

Проведена численная реализация построенных интегральных уравнений задачи нестационарной термоупругости [3]. Построены графики распределения температуры по контуру пластинки для различных моментов времени. Получены графики распределения компонентов напряжения и перемещения на контуре пластинки. Графики изменения температуры от времени позволяют исследовать характер изменения напряженно-деформированного состояния с течением времени.

Результаты определения перемещений, напряжений и деформаций сравнивались с результатами расчетов, полученных с помощью программного комплекса ANSYS, построенного на базе метода конечных элементов.

Небольшие затраты машинного времени для решения тестовой задачи подтверждают эффективность метода граничных элементов по сравнению с другими численными методами.

УДК 539.3

Веремейчик А.И., Юркевич К.С.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУР В ПЛАСТИНКЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА

1. Введение

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. Для моделирования теплофизических процессов могут применяться универсальные программные комплексы Nastran, ANSYS и др. В частности, пакет ANSYS позволяет решать задачи прочности и теплофизики совместно с учетом усталостных характеристик и процедурами оптимизации [1]. Наиболее перспективными представляются разработки, связанные с решением нестационарных температурных задач с учетом трехмерной геометрии расчетной области, поскольку это в большей степени соответствует реальному процессу. В настоящей работе представлены результаты расчета и визуализации полей температур, возникающих в прямоугольной пластине под действием сосредоточенного высокотемпературного источника тепла, полученные с применением функциональных возможностей конечно-элементного пакета ANSYS Workbench.

2. Методика и результаты исследований

В ходе проведения вычислительного эксперимента поставлена задача нестационарной теплопроводности для стальной пластинки, геометрические размеры которой $100 \times 100 \times 7$ мм. Областью приложения температурной нагрузки являлась окружность радиусом 5 мм, которая находилась в центре лицевой грани пластинки. Температура величиной 1200°C (начальная температура 21°C) прикладывалась мгновенно и действовала в течение 1 сек. Для учета охлаждения, которое подавалось на грань, противоположную лицевой, задавалась конвекция величиной $0,01 \text{ Вт}/(\text{К}\cdot\text{мм}^2)$, в области приложения нагрузки ее значение составляло $5 \times 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{К}\cdot\text{мм}^2)$ [2]. Термоупругие свойства стали описывались коэффициентом теплопроводности, $0605 \text{ Вт}/(\text{мм}\cdot^\circ\text{C})$ и удельной теплоемкостью $434 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$. На рис. 1 представлена зависимость температуры от времени на нижней грани пластинки, за промежуток времени 1 сек, в точке, находящейся в центре этой грани (напротив сосредоточенного источника тепла).

Юркевич Кирилл Сергеевич, магистрант кафедры теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета.

Беларусь, БГУ, г. Минск, пр-кт Независимости, 4.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бреббия К. и др. Методы граничных элементов. - М.: Мир, 1987. - 524 с.
2. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. - М.: Мир, 1987. - 328 с.
3. Веремейчик А.И. Граничные интегральные уравнения двумерных нестационарных краевых задач несвязанной термоупругости. // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. - Мн.: УП «Технопринт», 2001. - С. 99-102.
4. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. - М.: Наука, 1966. - 664 с.

Статья поступила в редакцию 29.10.2007

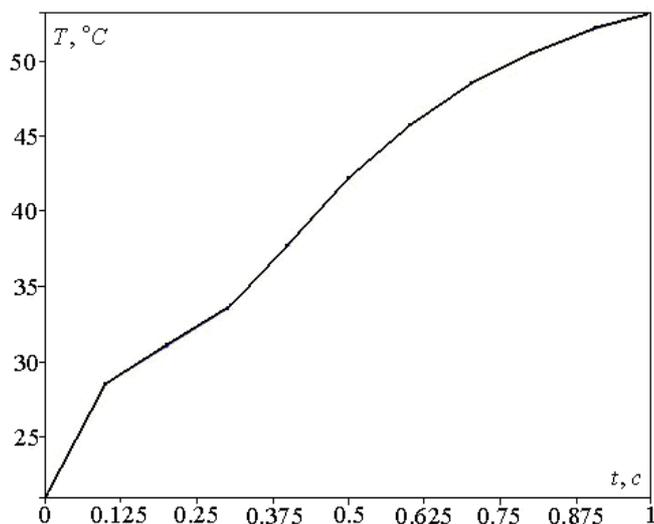


Рис. 1. Зависимость температуры от времени на нижней грани пластинки

Наибольшая температура в момент времени 1 с. составила $53,04^\circ\text{C}$. Постоянный рост температуры обусловлен воздействием с противоположной стороны пластины теплового источника.

