

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ СТАЛЕЙ

© С.М. Босяков¹, А.И. Веремейчик², М.И. Сазонов², В.М. Хвиевич², К.С. Юркевич¹

¹ Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь;

² Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

Представлены результаты исследований полей температур, термонапряжений и перемещений при объемной закалке стальных пластин. Построена математическая модель процесса охлаждения с целью решения задачи нестационарной термоупругости по исследованию напряженно-деформированного состояния прямоугольной пластины при закалке.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед промышленностью остро стоит проблема выпуска качественной и конкурентоспособной продукции. Для обеспечения этих требований необходимо широкое применение на всех стадиях проектирования и производства средств контроля и мониторинга качества, автоматизации всего производственного цикла. Требования качества в полной мере относятся и к процессам термообработки изделий, которые играют очень важную роль в обеспечении технологических и эксплуатационных свойств деталей машиностроения, приборостроения и других отраслей техники. Особенностью технологической подготовки производства деталей, подвергаемых термообработке, является необходимость анализа обоснованности назначения режимов уже на стадии проектирования. Традиционно этот анализ осуществляется экспериментальными методами, с применением разрушающих методов контроля и металлографии, что связано с большими затратами времени и материальных средств. Одним из эффективных направлений решения указанных проблем является применение методов компьютерного моделирования, которые при минимальном количестве дорогостоящих экспериментальных исследований позволяют получить максимальное количество информации о свойствах проектируемого процесса или изделия [1].

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Закалка является наиболее распространенным способом обработки стали, благодаря которому сталь обретает наивысшую твердость. Процесс закалки состоит из двух этапов: нагрев до высокой температуры, а затем быстрое охлаждение. Быстрое охлаждение позволяет избежать изменений в металле, которые происходят при медленном охлаждении. В зависимости от марки стали выбирают способ её охлаждения и параметры процесса. Быстрее всего сталь охлаждается в холодной воде, медленнее – в масле, а самую умеренную скорость охлаждения обеспечивает воздух [2]. Главным недостатком закалки, особенно плоских тел, является возникновение опасности коробления при быстром

охлаждении. Поэтому в этом аспекте актуальной является задача определения оптимальных параметров процесса закалки и, в частности температуры, скорости и времени нагрева и охлаждения тела. В данной работе для определения таких параметров используется известный конечно-элементный вычислительный комплекс ANSYS [3-5].

В ходе проведения вычислительного эксперимента разработана трехмерная модель пластинки с геометрическими размерами 100×100×7 мм. При решении поставленной нестационарной температурной задачи использовался предназначенный для анализа переходных процессов восьмиузловой термический элемент SOLID70, который имеет одну степень свободы (температура в каждой точке). Теплопроводность стали принималась равной 25 Вт/(К·м) [6].

Проведение вычислительного эксперимента можно условно разделить на два этапа. На первом этапе выполнялся нестационарный тепловой анализ, при котором определялось распределение температуры в пластинке, затем на основании результатов, полученных при температурном анализе, проводился расчет перемещений в узлах модели.

Нагретая до температуры 800 °С стальная пластинка при охлаждении погружалась торцевой поверхностью в емкость с водой, находящейся при комнатной температуре. В ходе проведения температурного анализа в ANSYS пластинка разбивалась по оси X (в направлении погружения) на 5 равных частей. Сначала первая часть погружалась в воду, затем вторая и т.д. К группе узлов каждой из частей прикладывалась тепловая нагрузка в виде таблицы зависимости температуры от времени. Ниже для примера показаны задаваемые значения температур для полос 1 и 5 за время 5 с.

3. СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для проведения вычислительного эксперимента использовался конечно-элементный комплекс ANSYS Workbench.

Отметим, что основными модулями для решения задач в программном комплексе ANSYS Workbench являются **Design Modeler** и **Simulation**. Модуль **Design Modeler** является параметрическим моду-

лем, предназначенным для быстрого создания чертежей и твердотельных 3D-моделей, загрузки моделей созданных в CAD-программах и их последующего анализа. Модуль **Simulation** используется для задания граничных условий и нагрузок, решения поставленной задачи и просмотра результатов в различных формах в зависимости от типа расчета.

