

УДК 539.3

О.И.Клявин (6 курс, каф. МПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф.

### КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ LiF-LiF:Mg<sup>2+</sup>

Цели работы: разработка пространственных (3-D) конечно-элементных (КЭ) моделей и исследование кинетики пространственного упруго-пластического деформирования слоистых монокристаллов (СМ) типа LiF-LiF:Mg<sup>2+</sup> с различной ориентацией армирующих слоев; построение кривых сжатия СМ; сравнение экспериментальных и теоретических (конечно-элементных) деформационных кривых сжатия.

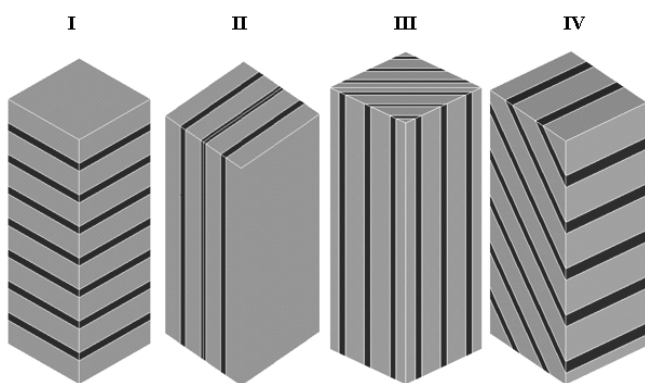


Рис. 1.

Рассмотрим 3-D КЭ модели 4-х типов слоистого монокристалла LiF-LiF:Mg<sup>2+</sup>, выращенных методом Степанова [1] (рис. 1). Геометрические размеры СМ – 4x4x12 мм для кристаллов типов I и II и 3x3x9 мм – для кристаллов III и IV. Ширина чистых слоев LiF – 1.162 мм, примесных LiF:Mg<sup>2+</sup> – 0.387мм.

Основные особенности слоев – одинаковая кристаллографическая ориентация компонентов с идеальной адгезией на границе раздела, равенство модулей упругости в каждой из фаз.

Упругие характеристики слоев (рис. 2): модули Юнга –  $E_x = E_{100} = 84.7$  ГПа,  $E_y = E_{010} = 87.5$  ГПа,  $E_z = E_{001} = 103.5$  ГПа; коэффициенты Пуассона –  $\nu_{12} = \nu_{13} = 0.31$ ,  $\nu_{23} = 0.385$ ; модули сдвига –  $G_x = G_{100} = 63.7$  ГПа,  $G_y = G_{010} = 30.5$  ГПа,  $G_z = G_{001} = 27.5$  ГПа.

Для моделирования пластических свойств СМ использована модель пластического материала с линейным упрочнением. Чистый слой LiF: предел текучести –  $\sigma_T^{\text{чистый}} = 3.0$  МПа,  $3\mu = 92.0$  МПа. Примесный слой LiF:Mg<sup>2+</sup> (содержание магния составляет 0,003%): предел текучести –  $\sigma_T^{\text{примесный}} = 21.4$  МПа,  $3\mu = 72.0$  МПа.

КЭ исследование механического поведения СМ выполнено с помощью программной системы КЭ анализа ANSYS [2]. Для КЭ моделирования применен восьмиузловой элемент с тремя степенями свободы в узле – компоненты вектора перемещения  $U_x, U_y, U_z$ .

В КЭ расчетах учтены ростовые нормальные остаточные напряжения  $\sigma_{ост}$ , противоположные по знаку в чистых и примесных слоях и ориентированные вдоль слоев. По своей величине  $\sigma_{ост}$  близки к оптическому пределу упругости чистых однородных кристаллов ~ 1.7 МПа [1].

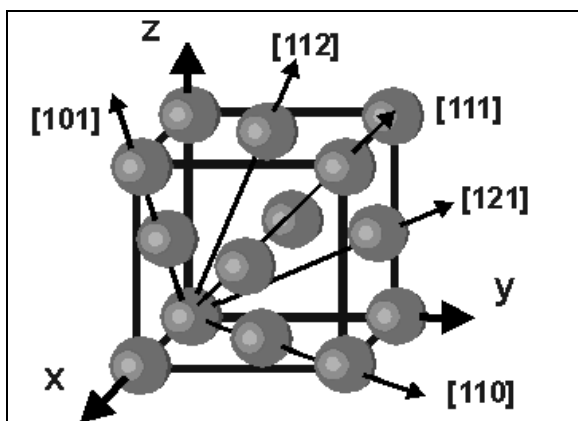


Рис. 2. Кристаллографические направления.

В результате вычислительного эксперимента получены распределения компонентов вектора перемещения, тензоров напряжений и деформаций при сжатии СМ давлением от 3 МПа до 21.4 МПа.

