

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ В ПОВЕРХНОСТЬ МИШЕНИ С ПОКРЫТИЕМ

Е.С. Парфенова

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. А.Г. Князева
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: Linasergg@mail.ru

В настоящее время исследования процесса поверхностной обработки материалов потоками заряженных частиц ведутся достаточно активно. Благодаря этим методам возможно управление составом и структурой, а, следовательно, и поверхностными свойствами материалов. Несмотря на накопленные экспериментальные и теоретические данные, возможности метода ионной имплантации в полной мере не реализованы, что связано с недостаточным пониманием физических процессов, протекающих в твердом теле при облучении [1].

В процессе внедрения имплантата в поверхность подложки, одновременно с диффузионными процессами протекают и другие явления. Например, вследствие удара частиц о поверхность генерируются механические возмущения, возникают структурно-фазовые изменения, генерируются точечные дефекты и т.д. Все перечисленные явления оказывают влияние друг на друга, поэтому при моделировании процесса ионной имплантации необходимо учитывать это для получения качественных результатов.

В литературе встречаются исследования особенностей термоупругих волн, вызванных воздействием высокоэнергетических источников на поверхности материалов. Но стоит отметить, что редко используются связанные модели ионной имплантации, в которых учитываются процессы, связанные с различием свойств основного материала и внедряемых элементов; с диффузионными явлениями и с физико-химическими явлениями. В работе [2] показано, что взаимовлияние механических и диффузионных волн приводит не только к затуханию волны деформаций (и напряжений) и искажению ее профиля, но и дает распределение концентрации, не соответствующее чисто диффузионному процессу.

Цель настоящей работы – исследовать начальную стадию процесса ионной имплантации в поверхность подложки при учете наличия внутренней границы раздела. На пути движения имплантируемой примеси могут встретиться внутренние поверхности, разделяющие зерна одной фазы или области с различной ориентацией структуры, также это может быть граница разделяющая покрытие от материала подложки. Это приводит к изменению скорости распространения механической волны при переходе через границу. Как следствие, изменяется скорость концентрационной волны.

Если учесть, что генерируемые напряжения упругие, скорости, ускорения и деформации малы, то для описания процесса внедрения примеси в поверхностный слой металла в случае одноосного нагружения необходимы уравнение баланса массы, уравнение теплопроводности и уравнение движения. Предположим, что на поверхности мишени (материал A) имеется тонкий слой другого материала (B). Таким образом, можно говорить о двух средах с разными свойствами.

Наличие внутренней границы приводит к появлению параметров модели, характеризующих отношение свойств материала покрытия и основного материала:

$$\delta = \frac{E_B}{E_A}, \quad \Delta\alpha_T = \frac{\alpha_{TB}}{\alpha_{TA}}, \quad \alpha_{BA} = \frac{\Delta\alpha_B}{\Delta\alpha_A}, \quad \Delta\rho = \frac{\rho_B}{\rho_A}, \quad \Delta\lambda = \frac{\lambda_{TB}}{\lambda_{TA}}, \quad \Delta C_\sigma = \frac{C_{\sigma A}}{C_{\sigma B}},$$

где E_k – модуль упругости, α_{Tk} – коэффициент теплового расширения, $\Delta\alpha_k$ – разность коэффициентов концентрационного расширения внедряемого элемента и материала подложки, ρ_k – плотность, λ_{Tk} – теплопроводность, $C_{\sigma k}$ – удельная теплоемкость.

Пример решения связанной задачи при наличии внутренней границы представлен на рисунках 1, 2.

При достижении границы раздела материалов наблюдается искажение профилей волн, и частичное отражение их от внутренней границы. К моменту времени $\tau=0.13$ видно, что от границы раздела материалов распространяются две волны в противоположных направлениях. Тепловая волна претерпевает меньшие искажения при переходе через границу – на ее профиле появляется излом в области раздела материалов. Видно, что механическая волна достигает гораздо большей глубины, чем концентрационная.

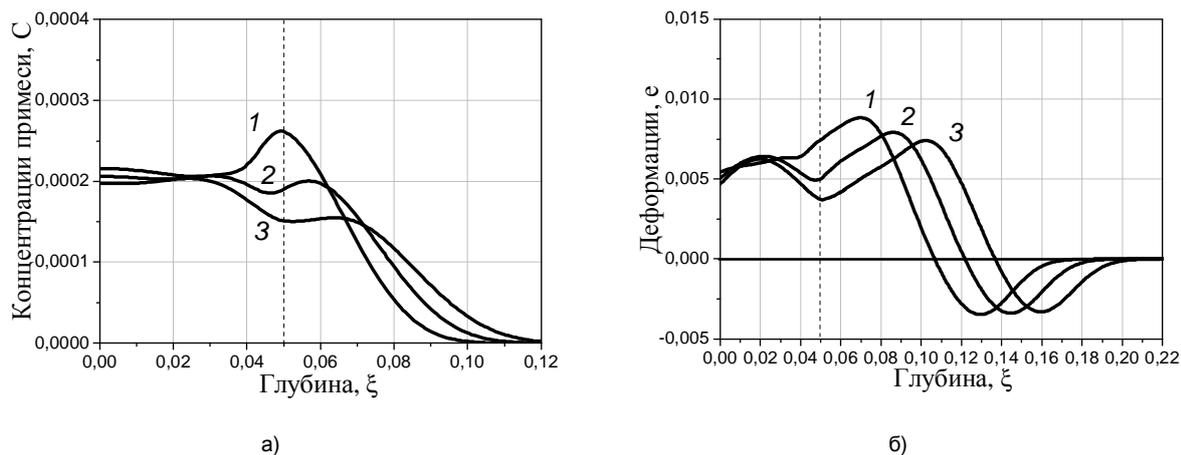


Рис. 1. Пример решения связанной задачи при наличии внутренней границы раздела.
Моменты времени, τ : 1 – 0.085; 2 – 0.095; 3 – 0.105; 4 – 0.11; 5 – 0.12; 6 – 0.13

Таким образом, в работе представлена математическая модель начальной стадии процесса ионной имплантации. Учитывается неизотермичность процесса и наличие внутренней границы раздела основного материала и материала покрытия.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России на 2014–2016 годы, № НИР – 11.815.2014/К.

Список литературы

1. Курзина И.А., Козлов Э.В., Шаркеев Ю.П. Градиентные поверхностные слои на основе интерметаллидных частиц: синтез, структура, свойства / отв. ред. В.П. Кривобоков. – Томск : НТЛ, 2013. – 260 с.
2. Parfenova E.S., Knyazeva A.G. Metal surface treatment with particle fluxes taking into account the internal boundary // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 685. – P. 413–416.