

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ РОТАЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ

The general directions of the use of computers in the plastics processing industry are resulted in the article. The special attention is given to the use of computers with the specialized software at the rotational molding during the stage of product design. The analysis of the stress state of the products during their exploitation is made in the work by using the program CosmosWorks 2006 which are based on the final elements method. Both existing and developed product's designs were analyzed. As a result of calculations the optimal product's design that can be used during long time because the stress in this part during exploitation is less then the strength of a polymeric material is selected. The received results have laid down in the basis of mold designing for producing part «fuel tank» on the «Borisov plant of plastic products».

Введение. Любой процесс переработки полимерных материалов, в том числе и ротационное формование, направлен на получение изделия, которое отвечает всем эксплуатационным требованиям. Для большинства изделий, получаемых ротационным формованием, показательными являются физико-механические характеристики.

Изделия могут разрушаться либо необратимо изменять свои показатели по многим причинам, например, вследствие применения некачественного материала или нерациональной конструкции изделия, из-за действия окружающей среды, ввиду несоблюдения режима процесса производства и др. Поэтому важно уже на стадии проектирования изделия предусмотреть возможные условия его эксплуатации для прогнозирования его поведения в этих условиях.

Как и в случае других процессов и изделий, компьютеры широко применяются при ротационном формовании. Использование компьютера охватывает широкий ряд задач, начиная с проектирования твердой модели изделия, конструирования формы, управления производственным процессом и заканчивая контролем качества продукции. Такие программы, как AutoCAD, Pro-Engineer, IronCAD, SolidWorks и CADKey, позволяют конструировать изделие в виде трехмерной модели, которая в последующем является отправной точкой для построения чертежей, моделирования сборок элементов, а также для написания программ обработки деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Последнее особо перспективно, так как несмотря на то, что большинство ротационных форм в настоящее время производятся из литого алюминия, растет интерес к формам, изготавливаемым из алюминия механической обработкой. Обработанные алюминиевые формы можно получить при помощи трехмерного программного обеспечения при использовании ЧПУ, управляющего многокоординатными станками. Также растет

интерес к отделке формирующей поверхности оснастки из литого алюминия на ЧПУ станках, а также к отделке и сверлению готовых отформованных изделий [1, 2].

Основная часть. Компьютеры также применяются для расчета напряженного состояния изделия при его нагружении в процессе эксплуатации. Если форма изделия или нагрузка сложная, или если нагрузки являются динамическими, неустановившимися или периодическими, то простые формулы расчета изделия использовать нельзя, требуются более сложные математические модели. Для решения этих проблем в последнее время разработаны программы для комплексного компьютерного анализа.

Универсальным математическим способом является анализ методом конечных элементов (АМКЭ) [1]. В настоящее время при помощи АМКЭ возможно решение чрезвычайно сложных, зависимых от температуры, динамически нагруженных систем с весьма сложной зависимостью скорости деформации от скорости нагружения в уравнении деформированного состояния. Традиционные методы решения подобных задач предполагают, что структура является цельной сплошной средой, которая полностью описывается математическими уравнениями. АМКЭ заменяет структуру счетным количеством элементов конечного размера. Затем эти элементы обычно описываются рядом алгебраических уравнений, которые связаны посредством границ элементов (граничные условия). Эти уравнения одновременно решаются в основном с помощью обратных матриц алгебраических коэффициентов. Элементы являются «конечными», а взаимосвязи между элементами – «узлами». Метод замены сплошной среды набором связанных элементов известен как «дискретизация».

В работе для определения возможности прогнозирования эксплуатации изделия были проведены расчеты напряженного состояния различных изделий, получаемых методом ротационного формования, при нагружении их в

процессе эксплуатации. Для расчета в программе SolidWorks 2006 были созданы трехмерные модели исследуемых изделий, производимых в ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий». В программе CosmosWorks 2006 были смоделированы ситуации нагружения изделия в процессе эксплуатации. При использовании изделия «Контейнер для сбора мусора» воспринимает действие либо силы тяжести мусора на дно контейнера, либо давление находящейся внутри жидкости, которая действует на дно и стенки контейнера. Спроектирован случай неподвижного размещения контейнера на опоре, а также случай его перемещения.

Общий вид изделия «Контейнер для сбора мусора вместимостью 120 л» (далее «Контейнер 120 л») приведен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид изделия «Контейнер 120 л»

Выделим условия нагружения изделия «Контейнер 120 л» в процессе его эксплуатации:

- 1) на неподвижное изделие действует груз весом 500 Н (50 кг) (точка приложения – дно изделия);
- 2) на передвигаемое изделие действует груз весом 500 Н (50 кг) (точка приложения – дно изделия);
- 3) на неподвижное изделие действует жидкость с давлением 8 кПа (точки приложения – дно и стенки изделия);
- 4) на передвигаемое изделие действует жидкость с давлением 8 кПа (точки приложения – дно и стенки изделия).