На рис. 2 представлен график распределения температуры с течением времени на верхней грани пластинки в точке воздействия источника тепла.

Распределение температурных полей непосредственно на верхней и нижней гранях в момент времени 1 с. представлено на рис. 3 и 4 соответственно.

Полученные диаграммы позволяют определять значения температур в произвольной точке нагруженного тела

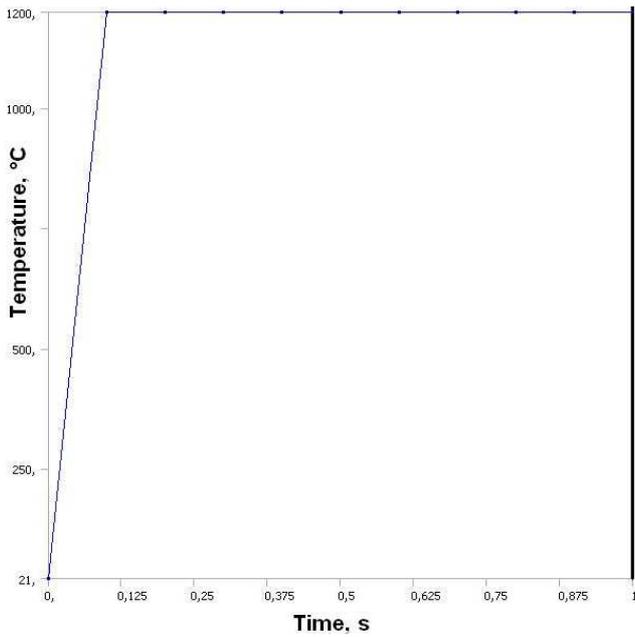


Рис. 2. Зависимость температуры от времени на верхней грани пластинки

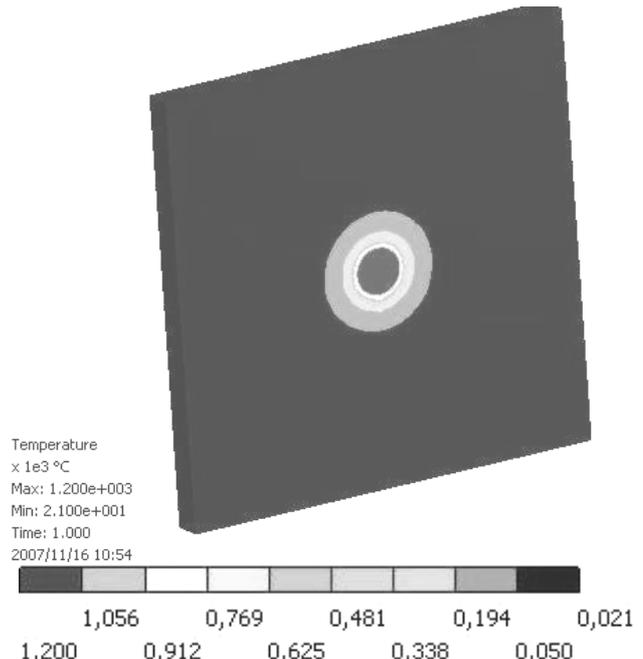


Рис. 3. Температурные поля на верхней грани в момент времени 1 сек.