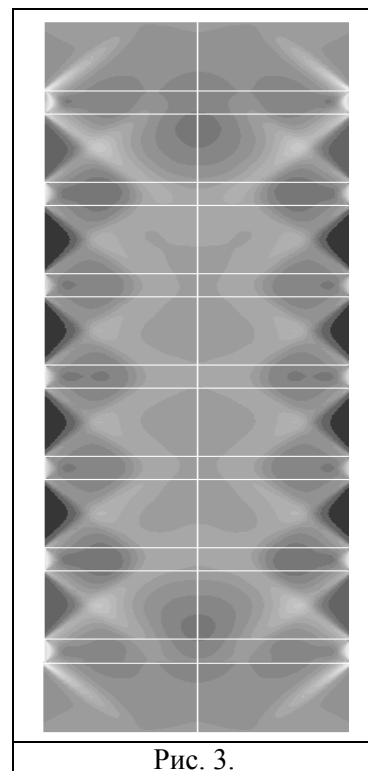
На рис. 3 представлен компонент тензора напряжений  $\sigma_z$  в начале процесса пластического деформирования СМ  $P = 3.4$  МПа. В кристаллах типов I и III наблюдаются полосы скольжения в четырёх кристаллографических плоскостях (011),  $(01\bar{1})$ , (101) и  $(10\bar{1})$ . Образцы типа II обнаруживают скольжение лишь по двум кристаллографическим плоскостям (011),  $(01\bar{1})$ .

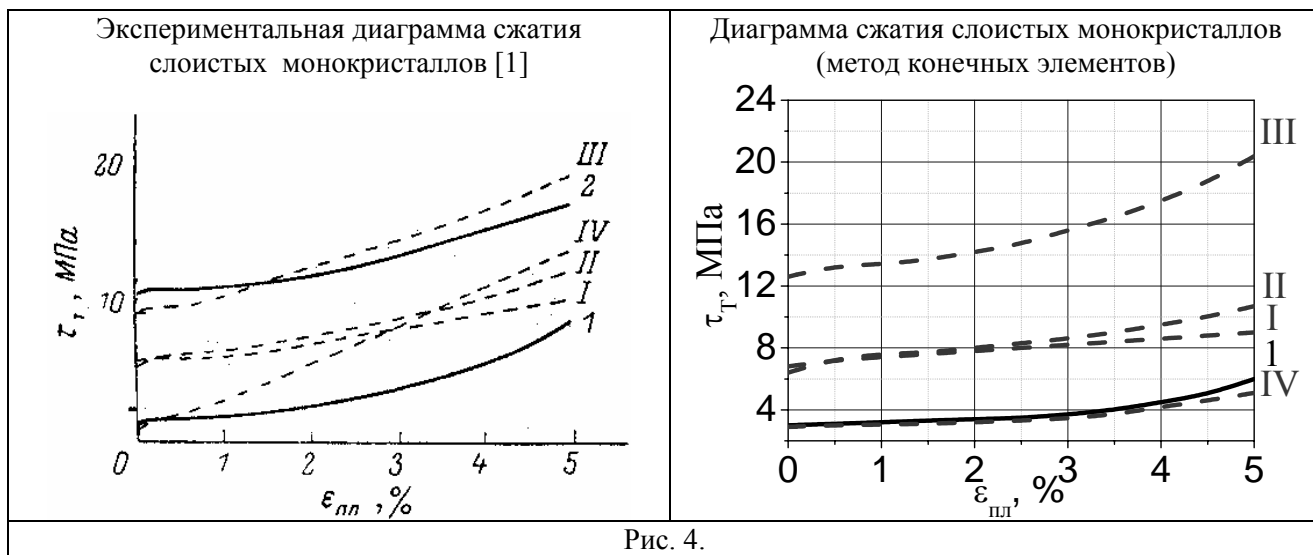
На рис. 4 приведены диаграммы сжатия СМ в направлении [001], штриховые линии – диаграммы СМ Li-LiF:Mg<sup>2+</sup> типов I-IV с различной ориентацией примесных слоев.

Выполненное детальное КЭ исследование физико-механических характеристик модельных СМ LiF-LiF:Mg<sup>2+</sup> позволяет:

- разработать принципы подбора исходной структуры матрицы, армирующего слоя и границ раздела;
- обосновать физико-механический критерий оценки и прогнозирования прочностных характеристик СМ;
- выработать практические рекомендации по изготовлению и использованию этих материалов.

В дальнейшем предполагается выяснить причины неполного совпадения экспериментальной и теоретической диаграмм сжатия СМ путем учета дополнительных особенностей напряженного состояния матрицы, возникающих в процессе развития ее дефектной структуры при пластическом деформировании.





ЛИТЕРАТУРА:

1. Никифоров А.В., Носов Ю.Г., Мухамеджанова М.Б., Клявин О.В., Антонов П.И. Пластические свойства слоистых монокристаллов Li-LiF:Mg<sup>2+</sup> // Физика твердого тела. 1987, т.29, в. 2.
2. ANSYS Theory Reference. ANSYS Inc.. Canonsburg, PA. USA. Eleventh edition. 1999. 1286 p. (см. также сайты [www.ansys.com](http://www.ansys.com), [www.fea.ru](http://www.fea.ru), [www.ansys.spb.ru](http://www.ansys.spb.ru))