В программе CosmosWorks 2006 путем задания величины и точек приложения нагрузки, а также задания ограничений (граничных условий) смоделированы все приведенные выше ситуации.

Перечисленные ситуации нагружения изделия полностью соответствуют реальной эксплуатации изделия на практике, что максимально приближает расчетные величины к реальным.

Результаты расчетов изделия «Контейнер 120 л» в виде распределения напряжений по объему изделия представлены на рис. 2.

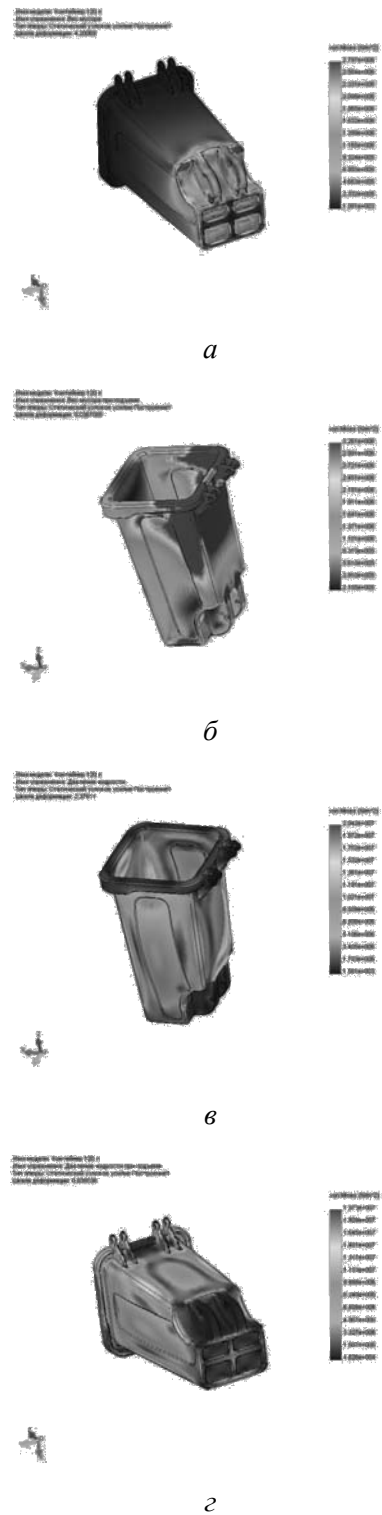


Рис. 2. Распределение напряжений по объему изделия «Контейнер 120 л»: а – статичное изделие под весом груза; б – подвижное изделие под весом груза; в – статичное изделие под действием давления жидкости; г – подвижное изделие под действием давления жидкости

В результате расчетов выявлено, что величина возникающих в изделии напряжений не превышает 4 МПа.

Аналогичные расчеты проведены для изделия «Контейнер для сбора мусора вместимостью 700 л» (далее «Контейнер 700 л»). Для этого смоделирована трехмерная модель изделия, общий вид которого представлен на рис. 3.

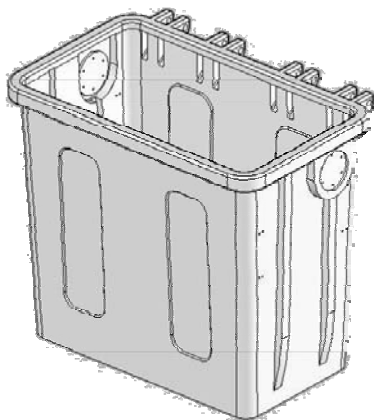


Рис. 3. Общий вид изделия «Контейнер 700 л»

Для решения поставленной задачи сформулированы условия нагружения изделия «Контейнер 700 л» в процессе его эксплуатации:

- на неподвижное изделие действует груз весом 2000 Н (200 кг) (точка приложения – дно изделия);
- на передвигаемое изделие действует груз весом 2000 Н (200 кг) (точка приложения – дно изделия);
- на неподвижное изделие действует жидкость с давлением 8 кПа (точки приложения – дно и стенки изделия);
- на передвигаемое изделие действует жидкость с давлением 8 кПа (точки приложения – дно и стенки изделия);
- падение изделия с высоты 1 м.

Все смоделированные в программе CosmosWorks 2006 ситуации нагружения изделия полностью соответствуют реальной эксплуатации изделия на практике.

Результаты расчета изделия «Контейнер 700 л» в виде распределения напряжений по объему изделия представлены на рис. 4.