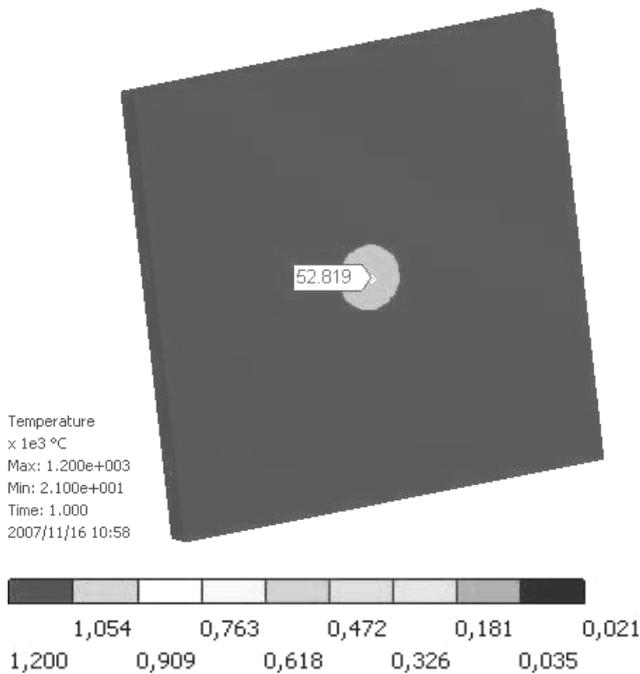


Рис. 4. Температурные поля на нижней грани в момент времени 1 сек.

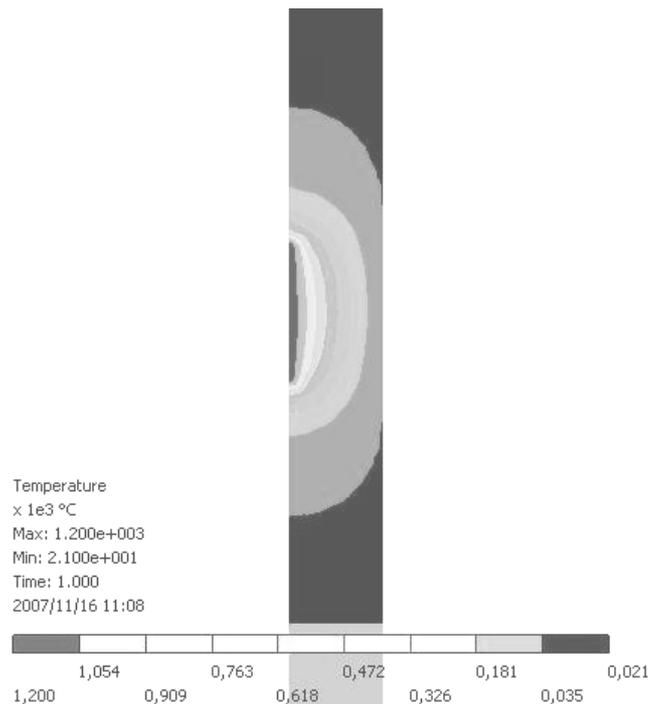


Рис. 5. Распределение температур в сечении пластинки

Визуализация распределения температур в сечении пластинки в момент времени 1 с, позволяющая проследить изменение температуры по толщине пластинки, представлена на рис. 5.

ANSYS Workbench представляет возможность пользователю вести конечно-элементный 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 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. При решении задачи термоупругости в случае одновременного действия механической нагрузки и нестационарных полей температур полученные тепловые поля будут использоваться в качестве температурных добавок напряжений и учитываются в уравнениях нестационарной термоупругости.

3. Заключение

Результаты температурного анализа с использованием ANSYS Workbench сравнивались с решениями, полученными методом граничных интегральных уравнений [3], а также с результатами аналитических решений [4]. 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.

УДК 620.169.2.

Ишин Н.Н., Гоман А.М., Скороходов А.С., Берестнев Я.О., Ракова Н.Л., Драган А.В.

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ КОНТАКТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ЧИСЛА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Введение. Ресурсные испытания приводных механизмов на основе зубчатых передач в значительной степени определяют сроки освоения серийного производства, а также себестоимость новой техники. Традиционные способы и методы испытаний (стендовые и полигонные) новых конструкций зубчатых передач требуют значительного времени, трудовых и энергетических затрат, поскольку, к примеру, для получения одной точки на кривой контактной выносливости зубьев требуется, как минимум, провести испытание одной зубчатой пары (шестерня-колесо), а лучше 3-4-х, для повышения достоверности определения ее положения. В то же время испытания одной зубчатой пары могут длиться от 100 до 1000 и более часов.