TIME	TEMP
	0
1	800
2	400
3	100
4	50
5	20

Рис. 1. Таблица для первой полосы

TIME	TEMP
	0
1	800
2	750
3	700
4	650
5	600

Рис. 2. Таблица для пятой полосы

Генерация модели производилась посредством создания чертежа в закладке **Sketch**. Для создания трехмерной модели использовалась команда **Extrude**. С помощью функции **Named Selection** создавались области приложения граничных условий и температурной нагрузки.

Для проведения разбиения модели на конечные элементы, задания граничных условий, нагрузок и решения задачи необходимо перейти в модуль **Simulation**. Используя команду **Insert-Loads**, задавались граничные условия на грани пластинки путем

приложения конвекции и прикладывалось температурное усилие к заранее созданной зоне с помощью команды **Named Selection**.

Проведен статический анализ поставленной задачи. Ниже (рис. 3-6) приведены результаты решения задачи теплопроводности. На рис. 3-4 показано изменение температуры в зависимости от времени в узлах первой и третьей линии.

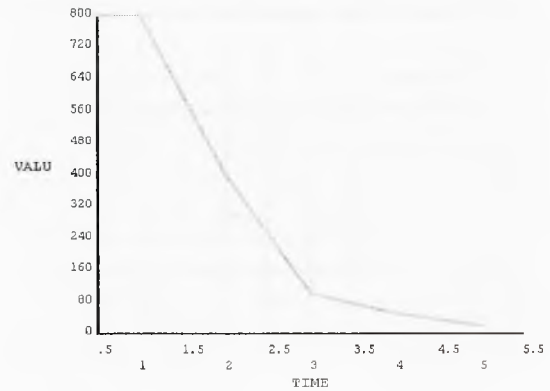


Рис. 3. Изменение температуры в узле первой линии

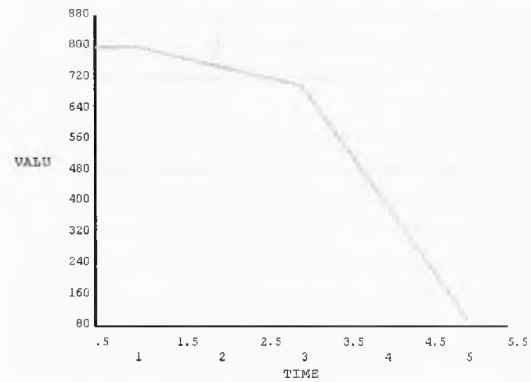


Рис. 4. Изменение температуры в узле третьей линии

На рис. 5-6 показано распределение температурных полей в пластинке в моменты времени 2 и 5 с.

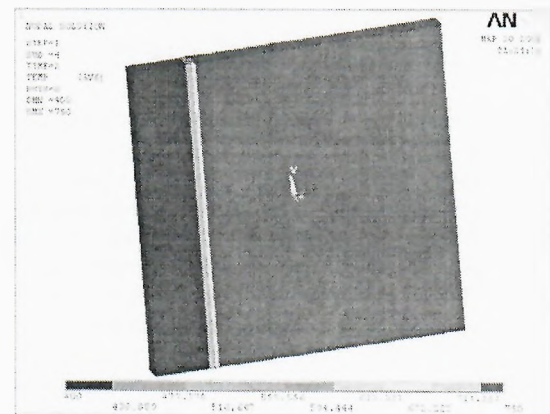


Рис. 5. Распределение температур в момент времени 2 с

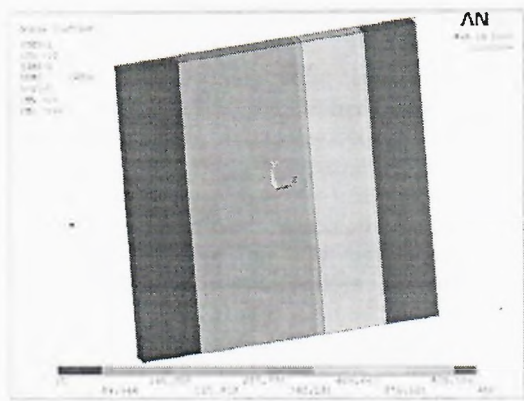


Рис. 6. Распределение температур в момент времени 5 с

Помимо определения полей температур проведено исследование напряженно-деформированного состояния пластинки. Определены значения перемещений в пластине в различные моменты времени. Типичное распределение полей суммарных перемещений по поверхности пластинки в моменты времени 2 и 5 с приведены на рис. 7 и 8.

