

детализированное. В ходе расчетов для каждого интервала частот определяются матрицы относительных перемещений и ускорений с использованием всех точек данных из входного графика зависимости "ускорение – время". Затем фиксируется максимальное абсолютное значение ускорения из матрицы. Это значение становится точкой кривой СУО для данного конкретного интервала частот. В результате аналогичных вычислений для каждого интервала собственных частот строится кривая СУО.

Экспресс-решение позволяет получить спектр ударного отклика на основе усеченного набора исходных данных, однако благодаря этому время получения такого решения на персональном компьютере удастся уменьшить до двух – трех минут. В результате возможно оценить, насколько экспериментальные данные удовлетворяют нормативным требованиям. Если кривая СУО оказывается ниже нормативной, то требуется провести дополнительные испытания. При расположении кривой, удовлетворяющей нормативным требованиям, выполняется подробный расчет с шагом в 1/30 октавы, что позволяет получить искомый спектр ударного отклика.

Применение предлагаемой программы позволяет оценивать результаты испытаний в режиме реального времени, что дает возможность оперативного принятия решения о необходимости дополнительных соударений вагонов.

УДК 621.763 : 536

## АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ФРИКЦИОННЫХ НАКЛАДОК ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, О. А. СУХАНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Исследованию свойств волокнистых композитных материалов посвящен целый ряд монографий и научных статей. Однако расчетные зависимости, позволяющие оптимизировать процесс создания изделий из таких материалов, до настоящего времени отсутствуют. Процесс формирования деталей из композитных материалов включает стадии расплавления пресс-порошка и последующего его затвердевания. Целью представленной работы является создание методики конечно-элементного моделирования физических процессов, происходящих при формировании деталей из композитных материалов. Объект исследования – материал заготовки для формирования фрикционной накладки транспортного средства на основе матрицы из фенолоформальдегидной смолы. Предметом исследования являются поле температур и тепловые потоки для разных моментов времени образования композита.

Для выполнения теплового анализа расплавления материала применен первый закон термодинамики. Расчет выполнен при помощи программного комплекса ANSYS на основе использования энтальпии, которая для фенолоформальдегидной смолы задавалась в виде функции температуры. С учетом цикличности формы детали была рассмотрена 1/16 ее часть. Исходные данные для расчета: начальная температура пресс-порошка 20 °С; температура в местах контакта с пресс-формой 160 °С, плотность теплового потока на торцевых поверхностях сегмента модели отсутствует. Шаг по времени принимался равным 1 с, число шагов – 300.

Анализ распределения температуры по толщине образца на стадии плавления матрицы показал, что на первой секунде нахождения пресс-порошка в нагретой форме изменение температуры матрицы в средней точке сечения незначительно. Затем в течение 25 с происходит резкое увеличение температуры. При температуре  $T = 120$  °С начинается плавление матричного материала. Расчеты показывают, что к 30-й секунде прессования температура становится равной 159,3 °С, т. е. практически сравнивается с температурой пресс-формы. К моменту времени  $t = 90$  с распределение температуры оказывается близким к равномерному.

Расчеты, выполненные на основе описанной методики, позволяют установить время, которое необходимо затратить для полного расплавления материала матрицы.

Поскольку на образование химических сшивок при формировании сетчатой структуры матрицы затрачивается энергия, то на данной стадии расчета анализировалось распределение температур вблизи армирующей фазы. Создана модель, имитирующая одну восьмую часть волокна (поскольку оно имеет симметричную форму), помещенного в окружающую его матрицу. Начальная температура расплавленной матрицы принималась равной 160 °С. Такая же температура сохранялась в местах соединения выделенного объема с остальной матрицей. В месте соединения волокна с матрицей задавалась поверхностная нагрузка в виде плотности теплового потока. Расчет выполнен для значений плотности теплового потока от 10 до 500 кВт/м<sup>2</sup>, поскольку в литературных источниках информацию о значении этого параметра найти не удалось.

Выполненный анализ показал, что интенсивное уменьшение температуры имеет место по нормали к цилиндрической поверхности волокна. В то же время отвод тепла от торцевой поверхности весьма незначителен. Наиболее интенсивное снижение температуры происходит на расстояниях, не превышающих 5 диаметров волокна. На основе предложенного подхода может быть определена минимальная концентрация волокон, при которой затвердевание материала происходит практически равномерно по всему объему детали.

Полученные результаты могут стать основой для оптимизации процесса формирования различных деталей, изготовленных из полимерных композитов.