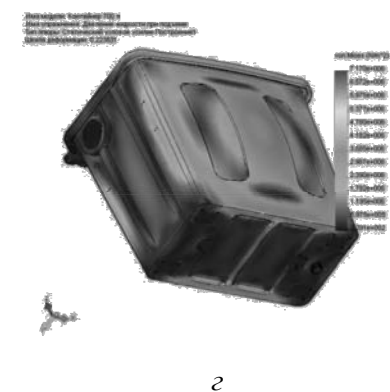
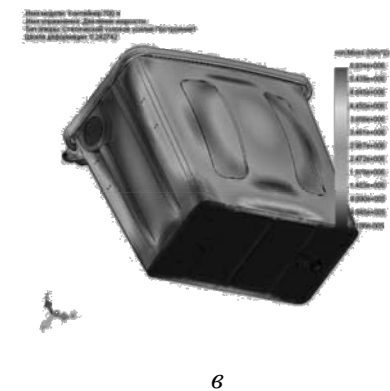
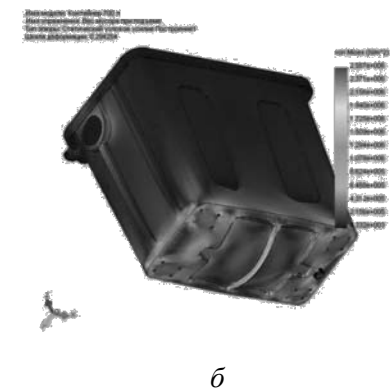
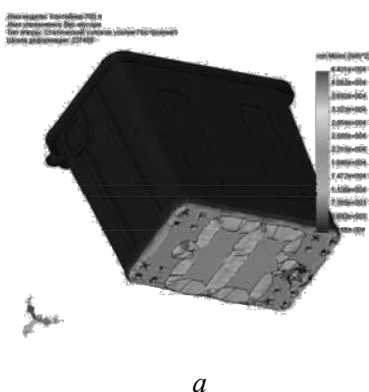


Рис. 4. Распределение напряжений по объему изделия «Контейнер 700 л»: *a* – статичное изделие под весом груза; *б* – подвижное изделие под весом груза; *в* – статичное изделие под действием давления жидкости; *г* – подвижное изделие под действием давления жидкости; *д* – ситуация падения изделия с высоты 1 м

В результате расчетов выявлено, что возникающие в изделиях напряжения существенно ниже прочности материала изделия ($\sigma_T = 16$ МПа). Это свидетельствует о возможности их эксплуатации в данных условиях. Этот факт подтверждается безотказным (при соблюдении технологического режима производства) использованием изделия на практике.

В ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий» была поставлена задача разработки конструкции нового изделия – ящика тарного, способного выдерживать нагрузки в 200 Н на дно ящика, а также предназначенного для хранения и транспортировки груза штабелями в 3 ряда. Для решения задачи было проведено проектирование изделия в пакете SolidWorks 2006.

Исходные данные для проектирования изделия «Ящик тарный» следующие:

- 1) габаритные размеры ящика: длина – 700 мм; ширина – 490 мм; высота – 460 мм;
- 2) вес груза, переносимого в ящике, – 20 кг;
- 3) материал изделия – ПЭНД с пределом прочности 16 МПа;
- 4) хранение ящиков – штабелями в 3 ряда.

Общий вид разработанного изделия «Ящик тарный» приведен на рис. 5.

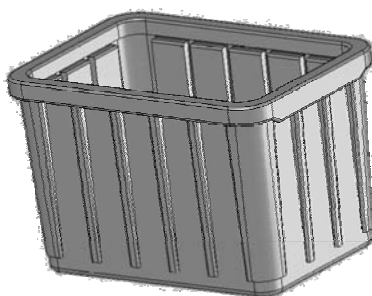
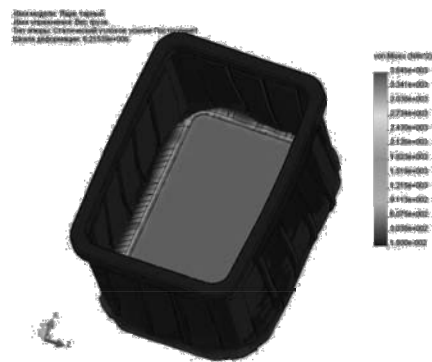


Рис. 5. Общий вид изделия «Ящик тарный»

Для проведения анализа модели изделия в пакете CosmosWorks 2006 были сформулированы условия эксплуатации изделия «Ящик тарный»:

- на неподвижное изделие действует груз весом 200 Н (20 кг) (точка приложения – дно изделия);
- на переносимое изделие действует груз весом 200 Н (20 кг) (точка приложения – дно изделия);
- хранение изделия с грузом (нижний ряд) (точка приложения – кромка изделия);
- хранение изделия с грузом (средний ряд) (точки приложения – кромка и дно изделия).

