

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ

И.Е. Филимонов, А.Г. Гордич, П.А. Прокудин

MODELING STRESS CONDITION OF THIN-WALLED BODY PARTS ACCOUNTING CASTING DEFECTS

I.E. Filimonov, A.G. Gordich, P.A. Prokudin

Анализ напряженного и деформированного состояний твердотельной детали тонкостенной формы, выполнен с помощью конечно-элементного пакета COSMOSWorks. Граничные условия сформированы особенностью конструкции и эксплуатационными нагрузками. Напряжения вычислены по критерию Мизеса. В расчетную модель детали введены сферические пустоты, имитирующие дефекты литья: раковины и неметаллические включения.

Ключевые слова: моделирование, тонкостенные детали, литейные дефекты.

The test of strain condition of thin-walled body part has been proceeded with the help of program COSMOSWorks. The boundary conditions has been developed according to construction features and external environments. The strain has been calculated von Mises criterion. Spherical hollow spaces has been involved to the model, which imitate casting defects such as blebs and non-metal impurities.

Keywords: modeling, thin-walled body, casting defects.

В тонкостенных корпусных деталях из литых заготовок встречаются литейные дефекты в виде усадочных раковин, газовых пор и неметаллических включений. Кроме того, при механической обработке этих деталей возможны погрешности поверхности и формирование концентраторов напряжений от врезания инструмента при обработке на станках с ЧПУ из-за сбоя программы или поломки инструмента.

Литейные дефекты, в принципе, можно устранить наплавкой и получить при этом существенные остаточные напряжения, при этом большинство дефектов в теле материала остаются.

В данной работе оценивалось напряженно-деформированное состояние с помощью конечно-элементного пакета COSMOSWorks [1]. На рис. 1 представлена конечно-элементная сетка данной детали. Особенностью данной детали является наличие окон, а также выступов и приливов на внутренних и торцевых поверхностях. Эти особенности должны привести к концентрации напряжений в местах переходов поверхностей.

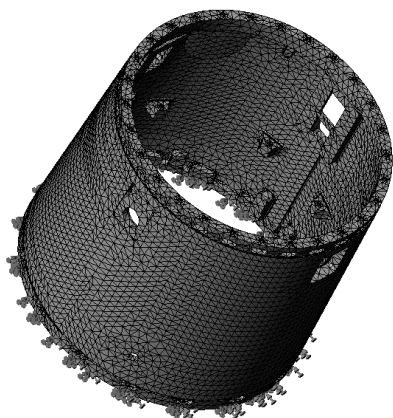


Рис. 1. Конечно-элементная сетка

Для проведения численных расчетов нагрузка задавалась как распределенная сила, нормально приложенная к торцевой поверхности меньшего радиуса, и распределенный по периметру изгибающий момент в плоскости, проходящей через ось симметрии детали, приложенный к той же поверхности. Величины нагрузок определены в соответствии с условиями работы детали. Расчетное закрепление производилось как жесткая заделка по противоположному торцу. Материал изделия – магниево-алюминиевый сплав МЛ5 ГОСТ 2856-79.

Расчетные характеристики приняты следующими: модуль упругости материала $E = 4,2 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент

Пуассона $\mu = 0,34$, $\sigma_m = 95$ МПа. Для начала выполнен расчет детали по номинальным размерам без учета литейных дефектов и других погрешностей. Результаты расчета деформированного состояния представлены на рис. 2. Отметим, что наибольшие перемещения имеют величину 0,111 мм и находятся на внутренней поверхности рядом с приливом вокруг окна детали. Максимальная относительная деформация составляет $3,8 \cdot 10^{-4}$ (рис. 3). Наличие несимметричной внутренней поверхности приводит к перекосу общей первоначальной формы и повороту торцевого сечения относительно оси симметрии.

