



In the article there is presented the program complex ThermoSim, consisting of preprocessor, processor and postprocessor and intended for modeling (analysis) of thermalphysic processes and characteristics of details of instrument-making and machine-building, diagnostics and optimization of technological processes of heat treatment and details constructions without using the destructive control methods.

С. П. КУНДАС, Б. А. ТОНКОНОГОВ, Я. С. ЛЕВАШКЕВИЧ,
А. В. ЛЕМЗИКОВ, И. А. ГИШКЕЛЮК, БГУИР,
П. С. ГУРЧЕНКО, И. С. ГАУХШТЕЙН, РУП «МАЗ»

УДК 621.74

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ

Существующие методы термообработки, в особенности закалка, широко применяются для повышения эксплуатационных свойств изделий различных отраслей техники. Важной проблемой при разработке технологии закалки является выбор и оптимизация технологических режимов термообработки конкретной детали, при которых обеспечиваются заданные механические свойства, исключается образование закалочных трещин и изменение формы. Эффективным в этом отношении является применение методов компьютерного моделирования, которые при минимальном количестве дорогостоящих экспериментальных иссле-

дований позволяют провести оптимизацию режимов термообработки.

Для решения этих актуальных задач предназначен программный комплекс ThermoSim, который реализует интегрированную модель процессов термообработки, особенностью которой является описание напряженно-деформированного состояния и распределение твердости в детали с учетом фазовых превращений, химического состава стали, а также релаксации напряжений за счет пластических деформаций и образования трещин.

Программный комплекс ThermoSim состоит из трех основных модулей: препроцессора, процессора и постпроцессора (рис. 1).



Рис. 1. Структура программного комплекса ThermoSim

Препроцессор и постпроцессор объединены в одном программном модуле и представляют собой графический пользовательский интерфейс для задания исходных для процессора и обработки выходных от процессора данных, а процессор служит расчетным модулем.

В задачи препроцессора входят подготовка входной информации для расчета и некоторые вспомогательные подготовительные операции, а именно задание:

- геометрии модели (импорт форматов файлов обмена чертежными графическими данными (в том числе форматов файлов программных комплексов MSC. MARC и DEFORM-3D), проверка замкнутости поверхностей, разбивка на конечные элементы (КЭ) по поверхности и объему с заданием количества элементов, определение (нумерация) узловых точек и элементов и составление их списка, проверка правильной ориентации нормалей к КЭ;

- свойств материалов (упругих (модуль Юнга, коэффициент Пуассона и коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) определенной фазы (аустенита, феррита, карбида, мартенсита, бейнита и перлита) и предел прочности), пластических (предел текучести или напряжение пластического течения в зависимости от интенсивности деформации), термических (коэффициенты теплопроводности и теплоемкости определенной фазы), других физических (плотность определенной фазы и химический состав материала) и межфазных (теплота (энергия), выделяемая или поглощаемая при фазовом переходе и изменение удельного объема, вызванного фазовым переходом). При этом может производиться либо загрузка из базы данных (БД) свойств материалов и термокинетических диаграмм (ТКД), либо непосредственный их ввод с помощью клавиатуры. Производится аппроксимация температурных зависимостей свойств и ТКД на базе простейшего нейрона для учета химического состава материала;

- стационарных и нестационарных начальных и граничных условий (температурных (начальное значение температуры узлов, значения температур узлов и их графические зависимости, среды охлаждения) и механических условий (перемещение узлов);

- условий процесса (общее количество инкрементов, номер периодически сохраняемого инкремента и общее время процесса);

- формирование выходного файла;

- запуск расчета (проверка правильности построения КЭ модели, визуализация хода расчета (мониторинг) и сообщение об ошибках).

Интерфейс пре- и постпроцессора показан на рис. 2.

