

напряженности магнитного поля.

Сигнал предискажений получается путем вычитания искаженного сигнала из синуса той же амплитуды. Также следует учитывать дополнительный сдвиг, вносимый всей системой в целом, который сложно оценить аналитически.

Перед вычислением сигнала предискажений необходимо привести амплитуду искаженного сигнала к единичной и произвести его сдвиг. Разность полученного сигнала и синуса единичной амплитуды дадут искомым сигнал предискажений. Далее он складывается с синусоидальным сигналом и записывается в буфер ЦАП. Сигнал предискажений может быть представлен следующим образом:

$$U_{и}(i) = U_{с}(i) - \frac{U_{В}(i - n)}{\max(U_{В})},$$

где $U_{с}$ – сигнал синуса единичной амплитуды, $U_{В}$ – искаженный сигнал измерительной обмотки первичного преобразователя, $\max(U_{В})$ – амплитуда искаженного сигнала измерительной обмотки первичного преобразователя, $i = 0 \dots N - 1$ – текущий отсчет, N – количество отсчетов, n – сдвиг искаженного сигнала.

Оптимальный сдвиг искаженного сигнала зависит от разницы фаз между током и напряжением, который может быть вычислен как:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R}\right),$$

УДК 620.178

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

Зинькевич Н.В., Ланцман Г.А.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) появились в 1958-х начале 60-х и представляют собой графитовую или углеродную матрицу, упрочненную углеродными волокнами. В сравнении с графитами, УУКМ имеют более высокие прочностные характеристики, обладают высокой стойкостью к термоударам и рядом других преимуществ. В зависимости от структуры армирования различают одномерные (1D), двумерные (2D), трехмерные (3D), четырехмерные (4D) и т.д. углерод-углеродные композиционные материалы. [1]

Внедрение этих новых композиционных материалов сдерживается не только их большой стоимостью, но и отсутствием теоретических основ проектирования и технологии их изготовления. Кроме того, особенностью данных композитивов является то, что материал и конструкция создаются одновременно в рамках единого тех-

где R – суммарное активное сопротивление шунтирующего резистора и намагничивающей обмотки, f – частота намагничивающего сигнала, L – оценка индуктивности намагничивающей обмотки первичного преобразователя.

Эта зависимость может быть аппроксимирована функцией

$$n(\varphi) = \alpha_1 \cdot \exp(\beta \cdot \varphi) + \alpha_2,$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ – коэффициенты.

Таким образом, намагничивающий сигнал имеет форму смеси синусоидального сигнала и сигнала предискажений, что позволяет получить синусоидальный режим перемагничивания исследуемого образца при проведении измерения.

Используя вышеприведенную методику, удалось добиться снижения КНИ до величин менее 0.1% на индукции 1.9 Тл и выше.

1. Способ формирования синусоидальной индукции в ферромагнитном образце [Текст] : пат. 10958 Республик Беларусь, МПК G 01R 33/12. Брановицкий И.И., Путьрский М. Н.; заявитель и патентообладатель Институт прикладной физики НАН Беларуси. – № 20060894; заявлено 12.09.06; опубликовано 30.04.08. – 3 с.

нологического процесса. Поэтому создание конкурентоспособных изделий существенно зависит от наличия приемлемого на практике прогноза структуры и физико-механических свойств углеродного материала с учетом технологических особенностей его изготовления.

Разнообразие схем армирования УУКМ, большая стоимость материала, работа конструкций при высоких и сверхвысоких давлениях, и температуре требуют надежного прогнозирования механического поведения и несущей способности проектируемого изделия в реальных условиях эксплуатации.

Аналитические модели необходимы для связи параметров технологических процессов изготовления композиционного материала с его теплофизическими и механическими свойствами, реализуемыми в конструкциях или образцах. Эти модели составляют основу для проектирования

композитов с заранее заданными свойствами и выбора оптимальных параметров технологического процесса.

Для проведения аналитического расчёта необходимо знать значения механических характеристик структурных элементов. Модуль Юнга (модуль продольной упругости) — физическая величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению/сжатию при упругой деформации. Коэффициент Пуассона – величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению. Этот коэффициент зависит не от размеров тела, а от природы материала, из которого изготовлен образец. Коэффициент Пуассона и модуль Юнга полностью характеризуют упругие свойства изотропного материала.

