

Секция 6. ТОНКИЕ ПЛЕНКИ И ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 621.7

А.И. Веремейчик¹, М.И. Сазонов¹, В.М. Хвисевич¹, С. Якушевич²

(¹Брестский государственный технический университет, ²Белостокский технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ПУАНСОНЕ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКЕ

Рассмотрено численное решение задачи термоупругости при поверхностной плазменной закалке торцевой поверхности цилиндрического пуансона для пробивки отверстий.

Введение. В процессах термообработки конструктивных элементов машин и механизмов важным фактором является исследование полей температур и термонапряжений [1]. Температурное поле является одной из основных физических характеристик поверхностного упрочнения высококонцентрированными источниками нагрева. Зная изменение температуры тела в зависимости от времени, ее установившиеся значения в определенной точке, можно судить (в зависимости от условий обработки, физических свойств тел, окружающей среды) о том, какие процессы термообработки могут быть реализованы. Определение температурных полей и термонапряжений позволяет прогнозировать состав вещества после термообработки, его фазовое и структурное состояние. По значению температуры и напряжения в любой точке тела, можно создать конструктивные элементы с низкой материалоемкостью при достаточной их прочности и надежности.

Постановка и методика решения задачи. Для вычисления температурных полей и термонапряжений необходимо поставить и решить задачи теплопроводности и термоупругости при соответствующих краевых условиях. При реализации этих задач задаются параметры процесса упрочнения: скорость перемещения источника, плотность теплового потока, а также граничные и начальные условия задач теплопроводности и термоупругости. Аналитическое решение таких задач чрезвычайно сложно и, как правило, их реализация осуществляется с помощью численных методов. Одним из наиболее эффективных является метод интегральных уравнений (ГИУ) теории потенциала [2]. На основе этой теории дифференциальные уравнения в частных производных сводятся к сингулярным интегральным уравнениям, которые удобно численно реализуются.

Численное решение задачи проводится в 2 этапа. На первом этапе решается задача теплопроводности по определению температурных полей. Для реализации этой задачи предлагается следующий подход. При плазменной обработке поверхности тепловая нагрузка на обрабатываемую деталь передается ограниченной площадке. Если струя ориентирована перпендикулярно поверхности, то на ней образуется участок оплавленного материала, размеры которого можно измерить. Поскольку при этом получение оплавленной зоны не является целью данного процесса, а источник непрерывно перемещается вдоль детали с заданной скоростью, то можно в первом приближении считать, что в пятне нагружения на поверхности достигается температура, равная температуре плавления материала, и дальнейшего разогрева этого уже жидкого металла не происходит. В этом случае фазовые превращения можно считать отсутствующими и для определения температурного поля обрабатываемой детали можно применить классические уравнения теплопроводности твердого тела с граничными условиями первого рода:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{или} \quad \frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где t - время, $T=T(t,x,y,z)$ – искомая температура, a – коэффициент температуропроводности, x,y,z - координаты расчетной точки.

На втором этапе решается задача термоупругости:

$$\mu u_{i,kk} + (\lambda + \mu) u_{k,ki} = \rho \ddot{u}_i + (3\lambda + 2\mu) \alpha_T T_{,i} - X_{i,}, \quad (2)$$

с соответствующими граничными условиями.

Порядок решения задачи методом ГИУ следующий. Основными исходными данными задачи по расчету напряжений при плазменном упрочнении, помимо уравнений (1) и (2) с соответствующими начальными и граничными условиями, являются: количество точек разбиения границы области, количество шагов по времени, коэффициенты линейного теплового расширения, температуропроводности, Пуассона, размеры массивов плотностей, координаты точек границы области. На 1-м этапе решается уравнение (1), в результате решения

которого находится распределение температуры в любой точке упрочняемого тела в требуемый момент времени. Далее определяются температурные добавки перемещений, напряжений и фиктивная температурная нагрузка. На 2-м этапе решается система уравнений относительно плотности потенциала, после чего определяются искомые перемещения и напряжения.

Для численного решения построенных интегральных уравнений аппроксимируется геометрия рассматриваемой области и входящие в ГИУ краевые функции. Численная реализация интегральных уравнений термоупругости построена на базе метода механических квадратур. Интегралы вычисляются при помощи квадратурных формул Гаусса. Для реализации алгоритма составлена программа на алгоритмическом языке «FORTRAN».

В качестве математического аппарата решения задачи использовалось гранично-элементное решение с помощью разработанной программы, а также конечно-элементный комплекс «ANSYS» [3, 4].

Исследование напряженно-деформированного состояния пуансона при температурном нагружении. Рассматривается решение стационарной задачи термоупругости при поверхностной плазменной закалке верхнего торцевого сечения пуансона (рисунок 1), при $T=650^{\circ}\text{C}$.

Материал – сталь X12M, теплоемкость $c = 750 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 45 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, коэффициент температурного расширения $\alpha = 15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$. Граничные условия соответствовали случаю приложения конвекции по внешним поверхностям модели (коэффициент конвекции $1000 \text{ Вт}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$). К верхней грани пуансона прикладывалась температура 650°C . При статическом анализе нижняя грань пуансона считалась неподвижной.

