

Среди научных и технических задач, решаемых при исследовании этой проблемы, можно выделить наиболее важные: это оценка состояния трибосопряжений численными методами с учетом вероятностной природы активируемых трением процессов в зоне контакта и синтез алгоритмов принятия решений о работоспособности пар трения.

В результате проведенных нами исследований сформулированы общие принципы классификации состояния пар трения, учитывающие особенности триботехнической информации: 1 – принцип комплексности (классификация не отдельных характеристик, а их интегральных комплексов) и 2 – принцип декомпозиции (выделение типологических состояний, формирующихся в конкретных условиях сопряжения).

Научно обоснована статистическая концепция синтеза критериев и алгоритмов принятия решения при оценке фрикционного состояния контакта в трибодиагностике, включающая в себя последовательные этапы: *а* – “сжатия” пространства первичных показателей; выделение типологических состояний триботехнического объекта; *б* – дискриминации полученных типологических состояний; *в* – принятия решения о текущем состоянии подвижного сопряжения с указанием вероятности этой классификации. На ее основе получены многопараметрические критерии классификации триботехнических поверхностей и механизма изнашивания материалов.

Разработана статистическая модель формирования фактической площади касания (ФПК) шероховатых поверхностей, учитывающая интегральные особенности их топографического строения на различных размерных уровнях, позволяющая на их основе оптимизировать величину формируемой ФПК.

Синтезированы статистические параметры акустического излучения, характеризующие кинетику изнашивания трибосопряжений.

УДК 539.3

## ПОСТРОЕНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ И РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СТАЛЬНОЙ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ НАГРЕВЕ В ПЕЧИ

*С. В. ШИЛЬКО, В. Ф. ХИЖЕНОК*

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси*

Применение рациональных технологий в металлургии позволяет интенсифицировать производство металлопроката, снизить уровень топливно- и энергопотребления, повысить качество продукции. Дефектообразование в стальных заготовках обусловлено напряжениями, вызванными неоднородностью процесса затвердевания отливки и силовым воздействием на слиток при прокатке. Применительно к технологиям непрерывного литья и разливки в формы необходимо исследовать закономерности разрушения призматических заготовок с постоянными термомеханическими и теплофизическими свойствами; исследовать закономерности разрушения стальных слитков и заготовок с переменными термомеханическими и теплофизическими свойствами; разработать математические модели теплового и термонапряженного состояния при затвердевании и нагреве с целью прогнозирования нарушения сплошности металла.

Эти задачи могут быть решены теоретическими методами теплофизики и термомеханики. Для численного анализа нами был использован метод конечных элементов, позволяющий оценить поле температур в отливке произвольной формы при конвективном нагреве. Расчетная схема и дискретизация области показаны на рисунке 1.

Задавались следующие исходные данные для стали (предполагалось, что они являются константами): плотность  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоемкость  $C = 481 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ , коэффициент теплопроводности  $42,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . Начальная температура  $T_0 = 120^\circ\text{C}$ . Максимальная температура на поверхности отливки  $T = 360^\circ\text{C}$ . Для оценки температурного поля при различных способах нагрева рассматривались два варианта граничных условий: 1) нагрев осуществляется на всех четырех гранях заготовки; 2) нагрев осуществляется на боковых и верхней гранях заготовки.

