

УДК 621.7:62-192:669.02/09

Гулаков С.В.<sup>1</sup>, Щербаков С.В.<sup>2</sup>

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Рассмотрены вопросы численного моделирования напряженно-деформированного состояния элементов составных конструкций в технологии бандажирования с применением локального нагрева.*

Ко многим деталям машин и инструменту, работающим в сложных условиях эксплуатации, предъявляется ряд альтернативных требований, выполнение которых позволяет обеспечить необходимый комплекс эксплуатационных характеристик.

Одним из путей решения указанных проблем является изготовление узлов в виде составных изделий. К таким изделиям относятся бандажированные прокатные валки, колеса, предохранительные устройства, другие детали и инструмент [1, 2].

Главной задачей, решаемой при производстве бандажированных деталей, является надежное закрепление бандажа на оси. В промышленности наибольшее распространение получили приемы фиксации сопрягаемых элементов составных конструкций за счет гарантированно натяга (прессовые соединения – посадки за счет изменения размеров сопрягаемых элементов при нагреве или охлаждении). Они характеризуются высокими требованиями к точности геометрических размеров сопрягаемых поверхностей, к качеству их обработки, высокими энергозатратами, трудностью обеспечения условий равномерного натяга, особенно для длинномерных и крупногабаритных изделий. Часто термическое воздействие, сопутствующее посадке бандажа на ось, отрицательно сказывается на эксплуатационных характеристиках составных изделий из-за изменения свойств металла.

Авторами разработана технология изготовления составных изделий с применением локального нагрева: сваркой, наплавкой, плазменной, газопламенной обработкой, когда в обрабатываемых изделиях возникают локальные термические напряжения, приводящие к деформации последних. Предложен ряд конструкций составных деталей машин и инструмента, в которых сопрягаемые элементы фиксируются друг относительно друга за счет таких деформаций [2].

При разработке технологии изготовления составных изделий необходимо учитывать факторы, влияющие на распределение сварочных напряжений от действия локальным источником нагрева в рассматриваемой зоне сопряжения и на характер их изменения. Исследования с применением реальных изделий сопряжены с высокими финансовыми и энергетическими затратами, могут привести к аварийным ситуациям. Распространение теплоты при воздействии локальным источником, структурные, фазовые, химические превращения и другие технологические факторы наиболее эффективно можно оценить в результате проведения численных экспериментов на компьютерных моделях материалов и процессов.

Цель моделирования – разработка методики расчета напряженно-деформированного состояния деталей составной конструкции при воздействии локального источника нагрева с применением численного метода конечных элементов.

Решение поставленной задачи выполнено с применением алгоритмов численного моделирования, а именно, метода конечных элементов (МКЭ) как наиболее мощного и функционального средства проведения численного анализа в широком круге инженерных задач. Суть метода заключается в разбиении модели на некоторое количество частей конечного объема, математическое описание которых не вызывает затруднений. Для приближенного решения задачи составляется система алгебраических уравнений, описывающих взаимодействие элементов модели, заменяющая ее дифференциальное или интегральное описание.

<sup>1</sup>ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

<sup>2</sup>ПГТУ, ст. преп.

Для МКЭ характерны большие объемы исходных данных, промежуточных и окончательных результатов расчета. Поэтому моделирование выполнялось по этапам: разработка расчетной конечно-элементной схемы и подготовка исходных данных; выполнение расчета; обработка результатов расчета.

Практическая реализация метода выполнена с применением многофункциональной системы конечно-элементных расчетов ANSYS Products 2007 v11. В качестве объекта моделирования выбрана бочка составного прокатного валка, выполненная в виде полого цилиндра.

На первом этапе создана конечно-элементная расчетная модель (рис. 1) с учетом физических свойств материала и конструктивных особенностей: тип анализа – структурный, материал модели – изотропный, с усредненными характеристиками для стали (коэффициент Пуассона  $\mu = 2 \cdot 10^{-11}$ , модуль упругости  $E = 0,26$ ).

Численная реализация задачи термо-упругой деформации в среде ANSYS при воздействии на поверхность локальным источником нагрева была выполнена в две стадии – моделирование нагрева с последующим моделированием остаточных напряжений. Тип анализа – термический, структурный; свойства материала модели: плотность  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоёмкость  $C = 460 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ .

В основу термического расчета положено дифференциальное уравнение теплопроводности с учетом зависимости от температуры в цилиндрической системе координат [3]. Результаты моделирования распределения температурного поля приведены на рис. 2. Изменяя параметры локального источника нагрева (мощность дуги, скорость перемещения, траекторию и др.), можно получить различный характер распределения напряжений, регламентируя тем самым различные условия фиксации элементов составного изделия.

