

УДК 678.067

Теплопередача при ротационном формовании

Магистрант Хрол Е.З., студенты Передня Е.А., Петрушеня А.Ф.

Научный руководитель – Ревяко М.М.

Белорусский государственный технологический университет

г. Минск

Ротационное формование – метод изготовления крупногабаритных полых изделий из термопластичных полимерных материалов. Метод позволяет получать изделия в виде различных емкостей, баков, резервуаров, манекенов и т.д. с максимальным объемом изделия до 30 м^3 . Подобные изделия в основном используются в сфере транспортировки и хранения различных жидкостей (топливо, вода,

химические реагенты), судопроизводстве, коммунально-бытовом хозяйстве. Основными достоинствами метода являются:

- Полое изделие может быть изготовлено цельным без сварных линий или соединений;
- Конечный продукт практически не имеет внутренних напряжений;
- Оснастка для формования недорогая и может быть относительно быстро изготовлена;
- Мелкосерийное производство оказывается экономически выгодным;
- Отсутствие отходов производства;
- Возможность изготовления многослойных изделий;

Однако метод обладает и некоторыми недостатками, такими как длительное время формования, ограниченность выбора материалов для формования, относительно высокими материальными затратами из-за наличия стадии измельчения материала.

Процесс ротационного формования начинается с загрузки дозированной порции материала в полую металлическую форму, подобную оболочке. Форму герметично 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. Основными стадиями процесса ротационного формования являются стадии нагревания и охлаждения. Обе эти стадии связаны с передачей тепла сперва от нагретого газа холодному полимерному порошку, а затем от горячего изделия холодной окружающей среде. Проблема теплопередачи является основной при рассмотрении вышеуказанных стадий [1].

Схему процесса передачи тепла можно представить в следующем виде (рис. 1).

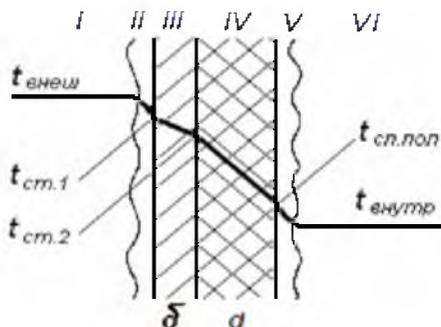


Рис. 1. Схема теплопередачи при ротационном формовании: I – воздух (внешняя среда, топочные газы); II – пристенный пограничный слой; III – металлическая стенка; IV – слой полимера; V – пристенный пограничный слой; VI – воздух (внутренняя среда формы).

На стадии нагревания за счет теплопередачи через металлическую стенку слой полимерного материала нагревается до температуры плавления, а затем материал начинает сплавляться, образуя на внутренней поверхности формы тонкую пленку. Постепенно за счет отдачи тепла материал сплавляется, и толщина стенки изделия увеличивается. За счет высокой вязкости полимера, а также вращения формы относительно двух осей материал равномерно распределяется внутри формы, образуя слой равной толщины.

Система внутри печи замкнутая и все тепло, передаваемое полимерному материалу, идет на его плавление и спекание. В любой момент времени количество теплоты, переносимое через стенку формы и слой материала, может быть рассчитано по зависимости [2]:

$$dQ = K \cdot F \cdot \Delta t \cdot d\tau \quad (1)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·град; F – площадь поверхности теплопередачи, м²; Δt – разность температур, град; $d\tau$ – элементарно малый промежуток времени, с. Коэффициент теплопередачи определяет общее термическое сопротивление системы. Его можно определить из уравнения [2]:

$$K = \frac{1}{\sum r_i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_\phi}{\lambda_\phi} + \frac{d_{MAT}}{\lambda_{MAT}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2)$$

где r – термическое сопротивление теплопередаче; α_1, α_2 – коэффициент теплоотдачи от воздуха в печи поверхности формы и от полимерного материала воздуху внутренней полости формы соответственно, Вт/м²·град; d_ϕ, d_{MAT} – толщина стенки формы и слоя материала соответственно, м; $\lambda_\phi, \lambda_{MAT}$ – коэффициенты

теплопроводности материала стенки формы и полимерного материала соответственно, Вт/м·град. Однако толщина слоя полимера d_{MAT} , прилипшего к стенке формы, с течением времени изменяется. При увеличении слоя полимера увеличивается термическое сопротивление системы, что приводит к уменьшению количества тепла, передаваемого полимеру, за счет уменьшения коэффициента теплопередачи K . Теплопередача проходит в нестационарном режиме, т.к. постоянно изменяется скорость передачи тепла в системе.

Решение задачи переноса тепла в нестационарном режиме аналитическим способом затруднительно. Возможно лишь приближенное решение поставленной задачи. Проблема может быть решена при использовании ЭВМ при решении поставленной задачи методом конечных элементов. Результаты расчета представим в виде графических зависимостей (рис. 2).

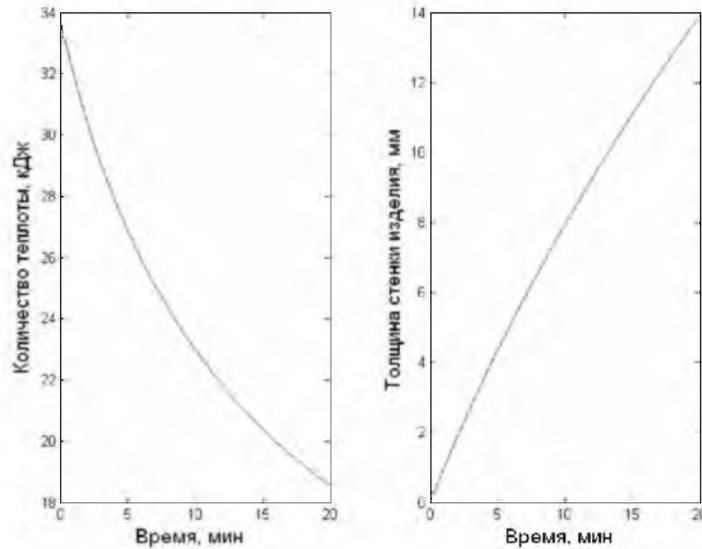


Рис. 2. Зависимость переносимого тепла и толщины стенки от времени при ротационном формовании

На практике для получения изделий, толщиной 10 мм, процесс формования осуществляют в течение 15 мин. Значение реального времени формования близко к расчетной величине, что свидетельствует о возможности использования метода конечных элементов с применением ЭВМ для вычисления времени изготовления изделия методом ротационного формования.

Литература

1. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия. – 1984. – 632 с.
2. Теория теплообмена. Под ред. А.В. Лыкова. – М.: Высшая школа. – 1979. – 495 с.