Из всех видов ресурсных испытаний наибольшего внимания заслуживают ускоренные [1], так как они могут обеспечить сокращение длительности и стоимости экспериментальных работ. Ускорение испытаний, как правило, достигается путем ужесточения режимов работы передачи. При этом следует учитывать, что почти каждый деструктивный процесс имеет свою критическую скорость, при переходе через которую происходят его качественные изменения. Поэтому режимы ускоренных испытаний должны назначаться такими, чтобы эта критическая область не была достигнута и, следовательно, качественная сторона процесса разрушения оставалась неизменной, т.е. вид и характер разрушения соответствовал бы эксплуатационному. Выбор форсированного режима при испытаниях зубчатых передач требует детального анализа условий, приводящих к отказам. Это чрезвычайно трудная задача, требующая проведения больших предварительных исследований.

В процессе испытания зубчатых передач наблюдается значительный разброс результатов, как по ресурсам, так и по величине предела усталости. Вследствие этого результаты испытаний должны подвергаться статистической обработке, в результате которой взамен обычной кривой усталости строится полная вероятностная диаграмма усталости, отображающая зависимость между действующими нагрузками и сроком службы до разрушения или другого предельного состояния при различной вероятности безотказной работы. Обычно ис-

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кундас С.П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография – Мн.: Бест-принт, 2005. – 313с.
2. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. И.К. Кикоина // М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
3. Веремейчик А.И. К решению нестационарной задачи теплопроводности методом теории потенциала в изображениях. // Вестник Брестского гос. техн. ун-та - Физика, математика, информатика. - Брест, БрГТУ, 2006. - №5. - с.99-102.
4. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. - Киев: Наукова думка, 1970. - 239 с.

Статья поступила в редакцию 29.10.2007

пытания проводятся на 4-6 уровнях нагружения (по несколько зубчатых пар на каждом). Стабильные данные по долговечности можно получить только в результате испытаний большого числа образцов на каждом уровне (20 и более). Только при этом кривые усталости при больших вероятностях безотказной работы являются надежными [2].

Постановка задачи исследования. Из вышесказанного можно заключить, что существующие методы ускорения испытаний зубчатых передач основываются, как правило, на форсировании нагрузочных и скоростных режимов при испытаниях, не меняя в сущности известных подходов, что не позволяет кардинально изменить затраты на проведение испытаний. Поэтому разработка новых методов, позволяющих сократить время и материальные затраты при проведении оценки конструкции и качества изготовления приводных механизмов, при создании новых и модернизации существующих образцов объектов машиностроения, все еще остается важной и актуальной задачей.

Одним из наиболее перспективных путей сокращения длительности испытаний является развиваемый нами метод сравнительной оценки служебных характеристик сопоставляемых конструктивных и технологических решений путем исследований зубчатых пар с передаточным отношением, равным единице, и рассмотрением каждой сопрягаемой пары зубьев передачи как отдельного объекта исследований, имеющего отличную от других пар зубьев динамическую составляющую нагрузки из-за различий шагов зацепления, возникающих вследствие погрешностей изготовления и сборки [3]. Вследствие этого процессы расходования ресурсов работоспособности, происходящие в каждой паре зубьев, протекают во времени по-разному. Поэтому при испытаниях двух зубчатых колес с передаточным отношением, равным единице, рассматривая при этом каждую пару зубьев как отдельный объект испытаний, можно построить блок нагруженности каждой сопрягаемой пары зубьев и получить обширную информацию о процессах износа, накопления усталостных по-

Ишин Николай Николаевич, к.т.н., доцент, зав. сектором ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».

Гоман Аркадий Михайлович, к.т.н., доцент, в.н.с. ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».

Скороходов Андрей Станиславович, к.т.н., с.н.с. ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».

Берестнев Ярослав Олегович, к.т.н., с.н.с. ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси».

Беларусь, ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», 220072, г. Минск, ул. Академическая, 12.

Ракова Нина Леонидовна, к.т.н., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет».

Беларусь, БГАТУ, 220023, г. Минск, пр. Независимости, 99.

Драган Александр Вячеславович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, г. Брест, ул. Московская, 267.