Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. А. Путилин, А. М. Штеренберг, Определение коэффициента массопереноса меди в никеле при короткоимпульсном лазерном воздействии, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 157–158

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu294>

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: 54.197.217.227

26 апреля 2023 г., 13:47:49

11. *Noskova N.I., Volkova E.G.* In situ Investigations of Deformation in Nanocrystalline Fe_{73.5}Cu₁Nb₃Si_{13.5}B₉ Alloy // Physics of Metals and Metallography. 2001. V. 92. №4. P. 421-425.
12. *Noskova N.I.* Structural Features, and Mechanisms of Deformation of Nanocrystalline Materials // J. Phys. Metals and Metallography. 2002. Suppl. V.94. P.S119-S130.
13. *Носкова Н.И.* Образование мезоскопического деформационного сдвига в нанокристаллических материалах.// Вопросы материаловедения. 2002. №1(29). С. 309-313.
14. *Noskova N.I., Korznikov A.V.* Plasticity and Fracture of Nanostructured Materials // J. Phys. Metals and Metallography. 2002. Suppl. V.94. P.S24-S29.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Р Урал № 01-03-96436 и Р Урал № 02-02-96413

УДК 539.21

В.А. Путилин, А.М. Штеренберг

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МАССОПЕРЕНОСА МЕДИ В НИКЕЛЕ ПРИ КОРОТКОИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Рассчитан коэффициент массопереноса меди в никеле при интенсивном лазерном облучении.

Изучение структурных изменений, происходящих в кристаллических твердых телах при прохождении по ним лазерно-индуцированных ударных волн, имеет фундаментальное значение для физики твердого тела. [1,2] Однако высокоскоростные методики исследования, позволяющие фиксировать изменения структуры материалов в процессе ударного деформирования, еще весьма несовершенны. В связи с этим возникает необходимость теоретического анализа процессов, происходящих в металлах, подвергнутых облучению короткими импульсами лазера. Для решения этой задачи большое практическое и теоретическое значение имеет определение кинетических параметров, в том числе коэффициента массопереноса.

Экспериментально исследовался массоперенос меди в никеле [3,4]. Образцы из технической чистого никеля после предварительной полировки и отжига в вакууме покрывались слоем меди толщиной ~1 мкм посредством вакуумного напыления. После этого их со стороны слоя меди подвергали воздействию моноимпульсов рубинового лазера с модулированной добротностью. Плотность мощности поглощенного излучения составляла 10⁹-10¹⁰ Вт/см², а длительность импульса – 30 нс. При этом давление в лазерно-индуцированных ударных волнах составило ~20 ГПа. Скорость нагружения оценивалась как ~10⁷ с⁻¹.

После облучения образцы разрезались по диаметру пятна для исследования приповерхностных слоев в зоне воздействия. С целью исключения возможного шаржирования поверхности микрошлифа частицами меди в процессе механического полирования проводилась дополнительная химическая полировка поверхности микрошлифа.

Был осуществлен количественный микрорентгеноспектральный анализ распределения меди в никеле по глубине облученной зоны на микроанализаторе «Суперпроб-739». В образцах, после лазерного воздействия, была выявлена зона твердого раствора меди в никеле. В распределении меди наблюдается четко выраженный максимум на глубине около 80 мкм от поверхности, а полная глубина проникновения атомов меди была порядка 300 мкм.

Наличие концентрационного пика в распределении меди в никеле указывает на то, что перенос вещества осуществляется непосредственно фронтом лазерно-индуцированной ударной волны. Приближенный расчет показывает, что за время лазерного импульса (τ=30 нс) фронт ударной волны (скорость υ>6·10³ м/с) переместится на расстояние ℓ>180 мкм. Глубина залегания концентрационного пика меди в никеле имеет тот же порядок величины.