Результаты расчета изделия «Ящик тарный» в виде распределения напряжений по объему изделия представлены на рис. 6.



a



б



в



г

Рис. 6. Распределение напряжений по объему изделия «Ящик тарный»:

- a* – статичное изделие под весом груза;
- б* – подвижное изделие под весом груза;
- в* – случай хранения груза (нижний ящик);
- г* – случай хранения груза (средний ящик)

В результате расчетов выявлено, что при данных условиях эксплуатации изделие может длительное время использоваться без разрушения, так как напряжения, возникающие в изделии при его нагружении, существенно ниже прочности материала изделия. Полученные результаты подтвердили возможность применения разработанной конструкции изделия и легли в основу проектирования технологической оснастки для изготовления изделия «Ящик тарный». Кроме того, конструкция изделия способствует легкому его получению, в особенности ротационным формованием. Технологическая оснастка для получения разработанного изделия методом ротационного формования не содержит сложных конструктивных элементов, поэтому может быть быстро и недорого изготовлена.

Кроме того, в процессе разработки и анализа напряженного состояния изделия сформулированы некоторые рекомендации по проектированию изделий, получаемых ротационным формованием. Соблюдение этих принципов позволит получать изделия, способные длительно эксплуатироваться без разрушения. Основные из них:

1) рекомендуемые значения *углов уклона* поверхностей изделия лежат в пределах $2-5^\circ$ (такие значения позволяют легко извлекать изделие из формирующего инструмента после его усадки в процессе охлаждения). Не рекомендуется использовать в изделии идеально параллельные стенки, так как, кроме того, что это затруднит извлечение изделия, повышается возможность коробления изделия при его охлаждении. Также рекомендуется располагать противоположные стенки изделия на расстоянии не менее трехкратной толщины стенки изделия. Это позволяет порошку беспрепятственно перемещаться внутри формы [3];

2) нежелательно наличие в изделии *острых углов*, так как они являются концентраторами внутренних напряжений, а также затрудняют процесс формования (порошок с трудом попадает в маленькие радиусы, затрудняется теплопередача в этой области изделия, и, как следствие, возможно получение недоформованных изделий);

3) рекомендуется использовать как можно большие радиусы скругления. *Наименьший радиус скругления* в каждом конкретном случае выбирается в зависимости от конструктивных особенностей изделия и выполняемых им

функций. Скругления внешних и внутренних поверхностей изделия должны обеспечивать равномерность толщины стенки изделия;

4) структурную *прочность* изделию можно придать, прежде всего, путем добавления упрочняющих элементов, таких как скругленные углы с большими радиусами, полые вставки, ребра. Сплошные *ребра* не могут быть получены ротационным формованием. Рекомендуются полые ребра, у которых соотношение ширины к глубине ребра больше чем один.

Однако поскольку спектр изделий, получаемых ротационным формованием, довольно широк (контейнеры, резервуары, баки, мячи, манекены), то помимо приведенных выше рекомендаций необходимо учитывать и функциональность изделия. Зачастую именно выполнение изделием определенной специальной функции мешает реализации всех вышеуказанных принципов конструирования.

Заключение. В результате расчетов была спрогнозирована возможность использования изделия по заданным условиям эксплуатации. Метод оценки напряженного состояния позволяет быстро и надежно определять недостатки конструкции и наиболее слабые места проектируемого изделия, что позволяет на стадии разработки изделия вводить в его конструкцию необходимые изменения (дополнительные упрочняющие элементы).

Проведенный анализ напряженного состояния изделия показал, что разработанная конструкция нового изделия отвечает всем требованиям, как конструктивным, так и эксплуатационным, что дает возможность применять ее на практике. Выработанные в процессе разработки и анализа изделия рекомендации могут быть использованы для проектирования новых изделий, получаемых ротационным формованием.

Литература

1. Мэллой, Р. А. Конструирование пластмассовых изделий для литья под давлением / Р. А. Мэллой; пер. с англ.; под ред. В. А. Брагинского, Е. С. Цобкалло, Г. В. Комарова. – СПб.: Профессия, 2006. – 512 с.
2. Huebner, K. H. The Finite Element Method for Engineers / K. H. Huebner. – New York: John Wiley&Sons, 1980. – 200 p.
3. Beall, G. L. Rotational Moulding of Plastics 2nd ed. / G. L. Beall ed. by R. J. Crawford. – Taunton, Somerset, England: Research Studies Press Ltd., 1996. – 450 p.