

01:05:07

©1994

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕННОГО МАССОПЕРЕНОСА В МЕТАЛЛАХ ПРИ КОРОТКОИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А.Н.Бекренев, А.В.Камашев

В одной из недавних публикаций [1] рассмотрен вопрос об ускоренном массопереносе в металлах при короткоимпульсном лазерном воздействии. Отмечалось, что в настоящее время нет общепринятой точки зрения на механизм и, следовательно, методике определения коэффициента ускоренного массопереноса в кристаллических телах. Традиционный подход, основанный на решении уравнений диффузии, дает "аномальные" с позиций обычной диффузии значения коэффициента массопереноса.

В настоящем письме предлагается подход, основанный на иных принципах. Поскольку в [1] экспериментально доказано, что массоперенос меди в никеле и углерода в железе при воздействии короткого (длительностью $\tau = 30$) нс лазерного импульса с плотностью мощности $\sim 10^9$ Вт/см² осуществляется в лазерно-индуцированных ударных волнах [2], то значения коэффициентов массопереноса должны быть непосредственно связаны с параметрами ударной волны, инициируемой в материале [3,4].

Следует отметить, что при массопереносе, обусловленном обычной диффузией, мигрирующие атомы преодолевают лишь силы межатомного взаимодействия, имеющие небольшой радиус действия. При массопереносе на макроскопические расстояния в ударных волнах большое влияние на кинетику массопереноса оказывают свойства среды. При этом переносимые атомы, имеющие разные диаметры и массы, мигрируют в подобных условиях на примерно одинаковые расстояния [5]. Макроскопические масштабы такого массопереноса позволяют говорить о том, что движение атомов в поле ударной волны представляет собой как бы движение единого целого, преодолевающего силы внутреннего трения среды. Затухающий характер такого движения определяется вязкими свойствами среды. При этом напряжения от ударной волны определяются как

$$\sigma = \eta \dot{\epsilon}, \quad (1)$$

где η — вязкость среды; $\dot{\epsilon}$ — скорость относительной деформации.

В первом приближении можно принять, что давление во фронте ударной волны P пропорционально σ . Поэтому с учетом того, что

$$\eta = \nu\rho, \quad (2)$$

можно записать

$$P \sim \nu\rho\dot{\epsilon}. \quad (3)$$

Здесь ν и ρ — соответственно кинематическая вязкость и плотность среды.

Так как ранее нами было установлено, что ускоренный массоперенос в металлах осуществляется во фронте лазерно-индуцированной ударной волны, т.е. скорость его фактически совпадает со скоростью переноса импульса, то мы считаем, что аномально высокий коэффициент массопереноса D по порядку величины должен быть близок к коэффициенту кинематической вязкости среды ν . Оба коэффициента имеют одинаковую размерность. С учетом этого можно записать

$$D \sim \nu \sim \frac{P}{\rho\dot{\epsilon}}. \quad (4)$$

Произведем оценку коэффициента ускоренного массопереноса по формуле (4). Используя значения давления в лазерно-индуцированной ударной волне $P \sim 20$ ГПа, скорость нагружения $\dot{\epsilon} \sim 10^7$ с⁻¹ [4], плотность железа $\rho = 7.8 \times 10^3$ кг/м³, получим коэффициент массопереноса углерода в железе $D \sim 0.25$ м²/с. Экспериментально полученное значение $D \sim 0.1$ м²/с [1,6], что подтверждает правомерность предложенной модели массопереноса при короткоимпульсном лазерном воздействии.

Список литературы

- [1] Бекренев А.Н., Камашев А.В., Путилин В.А. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 13. С. 14–15.
- [2] Анисимов С.И., Имас Я.А., Романов Г.С. и др. Действие излучения большой мощности на металлы. М.: Наука. 1970. 272 с.
- [3] Мазанко В.Ф., Погорелов А.Е. // Металлофизика. 1984. Т. 6. В. 4. С. 108–109.

- [4] *Анисимов С.И., Кравченко В.А.* Ударная волна в конденсированном веществе, вызванная кратковременным импульсом давления. Препринт. Инст. теоретической физики. Черноголовка. 1984. 15 с.
- [5] *Кристал М.А., Жуков А.А., Кокора А.Н.* Структура и свойства сплавов, обработанных излучением лазера. М.: Металлургия, 1973. 192 с.
- [6] *Путилин В.А.* // Тр. XIII Междунар. конф. по физике прочности и пластичности металлов и сплавов. Самара, 1992. С. 292.

Самарский государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
8 декабря 1993 г.
