

НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ФРАГМЕНТАЦИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ КАК ПРЕДВЕСТНИКА РАЗРУШЕНИЯ

Аэро Э. Л., Булыгин А. Н.

Институт проблем машиноведения, РАН, Санкт-Петербург, Россия
aero@microm.ipme.ru

Развита существенно нелинейная теория упругих и неупругих микромикродеформаций на основе модели взаимно проникающих подрешеток. Дано обобщение известной теории акустических и оптических колебаний на случай нелинейного взаимодействия подрешеток. Последнее вводится с учетом внутренней трансляционной симметрии сложной решетки, восстанавливающей свою структуру в результате взаимного смещения подрешеток на один период и более. Это позволяет рассматривать силы взаимодействия подрешеток как периодические (например, синусоидальные) функции относительного смещения подрешеток. Нелинейные уравнения акустической и оптической моды движения оказываются связанными, что позволяет учесть влияние макроскопических деформаций на микроскопические, т.е. на структуру решетки. Теория справедлива и в случае больших взаимных смещений атомов, превышающих период. Поэтому допустимо рассматривать такие критические явления как катастрофические деформации, фазовые переходы, образование дефектов, фрагментацию решетки. Найдено точное решение, описывающее фрагментацию начально идеальной решетки – образование доменной, блочной суперструктуры в поле критических напряжений. Блоки слегка развернуты друг относительно друга в разные стороны и разделены системой линий скольжения и ортогональной системой малоугловых границ. Последние образуются рядами дислокаций, возникших в процессе фрагментации. Размеры блоков уменьшаются с ростом напряжений вплоть до потери устойчивости всей суперструктуры.

ОБ ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЙ РОЛИ МИКРОПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ В НЕОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Кисель В. П.

Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Россия
kisel@issp.ac.ru

Недавние работы [1-3] показали, что любые структурные или физико-химические превращения в твердых телах, жидкостях, расплавах, газах и биологических тканях (БТ) при воздействии активных веществ, росте – размножении клеток БТ, ферментации – денатурации белков, изменении давления, температуры и концентрации примесной фазы (включая полимодальную концентрационную зависимость влияния химически активных веществ при обычных и сверхмалых дозах), кристаллизации из расплава или аморфного состояния, облучении или деформации любой природы, дроблении – агломерации фаз, окислении – восстановлении, адсорбции – десорбции, электрохимическом

осаждении – растворении, диффузии и проводимости, освещении и электромагнитном облучении, мартенситных и структурных превращениях и т.д. определяются механизмами микропластической деформации (ММД) на границах фаз. Любые реальные вещества, включая БТ (ДНК, РНК, клетки), твердые растворы, стекла, жидкости (расплавы, вода и т.д.), газы исходно содержат кластеры или микровключения других фаз, химически и структурно отличающиеся от матрицы. Напряжения на границах различных структур, возникающих из-за несоответствия фаз, а также внешние воздействия стимулируют рост или растворение фаз за счет их пластической (структурной) деформации [1-3]. Наглядной, но с некоторыми ограничениями иллюстрацией этих и обсуждаемых ниже процессов является облегченная деформация свежеснеженных снежинок, способствующая их слипанию и примерзанию к лыжам при повышенных температурах, что сильно затрудняет скольжение последних. Упрочнение снега за счет понижения температуры или предварительной деформации, устранение воды с кластерами - зародышами льда [3] с поверхности лыж практически полностью препятствуют налипанию снега и обеспечивают их легкое скольжение. Такие же фазовые перестройки (структурирование матриц) происходят и при изменениях температуры, давления, скорости течения, концентрации новых фаз, определенной преддеформации различного происхождения в твердых телах (при отжиге, сверхпластичности, зернограничном проскальзывании и т.д.), растворах, расплавах и реологических жидкостях, газах (включая сверх-текучесть) [3], формировании и протекании (скольжении) в них ионного и электронного токов (включая сверхпроводимость органических и неорганических структур) [1], когда заряд и деформированную вокруг него область матрицы можно уподобить свежеснеженной снежинке. Важнейшими проявлениями контролирующей роли механического упрочнения – разупрочнения в структурных фазовых переходах являются формирование и рост концентрации делокализованных носителей заряда (например, электронов или вакансий), благодаря оборванным связям в твердых телах [1,3,4], БТ (аминокислотах, пептидах, белковых препаратах, росте и размножении клеток БТ и т.д.) [5,6]. Другим важнейшим подтверждением такого подхода является исключительное сходство спектров ЭПР и динамики развития их тонкой структуры в растущей культуре клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* [6] и в деформационном разупрочнении кристаллов NaCl с примесью Eu при магнитопластическом эффекте (МПЭ) [4]. Примечательно также, что спектр разупрочнения кристаллов NaCl с примесями Eu, Са практически полностью совпадает со спектром ЭПР при МПЭ. При этом g-факторы пиков разупрочнения дискретно уменьшаются с ростом постоянного поля В [4], как это и должно быть при движении дислокаций со ступеньками, сопровождающемся дискретным снижением высоты двойного поперечного скольжения дислокаций и соответствующим рождением кластеров вакансий все меньшего размера в виде тривакансий, бивакансий, вакансий и их смесей при развитии деформации кристаллов [7]. Это согласуется и с решающей ролью типичного деформационного упрочнения – разупрочнения не только разных материалов [1], но и различного типа решеток в проводимости веществ, включая магнитные вихревые решетки в сверхпроводниках II рода, о чем свидетельствуют исследования влияния температуры и магнитного поля В на возникновение и разрушение сверхпроводимости в MgB_2 [8]. Важно подчеркнуть, что описание проводимости с помощью упрочнения матрицы вокруг электронов соответствует усилению фонон – фононного взаимодействия электронов в БКШ теории сверхпроводимости, поскольку фононные механизмы напрямую связаны с деформацией матрицы [7].

