

$J=5,31 \cdot 10^{-6}$ кг/м) приведена зависимость низкой частоты колебания микро-полярных квадратной пластинки от ее размера a , при различных значениях физической константы α . Здесь пунктирные линии 1,2,3 соответствуют микрополярной модели, когда α имеет соответственно значения $\alpha = 1.6 \cdot 10^4$, $\alpha = 1.6 \cdot 10^3$, $\alpha = 1.6 \cdot 10^2$. Сплошная линия 4 соответствует классической модели.

Литература

1. Саркисян С. О. Общие математические модели микрополярных упругих тонких пластин // Известия НАН Армении. Механика. 2011. Т. 64. №1. С. 58-67.

ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА

Ревяко М.М., Хрол Е.З.

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь, HZhenyaZ@mail.ru

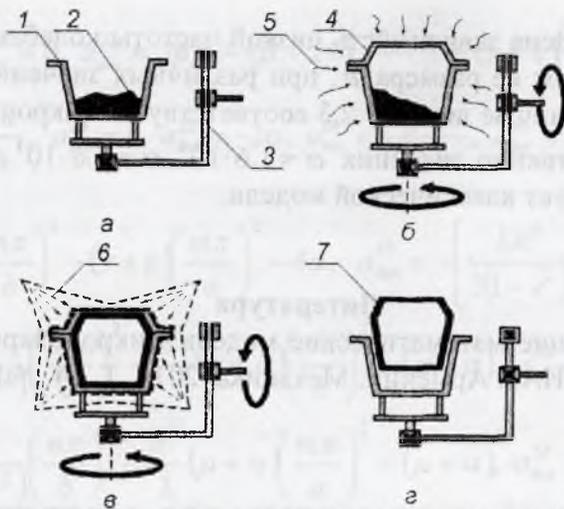
Ротационное формование представляет собой процесс производства полых крупногабаритных пластмассовых изделий. Метод широко используется для изготовления резервуаров, контейнеров, баков.

В настоящее время подбор параметров технологического процесса на предприятиях производится опытным путем, что требует дополнительных материальных и энергетических затрат. Теории и точных математических зависимостей, которые бы описывали процесс ротационного формования, нет. Особый интерес ввиду этого связан с изучением и моделированием таких этапов процесса ротационного формования, как стадии нагрева и охлаждения в динамических и статических условиях.

В общем виде процесс ротационного формования можно представить следующим образом: дозированную порцию полимерного материала, соответствующую массе изготавливаемого изделия, помещают в полую, подобную оболочке форму. Оснастку закрывают и начинают вращать относительно двух взаимно перпендикулярных осей. Вращающуюся форму вместе с полимерным материалом помещают в камеру, где происходит их нагрев. В процессе нагревания пластмасса сплавляется, образуя на внутренней поверхности формирующего инструмента слой, при охлаждении которого образуется стенка готового изделия. После заданного времени охлаждения форму раскрывают, изделие извлекают, и цикл формования повторяют снова. Процесс ротационного формования можно представить в виде общей схемы (рисунок 1) [1, с. 222].

Одной из основных характеристик процесса является время формования. В работе более детально рассмотрена стадия спекания и произведен расчет времени t , необходимого для формования стенки изделия заданной толщины δ .

Схема процесса передачи тепла при ротационном формовании представлена на рисунке 2 [3].

