

При достижении некоторого размера образца падение прочности с увеличением размеров прекращается. Зависимость прочности от размера сечения образца имеет асимптотический характер. Это объясняется тем, что при размере, начиная с которого уже не наблюдается дальнейшего понижения прочности, в образце образуется стандартная ситуация дефектов, характерная для данного материала, которая в изделиях большего размера просто повторяется в любом из объемов, равных объему образца.

Литература

1. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии».* – 3-е изд., стер. – М.: Омега-Л, 2007. – 752 с.: ил.
2. *Кормилицын, О.П. Механика материалов и структур нано- и микротехники: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.П. Кормилицын, Ю.А. Щукейло.* – М.: Академия, 2008. – 244 с.

УДК 519.711.3; 517.958:536.2; 517.958:531.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНДУКЦИОННОЙ ЗАКАЛКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «THERMOSIM 2»

А.В. Лемзиков, Д.Г. Иванов

*УО «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники», Минск;*

С.П. Кундас

*УО «Международный государственный экологический университет
им. А.Д.Сахарова», Минск*

Индукционный нагрев, в отличие от печного, обладает более высокими показателями повторяемости и управляемости. Благодаря применению современных генераторов удается достигнуть КПД перевода электрической энергии в тепловую порядка 90%.

В то же время, путем варьирования частотой и временем воздействия, появляется возможность нагревать локальные области детали, формируя заданные эксплуатационные характеристики в определенных слоях.

Следует отметить, что эффективность применения индукционного нагрева зависит от большого числа параметров. Можно выделить следующие

щие ключевые характеристики, влияющие на результат нагрева и последующей закалки:

- геометрические размеры и особенности обрабатываемой детали;
- форма и параметры применяемого индуктора, его расположение относительно детали;
- частота и мощность применяемого генератора, а также тип его элементной базы;
- длительность нагрева и характеристики последующего процесса охлаждения.

Оптимальный выбор указанных параметров требует проведения большого числа экспериментов, что увеличивает материальные затраты предприятия. Альтернативным подходом является применение компьютерного моделирования, что позволяет проанализировать картину происходящих в детали процессов в зависимости от значений параметров обработки.

В настоящее время существует ряд узкоспециализированных и универсальных программных средств, разработанных за рубежом [1 – 3], позволяющих проводить моделирование и инженерный анализ различных технологических процессов. Однако для практического применения указанных разработок на отечественных предприятиях требуется их адаптация с учетом особенностей и возможностей используемого оборудования. Кроме этого, стоимость импортного программного обеспечения уже в базовой комплектации значительно превышает возможности предприятий республики, что становится непреодолимым барьером на пути внедрения современных методов разработки технологических процессов. В тоже время на рынке программных продуктов для инженерного анализа практически отсутствуют отечественные разработки.

Учитывая вышеизложенное, в лаборатории «Компьютерное моделирование технологических процессов» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники разработаны математические модели и программный комплекс (ПК) «ThermoSim 2» для моделирования процессов термообработки. Можно отметить следующие особенности программного комплекса:

- многооконный интерфейс пользователя, обеспечивающий работу с произвольным количеством проектов одновременно;
- возможность работы с большими конечноэлементными сетками (порядка 100 000 степеней свободы и более), что позволяет решать реальные практические задачи с высокой степенью точности;

- решение задач, содержащих несколько тел (система деталь-индуктор-среда);
- решение двумерной осесимметричной задачи для тел, обладающих осевой симметрией, с последующим построением трехмерной модели при анализе результатов;
- возможность задания произвольного количества этапов термообработки для моделирования в рамках одного процесса;
- расчет фазовых превращений в теле при нагреве и охлаждении [4, 5];
- расчет напряженно-деформированного состояния двух- и трехмерных моделей с учетом пластической деформации [6];
- учет зависимости свойств материала от температуры и фазового состава (решение нелинейной задачи);
- широкие возможности для анализа полученных результатов расчета (деформация модели, построение сечений и графиков изменения величин и пр.).

В рамках одного проекта пользователь имеет возможность сформировать последовательность этапов расчета. Каждый этап определяет набор граничных условий, с помощью которых описывается технологический процесс термообработки.

Важной информацией, оказывающей ключевое влияние на точность получаемых результатов, являются свойства материала детали. Для моделирования процессов фазовых переходов в программном комплексе применяются два различных подхода. Первый подход основан на использовании изотермических диаграмм (ИТД). Наличие точной ИТД для стали является необходимым условием такого расчета. Учитывая тот факт, что часто отсутствует справочная информация о ИТД для требуемой стали, в программном комплексе реализован второй подход, основанный на использовании специально обученных нейронных сетей, позволяющих прогнозировать распределение структурных составляющих и их твердости в объеме детали по результатам температурной истории закалки.

Анализ результатов моделирования осуществляется в специальном окне (рис.).

