

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ФОРМУ БЫТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Рассматриваются результаты компьютерного моделирования влияний температурных деформаций на форму бытовых изделий.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, температурные деформации, метод конечных элементов.

Значительную долю рынка кухонной посуды занимают металлические сковороды, изготовленные из стали, чугуна или алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы отличаются малой плотностью и высокой теплопроводностью. Благодаря хорошим литейным качествам литая алюминиевая посуда занимает основную часть рынка.

Сковороды эксплуатируются в условиях интенсивного нагрева со стороны днища от газовых, электрических или индукционных источников тепла, причём температура в зоне нагрева может достигать 220–250 °С. При этом, вследствие сложной геометрической формы изделия и неравномерности нагрева, возникают температурные деформации. Для обеспечения высоких потребительских качеств и равномерного контакта с источником нагрева (что особенно актуально для индукционных варочных панелей и электрических плит) необходимо обеспечить равномерный контакт дна изделия с плоскостью.

Традиционная форма дна в виде плоскости с впадиной в центре не обеспечивает указанных требований, так как вследствие неравномерности распределения поля температур, температурных деформаций бортов изделия дно приобретает выпуклую форму. Ведущие зарубежные производители (Zepter, Yaomato, Krups) в моделях высшего ценового диапазона используют предварительную геометрическую коррекцию формы дна на ожидаемую величину поводов.

Напомним, что линейная деформация в некоторой точке изделия состоит из двух частей — силовой и температурной ($\varepsilon = \varepsilon_\sigma + \varepsilon_T$), соответственно, причём температурная для изотропного материала пропорциональна температуре и коэффициенту теплового расширения материала ($\varepsilon_T = \alpha T$). В случае, когда распределение поля температур неравномерно, возникают температурные напряжения и неравномерные деформации, что отражается в общей форме закона Гука ($\varepsilon_x = \left[\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z) \right] / E + \alpha T, \dots, \gamma_{xy} = \tau_{xy} / G, \dots (x, y, z)$) в общепринятых обозначениях. Рассмотрим некоторый элементарный объём изделия с известными координатами x, y, z . Его деформацию можно представить суперпозицией температурной и силовой деформации от температурных напряжений (что допускается в соответствии с принципом суперпозиции). В свою очередь, расчёт распределения температур внутри изделия предполагает решение уравнения Фурье, а на границах с окружающей средой — закону Ньютона–Рихмана.

Рассмотрим упрощённую модель, в которой дно изделия моделируется диском, а стенки — цилиндром. Пусть в установившемся режиме диск нагрет до некоторой температуры T_1 , а верхняя кромка цилиндра стенки — T_2 ($T_2 < T_1$). Примем распределение температуры в стенке цилиндра линейным. Для цилиндра на его наружном радиусе деформация составит $dR_1 = \alpha T_1 R$. Стенки цилиндра получают деформацию в радиальном и осевом направлении. При линейном распределении температуры по оси радиальные деформации приведут к образованию конуса (в основании — радиусом деформированного диска, на верхнем торце — $dR_2 = \alpha T_2 R$). Осевая деформация ведёт к аналогичному удлинению цилиндра. В такой постановке диск остаётся плоским, а цилиндр стенок принимает форму прямого конуса.

Однако уже совместное решение дифференциальных уравнений перемещения в элементарной форме невозможно ввиду взаимного влияния осевых и радиальных деформаций, которое вызывает выгибание диска и преобразование прямой образующей конуса стенок в нелинейную кривую.

К сожалению, непосредственный расчёт деформаций представляет определённые трудности и (с некоторыми упрощениями) выполнен лишь для самых простых форм изделия (стенки в виде вертикального цилиндра). Таким образом, для конкретных размеров и формы изделия целесообразно провести расчёт методом конечных элементов для достижения достоверных результатов.

Исходными данными являются: геометрическая трёхмерная модель изделия (выполнена с помощью САПР Компас и экспортирована в нейтральный формат STEP) (см. рис. 1), сведения о материале изделия (АЛ2), а также расчётная схема приложения температурных нагрузок. Принято, что дно сковороды нагревается источником мощностью 900 Вт, отвод происходит по внутренним поверхностям путём конвекции (по дну — в масло, по стенкам — в воздух). Исследуется состояние температурного равновесия.

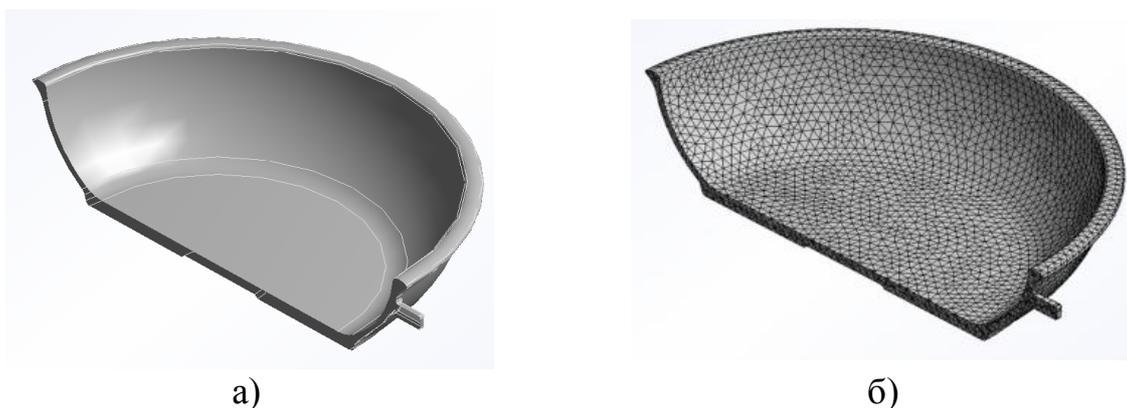


Рис. 1. Геометрическая трёхмерная модель изделия:
а) форма изделия (разрез), б) сетка конечных элементов

Расчёт производится в два этапа. На первом прилагаются температурные нагрузки, а результатом является поле распределения температур (см. рис. 2).

