

- Классификатор сценариев преодоления ПС.

Этап 4.2. Заполнение выходных документов результатной информацией для аппарата управления предприятием.

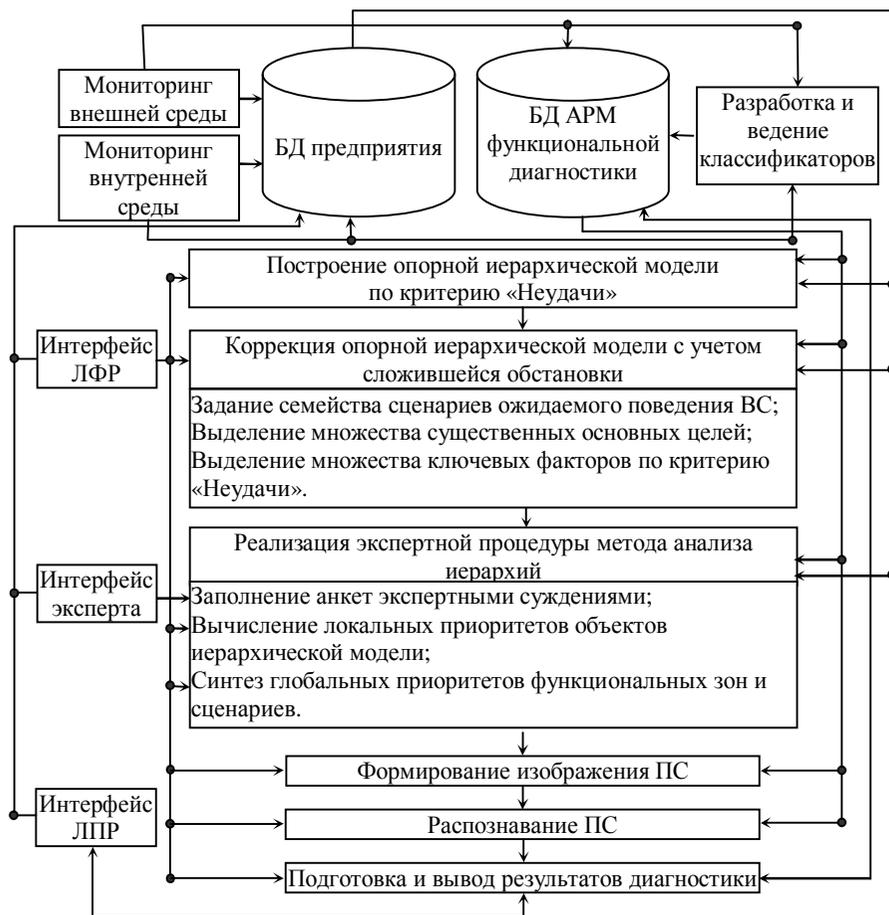


Рис. 3. Функциональная структура информационной технологии

Для реализации предметной технологии функциональной диагностики необходима разработка автоматизированной информационной технологии, индивидуальные приложения и функциональная информация которой локализуется на уровне автоматизированного рабочего места (АРМ) локальной вычислительной сети, а автоматизированная централизованная база данных предприятия используется для эффективной информационной поддержки. Информационное обеспечение АРМ предусматривает

организацию его информационной базы, регламентирует его информационные связи и предполагает состав и содержание всей системы информационного отображения. Функциональная структура информационной технологии представлена на рис. 3.

Выводы. Разработана предметная технология функциональной диагностики ПС в процессе функционирования предприятия, которая лежит в основе информационной технологии диагностики ПС. Реализация информационной технологии диагностики ПС предполагается в виде АРМ специалиста по диагностике.

Список литературы: 1. Фонта Н. Г., Лисицкий В. Л. Ранее обнаружение проблемных ситуаций в процессе хозяйственной деятельности предприятия, функционирующего в конкурентной среде // Східно-європейський журнал передових технологій. - 2007. - №1. - С12-22. 2. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. - М.: Финансы и статистика, 2000. - 368 с. 3. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий: Пер с англ. - М.: Радиосвязь, 1993. - 320 с. 4. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1991. - 224 с. 5. Сваткин М. З., Мацута В. Д., Рахдлин К. М. Группы качества на машиностроительных мероприятиях. - Л.: Машиностроение, 1988. - 141 с.