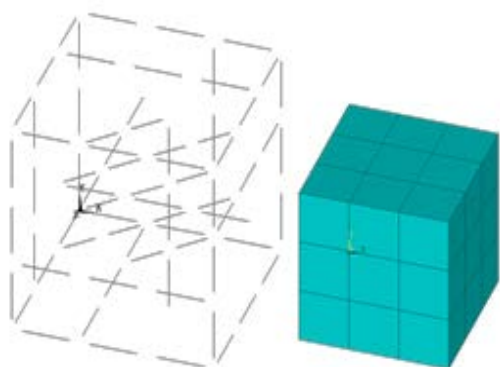


Рисунок 1 – Геометрическая модель стержневых и объемных элементов

Свойства матрицы (пека) и углеродных волокон по отдельности известны. Однако в совокупности, структурные элементы обладают другими анизотропными свойствами. Проблема заключается в том, чтобы построить модель анизотропного композита для нерегулярных геометрических форм. Решением данной проблемы является создание механической модели деформирования образцов и изделий из углеродных композитов под действием квазистатических и динамических воздействий. Основу механических моделей составляют методики и программы ЭВМ расчета микронапряжений и микродеформаций в компонентах композита, а также расчета макроскопических (эффективных) анизотропных свойств, интегрально отражающих протекающие на структурном уровне сложные процессы взаимодействия матрицы и армирующих волокон различных направлений и перераспределения микронапряжений, обусловленные нелинейностью процессов деформирования и накопления повреждений, предшествующие макроразрушению образца или изделия. [2]

Нами использовались два типа конечных элементов. Объемные (SOLID), реализующие пек, и стержневые (BEAM), представляющие собой уг-

леродные волокна. Геометрическая модель УУКМ со структурой армирования 4D показана на рисунке 1.

Поскольку УУКМ представляет собой композит из двух материалов, то использовались две конечно-элементные сетки. Чтобы преобразовать его в анизотропный материал, была применена процедура слияния узлов. На рисунке 2 представлены результаты нагружения модели без слияния и со слиянием узлов.

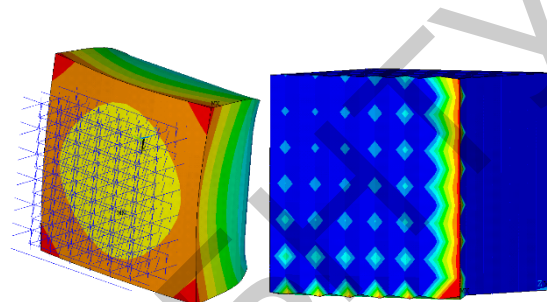


Рисунок 2 – Эпюры перемещения без слияния и со слиянием узлов

Целью анализа являлась оценка адекватности расчетной модели. Основные показатели, характеризующие результат – параметры напряженно-деформированного состояния образца показанные на рисунках 3-5.