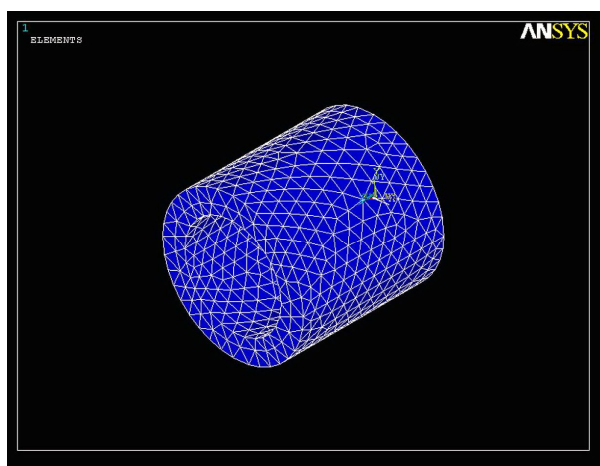


Рис. 1 – Конечно-разностная модель объекта

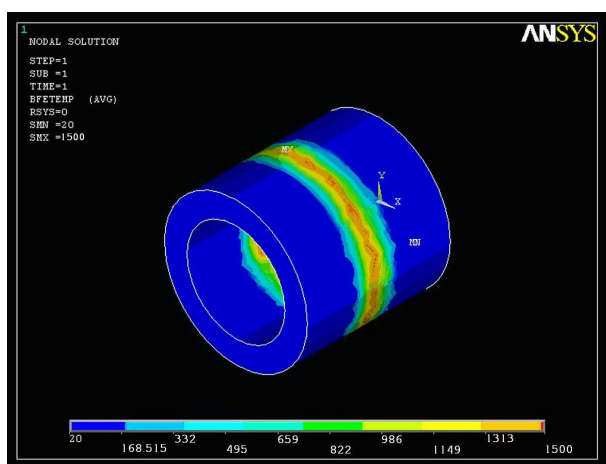


Рис. 2 – Градиент распределения температур

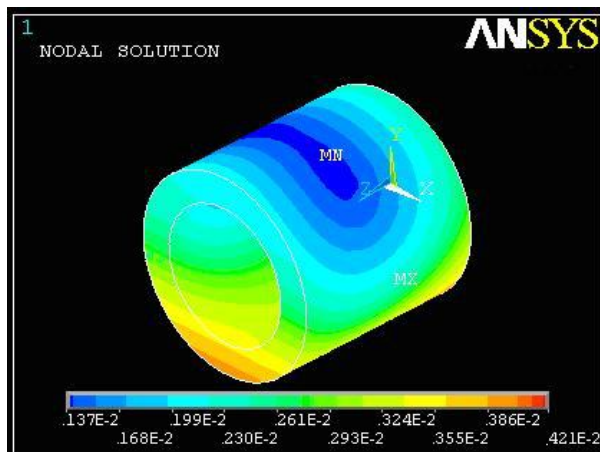


Рис. 3 – Градиент распределения деформаций

С этой целью на основании данных о распределении температурного поля  $T(x, y, z)$ , заданных свойств материала модели (коэффициент линейного расширения  $\alpha_T$ , модуль нормальной упругости  $E(T)$ ) рассчитаны относительные температурные деформации  $\epsilon_T(x, y, z)$  и соответствующие им напряжения  $\sigma(x, y, z)$ . Результаты приведены на рис. 3.

Как видно из результатов моделирования (рис. 3), при воздействии концентрированным источником нагрева на поверхность оболочечной конструкции в зоне воздействия возникают остаточные напряжения сжатия,

приводящие к перемещению точек модели в радиальном направлении и возникновению деформаций в диапазоне от  $\epsilon_{\min} = 0,137 \cdot 10^{-2}$  до  $\epsilon_{\max} = 0,421 \cdot 10^{-2}$ , т.е. к уменьшению диаметра.

Полученный эффект используется для выполнения неразъемных соединений в различных технологических вариантах изготовления составных изделий. Данные математического моделирования подтверждаются практическими испытаниями [4].

Предложенное научное направление позволяет наметить ряд перспективных путей его развития: упрощение технологии и снижение трудоемкости изготовления составных деталей и узлов механизмов. Дальнейшие исследования в области численного моделирования задачи термо-упругой деформации при воздействии локального нагрева позволят получать прогнозируемые результаты для реализации широкого спектра технологических вариантов изготовления составных (бандажированных) конструкций с максимальной эффективностью, оптимальными энергетическими и временными затратами.

#### *Выводы*

С применением системы конечно-элементных расчетов ANSYS разработана методика, позволяющая с большой эффективностью выполнять моделирование напряженно-деформированного состояния деталей конструкций и прогнозировать распределение деформаций с целью обеспечения регламентированных условий сборки составных (бандажированных) изделий.

#### *Перечень ссылок*

1. *Полухин В.П.* Составной рабочий инструмент прокатных станков / *В.П. Полухин, П.И. Полухин, В.А. Николаев.* – М.: Металлургия, 1977. – 88 с.
2. *Гулаков С.В.* Соединение элементов бандажированных изделий применением локального нагрева / *С.В. Гулаков, С.В. Щербаков, Н.Г. Заварика* // *Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2000. – Вип. 5. – С. 234 – 237.*
3. *Березовский Б.М.* Математические модели дуговой сварки: В 3 т. – Том. 1. Математическое моделирование и информационные технологии, модели сварочной ванны и формирования шва / *Б.М. Березовский.* – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 585 с.
4. *Гулаков С.В.* Повышение надежности фиксации бандажа на оси локальной термической обработкой (воздействием) / *С.В. Гулаков, С.В. Щербаков* // *Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2008. – Вип. 10. – С.117 – 119.*
5. *Басов К.А.* ANSYS в примерах и задачах / *К.А. Басов; Д.Г. Красковский* – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.
6. *Чигарев А.В.* ANSYS для инженеров: справ. пособие / *А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк.* – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.

Рецензент: В.И. Щетина  
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 05.03.2009