Поступила в редколлегию 10.04.08

УДК 621.384.6

И. И. МАРЧЕНКО, аспирант НТУ «ХПИ»

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ

Методами комп'ютерного моделювання досліджено вплив оксидного шару на ефективність іонного азотування алюмінію. Були отримані профілі проникнення іонів азоту з енергією 1-5 кеВ у алюміній при різній товщині оксидного шару. Обчислені інтегральні коефіцієнти розпилення мішені.

Методами компьютерного моделирования исследовано влияние толщины оксидного слоя на эффективность ионного азотирования алюминия. Были получены профили проникновения ионов азота с энергией 1-5 кэВ в алюминий при различных толщинах оксидного слоя. Рассчитаны интегральные коэффициенты распыления мишени.

The influence of the oxide layer thickness on the effectiveness of the ion nitriding of aluminum is investigated by the methods of computer simulation. The profiles of the penetration of nitrogen ions with the energy 1-5 keV into aluminum were obtained for different oxide layer thicknesses. The integral sputtering ratios of the target are calculated.

Введение. Алюминий широко применяется в автомобилестроении, судостроении и аэрокосмической индустрии. Использование этого материала

обусловлено его легкостью и высокой коррозионной устойчивостью. Однако при этом алюминий обладает низкой твердостью и износостойкостью.

В последнее время для улучшения поверхностных свойств алюминия и его сплавов начали интенсивно применять различные технологии ионного азотирования [1-3]. В результате обработки поверхности ионами азота удается существенно повысить износостойкость, коррозионную, термическую и химическую устойчивость [4].

На поверхности чистого алюминия в результате химического взаимодействия с кислородом образуется оксидный слой (Al_2O_3). В то же время азот практически не мигрирует в оксиде алюминия [5], поэтому блокируется дальнейшее проникновение кислорода вглубь материала. Присутствие кислорода в остаточной атмосфере вакуумной камеры приводит к восстановлению оксидного слоя, не смотря на его динамическое распыление падающими ионами.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал, показывающий, что вакуумные условия существенным образом влияют на эффективность азотирования. В то же время из-за сложности происходящих процессов не установлены основные закономерности влияния параметров облучения (таких как энергия облучения, плотность ионного тока и др.) на эффективность ионного азотирования.

В последнее время для исследования сложных процессов происходящих в твердых телах используют методы компьютерного моделирования [6-9]. Проведенные ранее расчеты показали, что модели качественно верно описывают создание и рост азотированного слоя. Однако в существующих моделях не было учтено влияние оксидного слоя на процессы азотирования, что не позволило в достаточной мере согласовать результаты моделирования с экспериментом.

Поэтому целью данной работы являлось исследование методами компьютерного моделирования влияния толщины оксидного слоя на количество имплантированного азота в алюминий.

Методика моделирования. Моделирование методом Монте-Карло стало эффективным приемом исследования радиационных эффектов вблизи поверхностей, таких, как распыление и отражение. На данный момент одним из широко используемых и хорошо зарекомендовавшим себя средств является программа TRIM [10]. Данное средство использовалось в настоящей работе для расчетов коэффициентов отражения ионов азота, распыления мишени и профилей залегания имплантированных ионов.

Программный комплекс TRIM создан для изучения каскадов атомных столкновений в последовательности парных взаимодействий в предположении, что атомы мишени вначале покоятся и расположены хаотичным образом (линейные каскады в аморфных материалах). Программа TRIM учитывает поведение большого числа ионов мишени. Траектория

каждого иона начинается с задания его положения, направления движения и энергии. Затем прослеживается последовательность столкновений иона с атомами мишени; между столкновениями свободный пробег иона предполагается прямолинейным. На пути каждого свободного пробега энергия частицы уменьшается на величину электронных потерь энергии, а затем, после столкновения, – на так называемые ядерные, или упругие, потери энергии, т. е. на энергию, переданную атому мишени при столкновении. Если атом мишени получает энергию, которая превышает предварительно заданное значение (например, энергию поверхностной связи), то его называют первичным атомом отдачи и его поведение прослеживается таким же образом, как и поведение налетающего иона. Это же остается справедливым для любых атомов отдачи более высокого уровня генерации, которые могут образовываться в ходе последующих столкновений. Траектория иона или атома отдачи обрывается, если их энергия падает ниже предварительно заданного значения (обычно равной энергии поверхностной связи), либо если частица выходит за пределы передней или задней поверхности мишени.