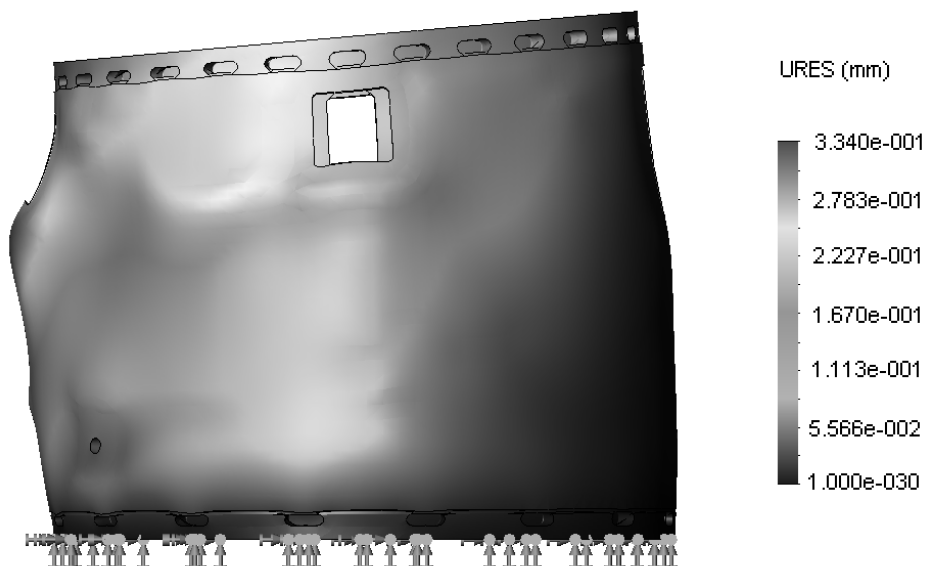


Рис. 2. Эпюра перемещений номинальной детали

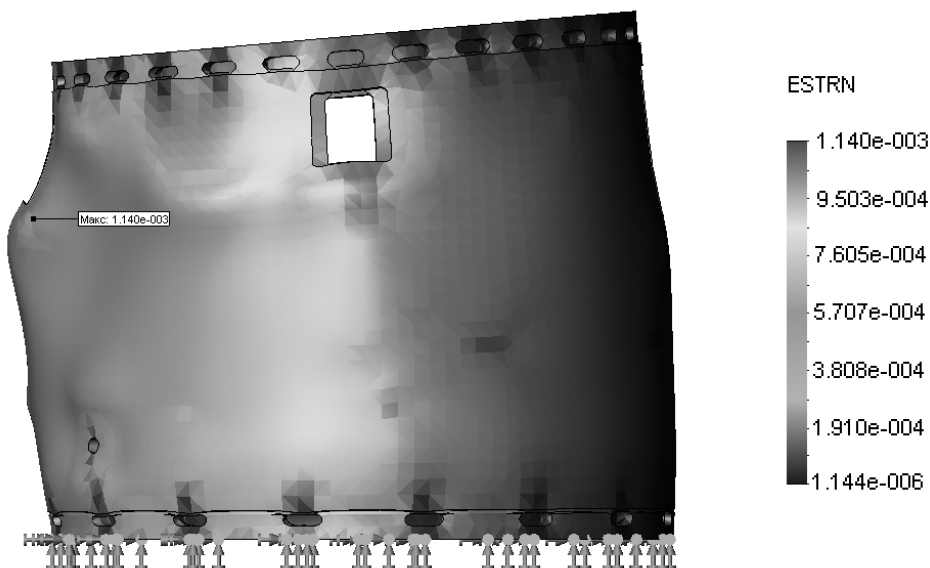


Рис. 3. Эпюра деформаций номинальной детали

Напряженное состояние представлено на рис. 4. Это напряжение является эквивалентным, вычисленным по критерию Мизеса. Анализ напряженного состояния данной детали приводит к результату: максимальное напряжение имеет место на том же участке, где и максимальная деформация, и составляет 23,14 МПа, что составляет 25 % от напряжения текучести, которое можно принять как допускаемое. Завершая обзор номинальной детали, сравним максимальные напряжения с критическим напряжением $q_{кр}$ [2], при котором тонкостенная цилиндрическая оболочка теряет устойчивость:

$$q_{кр} = 0,73 \cdot E \cdot \frac{R_{ср}}{H} \left(\frac{\delta}{R_{ср}} \right)^{3/2},$$

где H – высота детали; δ – толщина обечайки; $R_{ср}$ – средний радиус обечайки; E – модуль упругости материала оболочки. Сравнивая максимальные напряжения сжатия с критическим напряжением, рассчитанным по формуле, получаем расчетный коэффициент запаса устойчивости $k_{уст} = 4$, что превышает нормативный коэффициент запаса устойчивости $[k_{уст}] = 2,5$.