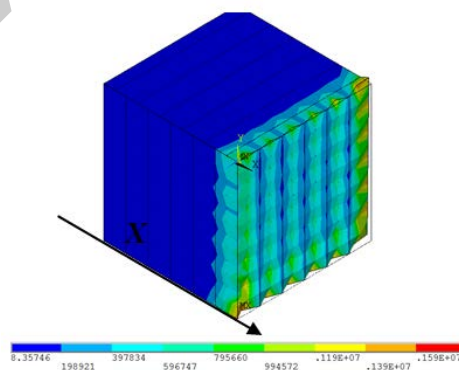


Рисунок 3 – Эпюра напряжения по Мизесу при нагрузке по оси X

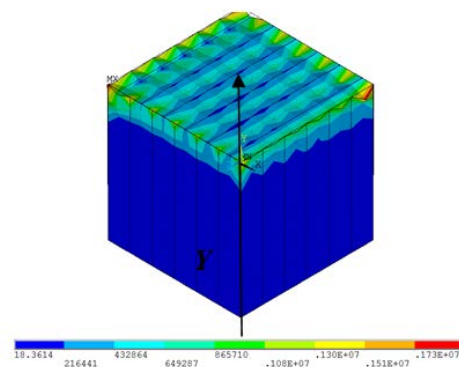


Рисунок 4 – Эпюра напряжения по Мизесу при нагрузке по оси Y

При проведении вычислительного эксперимента плоскости модели $X=0$ $Y=0$ $Z=0$ были поочередно закреплены, а к плоскостям $X = B$, $Y=B$, $Z=B$ (где B – длина, ширина, глубина модели) было приложено давление. При заданной схеме нагружения НДС должно быть равномерным и монотонным. Согласно канонам прикладной механики материал представляет собой однородную сплошную среду; свойства материала во всех точках тела одинаковы и не зависят от размеров тела.

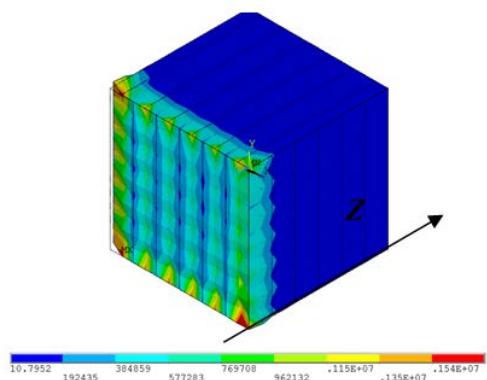


Рисунок 5 – Эпюра напряжения по Мизесу при нагрузке по оси Z

Более высокий уровень деформаций на передних гранях объясняется особенностями задания граничных условий, а также взаимодействием объемных и стержневых элементов. Об этом свидетельствует наличие на эпюрах полос, параллельных армирующим волокнам, а также наличие точечных участков, соответствующих стержням, параллельных оси X, оси Y, оси Z.

В результате моделирования было показано, что анизотропия механических свойств по координатным осям в 4D материалах, имеющих свойства углеродных волокон и углеродного пика, составляет до 11,3%. Адекватность модели была подтверждена экспериментальными данными. Это позволяет использовать ее для расчета напряжений и деформаций возникающих под действием нагрузок в реальных изделиях.

1. Композиты УУКМ [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://carbon.com.ua/materialy/ccs/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций / Ю.В. Соколкин [и др.] – М.: Мир. – 1996.

УДК 628.518

О СТАНДАРТАХ ПО ЛАЗЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Исаевич А.В.

*Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время лазеры широко применяются не только в научных исследованиях, промышленности, медицине, связи и других отраслях хозяйства, но и в быту. Вместе с тем лазеры являются устройствами, представляющими повышенную опасность.

Вопрос безопасности лазеров стал активно обсуждаться с первых дней их практического использования. В это время были приняты первые стандарты по лазерной безопасности. Современная система стандартов, определяющая и классификацию лазерных источников, и требуемые меры безопасности при работе с такими источниками, поддерживается Международной электротехнической комиссией (МЭК, английская аббревиатура – IEC) – неправительственной и некоммерческой международной организацией, которая разрабатывает и публикует стандарты для всех видов электротехнического и электронного оборудования.

Первым международным стандартом по лазерной безопасности явилась публикация IEC 825 [1]. В нем содержались меры по технике

безопасности и меры защиты, которые должны применяться пользователем лазерных изделий, а также система классификации источников лазерного излучения по степени их опасности.

Действие излучения лазеров представляет наибольшую опасность для органов зрения и кожного покрова. Степень воздействия лазерного излучения на человека зависит от физико-технических характеристик лазера – мощности (энергии) и длины волны излучения, времени облучения, длительности и периодичности импульсов, площади облучаемой поверхности.

Для того чтобы помочь пользователю в оценивании степени опасности лазерного изделия и определения мер защиты, была введена классификация лазеров и лазерных изделий в соответствии со степенью опасности их оптического излучения. Основой схемы классификации лазеров по степени опасности является возможность лазерного излучения наносить биологический вред глазам или коже.

Лазеры по степени опасности генерируемого ими излучения подразделяются в соответствии с