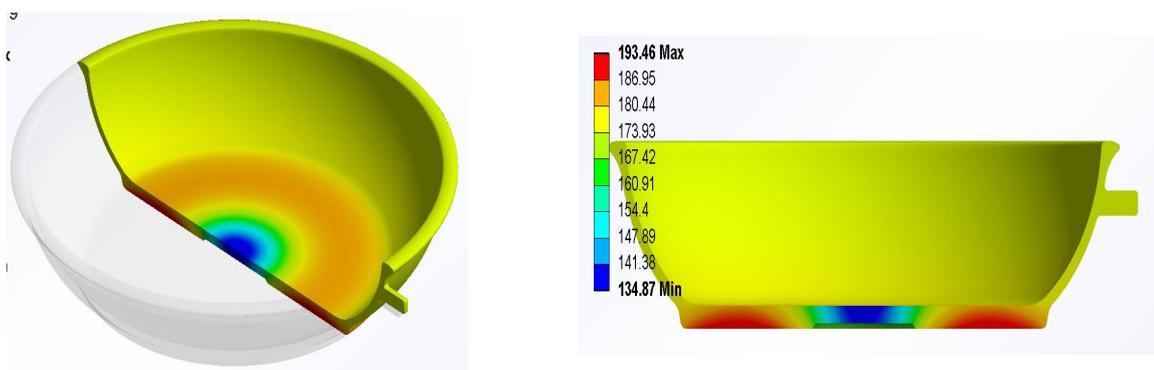


Рис. 2. Распределение температуры в изделии при нагреве (разрез)

На втором этапе рассчитываются температурные деформации от импортированной температурной нагрузки. Из полученных результатов выделяются вертикальные деформации поверхности дна, которые представлены на рис. 3.

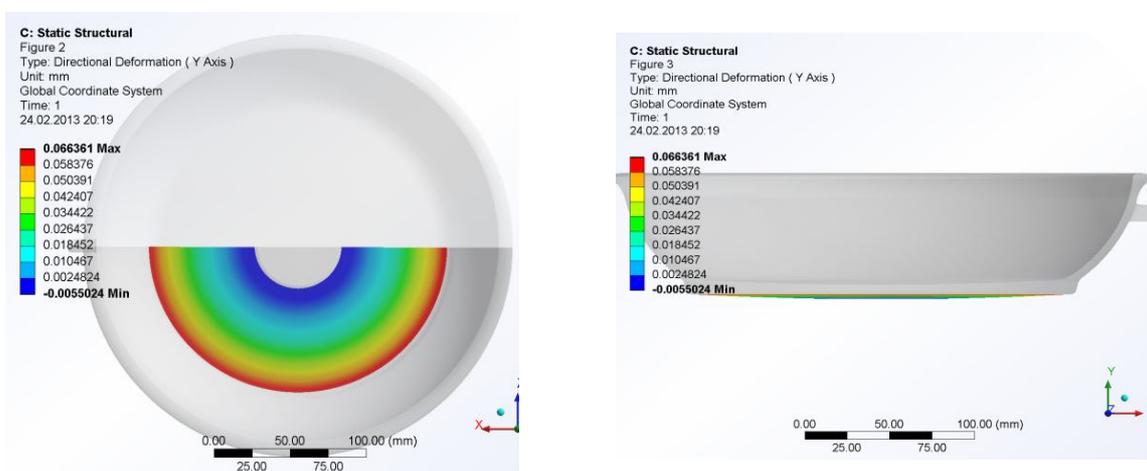


Рис. 3. Эпюра температурных деформаций

Расчётные деформации составляют, таким образом, 0,07 мм и могут быть устранены дополнительной операцией механической обработки.

Следует отметить, что температурные деформации в процессе эксплуатации изделий имеют достаточно широкое распространение. Рассматривая указанную проблему шире можно предложить относительно новый метод компенсации температурных деформаций.

Выводы: для обеспечения равномерного контакта дна изделия с плоскостью варочных панелей и электрических плит предлагается предварительная коррекция формы изделия путём её управляемой температурной деформацией в процессе обработки. Таким образом, на стадии механической обработки необходимо обработать дно изделия с отрицательной коррекцией, т. е. в «тело».

Об авторах

Самаркин Александр Иванович — доцент кафедры «Медицинская информатика и кибернетика» ФГБОУ ВПО Псков ГУ, канд. техн. наук, доцент.

Дмитриев Сергей Иванович — заведующий кафедрой «Технологии машиностроения» ФГБОУ ВПО Псков ГУ, канд. техн. наук, доцент.

Евгеньева Евгения Анатольевна — старший преподаватель кафедры «Технологии машиностроения» ФГБОУ ВПО Псков ГУ.

A. I. Samarkin, S. I. Dmitriev, E. A. Evgenyeva

**MODELLING OF INFLUENCES OF TEMPERATURE
DEFORMATIONS ON THE FORM OF HOUSEHOLD PRODUCTS**

In article are considered results of computer modeling of influences of temperature deformations on a form of household products.

Keywords: computer modeling, temperature deformations, method of final elements.