

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 539.37

DOI: 10.17223/00213411/68/9/9

Влияние начальной плотности дислокаций на протекание процесса ползучести дисперсно-упрочненных материалов

О.И. Данейко^{1,2}, О.В. Матвиенко^{1,2}¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия² Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

С использованием математического моделирования проведено исследование влияния начальной плотности дислокаций на процесс ползучести дисперсно-упрочненных материалов с алюминиевой матрицей и некогерентной не-деформируемой упрочняющей фазой. Установлено, что на начальной стадии скорость деформации ползучести высока, затем по мере накопления дислокаций и уменьшения их подвижности следует быстрое снижение скорости деформации. При увеличении начальной плотности дислокаций величина мгновенной деформации уменьшается. Темп уменьшения мгновенной деформации увеличивается с ростом начальной плотности дислокаций.

Ключевые слова: математическое моделирование, пластическая деформация, дисперсно-упрочненные материалы, наноразмерные частицы, ползучесть.

Введение

Дисперсно-упрочненные алюминиевые сплавы широко применяются в различных отраслях промышленности и машиностроения, особенно в компонентах авиационных двигателей, где они подвергаются воздействию повышенных температур во время работы. Длительное воздействие повышенных температур на эти компоненты постепенно приводит к явлениям ползучести и релаксации [1]. Под явлением ползучести понимается процесс нарастания во времени деформации тела, нагруженного постоянно действующим напряжением. Такая деформация чаще всего мала, в зависимости от величины нагрузки и температуры она может с течением времени постепенно прекращаться или, наоборот, продолжаться до разрушения [2]. Поэтому при математическом описании ползучести необходимо учитывать, что характеристики материала, в первую очередь зависимость между напряжениями и деформациями, содержат время явно или посредством некоторых операторов [3].

За последние десятилетия были проведены многочисленные исследования деформации ползучести и факторов, которые влияют на срок службы материала при ползучести. Например, модель Ларсона – Миллера [4] используется для прогнозирования срока службы материалов при высоких температурах и постоянных уровнях напряжения. Она учитывает влияние времени, температуры и напряжения на деформацию ползучести. Однако модель имеет ограничение в своей способности точно прогнозировать условия ползучести, поскольку такие факторы, как состав материала, переменные нагрузки и переменная температура, которые влияют на срок службы материала при ползучести, не были учтены. В работе [5] предложена модель повреждения материала при ползучести, которая учитывает историю повреждения и эффект нагрузки для описания поведения деформации ползучести металлических материалов при переменных напряжениях и температурах. Однако эта модель неточно предсказывает деформацию ползучести в условиях высокой переменной температуры.

Основными факторами, влияющими на ползучесть алюминиевых сплавов, являются нагрузка и температура. Два важных параметра ползучести – деформация ползучести и скорость деформации ползучести – имеют тенденцию увеличиваться с температурой, как сообщалось в исследованиях [6–9]. В [10] проведено исследование ползучести дисперсно-упрочненных алюминиевых материалов с матрицей из чистого алюминия и наночастицами оксида алюминия при сжимающих нагрузках и высокой температуре. Установлено, что увеличение массовой доли частиц приводит к увеличению сопротивления ползучести. Механические свойства дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов с различными типами упрочняющих частиц и их объемными долями были исследованы в [11]. Для анализа ползучести были использованы теоретические концепции, основанные