

К теории пластичности аморфных и поликристаллических сред*Д.О. Фролов^{1,2}¹ Тульский государственный университет, г. Тула, Россия² ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка, Россия

Исследование посвящено, главным образом, аморфным материалам (в том числе поликристаллам) различной природы. Показано, что в модели пластичности Марченко – Мисбаха в случае возникновения в объеме материала растяжений или сжатий появляется дополнительное условие, касающееся положительной определенности диссипативной части полного лагранжиана. В результате такого эффекта в континууме может наблюдаться неупругое изменение плотности, которое, в свою очередь, может быть связано с перемещением вакансиоподобных дефектов, перераспределением их в структуре материала при его деформации. Отмечены изменения в уравнениях модели, возникающие в результате возможного залечивания имеющихся структурных несовершенств в исследуемом объеме или микроскопического скопления точечных дефектов в локальных областях материала. Получена поправка к уравнению Максвелла для вязкоупругих тел. Затронут вопрос о вычислении внутреннего трения на основе квадратичной формы, моделирующей пластичное поведение материала. Для механизма микроползучести в поликристаллах раскрыта природа реологического коэффициента η модели. На этой основе получена формула высокотемпературного фона внутреннего трения, контролируемого диффузией атомов примеси. На примере изучения ползучести Кoble установлено влияние размера зерна на фон внутреннего трения.

Ключевые слова: аморфное тело, формализм Лагранжа, квадратичная форма, диссипативная функция, пластичность, теорема Сильвестра, внутреннее трение, реология, поликристалл.

Введение

Считается, что пластическая деформация – это «функция» процесса деформирования материала. То есть даже при малых деформациях в материале может проявляться это удивительное свойство – пластичность. Физическая картина пластичности пока полностью не раскрыта [1], особенно это касается аморфных материалов. Поэтому исследование пластичности в различных по своей природе материалах (аморфных, поликристаллических) представляет сегодня большую научную задачу.

В 2011 г. В.И. Марченко и Шоки Мисбах [2] опубликовали интересную модель пластичности аморфных материалов в рамках механики сплошной среды. Авторам удалось построить теорию не прибегая непосредственно к понятию дислокации. Это дает возможность взглянуть на поведение пластичного материала в общих терминах, характеризующих обычную кинематику и динамику пластичности. Реологические свойства материала учитываются в модели посредством коэффициентов, вводимых на континуальном уровне. Наряду с упругими свойствами, предложенная модель учитывает вязкие и пластичные характеристики материала. То есть диссипативная функция дается суммой функции Рэлея и квадратичной формы, отвечающей за пластичность. Однако построенная авторами модель предложена для сплошной среды, в которой след тензора пластической дисторсии тела, образованной как разность полной и упругой дисторсии, $\omega_{kk}^{pl} = 0$. Данное ограничение [3, § 29] справедливо до тех пор, пока пластическое течение происходит без растяжений или сжатий, тем самым идеализируя материальный континуум. Представить себе такую ситуацию (особенно при нагревании материала) достаточно трудно, поскольку неоднородная деформация может сопровождаться образованием условий для возникновения областей растяжения или сжатия в силу неоднородности поля напряжений, а также перемещением точечных дефектов в объеме, что, в свою очередь, может приводить к неупругому изменению плотности, изменению демпфирующей способности материала или росту высокотемпературного фона внутреннего трения [4].

Если ввести для описания процесса пластической деформации тензор плотности пластического потока $j_{ik}^{pl} = -\dot{\omega}_{ik}^{pl}$, то развитие пластичности (а на начальном этапе – микропластичности [5]) может, как мы думаем, и приводить к ситуации, характеризуемой ненулевым следом $j_0 = j_{kk}^{pl}$.

* Работа выполнена по теме Государственного задания FFSG-2024-0016, № государственной регистрации 124020500064-2.