МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ В СПЛАВАХ СО СВЕРХСТРУКТУРОЙ $L1_2$ *

Ю.В. Соловьева, О.Д. Пантюхова, В.А. Старенченко

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

В рамках математической модели дислокационной кинетики исследованы процессы деформационного формирования фрагментированной субструктуры в сплавах со сверхструктурой $L1_2$ с высокой и низкой энергией антифазных границ. Приведено описание уравнений математической модели. Рассчитаны зависимости от степени деформации средних размеров фрагментов (субзерен), плотность границ разориентации, кривые течения и зависимости скалярной плотности дислокаций от степени деформации. Проведено верификационное сравнение полученных теоретических зависимостей с экспериментальными данными, показавшее неплохое совпадение. Модель показывает, что механизмы самоблокировки сверхдислокаций приводят к затруднению процессов деформационной фрагментации в сплавах с $L1_2$ -сверхструктурой при умеренных температурах деформации. Проводится анализ влияния величины энергии антифазных границ на процессы деформационной фрагментации.

Ключевые слова: *пластическая деформация, математическое моделирование, $L1_2$ -сверхструктура, сверхдислокация, механизмы самоблокировки, точечные дефекты, плотность дислокаций, плотность границ разориентации, антифазные границы, фрагментация.*

Введение

Наноструктурирование металлических материалов с применением различных методов интенсивной пластической деформации [1, 2] является весьма перспективным способом формирования их практически значимых свойств [3]. В основе данных методик лежит деформационная фрагментация или измельчение исходной крупнокристаллической структуры металлических материалов [4–7]. Особый интерес представляет группа сплавов, обладающих способностью к атомному упорядочению с формированием сверхструктур различного типа [8]. Сверхструктура $L1_2$, формирующаяся на базе ГЦК-кристаллической решетки, представляет большой интерес, поскольку является основой жаропрочных суперсплавов [9, 10]. Выяснение природы механизмов деформационной фрагментации данного типа сплавов представляет большой научный и практический интерес. Хорошо известно, что повышенные температурные свойства суперсплавов определяются специфическими механизмами – механизмами самоблокировки сверхдислокаций, в результате которых образуются дислокационные барьеры Кира – Вильсдорфа и барьеры диффузионного типа [11, 12]. В ходе интенсивной пластической деформации металлических материалов происходит перестроение дислокаций в дислокационные стенки, вследствие чего возникают границы разориентации, образуются фрагментированные разориентированные субструктуры. Механизмы самоблокировки оказывают свое влияние на процессы деформационной фрагментации в упорядоченных сплавах и приводят к существенным отличиям от процессов деформационной фрагментации чистых металлов и разупорядоченных сплавов. Так, если в чистых металлах, обладающих высокой энергией дефекта упаковки, дислокации относительно легко могут изменять плоскость скольжения, то в упорядоченных сплавах движение дислокаций (сверхдислокаций) ограничено плоскостью скольжения. Перемещение сверхчастичных дислокаций, составляющих полную сверхдислокацию, из исходной плоскости скольжения приводит к самоблокировке сверхдислокации и образованию дислокационных барьеров. В этом случае перемещение сверхдислокаций в третьем измерении превращается из механизма разупрочнения материала в термически активируемый механизм упорочнения. Различные возможности перестроения хаотических дислокационных структур в неоднородные субструктуры по-разному сказываются на деформационных процессах превращения и измельчения дефектных структур в целом. Учесть особые микромеханизмы и проанализировать их влияние на деформационную фрагментацию сплавов со сверхструктурой $L1_2$ возможно в рамках исследования, основанного на построении математической модели кинетики накопления деформационных дефектов и проведении численного эксперимента.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEMN-2020-0004).

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>