

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически  
организованной структурой и интеллектуальные  
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

**ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СИНТЕЗА  
КОМПОЗИТОВ С ОКСИДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ  
С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

Князева А.Г., Крюкова О.Н.

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

Напряженно-деформированное состояние (НДС) играет большую роль при синтезе новых материалов. Явление изменения скорости и стадийности фазообразования при изменении условий синтеза известно и используется для управления процессом [1]. Однако особенности фазообразования при синтезе композитов в разных НДС изучены слабо. Цель данной работы состоит в теоретическом изучении особенностей синтеза композитов с оксидными включениями на основе связанной термо-механо-химической модели в условиях плоского напряженного состояния.

В модели предполагается, что компоненты тензоров напряжений и деформаций связаны с изменением состава посредством компонентов тензоров концентрационного расширения и концентрациями компонентов. Т.е. напряжения и деформации, вызванные изменением состава, учитываются дополнительно к термическим. Связанная модель синтеза композитов из порошков с двумя последовательно-параллельными реакциями предложена для условий управления процессом электронным лучом. Смесь порошков состоит из четырех условных компонентов: реагентов: X, продуктов, синтезируемых в первой реакции  $P_1, P_2$  (один из которых соответствует упрочняющим частицам), и конечного продукта P (который соответствует матрице). Соотношение скоростей реакций включает и соотношение между исходными реагентами.

В общем случае связанная модель включает уравнения кинетики, уравнение теплопроводности, уравнения движения и уравнение неразрывности. При условии, что компоненты смеси не плавятся, можно для качественного анализа ограничиться «упругим» приближением; реакции идут в твердой фазе; деформации считаются малыми; силами инерции также пренебрегаем. Задача о равновесии тонкой пластины, по поверхности которой бежит электронный луч, оказывается двумерной и соответствует условию плоского напряженного состояния. Задача решается численно в безразмерных переменных. Разработан специальный численный алгоритм. Для решения уравнения теплопроводности используется схема расщепления; уравнения кинетики решаем методом Эйлера; задачу о равновесии решаем методом релаксации. Последовательность решения такова: на каждом временном слое сначала находится распределение температуры и концентраций. При этом компоненты тензоров напряжений и деформаций «заморожены» и известны с предыдущего слоя по времени. Затем вычисляется функция состава и температуры, которая входит в уравнения механики как заданная функция координат и времени. Следующий шаг – нахождение напряжений и деформаций из задачи о равновесии, в которой «заморожены» состав и температура.

Если синтез композита идет с участием жидкой фазы, то в термокинетической модели требуется учесть плавление, а в термомеханической перейти к реологическим соотношениям иного вида. Например, можно перейти к модели вязкоупругого тела Максвелла, которая учитывает наличие как упругих свойств, так и вязких, или к модели, предложенной в [2].

*Работа поддержана фондом РФФИ, грант 20-03-00303.*

1. Третьяков Ю.Д. Твердофазные реакции. 1978. 360 с.
2. Евстигнеев Н.К., Князева А.Г. Выбор реологической модели для описания синтеза интерметаллида, совмещенного с экструзией через коническую пресс-форму // Вестник ПГТУ. Механика, 2010. - № 1. - С. 59-71.