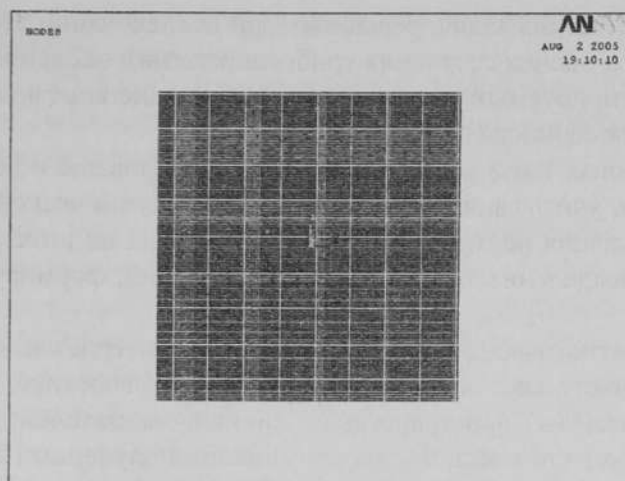


Рисунок 1 – Двумерная дискретная модель призматической заготовки

В расчете граничная температура (по контуру сечения заготовки) задавалась исходя из эксперимента по измерению температуры в срединной и угловых точках сечения отливки размером  $125 \times 125$  мм. Найденной экспериментальной точкой служил центр заготовки с известной температурой, найденной экспериментально.

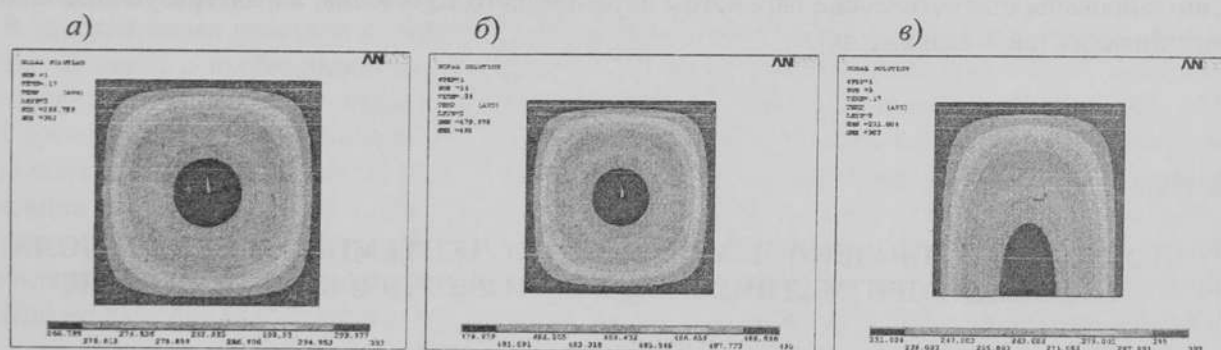


Рисунок 2 – Поле температур по сечению заготовки для двух моментов времени нагрева в методической зоне: а – 10 мин; б – 20 мин; в – при нагреве верхней и боковых граней заготовки

Рисунок 2 показывает, что для указанных способов нагрева распределение температур в сечении заготовки существенно различается. Также проводился расчет в трехмерной (объемной) постановке (рисунок 3).

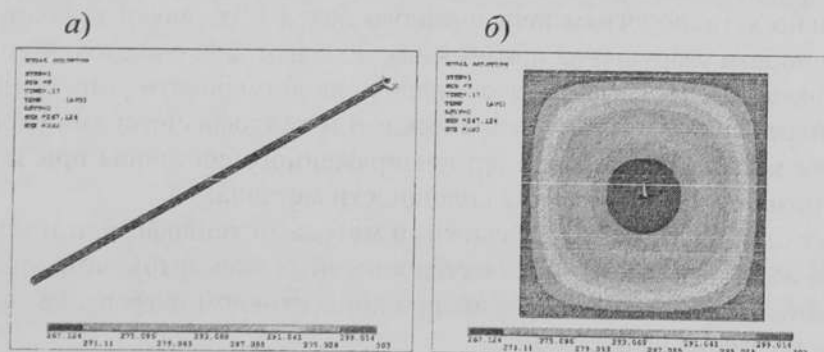


Рисунок 3 – Поле температур по сечению заготовки для двух моментов времени нагрева (объемная модель): а – 10 мин, б – 20 мин

Сопоставление результатов для плоской и объемной моделей показывает достаточную точность расчета в первом случае (при более простой дискретизации), т.к. погрешность составляет около 1 %. Можно заметить, что изменение условий нагрева поверхности заготовки приводит к значительному изменению распределений температуры и тепловых потоков.