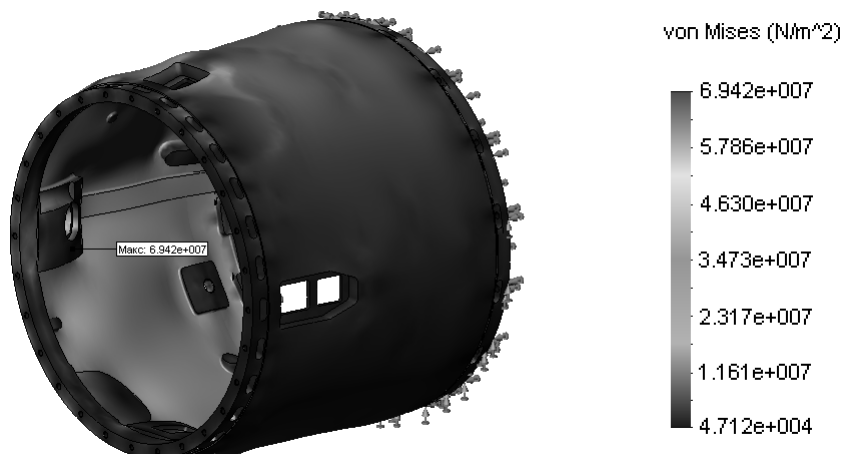


Рис. 4. Эпюра напряжений номинальной детали

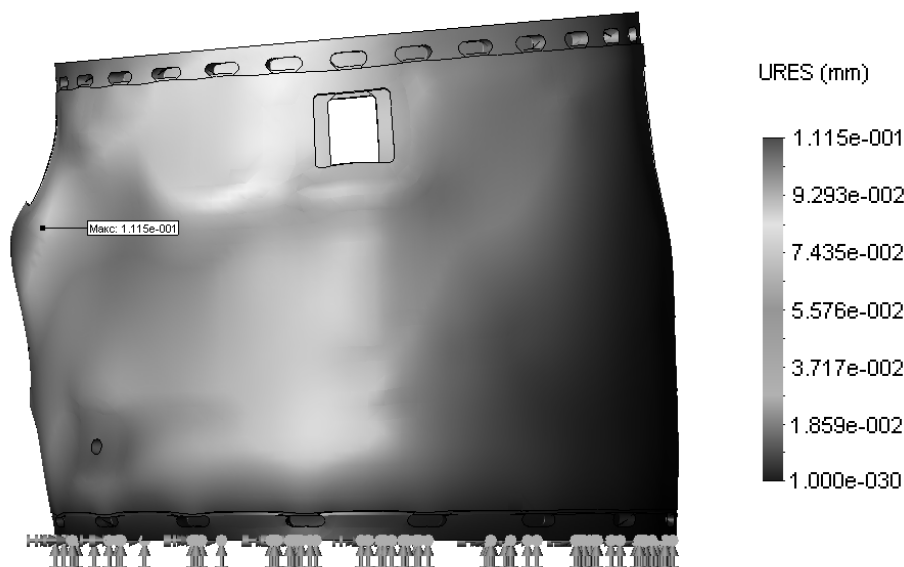


Рис. 5. Эпюра перемещений детали с дефектами

Анализируем тонкостенную литую деталь с учетом литейных дефектов. Для этого в качестве расчетной модели введем в тело детали сферические пустоты с диаметром сферы 3–5 мм, которые будут демонстрировать газовые пузыри, литейные поры и неметаллические включения. Целесообразно расположить эти пустоты на торце детали и в месте максимального напряжения и деформации. В расчет были введены 8 таких объектов с глубиной залегания от поверхности 1,5–6 мм. Кроме этого, на торце детали введены 6 углублений сферической формы. Результаты расчета по перемещениям, деформации и напряжениям представлены соответственно на рис. 5–7.

Сравнивая перемещения и деформации, соответственно, на рис. 2 и 5, 3 и 6, видим увеличение этих параметров менее чем на 1 %, что вполне закономерно. Указанные пустоты несущественно влияют на уменьшение объема материала и ослабление поперечных сечений. Картина на-

пряженного состояния с введенными пустотными объектами на рис. 7 дает увеличение максимального напряжения до величины 30,4 МПа, что на 30 % больше, чем в номинальной детали. При этом коэффициент запаса прочности уменьшается до 3,125, что также превышает допустимый коэффициент, равный 2,5.