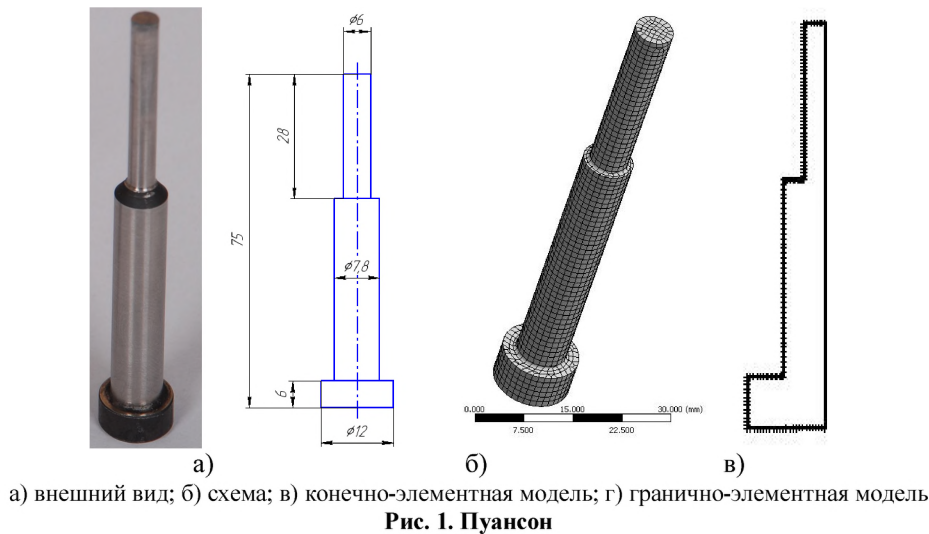


Рис. 1. Пуансон

На рисунке 2 приведены типичные зависимости распределения температурных полей в различных точках пуансона для момента времени 1 с.

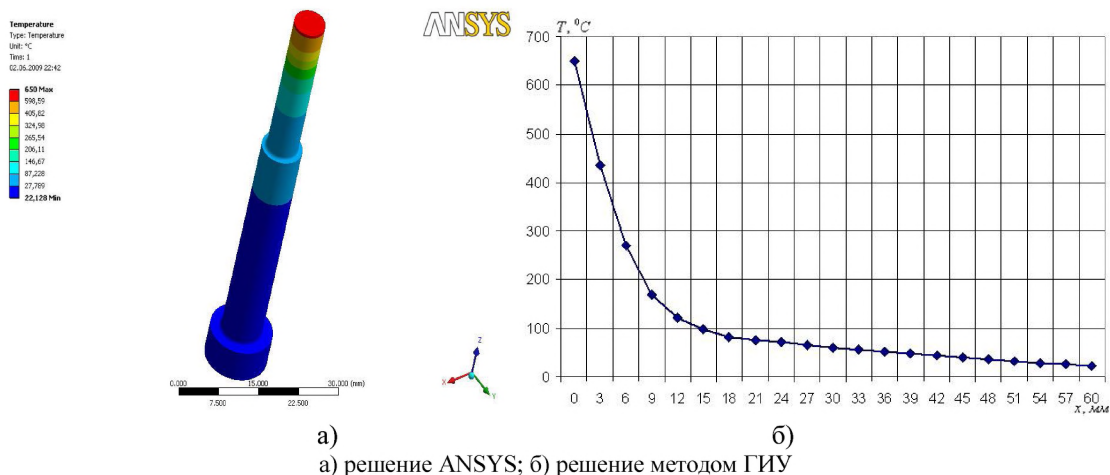


Рис. 2. Зависимость температуры от координаты в момент времени 1 с

Граничные условия в случае нестационарного теплового анализа соответствовали случаю приложения температурной нагрузки по внешним поверхностям модели (коэффициент конвекции $1000 \text{ Вт}/(\text{К}\cdot\text{м}^2)$). К верхней грани пуансона прикладывалась температура $650 \text{ }^\circ\text{C}$ в течении 10 с. При статическом анализе нижняя грань пуансона считалась неподвижной.

На рисунке 3 приведена типичная зависимость напряжений от координаты для моментов времени 1 с и 10 с.

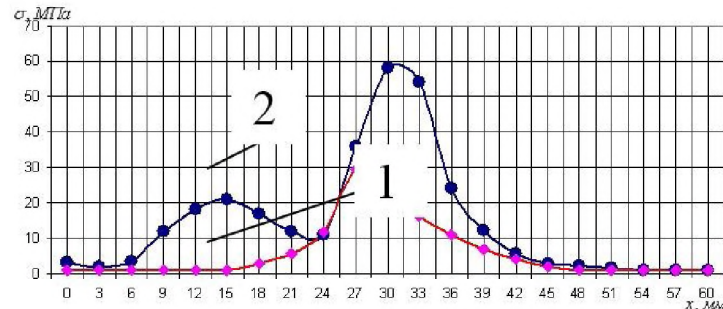


Рис. 3. Зависимость суммарных напряжений от координаты вдоль оси симметрии (1 – $t = 1 \text{ с}$, 2 – $t = 10 \text{ с}$)

Заключение. Рассмотренные программы представляют возможность вести анализ полей температур и термонапряжений для тел с произвольной геометрией границы области и различными краевыми условиями, в т.ч. и многосвязных областей. Имеется возможность редактирования исходных данных и варьирования параметров нагрева и свойств материала, а также использования движущихся источников тепла.

Следует отметить, что разработанная программа позволяет решать задачи при одновременном действии механической нагрузки и нестационарных полей температур.

Список литературы

1. Спиридонов, Н.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. / Н.В.Спиридонов, О.С. Кобяков, И.Л. Куприянов. – Минск: Высшая школа, 1988. – 155 с.
2. Бенерджи, П. Метод граничных элементов в прикладных науках / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. – М.: Мир, 1984. – 404 с.
3. Кундас, С.П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей / С.П. Кундас. – Минск: Бестпринт, 2005. – 313 с.
4. Басов, К.А. ANSYS: справочник пользователя / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс-2005. – 640с.

The numerical solution of a problem of thermoelasticity is considered at superficial plasma training of a face surface of a cylindrical punch for a punched hole of openings.