

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ И СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ В ANSYS

Босьяков С. М., Веремейчик А. И.*, Сазонов М. И.*, Хвисевич В. М.*,
Юркевич К. С.

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

bosiakov@bsu.by

** Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь*

vai_mrtm@bstu.by

Одним из эффективных направлений анализа обоснованности назначения режимов термообработки изделий является применение систем автоматизированного проектирования, которые при небольшом количестве экспериментальных исследований позволяют получить максимальное количество информации о свойствах проектируемого процесса или изделия [1–3]. Для моделирования теплофизических процессов могут применяться универсальные программные комплексы Nastran, ANSYS и др. [3]. В данной работе рассматривается математическое моделирование процесса поверхностной плазменной закалки с использованием конечно-элементного пакета ANSYS.

В ходе проведения вычислительного эксперимента разработана трехмерная модель пластинки с геометрическими размерами 100×100×7 мм. При решении нестационарной температурной задачи использовался предназначенный для анализа переходных процессов восьмиузловой термический элемент PLANE77, который имеет одну степень свободы (температура в каждой точке). В соответствии со скоростью движения плазменной струи к узлам дискретной модели резца пошагово последовательно прикладывалась температурная нагрузка в виде линейной функции зависимости температуры от времени. Максимальная температура пятна составляет 1200 °С (начальная температура 20 °С), скорость движения пятна направлена вдоль ребра пластинки и составляет 9,5 мм/с, материал изделия – сталь. На всех поверхностях модели задавалась конвекция: на поверхности, по которой движется плазменная струя, коэффициент конвекции составлял 100 Вт/(К·м²), на всех остальных – 1000 Вт/(К·м²). Теплопроводность стали принималась равной 39 Вт/(К·м).

Основой термоанализа в ANSYS является уравнение теплового баланса, которое получается из принципа сохранения энергии. Конечно-элементное решение заключается в получении значений узловых температур, на основе которых вычисляются остальные термические величины. После каждого шага нагружения проводился расчет температурных полей, возникающих в расчетной модели, результаты которого записывались в LS-файлы. Для получения общего решения, необходимо выполнить совместное решение по определенному количеству LS-файлов, указав соответствующее количество шагов. В результате проведения расчета определены поля температур в различные промежутки времени.

На рис. 1 представлены температурные поля, соответствующие времени 4,5 с. Отметим, что в момент времени 9,5 с температурное пятно пройдет по всей длине грани пластинки.

Ниже представлен график изменения температуры в узле 361, к которому прикладывалась температурная нагрузка в момент времени 9 с (рис. 2).

В таблице 1 отражены значения температуры в различные моменты времени в узле 371, который располагается на нижней грани пластинки, к которой подавалось охлаждение.

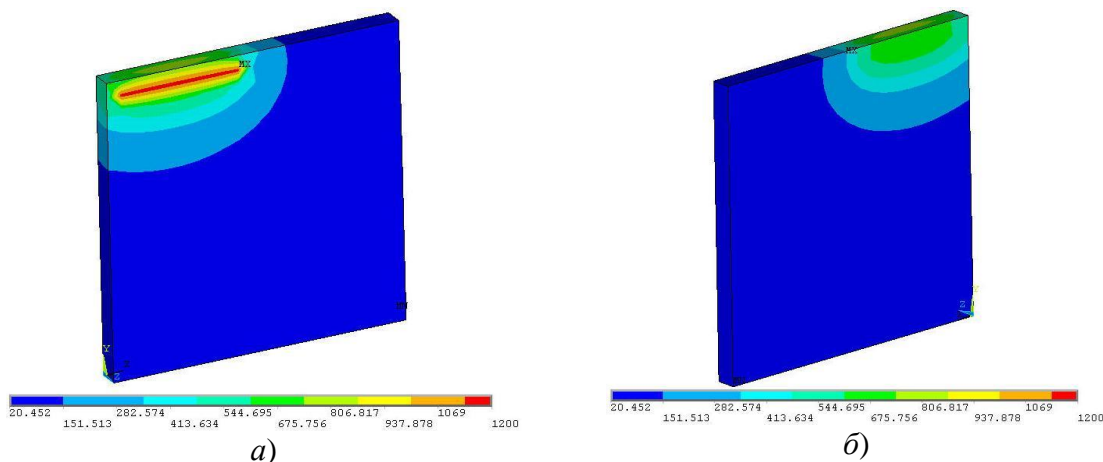


Рис. 1. Температурные поля на верхней грани в момент времени 4,5 с
а) верхняя грань, б) нижняя грань.

Таблица 1. Значения температуры в узле 371

Time, s	1	3	5	6	7	8	9
Temperature, °C	34,6	110	517	676,5	707,1	714,5	716,8

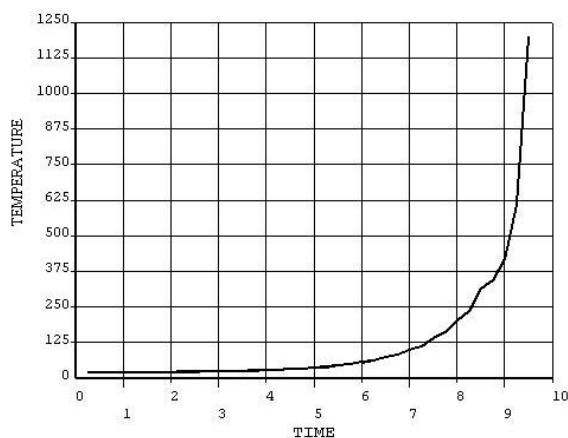


Рис. 2. Зависимость температуры от времени в узле 361

Отметим, что результаты теплового анализа сохраняются в файле с расширением rth и могут быть использованы при проведении статического анализа (определении напряженно-деформированного состояния) модели в качестве внешней нагрузки.

