

УДК 539.3

DOI: 10.17223/00213411/62/4/131

*Е.В. ТУЧ, Е.А. СТРЕБКОВА***ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ В АУКСЕТИЧНЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ ВЖМ8 ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ***

Представлены результаты численного моделирования нагружения тел цилиндрической формы из монокристаллического сплава ВЖМ8, используемого в лопатках газотурбинных двигателей. При решении тестовой задачи в обоих случаях направления нагружения совпадали с направлениями [001], две другие оси координат были расположены в плоскости (001). Рассматривалось два случая расположения этих осей в плоскости (001). Показано, что поворот расчетной системы координат приводит к иным результатам. Полученное отличие в результатах расчетов отражает изменение физико-механических свойств монокристалла в различных направлениях при повороте расчетной системы координат, включая проявление ауксетичности.

Ключевые слова: монокристалл, анизотропия, упругая деформация, ауксетичность, кубическая симметрия.

Введение

Реакция монокристаллических материалов на нагружение определяется не только механическими свойствами материала и параметрами нагружения, но и ориентацией кристаллографических осей (КГО) относительно направления нагружения. Монокристаллический жаропрочный никелевый сплав ВЖМ8, применяющийся для формирования лопатки газотурбинного двигателя (ГТД) V поколения [1–6], обладает кубической симметрией свойств. При такой симметрии упругие свойства (технические постоянные – модули Юнга и сдвига, а также коэффициенты Пуассона) в любом направлении определяются с помощью трех независимых упругих постоянных монокристалла C_{11} , C_{12} и C_{44} . Для трех направлений осей расчетной системы координат величины технических постоянных выбираются по три значения с указательных поверхностей технических постоянных. И только эти выбранные значения определяют механические свойства материала в расчете, включая скорости распространения всех типов упругих волн.

При расчете напряженного состояния материалов с кубической симметрией свойств удобно одну из осей расчетной системы координат совмещать с направлением нагружения, оставшиеся оси должны быть ориентированы взаимно перпендикулярно друг к другу и оси нагружения. Если направление нагружения не совпадает с направлением КГО, то, как минимум у еще одной оси, направление не совпадет с КГО, и в этом случае обобщенный закон Гука удобнее записывать с использованием технических постоянных. В материалах с кубической симметрией свойств, в особенности, если направление одной из осей координат совпадает с диагональю плоскости куба – направлением [011] монокристалла, в некоторых плоскостях возникают отрицательные значения коэффициентов Пуассона (ауксетичность), а также значения коэффициентов Пуассона больше 0.5 и даже более 1. Величины модулей Юнга и модулей сдвига также разнятся для различных направлений. Изменения значений технических постоянных в зависимости от направлений ярко продемонстрированы в геометриях указательных поверхностей различных монокристаллов. В работе показано, что в случае совпадения только одной оси координат с направлением КГО количество необходимых значений технических постоянных в обобщенном законе Гука возрастает до семи. При этом объемная деформация сопровождается анизотропией давления, при равномерной объемной деформации отличие давлений во взаимно перпендикулярных направлениях для сплава ВЖМ8 составляет 22 %. Динамическое нагружение цилиндров моделируется методом конечных элементов.

Математическая модель упругого деформирования анизотропного материала

Динамическое нагружение анизотропного твердого тела моделируется в рамках механики сплошной среды с использованием уравнения неразрывности и уравнений движения [7] в трех-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 18-71-00062.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>