Таким образом, для получения распределений температур и напряжений, в т. ч. с учетом изменения термомеханических и теплофизических характеристик материала, а также фазовых пре-

вращений (плавления и затвердевания), целесообразно использовать численные методы анализа, в первую очередь, метод конечных элементов. Анализ температурных полей при различных граничных условиях позволяет оценить эффективность управления распределением температур и тепловых потоков в заготовке.

УДК 656.225.073.4

## КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ КРЕПЛЕНИЙ ГРУЗОВ В ВАГОНАХ

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, Е. А. СТАСЕНКО, Е. А. ШУМСКАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта*

К числу особенностей работы элементов креплений грузов на железнодорожном подвижном составе относится постоянное действие динамических нагрузок, вследствие которых нарушается плотность соединений. Поэтому методы расчета таких соединений, используемые в сопротивлении материалов, оказываются весьма приближенными и зачастую дают неверные результаты при расчете прочности. В связи с этим в работе поставлена задача уточненного определения напряженно-деформированного состояния деталей крепления груза в вагонах.

Одним из элементов, рекомендуемых для крепления грузов на железнодорожном подвижном составе, являются болты. Они, в частности, применяются для соединения составных частей подкладок и прокладок, предназначенных для крепления крупногабаритных грузов, для обеспечения устойчивости длинномерных грузов при перевозке на сцепе вагонов с использованием турникетных опор. При подборе размеров болтов в большинстве случаев пользуются условием прочности при срезе. Однако транспортировка некоторых видов грузов требует выполнения уточненных расчетов.

Разработана конечноэлементная модель болтового соединения с применением программного комплекса ANSYS. Расчетная схема включала две прямоугольные пластины: нижнюю и верхнюю, с размерами 100×80×10 мм и 140×80×10 мм соответственно. Их соединение осуществлялось с помощью болта с диаметром стержня 20 мм. Диаметр отверстия верхней пластины был равен диаметру стержня болта. Между стержнем болта и нижней пластиной имеется зазор 1 мм. Чтобы учесть взаимодействия между элементами конструкции, созданы три контактные пары: между головкой болта и верхней пластиной, между стержнем болта и верхней пластиной, а также соответствующая взаимодействию пластин. При создании сетки использовались призматические восьмиузловые конечные элементы.

Выполненные расчеты позволили установить значения напряжений в элементах соединения, а также найти контактные давления. Обнаружено, что максимальные напряжения наблюдаются в стержне болта. Расчетные значения деформаций не превышают 0,15 мм, что значительно меньше величины зазора между болтом и нижней пластиной.

Исследовано влияние коэффициента трения в области контакта на напряженно-деформированное состояние конструкции. Установлено, что при увеличении коэффициента трения происходит уменьшение компонент и нормального, и касательного напряжений. Расчеты показали, что максимальный зазор, образующийся между болтом и пластиной после приложения нагрузки, практически не зависит от коэффициента трения. При изменении коэффициента трения от 0 до 0,4 эквивалентные напряжения (по Мизесу) уменьшаются на 20 %.

При учете трения между деталями соединения обнаружено нарушение контакта между пластинами. Это явление сопровождается увеличением наибольших эквивалентных напряжений в верхней пластине и в месте соединения головки болта с его стержнем. Максимальное напряжение в конструкции по-прежнему наблюдается в стержне болта.

Сопоставление значений, полученных расчетом методом конечных элементов и по известной из курса сопротивления материалов формуле, предполагающей равномерность распределения касательных напряжений по площадке среза, показало, что реальные максимальные напряжения более чем на 50 % превышают расчетные значения по приближенной формуле. Анализ показал, что концентрация напряжений связана не только со сдвигом, но и с изгибом болта, а этот факт не учитывается при подборе размеров креплений. Поэтому при подборе размеров крепежных деталей следует принимать увеличенный коэффициент запаса прочности.

При расчетах изделий из древесины основываются на допущении о существовании в элементарном объеме древесины трех плоскостей симметрии. За плоскости симметрии каждого элементарно-