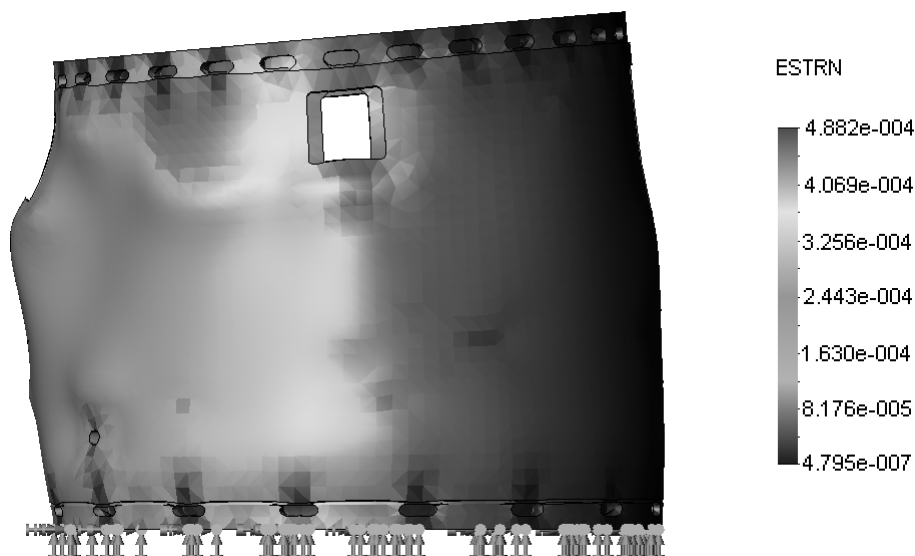


Рис. 6. Эпюра деформации детали с дефектами

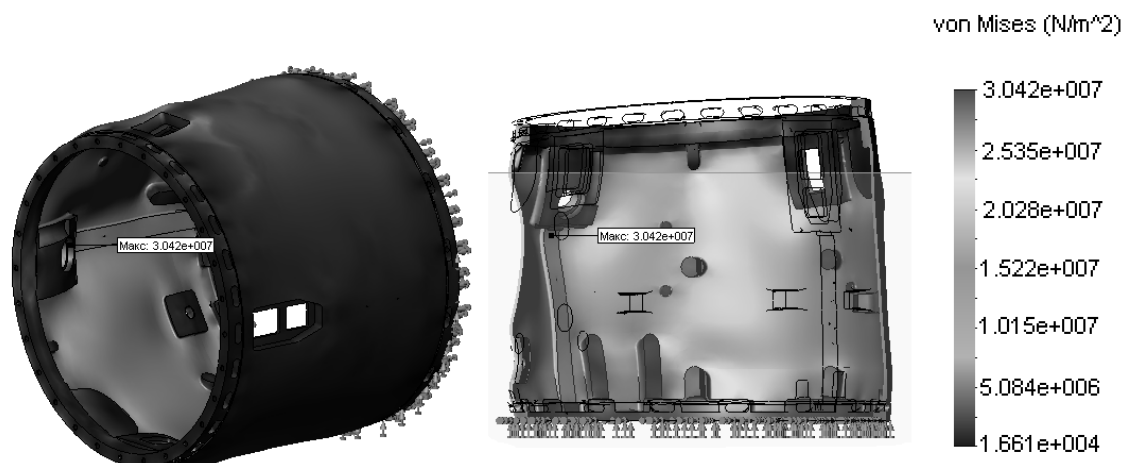


Рис. 7. Эпюра напряжений детали с дефектами

Таким образом, компьютерное моделирование на конечно-элементной модели приводит к результату, что возможные литейные дефекты с размерами 1,5–5 мм в теле детали и на поверхности, хотя и уменьшают коэффициент запаса прочности, но в целом дают удовлетворительный результат. Большие размеры пустот будут характеризовать существенное ухудшение качества литья, что недопустимо по технологическим соображениям. Аналогично можно учесть концентрацию напряжений от локальных углублений на торце и наружной поверхности детали от врезания инструмента при обработке на станках с ЧПУ из-за сбоя программы или поломки инструмента. При этом пустотные объекты должны вводиться меньшего размера, чем рассмотренные, и здесь заранее можно сказать, что они не будут оказывать влияния на прочность.

Проведенный анализ может быть полезен для конструкторов и технологов, ведущих техпроцесс изготовления, и при необходимости введен как алгоритм сопровождения техпроцесса.

Литература

1. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 800 с.

Расчет и конструирование

2. Кармишин, А.В. Статика и динамика тонкостенных оболочечных конструкций / А.В. Кармишин, В.А. Лясковец, В.И. Мяченков. – М.: Машиностроение, 1975. – 376 с.

Поступила в редакцию 25 января 2011 г.

Филимонов Игорь Евгеньевич. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика», НТИ(ф) УрФУ. Тел.: (3435) 34-12-82; e-mail: filimonov-ie@ntiustu.ru

Filimonov Igor Evgenievich. PhD, associate professor of “Applied mechanics” chair in NTI(dep.) UrFU. Phone: (3435) 34-12-82; e-mail: filimonov-ie@ntiustu.ru

Гордич Александр Георгиевич. Ведущий инженер-конструктор, ОАО «Машиностроительный завод имени М.И. Калинина», г. Екатеринбург. Тел.: (343) 329-57-52.

Gordich Alexandr Georgievich. Principal design-engineer, public corporation “Machinery plant by the name of M.I. Kalinin”, Ekaterinburg. Phone: (343) 329-57-52.

Прокудин Павел Андреевич. Заведующий лабораторией, старший преподаватель кафедры «Прикладная механика», НТИ(ф) УрФУ. Тел.: (3435) 25-56-01; e-mail: prokudin-pa@ntiustu.ru

Prokudin Pavel Andreevich. Laboratory chief, assistant professor of “Applied mechanics” chair in NTI(dep.) UrFU. Phone: (3435) 25-56-01; e-mail: prokudin-pa@ntiustu.ru