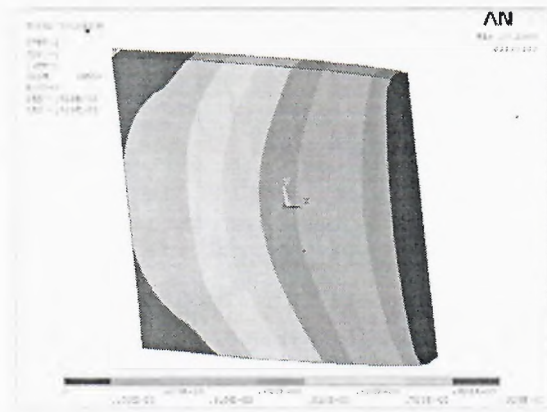


Рис. 7. Поле суммарных перемещений (2 с)

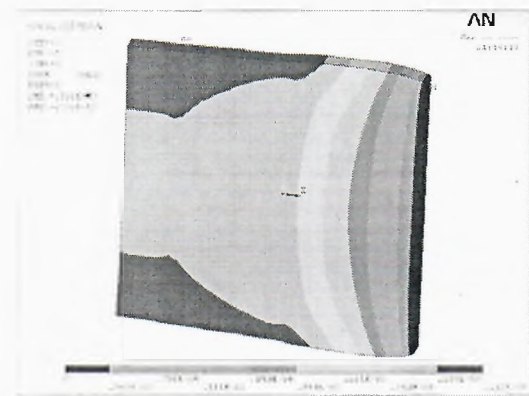


Рис. 8. Поле суммарных перемещений (5 с)

Исследованы зависимости напряжений от координат для различных моментов времени. Кроме того, получены графики распределения полей перемещений в различных направлениях в произвольный момент времени охлаждения. Типичные зависимости приведены на рис. 9-13.