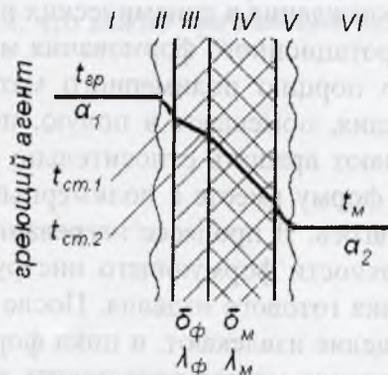


a – стадия загрузки материала; *b* – стадия нагревания; *в* – стадия охлаждения; *г* – стадия извлечения готового изделия; 1 – форма; 2 – порошок полимерный материал; 3 – механизм, обеспечивающий вращение формы (рычаг); 4 – крышка формы; 5 – нагревание; 6 – воздушное или водное охлаждение; 7 – отформованное изделие

Рис. 1. 1 – Стадии ротационного формования [2, с. 629, рисунок 15.16]

Для расчета сделали следующие допущения:

- материал, форма и воздух внутри формы поступают в камеру спекания при температуре 20°C ;
- поверхность теплопередачи и теплоотдачи равна внутренней поверхности формы
- температура греющего агента $T_{гр}$ и температура полимерного материала T_m внутри формы в каждый момент времени во всех точках объема одинаковы;
- теплотой, затраченной на подогрев воздуха внутри формы, пренебрегаем.



I – воздух (внешняя среда, топочные газы); *II* – пристенный пограничный слой; *III* – металлическая стенка формы; *IV* – слой полимера; *V* – пристенный пограничный слой; *VI* – воздух (внутренняя среда формы). α_1 – коэффициент теплоотдачи со стороны греющего агента, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$; α_2 – коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха во внутренней полости формы, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$; δ_{ϕ} , δ_m – толщина стенки формы и слоя материала соответственно, м; λ_{ϕ} , λ_m – коэффициенты теплопроводности материала стенки формы (алюминий) и полимерного материала соответственно, $\lambda_{\phi} = 203,5 \text{ Вт}/\text{м}\cdot^{\circ}\text{C}$, $\lambda_m = 0,17 \text{ Вт}/\text{м}\cdot^{\circ}\text{C}$; $T_{гр}$, $T_{ст.1}$, $T_{ст.2}$, T_m – температуры греющего агента, внешней поверхности формы, внутренней поверхности формы и слоя полимерного материала соответственно, $^{\circ}\text{C}$

Рис. 2. Схема теплопередачи

Система внутри печи замкнутая и все тепло, передаваемое полимерному материалу, идет на его плавление и спекание. За счет использования основного уравнения теплопередачи была выведена зависимость, описывающая время формования изделия заданной толщины:

$$t = \frac{C_m \cdot \delta_m \cdot \rho_m \cdot (T_{mn} - T_{mk})}{K \cdot \Delta T_{cp}}, \quad (1)$$

где C_m – теплоемкость полимера, $C_m = 1.70$ кДж/кг·°С [4, с. 42];

δ_m – толщина слоя материала (толщина стенки отформованного изделия), м;

ρ_m – плотность полимера, кг/м³, для полиэтилена $\rho_m = 940$ кг/м³;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·град;

ΔT_{cp} – средняя разность температур, град;

T_{mn}, T_{mk} – начальная и конечная температура материала, °С.

Полученные по уравнению значения составляют 16 мин для изделия с толщиной стенки 10 мм и 7,3 мин для изделия с толщиной стенки 5 мм. На практике формование изделия с толщиной стенки 5 мм занимает 6 минут, а изделия с толщиной стенки 10 мм – 15 минут.

Зависимость (1) является приближенной, т.к. она не учитывает изменение коэффициента теплопередачи и температуры материала в течение формования. Получение аналитическим способом зависимости, которая бы учитывала эти изменения, является весьма затруднительным. Для решения этой задачи в данной работе производился расчет времени формования численным методом с использованием ЭВМ и пакета *MatLab*. При этом для расчета использовалась та же зависимость (1). Результаты решения задачи, аналогичной поставленной ранее, представлены в виде графических зависимостей [5]. При помощи этого метода было определено, что время, необходимое для формования изделия толщиной 5 мм, составляет 6 минут, а изделия толщиной 10 мм – 13,5 минут.