Список литературы

1. Kisel V.P., preprint cond-mat/0009246 at <http://xxx.lanl.gov> (2000); XXXII Всеросс. совещ. по физ. низких темп., Казань, 3-6.10.2000. Тез. докл. ЛТр24, с.112-113; ССр64, с. 167-168.

2. Кисель В.П. В сб.: Всеросс. конф. "Дефекты структуры и прочность кристаллов", Черногловка, РАН, 4-7.06.2002, с. 29.
3. Кисель В.П. В сб.: "Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты". Сб. научных трудов. Вып. 10. М., РАЕН, 2003, с. 183-196.
4. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б., Иванов В.Е., Дмитриевский А.А. ЖЭТФ, 1999, т. 117, No 6, с. 1080-1093.
5. Блюменфельд Л.А., Калмансон А.Э. ДАН СССР, 1957, т. 117, No 1, с. 72-74.
6. Самойлова О.П., Цалин А.И., Блюменфельд Л.А. Биофизика, 1995, т. 40, вып. 2, с. 383-388.
7. Kissel N.S. and Kisel V.P. Mater. Sci. Eng. A, 2001, v. 309-310, p. 97-101.
8. Kisel V.P. and Barkov T.L., preprint cond-mat/004.... at <http://xxx.lanl.gov> (2004) - в печати.

UNIVERSAL MECHANISMS OF PLASTICITY AND FRACTURE IN CRYSTALS AND ORGANIC POLYMERS UNDER CONVENTIONAL AND SHOCK-WAVE STRESSES

Valery P. Kisel

Institute of Solid State Physics, Chernogolovka, Moscow district, RUSSIA
kisel@issp.ac.ru

The effect of applied compressive/extension stresses, s ($s = 0.6S$ to $95S$, where S is the resolved shear stress) and stress rates (10 to 10^6 MPa/sec) on dislocation dynamics was investigated in pure NaCl and InSb single crystals in the temperature range $T = 4 \cdot 10^{-3}$ to $0.945 T_{\text{melt}}$, T_{melt} is the melting point. The general damping character of dislocation unpinning, motion and multiplication (work hardening of crystals, WH) under creep and interrupted loadings manifests in the ultimate mean path lengths of individual dislocations (UMPID). Having covered a certain UMPID determined by crystal prehistory and constant test parameters (creep regime), the dislocations exposed to successive exhausting acts of multiplication and fracture thus forming point defects, the slip lines, slip bands, subgrains, grain boundaries, nano- and microcracks, macrocracks in series in all the materials [1-2].

The first important finding of this work is the fact that the dependences of the UMPID versus creep, impulse, impact and shock wave stresses, temperature and impurity concentration are topologically similar to the conventional macroscopic strain-stress WH curves for the same crystals and test parameters. As for microscopic stresses for dislocation motion and multiplication the concentration dependences of flow stresses under fixed strains or fracture stresses at low and ultra-low temperatures and strain rates [2-4] are similar to the same dependences of impact/shock wave stresses and stress rates at normal and elevated temperatures [4-6]. The climb, dislocation cross-slip and athermal bowing mechanisms are confirmed by the same so-called "memory effect" at low (Figs 23-24 in [7]) and ultra-high ($s \sim 95S$, [8]) stresses and stress rates, because dislocation dipoles are left in the wake of expanded dislocation loops along the whole deformation WH - curve. This means that THE SAME MICROMECHANISMS GOVERN THE DYNAMICS OF INDIVIDUAL DISLOCATIONS AND MACROSCOPIC FLOW up to the values of flow in nanostructured (NSC) and fractured crystals.

The second important finding is that the micro-/macro-WH varies nonmonotonously to crystal softening according to the pulse length of the unloadings (restore time), and these dependences are the same for micro-/macroscopic flow up to the extremely high values in NSC crystals [9] and fractured oriented polymers [10]. The last fact and the similarity of the other