Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Е. А. Амосов, Некоторые особенности поведения металлов и сплавов в неравновесных условиях, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2002, выпуск 16, 198–199

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu123>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.197.130.99

26 апреля 2023 г., 13:38:09

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В НЕРАВНОВЕСНЫХ УСЛОВИЯХ

Выявлен ряд общих закономерностей поведения металлов и сплавов в различных неравновесных условиях, таких, как электроосаждение, быстрая закалка, пластическая деформация и т.д. Отмечено некоторое сходство в поведении атома и кристаллического тела (металла и сплава).

В последние десятилетия в материаловедении активно используется синергетический подход к изучению особенностей поведения различных материалов в условиях разнообразного внешнего воздействия. С точки зрения синергетики твердое тело представляет собой открытую систему, которая может обмениваться веществом, энергией и энтропией с окружающей средой. В ходе обмена в твердом теле (в частности в металлах) могут образовываться различные типы структур, существующих в определенном диапазоне параметров процесса обмена. Появление таких структур носит название самоорганизации, а сами структуры называются неравновесными, так как, по современным представлениям, они образуются в системах, далеких от термодинамического равновесия [1,2]. Если возникающие неравновесные структуры стремятся свести к минимуму производство энтропии внутри системы, то они называются диссипативными. С точки зрения синергетики такие структуры являются механизмами рассеяния поступающей в систему энергии. В данной работе сделана попытка выделить некоторые общие закономерности возникновения диссипативных структур в металлах, находящихся в различных неравновесных условиях.

Неравновесные условия могут быть созданы путем осаждения из раствора или распыления с катода, а также методом внешнего нагружения образцов с помощью прокатки, взаимодействия в паре трения и другими способами. Эксперименты, проведенные различными авторами с металлическими образцами, позволили установить следующие закономерности.

1. В случае пластической деформации Ni, а также при его электроосаждении, возникают одни и те же типы структур: слоистые, мелкокристаллические ($d \sim 1-100$ мкм), аморфные, фрагментированные, ячеистые, полосовые и с вытянутой формой зерна [3,4]. При быстрой закалке расплава Cu-Ni, а также при электроосаждении Ni и Cu наблюдались сферическая и мелкозернистая структуры [3,4]. Если медь подвергнуть пластической деформации или провести ее электроосаждение, то возможно появление ячеистой, полосовой и мелкокристаллической ($d \sim 1-100$ мкм) структур. В различных неравновесных условиях в Cu и Ni отмечено появление двойников [4,5] и квазикристаллов с осью симметрии 5-го порядка [4], дендритов [3], метастабильной ГПУ фазы [6]. В работе [7] отмечена идентичность аморфных фаз, образующихся при сверхбыстрой закалке, ионном облучении и дроблении порошков некоторых сплавов в аттриторе.

2. При достижении за счет пластической деформации величины плотности дислокаций $\rho \sim 10^{10} \text{ см}^{-2}$ в деформируемых металлах происходит переход от единичных дислокаций к коллективным эффектам, а именно, формирование ячеистой дислокационной структуры [3]. В работе по изучению электроосажденных Ni и Cu также отмечалось, что плотность дислокаций достигает $\rho \sim 10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-2}$, после чего из отдельных дислокаций формируются сетки, стенки, границы и сплетения [4]. Заметное торможение скорости роста дислокаций, а затем и прекращение их размножения при возрастающей внешней нагрузке наблюдалось при взаимодействии металлов в паре трения, если плотность дислокаций достигала $\rho \sim 10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-2}$ [8].

3. Установлено [3], что возникновение диссипативных структур при пластической деформации зависит не от способа нагружения металла, а от количества подводимой к системе энергии. В случае электроосаждения характер возникающих структур также, по-видимому, связан с

энергией процесса, так как отмечена зависимость типа структур от силы электрического тока и температуры электролита [4].

4. В работах по синергетике отмечается, что переход от одного типа структур к другому (т.е. смена механизма диссипации подводимой энергии) происходит скачкообразно, если параметр, управляющий процессом перестройки системы, достигает критического значения [3]. Предполагается, что у термодинамического потенциала кристалла при наличии внешнего поля может быть целый спектр метастабильных состояний [9].

5. Легирование металлов и наличие примесей могут заметно изменить свойства структур, формирующихся при пластической деформации, электроосаждении и формировании покрытий [3,4]. Увеличение концентрации примесей приводит к появлению новых типов структур [5].

6. Возникающие при пластической деформации и электроосаждении структуры нестабильны и могут изменяться при последующем отжиге или прекращении процесса трения [3,4,10].

7. С точки зрения мезомеханики существует 3 уровня диссипации упругой энергии: микро-, мезо- и макроуровень [9]. На микроуровне диссипация связана с вакансиями, дислокациями и диклинациями, а на мезоуровне – с движением мезообъемов как целых частей.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно предположить следующее:

а) металл или сплав (как система) имеет определенный набор метастабильных самоорганизующихся диссипативных структур (аналогично набору уровней энергии у атома);

б) "включение" того или иного механизма диссипации зависит от количества упругой энергии; смена механизма диссипации происходит скачкообразно (система переходит с одного уровня на другой);

в) "включение" механизма диссипации зависит также от наличия примесей (по аналогии с разрешенными и запрещенными переходами между уровнями энергии атома);

г) вероятно, при определенной концентрации примесей у металла появляются новые способы самоорганизации диссипативных структур (появляются дополнительные уровни или подуровни);

д) переход от микромеханизмов диссипации энергии к мезомеханизмам происходит при плотности дислокаций $\rho \sim 10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-2}$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядочению через флуктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.
2. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 400 с.
3. Иванова В.С. и др. Синергетика и фракталы в материаловедении. М.: Наука, 1994. 383 с.
4. Сарафанова В.А. Структурные особенности и повышение термической стабильности электроосажденных металлов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тольятти, 2001. 16 с.
5. Мерсон Д.Л. Физическая природа акустической эмиссии при деформационных процессах в металлах и сплавах. Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Барнаул, 2001. 35 с.
6. Амосов Е.А. и др. Структура и магнитные свойства тонких пленок Ni, содержащих гексагональную и кубическую // Поверхность. 1994. №5. С. 119-125.
7. Skakov Yu.A, Diakonova N.P., Edneral V.N. et al. // J. Mater. Sci. and Eng. A. 1991. Vol. 133. P. 560-564.
8. Чихос Х. Системный анализ в трибонике. М.: Мир, 1982. 351 с.
9. Панин В.Е. и др. Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск: Наука, 1985, 226 с.
10. Тушинский Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов. Новосибирск: Наука. Сиб.отд., 1990. 303 с.