Оценка коэффициента массопереноса по формуле

$$D = \frac{z^2}{4t}, \quad (1)$$

где z - максимальная глубина проникновения меди в никель, t - время пробега по толщине образца лазерно-индуцированной ударной волны ($t \sim 1$ мкс), показывает, что он имеет аномально высокое значение ($D \approx 0,023$ м²/с). Можно предположить, что при определенных скоростях

воздействия диффузионный механизм массопереноса сменяется на бездиффузионный, который определяется свойствами той среды, в которой он осуществляется.

Массоперенос в ударных волнах – явление кооперативное, сдвиговое, осуществляющееся с макроскопическими скоростями. На процессы, протекающие в средах с макроскопическими скоростями, начинают действовать силы внутреннего трения, иначе говоря, силы вязкого сопротивления. В твердых кристаллических телах это, прежде всего, силы сдвиговой вязкости, в результате действия которых возникают напряжения, определяемые по формуле

$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (2)$$

где σ - сдвиговое вязкое напряжение, η - сдвиговая вязкость, $\frac{d\varepsilon}{dt}$ - скорость относительной деформации.

Учитывая, что $\eta = \nu \rho$, где ν - кинематическая вязкость, а ρ - плотность среды, а также допуская, что σ имеет тот же порядок величины, что и P – давление в среде (в данном случае давление во фронте лазерно-индуцированной ударной волны, поскольку напряжения в среде вызваны прохождением ударной волны), то можно записать:

$$P \sim \nu \rho \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (3)$$

Если массоперенос во фронте ударной волны происходит путем кооперативного сдвига, то коэффициент массопереноса перестает определяться диффузионной подвижностью атомов, а будет определяться свойствами среды (её кинематической вязкостью ν), и аномально высокий коэффициент массопереноса может быть оценен из соотношения:

$$D \sim \nu \sim \frac{P}{\rho \frac{d\varepsilon}{dt}}. \quad (4)$$

Подставляя в формулу (4) значения $\rho = 8,9 \cdot 10^3$ кг/м³, $\dot{\varepsilon} = 3,3 \cdot 10^7$ с⁻¹, $P = 20$ ГПа, находим $D = 0,067$ м²/с, близкое к значению, полученному по формуле (1), что подтверждает правомерность предложенной модели.

Таким образом, можно сделать вывод, что коэффициент массопереноса меди в никеле при ударном лазерном нагружении определяется вязкими свойствами сред.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косевич А.М. Основы механики кристаллической решетки. М.: Наука, 1972. 280с.
2. Мазанко В.М., Погорелов А.Е. Аномальный массоперенос циркония в α -железе при короткоимпульсном лазерном облучении // Металлофизика. 1986. Т.6. В.4. С.108-109.
3. Бекренев А.Н., Камашев А.В., Путилин В.А. Массоперенос в металлах при короткоимпульсном лазерном воздействии // Письма в ЖТФ. 1993. Т.19. В.13. С.14-15.
4. Путилин В.А., Штеренберг А.М. Массоперенос в металлах под давлением коротких импульсов лазера // Вестник СамГТУ. Серия: Физ-мат науки. 1999. Вып. 7. С.185-187.

УДК 536.77:546.3-19

Р.Н. Ростовец

МЕТОД МГНОВЕННОГО ФИКСИРОВАНИЯ ЭДС В ТЕРМОДИНАМИКЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Обоснована актуальность экспериментального исследования термодинамических характеристик металлических сплавов. Изложены принципиальные основы, преимущества и недостатки метода электродвижущих сил и его варианта – метода мгновенного фиксирования ЭДС (МФЭ). Показано успешное применение метода МФЭ для исследования термодинамических свойств твердых металлических (в том числе, неравновесных) сплавов при низких температурах.

Методы термодинамики дают возможность наиболее рациональным путем найти ответ на многие вопросы, связанные с фазовыми или химическими превращениями веществ. При помощи этих методов удастся сделать выводы о природе химической связи, проанализировать условия протекания того или иного процесса, определить границы устойчивости различных мате-