В настоящее время установлено, что существует удовлетворительное согласие результатов компьютерного моделирования программой TRIM с экспериментальными данными.

Результаты и обсуждение. Было проведено моделирование проникновения ионов азота вглубь алюминия при различных толщинах оксидного слоя (1-5 нм). На рис. 1 приведен пример проведенных компьютерных расчетов профилей имплантации ионов азота (толщина оксидного слоя – 3 нм) для различных энергий. Как видно из рисунка, при значении энергии 0,5 кэВ основная часть имплантированного азота задерживается оксидным слоем. С увеличением энергии облучения больше азота проникает за границы оксидного слоя. При увеличении энергии до 2,0 кэВ значительная часть имплантированных ионов проникает в чистый металл. Таким образом, с повышением энергии ионов азота эффективность ионного азотирования повышается. В работах [5,11] экспериментально было исследовано проникновение ионов азота при различных вакуумных условиях. Как следует из данных работ, увеличение толщины оксидного слоя уменьшает эффективность ионного азотирования. Эти результаты находятся в качественном согласии с полученными результатами моделирования.

На рис 2. приведена зависимость количества поглощенного азота в алюминии от энергии имплантации при различных толщин оксидного слоя. Как видно из рисунка, при толщине оксидного слоя в 1 нм, азот практически не задерживается оксидным слоем. Увеличение энергии имплантации не сильно увеличивает долю азота, проникнувшего в алюминий. Однако, при толщине оксидного слоя от 3 нм при небольших значениях энергии имплантации большинство азота задерживается оксидом. Наблюдается сильное изменение количества проникающего азота с увеличением энергии

имплантации. Как следует из рисунка для различных толщин оксидного слоя необходимо использование ионов различной энергии для получения оптимальных энергозатрат при ионном азотировании.

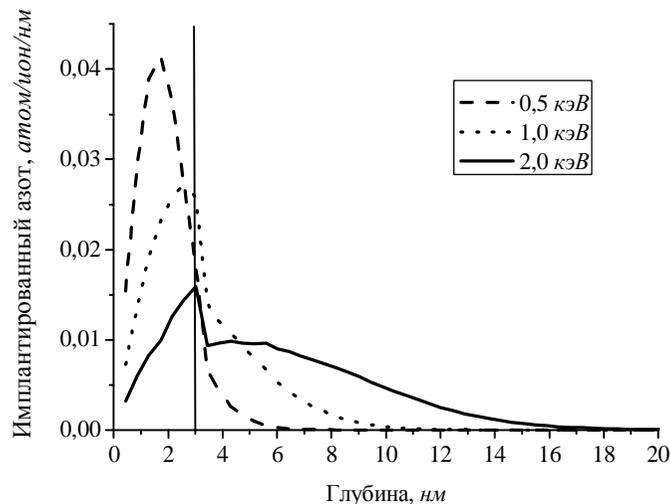


Рис 1. Профиль распределения ионов азота в алюминии для различных энергий при толщине оксидного слоя 3 нм

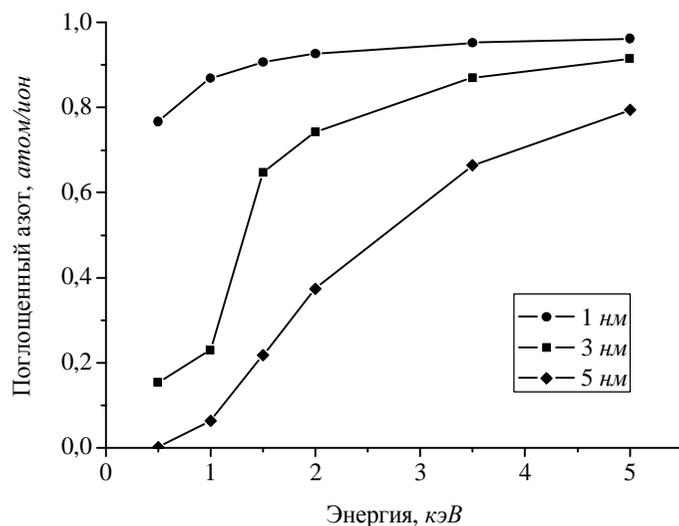


Рис 2. Зависимость количества внедренного азота в алюминий от энергии для различных толщин оксидного слоя.