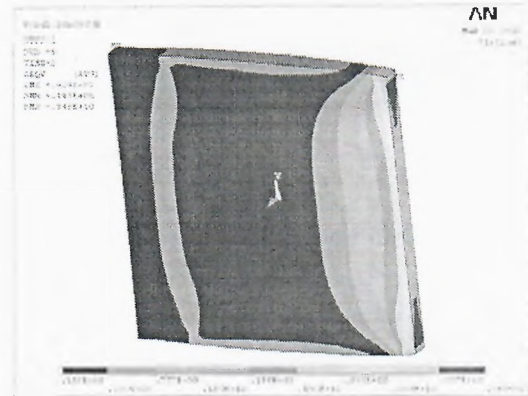


Рис. 9. Распределение напряжений по Мизесу в момент времени 2 с

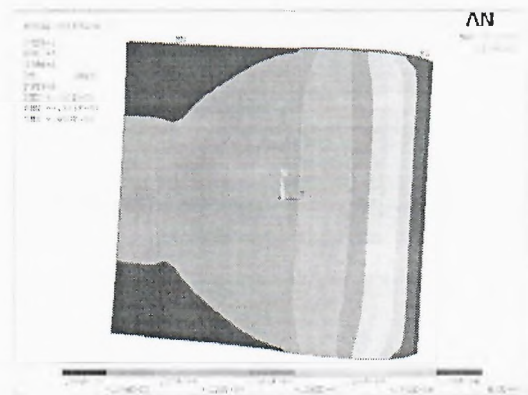


Рис. 10. Поле перемещений по оси X в момент времени 5 с

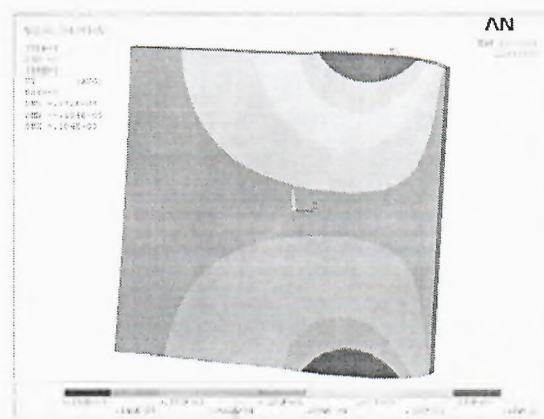


Рис. 11. Поле перемещений по оси Y в момент времени 5 с

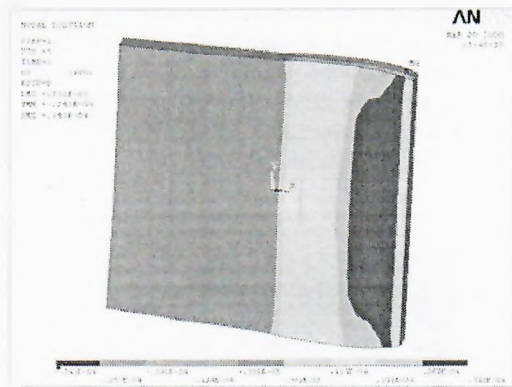


Рис. 12. Поле перемещений по оси Z в момент времени 5 с

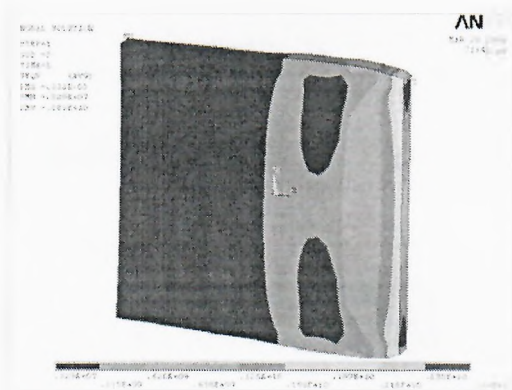


Рис. 13. Распределение напряжений по Мизесу в момент времени 5 с

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований построены математические модели задач нестационарной теплопроводности и термоупругости, осуществлена их численная реализация с использованием программного комплекса ANSYS. Построенные поля перемещений, температур и напряжений позволяют установить оптимальные режимы процесса закалки и тем самым избежать изменения геометрии закаливаемых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.П. Кундас. *Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография* Мн.: «Бестпринт», 2005, 313 с.
2. Н.Н. Рыкалин и др. *Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник*. М.: «Машиностроение», 1985, 485 с.
3. К.А. Басов. *ANSYS: справочник пользователя*. М.: «ДМК Пресс», 2005, 640с.
4. А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, Смоляк. *ANSYS для инженеров*. М.: «Машиностроение», 2004, 466 с.
5. А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. *ANSYS в руках инженера: Практическое руководство*. М.: Едиториал УРСС, 2003, 272 с.
6. *Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. И.К. Кикоина*. М.: «Атомиздат», 1976, 1008 с.

**ЗАСТОСУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ПРОЦЕСУ ГАРТУВАННЯ СТАЛЕЙ**

С.М. Босяков¹, А.І. Веремейчик², М.І. Сазонов², В.М. Хвісевич², К.С. Юркевич¹

¹Білоруський державний університет, м. Мінськ, Білорусь;

²Брестський державний технічний університет, м. Брест, Білорусь

Представлені результати досліджень полів температур, термонапруг і перемішень при об'ємному гарті сталевих пластин. Побудована математична модель процесу охолодження з метою рішення завдання не-стаціонарної термопружності по дослідженню напружено-деформованого стану прямокутної пластини при гартуванні.

**APPLICATION OF COMPUTER COMPLEX ANSYS FOR STUDYING PROCESS
OF TRAINING OF STEEL**

S.M. Bosjakov¹, A.I. Veremejchik², M.I. Sazonov², V.M. Hvitsevich², K.S. Jurkevich¹

¹Belarus state university, Minsk, Belarus;

²Brest state technical university, Brest, Belarus

In work results of researches of fields of temperatures, термонапружений and movings are presented at volumetric training steel plates. The mathematical model of process of cooling with the purpose of the decision of a problem non-stationary thermoelasticity on research of the is intense-deformed condition of a rectangular plate is constructed at training.