В задачи процессора входит обработка (расчет) информации, полученной от препроцессора, а именно:

- загрузка исходных данных (список элементов, узлов и их координат с выделением элементов и узлов на поверхности, начальное значение температуры в каждом узле и конечная температура, до которой будет производиться охлаждение (нагрев));

- вычисление (определение):

- фазового состава в определенном конечном элементе, аппроксимируя экспериментальные зависимости фазового состава стали от скорости изменения температуры;

- плотности каждой фазы и среднего значения плотности в конечном элементе при определенном значении температуры;

- теплоемкости каждой фазы и среднего значения теплоемкости при данной температуре в конечном элементе для каждой фазы, аппроксимируя экспериментальные зависимости, изменения теплоемкости от температуры в каждой фазе;

- теплопроводности каждой фазы и среднего значения в конечном элементе при данной температуре;

- матриц теплоемкости и теплопроводности;

- граничных элементов;

- матрицы конвекции и суммирование матрицы теплопроводности с матрицей конвекции в случае, если данный элемент является граничным;

- коэффициента теплоотдачи;

- вектора узловых тепловых сил, обусловленных внутренними источниками теплоты и вектора узловых тепловых сил, обусловленного конвективным теплообменом, суммирование с вектором узловых тепловых сил, обусловленных внутренними источниками теплоты в случае, если данный конечный элемент является граничным;

- суммирование матриц теплоемкости, теплопроводности и векторов узловых тепловых сил по всем конечным элементам с получением глобальных матриц;

- построение системы дифференциальных уравнений и приведение их методом конечных разностей к системе линейных уравнений;

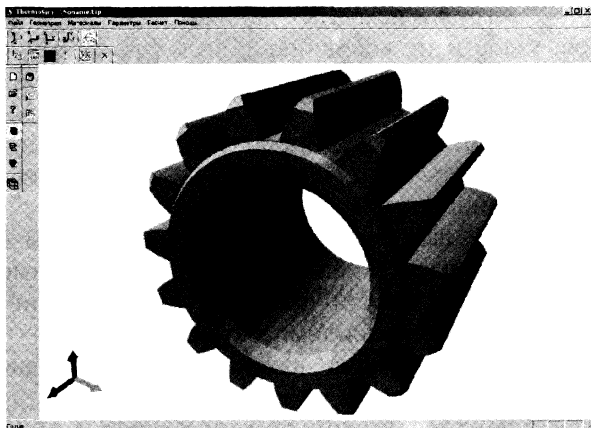
- решение системы линейных уравнений модифицированным методом Гаусса или методом обратной прогонки с нахождением значений температуры в определенный момент времени;

- вычисление (определение):

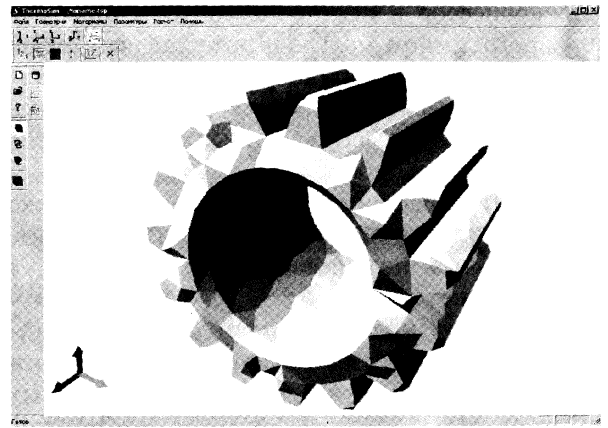
- значений твердости в конечных элементах исходя из скорости охлаждения и перемещений узлов исходя из значений коэффициентов термического расширения фаз;

- упругих и пластических деформаций исходя из значений перемещений узлов и напряжений в узлах исходя из деформаций;