В следующем анализе задавалась функция температуры, зависящей от времени, которая прикладывалась к центру пластинки, все физико-механические свойства которой аналогичны предыдущей задаче. Функция имела вид $T = 10t^5 \exp(-0,7t)$, где T – температура, t – время. Промежуток времени

был выбран от 0 до 15 с.

В результате проведенного расчета была получена картина распределения температур, представленная на рис. 3.

Следует отметить, что в данный момент времени 7,5 с температура достигает своего максимума и составляет 1252 °C. Но в исследуемой задаче, учитывая специфику заданной функции, результат изменения температуры наиболее интересно просматривать в виде графика, приведенного на рис. 4. Данный график показывает изменение температуры во времени в узле, находящемся в центре пластинки, т.е. в области к которой была приложена температурная нагрузка. Существует возможность построения графика в любом узле модели.

Далее в соответствии с выше указанной методикой проводился статический анализ исследуемой модели. Приведенные ниже рис. 5 и 6 показывают напряженно-деформированное состояние пластинки в случае жестко закрепленных вертикальных

граней. Данные рисунки отражают напряженно-деформированное состояние в момент времени 7,5 с, т.е. в момент максимальной температуры, равной 1252 °С.

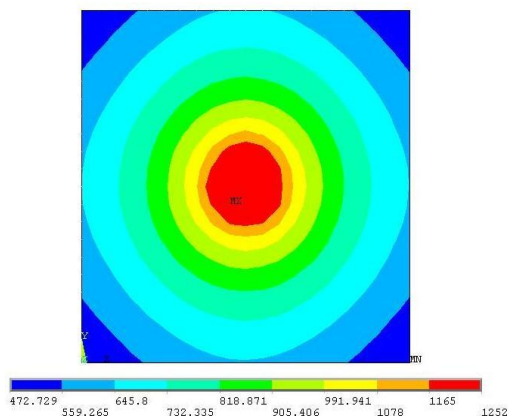


Рис. 3. Температурное поле, соответствующее моменту времени 7,5 сек

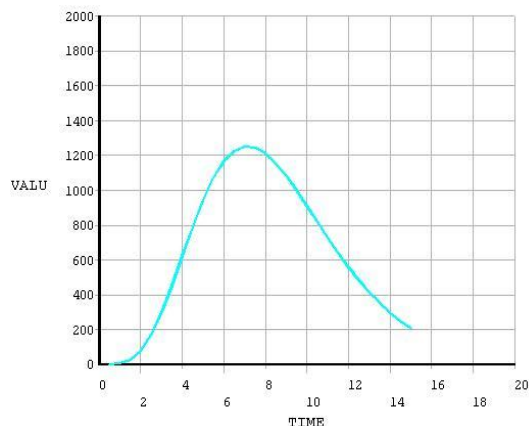


Рис. 4. График зависимости температуры от времени

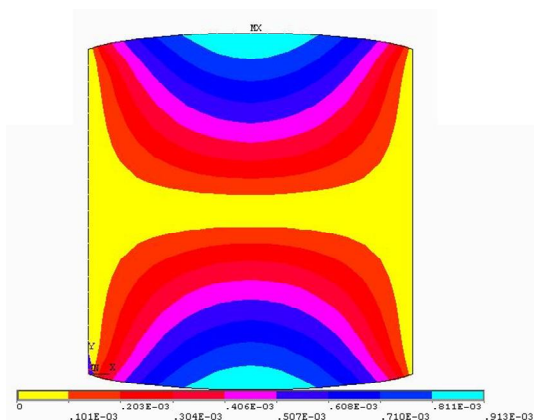


Рис. 5. Суммарные перемещения в момент времени 7,5 с.

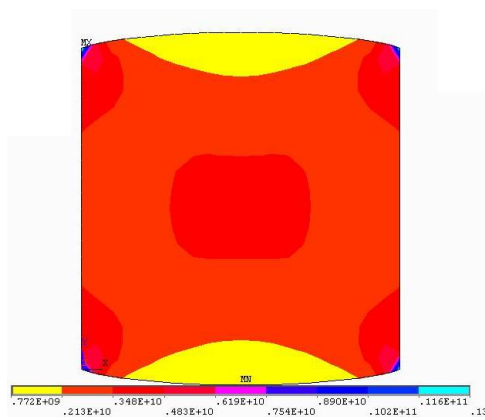


Рис. 6. Напряжения по Мизесу в момент времени 7,5 с.

Результаты температурного анализа с использованием ANSYS Workbench сравнивались с решениями, полученными методом граничных интегральных уравнений, а также с результатами аналитических решений. Совпадение значений температур в пределах погрешности 10-15 % подтверждает правильность проведенных расчетов.

Полученные результаты нестационарного температурного анализа могут быть непосредственно использованы для определения оптимальных режимов работы плазмотронов и других высококонцентрированных источников нагрева, позволяющих проводить поверхностную обработку металлоизделий высокотемпературной плазменной струей.

Список литературы

1. Спиридонов Н.В. и др. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.
2. Рыкалин Н.Н. и др. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 485 с.
3. Кундас С.П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография – Мн.: Бестпринт, 2005. – 313 с.