

ляется, что он может быть весьма полезен при создании крупных азотируемых зубчатых колес и при получении ответственных отливок для литосварных циклически нагружаемых систем машин большой единичной мощности.

**Литература.** 1. Моисеенко В.И., Мариев П.Л. Основы структурной равнопрочности стали и элементов крупногабаритных деталей машин. Минск, 1999, 199 с. 2. Любовиц Г. Разрушение. т.1, М.: Мир, 1973, С. 7-14. 3. R.Gordon. Mechanical properties of Iron Meteorites and the Structure of their Parent planets. Journal of Geophysical Research. Vol. 76, №8, march 10, 1971, p. 439-447. 4. Моисеенко В.И., Мариев П.Л. и др. О локализации пластической деформации в сталях // ДАН БССР, 1989, №7, С.625-627. 5. Касаткин Б.С. Структура и микромеханизм Хрупкого разрушения стали. Киев: Техника, 1964, 265 с.

УДК 519:527:669.27

**А.Н. Чичко, Ю.В. Яцкевич, В.Ф. Соболев, О.И. Чичко**

## **ТРЕХМЕРНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ДЕТАЛЯХ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Развитие компьютерных технологий открывает новые возможности в управлении процессами термической обработки деталей. Структурные и фазовые превращения материала вместе со сложной пространственной конфигурацией детали под воздействием температуры являются причиной неоднородного распределения свойств в сечении детали (структура, твердость), что приводит к снижению ее надежности и долговечности, а часто и к браку.

В Белорусской государственной политехнической академии разрабатывается первый белорусский пакет (компьютерная система «ПроТерм») по моделированию разнообразных процессов нагрева и охлаждения деталей из материалов, используемых в промышленности. Моделирование термической обработки детали позволяет проследить динамику изменения температуры, фазовых превращений, напряжений и деформаций в любой момент времени в любом сечении детали в процессе её нагрева и охлаждения в закалочной среде. В основе пакета - математическое ядро, построенное на уравнении теплопроводности, уравнении равновесия, уравнениях связи деформаций и напряжений, клеточно-автоматных правилах и других уравнениях, используемых в теории температурных напряжений [1, 2, 3].

Работу с пакетом предполагается проводить в несколько этапов:

1. Построение графического (трехмерного) изображения детали, которая подвергается термической обработке.
2. Импортирование электронной копии детали формата .stl в систему «ПроТерм».
3. Разбиение детали и печной среды, в которой она находится, на элементы. Методы пакета позволяют учесть конфигурацию и пространственное расположение нагревателей печи через соответствующее графическое изображение.
4. Задание материалов детали, (сталь, ...), закалочных сред (масло...), материалы нагревателей, а также их теплофизических свойств (теплопроводность, теплоемкость, плотность).
5. Задание начальных и граничных условий нагрева (охлаждения) детали и сред.

6. Моделирование (расчет) во всех плоскостях детали и ее объеме полей: напряжений ( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma$ ); деформаций ( $\epsilon_v, \epsilon_n, \epsilon_d, \epsilon$ ;  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{yx}, \tau_{zy}, \tau_{xz}$ ); температур; структуры (аустенит, перлит, мартенсит...).
7. Анализ термонапряженного, структурного состояния детали в любой пространственной точке на основе критических напряжений и деформаций. Определение напряженного состояния (растягивающие деформации, сжимающие деформации) детали на основе оригинальной методики и выработке рекомендаций по оптимизации режимов термообработки с целью получения однородного распределения структуры, свойств и минимальных напряжений при снижении энергозатрат.

На рис.1, 2 представлены иллюстративные материалы, полученные при моделировании напряжений характеристик термонапряженного состояния детали «пуансон», изготавливаемой на АО «Атлант». Результаты моделирования показали широкие возможности предлагаемой методики для расчета термонапряжений в протяженных пространственных структурах.

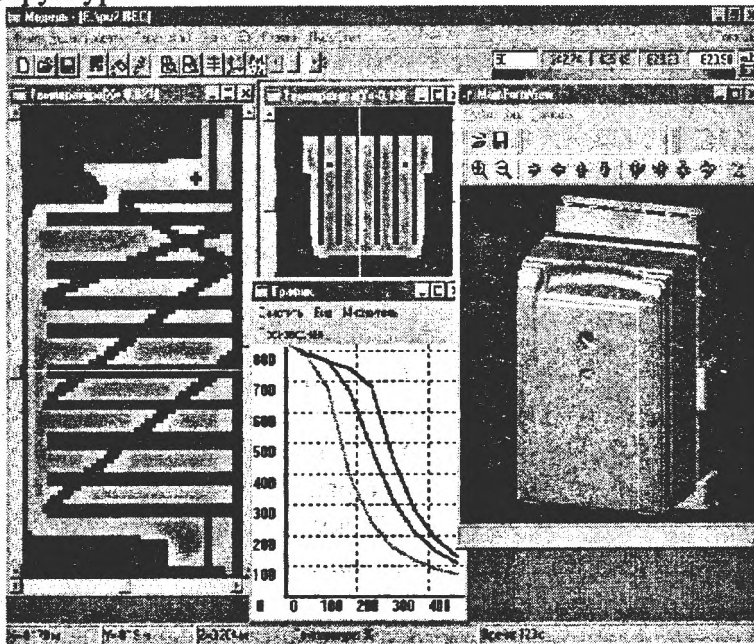


Рис.1. Интерфейс системы "ПроТерм" с визуализацией результатов.

