

групп (от 27 до 55 лет). Данным экспертам предлагалось прослушать звуки, скомпонованные специальным образом в пары. По результатам проведенной экспертной оценки, системы выпуска отработавших газов различных конструкций и производителей были распределены на кондиционные (рекомендуемые к применению) и некондиционные с точки зрения субъективного восприятия излучаемого ими звука.

На третьем этапе с целью численной оценки качества звука систем выпуска отработавших газов, были определены их объективные показатели, такие как «громкость», «резкость», «грубость», «флуктуация». С использованием программного обеспечения «Sound Quality 7698» было смоделировано исключение раздражающих компонент в звуковом сигнале некондиционных систем выпуска отработавших газов. В результате анализа полученных синтезированных сигналов было выявлено, что неприятный «пульсирующий» звук, определяемый экс-

пертами как «дефектный», выражается в наличии дискретных модулированных (изменяющихся во времени) компонент в диапазоне частот 125...1000 Гц.

В результате проведенной работы, для исключения дефектного звука при эксплуатации исследованного семейства автомобилей В-класса, были внесены соответствующие изменения в технические условия на системы выпуска отработавших газов. Представленный пример совершенствования качества звука автомобиля на стадии его доводки, является лишь частным случаем применения исследовательского комплекса «Sound Quality». Использование информации о показателях качества звука того или иного компонента автомобиля (к примеру, климатической установки, электроусилителя рулевого управления, механизмов закрывания дверей) на ранних этапах проектирования позволяет создавать акустически привлекательную продукцию с высокими потребительскими свойствами.

УДК 539.3

О РАСЧЕТЕ СТРУКТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Макарова Е.Ю., Соколкин Ю.В.

Пермский государственный технический университет

THE CALCULATION OF THE STRUCTURAL STRESSES IN THE UNIDIRECTIONAL FIBER-REINFORCED COMPOSITE MATERIALS

Makarova E.Yu., Sokolkin Yu.V. A mathematical model for determining the structural stresses of unidirectional fiber-reinforced periodical and random composites is developed. The local approximation method and the method of periodic components are used to solve the problem.

В данной статье приводится расчет структурных напряжений в однонаправленных волокнистых композитах с периодической и неупорядоченной структурами. При этом используются два метода решения этой задачи: метод локального приближения и метод периодических составляющих.

Для композитов с тетрагональной и гексагональной укладкой круглых волокон были построены эпюры распределения нормальных и касательных напряжений в матрице вблизи межфазной поверхности при

поперечном растяжении и сдвиге. В качестве связующего однонаправленного волокнистого композиционного материала принималась эпоксидная смола ЭДТ-10 с модулем Юнга $E_m=2910$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu_m=0,356$. Рассматривались изотропные стеклянные и анизотропные углеродные волокна.

В случае одноосного поперечного растяжения значения нормальных и касательных напряжений для композитов с тетрагональной и гексагональной укладкой волокон

принимают близкие значения соответственно, то есть при данных условиях нагружения тип укладки волокон практически не влияет на значения напряжений в матрице. По абсолютным показателям касательные напряжения в матрице значительно ниже нормальных напряжений. При увеличении доли наполнителя нормальные напряжения увеличиваются.

В случае чистого сдвига по абсолютным показателям значения касательных напряжений в матрице близки к нормальным напряжениям. Значения касательных и нормальных напряжений немного выше для композита с тетрагональной упаковкой волокон, чем для того же материала с гексагональной упаковкой. Кроме того, напряжения возрастают (причем это сильнее проявляется для материала с тетрагональной упаковкой волокон) с увеличением объемной доли наполнителя, так же как это было при одноосном растяжении. Приводятся эпюры распределения нормальных и касательных напряжений вблизи межфазной поверхности для гексагональной и тетрагональной упаковки в условиях одноосного поперечного растяжения и чистого сдвига.

Построены зависимости коэффициента концентрации нормальных напряжений от объемной доли армирующих волокон для стекло-, боро-, угле- и органопластиков. Эти зависимости существенно нелинейны, сильное влияние оказывают тип укладки и физические свойства включений. Значения коэффициента концентрации нормальных напряжений для композита с тетрагональной упаковкой волокон в матрице выше, чем для тех же материалов с гексагональной упаковкой волокон. Максимальное значение коэффициента концентрации нормальных напряжений принимает при тетрагональной укладке борных волокон в матрице с их объемным наполнением 70%. Зависимости коэффициента концентрации нормальных напряжений для боропластика и стеклопластика с одинаковыми типами укладки волокон лежат достаточно близко. Построены зависимости для коэффициента концентрации касательных напряжений. На значение этого параметра также оказывают существенное влияние тип укладки и свойства волокон. Зависимость коэффициента концентрации касательных напряжений для материала с тетрагональной

структурой имеет сильно нелинейный участок при объемном содержании волокон более 30%. Наибольшее значение коэффициент концентрации касательных напряжений достигает при максимальном наполнении эпоксидной матрицы борными волокнами и тетрагональном типе укладки армирующих волокон. Построены зависимости коэффициентов концентрации интенсивности напряжений, которые имеют нелинейный характер. Они возрастают с повышением объемного содержания волокон, при этом возрастает и отличие значений коэффициентов, рассчитанных по моделям с тетрагональной и гексагональной укладкой. Так, при объемном содержании волокон, равном 70% для боропластика значение коэффициента концентрации интенсивности напряжений при одноосном нагружении композита с тетрагональной структурой превышает значение того же параметра для композита с гексагональной структурой в 2,1 раза. Большое влияние на значение рассматриваемого параметра играет тип нагружения. При одноосном нагружении значение коэффициента концентрации интенсивности напряжений значительно выше, чем при сдвиге.

Зависимости коэффициента концентрации для первого инварианта тензора напряжений также имеют существенно нелинейный характер. Влияние типа упаковки волокон проявляется при объемном содержании включений более 50% и с дальнейшим увеличением объемной доли возрастает.

При расчете структурных напряжений в однонаправленных волокнистых композитах используется метод периодических составляющих, на основе которого построен функционал $\Phi^{(p)}(\theta)$ краевой задачи:

$$e_{ij}^{(p)}(\mathbf{n}) = \Phi_{ijab}^{(p)}(\mathbf{q}) \cdot e_{ab}^{(p)}(r). \quad (1)$$

Используя соотношения (1), находятся моментные функции второго порядка структурных напряжений

$$K_{ijmn}^{\sigma}(r_1, r_2) = M_{ijmna\beta\rho\omega} \epsilon_{a\beta}^{(p)}(r_1) \epsilon_{\rho\omega}^{(p)}(r_2) \quad (2)$$

На основе зависимостей (2) вычислены значения напряжений в однонаправленных стекло- и углепластиках.

Работа поддержана РФФИ (проект № 10-08-92-062).