Из экспериментальных данных известно, что толщина оксида алюминия составляет 3-5 нм на начальном этапе облучения [12]. Ионная обработка помимо имплантации вызывает распыление мишени, тем самым уменьшая толщину оксидного слоя. Параметром, характеризующим скорость ионного травления, является интегральный коэффициент распыления поверхности. Были получены коэффициенты распыления оксида для различных энергий (см. табл. 1). Как следует из приведенных данных, с увеличением энергии имплантации, коэффициент распыления возрастает.

Таблица 1

Коэффициенты распыления поверхности, атом/ион

		Толщина слоя, нм		
		1	3	5
Энергия, кэВ	0,5	1,836	1,799	1,799
	1,0	2,265	2,137	2,145
	1,5	2,411	2,224	2,27
	2,0	2,495	2,29	2,289
	3,5	2,492	2,258	2,232
	5,0	2,495	2,19	2,165

Для построения модели ионного азотирования необходимо учитывать процессы как распыления так и формирования оксидной пленки на поверхности образца из остаточной атмосферы. Полученные в данной работе данные могут быть использованы в модели учитывающей эти процессы.

Выводы. В настоящей работе исследовано влияние толщины оксидного слоя на эффективность ионного азотирования алюминия. Были получены профили проникновения ионов азота с энергией 1-5 кэВ в алюминий при различных толщинах оксидного слоя, а так же интегральные коэффициенты распыления мишени. Данные, полученные методами компьютерного моделирования, находятся в качественном согласии с имеющимися экспериментальными данными.

Полученные результаты могут быть использованы для развития математических моделей ионного азотирования с учетом изменяющихся вакуумных условий.

Список литературы: 1. Manova D., Huber P., Mandl S., Rauschenbach B. Surface modification of aluminium by plasma immersion ion implantation // Surf. Coat. Technol. – 2000. – V. 128-129. – P. 249-255. 2. Czerwicz T., Renevier N., Michel H. Low-temperature plasma-assisted nitriding // Surf. Coat. Technol. – 2000. – V. 131. – P. 267-277. 3. Moller W., Parascandola S., Telbisova T., et. al. Surface processes and diffusion mechanisms of ion nitriding of stainless steel and aluminium // Surf. Coat. Tech. – 2001. – V. 136. – P. 73-79. 4. Richter E., Gunzel R., Parascandola S. et. al. Nitriding of stainless steel and aluminium alloys by plasma immersion ion implantation // Surf. Coat. Tech. – 2001. – V. 128-129. – P. 21-27 5. Telbizova T., Parascandola S., Prokert F. et al. Ion nitriding of Al: growth kinetics and characterisation of the nitride layer // Surf. Coat. Technol. – 2001. – V. 142-144. – P. 1028-1033 6. Dimitrov V. I., Haen J. D., Knuyt G. et. al. A method for

determination of the effective diffusion coefficient and sputtering rate during plasma diffusion treatment // Surf. Coat. Tech. – 1998. – V.99. – P. 234-241. 7. Williamson D. L., Davs J. A. Wilbur P. J. et. al. Relative roles of ion energy, ion flux, and sample temperature in low-energy nitrogen ion implantation of Fe–Cr–Ni stainless steel // Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res. – 1997. – V. 127-128. – P. 930-934. 8. Марченко И. Г., Марченко И. И., Гузля А.Г., Неклюдов И. М. Компьютерное моделирование ионного азотирования аустенитных сталей // Физика и химия обработки материалов. – 2005. – № 1. – С. 56-60. 9. Мазманишвили А. С., Марченко И. И. Математическое моделирование влияния плотности ионного тока на эффективность ионного азотирования Fe, Cr и Fe-Cr-сплавов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – №41. – С. 9–16. 10. <http://www.srim.org/> 11. Telbizova T., Parascandola S., Prokert F. et. al. Ion nitriding of aluminium - experimental investigation of the thermal transport// Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res. – 2000. – V. 161-163. – P. 690-693 12. Manova D., Mandl S., Rauschenbach B. Oxygen behaviour during during PIII-nitriding of aluminium // Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res. – 2001. – V. 178. – P. 291-296