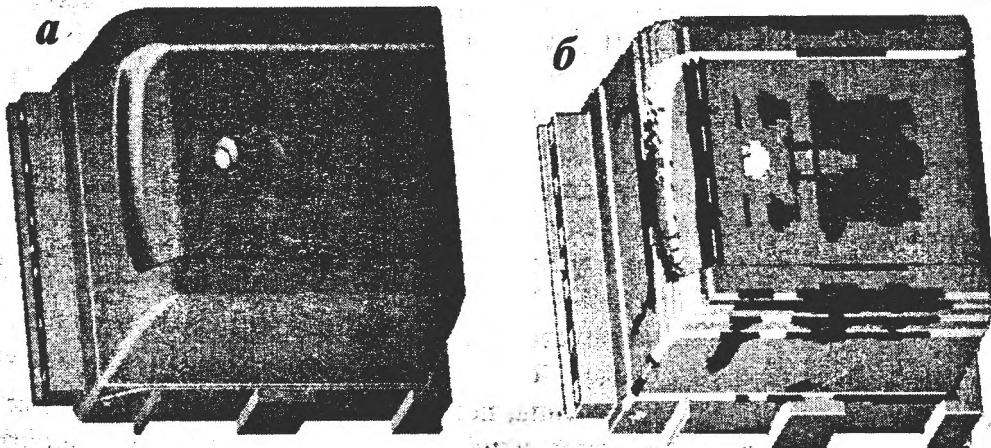


Рис.2. Внешний вид детали "пуансон" (а), изготовленной из стали 12ХН3А, и поле поверхностных напряжений детали (б), возникающих в результате охлаждения с температуры 820°C в масле (T=50°C) через  $\tau=120$ с (напряжения выше критических окрашены в черный цвет).

Разработка пакета «ПроТерм» может открыть новые возможности для проектирования деталей сложной конфигурации, подвергающихся тепловым нагрузкам, что позволит уменьшить время проектирования прессформ и оптимизировать режимы термической обработки.

**Литература.** 1. Чичко А.Н., Соболев В.Ф., Яцкевич Ю.В. Компьютерная система «ПроТерм»: применение для управления процессом термической обработки деталей//ТЭО. –2002. -№1.-С.22-23 2. Чичко А.Н., Дроздов Е.А. Компьютерное моделирование термоупругости сплавов, кристаллизующихся в трехмерных пространственных структурах. // Доклады НАН Беларуси. –2002. -Т.46. -№1. -С.132-136 3. Чичко А.Н., Дроздов Е.А., Чичко О.И. Моделирование эволюций напряжений и деформаций для алюминиевого сплава, охлаждающегося в трехмерной пространственной структуре. //Литье и металлургия. –2002. -№1. -С.21-26

УДК 669.056.9:629.118.6

**В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич, Г.В. Макаревич**

## **МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОКСИДОКЕРАМИКИ**

*Институт надежности машин НАН Беларуси  
Минск, Беларусь*

Как показали проведенные в ИНДМАШ НАН Беларуси исследования покрытия на основе оксидокерамики обладают высокой твердостью и износостойкостью. Как правило, их применение в деталях машин и механизмов позволяет на 50-70% облегчить конструкцию при значительном повышении работоспособности и надежности узлов трения, за счет высокой твердости покрытий, достигающей 22ГПа. При соответствующем поверхностном модифицировании их использование позволяет работать в условиях сухого и граничного трения. При этом, вследствие высокой твердости, попадание абразива между контактирующими поверхностями не вызывает интенсивного изнашивания и потери работоспособности узла. Вместе с тем, оксидокерамика - хрупкий фрикционный материал [1]. Поэтому для его применения, как правило, необходимы специальные технические решения [2]. Для их реализации в ИНДМАШ НАН Беларуси был проведен комплекс работ по созданию, исследованию и апробированию на практике технологий формирования многослойных композиционных металлокерамических систем типа «сплав алюминия – оксидокерамика – карбид хрома».

Целью исследований было создание покрытий для деталей, работающих в условиях многоциклового нагружения на изгиб, рабочие поверхности которых взаимодействуют с ответными поверхностями в условиях трения скольжения, например, зубчатых передачах.

Для формирования оксидокерамических покрытий методом анодно-катодной микродуговой обработки использовалось специально разработанное ИНДМАШ НАН Беларуси оборудование терристорного типа, позволяющее управлять режимами обработки в широком диапазоне регулирования токов, напряжений и амплитудно-частотных параметров микродуговой обработки. Микродуговое оксидирование осуществлялось при напряжении 420-450В, плотности тока 25-50 А/дм<sup>2</sup> в модифицированном электролите, основными компонентами которого являлись растворенные в дистиллиро-