Многие процессы, происходящие при переработке пластмасс в изделия, описываются различными дифференциальными уравнениями или могут быть сведены к этим уравнениям. Исследуемую систему можно описать дифференциальным уравнением теплопроводности. Для решения систем подобного типа используют численные методы. Одним из таких способов решения является решение процесса неустановившейся теплопередачи с использованием уравнений в конечных разностях.

При расчете времени формования по дифференциальному уравнению теплопроводности для изделия толщиной 5 мм величина его составила 5 минут, а для изделия толщиной 10 мм – 14,5 минут.

Таким образом, в инженерных расчетах в большинстве случаев применение приближенного уравнения (1) для определения времени формования является оптимальным, т.к. решение его не представляет сложности, а результат с высокой точностью соответствует значению, используемому на практике.

Литература

1. Производство изделий из полимерных материалов / В.К. Крыжановский [и др.]; под ред. В.К. Крыжановского. – СПб.: Профессия, 2005. – 464 с.
2. Уилки, Ч. Поливинилхлорид / Ч. Уилки, Дж. Саммерс, Ч. Даниэлс; пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. – СПб.: Профессия, 2007. – 728 с.

3. Ревяко, М.М. Тепломассоперенос при ротационном формовании / М.М. Ревяко, Е.З. Хрол // *Материалы. Технологии. Инструменты.* – 2009. – Т. 14, №1. – С. 78–82.
4. Комаров, Г.В. Соединение деталей из полимерных материалов / Г.В. Комаров. – СПб.: Профессия, 2006. – 592 с.
5. Хрол, Е.З. Моделирование вращения формующего инструмента при ротационном формовании / Е.З. Хрол // *Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы Республиканской научно-технической конф. молодых ученых, Гомель, 5–7 октября 2010 г. / ИММС НАН Беларуси.* – Гомель, 2010. – С. 133–135.
6. Хрол, Е.З. Моделирование теплопереноса при ротационном формовании / Е.З. Хрол // *Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы IV гомельской региональной конф. молодых ученых, Гомель, 23–24 сентября 2008 г. / ИММС НАН Беларуси.* – Гомель, 2008. – С. 183–184.

О ЗАДАЧЕ ИЗГИБА БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ С ЭЛЕМЕНТОМ ИЗ СПЛАВА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

Пряхин С.С., Рубаник В.В. мл.

*Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь,
sspryakhin@yandex.by, jr@tut.by*

В биметаллической пластине из стали и сплава с памятью формы (СПФ) сочетаются материалы с разными типами деформации. Для эффективности применения подобных структур необходимы моделирование их поведения в условиях изгиба, разгрузки и восстановления формы. В работе [1] излагались результаты моделирования плоского неупругого деформационного поведения биметаллической пластины, элементы которой состоят из СПФ и упругопластической стали. Моделировались стадии термомеханического нагружения: цикл механического нагружения, в котором в изотермических условиях осуществляется изгиб самоуравновешенной торцевой нагрузкой с последующим снятием нагрузки, и температурный цикл восстановления формы в процессах нагрев-охлаждение. Примечательными в данной работе являются попытка учета влияния нелинейности материалов: как СПФ, так и стали, и изящная схема пошагового интегрирования интегро-дифференциальных уравнений. Однако ценность и достоверность результатов и методики самой модели снижены тем, что в их основу заложены уравнения, подразумевающие линейность распределений напряжения по всей толщине каждого из элементов пластины: из СПФ и упругопластической стали. Это не является обоснованным, и противоречит результатам как для СПФ [2], так и для упругопластического материала [3].

Мы предлагаем подход, позволяющий выполнять численный расчет напряжений в биметаллической пластине для данной задачи, не задавая а priori тип их распределений. Поясним суть подхода на примере только стадии нагружения.

Схема нагружения объекта показана на рисунке 1. Подразумеваем в модельном объекте перед нагружением нулевыми начальные значения распределений деформаций, напряжения, внутренней переменной, характеризующей фазовое состояние материала СПФ, и пластических деформаций стали.