В режиме анализа результатов доступны следующие возможности:

- отображение цветных градиентных полей распределения величин по поверхности и в объеме детали;
- построение графиков изменения величин в зависимости от времени в произвольных точках;
- отображение деформации модели с произвольным масштабирующим коэффициентом;

- построение трехмерной модели из осесимметричной с возможностью создания вырезов;
- отображение смеси фаз в виде суммы цветов.

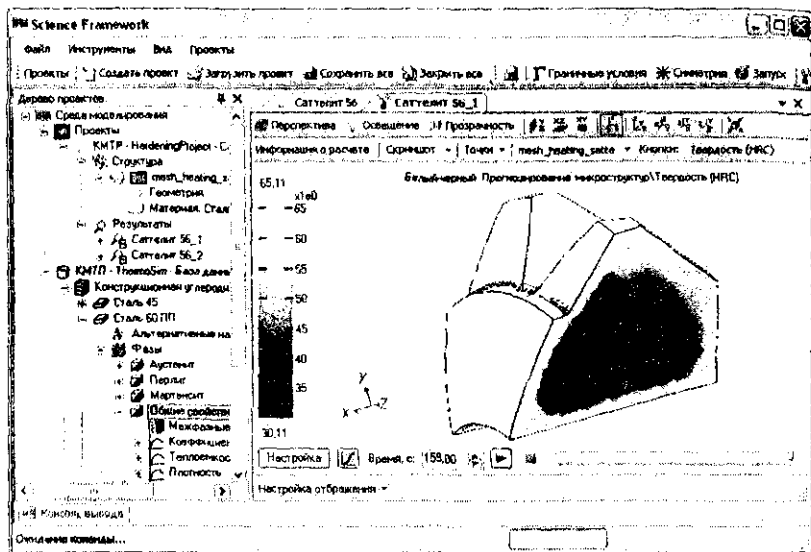


Рис. Режим анализа результатов:

На модели показано распределение твердости (в единицах HRC) по поверхности и в объеме детали в результате закалки интенсивным водяным душем после индукционного нагрева

Программный комплекс «ThermoSim 2» значительно превосходит первую версию по своим возможностям. Сочетание нового вычислительного ядра, способного оперировать конечноэлементными моделями с сотнями тысяч степеней свободы, наличие новых моделей, позволяющих прогнозировать процессы фазовых превращений и напряженно-деформированное состояние, а также улучшенные средства анализа результатов расчета позволяют применять «ThermoSim 2» для исследования и оптимизации технологических процессов индукционной термообработки.

Литература

1. ANSYS Inc. – Corporate Homepage: computer-aided engineering technology and engineering design analysis software products and services [Electronic resource]. – 2008. – Mode of access: <http://www.ansys.com>. – Date of access: 15.03.2008.

2. Homepage of COMSOL – Multiphysics Modeling [Electronic resource]. – 1998. – Mode of access: <http://www.comsol.com>. – Date of access: 14.01.2008.

3. Homepage of CEDRAT Group: software, actuators, technologies and services in electrical and mechatronic engineering [Electronic resource]. – 2005. – Mode of access: <http://www.cedrat.com>. – Date of access: 2.11.2007.

4. Иванов, Д.Г. Моделирование структурных превращений в стальных деталях при индукционной закалке / Д.Г. Иванов, С.П. Кундас // Информатика. – 2009. – № 1 (21). – С. 48 – 59.

5. Лемзиков, А.В. Применение нейросетей для определения характерных точек фазовых превращений в сталях с различным химическим составом / А.В. Лемзиков [и др.] // Информатика. – 2007. – №1 (13). – С. 89 – 97.

6. Иванов, Д.Г. Математическая модель процессов формирования остаточных напряжений в стальных деталях при индукционной закалке / Д.Г. Иванов, С.П. Кундас, А.В. Лемзиков // Информатика. – 2008. – № 2 (18). – С. 14 – 25.

УДК 621.78; 621.785.5; 519.711.3

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ НАГРЕВА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАКАЛКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Лемзиков

*УО «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники», Минск*

Целью закалки как технологического процесса термической обработки является формирование в стальных деталях требуемыми эксплуатационных характеристик, в частности, твердости. Как известно [1], механические свойства стали при закалке изменяются вследствие распада переохлажденного аустенита на различные закалочные структуры – мартенситные и промежуточные (троостит, бейнит, сорбит и пр.). При этом вид структуры, полученной при закалке, для различных сталей определяется следующими факторами [2]:

- 1) температурой и скоростью нагрева;
- 2) составом и исходной структурой стали (содержание углерода, естественных и легирующих добавок, размер зерен);
- 3) нагреваемой областью детали (поверхность, нагрев на определенную глубину, сквозной нагрев), а также гомогенностью образовавшегося аустенита и размером его зерна;
- 4) теплофизическими свойствами стали;
- 5) интенсивностью теплоотвода, определяемой коэффициентом теплообмена с охлаждающей средой и расстоянием исследуемой области от поверхности, с которой производится теплоотдача.