Поступила в редколлегию 03.06.08

УДК 531

В. П. ОЛЬШАНСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, ХНТУСХ,
С. В. ОЛЬШАНСКИЙ, аспирант НТУ «ХПИ»

ОБ УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМУМА СКОРОСТИ ПАДЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ТЕЛА ПЕРЕМЕННОГО РАДИУСА

Досліджено екстремальні властивості швидкості вертикального падіння сферичного тіла, радіус якого змінюється в часі по закону Срезневського. Знайдено умови, при виконанні яких швидкість падіння має мінімум або максимум.

Исследованы экстремальные свойства скорости вертикального падения сферического тела, радиус которого изменяется во времени по закону Срезневского. Найдены условия, при выполнении которых скорость падения имеет минимум или максимум.

The extreme properties of velocity vertical fall of a spherical body which radius changes in time under the Sreznevsky law are investigated. The conditions at which performance the speed of fall has a minimum or maximum are found.

Состояние вопроса и цель исследования. Скорость падения тела постоянной массы и размеров в газовой среде является монотонной функцией. В зависимости от начального значения она асимптотически стремится сверху или снизу к некоторому постоянному граничному значению, которое называют скоростью витания [1]. Оказывается, что эта закономерность нарушается при падении тела, у которого меняются с течением времени размеры и масса [2]. К таким телам относятся летящие испаряющиеся или сгорающие частицы жидких и твёрдых топлив, жидкие частицы огнетушащих веществ, капли воды при движении их в условиях конденсации и пр. Поэтому изучение особенностей движения частицы

переменной массы в газовой среде относится к актуальным научно-техническим задачам. Частично эти особенности рассматривались в работе [2], где предполагалось, что изменение радиуса движущегося сферического тела описывается линейной функцией времени. Здесь, в отличие от указанной публикации, предполагается, что изменение радиуса сгорающей или испаряющейся частицы пропорционально переменной площади её поверхности, т.е. подчиняется закону Срезневского [3]. Целью данной работы является исследование закономерностей движения сферической частицы переменного радиуса, когда это изменение происходит по нелинейному закону, а также анализ экстремальных свойств скорости полёта.

Падение шара возрастающей массы. Пусть при падении сферической частицы в условиях конденсации её радиус r является линейной функцией времени t

$$r = r(t) = r_0 \sqrt{1 + e_1 t}, \quad (1)$$

что соответствует закону Срезневского [3].

В выражении (1) $r = r(0)$ - начальный радиус; e_1 - параметр, характеризующий скорость увеличения радиуса частицы.

Случай линейного увеличения радиуса движущейся частицы в условиях конденсации рассматривал И.В. Мещерский [4].

Силу сопротивления движению $R_c(t)$, как и в работах [2,4], принимаем пропорциональной скорости падения $u = u(t)$ и площади миделевого сечения шара, т.е. берём в виде

$$R_c(t) = k \frac{\Gamma_B}{\Gamma_T} \rho r^2 u.$$

Здесь k - коэффициент аэродинамического сопротивления; Γ_B, Γ_T - соответственно плотность воздуха и падающего тела.

Мелкие частицы внешней среды, в ходе присоединения которых к падающему шару возрастает его радиус, считаем неподвижными, а относительную скорость присоединения равной $u(t)$.

В этих предположениях скорость вертикального падения шара является решением дифференциального уравнения Леви – Чивита

$$\frac{d}{dt}(r^3 u) + 3ar^2 u = gr^3, \quad (2)$$

в котором $a = \frac{k \Gamma_B}{4 \Gamma_T^2}$; g - ускорение свободного падения.

Из выражения (1) следует, что