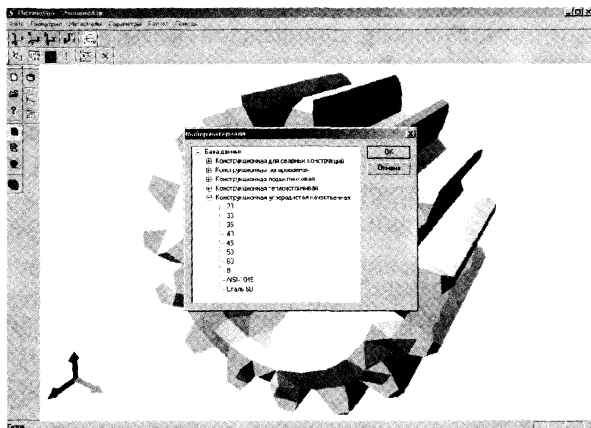
- вероятных мест возникновения трещин и значений напряжений после релаксации за счет трещинообразования.



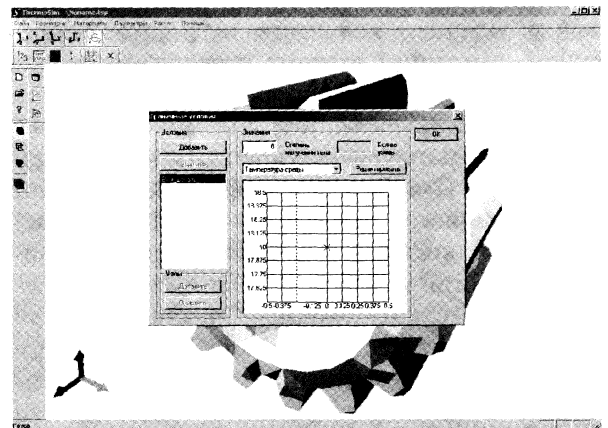
a



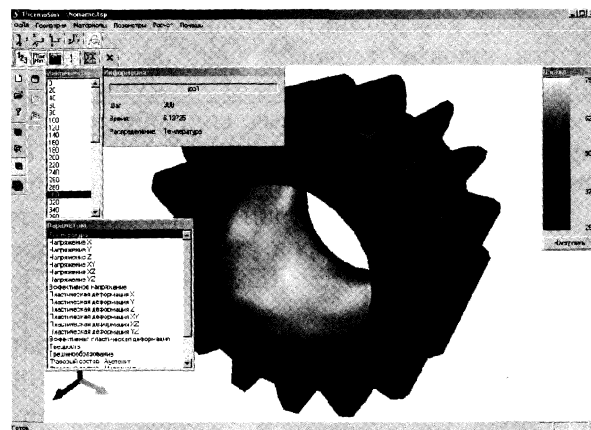
б



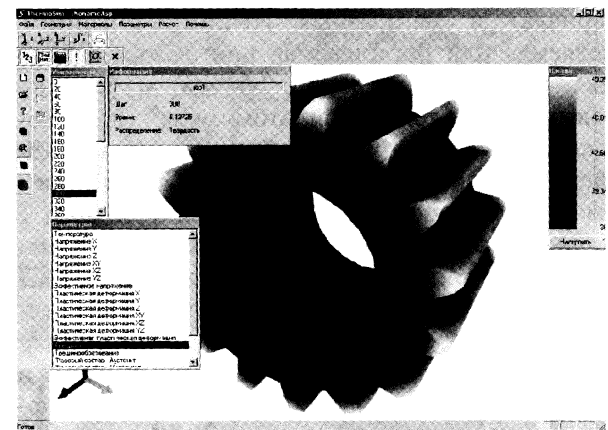
в



г



д



е

Рис. 2. Интерфейс пре- и постпроцессора ThermoSim: *a* – графическое представление детали; *б* – формирование КЭ модели; *в* – задание свойств материала; *г* – задание теплового нагружения; *д* – распределение тепловых полей; *е* – распределение твердости

В задачи постпроцессора входит обработка информации, полученной от процессора, а именно:

- отображение геометрии и ее изменения;
- вывод и обработка результатов моделирования (история и распределение температур, деформаций, напряжений, фазового состава и твердости, в том числе трещинообразующих деформаций и предельных напряжений, характеризующих значения пределов пластичности и упругости), т. е.

