со спеканием применяется в таких процессах, как ротационное литье и порошковое напыление покрытий изделия. Кроме того, это практически единственный способ переработки политетрафторэтилена, так как высокая молекулярная масса этого полимера служит препятствием для применения других методов [3]. И, наконец, спекание возникает при уплотнении под большим давлением, которое необходимо для плавления и формования термостойких полимеров, таких как полиимиды и ароматические полиэферы, и физических смесей других, более традиционных полимеров.

Идея вязкого спекания была развита Дж. Френкелем для стеклянных и керамических материалов, который предложил следующее выражение для определения скорости коалесценции пары частиц сферической формы [1, 4]:

$$\frac{x^2}{R} = \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\eta} t, \quad (2)$$

где R – радиус частиц; η – вязкость; t – время спекания.

Г. С. Кузинский, проводя опыты по спеканию полиметилметакрилата, установил, что экспериментальные результаты могут быть описаны следующим эмпирическим уравнением [4]:

$$\left(\frac{x^2}{R^{1,02}} \right)^p = F(T)t, \quad (3)$$

где $F(T)$ – функция температуры.

При $p=1$ уравнение (3) сводится к уравнению Дж. Френкеля. Г. С. Кузинский, учитывая, что расплав является неньютоновской жидкостью, подчиняющейся степенному закону, получил уравнение следующего вида [4]:

$$\left(\frac{x^2}{R} \right)^{1/n} = \frac{1}{2n} \left(\frac{8n\alpha}{m} \right)^{1/n} t, \quad (4)$$

где n, m – постоянные степенной модели.

Поэтому параметр p в уравнении (3) имеет смысл реологической величины. Для $n=1$ уравнение (4) сводится к уравнению Дж. Френкеля. Тем не менее поле потока на стадии процесса коалесценции, вероятно, не является ни гомогенным, ни изотермическим, поэтому

полному анализу стадии коалесценции должен предшествовать детальный анализ кинематики потока. Кроме того, теоретический анализ должен быть основан на вязкоупругом уравнении состояния, потому что эффект вязкоупругости, как предположил Дж. Ф. Лонз [5], может играть важную роль при спекании полимерных материалов и должен учитываться при неизотермических условиях. Стадия коалесценции обычно считается законченной, когда x/R достигает значения 0,5. Для последующей стадии уплотнения Дж. Френкель предложил выражение [4]

$$\frac{r}{r_0} = 1 - \frac{\alpha}{2r_0\eta} t, \quad (5)$$

где r – радиус полости через время t ; r_0 – начальный радиус приблизительно сферической полости, которая образуется на первой стадии.

При протекании процесса спекания, сопровождаемого и коалесценцией, и уплотнением, изменяются условия теплопередачи.

Ясно, что существенное изменение теплофизических свойств влияет на общее распределение температуры и, следовательно, на процесс спекания.

Модель теплопередачи, связанная с ротационным формованием порошков полимеров, приведена на рис. 3 [6]. Нижняя область цилиндра представляет собой резервуар для порошка полимера, который вращается и обрушивается, как твердое тело при вращении формы. Когда порошок достигает точки R , частицы порошка скатываются к точке C , где порошок снова нагревается горячей стенкой формы. Время контакта в каждом «цикле» – это время, необходимое для поворота формы от C к R . Во время движения порошок перемешивается и становится термически однородным.

Уравнение энергии для нестационарного режима теплопроводности в сплошной среде без внутренних источников тепла сводится к виду [4]:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot k \nabla T, \quad (5)$$

Если коэффициент теплопроводности k и множитель ρC_p не зависят от температуры, то уравнение (6) для однородного изотропного тела обращается в линейное дифференциальное

уравнение в частных производных, решение которого для класса задач нестационарного процесса теплопроводности, описываемого им, значительно упрощено и не представляет математических трудностей.

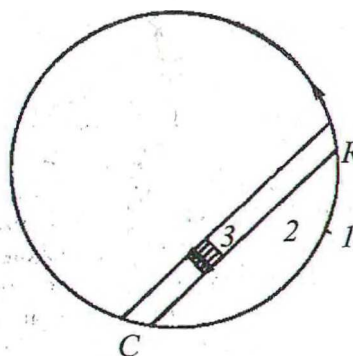


Рис. 3. Схема процесса ротационного формования: 1 – вращающийся цилиндр; 2 – неподвижный порошок; 3 – поток скатывающегося порошка

Заключение. Приведенные выше зависимости пригодны для описания как всего процесса ротационного формования, так и его отдельных элементарных стадий. Для рассмотрения некоторых технологических особенностей ротационного формования и их обоснования наиболее эффективен метод моделирования и математического описания стадий процесса.

Литература

1. Бортников, В. Г. Технология переработки пластических масс / В. Г. Бортников. – Казань: Дом печати, 2002. – Т. 2. – 399 с.
2. Порошковая металлургия, высокотемпературные материалы / М. Кумар [и др.]. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 351 с.
3. Торнер, Р. В. Основные процессы переработки полимеров (теория и методы расчета) / Р. В. Торнер. – М.: Химия, 1972. – 358 с.
4. Тадмор, З. Теоретические основы переработки полимеров / З. Тадмор, К. Горос. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
5. Sintering of Polymer Materials, in Fundamental Phenomena in the Material Sciences / J. F. Lonz [et al.] // Sintering and Plastic Deformation. – 1964. – Vol. 1. – Plenum Press. – New York.
6. Throne, J. L. Rotational Molding Heat Transfer / J. L. Throne // Polym. Eng. Sci. – 1976. – Vol. 16. – An Update. – 257–264.