построение графических зависимостей физических величин и наглядное распределение их значений по поверхности и в сечении модели детали.

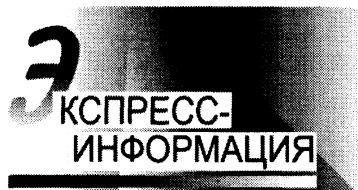
Определение мест вероятного возникновения трещин осуществляется исходя из устанавливаемого критерия величин главных напряжений и трещинообразующих деформаций, превышающих предельные значения.

Постпроцессор также может быть использован с целью извлечения графической и численной информации для использования в других приложениях.

Определенные графические утилиты позволяют манипулировать изображением и изменять его путем увеличения, панорамирования, вращения, измерения расстояния, увеличения количества видовых окон, печати содержания экранов и др. Графические утилиты также содержат возможность пошагового (поинкрементного) просмотра резуль-

татов моделирования, извлекаемых из БД результатов, просмотр результатов на определенном инкременте, в определенном узле и др.

В настоящее время разработаны математические модели, реализуемые в программном комплексе, БД свойств сталей, программные модули, реализующие математические модели, и завершается отладка и доработка комплекса по результатам опытно-промышленной эксплуатации. В первом квартале 2004 г. планируется внедрить программный комплекс на РУП «МАЗ».



Самая большая Международная Ярмарка Литейного Дела в Польше

X Международная Ярмарка Технологии для Литейного Дела

METAL

22-24 сентября 2004 г.

Кельце, Польша

www.metal.targikielce.pl

Ярмарка METAL, предназначенная для отрасли литейного дела, является самым сильным и самым большим торговым мероприятием в Польше и одной из самых больших ярмарок этого типа в Европе.

Совместными организаторами Международной Ярмарки Литейного Дела METAL являются: Экономическая Палата Литейного дела из Кракова, Техническое Общество Польских Литейщиков, а также Институт Литейного Дела из Кракова.

Ярмарка METAL является одной из пяти ярмарок в Польше, которые принадлежат UFI – обществу, которое объединяет самые значительные ярмарки мира. Членство в UFI свидетельствует о международном статусе ярмарки METAL, а также о высоком организационном уровне и гарантирует присутствие международного круга экспонентов и посетителей – специалистов из литейной отрасли.

Во время проведения Ярмарки с 20 по 22 сентября 2004 г. пройдет 45-я Международная научная конференция "Укрепление и кристаллизация металлов", организатором которой выступают Кафедра Литейного Дела Силезской Политехники в Гливицах под руководством профессора Jozefa Gawronskiego, а также Комиссия Литейного Дела Польской Академии Наук (PAN).

На ярмарке METAL экспоненты смогут продемонстрировать свои изделия, а также услуги в следующих экспонированных категориях:

- | | |
|--|--|
| 1. Машины и литейные устройства. | 10. Термическая обработка. |
| 2. Плавнение, литейные печи, шихтовые материалы. | 11. Транспорт и магазинирование. |
| 3. Огнестойкие материалы. | 12. Измерительная техника и исследование материалов. |
| 4. Формовочные материалы. | 13. Управление и техника регулирования, автоматизация. |
| 5. Составление формовочной массы, регенерация песка. | 14. Защита среды и удаление отходов. |
| 6. Стержневые работы. | 15. Безопасность и гигиена труда. |
| 7. Выбивка отливок, очистка поверхности. | 16. Отливки и художественные изделия. |
| 8. Устройства и сварочные материалы, сваривание и отрезание прибыли. | 17. Отливки и изделия литейной промышленности. |
| 9. Устройства и шлифовальные материалы. | 18. Компьютеризация литейных процессов. |

Информация и заявки: Ярмарка Кельце, Закладова 1, 25-672 Кельце, Польша. Тел. (00 48 41) 365 12 00, Piotr Pawelec – Комиссар Ярмарки METAL (00 48 41) 365 12 20; факс (00 48 41) 345 62 61; e-mail: metal@targikielce.pl